





# Forord

Masteroppgaven er avslutningen på studiene innen fagfeltet vann- og miljøteknikk ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, NMBU. Oppgaven er utarbeidet våren 2015 og utgjør 30 studiepoeng.

Oppgaven har blitt utarbeidet med fokus på hvilke muligheter og hvordan en kan modellere LOD-tiltak i beregningsprogrammet SWMM.

Arbeidet med oppgaven har vært utfordrende og jeg har fått benyttet mye av det jeg har lært tidligere i studiene, samtidig som jeg har tilegnet meg ny kunnskap og kompetanse. Den nye kunnskapen er særlig relatert til praktisk hydrogeologi og kompetansen er knyttet til bruken av SWMM og modelleringsprogram generelt. Begge deler vil jeg trolig ha stor nytte av i fremtiden og forhåpentlig vil også lesere av denne oppgaven tilegne seg noe ny kunnskap.

Jeg vil takke min faglige vegleder, Jon Arne Engan, på NMBU for alltid kunne sette av tid på kort varsel for å kunne bistå med kunnskap rettleiding til vegen videre. Samtidig vil jeg takke Sivert Sivertsen hos Dimensjon Rådgivning AS for grunnlagsmateriale og faglige innspill, og Odd Arne Vagle hos Sandnes kommune for grunnlaget til problemstilling og valg av analyseområde.

Omar Skandsen

Ås, mai 2015

## Sammendrag

Deler av Sandnes indre havn er i en prosess hvor området skal transformeres fra en tradisjonell industrihavn med en stor andel impermeable flater til en moderne blågrønn bydel med åpne vannspeil og fokus på grønne overflater. En stor del av området skal kun være tilgjengelig via gågater og bygningene skal utformes i tråd med klimavennlige prinsipper.

For å kunne planlegge og bygge robuste blågrønne byer som er forberedt på ulike klimaendringer må overvannet kunne håndteres lokalt, dette refereres til som lokal overvannsdiskonering, LOD. Når overvannet skal disponeres lokalt blir selve planleggingen og dimensjoneringen mer omfattende og kompleks i forhold til når overvannet håndteres i tradisjonelle overvannssystem med ledninger som transporterer overvannet raskest mulig bort.

For å kunne planlegge og dimensjonere lokal overvannsdiskonering vil det være nødvendig å kombinere kunnskap om det hydrologiske kretsløpet, hydrogeologisk kompetanse, kunnskap om tradisjonelle ledningsanlegg og generell ingeniørkompetanse, samt bruk av relevante beregningsverktøy.

Det hydrologiske kretsløpet gir oss forståelse for hvordan naturen håndterer vannet, og dermed hvilke prinsipper vi prøver å etterligne ved bruk av blågrønne løsninger og lokal overvannsdiskonering.

Hydrogeologisk kompetanse gir oss et grunnlag til å beregne hvor mye overvann grunnen kan ta i mot og transportere bort når vi skal benytte naturens egne løsninger ved bruk av LOD. For å kunne gjøre disse beregningene som til dels kan bli meget omfattende og kompliserte kan det være hensiktsmessig å benytte beregningsprogram som Storm Water Management Model (SWMM).

SWMM er et verktøy for å systematisere og forenkle virkeligheten slik at beregninger og analyser kan utføres i stort omfang om nødvendig. SWMM er utviklet av United States Environmental Protection Agency (EPA) og har et relativt avansert brukergrensesnitt for å kunne utføre beregninger og analyser av LOD-tiltak.

Flere av parameterne som skal benyttes når grunnvann og LOD-tiltak skal modelleres kan det være utfordrende å finne grunnlagsdata til i norsk litteratur, for eksempel finnes det ikke data på «tension slope» eller «conductivity slope», men dette er heller ikke grunnlagsdata som er lett tilgjengelige i annen litteratur heller.

Det er heller ikke utarbeidet mye litteratur om infiltrasjon av overvann, som gir klare retningslinjer for hydraulisk ledningsevne og infiltrasjonskapasitet.

Det er tatt utgangspunkt i at den vannmettede hydrauliske ledningsevnen, som kan betraktes som den viktigste parameteren, bør være minimum 100 mm/t.

Det er utført over ett dusin beregninger med hvert av LOD-tiltakene som kan modelleres i SWMM og beregningene for hvert av de enkelte tiltakene gir nærmest overaskende like resultater, selv om det ble endret på det som en på forhånd ville ventet var nøkkelparametre. Det kan derfor være nødvendig å benytte LOD-tiltakene i SWMM med varsomhet.

Det ble også utført analyser med LOD-tiltak og grunnvannsstrømning for å se nærmere på sammenhengen mellom infiltrasjon i permeable dekker og grunnvannsnivå, og selv om analysene var av et svært begrenset omfang, kan resultatene gi en god fremtilling av variasjoner i grunnvannsnivået.

## Abstract

Parts of «Sandnes Indre Havn» are in a process where the area will be transformed from a traditional industrial harbour with large part of impervious surfaces, to a modern blue green area with open water tables and focus on green surfaces. A large part of the area shall only be available by walking streets and the buildings shall be designed in tread with principles that are climate friendly.

To be able to plan and construct robust blue green city's that are prepared for different climate changes the surface water must be handled locally, this is referenced low impact development, LID. When the surface water are taken care of locally the planning and dimensioning become more challenging and complex compared to regular planning with traditional sewage systems and pipes that transport the water by the quickest route to recipient.

To be able to plan and dimension LID it will be necessary to combine knowledge of the hydrological cycle, hydrogeological competence, knowledge about traditional drainage systems and general engineering competence, including relevant dimensioning tools.

The hydrological cycle tell us how nature would manage the water, and thereby which principle to try and recreate by the use of blue green solutions and LID.

Hydrogeological competence give us a foundation to calculate how much of the surface water the ground can manage to consume within a given time period. To do this calculations that can become very challenging and complex it is necessary to use a tools as Storm Water Management Model (SWMM).

SWMM is a tool to systemize and conceptualize reality in a way that calculations can be done repeatedly on a large scale if necessary. SWMM is developed by United States Environmental Protection Agency (EPA) and it has relatively advanced user interface to execute calculations and analysis of LID practices.

Several components that are to be used when groundwater and LID practices shall be modelled can be quite difficult to locate in Norwegian literature, for example is it not

possible to find any data on “tension slope” or “conductivity slope”, but this neither data that are easy to find in English literature.

Neither is there a lot of literature written about infiltration of surface water, literature that give a clear overview and pedagogic guidance on key values as hydraulic conductivity and infiltration capacity.

It is taken in to account that the saturated hydraulic conductivity, the most important value, should be minimum 100 mm/t.

There has been carried out over a dozen calculations with each LID practice that can be modelled in SWMM and the calculations for each of the LID practice give almost a surprising equal result, even if the key values were changed. It can therefore be necessary to use the LID practices with caution.

There have also been carried out different analysis with LID practices and groundwater flow to take a look on the relationship between infiltration and pervious pavers and groundwater flow, even if the analysis is on a very limited scale, the results give a good view on how the groundwater varies with infiltrated precipitation.

## **Nøkkelord**

Overvann, LOD, SWMM, infiltrasjon, hydraulisk ledningsevne, blågrønn faktor, grunnvann, hydrologisk kretsløp.





## Innholdsfortegnelse

1	Del 1: Innledning .....	17
1.1	Bakgrunn.....	17
1.2	Formål.....	18
1.2.1	Spesifisert oppgave .....	18
1.3	Urbanisering og transformasjon.....	19
1.4	Fremtidens blågrønne byer, blågrønn faktor .....	19
1.5	Kort om fordeler med LOD .....	21
1.6	Dagens praksis med LOD .....	21
2	Del 2: Teori.....	22
2.1	Overvannshåndtering .....	22
2.2	Det hydrologiske kretsløpet. Terminologi – avklaring av ulike begrep .....	27
2.2.1	Grunnvann.....	27
2.2.2	Markvann .....	30
2.2.3	Akvifer .....	32
2.2.4	Intersepsjon.....	33
2.2.5	Infiltrasjon .....	34
2.2.6	Gropmagasinerings.....	37
2.2.7	Perkolasjon .....	38
2.2.8	Porøsitet .....	39
2.2.9	Permeabilitet.....	43
2.2.10	Mettet Hydraulisk ledningsevne – Mettet Hydralisk konduktivitet – $K_{sat}$ – Permeabilitetskoeffisienten - Proporsjonalitetsfaktoren.....	45
2.2.11	Hydraulisk kapasitet .....	54
2.2.12	Kapilærkrefter (tensjon – sug - matrikspotensiale) .....	57
2.2.13	Evapotranspirasjon.....	58

2.2.14	Feltkapasitet .....	60
2.2.15	Visnepunkt.....	62
2.2.16	Manningstall.....	63
2.3	Klimaendringer .....	65
2.4	Klimatilpasning .....	68
2.5	Havnivåstigning.....	69
2.6	Kortidsnedbør .....	70
2.7	Urbanhydrologi.....	74
2.8	Lokal Overvanns Disponering, LOD .....	81
2.8.1	Grønne tak.....	81
2.8.2	Regnbed.....	84
2.8.3	Gresskledde vannveger (swales) .....	89
2.8.4	Permeable dekker .....	91
2.8.5	Infiltrasjonsgrøfter og infiltrasjon på gresskledde flater .....	93
2.8.6	Infiltrasjon i steinfyllinger eller plastkassetter (perkolasjon) .....	95
2.8.7	Lokale dammer .....	96
2.8.8	Opsamling av takvann .....	97
2.8.9	Andre alternativ .....	98
2.9	SWMM, teori om modellering.....	103
2.9.1	Surface Runoff .....	105
2.9.2	Infiltration.....	105
2.9.3	Groundwater .....	107
2.9.4	Snowmelt.....	108
2.9.5	Flow Routing.....	108
2.9.6	Surface Ponding.....	109
2.9.7	Water Quality Routing.....	110

2.9.8	LID Representation .....	110
2.10	SWMM, LID Controls .....	115
2.10.1	Grønne tak – Green Roof .....	115
2.10.2	Regnbed – Rain Garden.....	120
2.10.3	Bio-Retention Cell – regnbed/filterbasseng.....	123
2.10.4	Vegeterte forsenkninger – Swales .....	129
2.10.5	Permeable dekker – Permeable Pavement.....	131
2.10.6	Infiltrasjonsgrøft – Infiltration Trench.....	138
2.10.7	Regntønne – Rain Barrel.....	142
2.10.8	Grunnvannsinstillinger – Aquifer Editor.....	144
2.10.9	Nedslagsfelt – Subcatchment.....	148
2.10.10	Infiltrasjonsinstillinger – Infiltrations Editor.....	153
2.10.11	Grunnvannsinstillinger – Groundwater Flow Editor .....	155
2.10.12	Valg av LOD-tiltak – LID Controls for Subcatchment .....	158
2.10.13	Bruk av LOD-tiltak – LID Usage Editor .....	159
2.10.14	Node, knutepunkt (Kummer) – Junction .....	162
2.10.15	Ledninger (Rør) – Conduits.....	164
2.10.16	Climatology Editor .....	167
3	Del 3: Analysområdet.....	169
3.1	Sandnes.....	169
3.2	Sandnes, Fremtidens blågrønne by .....	170
3.3	Sandnes Indre Havn, dagens situasjon .....	173
3.4	Sandnes Indre Havn, planlagt situasjon: Havneparken Sandnes .....	174
3.5	Geologi, grunnforhold og infiltrasjonskapasitet.....	175
4	Del 4: Analyse.....	177
4.1	Mengde, konstruerte syntetiske regn. ....	177

4.1.1	Nedbør.....	177
4.1.2	Dimensjonerende nedbørsmengder .....	179
4.1.3	Klimafaktor .....	184
4.1.4	Regnhyetogram .....	185
4.2	Metoder. SWMM, om modellen. Hvilke forutsetninger og begrensninger er lagt til grunn.189	
4.3	Resultater. Beregning av avrenning ved ulike situasjoner 20- og 200-års nedbør. 191	
4.3.1	20 års gjentakintervall, klimafaktor på 1.2, uten grunnvannsstrømning .....	192
4.3.2	200 års gjentakintervall, klimafaktor på 1.2, uten grunnvannsstrømning .....	192
4.3.3	200 års gjentakintervall, klimafaktor på 1.6, uten grunnvannsstrømning .....	193
4.3.4	200 års gjentakintervall, klimafaktor på 1.6, uten grunnvannsstrømning og uten permeabelt dekke.....	193
4.3.5	200 års gjentakint., klimaf. på 1.6, med grunnvannsstrømning, 1 mm/t .....	194
4.3.6	200 års gjentakint., klimaf. på 1.6, med grunnvannsstrømning, 10 mm/t ....	194
4.3.7	200 års gjentakint., klimaf. på 1.6, med grunnvannsstrømning, 100 mm/t ..	195
4.3.8	200 års gjentakintervall, klimafaktor på 1.6, med grunnvannsstrømning, 100 mm/t, og infiltrasjon av tilknyttet areal.....	195
4.3.9	Grunnvannsnivå med 200 års gjentakintervall, klimafaktor på 1.6, og ulik hydraulisk ledningsevne i grunnen .....	196
4.4	Følsomhetsanalyse .....	197
4.4.1	Impermeabelt felt .....	198
4.4.2	Permeabelt felt.....	199
4.4.3	Grønt ekstensivt tak .....	200
4.4.4	Grønt intensivt tak .....	201
4.4.5	Permeabelt dekke uten drenering .....	202
4.4.6	Permeabelt dekke med drenering .....	203

4.4.7	Bio-Retention Cell uten drenering .....	204
4.4.8	Bio-Retention Cell med drenering.....	205
4.4.9	Regnbed.....	206
4.4.10	Vegetert forsenkning uten infiltrasjon .....	207
4.4.11	Vegetert forsenkning med infiltrasjon .....	208
4.4.12	Infiltrasjonsgrøft uten drenering.....	209
4.4.13	Infiltrasjonsgrøft med drenering .....	210
4.4.14	Regntønne .....	211
4.4.15	Impermeabelt felt med flomveg .....	212
4.4.16	LOD-tiltak uten infiltrasjon .....	213
4.4.17	LOD-tiltak med infiltrasjon .....	214
4.5	Diskusjon. Korttids nedbør eller langtidsnedbør.....	215
5	Konklusjon og anbefalinger for vegen videre .....	216
6	Bekjennelser.....	217
7	Referanser .....	218
8	Vedlegg.....	225
8.1	Vedlegg A: Hydraulisk ledningsevne og diverse jordartsparemetre for bruk i SWMM. 226	
8.2	Vedlegg B: Tabeller for dreneringskoeffisienter ved ulike dybder.....	228
8.3	Vedlegg C: Reguleringsplanen til Sandnes Havnepark .....	230
8.4	Vedlegg D: Vannstandsniå for Sandnes kommune.....	232

## Figurliste

Figur 2.1.1. Viser hvilken virkning urbanisering har på et område med hensyn til volum og avrenningshastighet (Thorolfsson, 2012). .....	22
Figur 2.1.2. Viser hvordan en kan håndtere overvannet på en bærekraftig måte ved å bruke eller etterligne naturens egne mekanismer (Paus, 2015).....	24
Figur 2.1.3. Treleddstrategi for håndtering av overvann (Lindholm, et al., 2008).....	25
Figur 2.1.4. Illustrerer de fire ulike kategoriene til diverse tiltak for bærekraftig overvannshåndtering (Stahre, 2006). .....	25
Figur 2.2.1. Skjematisk fremstilling av det hydrologiske kretsløpet (Bear, 1979). .....	27
Figur 2.2.2. Grunnvannsstrømning fra høyere til lavere trykknivå med innstrømnings og utstrømningsområder figur av Grip & Rodhe, 1988 (NGU, 2006). .....	28
Figur 2.2.3. Figuren viser typiske variasjoner i grunnvannsstanden i ulike deler av Norge, gjennom året. De forskjellige trendene viser hvordan de naturlige variasjonene er avhengig av både klima og geografisk beliggenhet figur av Lars A. Kirkhusmo (NGU, 2006). .....	29
Figur 2.2.4. Det hydrologiske kretsløpet (The Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 1998).....	30
Figur 2.2.5. Figuren viser sammenhengen mellom nedbør og grunnvann (Tollan, 2002). .....	31
Figur 2.2.6. Forskjellige typer akviferer kan forekomme innen et begrenset geografisk område. Lukkede akviferer kan ligge under en åpen, skilt fra det åpne ved et tett lag (Knutsson & Morfelt 1993).....	33
Figur 2.2.7. Infiltrasjonsforløpet under konstant nedbørsintensitet (Bøyum, et al., 1997). ...	35
Figur 2.2.8. Grafisk fremstilling av Hortons infiltrasjonslikning (Bøyum, et al., 1997). .....	36
Figur 2.2.9. Ulike typer hulrom (Meizner, 1923).....	40
Figur 2.2.10. Ulik pakning (Graton & Fraser, 1935).....	40
Figur 2.2.11. Relasjon mellom midlere kornstørrelse og vannlagringsegenskaper i sedimenter. Basert på Davis & De Wiest, 1966, men modifisert av Englund & Haldorsen (Englund & Haldorsen, 2001). .....	42
Figur 2.2.12. Sammenhengen mellom viskositet og temperatur for rent vann. Hydraulisk ledningsevne er omvendt proporsjonal med viskositeten (Englund & Haldorsen, 2001).....	47
Figur 2.2.13. Løsmassekart for nord Jæren med beskrivelse av avsetningsmateriale (NGU, 2015).....	50

Figur 2.2.14. Løsmassekart for nord Jæren med beskrivelse av avsetningsmateriale (NGU, 2015).....	50
Figur 2.2.15. Teksturtrekant med anbefalt tekstur for anleggsjord markert med skravert felt (Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2012).....	51
Figur 2.2.16. Figur viser en teksturtrekant som benyttes i U.S.A (USDA, 1993).....	52
Figur 2.2.17. Beskrivelse av jordartene i infiltrasjonsdiagrammet (Mæhlum, et al., 2010). ...	53
Figur 2.2.18. Diagrammet viser hydraulisk konduktivitet for ulike løsmassefraksjoner og morenetyper. (Dagestad, et al., 2003). .....	54
Figur 2.2.19. Plassering av perkolasjonsanlegg i forhold til topografi og grunnvannsnivå (Mæhlum, et al., 2010).....	55
Figur 2.2.20. Eksempel på heving av grunnvannsnivå som følge av infiltrasjon (Mæhlum, et al., 2010).....	56
Figur 2.2.21. Kapillær stighøyde i jord (Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2014). .....	57
Figur 2.2.22. Effekt av kapillær oppsuging (Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2014).....	58
Figur 2.2.23. Illustrasjon av evapotranspirasjon (McCuen, et al., 2002). .....	59
Figur 2.2.24. Figuren viser vanninnholdet i jord som når feltkapasitet med et undertrykk på 0,34 bar. For sand og grus vil feltkapasiteten og visnepunktet være mye lavere. Figuren er basert på Donahue, 1983, men modifisert av Vegard Saksæther og Kjetil Strand Kihlgren (Saksæther & Kihlgren, 2012). .....	60
Figur 2.2.25. (SoilandWater, 2010) .....	61
Figur 2.2.26. (The Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 1998) Figur XX. (Friborg, et al., 2013).....	61
Figur 2.2.27. Figuren illustrerer sammenhengen mellom permanent visnepunkt og feltkapasitet for ulike jordarter (USDA, 2008). .....	62
Figur 2.2.28. Nomogram for beregning av konsentrasjonstiden. Basert på «Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers». American Society of Civil Engineers (ASCE). Manual of Practice. No 37, 1970 (Bøyum, et al., 1997). .....	64
Figur 2.3.1. Scenarier for kommende stigning i havnivået av (Drange, et al., 2007).....	67
Figur 2.6.1. Illustrasjon av orografisk nedbør (Richard H. et al. 2002). .....	71
Figur 2.6.2. Illustrasjon av konvektiv nedbør (Richard H. et al. 2002). .....	71



Figur 2.6.3. Figuren illustrerer ved bruk av et diagram hvordan nedbør med høy intensitet vil forekomme oftere i fremtiden relativt til dagens og tidligere perioder (Lindholm, et al., 2008).....	72
Figur 2.6.4. Prinsippskisse for visning av effekten ved å øke regnintensiteten (Lindholm, 2007).....	73
Figur 2.6.5. Prinsippskisse for visning av effekten ved å øke regnvarigheten (Lindholm, 2007). .....	73
Figur 2.7.1. Illustrasjon av hvordan en urbanisering endrer avrenningsbetingelsene (Thorolfsson S.T, 2012).....	74
Figur 2.7.2. Illustrasjon av de hydrologiske prosessene (Thorolfsson S.T, 2012). ....	76
Figur 2.7.3. Illustrasjon av nedbør som konverteres til avrenning i et hyetogram via feltparametre til et hydrogram (Thorolfsson, 2012).....	77
Figur 2.8.1. Bilde til venstre viser rådhuset i Chicago med grønt tak (National Geographic Norge, 2015) og bilde til høyre viser et sedumtak i Malmø (BYGGBASEN, 2015). ....	83
<i>Figur 2.8.2. Bilde til venstre viser et konferansesenter i Vancouver, Canada (Ingeniøren, 2015), og bilde til høyre viser en illustrasjon av fremtidens grønne tak i New York (Ukjent, 2015).....</i>	<i>83</i>
Figur 2.8.3. Regnbed på leirjord, med utskiftet filtermedium og drenering (Paus & Braskerud, 2013).....	84
Figur 2.8.4. Figuren viser hvilke prosesser som er aktuelle i et regnbed av Kim Paus, 2011 (Dalen, 2012) .....	87
Figur 2.8.5. Figuren viser sammenhengen mellom størrelse på nedbørsfelt, fordrøyning (vannstandstimer) og infiltrasjonsmengde av årsnedbøren med ulik hydraulisk ledningsevne for Risvollan i Trondheim (Dalen, 2012). Tilsvarende grafer kan utarbeides for andre områder. Grafen er utarbeidet av Torstein Dalen i modelleringsverktøyet RECARGA. ....	88
Figur 2.8.6. Figuren viser sammenhengen mellom størrelsen på nedbørsfelt, nedbørens varighet, mettet hydraulisk ledningsevne og fordrøyning for et 20 års regn på Risvollan i Trondheim (Dalen, 2012). Kryssningspunktene gir størrelsen på regnbedet, blå piler. Grønn pil viser hvor stort regnbedet må være om ikke alt vann må kunne lagres i regnbedet for et tre timers regn. Grafen er utarbeidet etter TPGC metoden av Torstein Dalen.....	88

Figur 2.8.7. Figuren viser en typisk gresskledd vannveg fra Augustenborg/Malmø (Fotograf: T. Leidstedt).....	91
Figur 2.8.8. Viser en kurve som illustrerer typisk reduksjon i infiltrasjonskapasiteten til de permeable dekkene av betongstein, figuren er Dr. Sønke Borgwart (Interpave , 2010). .....	92
Figur 2.8.9. Belegningstein med 12 % permeabelt areal (Multiblokk, 2015). .....	93
Figur 2.8.10. Bilde av infiltrasjonsgrøft med gress langs E6, ved Minnesund (COWI, 2013)...	94
Figur 2.8.11. Figuren viser hvordan en lukket infiltrasjonsgrøft kan utformes (Lindholm, et al., 2008).....	95
Figur 2.8.12. Figuren viser hvordan en en åpen infiltrasjonsgrøft kan utføres (Endresen, 2009).....	96
Figur 2.8.13. Bildet er av dammen er fra Fornebu (Oslo Åpne Hus, 2015).....	97
Figur 2.8.14. Figuren illustrerer en oppsamlingstank for takvann (Rossman, 2014).....	98
Figur 2.8.15. Figuren viser en regntønne som slipper vannet kontrollert videre til en plen. Foto: Ødegård (Vista Analyse AS / COWI, 2015). .....	98
Figur 2.8.16. Figuren viser en infiltrasjonssandfang av typen Storm 1 med spesifisering av funksjoner og dimensjoner (Skjæveland Cementstøperi AS, 2015). .....	99
Figur 2.8.17. Figuren viser en fordrøyningskum av typen Storm 3 med spesifisering av funksjoner (Skjæveland Cementstøperi AS, 2015).....	100
Figur 2.8.18. Prinsipptegningen viser Qmax Storm med drensledninger som lar grunnen og ledningene fungere sammen som fordrøyningsmagasin ved store nedbørsmengder (Skjæveland Cementstøperi AS, 2015).....	101
Figur 2.8.19. Figuren viser ulike illustrasjoner av Qmax Storm med og uten sandfang. (Skjæveland Cementstøperi AS, 2015). .....	101
Figur 2.8.20. Tegningen viser hvordan prinsippet for overvannshåndteringen er tenkt utført i Sandnes Havnepark (Vagle, 2015).....	102
Figur 2.8.21. Bilder av Qmax storm ferdig montert i grøften under utbyggingen av støperikvartalet (Skjæveland Cementstøperi AS, 2015). .....	102
Figur 2.9.1. Figuren viser et flytskjema over avrenningen i SWMM fra nedbør til utløp (Lindholm, 2014). .....	104
Figur 2.9.2. Figuren viser prinsippielt hvordan avrenningen fra overflater i SWMM foregår (Rossmann, 2010).....	105

Figur 2.9.3. Prinsippskisse av vannbalansen i grunnen med utgangspunkt i mettet og ummettet sone (Huber, 1988). .....	107
Figur 2.9.4. Figuren illustrer den prinsippelle oppbygningen til LOD-tiltak (Rossmann, 2014). .....	112
Figur 2.9.5. Figuren illustrer prinsipielt hvordan avrenningssituasjonen foregår med og uten LOD-tiltak. LOD-tiltak i samme nedbørsfelt virker kun i parallell og ikke i serie, LOD-tiltak i serie må gjøres gjennom flere nedbørsfelt (Rossmann, 2010).....	113
Figur 2.10.1. Figuren viser LID Control Editor – Green Roof - Surface.....	115
Figur 2.10.2. Figuren viser LID Control Editor – Green Roof – Soil .....	116
Figur 2.10.3. Figuren viser LID Control Editor – Green Roof – Drainage Mat .....	118
Figur 2.10.4. Figuren viser LID Control Editor – Rain Garden - Surface .....	120
Figur 2.10.5. Figuren viser LID Control Editor – Rain Garden – Soil.....	121
Figur 2.10.6. Figuren viser LID Control Editor – Bio-retention Cell – Surface.....	123
Figur 2.10.7. Figuren viser LID Control Editor – Bio-retention Cell – Soil. ....	124
Figur 2.10.8. Figuren viser LID Control Editor – Bio-retention Cell – Storage.....	126
Figur 2.10.9. Figuren viser LID Control Editor – Bio-retention Cell – Underdrain. ....	128
Figur 2.10.10. Figuren viser LID Control Editor – Vegetative Swale – Surface.....	129
Figur 2.10.11. Figuren viser LID Control Editor – Permeable Pavement – Surface.....	131
Figur 2.10.12. Figuren viser LID Control Editor – Permeable Pavement – Pavement .....	132
Figur 2.10.13. Figuren viser LID Control Editor – Permeable Pavement – Storage .....	135
Figur 2.10.14. Figuren viser LID Control Editor – Permeable Pavement - Underdrain .....	136
Figur 2.10.15. Figuren viser LID Control Editor – Infiltration Trench – Surface. ....	138
Figur 2.10.16. Figuren viser LID Control Editor – Infiltration Trench – Storage.....	139
Figur 2.10.17. Figuren viser LID Control Editor – Infiltration Trench – Underdrain.....	141
Figur 2.10.18. Figuren viser LID Control Editor – Rain Barrel - Storage .....	142
Figur 2.10.19. Figuren viser LID Control Editor – Rain Barrel – Underdrain. ....	143
Figur 2.10.20. Figuren viser Aquifer Editor .....	144
Figur 2.10.21. Figuren viser konfigurasjonsvinduet til subcatchment.....	148
Figur 2.10.22. Idealiserte avrenningsfelt i SWMM.....	150
Figur 2.10.23. Figuren viser Infiltration Editor. ....	153
Figur 2.10.24. Figuren viser Groundwater Flow Editor. ....	155

Figur 2.10.25. Figuren viser LID Controls for Subcatchment, det er her en velger hvilke LOD-tiltak som befinner seg hvert enkelt nedslagsfelt, og hvor stor andel av nedslagsfeltet de dekker.....	158
Figur 2.10.26. Figuren viser LID Usage Editor. ....	159
Figur 2.10.27. Figuren viser Junction. ....	162
Figur 2.10.28. Figuren viser Conduits.....	164
Figur 2.10.29. Figuren viser Climatology Editor .....	167
Figur 3.1.1. Figuren viser Sandnes kommunes kommunevåpen (Sandnes kommune, 2015). .....	169
Figur 3.2.1. Viser arealene i Sandnes sentrum som ligger mellom kote 0 og +1.5, lys blå, og mellom +1.5 og +2.1, mørk blå (Vagle, 2012). ....	172
Figur 3.2.2. Viser arealene i Sandnes sentrum med flyfoto som bakgrunn, vannstand 2.04 m (Fylkesmannen i Rogaland, 2011) . ....	172
Figur 3.3.1. Nedbørfelt for eksisterende overvannsledninger (Asplan Viak, 2012).....	173
Figur 4.1.1. Figur viser IVF-kurven viser intensiteten i l/s*ha som funksjon av varigheten i min (Meteorologisk Institutt, 2015). ....	177
Figur 4.1.2. Figur viser IVF-kurven med intensiteten i mm som funksjon av varigheten i min (Meteorologisk Institutt, 2015) .....	178
Figur 4.1.3. Figuren viser IVF-kurven med intensiteten i mm som funksjon av varigheten i timer (Meteorologisk Institutt, 2015). ....	178
Figur 4.1.4. Figuren viser en skisse av ulike kritiske nivåer i forbindelse med overvannsflom (Rambøll, 2015). ....	183
Figur 4.1.5. Figuren viser antatt temperaturutvikling frem mot 2100 (Fylkesmannen i Rogaland, 2011).....	184
Figur 4.1.6. Regnhyetogram for 20 års regn med klimafaktor 1.2.....	187
Figur 4.1.7. Regnhyetogram for 20 års regn med klimafaktor 1.6.....	187
Figur 4.1.8. Regnhyetogram for 200 års regn med klimafaktor 1.2.....	188
Figur 4.1.9. Regnhyetogram for 200 års regn med klimafaktor 1.6.....	188
Figur 4.3.1. Sandnes Havnepark med de modellerte feltene i SWMM. ....	191
Figur 4.3.2. Ledningsanlegget slik det ble modellert i SWMM. ....	191

Figur 4.3.3. Figuren viser nedbør med 20 års gjentakintervall, klimafaktor på 1.2, uten grunnvannsstrømning. ....	192
Figur 4.3.4. Figuren viser nedbør med 200 års gjentakintervall, klimafaktor på 1.2, uten grunnvannsstrømning. ....	192
Figur 4.3.5. Figuren viser nedbør med 200 års gjentakintervall, klimafaktor på 1.6, uten grunnvannsstrømning. ....	193
Figur 4.3.6. Figuren viser nedbør med 200 års gjentakintervall, klimafaktor på 1.6, uten grunnvannsstrømning og uten permeabelt dekke. ....	193
Figur 4.3.7. Figuren nedbør med 200 års gjentakintervall, klimafaktor på 1.6, med grunnvannsstrømning. Grunnen har en hydraulisk ledningsevne, K-verdi, på 1 mm/t. ....	194
Figur 4.3.8. Figuren nedbør med 200 års gjentakintervall, klimafaktor på 1.6, med grunnvannsstrømning. Grunnen har en hydraulisk ledningsevne, K-verdi, på 10 mm/t. ....	194
Figur 4.3.9. Figuren nedbør med 200 års gjentakintervall, klimafaktor på 1.6, med grunnvannsstrømning. Grunnen har en hydraulisk ledningsevne, K-verdi, på 100 mm/t. ...	195
Figur 4.3.10. Figuren nedbør med 200 års gjentakintervall, klimafaktor på 1.6, med grunnvannsstrømning. Grunnen har en hydraulisk ledningsevne, K-verdi, på 100 mm/t. ...	195
Figur 4.3.11. Figuren viser grunnvannsnivå ved nedbør med 200 års gjentakintervall, klimafaktor på 1.6 og ulik hydraulisk ledningsevne i grunnen.....	196
Figur 4.4.1. Figuren viser et utsnitt over det areal som det er tatt utgangspunkt i ved gjennomføringen av følsomhetsanalysen.....	197
Figur 4.4.2. Figuren viser de ulike LOD-tiltakene som er modellert i SWMM med utgangspunkt i kvartal A8 i havneparken.....	197
Figur 4.4.3. Figuren viser avrenningen fra feltet med impermeabel overflate. ....	198
Figur 4.4.4. Figuren viser avrenningen fra feltet med permeabel overflate. ....	199
Figur 4.4.5. Figuren viser avrenningen fra feltet med grønt ekstensivt tak. ....	200
Figur 4.4.6. Figuren viser avrenningen fra feltet med grønt intensivt tak. ....	201
Figur 4.4.7. Figuren viser avrenningen fra feltet med permeabelt dekke uten drenering....	202
Figur 4.4.8. Figuren viser avrenningen fra feltet med permeabelt dekke med drenering. ...	203
Figur 4.4.9. Figuren viser avrenningen fra feltet med Bio-Retention Cell og uten tilhørende underdrenering. ....	204

Figur 4.4.10. Figuren viser avrenningen fra feltet med Bio-Retention Cell og tilhørende underdrenering. ....	205
Figur 4.4.11. Figuren viser avrenningen fra feltet med regnbed. ....	206
Figur 4.4.12. Figuren viser avrenningen fra feltet med vegetert forsenkning uten infiltrasjon. ....	207
<i>Figur 4.4.13. Figuren viser avrenningen fra feltet med vegetert forsenkning med infiltrasjon. ....</i>	<i>208</i>
Figur 4.4.14. Figuren viser avrenningen fra feltet med Bio-Retention Cell og uten tilhørende underdrenering. ....	209
Figur 4.4.15. Figuren viser avrenningen fra feltet med Bio-Retention Cell og med tilhørende underdrenering. ....	210
Figur 4.4.16. Figuren viser avrenningen fra feltet med regntønner. ....	211
Figur 4.4.17. Figuren viser avrenningen fra det impermeable feltet med ledninger og flomveg. ....	212
Figur 4.4.18. Figuren viser avrenningen fra det impermeable feltet med ulike typer LOD-tiltak uten infiltrasjon. ....	213
Figur 4.4.19. Figuren viser avrenningen fra det impermeable feltet med ulike typer LOD-tiltak med infiltrasjon. ....	214

## Tabelliste

Tabell 2.1.1. Tabellen viser eksempler på ulike LOD-tiltak og hvilken kategori de ulike tiltakene faller inn under (Thorolfsson, 2012). .....	26
Tabell 2.2.1. Initialtap (Geiger og Dorsch, 1980).....	34
Tabell 2.2.2. Infiltrasjonskapasitet i ulike jordarter (Bøyum, et al., 1997) .....	37
Tabell 2.2.3. Eksempler på initial infiltrasjon og overflateforhold (Bøyum, et al., 1997) .....	37
Tabell 2.2.4. Avsluttende infiltrasjon (Bøyum, et al., 1997).....	37
Tabell 2.2.5. Gropmagasineringsverdier (Bøyum, et al., 1997). .....	38
Tabell 2.2.6 Eksempler på porøsitet i ulike jordarter (Tollan, 2002). .....	41
Tabell 2.2.7. Eksempler på typiske verdier for effektiv porøsitet (Lindholm, et al., 2008). ....	41
Tabell 2.2.8. Ulike eksempler på permeabilitet. Basert på Bear, 1972 (Wikipedia, 2015).....	44
Tabell 2.2.9. Ulike eksempler på hydraulisk konduktivitet ((Wikipedia, 2015), basert på Bear, 1972).....	45
Tabell 2.2.10. Hydraulisk ledningsevne (K-verdier) for en del viktige jordarter (Fagerstrøm & Wiesel, 1972).....	49
Tabell 2.2.11. Manningstall for ulike overflate (Bøyum, et al., 1997). .....	63
Tabell 2.7.1. Avrenningskoeffisienter hentet fra Vann- og avløpsteknikk boken. (Mays 2001) .....	78
Tabell 2.7.2. Avrenningskoeffisienter er hentet fra de lokale normene for nordjæren.....	79
Tabell 2.7.3. Avrenningskoeffisienter er hentet fra Statens vegvesens håndbok N200 Vegbygging (Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2014). .....	79
Tabell 2.7.4. Avrenningskoeffisienter hentet fra NVE sin rapport Anvendt Urbanhydrologi (Bøyum, et al., 1997). .....	80
Tabell 2.9.1. Tabellen viser de ulike LOD-tiltakene og hvilke vertikale lag som er aktuelle for det enkelte LOD-tiltaket. Rundingene representerer valgfritt utløp/underdrenering til noen av tiltakene, tabellen er basert på tabell 3-1 i SWMM 5.0 (Rossmann, 2010).....	113
Tabell 4.1.1. Tabellen viser returperioder (år); Nedbørsum (mm). Tabellen er også hentet fra klima.no, med målinger basert på målestasjon 44730 Sandnes- Rovik i perioden 1974-2013 (30 sesonger), modifisert med farger for infiltrasjon, fordrøyning og flomveger av forfatter. ....	179

Tabell 4.1.2. Sikkerhetsklasser for byggverk i flomutsatt område, disse gjelder også for stormflo, TEK 10 § 7-2 (Miljøverndepartementet, 2008). .....	180
Tabell 4.1.3. Dimensjonerende gjentaksintervall fra Norsk Standard NS-EN 752 1997 (Lindholm, et al., 2008). .....	181
Tabell 4.1.4. Dimensjonerende gjentaksintervall fra Norsk Vann Rapport 162 (Lindholm, et al., 2008).....	181
Tabell 4.1.5. Tilpasset sammenstilling av dimensjonerende gjentaksintervall fra utredning om risikoakseptkriterier for overvannsflo og dimensjonerende nedbør (Rambøll, 2015).....	182



## Liste over forkortelser

BRC = Bio- Retention Cell

DiBK = Direktoratet for Byggkvalitet

DSB =Direktoratet for Sikkerhet og Beredskap

EPA = Environmental Protection Agency

FN = Forente Nasjoner

Inf = infiltrasjon

IPCC = Intergovernmental Panel of Climate Change

IVF = Intensitet / Varighet / Frekvens

K = hydraulisk konduktivitet

k = hydraulisk konduktivitet

$K_{sat}$  = saturated hydraulic conductivity

LID = Low Impact Development

LOD = Lokal Overvannsdiskonering

LOH = Lokal Overvannshåndtering

NGU = Norges Geologiske Undersøkelser

NMBU = Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet

NOU = Norges Offentlige Utredninger

NTNU = Norges Teknisk- Naturvitenskapelige Universitet

NVE = Norges Vassdrags- og Energidirektorat

RegCLIM = Regional Climate Development Under Global Warming

SR = Seepage Rate

Stor. Thickn. = Storage Thickness

SWMM = Storm Water Management Model

TEK10 = Teknisk Forskrift 2010

U.S.A = United States of America

USDA = United States Department of Agriculture

# 1 Del 1: Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Det har de siste årene blitt et økt fokus på å skape bærekraftige byer og bomiljø, siden stadig flere av oss bor i byer og urbane miljø. Sandnes var med i det landsomfattende samarbeidet «Fremtidens Byer», som hadde som formål å redusere klimautslipp og gjøre byene bedre å bo i. Et av resultatene til samarbeidet var verktøyet «blågrønn faktor», som skal bidra til å motivere eiendomutviklere til benytte blågrønne løsninger som på sikt vil kunne gi mer bærekraftige byer med parker, grøntområder, åpne vannveger, permanente vannspeil og så videre. Samtidig som klimaendringer fører til mer nedbør og høyere havnivå må det vurderes nye måter å håndtere overvannet på. Slike løsninger blir referert til som LOD-tiltak og har til formål å disponere overvannet lokalt. For å kunne planlegge slike LOD-tiltak og analysere virkningen av dem, er det nødvendig å forstå hvilke muligheter de representerer og hvordan den kvantitative effekten fra tiltakene kan analyseres og beregnes. Det er dette det er sett nærmere på i denne oppgaven gjennom bruk av datamodeller, samtidig som det er gitt en nærmere innføring i hvilke parametre som er aktuelle når tiltakene skal modelleres i SWMM og innspill til hvor disse parametrene kan finnes.

## 1.2 Formål

Formålet med oppgaven er å se hvilke muligheter som er tilgjengelige for å modellere LOD-tiltak i SWMM, se på nærmere på bruken av disse og hvordan disse kan benyttes i praktisk modellering ved planlegging av nye utbyggingsområder og utvikling av urbane transformasjonsområder.

Ut fra egeninteresse har det vært et mål å lære å bruke SWMM generelt og til planlegging av LOD-tiltak.

### 1.2.1 Spesifisert oppgave

1. Gjøre rede for aktuell teori for håndtering av overvann og teori relatert til LOD- tiltak og modellering av LOD- tiltak.
2. Gjøre rede for hvilke LOD-tiltak som er aktuelle i SWMM og gi en nærme beskrivelse av hvordan disse brukes og hvordan aktuelle inngangsparametre kan finnes.
3. Gjøre ulike beregninger og analyser med LOD-tiltakene i SWMM for se på effekten av tiltakene og hvordan ulike parametre virker inn på resultatet.

### 1.3 Urbanisering og transformasjon

Urbanisering har foregått i flere tusen år, men de siste hundre årene har urbanisering tiltatt med akselererende grad. Dette er en global trend og skaper store utfordringer for utformingen av dagens byer- og tettsteder når det gjelder arealbruk, transport, kommunale anlegg og klimatilpasning. Byer og tettsteder er i kontinuerlig dynamisk endring og utvikling for å tilpasse seg gjeldende behov dette skaper behovet for urban transformasjon. Dette er en komplisert prosess med mange hensyn å ivareta, som for eksempel historiske element, miljøet, estetikk, trafikk, infrastruktur, næringsliv, publikum, overordnede planer, retningslinjer og lovverk. For å kunne imøtekomme de ulike interessene er det viktig å ha en grunnleggende forståelse for hva som skaper de ulike behovene og hvordan man skal komme frem til de gode løsningene. For å få til dette er det viktig med godt samarbeid mellom de involverte interessene. Dette gjelder i høyeste grad når en skal tilpasse dagens byer og tettsteder til fremtidens klimautfordringer og transformere dagens byer til fremtiden blågrønne byer (Tonning & Langeland, 2008).

### 1.4 Fremtidens blågrønne byer, blågrønn faktor

«Fremtidens byer var et samarbeid mellom staten og de 13 største byen i landet for å redusere klimautslippene og gjøre byene bedre å bo i» (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2014). 80 % av befolkningen i Norge bor i byer og tettsteder, samtidig som byene står for 80 % av drivhusgassutslippene i verden. Ved å gjøre byene mer miljøvennlige vil utslippene reduseres, samtidig som miljøvennlige byer er bedre å bo i. Som et ledd i denne strategien vil det være et overordnet mål å bygge byen tettere for å redusere reiseavstander til arbeid og fritidsaktiviteter. Ved reduserte reiseavstander og et mindre antall biler kan en i større grad legge til rette for bedre gang- og sykkelveger, samt mer parker og grøntområder. Parkene og grøntområdene vil gjøre byene mer attraktive å bo i (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2014). Samtidig som de vil kunne ha åpne vannveger, gjerne med permanente vannspeil. Vannvegene vil kunne bidra til å håndtere

overvannet i byene ved intens korttids nedbør, dvs. kunne fungere som flomveger. «Framtidens byer» har i denne sammenhengen utviklet et verktøy for å sikre kvalitet i uterom, dette refereres til som «blågrønn faktor» (Kommunal- og moderniseringdepartementet, 2014).

«Blågrønn faktor er et verktøy som skal sikre forutsigbarhet for utbygger med hensyn til uterom når det gjelder vannhåndtering, vegetasjon og biodiversitet i byggesaksprosjekter» (Stange, et al., 2014). Ved å benytte denne metoden skal en kunne sikre at utbyggingsprosjektene får et forhåndsdefinert potensial for vekst og vannhåndtering i første omgang, samt at det oppfordres til bearbeiding/bevaring av terrenget og eksisterende vegetasjon der dette er et alternativ (Stange, et al., 2014). Kravet om en minimumsverdi for det forhåndsdefinerte potensialet må fastsettes i kommuneplanen eller overordnet reguleringsplan, basert på erfaringer fra andre områder (Stange, et al., 2014). Selve den «blågrønne faktoren» er beregnet brukt på byggesaksnivå. «Årsaken til dette er at utregningen av «blågrønn» faktor skal bygge på prosjektspesifikk kunnskap som for eksempel hvordan man har benyttet naturens egne fordrøynings- og rensemuligheter, stedegne planter og tekniske løsninger» (Stange, et al., 2014). Formålet med den «blågrønne faktoren» er å motivere eiendomsutviklere til å prioritere blågrønne løsninger som åpne overvannsløsninger, beplanting osv. Det er et verktøy med hensikt å kvantifisere bruk av blågrønne løsninger med et poengsystem, desto mer tiltakene bidrar til å fremme blågrønne kvaliteter desto høyere poengsum gir de enkelte tiltakene. Poengskalaen går fra 0 til 1, tiltak som åpne vannspeil og permeable flater gir mest poeng, mens tiltak som asfalt og andre impermeable flater gir lavest poeng (Stange, et al., 2014).

## 1.5 Kort om fordeler med LOD

Det er mange fordeler med lokal overvannsdistribusjon, LOD, noen er av mer opplagt karakter, mens andre kan være av kompleks karakter. LOD har som hovedformål å avlaste ledningsnettene nedstrøms og bidra til å opprettholde det hydrologiske kretsløpet.

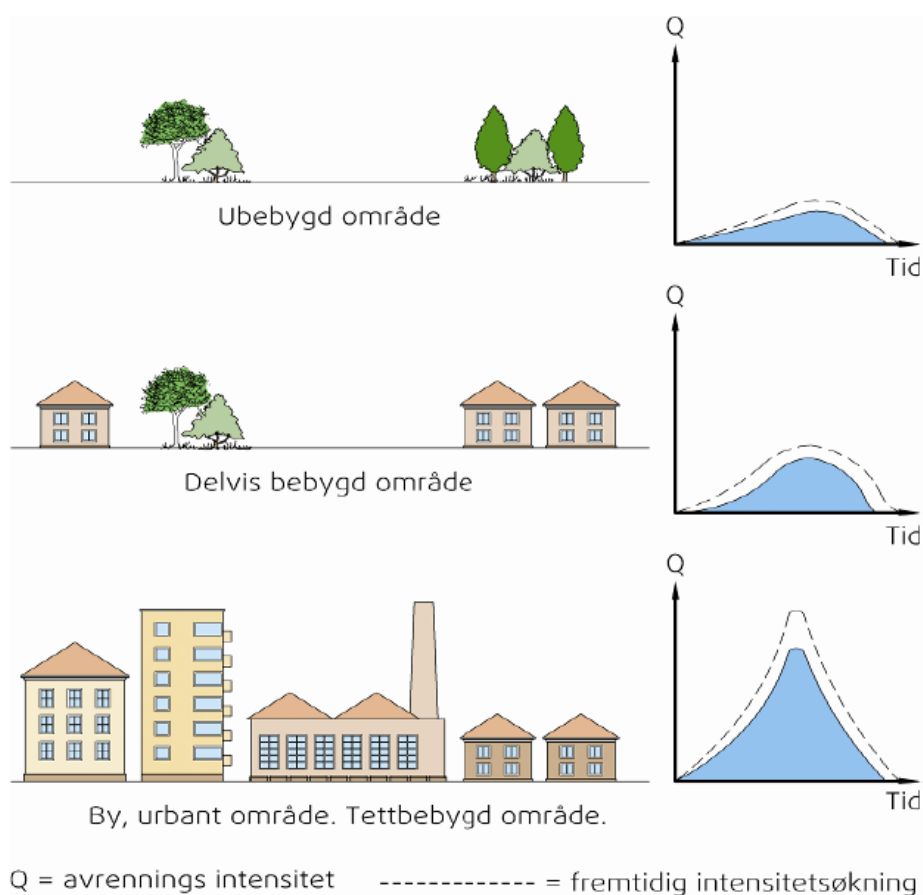
## 1.6 Dagens praksis med LOD

Tradisjonelt sett har det vært vanlig å fjerne alt overvann raskest mulig med omfattende rørsystemer. Det har de siste årene blitt et økende fokus på LOD, dette har sammenheng med de stadig mer fremskridende klimaendringene som har funnet sted og som antakelig vil fortsette den negative utviklingen i fremtiden. Dette har resultert i prosjekter som Augustenborg i Malmø og Fornebu som benytter blågrønne løsninger i stor utstrekning.

## 2 Del 2: Teori

### 2.1 Overvannshåndtering

Overvannshåndtering i urbane områder har til formål å håndtere vannet slik at det ikke er til skade eller ulempe for mennesker, dyr eller miljøet for øvrig. Urbane områder har tradisjonelt hatt en stor andel tette flater og tette flater gir rask avrenning av regnvann. Trenden er økende urbanisering og igjen mer tette flater og mer overvann. Urbaniseringen representerer radikale inngrep i vannets kretsløp, da en fjerner vegetasjon, infiltrasjonsmuligheter, redusert overflatemagasiner, men først og fremst etablering av tette flater som resulterer i større volum og raskere avrenning (Thorolfsson, 2012).

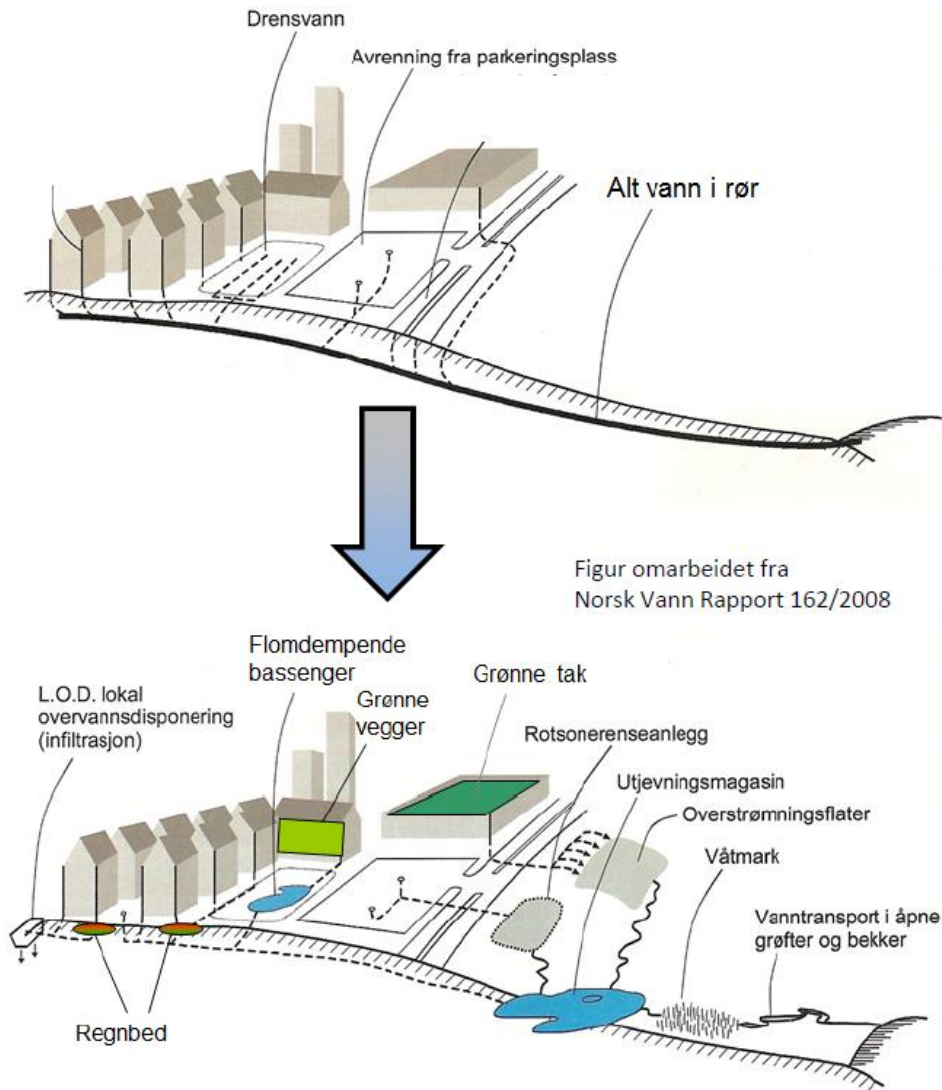


Figur 2.1.1. Viser hvilken virkning urbanisering har på et område med hensyn til volum og avrenningshastighet (Thorolfsson, 2012).

Tradisjonell praksis for håndtering av overvannet har vært å transportere vannet bort raskest mulig, ofte i rør under bakken. Noe som ofte medfører store dimensjoner på ledningene. Dette har ført til at rørsystemer, naturlige vannveier og vassdrag ofte har blitt overbelastet, både med tanke på hydraulisk kapasitet og forurensningsmengder. Belastningen har blitt større og større desto lenger ned i et overvannssystem en kommer, og noen steder har dette resultert i store utfordringer både for livet i og rundt resipienten og myndighetene som har i oppgave å forvalte ressursene på en bærekraftig måte med hensyn til stedets innbyggere og fremtidige generasjoner. Dette kan være utfordringer knyttet til skittent vann, erosjon, jordras, utslipp fra overløp, redusert grunnvannstanden, overvannsforurensninger som tungmetaller, organiske mikroforurensninger og mikroorganismer (Thorolfsson, 2012).

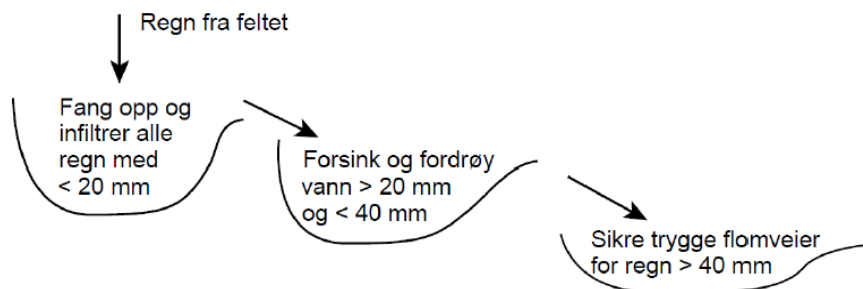
For at vi skal kunne forvalte overvannet på en bærekraftig måte og som en potensiell ressurs vil det beste være å se på hvordan naturen selv håndterer overvannet og om mulig prøve å etterligne disse mekanismene så langt det er mulig. I stedet for å fjerne vannet fra det naturlige kretsløpet og videreføre dagens praksis med et system som er følsomt for kapasitetsproblemer ved flom og har liten tilbakeholdelse av forurensninger (Lindholm, et al., 2008).





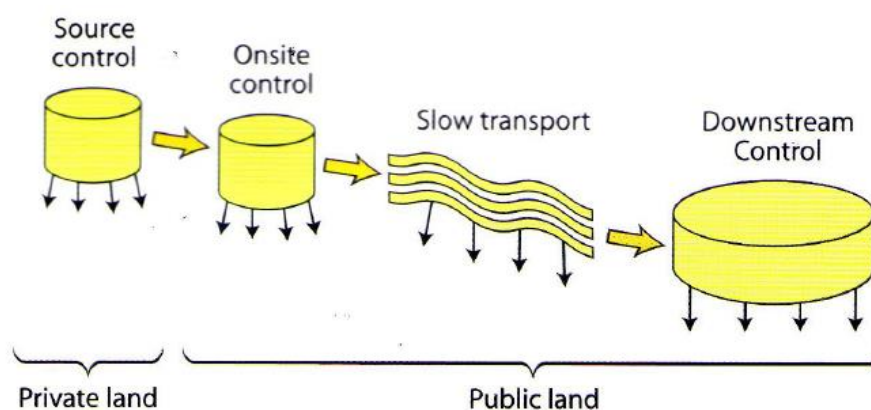
Figur 2.1.2. Viser hvordan en kan håndtere overvannet på en bærekraftig måte ved å bruke eller etterligne naturens egne mekanismer (Paus, 2015).

Ved å benytte ulike tiltak, som vist på Figur 2.1.2, for å forsinke og utjevne avrenningen av overvannet prøver en å etterligne naturens egne mekanismer for hvordan overvannet ble håndtert i utgangspunktet av naturen selv (Lindholm, et al., 2008). Ikke bare vil disse metodene være mer bærekraftige med hensyn til hydraulisk kapasitet, flere av metodene vil også bidra til å rense vannet slik at det igjen blir en ressurs som kan trygt kan benyttes til rekreasjon og vanning. Ved å gjøre vannet til en ressurs kan en ha som «mål å nyttiggjøre seg den verdien vannet har både miljømessig, økonomisk, estetisk, pedagogisk og økologisk» (Thorolfsson, 2012).



Figur 2.1.3. Treleddstrategi for håndtering av overvann (Lindholm, et al., 2008)

De ulike tiltakene har ulike funksjoner, disse kan i hovedsak deles inn i fire kategorier.



Figur 2.1.4. Illustrerer de fire ulike kategoriene til diverse tiltak for bærekraftig overvannshåndtering (Stahre, 2006).

Først ønsker en å fange opp alle mindre regn ved hjelp av småskala anlegg på privat grunn (LOD). Dette kan være grønne tak, regnbed (rain gardens), infiltrasjon på plen, permeable dekker, infiltrasjon i steinfyllinger eller plastkassetter (perkolasjon), lokale dammer og oppsamling av takvann. Dette kalles kildekontroll (Thorolfsson, 2012).

I neste trinn har vi kontroll på offentlig grunn som er flere småskala anlegg for åpen overvannshåndtering. Dette trinnet er i avløpsfeltets øvre del og i kommunens regi. Slike tiltak kan være permeable dekker, infiltrasjonsgrøfter, temporær oversvømmelse på spesielle overflater, dammer, regnbed/filterbed (bioretention). Dette kalles områdekontroll (Thorolfsson, 2012).

Videre har vi sakte transport på offentlig grunn, som innebærer vegeterte forsenkninger i terrenget, bekker, grøfter og kanaler. Dette kalles enkelt og greit sakte transport (Thorolfsson, 2012).

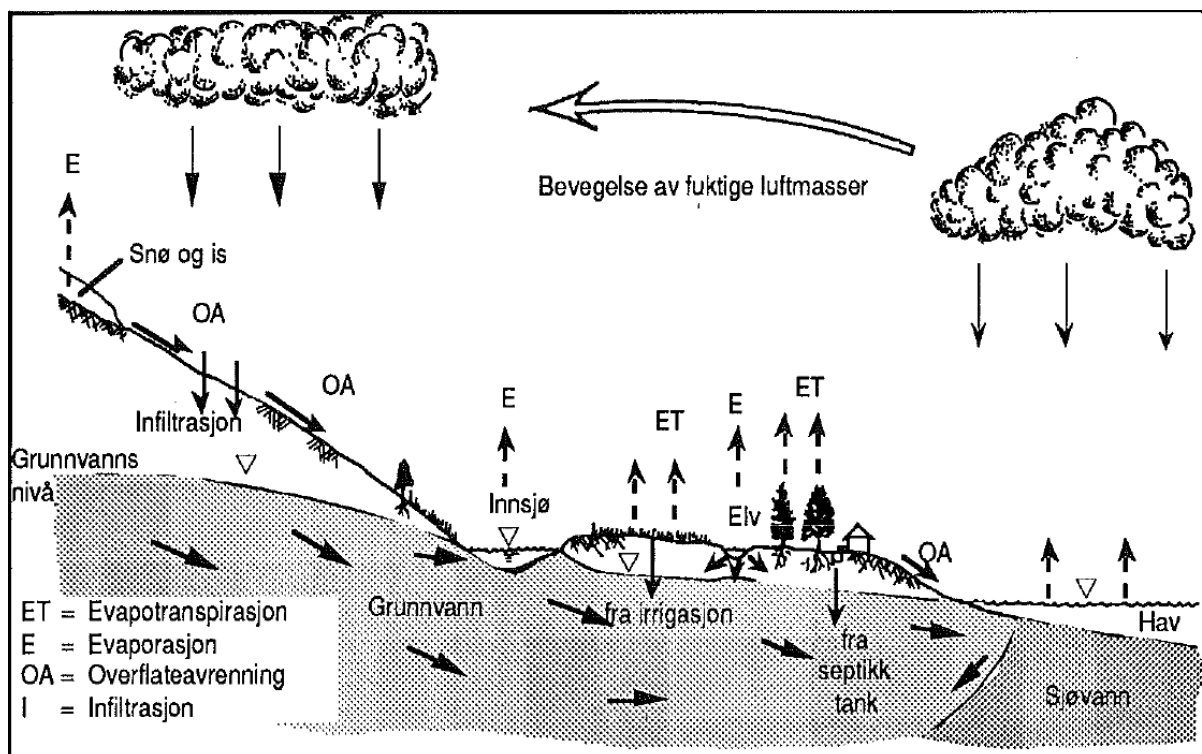
Til slutt har vi nedstrøms kontroll på offentlig grunn som består av større anlegg for midlertidig fordrøyning av overvannet i lavere deler av avløpsfeltet. Dette gjøres ved bruk av større dammer, våtmarker og innsjøer (Thorolfsson, 2012).

*Tabell 2.1.1. Tabellen viser eksempler på ulike LOD-tiltak og hvilken kategori de ulike tiltakene faller inn under (Thorolfsson, 2012).*

Kategori	Eksempel på teknisk utforming
Kildekontroll (privat grunn) LOD	Grønne tak
	Infiltrasjon på plen
	Permeable dekker
	Infiltrasjon i steinfyllinger (perkolasjon)
	Regnbed (Raingardens)
	Lokale dammer
	Oppsamling og resirkulering av avrenning fra tak, til vanning, toalett etc
Påstedet kontroll (offentlig grunn)	Regnbed (Raingardens – Bioretention Cells)
	Permeable dekker
	Infiltrasjonsgrøfter
	Midlertidig oversvømmelse på spesielle overflater
	Dammer
Sakte transport (offentlig grunn)	Vegeterte forsenkninger
	Bekker og grøfter
Nedstrøms kontroll (offentlig grunn)	Store dammer
	Våtmarker
	Innsjøer

## 2.2 Det hydrologiske kretsløpet. Terminologi – avklaring av ulike begrep

«Hydrologi er læren om vannets forekomst, egenskaper, kretsløp og vekselvirkning med omgivelsene» (Thorolfsson, 2012).



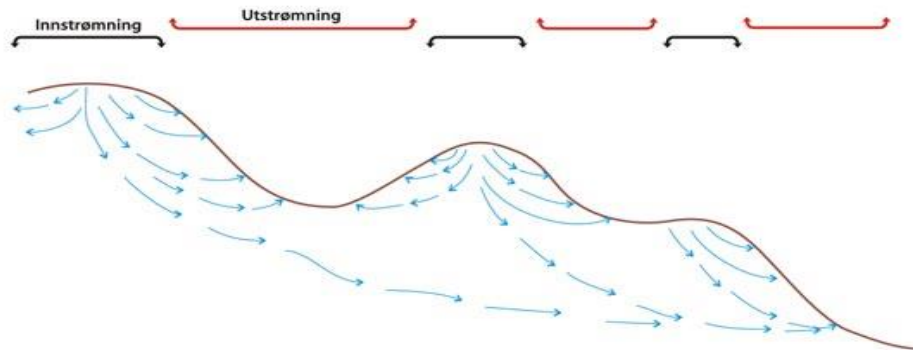
Figur 2.2.1. Skjematisk fremstilling av det hydrologiske kretsløpet (Bear, 1979).

### 2.2.1 Grunnvann

«Grunnvann er vann som helt fyller porer og hulrom i grunnen, med poretrykk like høyt eller høyere enn atmosfæretrykket» (NGU, 2006).

Grunnvannet er en meget viktig ressurs i store deler av verden, ofte er grunnvannet den viktigste eller eneste drikkevannskilden. I Norge benyttes som oftest overflatevann som drikkevannskilder, siden de som regel har relativt god kvalitet og kapasitet. På tross av at grunnvannet ikke har den samme status som ressurs i Norge, er det fortsatt viktig å forvalte grunnvannet som en viktig ressurs. Både med tanke på kapasitet og kvalitet. Grunnvannet kan være en potensiell drikkevannskilde, men først og fremst er det en viktig del av det

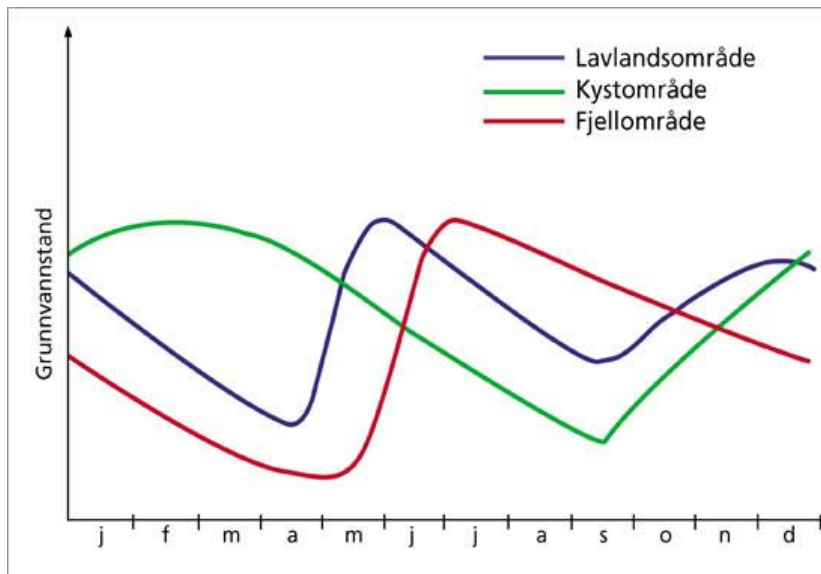
hydrologiske kretsløpet. Et eksempel på dette er hvordan grunnvannet kan forsyne elver med vann i tørrversperioder og hvordan grunnvannet kan avlaste elver når de flommer over. Dette er grunnen til at mange nordiske elver ikke tørker ut om sommeren (Englund & Haldorsen, 2001).



Figur 2.2.2. Grunnvannsstrømning fra høyere til lavere trykknivå med innstrømnings og utstrømningsområder figur av Grip & Rodhe, 1988 (NGU, 2006).

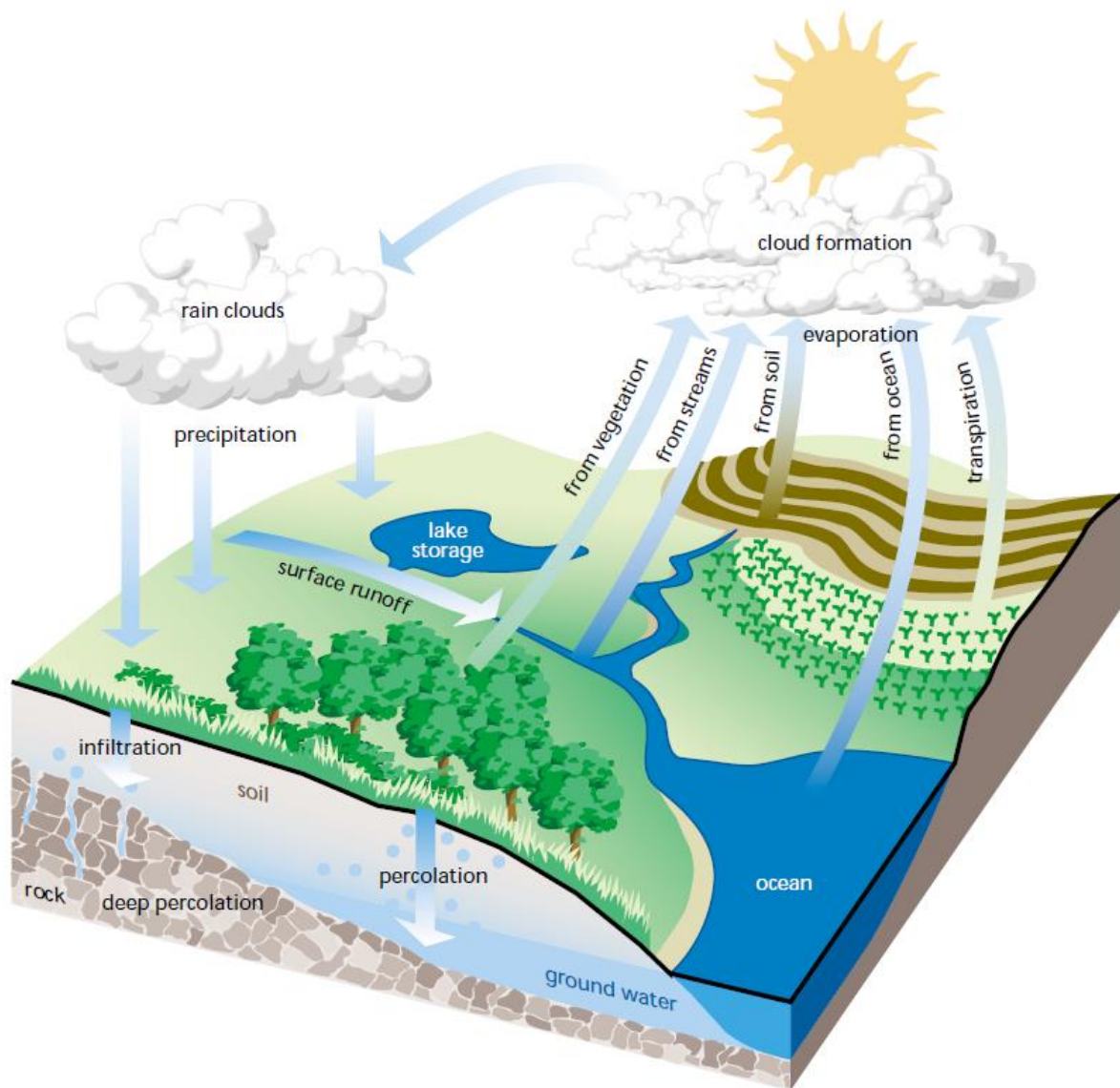
Ved å redusere tilførselen av grunnvann kan en også få setningsskader på konstruksjoner og i annen infrastruktur. Slike setningsskader kan være meget kostbare å utbedre, dersom det i det hele tatt er mulig (Thorolfsson, 2012). Det finnes flere eksempler på områder som har blitt utbygd med effektiv bortledning av overvann fra tak og gater, samt drenering av veger og bygninger, hvor veier og bygninger har fått omfattende setningsskader.

Det vil alltid være naturlige variasjoner i grunnvannstanden, avhengig av årstid og årsnedbør (Englund & Haldorsen, 2001). Dette er illustrert på figuren under, grunnvannstanden på Vestlandet vil i utgangspunktet følge den grønne linjen.



Figur 2.2.3. Figuren viser typiske variasjoner i grunnvannsstanden i ulike deler av Norge, gjennom året. De forskjellige trendene viser hvordan de naturlige variasjonene er avhengig av både klima og geografisk beliggenhet figur av Lars A. Kirkhusmo (NGU, 2006).

Det finnes også kortvariasjoner i grunnvannsstanden. En økning i grunnvannstanden kan skyldes intens nedbør der hvor vannet lar seg infiltrere, mens en senkning av grunnvannet kan skyldes evapotranspirasjon hvor grunnvannet vanligvis står høyt og grunnen er dekket av vegetasjon. Grunnvann som er direkte forbundet med vassdrag vil som nevnt kunne fluktuere med disse, men det samme vil gjelde for grunnvann som er i direkte forbindelse med havet. Her vil vannstanden i havet på grunn av flo og fjære kunne påvirke grunnvannstanden uten forsinkelse, det samme gjelder for lufttrykket (Englund & Haldorsen, 2001). Et redusert lufttrykk vil kunne heve grunnvannstanden, akkurat som redusert lufttrykk vil kunne heve havnivået ved stormflo. Dette kan også være en uheldig kombinasjon for infiltrasjonsanlegg som ligger over grunnvann som er i forbindelse med havet.



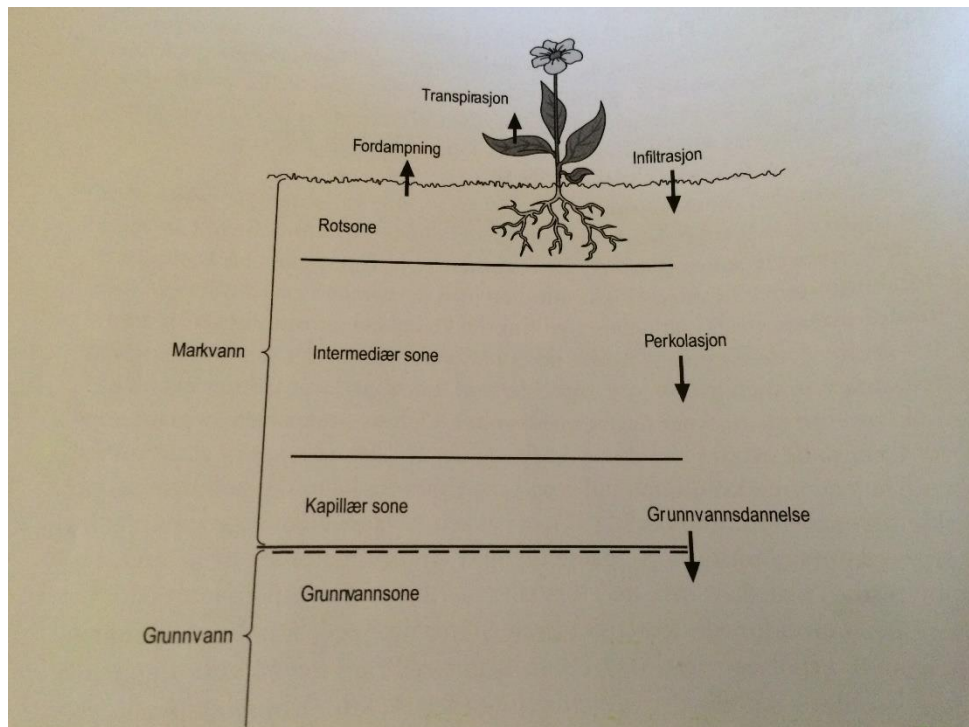
Figur 2.2.4. Det hydrologiske kretsløpet (The Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 1998).

## 2.2.2 Markvann

«Markvann er vann i umettet sone» (NGU, 2006).

Markvann er vannet i sonen over grunnvannet, markvannssonen. Markvannet i den umettete sonen vil ha mindre væsketrykk en grunnvannet som har atmosfærisk trykk. Markvannssonen inkluderer rotsonen, synkevannssonen (intermediær sone) og kapillær sone. Etter at vannet har infiltrert gjennom overflaten og rotsonen vil det perkolere gjennom

synkevannsonen (intermediær sone) som følge av gravitasjonen ned til grunnvannet (Englund & Haldorsen, 2001). Det er tykkelsen på markvannssonen som avgjør hvor lang tid det tar før infiltrert vann når grunnvannet. Markvannssonen vil i utgangspunktet alltid inneholde noe vann (fuktighet) som følge av kapillærkrefter, feltkapasiteten. Hvor mye vil avhenge av massene i grunnen og egenskapene de respektive massene har med tanke på kapillaritet og feltkapasitet. Det er først når feltkapasiteten er overskredet at det infiltrerte vannet kan perkolere ned til grunnvannet ved hjelp av gravitasjonskreftene (Tollan, 2002).



Figur 2.2.5. Figuren viser sammenhengen mellom nedbør og grunnvann (Tollan, 2002).

Det er i den umetta markvannssonen de viktige renseprosessene foregår når en bruker naturbaserte renseløsninger, både ved desentraliserte renselanlegg for avløp og ved rensing av overvann. I rotsonen foregår det en rekke kjemiske, biokjemiske og biologiske renseprosesser, mens det i synkevannssonen først og fremst er kjemiske prosesser som foregår. Det er renseprosessene i rotsonen som er viktigst ved rensing av overvann i regnbed, våtmarker og lignende, da plantene er et viktig element i renseprosessen. Det er

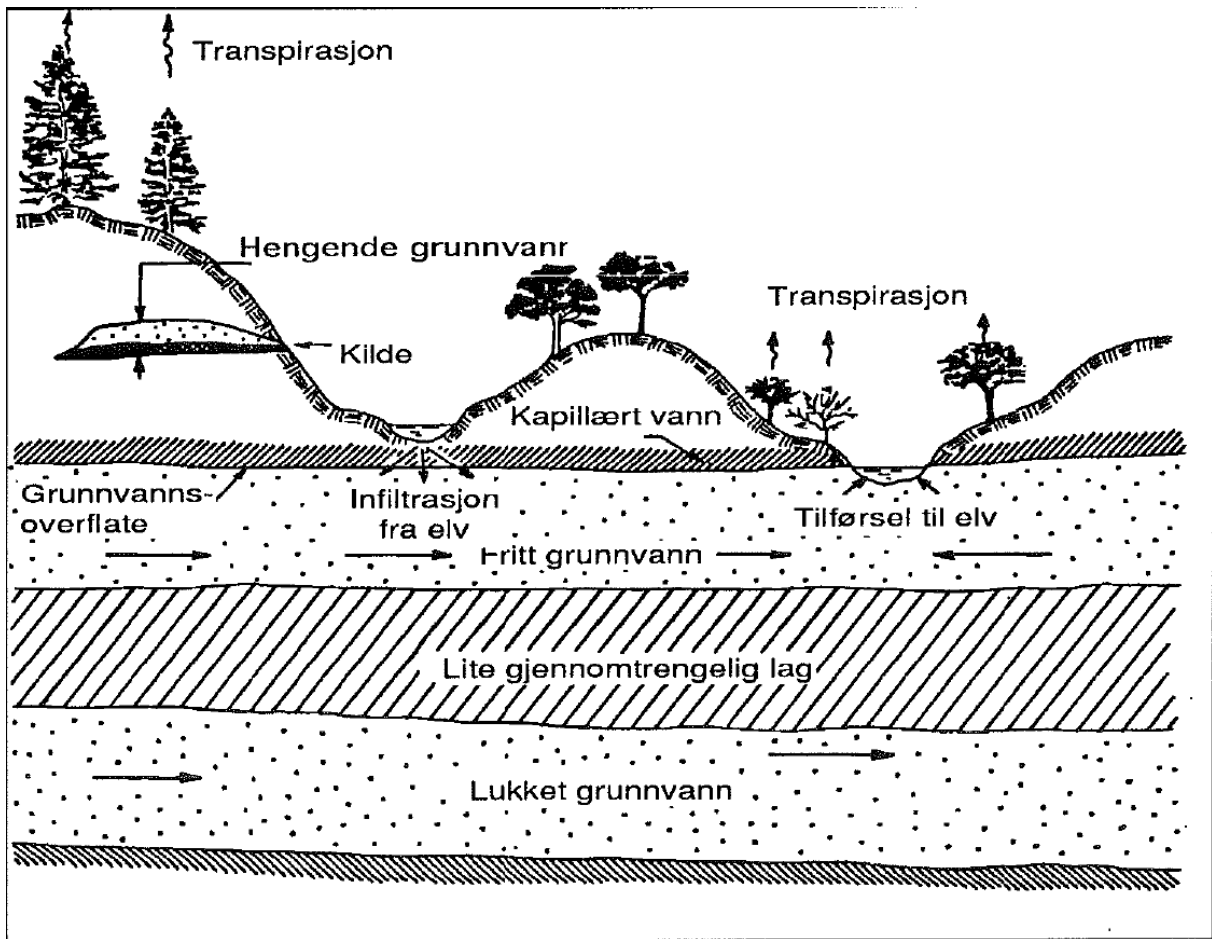


også viktig at infiltrasjonskapasiteten ikke er for stor dersom en ønsker å benytte seg av de naturlige rensesprosessene, spesielt ved avløpsrensing, ellers vil ikke de tilsiktede reaksjonene få tid til å påvirke vannkvaliteten (Mæhlum, et al., 2010).

### 2.2.3 Akvifer

*«Én eller flere geologiske formasjoner med tilstrekkelig porøsitet og permeabilitet til at en betydelig mengde grunnvann kan strømme gjennom eller utvinnes (akvifer i dalbunn og esker)» (NGU, 2006).*

«En akvifer er en et sediment eller en bergart som egner seg for uttak av grunnvann i brønner» (Englund & Haldorsen, 2001) Grunnvannsmagasin og akvifer er ikke helt det samme, grunnvannsmagasin er et mer omfattende begrep som blir brukt i sammenhenger utover det som er relatert til grunnvannsuttak. Akviferer er først og fremst brukt som begrep om grunnvannsuttak, herunder drikkevannsuttak. Det finnes ulike typer akviferer, åpne, lukkede, selvmatende og infiltrasjonsakviferer. Åpne akviferer har atmosfærisk trykk og lukkede akviferer står under trykk. Akviferer blir etterfylt ved at vann perkolerer ned gjennom grunnen. Dette kan være regnvann, vann fra nærliggende innsjøer eller elver (Englund & Haldorsen, 2001).



Figur 2.2.6. Forskjellige typer akviferer kan forekomme innen et begrenset geografisk område. Lukkede akviferer kan ligge under en åpen, skilt fra det åpne ved et tett lag (Knutsson & Morfelt 1993).

## 2.2.4 Intersepsjon

De første regndråpene som faller ned under en nedbørsbyge vil fanges opp av vegetasjon i nedbørsfelt hvor denne er representert. Dette kalles intersepsjon. Under en nedbørsbyge øker denne proporsjonalt med nedbøren til blader på trær, busker og planter er mettet, da vil regnet begynne å falle videre ned til bakken. Under små nedbørsbyger kan alt regn fanges opp og i løpet av et helt år kan hele 20-25 prosent av årsnedbøren fanges opp. Regnet som fanges opp, intersepsjonen, fordamper fra overflaten, det vil si den evaporerer (Tollan, 2002). I urbane områder kan intersepsjonen økes ved å plante mer trær og vegetasjon generelt (Thorolfsson, 2012). Med andre ord vil en høy blågrønn faktor bidra til å kunne øke intersepsjonen betydelig. Nedenfor er det angitt en tabell hentet fra NVE sin rapport om

Anvendt Urbanhydrologi (Bøyum, et al., 1997), her vises eksempler på ulike verdier på initialtap.

Tabell 2.2.1. Initialtap (Geiger og Dorsch, 1980)

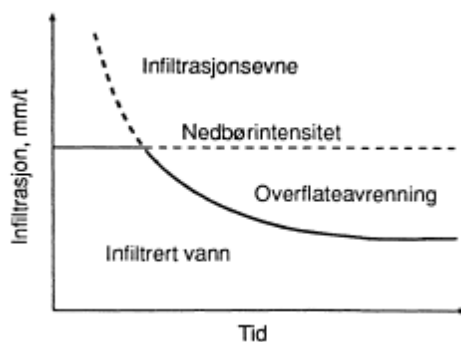
Overflatekarakteristikk	Initialtap (mm)
Tette flater	
Kommersielle områder	0,5-2,0
Boligområder	0,7-2,5
Industriområder	1,0-3,0
Permeable flater	
Åpne områder – udyrket mark	10
Åpne områder – dyrket mark	8
Lekeplasser	2
Park / grøntanlegg	5

### 2.2.5 Infiltrasjon

«Infiltrasjon er vannstrømning fra overflaten ned gjennom de øvre jordlag» (NGU, 2006).

Der er altså inntrengningen gjennom jordoverflaten som refereres til som infiltrasjon.

Infiltrasjon av vann er en viktig prosess i det naturlige hydrologiske kretsløpet. Når nye felt bygges ut med tette flater fjernes denne prosessen fra kretsløpet og overflateavrenningen øker (Thorolfsson, 2012).



Figur 2.2.7. Infiltrasjonsforløpet under konstant nedbørsintensitet (Bøyum, et al., 1997).

Det er infiltrasjonsprosessen som tilfører vann i form av nedbør til markvannsmagasinet og grunnvannsmagasinet. Det er anslått at markvannsmagasin i uberørte områder kan tilsvare halve årsnedbøren (Tollan, 2002). Det er som kjent markvannsmagasiner som igjen etterfyller grunnvannsmagasiner. Derfor viktig å legge til rette for infiltrasjon der hvor dette er mulig, for ivareta markvannsmagasiner og grunnvannsmagasiner. Desto lavere vannstanden i markvannsmagasinet er, desto større er den hydrauliske kapasiteten og desto lengre utsettes overflateavrenningen. Dette er illustrert i Figur 2.2.7, over. Det er grunnens egenskaper som er avgjørende for hvor mye som kan infiltreres, dette kan være avhengig av grunnvannsnivå, jordtype og lagdeling (hydraulisk ledningsevne), vegetasjon (røtter), sammenpakning og struktur, markfuktighet, frost, årstid, blader, helning på terreng (terrengutforming), vannets sammensetning og overflatens ruhet. For å bestemme grunnens infiltrasjonsevne kan en utføre fysiske infiltrasjonstester eller beregne infiltrasjonsevnen med infiltrasjonsligninger.

Fysiske infiltrasjonstester kan enten gjøres med et Modified Philip Dunne Infiltrometer i felt, ringinfiltrometer, marioettesylinder eller i laboratoriet. Det er også mulig å ta jordprøver for å analysere sammensetningen av disse og estimere infiltrasjonskapasiteten ut fra disse, ved hjelp av en teksturtrekant, infiltrasjonsdiagram eller Hazens formel (Endresen, 2009).

Dette er metoder som er tidkrevende og lite praktisk anvendelige, det er sjeldent en har mulighet til å utføre disse når en planlegger nye prosjekter. Dette vil først og fremst være mulig ved planlegging og utvikling av større prosjekter hvor en kan gå systematisk til verks og den økonomiske belastningen vil kunne forsvares opp mot risiko og prosjektets rammer for

øvrig. Derfor vil det som oftest være mest rasjonelt å beregne infiltrasjonsevnen ved å bruke Hortons ligning som ofte er den foretrukne ligningen i norske (Bøyum, et al., 1997).

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

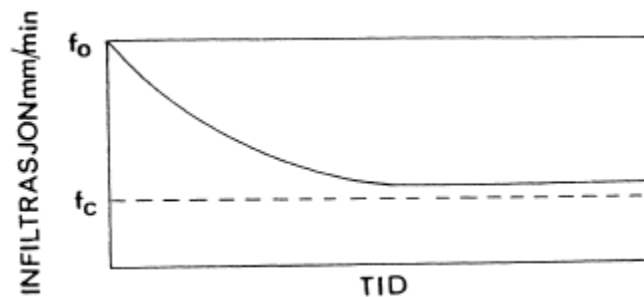
Hvor:

f er infiltrasjonshastigheten ved tid t (min)

$f_0$  er initialinfiltrasjonen (mm/min)

$f_c$  er avsluttende infiltrasjon (mm/min)

k er reduksjonsekspONENTEN (min)



Figur 2.2.8. Grafisk fremstilling av Hortons infiltrasjonslikning (Bøyum, et al., 1997).

De ulike faktorene kan estimeres ut fra tabeller som finnes i litteraturen. Eksempler på slike tabeller er vist nedenfor. Tabellene er hentet fra NVE sin rapport Anvendt Urbanhydrologi (Bøyum, et al., 1997). Det er også gitt eksempler på ulike infiltrasjonskapasiteter i brukermanualen til SWMM 5.0 (Rossmann, 2010). Infiltrasjonskapasiteten er også referert til som permeabiliteten, men da henvises det egentlig til den hydrauliske ledningsevnen/konduktiviteten.

Tabell 2.2.2. Infiltrasjonskapasitet i ulike jordarter (Bøyum, et al., 1997)

Masser	Infiltrasjon rent vann (mm/min)
Fin grus	280
Sandig grus	140
Grov sand	50
Middels sand	20
Fin sand	1,0
Grov silt	0,2
Grusig morene	0,17
Sandig morene	0,035

Tabell 2.2.3. Eksempler på initial infiltrasjon og overflateforhold (Bøyum, et al., 1997)

Forhold	$f_0$ (mm/min)	Kilde
Jordsmonn uten vegetasjon	0,27	Holtan 1967
Vegetasjonsdekte områder	1,95	Holtan 1967
Leire uten vegetasjon	0,60	Musgrave 1946
Sandjord med tett vegetasjon	1,80	Musgrave 1946

Tabell 2.2.4. Avsluttende infiltrasjon (Bøyum, et al., 1997)

Type	Jordsmonn $f_c$ (mm/min)	Kilde
Tung plastisk leire	0,021	Chow 1964
Sandblandet leire	0,021 – 0,064	Chow 1964
Sandjord	0,064 – 0,127	Chow 1964
Sand og silt	0,127 – 0,190	Chow 1964

## 2.2.6 Gropmagasinering

Når infiltrasjonskapasiteten til grunnen er mettet eller nedbørsintensiteten er så høy at den overstiger infiltrasjonsevnen til grunnen, vil det begynne å danne seg overflatevann. Dette overflatevannet vil fylle opp groper i terrenget, til å begynne med bare veldig små groper, men etter hvert vil det dannes vannpytter av varierende størrelser og til slutt vil overflatevannet begynne å renne ned mot bekker, elver og innsjøer som ligger lavere i terrenget. Gropmagasineringen er avhengig av faktorer som helning og type overflate. Gropmagasinering kan ha betydning når en betrakter mindre nedbørsfelt i urbane miljøer

(Thorolfsson, 2012). Nedenfor er det gjengitt en tabell med eksempler på gromagasinverdier fra NVE sin rapport *Anvendt Urbanhydrologi* (Bøyum, et al., 1997).

Tabell 2.2.5. Gromagasineringsverdier (Bøyum, et al., 1997).

Overflate	Gromagasin (mm)	Kilde
Tette flater		
Gjennomsnittlig overflatestruktur	1,5 – 2,0	Oecher (1967)
Små flater	1,5 – 2,8	Viessmann (1968)
Glatt overflate	0,5 – 0,7	Munz (1966)
Glatt asfalt	0,18	Pieper (1938)
Ru asfalt	0,52	Pieper (1938)
Betongdekke	0,35	Pieper (1938)
Ru betong	0,55	Pieper (1938)
Gatestein	1,0	Pieper (1938)
Flate tak	2,5 – 7,5	Pieper (1938)
Skrå tak	1,0 – 2,5	
Gjennomtrengelige flater		
Åpen leire	0,56-1,4	Horton (1939)
Leirjord med vegetasjon	0,7-0,8	
Leirjord med mye vegetasjon	2,5 - 4,0	Braun (1958)
Åpen siltholdig leire	2,0 - 3,0	Neal (1938)
Gressdekket siltholdig leire	1,0 - 2,5	Sharp & Holtan (1940)
Åpen siltholdig leire	3,0 - 4,0	Dvorak (1959)
Gressdekket leire/samholdig humusjord	1,9	Schumm (1940)
Delvis gressdekket leirholdig sand	3,3 - 4,6	Reinhold (1955)
Plen	5 - 12	
Trekledde områder og åpen mark	5,0 - 15,0	
Leire	2,5	Hicks (1944)
Sand	5,0	Hicks (1944)

## 2.2.7 Perkolasjon

Perkolasjon er transporten av vann gjennom den umetta sonen på grunn av tyngdekraften, og forekommer først når feltkapasiteten i markvannssonen overskrides (Tollan, 2002). Det er

viktig å skille perkolasjonen fra infiltrasjon som er vannets inntrenging gjennom overflaten, det hender ofte at perkolasjon blir forvekslet med infiltrasjon, dette er to forskjellige begrep og mekanismer. Det er fullt mulig å etablere et perkolasjonsmagasin uten infiltrasjon, men hvor vannet blir tilført perkolasjonsmagasinet gjennom sluker og ledninger. Hvor lang perkolasjonstiden er før vannet når den metta sonen, grunnvannet, kan varierer mye fra et perkolasjonsmagasin til et annet. Dette avhenger av dybden på den umetta sonen, markvannssonen, og hvilke egenskaper de respektive massene har. I sand kan perkolasjonen være over etter et par dager, mens i masser med lavere permeabilitet kan perkolasjonen foregå i flere uker (Tollan, 2002).

### 2.2.8 Porøsitet

Porøsitet omtales også som hulromsfaktoren, og angir forholdet mellom volumet av porer i jord- eller bergarten og det totale volumet. Dette kan for løsmasser uttrykkes matematisk slik (Englund & Haldorsen, 2001):

$$n = \frac{V_p}{V_{tot}}$$

Hvor:

$n$  er den totale porøsiteten

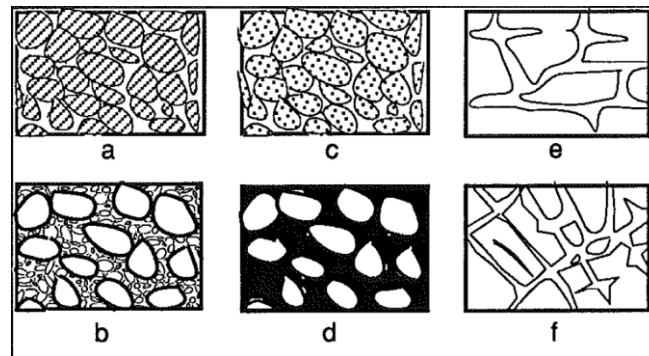
$V_p$  er sedimentets porevolum

$V_{tot}$  er sedimentets totalvolum

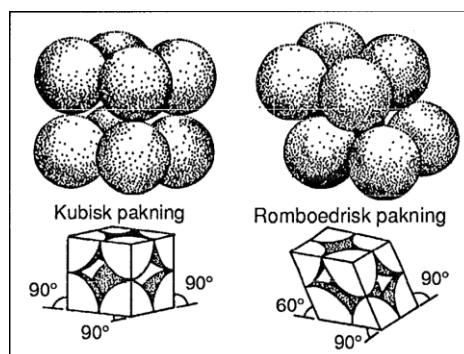
Dette,  $n$ , er en faktor som gir forholdet mellom totalvolumet og porevolumet, det er ikke effektiv porøsitet,  $n_e$ . Effektiv porøsitet er den delen av porene, eller hulrom, som vann kan strømme gjennom. Det vil si volumandelen som kan transportere vann, det drenerbare porevolumet. Det er viktig å skille mellom disse begrepene. Total porøsitet kan være stor uten at den effektive porøsiteten er av noe særlig betydning. Dette varierer etter hvilke egenskaper de enkelte løsmassene har. Det som har størst betydning er sorteringen, men



kornstørrelse, pakningsgrad, kornform og orientering av kornene spiller også inn (Englund & Haldorsen, 2001).



Figur 2.2.9. Ulike typer hulrom (Meizner, 1923).



Figur 2.2.10 Ulik pakning (Graton & Fraser, 1935).

Godt sorterte masser som sand og fingrus vil ha en stor effektiv porøsitet, mens usorterte masser kan ha like stor total porøsitet uten at den effektive porøsiteten er særlig høy. Dette er fordi de små kornene binder til seg vann adhesivt og skaper stor motstand mot gjennomstrømning (Englund & Haldorsen, 2001). Det er gitt noen eksempler på total porøsitet og effektiv porøsitet i tabellen under.

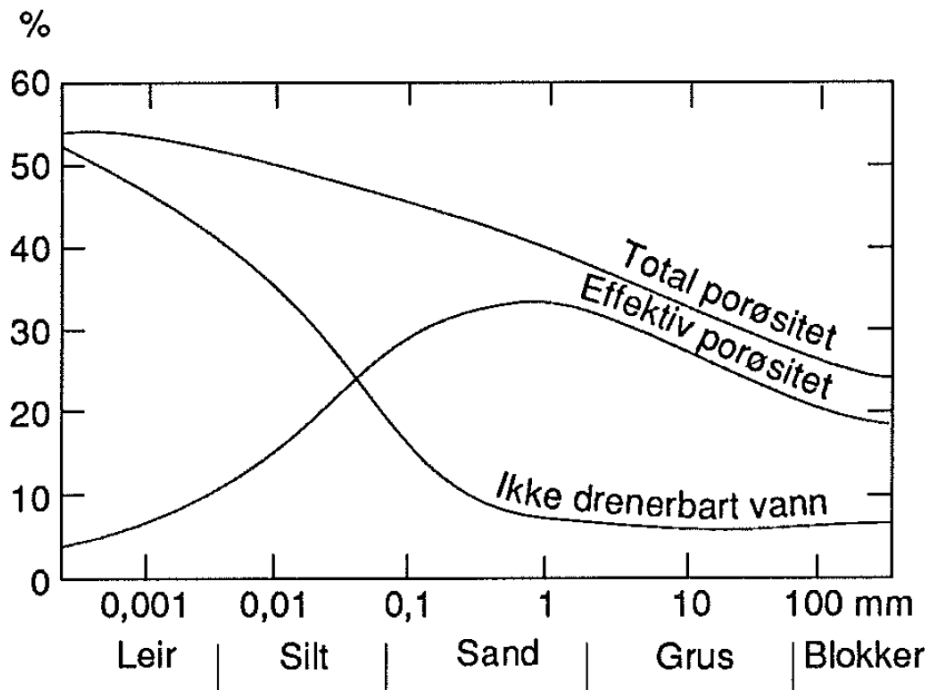
Tabell 2.2.6 Eksempler på porøsitet i ulike jordarter (Tollan, 2002).

Kornfraksjon, jordart	Total porøsitet, n, %	Effektiv porøsitet, $n_e$ , %
Grus	25 – 35	25 - 35
Sand	30 – 40	30 - 35
Morene	20 – 40	5 – 15
Leire	50 - 60	Ca. 1

Tabell 2.2.7. Eksempler på typiske verdier for effektiv porøsitet (Lindholm, et al., 2008).

Jordart	Effektiv porøsitet %
Steinfylling	30
Singel og pukk	40
Grus (2-20 mm)	30
Naturgrus (usortert)	15 – 25
Sand (0,06 – 2 mm)	25
Morene	0 – 10
Tørrskorpeleire	2 – 5
Leire og silt	0

På tross av at den effektive porøsiteten varierer stort i ulike typer løsmasser, er den totale porøsiteten tilnærmet av samme størrelsesorden og proporsjonalitet i forhold til hverandre, etter hvert som kornstørrelsen avtar i sorterte løsmasser. Dette er vist grafisk i Figur 2.2.11, her ser en også hvordan den effektive porøsiteten varierer i de sorterte massene.



Figur 2.2.11. Relasjon mellom midlere kornstørrelse og vannlagringsegenskaper i sedimenter. Basert på Davis & De Wiest, 1966, men modifisert av Englund & Haldorsen (Englund & Haldorsen, 2001).

Vanligvis benyttes  $n$  for total porøsitet og  $n_e$  for effektiv porøsitet i hydrogeologisk sammenheng, men  $\phi$  er også brukt noen steder.

Noen steder, som i SWMM, kan en det også være nødvendig å oppgi noe som kalles «void ratio» ved visse infiltrasjonsløsninger, som for eksempel permeable dekker. Void ratio er noe som vanligvis benyttes i betongindustrien i forbindelse med blandingsforhold til betong, direkte oversatt kan en si at void ratio betyr hulromsforholdet. Void ratio, VR, kan beregnes med følgende formel

$$VR = \frac{\varphi}{1-\varphi}$$

Hvor:

$\varphi$  er porøsiteten, det vil si den totale porøsiteten  $n$ .

På følgende måte kan også porøsiteten beregnes om VR er oppgitt.

$$\varphi = \frac{VR}{1+VR}$$

### 2.2.9 Permeabilitet

*«Mål på hvor lett en gass eller væske kan trenge gjennom et porøst medium. Avhenger kun av materialet, og kan uttrykkes som  $k = Nd^2$ , der  $N$  er et enhetsløst formtall og  $d$  er gjennomsnittlig porediameter, uttrykt som gjennomsnittlig kornstørrelse. Enhet  $cm^2$ » (NGU, 2006)*

Permeabiliteten beskriver hvor stor gjennomstrømningsevnen er i et materialet. For at et materialet skal være permeabelt, må det ha en viss effektiv porøsitet. Desto større effektiv porøsitet,  $n_e$ , et materiale har, desto mer permeabelt vil det i utgangspunktet være.

I prinsippet vil permeabiliteten for et sediment, og dermed den hydrauliske ledningsevnen, øke med økende kornstørrelse og sorteringsgrad (Englund & Haldorsen, 2001)

Det vil si at det ikke er noe sammenheng mellom total porøsitet og permeabilitet i et materiale eller sediment. Leire for eksempel, har et stort antall porer totalt, men er tilnærmet impermeabelt. Permeabiliteten gir uttrykk for hvor godt de vannførende hulrommene henger sammen, konnektiviteten, og egenskapen er uavhengig av væsken eller gassen som strømmer gjennom (Wikipedia, 2015).

Som en kan se av formelen til permeabilitet, tar den kun hensyn til form og porediameteren, porenes geometri, i materialet eller sedimentet som en beregner permeabiliteten til.

Dette gjør også at permeabiliteten ofte er større horisontalt enn vertikalt i grunnen, i Norge er dette vanlig i lagdelte løsmasser (Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2014).

Permeabiliteten uttrykkes med både liten k og stor K, og benevnes med kvadratcentimeter. Permeabilitet og permeabilitetskoeffisienten uttrykker ikke det samme, permeabilitetskoeffisienten er et annet uttrykk for hydraulisk ledningsevne/konduktivitet. I tabellen nedenfor er det gitt noen eksempler på permeabilitet.

Tabell 2.2.8. Ulike eksempler på permeabilitet. Basert på Bear, 1972 (Wikipedia, 2015).

Permeability	Pervious				Semi-Pervious					Impervious			
Unconsolidated Sand & Gravel	Well Sorted Gravel	Well Sorted Sand or Sand & Gravel			Very Fine Sand, Silt, Loess, Loam								
Unconsolidated Clay & Organic					Peat		Layered Clay			Unweathered Clay			
Consolidated Rocks	Highly Fractured Rocks				Oil Reservoir Rocks			Fresh Sandstone		Fresh Limestone, Dolomite		Fresh Granite	
$\kappa$ (cm <sup>2</sup> )	0.001	0.0001	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-13</sup>	10 <sup>-14</sup>	10 <sup>-15</sup>
$\kappa$ (millidarcy)	10 <sup>+8</sup>	10 <sup>+7</sup>	10 <sup>+6</sup>	10 <sup>+5</sup>	10,000	1,000	100	10	1	0.1	0.01	0.001	0.0001

## 2.2.10 Mettet Hydraulisk ledningsevne – Mettet Hydraulisk konduktivitet – $K_{sat}$ – Permeabilitetskoeffisienten - Proporsjonalitetsfaktoren

«Proporsjonalitetskonstant som relaterer vannstrømningsrate gjennom et medium til gradienten. Kalles også hydraulisk ledningsevne og avhenger av både vannets og mediets egenskaper» (NGU, 2006).

Tabell 2.2.9. Ulike eksempler på hydraulisk konduktivitet ((Wikipedia, 2015), basert på Bear, 1972).

$K$ (cm/s)	$10^2$	$10^1$	$10^0=1$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$
$K$ (ft/day)	$10^5$	10,000	1,000	100	10	1	0.1	0.01	0.001	0.0001	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$
Relative Permeability	Pervious			Semi-Pervious				Impervious					
Aquifer	Good				Poor				None				
Unconsolidated Sand & Gravel	Well Sorted Gravel	Well Sorted Sand or Sand & Gravel		Very Fine Sand, Silt, Loess, Loam									
Unconsolidated Clay & Organic				Peat	Layered Clay			Fat / Unweathered Clay					
Consolidated Rocks	Highly Fractured Rocks			Oil Reservoir Rocks		Fresh Sandstone		Fresh Limestone, Dolomite		Fresh Granite			

Det er viktig å påpeke at (mettet) hydraulisk ledningsevne, (mettet) hydraulisk konduktivitet, permeabilitet, permeabilitetskoeffisienten, proporsjonalitetsfaktoren og proporsjonalitetskonstanten brukes ofte i litteraturen fritt om hverandre uten noen nærmere definisjon, og benyttes i Darcys lov til å beregne gjennomsnittlig hastighet. Hydraulisk ledningsevne, hydraulisk konduktivitet, permeabilitetskoeffisienten proporsjonalitetsfaktoren og proporsjonalitetskonstanten er det samme og uttrykkes med stor  $K$ , eller  $K_{sat}$  i engelsk litteratur.  $K_{sat}$  er relatert til mettet strømming i grunnen, men det vil være rimelig å anta at dette også gjelder for  $K$ -verdiene som benyttes i norsk litteratur. I

motsetning til permeabiliteten, er hydraulisk ledningsevne også avhengig av væskens egenskaper, i tillegg til at materialet eller sedimentet er permeabelt.

Likningen under viser sammenhengen mellom hydraulisk ledningsevne,  $K$ , og permeabiliteten,  $k$ . Likningen er hentet fra (Wikipedia, 2013).

$$K = \frac{k \cdot \rho \cdot g}{\mu} \text{ (m/s)}$$

Hvor:

$K$  er hydraulisk ledningsevne

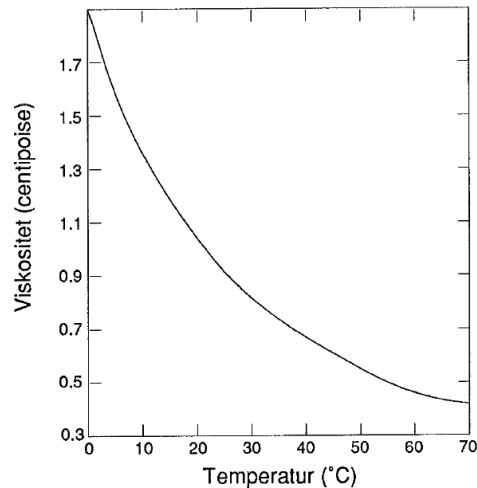
$k$  er permeabiliteten

$\rho$  er væskens tetthet

$g$  er tyngdeakselerasjonen

$\mu$  er væskens viskositet

Som en kan se av formelen ovenfor er den hydrauliske ledningsevnen avhengig av viskositeten og densiteten til væsken, og siden viskositeten og densiteten er avhengig av temperaturen, avhenger også den hydrauliske ledningsevnen av temperaturen. Vann har størst densitet ved fire grader celsius og viskositeten er størst når temperaturen på vannet når frysepunktet, endringen i viskositeten gjør at  $K$  øker med tre prosent for hver celsius grad temperaturen øker (Tollan, 2002), det vil si at den hydrauliske ledningsevnen reduseres med synkende temperaturer. Noe som fører til at temperert vann, for eksempel konvektiv sommernedbør vil ha en høyere hydraulisk ledningsevne og kunne infiltrere bedre en avkjølt regnvann om høsten.



Figur 2.2.12. Sammenhengen mellom viskositet og temperatur for rent vann. Hydraulisk ledningsevne er omvendt proporsjonal med viskositeten (Englund & Haldorsen, 2001).

Da det kan være vanskelig å ta hensyn til porenes geometri, blir permeabiliteten gjerne beregnet ut fra den hydrauliske ledningsevnen.

Det er hydraulisk ledningsevne,  $K$ , proporsjonalitetskonstanten som skal benyttes i Darcy's lov, på tross av denne kan forveksles med permeabiliteten. Darcy's lov gir oss gjennomsnittlig hastighet,  $q$ , gjennom et volum i en enkelt retning, også kalt endimensjonal strømning. Gjennomsnittlig hastighet,  $q$ , omtales også som spesifikk fluks, spesifikk gjennomstrømmende vannmengde og filterhastighet (Englund & Haldorsen, 2001).

$$q = K * I = K * \frac{(h_1 - h_2)}{L} \text{ (m/s)}$$

Hvor:

$q$  er gjennomsnittlig hastighet

$K$  er den hydrauliske ledningsevnen

$I$  er tilnærmet lik helningen på grunnvannsspeilet, potensialgradienten, den hydrauliske gradienten.

For å finne den virkelige strømningshastigheten er en nødt til å ta hensyn til den effektive porøsiteten,  $n_e$ .



$$v = \frac{q}{ne} \text{ (m/s)}$$

For å finne mengden vann som strømmer gjennom et gitt volum må en multiplisere spesifikk fluks med arealet som vannet strømmer gjennom.

$$Q = q * A = K * I * A = K * \frac{(h_1 - h_2)}{L} * A \text{ (m}^3\text{/s)}$$

Da kan vi også beregne den hydrauliske ledningsevnen, K:

$$K = Q * \frac{L}{A * (h_1 - h_2)}$$

Darcy's lov er kun anvendelig for vann med langsom strømning, fortrinnsvis laminær strømning, siden det skal være en lineær sammenheng mellom den spesifikke gjennomstrømmende vannmengden, q, og hydrauliske gradienten, I. Derfor kan som regel ikke Darcy's lov brukes til å beregne spesifikk fluks i oppsprukne bergarter, kilder og nær brønner. Her vil vannstrømmen være for turbulent (Englund & Haldorsen, 2001).

Hydraulisk ledningsevne kan altså finnes ved å bruke Darcy's lov, det vil si at en må gjøre infiltrasjonstester for å beregne K. Fysiske infiltrasjonstester kan enten gjøres med et Modified Philip Dunne Infiltrometer, ringinfiltrometer eller marioettesylinder i felt, forsøk kan også gjøres i laboratoriet.

Det er også mulig å ta jordprøver for å analysere sammensetningen av disse og estimere infiltrasjonskapasiteten ut fra disse, ved hjelp av en teksturtrekant, infiltrasjonsdiagram eller benytte Hazens formel.

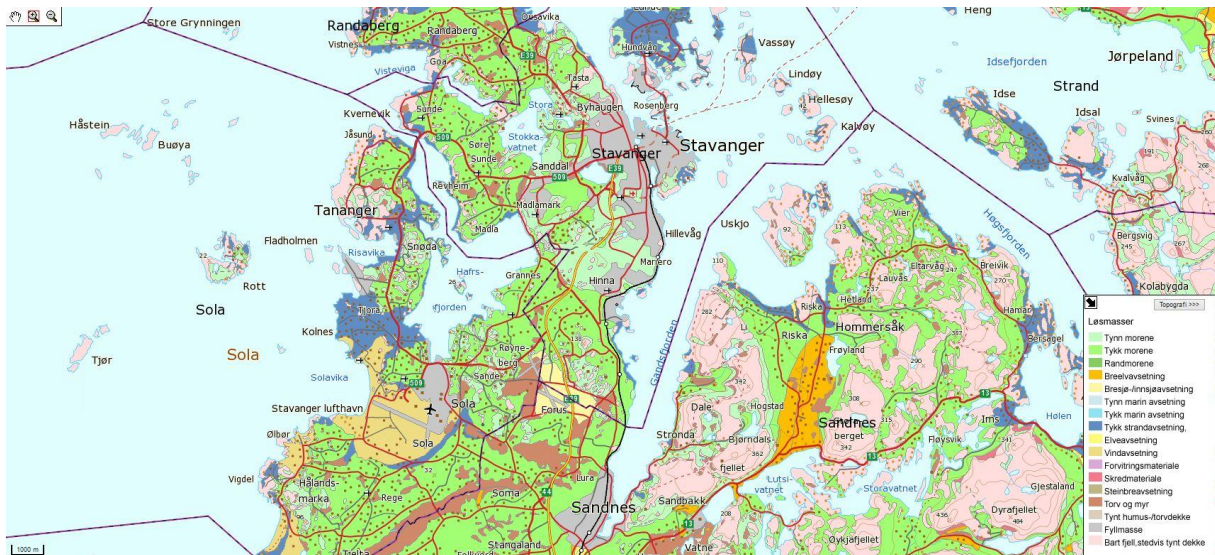
$$K = k * (d_{10})^2 = 0.01157 * d_{10}^2 \text{ (Endresen, 2009)}$$

Hazens formel forutsetter at jordarten har en kornfordelingen med en sortering hvor  $d_{60}/d_{10} < 5$ . Dersom  $d_{60}/d_{10} > 5$  bør ikke denne formelen brukes. Hvor  $d_{60}$  og  $d_{10}$  er effektiv korndiameter (Englund & Haldorsen, 2001).

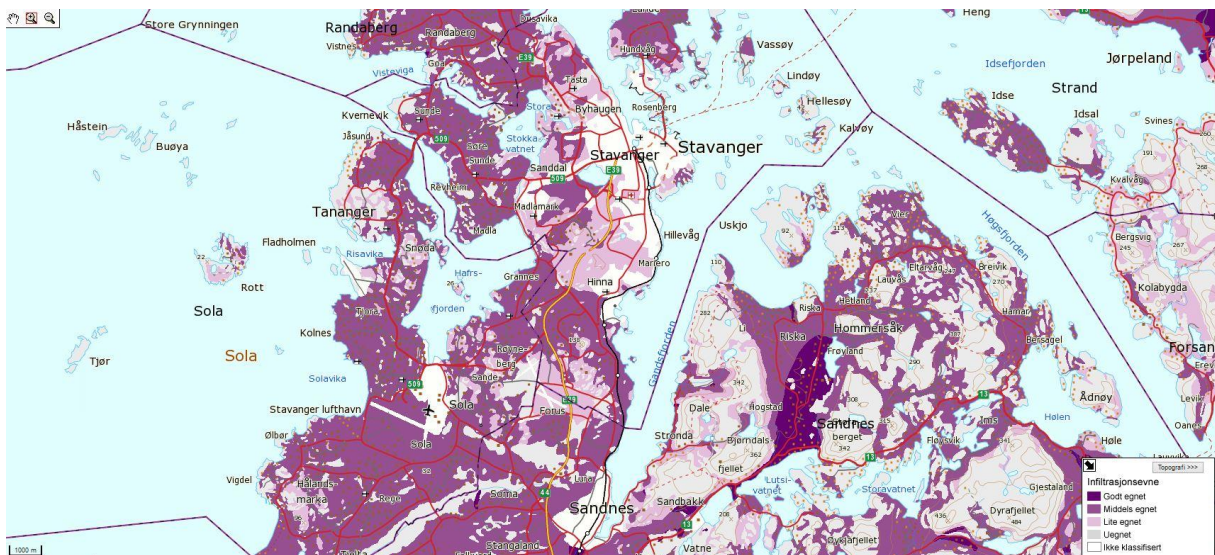
Det er sjelden en har mulighet til utføre verken infiltrasjonstester eller analysere jordarter når en skal utvikle og planlegge nye prosjekter. Da må en anta hvor stor den hydrauliske ledningsevnen er, denne må da velges ut fra hvilke masser en antar er i området som skal utvikles. Til å gjøre dette kan en benytte anbefalte K-verdier som finnes i ulik litteratur, basert på løsmassekart fra NGU, teksturtrekant, infiltrasjonsdiagram, lokal kunnskap og egen anleggsteknisk ingeniørkompetanse. Denne metodikken vil være noe spekulativ, men dette må veies opp med ved å være konservativ i valg og antagelser som gjøres. I Tabell 2.1.1 nedenfor (Englund & Haldorsen, 2001), er det gitt noen eksempler på K-verdier og deretter et utsnitt av to ulike løsmassekart.

Tabell 2.2.10. Hydraulisk ledningsevne (K-verdier) for en del viktige jordarter (Fagerstrøm & Wiesel, 1972).

JORDART	HYDRAULISK LEDNINGSEVNE, m/s
MORENE	
Grusig morene	$10^{-5} - 10^{-7}$
Sandig morene	$10^{-6} - 10^{-8}$
Siltig morene	$10^{-7} - 10^{-9}$
Leirholdig morene	$10^{-8} - 10^{-10}$
Moreneleire	$10^{-9} - 10^{-11}$
SORTERTE SEDIMENTER	
Fingrus	$10^{-1} - 10^{-3}$
Grovsand	$10^{-2} - 10^{-4}$
Mellomsand	$10^{-3} - 10^{-5}$
Finsand	$10^{-4} - 10^{-6}$
Grovsilt	$10^{-5} - 10^{-7}$
Mellomsilt	$10^{-7} - 10^{-9}$
Leire	$< 10^{-9}$



Figur 2.2.13. Løsmassekart for nord Jæren med beskrivelse av avsetningsmateriale (NGU, 2015).

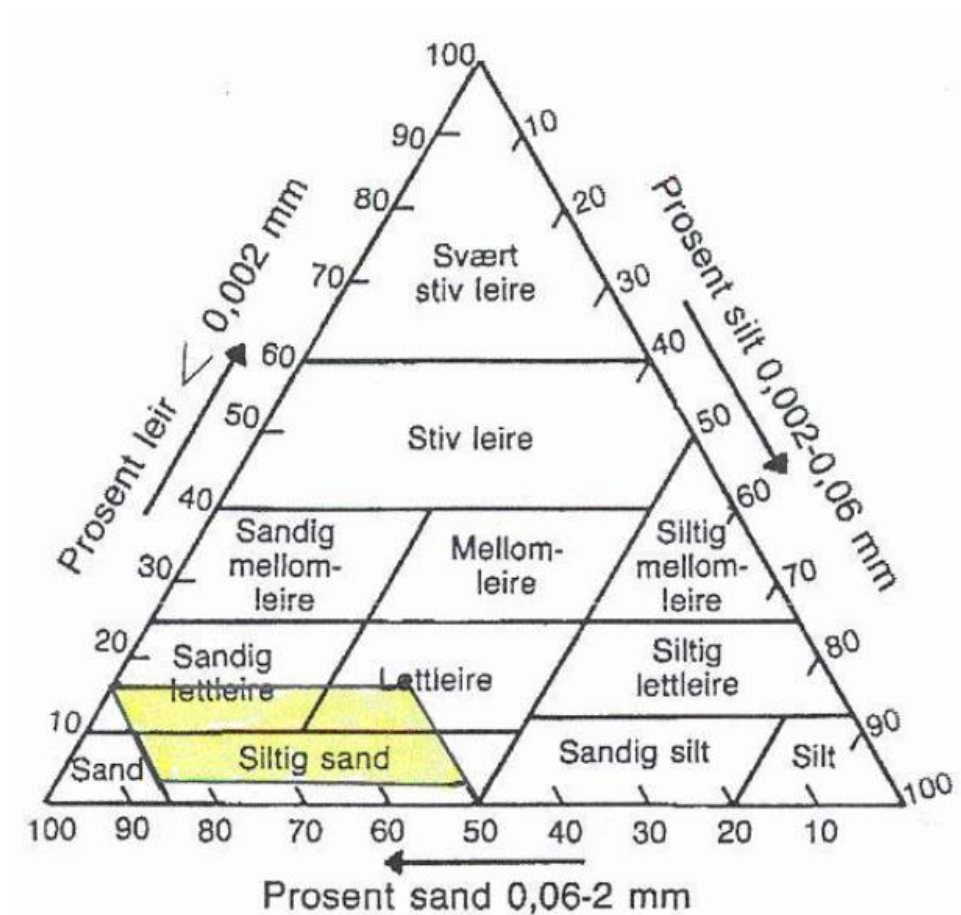


Figur 2.2.14. Løsmassekart for nord Jæren med beskrivelse av avsetningsmateriale (NGU, 2015).

Som en kan av løsmassekartene er store deler av Nord Jæren dekket av tykk morene med middels infiltrasjonsevne. Hvis en samtidig antar at K-verdier på  $10^{-8}$  og lavere er uegnet til infiltrasjon, mens K-verdier over  $10^{-8}$  og under  $10^{-5}$  er dårlig egnet til infiltrasjon vil dette være verdiene som gjelder for store deler av nord Jæren. Dette er masser som vil kunne infiltrere ca. 10 - 250 liter i døgnet per kvadratmeter.

Det er også vist noen eksempler på en teksturtrekant og et infiltrasjonsdiagram i det etterfølgende. I teksturtrekanten til Statens vegvesen er det markert et område for hva som

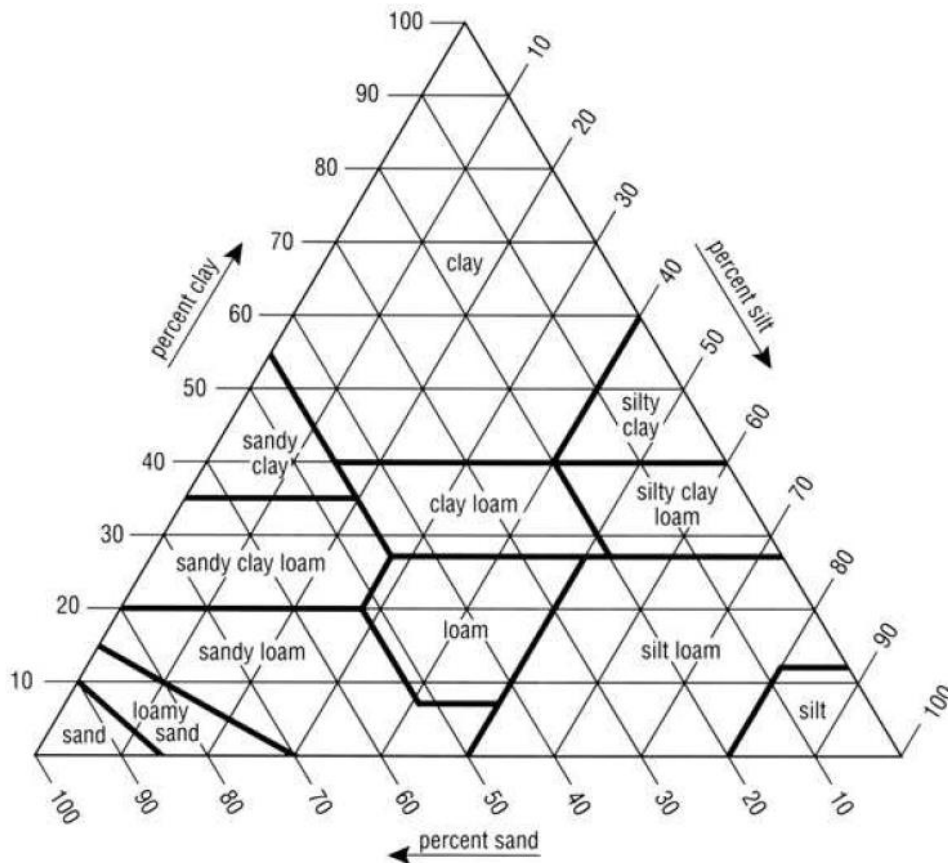
vil være anbefalt jordart dersom det skal masseutskiftes eller det må fylles ut på grunn av terrengendringer (Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2012). En vil også kunne få et visst bilde av hvor de ulike massene befinner seg i forhold til hverandre med hensyn til sammensetning og K-verdier.



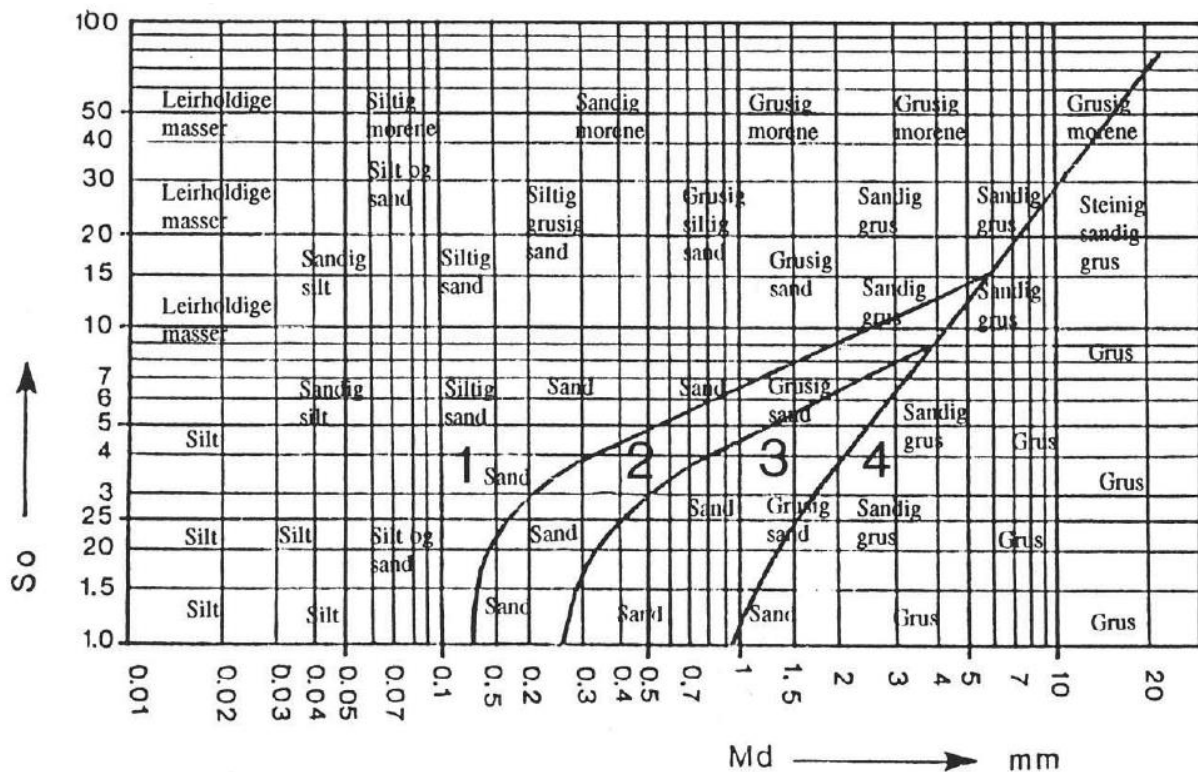
Figur 2.2.15. Teksturtrekant med anbefalt tekstur for anleggsgjord markert med skravert felt (Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2012).

I U.S.A blir det også brukt teksturtrekanter som beskriver sammensetningen av jorden. Disse samsvarer ikke helt med den norske teksturtrekanten i forhold til jordtyper, men kan gi et utgangspunkt for sammenligning. I statene benytter de betegnelsen loam om en jordart, dette kan en definere som en blandingsjordart. Grovt sett tilsvare loam lettleire i den norske teksturtrekanten. Ulike blandingsforhold gir ulike typer loam, men prinsippene er de samme. Det er fortsatt sand, leire og silt som er grunnlaget for betegnelsene. Det vil si at dersom en

vet hvor mye en har av hver jordart kan en lett finne hvilken blandingsjordart man har i begge teksturtrekantene. Om man ikke vet blandingsforholdet, men vet hvilken jordart man har, kan man også plassere den i den teksturtrekanten man ønsker å se hva denne tilsvarer i den andre teksturtrekanten.



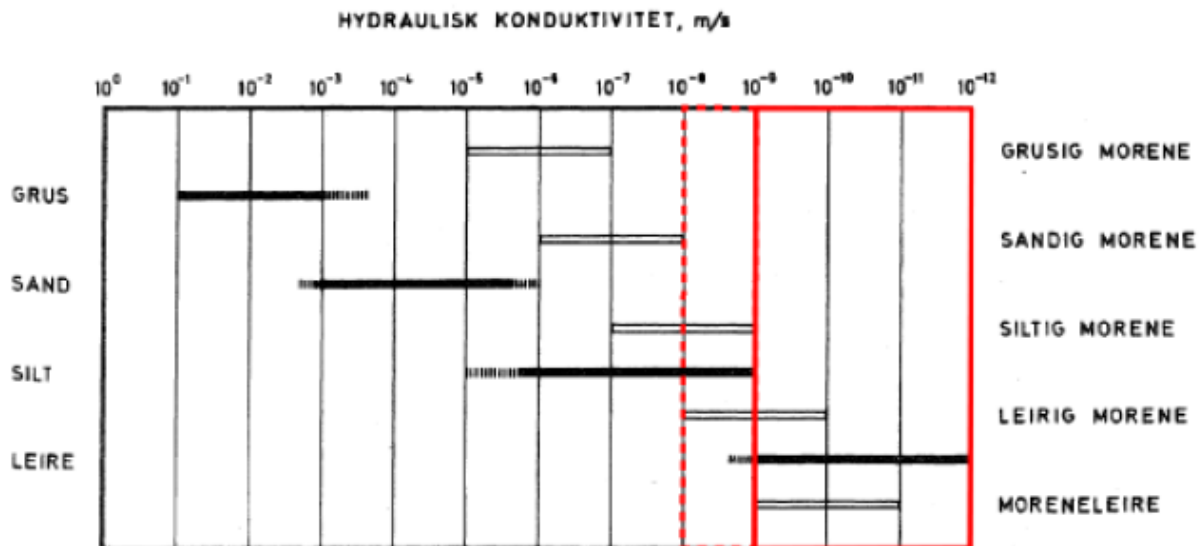
Figur 2.2.16. Figur viser en teksturtrekant som benyttes i U.S.A (USDA, 1993).



Figur 2.2.17. Beskrivelse av jordartene i infiltrasjonsdiagrammet (Mæhlum, et al., 2010).

Dersom de anbefalte jordartene som Statens vegvesen anbefaler benyttes, vil de grovt sett sammenfalle med K-verdiene som morenen på nord Jæren er antatt å ha. Dersom en vet en vil benytte seg av infiltrasjonsløsninger for å håndtere overvannet, kan det være hensiktsmessig å benytte grovere masser med høyere K-verdier. Benytter en jordarter med K-verdier høyere enn  $10^{-5}$  kan disse sies å ha god infiltrasjonsevne.

Dersom det skulle tas jordprøver og disse skulle vise seg å være i seksjon 3 og 4 i infiltrasjonsdiagrammet, vil disse da være egnet til infiltrasjon. Alle disse jordartene har en infiltrasjonsevne (K-verdi) på mer enn 10 cm/t, som er den anbefalte minsteverdi for infiltrasjonsevne i rotsonen (COWI, 2013). Dette vil ta hensyn til varierende forhold med hensyn til rotutvikling, sammenpakning, frost osv. Under rotsonen er 1,3 cm/t anbefalt minste verdi (Lindholm, et al., 2008), noe som grovt sett inkluderer ulike typer sand. Det er ikke mulig å infiltrere i leire da denne er å regne som tett, impermeabel for alle praktiske formål.



Figur 2.2.18. Diagrammet viser hydraulisk konduktivitet for ulike løsmassefraksjoner og morenetyper. (Dagestad, et al., 2003).

Avsetningene med lave verdier, merket med rødt, er tilnærmet impermeable og kan utgjøre en naturlig geologisk barriere i henhold til retningslinjene i EUs deponidirektiv (Dagestad, et al., 2003). Den stiplede røde linjen har også såpass lav hydraulisk konduktivitet at jordartene må unngås i forbindelse med infiltrasjon og perkolasjon

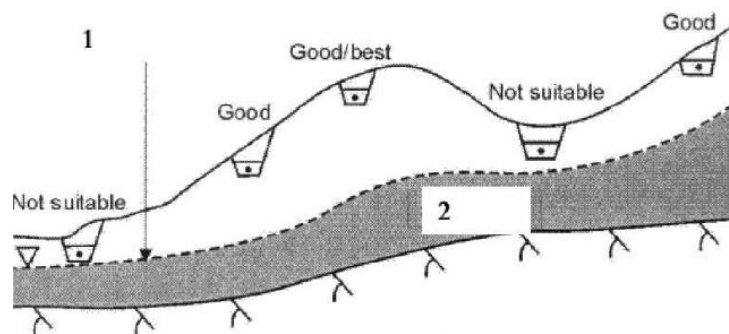
### 2.2.11 Hydraulisk kapasitet

Hydraulisk kapasitet kan uttrykkes i liter per døgn for et gitt areal og beskriver jordas infiltrasjonskapasitet (Mæhlum, et al., 2010), dette er ikke det samme som hydraulisk ledningsevne. Det kan være lett å forveksle hydraulisk kapasitet med hydraulisk ledningsevne/konduktivitet, men forskjellen er at hydraulisk kapasitet tar hensyn til jordartenes hydrauliske ledningsevne, høyden og bredden på den umetta sonen som kan disponeres til transport av vann, altså infiltrasjonstverrsnittet, grunnvannsnivå under infiltrasjonsarealet og helningen på grunnvannspeilet. Helningen på grunnvannspeilet følger

ofte terrenget i Norge siden jordartene er relativt tette, ofte morene med varierende innslag av silt og leire.

Det er anbefalt at det må være en umettet fri sone på minimum ca. 0,6 -1,5 m under infiltrasjonsanlegget ned til grunnvannet, for at det kan være forsvarlig å benytte seg av infiltrasjon og perkolasjon av overvannet. I tette jordarter som leire, silt og morene, vil grunnvannsnivået raskt stige 2,0 – 3,0 meter selv med en lav infiltrasjonsbelastning.

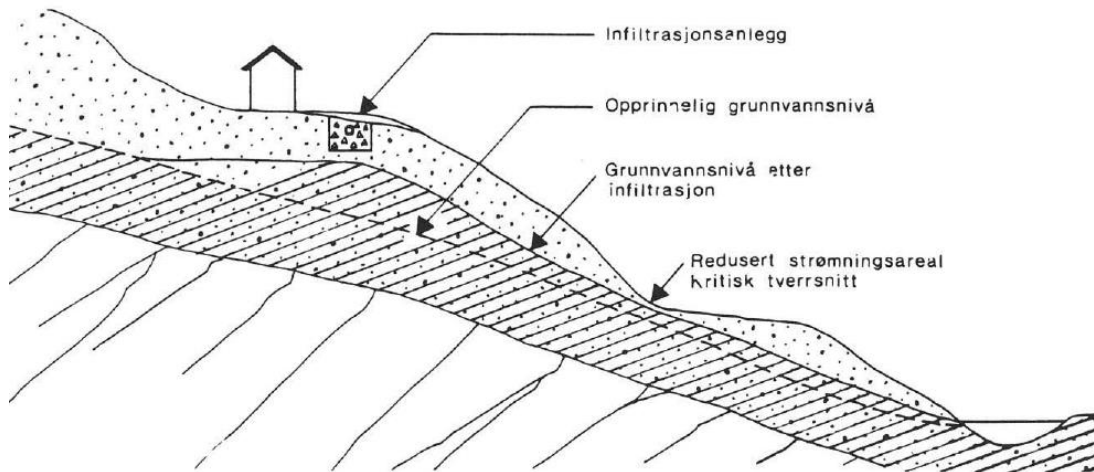
Dette betyr at dersom en skal installere et perkolasjonsmagasin med gode masser utformet som en steinkiste som er 2,0 m høy og toppen av magasinet er 1,5 m under bakken, så bør grunnvannsspeilet være ca. 5,0 m under bakken.



Figur 2.2.19. Plassering av perkolasjonsanlegg i forhold til topografi og grunnvannsnivå (Mæhlum, et al., 2010).

Hydraulisk kapasitet blir først og fremst beregnet ved prosjektering av desentraliserte avløpsrenseanlegg. Når en skal benytte infiltrasjon til rensing av avløp er det viktig at avstanden ned til grunnvannet aldri blir mindre enn 0,5 m, slik at avløpsvannet er tilstrekkelig rensert da det når grunnvannet. Det er også viktig å kontrollere kapasiteten nedstrøms anlegget, med tanke på fjell og tette jordarter, slik at en ikke risikere å få oppstuvning nedstrøms infiltrasjonsanlegget og vannutslag på overflaten (Mæhlum, et al., 2010).





Figur 2.2.20. Eksempel på heving av grunnvannsnivå som følge av infiltrasjon (Mæhlum, et al., 2010).

Dette er også faktorer som det er viktig å reflektere over når en skal infiltrere overvann. Selv om det ikke er like stor fare for tilførsel av næringsstoffer og mikrobiologisk forurensning av grunnvannet, vil det fortsatt være av allmenn interesse å begrense tilførselen av ulike forurensninger generelt til grunnvannet, men gjerne spesielt med tanke på tungmetaller og organisk forurensning. Samtidig er det betydelige mengder som skal håndteres når det er overvann som skal transporteres bort, og da er det viktig at den hydrauliske kapasiteten er tilstrekkelig, slik at en unngår skader på bygninger og annen infrastruktur.

Den hydrauliske kapasiteten beregnes med følgende formel

$$Q = K * M * B * I$$

Hvor:

Q er jordartens hydrauliske kapasitet

K er jordartens hydrauliske ledningsevne

M er den ummeta sonen som er tilgjengelig til å transportere bort overvann

B er bredden på infiltrasjonsarealet

I er grunnvannsspeilets gradient

### 2.2.12 Kapillærkrefter (tensjon – sug - matrikspotensiale)

«Kapillære krefter er kreftene som virker på vann i den umettede sonen som kan tilskrives molekylær tiltrekning mellom mineralene i jorda og vannet» (NGU, 2006).

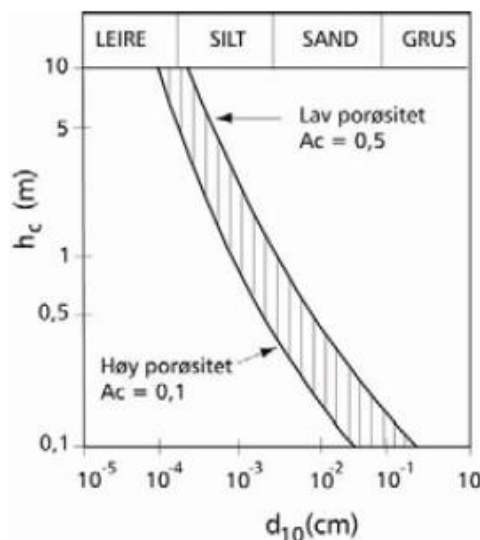
Det er kapillærkreftene som holder grunnen fuktig under normale forhold. Kapillærkreftene gjør at grunnen suger til seg vann, kapillærkreftene virker likt i alle retninger (Tollan, 2002).

«Kapillariteten skyldes både tiltrekkingen mellom vannmolekyler og andre molekyler, f.eks i jordpartikler (adhesjon), og vannets egen sammenhengskraft (kohesjon)» (Tollan, 2002).

Det gjør at kapillærkreftene kan trekke vann opp i grunnen fra grunnvannet selv om den er drenert og gjør at grunnen alltid vil holde igjen noe vann selv om den er drenert. Vann har svært høy kapillær stigeevne, vannets kohesjonskraft er målt til 33,5 bar, som tilsvarer 335 m. Stigningen av vannet vil forsette inntill vekten er balansert med kapillærkraften (Tollan, 2002).

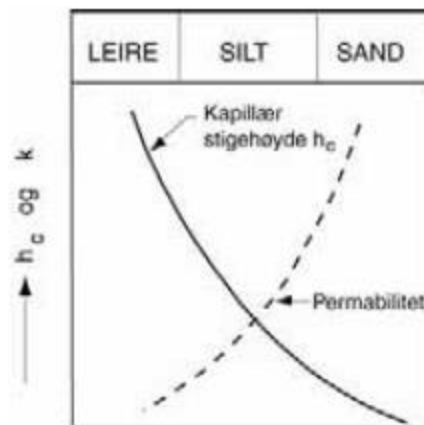
«Kapillærkraften er omvendt proporsjonal med kapillærrørets diameter. Om diameteren er 1 mm, tilsvarende porerommene i grov sand, motsvarer kapillærkraften et sug på bare noen tusendels bar. Om diameteren derimot er 0,001 mm, som er vanlig mellom leirpartikler, motsvarer kapillærkraften et sug på ca. 3 bar» (Tollan, 2002).

Den umettede sonen over grunnvannsspeilet vil ofte ha undertrykk og være vannmettet på grunn av kapillærkreftene, denne sonen refereres ofte til som kapillærvannsonen (Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2014).



Figur 2.2.21. Kapillær stige høyde i jord (Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2014).

Det vannet som kan holdes igjen kapillært i den umetta markvannssonen kalles feltkapasitet. Ulike jordarter har ulik kapillær sugekraft, eller stighøyde. Tette jordarter som silt og leire har høy kapillær oppsuging, men sorterte jordarter av grove fraksjoner har liten oppsugingsevne. Dette vil si at den potensielle kapillære stighøyden er omvendt proporsjonal med permeabiliteten (Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2014). Stor permeabilitet, små kapillærkrefter og liten feltkapasitet. Kapillærkreftene i ulike jordarter kan anslås ut fra Figur 2.2.21.



Figur 2.2.22. Effekt av kapillær oppsuging (Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2014).

### 2.2.13 Evapotranspirasjon

«Evaporasjon er fordampning fra overflatevann, for eksempel fra havet eller elver.

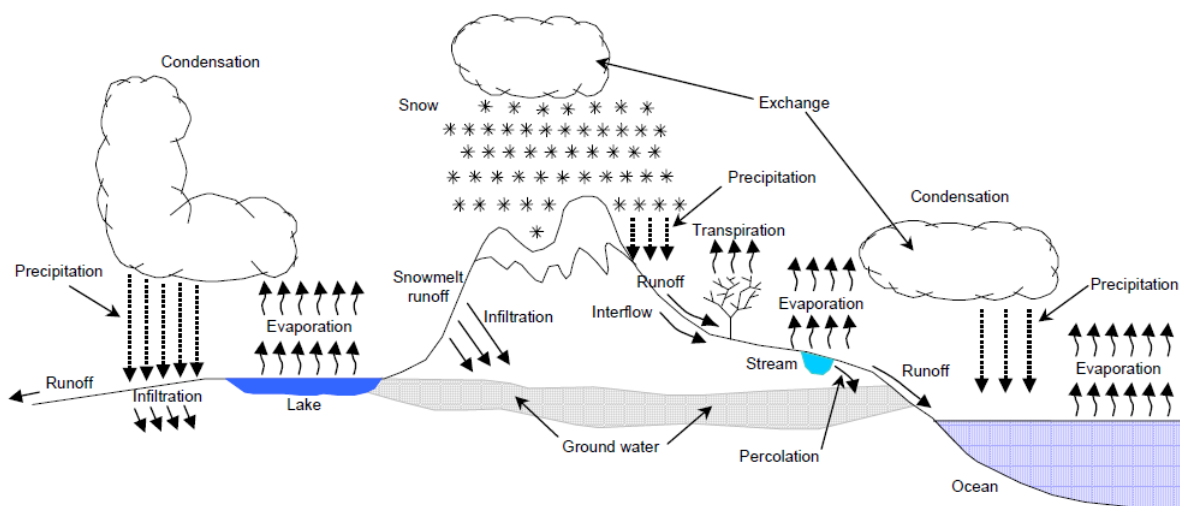
Evapotranspirasjon er summen av fordampning og transpirasjon. Det skilles mellom potensiell (PE) og aktuell ( $E_a$ ) evapotranspirasjon, der  $E_a < E_p$ » (NGU, 2006).

Evapotranspirasjon er en kombinasjon av evaporasjon og transpirasjon, siden disse er tilnærmet umulig å skille fra hverandre ved beregning. Evaporasjonen representerer fordampning fra åpne overflater som overflatevann, innsjøer, elver, havet og andre åpne vannkilder, mens transpirasjonen representerer fordampningen fra vann som trekkes opp fra roten av planter og trær ved transpirasjon. Planter og trær kan forbruke betydelige mengder vann gjennom en vekstsesong. Trær kan forbruke mellom femti og hundre liter i

døgnet avhengig av type og størrelse, men det er bare en prosent av dette som blir benyttet av fotosyntesen. Resten av vannet transpirer ut av bladene og fordampes videre ut i atmosfæren (Tollan, 2002). Dette er som med feltkapasitet og visnekapasitet avhengig type planter, trær, jordtype, jordstruktur, sorteringsgrad, grovheten til jorden, hvor mye vann som er i markvannsonen og hvor høyt grunnvannsspeilet står. Evapotranspirasjonen anslås til å være ca. 285 mm på sørvestlandet (Tollan, 2002), hoveddelen av dette vil mest sannsynlig foregå i vekstsesongen, da både temperaturen er høyest og vekstbidraget fra planter og trær er til stede.

Det kan være utfordrende å finne datagrunnlag på dette, men både kommuner, NVE og meteorologisk institutt kan muligens være behjelpelige.

I teorien kan evapotranspirasjonen være av en viss størrelse, dette kalles potensiell evapotranspirasjon, men når en skal gjøre beregninger må en forholde seg til aktuell evapotranspirasjon. Aktuell evapotranspirasjon er lavere enn potensiell evapotranspirasjon, grunnen til dette er at potensiell evapotranspirasjon kun kan skje om det alltid er tilgang til vann, at vanntilgangen er ubegrenset.

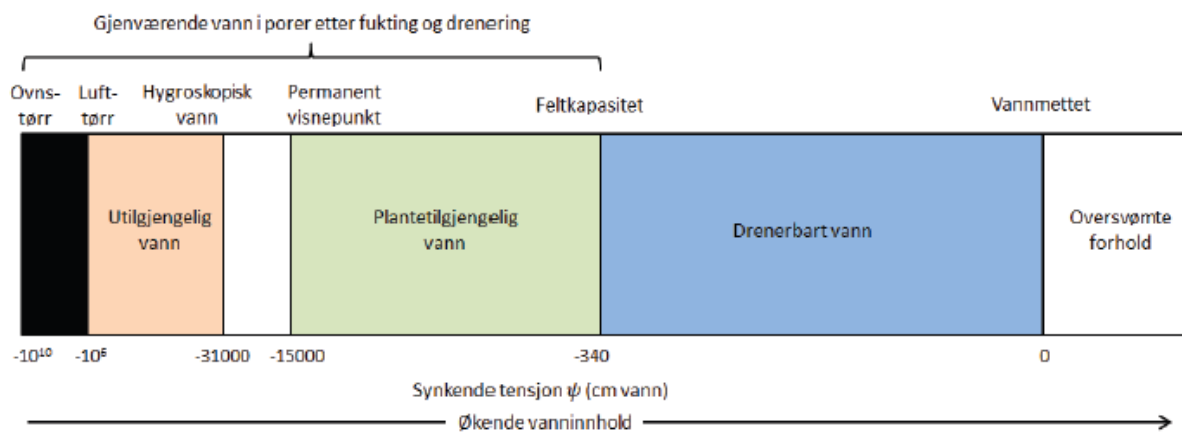


Figur 2.2.23. Illustrasjon av evapotranspirasjon (McCuen, et al., 2002).

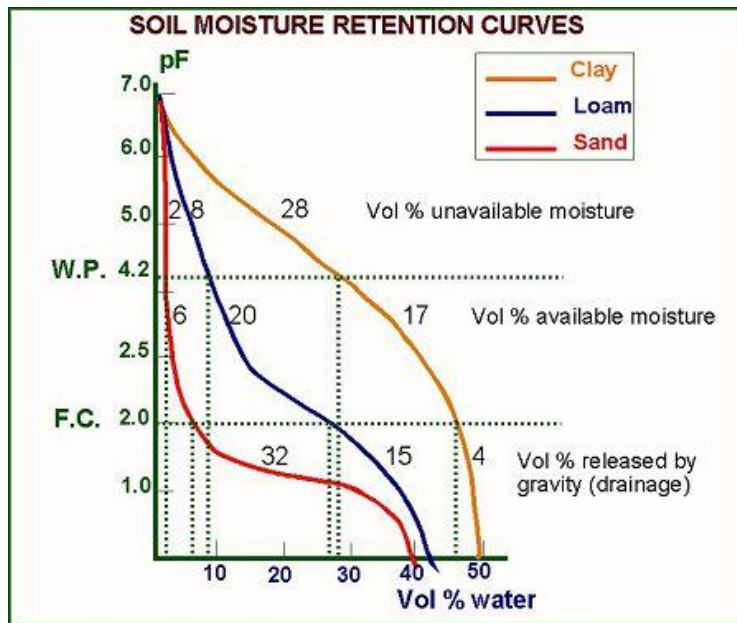
## 2.2.14 Feltkapasitet

«Vanninnholdet i jorda etter gravitasjonsdrenering, det vil si vanninnholdet ved et undertrykk på -0,1 bar» (grunnvann.no, 2015).

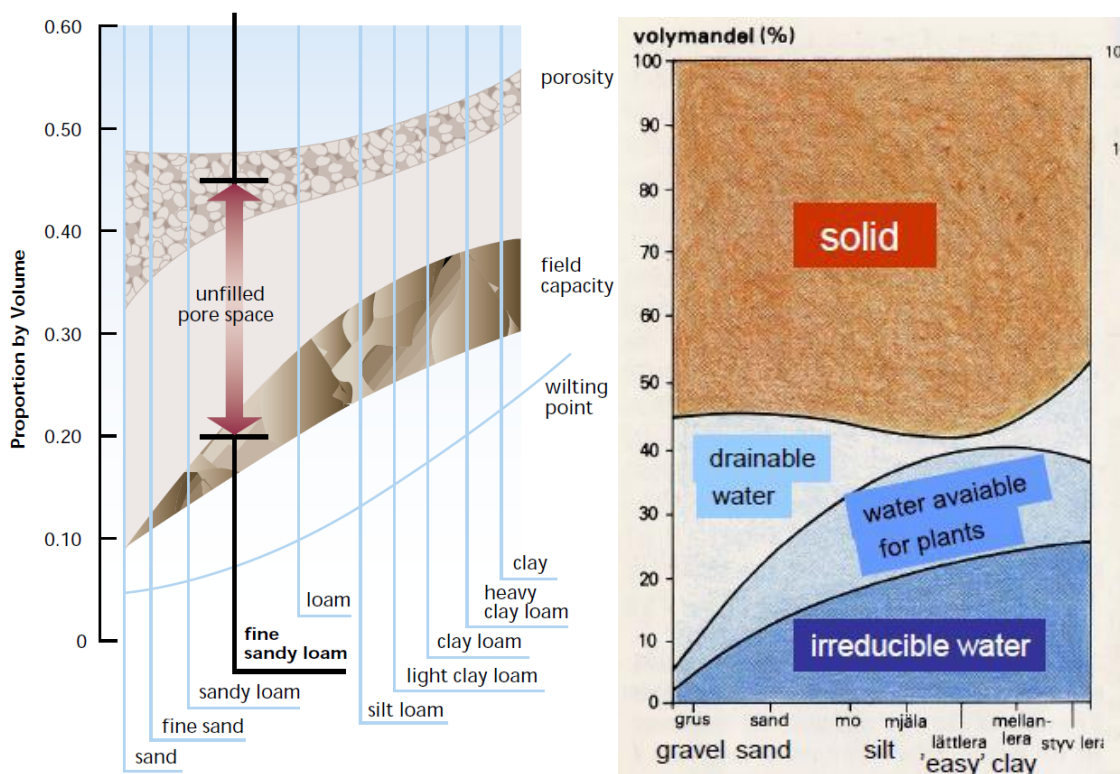
Feltkapasiteten er avhengig av kapillærkreftene som igjen er avhengig type jordart. Når feltkapasiteten til en jordart nås ved tilførsel av vann, vil det resterende vannet perkolere videre ned i grunnen (Tollan, 2002). Feltkapasiteten er størst for tette jordarter og lavest for grove godt sorterte jordarter. Feltkapasiteten kan beregnes, forutsatt at en har de rette grunnlagsdata. Når disse ikke er tilgjengelige må feltkapasiteten anslås. Feltkapasiteten oppgis i prosent og varierer fra 0,4 med et undertrykk på -0,34 bar i leire, til 0,01 med et undertrykk på -0,001 bar for godt sorterte grove jordarter som fingrus. Når feltkapasitet skal oppgis i simuleringsprogram som SWMM må denne estimeres ut fra kjente verdier, det er oppgitt noen verdier i manualen til SWMM 5.0 (Rossmann, 2010) og annen litteratur. Ut fra disse verdiene er feltkapasiteten estimert for en rekke ulike jordarter i vedlegg A.



Figur 2.2.24. Figuren viser vanninnholdet i jord som når feltkapasitet med et undertrykk på 0,34 bar. For sand og grus vil feltkapasiteten og visnepunktet være mye lavere. Figuren er basert på Donahue, 1983, men modifisert av Vegard Saksæther og Kjetil Strand Kihlgren (Saksæther & Kihlgren, 2012).



Figur 2.2.25. (SoilandWater, 2010)



Figur 2.2.26. (The Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 1998) Figur XX. (Friborg, et al., 2013)

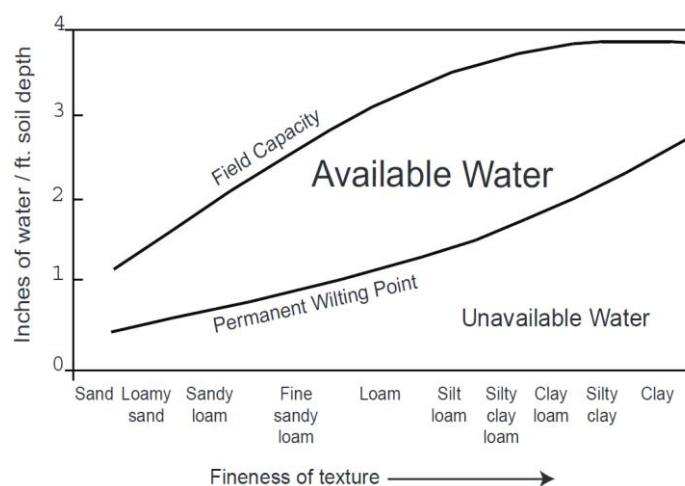
Figurene ovenfor illustrerer sammenhengen mellom visnepunktet (wilting point, W.P.), feltkapasitet (field capacity, F.C.) og effektivt porevolum,  $n_e$ .

### 2.2.15 Visnepunkt

«Det fuktighetsinnhold i jorda hvor planter visner uten å komme seg igjen ved øking av vanninnholdet. Definert som vanninnholdet ved et undertrykk på  $-15,8$  bar» (NGU, 2006).

Det er en nedre grense for hvor lavt vanninnholdet i jorden kan bli, dette kalles visnepunktet. Etter at alt vann er drenert ut og feltkapasiteten er nådd, er det kun plantene som kan redusere vanninnholdet. Plantene kan redusere vanninnholdet til undertrykket i jorden er ca  $-15$  bar.  $-15$  bar er sugeevnen til planterøttene, men dette er også avhengig type planter og røtter (Tollan, 2002). Vanninnholdet i jorden er på lik linje med feltkapasiteten avhengig av jordtype og ikke noe konstant verdi, visnepunktet er høyest for tette jordarter og lavest for godt sorterte grove jordarter. Visnepunktet oppgis i prosent og varierer fra ca. 0,3 med et undertrykk på  $-0,34$  bar i leire, til ca. 0,01 med et undertrykk på  $-0,001$  bar for godt sorterte grove jordarter som fingrus. Når visnepunkt skal oppgis i simuleringsprogram som SWMM må denne estimeres ut fra kjente verdier, det er oppgitt noen verdier i manualen til SWMM 5.0 (Rossmann, 2010) og annen litteratur. Ut fra disse verdiene er visnepunkt estimert for en rekke ulike jordarter i vedlegg A.

Dette vil si at plantene vil visne permanent etter en lengre periode med tørke, dette er en irreversibel prosess, forutsatt at grunnvannsspeilet ikke står så høyt at kapillærkreftene klarer å forsyne røttene i rotsonen direkte (Tollan, 2002).



Figur 2.2.27. Figuren illustrerer sammenhengen mellom permanent visnepunkt og feltkapasitet for ulike jordarter (USDA, 2008).

## 2.2.16 Manningstall

Manningstallet brukes til å beregne gjennomsnittlig strømningshastighet i åpne rør og kanaler. I norsk metodikk benyttes først og fremst Darcy- Weisbach, med en friksjonsfaktor som blir utledet fra reynoldstallet, til beregne gjennomsnittlig strømningshastighet i rør, mens Mannings formel brukes til å beregne gjennomsnittlig strømningshastighet i kanaler. Mannings formel kan også benyttes til å beregne strømningstiden på overflaten, da settes hydraulisk radius til en cm. Når Darcy- Weisbach benyttes til å beregne strømningshastigheten i rør oppgis ruheten i millimeter, mens det for Mannings formel er utarbeidet en rekke med såkalte Manningstall. Manningstallene beskriver ruheten til overflaten. Det er i litteraturen gjengitt en rekke eksempler på Manningstall, blant annet har NVE laget en god oversikt i Vassdragshåndboken (Sæterbø, et al., 2010). Nedenfor er det også vist eksempler på manningsverdier. Disse er hentet fra NVE sin rapport Anvendt Urbanhydrologi.

Tabell 2.2.11. Manningstall for ulike overflate (Bøyum, et al., 1997).

Overflate	Mannings n	Kilde
Glatt tre	0,010	(Morgali 1965)
Glatt asfalt	0,012	(Crawford 1966)
Betong eller asfalt	0,010 - 0,013	(Civiani et al., 1978)
Rå asfalt, betong	0,014	(Crawford 1966)
Rå asfalt	0,016	(Margali 1965)
Rå asfalt	0,017	(Chow 1959)
Sand	0,010 - 0,016	(Civiani et al., 1978)
Grusdekke	0,012 - 0,030	(Civiani et al., 1978)
Asfalt med grus	0,362	(Gottschalk et al., 1974)
Leire	0,012 – 0,033	(Civiani et al., 1978)
Leire	0,030	(Crawford 1966)
Glissent gress	0,200	(Crawford 1966)
Tett gress	0,350	(Crawford 1966)
Busker	0,400	(Crawford 1966)
Høyt gress	0,500	(Margali 1965)
Glissen vegetasjon	0,053 – 0,130	(Civiani et al., 1978)
Kort gress	0,100 – 0,200	(Civiani et al., 1978)
Høyt gress	0,170 – 0,480	(Civiani et al., 1978)



Selve Manningsformelen er som følgerne.

$$v = \frac{1,49 * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

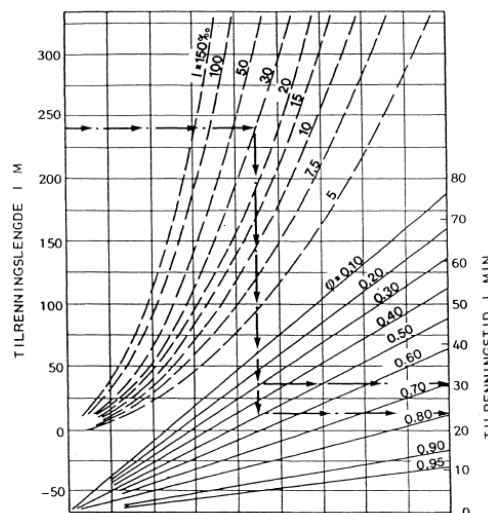
Hvor:

R er hydraulisk radius

S er helningen til vannoverflaten

n er Mannings ruhehetsfaktor

Dersom en vil beregne tilrenningstiden på overflaten kan Manningsformel benyttes til å beregne den gjennomsnittlige strømningshastigheten. Alternativet til å benytte Manningsformel når en skal beregne tilrenningstiden, kan være å anslå en tilrenningstid ut fra erfaring eller benytte et nomogram til å finne tilrenningstiden. Det finnes også en rekke ulike formler for å beregne konsentrasjonstiden. De ulike alternativene kan sies å ha ulike bruksområder. Nedenfor er det vist et nomogram for å finne tilrenningstiden.



Figur 2.2.28. Nomogram for beregning av konsentrasjonstiden. Basert på «Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers». American Society of Civil Engineers (ASCE). Manual of Practice. No 37, 1970 (Bøyum, et al., 1997).

Rolf Skretteberg har også påpekt i NVE sin publikasjon nr. 10 i 1997, Anvendt Urbanhydrologi, at «Flatens ruhet påvirker således avrenningshydrogrammets form. Ved en økning av ruhetskoeffisienten for overflaten fra 0,01 til 0,02 oppnås en reduksjon i den maksimale avrenningen på om lag 10 %. Inntil 90 % reduksjon i den maksimale avrenningen kan oppnås ved en økning i Mannings tall fra rundt 0,2 til 0,3 som er typisk for asfalt dekket med grus eller gressklede flater. Dette vil si at man oppnår en drastisk forandring i avrenningshydrografen for en tett flate ved å dekke flaten med et porøst gjennomtrengelig lag» (Bøyum, et al., 1997).

## 2.3 Klimaendringer

Klimavariasjoner er naturlige variasjoner som forekommer globalt eller regionalt over lange tidsperioder på flere tusen år, men de siste tiårene har klimaet endret seg betydelig. Dette kan en se ut fra statistikken til historiske data basert på målinger, men også ved å studere innlandsisen på Grønland og Antarktis. Klimaendringene som vi nå observerer er menneskeskapte og gir grunnlag for bekymring. Klimaendringene skjer på grunn av drivhusgasser i atmosfæren. Klimaendringene vil føre til et varmere, våtere og villere klima. Dette vil bety at steder hvor det allerede er mye nedbør vil få mer nedbør, 5-20 prosent avhengig av landsdel, og enda flere døgn med nedbør. Steder hvor det er lite nedbør vil få enda flere døgn med oppholdsvær. Ekstreme nedbørsmengder vil forekomme oftere over alt. Det vil bli mer vind generelt, dette vil føre til hyppigere og kraftigere stormer og temperaturene vil øke (NOU, 2010).

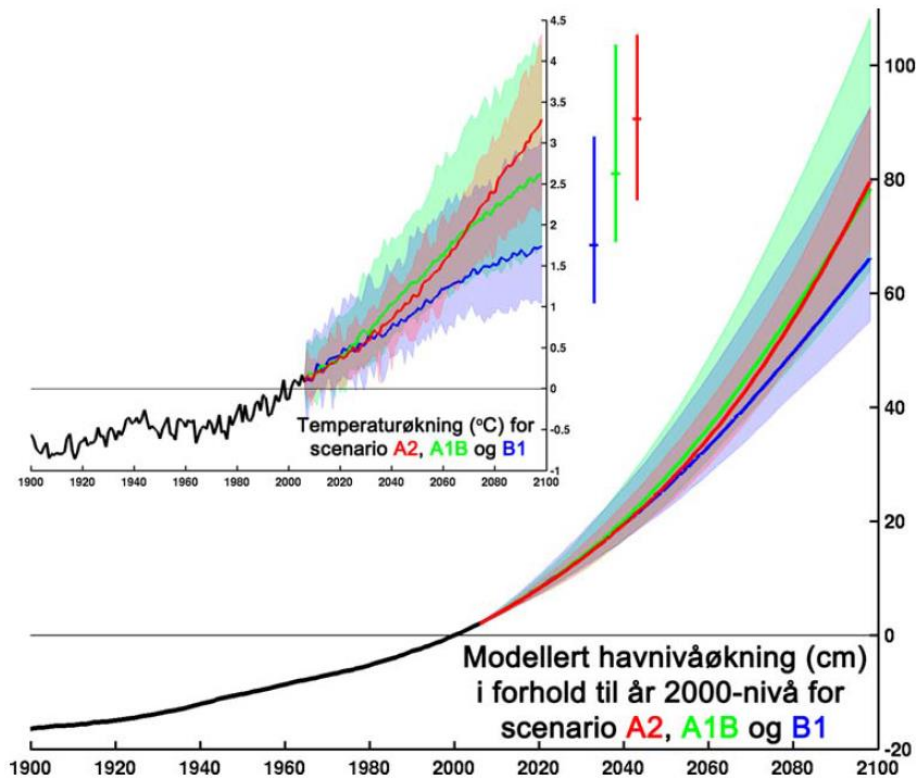
FNs klimapanel «IPCC opererer med fire ulike scenarier for fremtidige utslipp av klimagasser, disse er» (Lindholm, 2007):

«Scenario B1: Globale løsninger på økonomisk og sosial bærekraftighet. Raske endringer i økonomiske strukturer og introduksjon av rene teknologier. 7 milliarder mennesker i 2100. Atmosfærens CO<sub>2</sub>-innhold er på 540 ppm i 2100, mot 380 ppm i dag (ppm er «parts per million»))» (Lindholm, 2007).

«Scenario B2: Verden er mer bekymret for miljøet og sosial bærekraft enn i scenario A2. Det er en langsom utvikling generelt, men særlig i U-landene. Byene sprer seg ikke så mye utover og avhengigheten av bilen er mindre. Verden er likevel i hovedsak karbonbasert energimessig sett. Det er ca. 10 milliarder mennesker på jorda» (Lindholm, 2007).

«Scenario A1B: Rask økonomisk vekst. Rik verden, men ujevnt fordelt rikdom. 7 milliarder mennesker i 2100. Teknologiske endringer fører til balanse mellom fossil og ikke-fossil energiteknologi. Atmosfærens CO<sub>2</sub>-innhold er på 703 ppm i 2100» (Lindholm, 2007).

«Scenario A2: Delt verden med høy befolkningsvekst og mindre bekymring for rask økonomisk utvikling. 15 milliarder mennesker i 2100. Atmosfærens CO<sub>2</sub>-innhold er på 836 ppm i 2100» (Lindholm, 2007).



Figur 2.3.1. Scenarier for kommende stigning i havnivået av (Drange, et al., 2007).

Det er i estimatene for havnivåstigning tatt utgangspunkt i scenario A2, dette blir et slags «worst case» scenario og vil gi en havnivåstigning på 0,8 m når en ikke tar hensyn til usikkerhetene. A2 scenarioet er basert på Rahmstorfs (2007) modell for framtidig global havnivåstigning og er et «business-as-usual» utslippsscenario fra FNs klimapanel (Vasskog, et al., 2009).

Det er også en del usikkerhetsmoment knyttet til klimamodellene. Disse er delt opp i fire kategorier som naturlig klimavariasjon, naturlig klimapådriv, menneskeskapt klimapådriv og mangelfull kunnskap. Klimasystemet er komplisert og det er vanskelig å forutsi hvordan det vil respondere på ulike scenarier (NOU, 2010).

«Det er viktig å påpeke at eksisterende klimamodeller ikke gir tydelige kvantitative endringssignaler for alle klimaforhold, slik som for eksempel kortidsnedbør» (NOU, 2010).

«Samtidig er det verdt å merke seg at klimamodellene har for liten oppløsning til å gi direkte informasjon om kortidsnedbør» (NOU, 2010).

## 2.4 Klimatilpasning

Klimaendringene gir grunn til bekymring og gjør at samfunnet må klimatilpasses for å redusere sårbarheten. Dette må tas hensyn til ved planlegging av fremtidig infrastruktur og spesielt VA-anlegg (NOU, 2010). Klimatilpasningstiltak knyttet til infrastruktur og VA-anlegg vil i hovedsak være med fokus på arealbruk og robuste løsninger med hensyn på fremtidig økende nedbørsmengder og høyere havnivå. Dagens avløpssystemer er ikke dimensjonert for økte vannmengder. Dette vil blant annet føre til tilbakeslag av avløpsvann i bygninger og økt utslipp via overløp og lekkasjer. Disse hendelsene er uønsket og medfører skade og forurensning som kan være skadelige og kostbare for samfunnet. Høyere havnivå, stormflonivå og bølgehøyder kan være utfordrende for planlegging og arealbruken langs kysten og vassdrag nær utløp til sjø. Dette vil også gi innlekking, økt overløpsdrift, oppstuvning og økt slitasje på anleggene (Sekse, 2012).

For å kunne gjennomføre klimatilpasningstiltakene knyttet til overvannssystem vil det være viktig å ta hensyn til klimaendringer i kommunale planer, å sikre teknisk infrastruktur og offentlig og privat eiendom mot skade som følge av flom, havnivåstigning, stormflo og skred. Det vil også være viktig å kunne håndtere mer ekstreme nedbør- og smeltevannmengder. Samt å avklare og tydeliggjøre ansvarsroller, og sikre kompetanse og kapasitet for klimatilpasning (Lindholm, et al., 2008).

Disse utfordringene må tas hensyn til ved utarbeidelse av kommunale arealplaner, reguleringsplaner, hovedplaner for VA, beredskapsplaner for VA og ROS-analyser VA (NOU, 2010).

Hovedstrategien for å imøtekomme klimaendringene vil være å håndtere urbant overvann med lokal overvannshåndtering, LOD, og robuste flomveger. Der hvor dette er mulig må det kombineres med robuste avløpssystem (Lindholm, et al., 2008).

## 2.5 Havnivåstigning

Det er i fremtiden ventet at havnivå vil stige på grunn av klimaendringene. Det er tre grunner til at havnivået stiger. Den første er på grunn av økt temperatur som gjør at vannet utvider seg, såkalt termisk ekspansjon. Den andre er at isbreene på land smelter, og den tredje er smeltingen av iskappene på Grønland og i Antarktis (Vasskog, et al., 2009). Hvor mye havnivået vil stige er stedsavhengig på grunn av den fortsatt pågående landhevingen etter siste istid, men det er antatt at havnivået vil øke med 0,4 m til 0,8 (DSB, 2011). Havnivået vil øke mest der landhevingen er minst, det vil si på Sør- og Vestlandet, og minst der landhevingen er størst. Landhevingen er størst innerst i Oslofjorden og Trondheimsfjorden (Vasskog, et al., 2009).

I tillegg vil vannstanden under stormflo øke ytterligere. Stormflo er vannstanden under den mest ugunstige situasjonen. Denne inntreffer når en har springflo, som representerer høyeste astronomiske tidevann (HAT), og spesielle værforhold. Værforholdene representerer kraftige lavtrykk, lavtrykkene får havnivået til å stige ytterligere på grunn av redusert lufttrykk mot havoverflaten, i kombinasjon med pålandsvind som sørger for oppstuvning av vannet opp mot land (Vasskog, et al., 2009).

Det vil si at vannet kan stige opp mot 2,10 m i Sandnes kommune. Havnivået stiger 0,78 m. Høyeste astronomiske tidevann er 0,43 m. Økt stormaktivitet 0,1 m. 100 års returnivå relativt til HAT 0,79 m.

$$100 \text{ års gjentakintervall: } 0.78 + 0.43 + 0.1 + 0.79 = 2,10 \text{ m}$$

For å få 20 års gjentakintervall må en trekke fra 15 cm og for å få 200 års gjentakintervall må en legge til 10 cm (DSB, 2011).

$$20 \text{ års gjentakintervall: } 2.10 - 0.15 = 1.95 \text{ m}$$

$$200 \text{ års gjentakintervall: } 2.10 + 0.1 = 2.20 \text{ m}$$

Det er også en usikkerhet knyttet til dette estimatet. Usikkerheten er mellom – 0,2 m og + 0,35 m. Det vil si at i beste fall vil ikke vannstanden kunne bli høyere enn 1,9 m ved stormflo

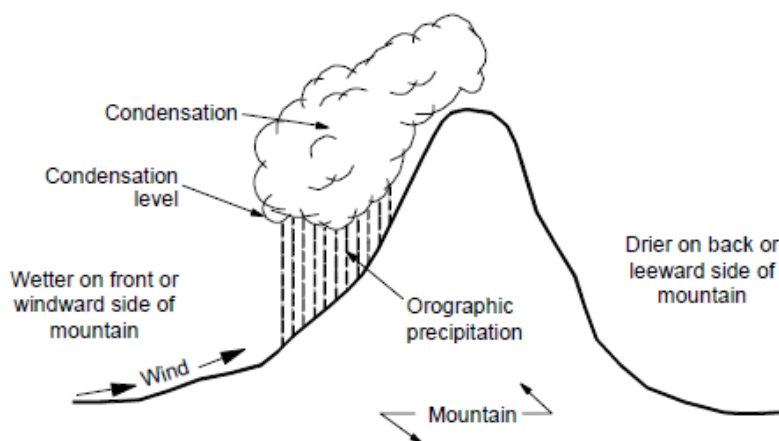
i forhold til dagens nivå, og verste fall vil vannstanden kunne bli 2,45 m i forhold til dagens havnivå relatert til NN1954. NN1954 er brukt som referansenivå for havnivåstigningen og stormflonivået. NN1954 står for normalnull 1954 og representerer nullnivået (høydekote 0) i landkart, og er det mest brukte referansenivået i planleggingsarbeid. Nivået er knyttet til fastpunkter på land i form av bolter i fast fjell der høyden er bestemt svært nøyaktig. Usikkerhetsintervallet i estimatene tar kun hensyn til usikkerheten i havstigningen, det kommer i tillegg en usikkerhet til stormflonivået, men den er ansett for å være liten. Spesielt i nærheten til de faste målestasjonene (Vasskog, et al., 2009). Disse tallene er for øvrig kun estimater basert på rapporter for ulike klimascenarier. Tallene er hentet fra «Havnivåstigning, Estimer av fremtidig havnivåstigning i norske kystkommuner. Klimatilpasning Norge (Vasskog, et al., 2009).

## 2.6 Kortidsnedbør

Det er fire ulike hovednedbørstyper og disse er inndelt etter hvilken løftemekanisme som gir avkjøling, kondensasjon og dråpedannelse. Disse er frontnedbør, orografisk nedbør, konvektiv nedbør og konvergens nedbør. (Thorolfsson S.T, 2012)

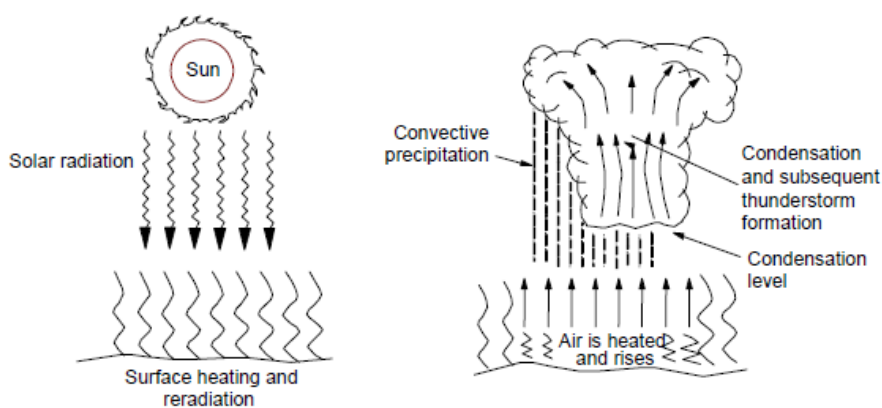
«Frontnedbør dannes ved bølger i polarfronten, som ligger på ca. 60 breddegrad og er en skråflate med svak helning. Bølgene som utvikler seg til sykkloner (lavtrykk) beveger seg for det meste østover. Bølgens forside danner varmfrenten som gir nedbør med lav intensitet og lang varighet. Baksiden av bølgen, kaldfronten, gir mer intensiv nedbør som faller på et smalere belte.» (Thorolfsson S.T, 2012)

«Orografisk nedbør dannes når en fuktig luftmasse tvinges over hindringer som fjell og lignende. På forsiden av fjellene får man nedbør som øker med høgden. Det mest karakteristiske er de store nedbørmengdene på kysten av Norge som kan være en kombinasjon av front og orografisk nedbør.» (Thorolfsson S.T, 2012)



Figur 2.6.1. Illustrasjon av orografisk nedbør (Richard H. et al. 2002).

«Konvektiv nedbør er mest kjent som de typiske ettermiddagsbygene om sommeren. Oppvarming av bakken fører til ustabilitet som gir lokale vertikale luftstrømmer. Det fører fuktig luft opp som avkjøles og gir lokal nedbør. Sommer-bygene er en enkel form for konvektiv nedbør. Den kan forekomme inne i frontnedbør og orografisk nedbør. De har liten arealutbredelse med ofte høy intensitet.» (Thorolfsson S.T, 2012)

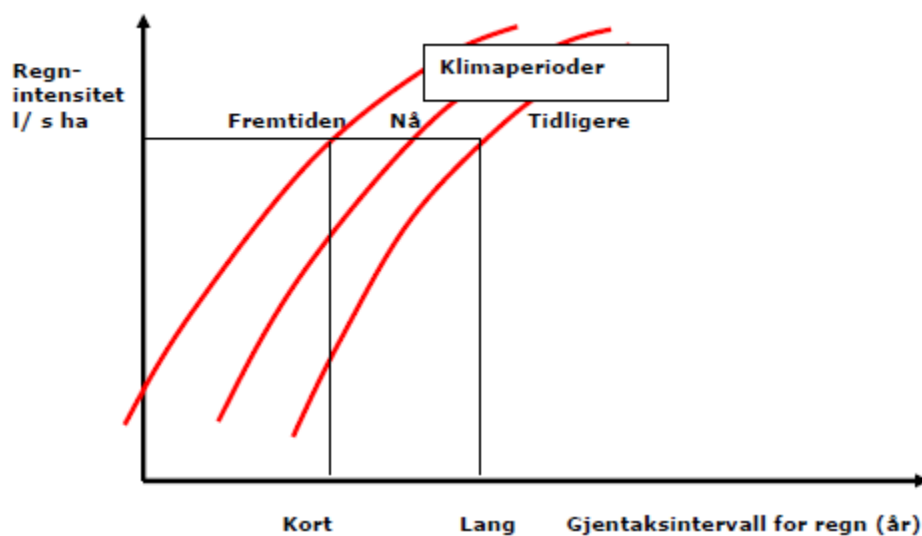


Figur 2.6.2. Illustrasjon av konvektiv nedbør (Richard H. et al. 2002).



«Konvergensnedbør opptrer når noen forhold kan føre til at fuktig luft trenges sammen i lavere luftlag og dermed tvinges opp og avkjøles.» (Sveinn T. Thorolfsson 2012)

Alle nedbørstypene kan gi høy intensitet og særlig når de faller sammen, men det er først og fremst konvektiv nedbør som er utfordrende for urban overvannshåndtering. Det er denne som betegnes som kortidsnedbør og er dimensjonerende for overvannshåndteringen til byer og tettsteder. Kortidsnedbøren er av meget intens karakter og refereres også til som stormwater i engelsk litteratur, som betyr stormvann på norsk. Det er beregnet en dobling i risikoen for intens nedbør på Vestlandet frem til 2050. Med intens nedbør menes mengder per døgn som i dagens klima kun overstiges en gang hvert år. Det vil gi økt avrenning med både større volum og raskere flomtopper, på figuren nedenfor er det illustrert hvordan gjentaksintervallet blir redusert og intensiteten øker ved fremtidens klimaendringer (Lindholm, 2007).

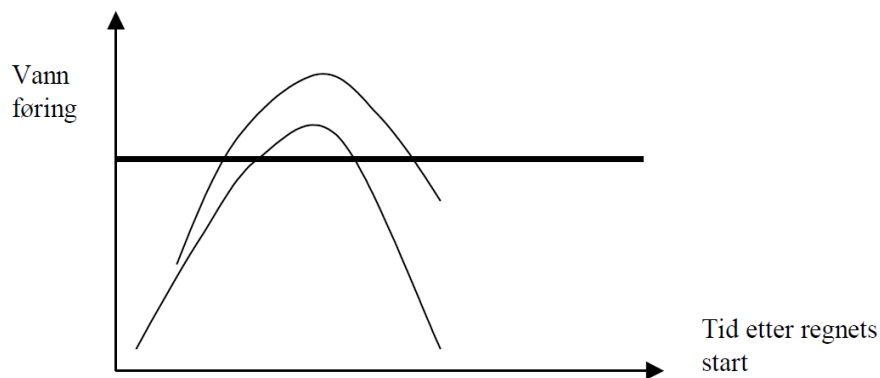


Figur 2.6.3. Figuren illustrerer ved bruk av et diagram hvordan nedbør med høy intensitet vil forekomme oftere i fremtiden relativt til dagens og tidligere perioder (Lindholm, et al., 2008).

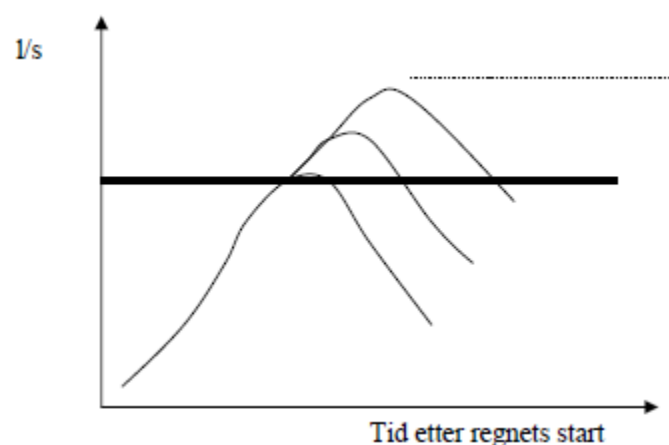
Det er ingen klimaprognoser som gir en god beskrivelse av konvektiv nedbør (Lindholm, 2007).

I den danske Miljøstyrelsen sin rapport 9 – 2006 sies det at: «Ekstremregn vil bli kraftigere i fremtiden, - og fremtiden er begynt. Endringene for punktnedbør i høy tidsoppløsning vil bli meget voldsomme. Bearbeidingen tyder på at den dimensjonerende regnintensitet for små og mellomstore avløpssystemer fordobles. Kvantifisering er forbundet med stor usikkerhet og er antagelig konservativ» (Lindholm, 2007).

Bare ved å øke nedbørsmengdene noe vil en kunne få en betydelig økning i avrenningen og utfordringene dette medfører. Det vil si at en 10 prosent økning i avrenningen vil kunne gi en 50 prosent økning i flomskader (Lindholm, 2007).



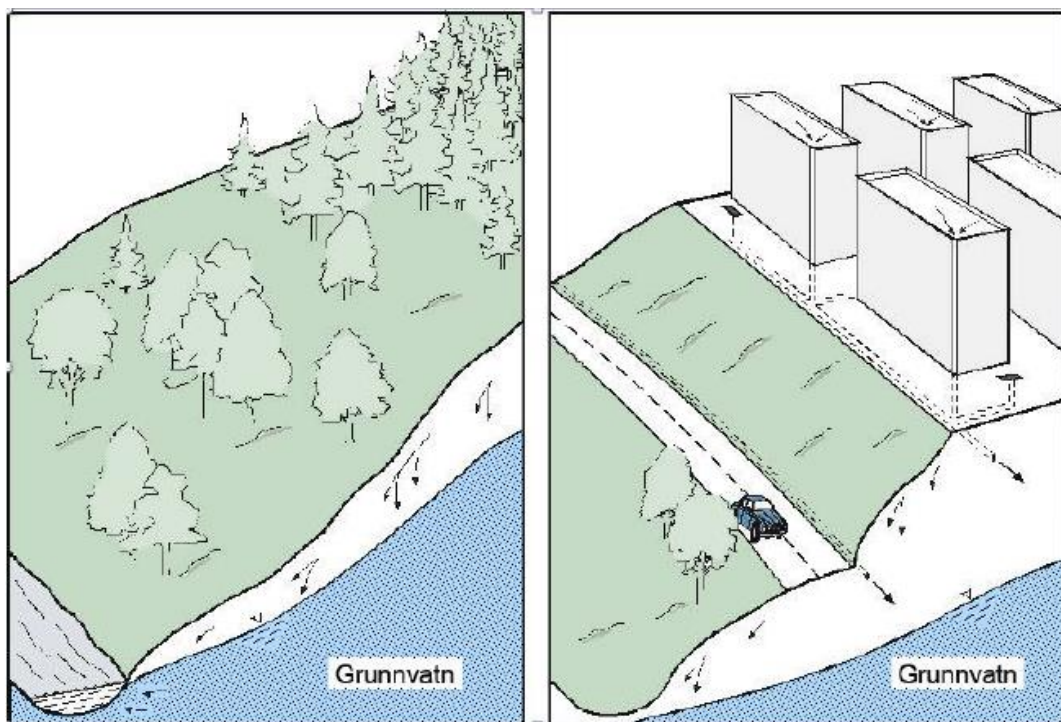
Figur 2.6.4. Prinsippskisse for visning av effekten ved å øke regnintensiteten (Lindholm, 2007).



Figur 2.6.5. Prinsippskisse for visning av effekten ved å øke regnvarigheten (Lindholm, 2007).

## 2.7 Urbanhydrologi

«Urbanhydrologien handler om hydrologiske effekter knyttet til de store bruksendringene som skjer ved utbygging av et område» (Thorolfsson S.T, 2012). Det vil si at urbanhydrologi er den delen av hydrologien som omfatter bebygde områder. Når nye områder blir utbygd endres egenskapene til nedbørsfeltene, slik at avrenningen blir mer intens og foregår betydelig raskere enn hva som vil være naturlig. Dette kan skje på grunn av at vegetasjonen er fjernet og erstattet med tette flater uten mulighet til infiltrasjon, bekker blir lukket og lagt i rør, overvannet blir ledet raskt bort i ledninger og kanaler. Dette kan resultere i at infiltrasjonen reduseres, bekker og våtmarker blir tørrlagte, redusert gropmagasiner, økt erosjon, grunnvannstanden synker og oversvømmelser lenger nede i vassdraget. Ved å endre egenskapene til nedbørsfeltene kan en også påvirke betingelsene til livet i vannet som blir berørt, livet i vannet kan være sårbart for inngrep som endrer vannføringen, sammensetningen av vannet, temperaturen og forurensing (Thorolfsson S.T, 2012).



Figur 2.7.1. Illustrasjon av hvordan en urbanisering endrer avrenningsbetingelsene (Thorolfsson S.T, 2012).

Når en skal planlegge og dimensjonere overvannssystemer er sammenhengen mellom nedbør og avrenning av avgjørende karakter og legger grunnlaget for hvor omfattende tiltakende må være for å kunne representere optimale tekniske løsninger med hensyn til økonomi, sikkerhet og miljø. Overflateavrenningen er avhengig av ulike faktorer som representerer fordampning, intersepsjon, infiltrasjon, gromagasiner og andre tap. Dette kan uttrykkes slik, hvor  $Q_{\text{over}}$  er overflateavrenningen (Thorolfsson S.T, 2012).

$$Q_{\text{over}} = N - F - \text{Int.} - \text{Inf.} - G - X$$

$N = \text{Nedbør (mm)}$ . «Dette er den viktigste prosessen i det hydrologiske kretsløpet og representerer alt som faller ned fra himmelen i form av regn, sludd og snø avhengig av temperatur» (Ødegaard, et al., 2012). Den mest brukte enheten for å uttrykke nedbøren er mm. Årsnedbøren i Norge varierer enormt, under 1000 mm enkelte steder i innlandet til over 5000 mm inne fjordene på vestlandet, i Sandnes er årsnedbøren ca. 2000 mm. (Thorolfsson S.T, 2012).

$F = \text{Fordampning (mm)}$ . Vann vil fordampe fra åpne vannflater og jordoverflaten generelt. I norsk klima varierer den årlige fordampningen mellom 200-500 mm/år (Ødegaard, et al., 2012).

$\text{Int.} = \text{Intersepsjon (mm)}$ . «Deler av nedbøren går med til å bløte opp eller bli hengende på gjenstander over bakken, dette kalles intersepsjon» (Ødegaard, et al., 2012). Intersepsjonen kan representere hele 25 % av årsnedbøren i skogsområder (Ødegaard, et al., 2012). I urbane områder kan intersepsjonen økes ved å plante mer trær og vegetasjon generelt. Med andre ord vil en høy blågrønn faktor bidra til å kunne øke intersepsjonen betydelig (Thorolfsson S.T, 2012).

$\text{Inf.} = \text{Infiltrasjon (mm)}$ . Dette beskriver den prosessen som foregår når vannet trenger gjennom jordoverflaten og beveger seg vertikalt ned i grunnen. Inntil jordens evne til å ta imot vannet fra overflaten overskrides vil alt vann infiltrere, etterpå vil gropene og forsengkninger fylles og overflateavrenningen gjøre seg gjeldende. Infiltrasjon er en viktig

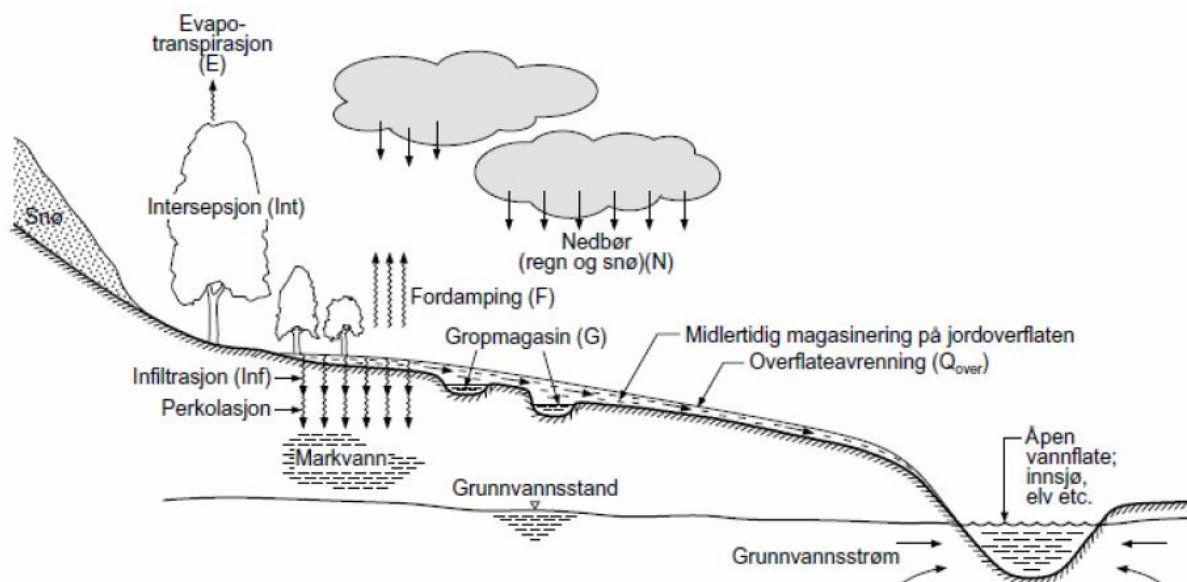
prosess i urbaneområder, når denne fjernes kan grunnvannet synke og om denne overbelastes øker avrenningen (Ødegaard, et al., 2012).

$G$  = Gropmagasinerings (mm). Dette er vann som ikke renner av på overflaten og magasineres i groper og forsenkninger på overflaten hvor de infiltrerer og fordampes.

Gropmagasinerings er på 2,5 mm for impermeable flater som asfalt og betong, for permeable flater som leire og sand er den 5,0 mm. Gropmagasinerings er avhengig av faktorer som helning og type overflate. Gropmagasinerings kan ha betydning når en betrakter mindre nedbørsfelt i urbane miljø (Thorolfsson, 2012).

$X$  = Andre tap (mm) (Thorolfsson, 2012).

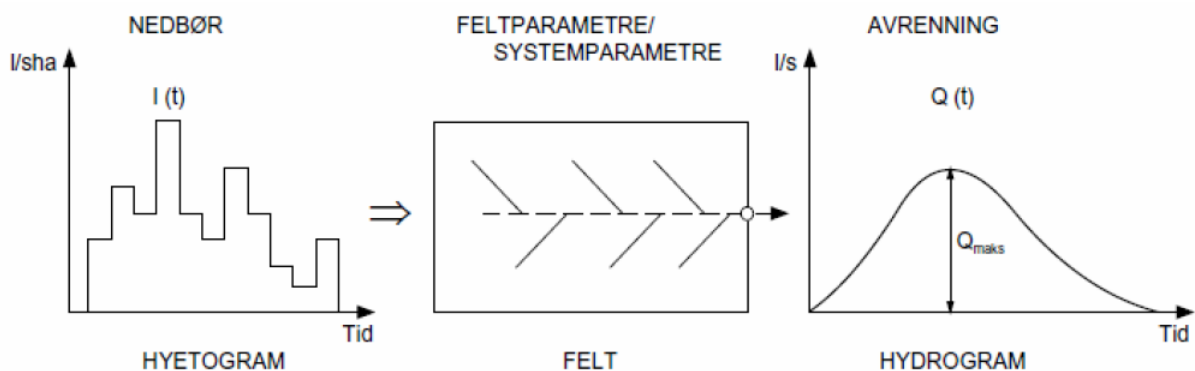
$Q_{over}$  = Overflateavrenning. Dette er den prosessen som beskriver avrenningen på jordoverflaten når vannet beveger seg mot en resipient og et resultat av de andre hydrologiske prosessene. Overflateavrenningen uttrykkes med en avrenningskoeffisient (Thorolfsson, 2012).



Figur 2.7.2. Illustrasjon av de hydrologiske prosessene (Thorolfsson S.T, 2012).

For eksempel kan nedbøren for Sandnes være ca. 2000 mm, fordampningen kan være ca. 300 mm pr år, infiltrasjonen ca. 100 mm pr år, intersepsjonen ca. 100 mm pr år, gropmagasineringen ca. 50 mm pr år og andre tap kan representere ca. 50 mm pr år. Dette gir  $Q = 2000 - 300 - 100 - 100 - 50 - 50 = 1400$  mm som representerer 70 % av årsnedbøren. Det vil si at vi har en avrenningskoeffisient på 0,7 i dette tilfellet, som representerer forholdet mellom nedbør og avrenning (Thorolfsson, 2012).

Avrenningskoeffisienten gir en dimensjonsløs faktor som vi kan bruke til å beregne avrenningen fra et område. Avrenningskoeffisienten kan beskrive både spissavrenning og volumavrenning. Når en dimensjonerer avløpssystemet for mindre nedbørsfelt vil spissavrenningen være av størst interesse, mens volumet vil være av størst interesse når en dimensjonerer dammer og fordrøyningsanlegg (Thorolfsson S.T, 2012).



Figur 2.7.3. Illustrasjon av nedbør som konverteres til avrenning i et hyetogram via feltparametre til et hydrogram (Thorolfsson, 2012).

For mindre urbane nedbørsfelt, typisk 20-50 ha, benyttes ofte kun den rasjonelle formelen til å gjøre overslagsberegninger av avrenningen. En typisk dimensjonerende situasjon vil i disse tilfellene være kortidsnedbør av typen kraftig sommeregner også referert til som konvektiv nedbør. For større felt og felt med mer sammensatte hydrologiske forhold, for eksempel med mye snøsmelting, er det mer hensiktsmessig å bruke digitale modeller utarbeidet i SWMM5, MIKE URBAN, NIVANETT osv. Modellene bør uansett verifiseres opp

mot manuelle beregninger, gjerne med den rasjonelle formelen. Den rasjonelle formelen kalles rasjonell siden den er så enkel i sin form og uttrykkes slik (Thorolfsson, 2012):

$$Q = \phi * A * I$$

Hvor

Q = beregnet vannmengde til avløpet (l/s)

$\phi$  = avrenningskoeffisienten (dimensjonsløs).

A = Arealet i hektar (ha).

I = Nedbørsintensiteten i liter per sekund og hektar (l/s ha).

Det er utviklet flere ulike eksempler på avrenningkoeffisienter fra ulike typer flater, nedenfor er det vist noen eksempler.

Tabell 2.7.1. Avrenningskoeffisienter hentet fra Vann- og avløpsteknikk boken. (Mays 2001)

Type flater	$\phi_{spiss}$
Tak	0,8-0,9
Asfalterte veger og gater	0,7-0,8
Grusveger	0,4-0,6
Plen	0,05-0,1
<i>Sammensatte flater:</i>	
Bysentrum	0,7-0,9
Blokkbebyggelse	0,4-0,6
Rekkehusområder	0,3-0,4
Åpne eneboligstrøk	0,2-0,3

Tabell 2.7.2. Avrenningskoeffisienter er hentet fra de lokale normene for nordjæren.

Type flater	$\phi_{spiss}$
Tette flater	0,85-0,95
Bykjerne	0,70-0,90
Rekkehus-/ leilighetsområde	0,60-0,80
Eneboligområder	0,50-0,70
Grusvei/-plasser	0,70-0,80
Industriområde	0,70-0,90
Plen, park, eng, skog, dyrket mark etc.	0,30-0,50

Tabell 2.7.3. Avrenningskoeffisienter er hentet fra Statens vegvesens håndbok N200 Vegbygging (Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2014).

Type flater	$\phi_{spiss}$
Betong, asfalt, bart fjell og lignende	0,6-0,9
Grusveger	0,3-0,7
Dyrket mark og parkområder	0,2-0,4
Skogsområder	0,2-0,5



Tabell 2.7.4. Avrenningskoeffisienter hentet fra NVE sin rapport *Anvendt Urbanhydrologi* (Bøyum, et al., 1997).

Overflate	Avrenningskoeffisient C
Hustak og gatedekker	0,85 - 0,90
Bymessig, sentral bykjerne	0,70 – 0,85
Bymessig, tett forretningsbebyggelse	0,60 – 0,80
Boligstrøk i by, eneboliger	0,40 – 0,60
Boligstrøk, rekkehus, blokk	0,50 – 0,70
Boligstrøk tette kvartaler	0,60 – 0,80
Forstadsstrøk	0,30 – 0,50
Industriområder, åpent	0,50 – 0,70
Industriområder, tett	0,70 – 0,90
Parker, kirkegårder	0,10 – 0,30
Lekeplasser	0,20 – 0,40
Jernbanetomter	0,20 – 0,40
Dyrket mark, sandjord	0,05 – 0,15
Dyrket mark, leirjord/fuktig	0,15 – 0,25
Brakkmark	0,20 – 0,30

Statens vegvesens avrenningskoeffisienter skal i tillegg multipliseres med en sikkerhetsfaktor fra 0,1 – 0,3 etter hvilket gjentaksintervall som benyttes. Det vil for alle avrenningskoeffisientene komme en klimafaktor i tillegg. Klimafaktoren vil variere fra 1,2 til 1,5 avhengig av sted og myndighet (Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2014)

Det kan være flere årsaker til den store variasjonen i avrenningskoeffisienter, men det som trolig vil ha størst påvirkning på avrenningskoeffisientene er endringen i klimaet og at en velger høyere avrenningskoeffisienter for å ha en konservativ tilnærming til dette. I Norsk Vann Rapport 162/2008 «Veiledning til klimatilpasset overvannshåndtering» står det «ved at flere dager pr år får regn, får den permeable marken oftere og i lengre perioder et høyt innhold av vann, noe som vil øke sannsynligheten for at avrenningskoeffisientene også øker. Dette vil si at samme regnintensitet som før vil kunne gi større flommer i et nytt klimaregime» (Lindholm, et al., 2008).

## 2.8 Lokal Overvanns Disponering, LOD

Det finnes ulike måter en kan imøtekomme fremtidens klimaendringer på, men den mest hensiktsmessige synes å være lokal overvannsdisponering og treledds strategien. Hvor en ønsker å fange opp og infiltrere den første delen av regnet, når denne kapasiteten er full vil avrenningen gå videre til åpne anlegg som forsinker og fordrøyer avrenningen. De største regnene vil bli ledet bort i åpne flomveger (Lindholm, et al., 2008).

Typiske LOD-tiltak er grønne tak, regnbed, infiltrasjon på plen, permeable dekker, infiltrasjon i steinfyllinger (perkolasjon), lokale dammer og oppsamling av takvann.

### 2.8.1 Grønne tak

Grønne tak kan bidra til å redusere avrenningen og være et første ledd i treleddsstrategien, eller såkalt kildekontroll. Det finnes to hovedtyper grønne tak, disse refereres til som ekstensive og intensive (Thorolfsson, 2012). Ekstensive tak har et vegetasjonsdekke med tykkelse på 3-4 cm (Brødrene Dahl, 2014) og legges over et drenerende sjikt med tykkelse på 1-2 cm (Veg Tech, 2015). Ekstensive tak domineres av sedumarter, men gress og mose kan også benyttes (Thorolfsson, 2012).

Sedumartene tåler både næringsfattig jord og lange perioder med tørke, og krever generelt lite vedlikehold (Ødegaard, et al., 2012).

Intensive tak kan regnes som rene hageanlegg og har et vegetasjonsdekke på 15-40 cm (Ødegaard, et al., 2012). For å kunne benytte grønne tak kan ikke taket være for bratt og konstruksjonene må være dimensjonert for ekstrabelastningen (Ødegaard, et al., 2012).

Grønne tak kan også tilføre en eiendom flere andre kvaliteter enn kun å bidra til redusert avrenning, som å bedre luftkvaliteten i nærmiljøet, binde svevestøv, være brannhemmende, senke lufttemperatur, øke biologisk mangfold og tilleggisolere taket (Sandnes kommune, 2014).

Det er og noen ulemper med å benytte grønne tak, dersom taket lekker kan det være utfordrende å finne lekkasjen. Om det ikke fungerer som tiltenkt kan plantene dø, for eksempel om avrenningen ikke skjer som planlagt drukner plantene. Samt at anleggskostnadene blir generelt noe dyrere og en må beregne kontinuerlig vedlikehold minimum en til to ganger i året (Braskerud, 2014).

Grønne tak kan dempe avrenningen ved kraftig nedbør og mindre regn holdes helt igjen. «Over et år kan et grønt tak holde igjen halvparten av nedbøren» (Ødegaard, et al., 2012). Hvilken avrenningskoeffisient et grønt tak vil ha kan diskuteres etter hvilket formål taket har. Skal en dimensjonere pumper og større ledninger med hensyn på lengre nedbørsvarigheter og større områder kan en muligens benytte 0,5 til avrenningskoeffisient, men skal en dimensjonere ledninger i mindre felt etter kortidsnedbør bør en benytte en avrenningskoeffisient på 0,8. Denne avrenningskoeffisienten er basert på rapporten til Bent C. Braskerud (Braskerud, 2014) som etter å ha gjennomført en fem år lang studie av grønne, ekstensive taks evne til tilbakeholding av nedbør for Østlandsklima har laget NVE rapport 65/2004 «Grønne tak og styrtregn». I rapporten kommer det frem at grønne tak kan holde tilbake i overkant av 20 % av korttidsnedbøren som faller på et vått tak med drenering og i overkant av 30 % av korttidsnedbøren som faller på et vått tak uten drenering. Det er korttidsnedbøren som er dimensjonerende for små felt og det vil være disse nedbørstilfellene som er et slags «worst case scenario» som vil være hensiktsmessig å bruke ut fra et prosjekteringsperspektiv med tanke på å bruke riktig avrenningskoeffisient. Rapporten påpeker at tilbakeholdingen av nedbør varierer i betydelig grad og at en forsiktig tilnærming vil være å si at grønne tak holder igjen 20 % av nedbøren, som tilsvarer en avrenningskoeffisient 0,8. Det kan også diskuteres om denne avrenningskoeffisienten er noe konservativ for tak på Vestlandet som har kystklima, da korttidsnedbøren ikke er like intens som på Østlandet som har innlandsklima. Da dette foreløpig er den eneste studien av dette omfanget og intensiteten på korttidsnedbør er ventet å øke i fremtiden anses resultatene som relevante for Vestlandet også, inntil lignende studier også gjøres her.



*Figur 2.8.1. Bilde til venstre viser rådhuset i Chicago med grønt tak (National Geographic Norge, 2015) og bilde til høyre viser et sedumtak i Malmø (BYGGBASEN, 2015).*



*Figur 2.8.2. Bilde til venstre viser et konferansesenter i Vancouver, Canada (Ingeniøren, 2015), og bilde til høyre viser en illustrasjon av fremtidens grønne tak i New York (Ukjent, 2015).*

## 2.8.2 Regnbed

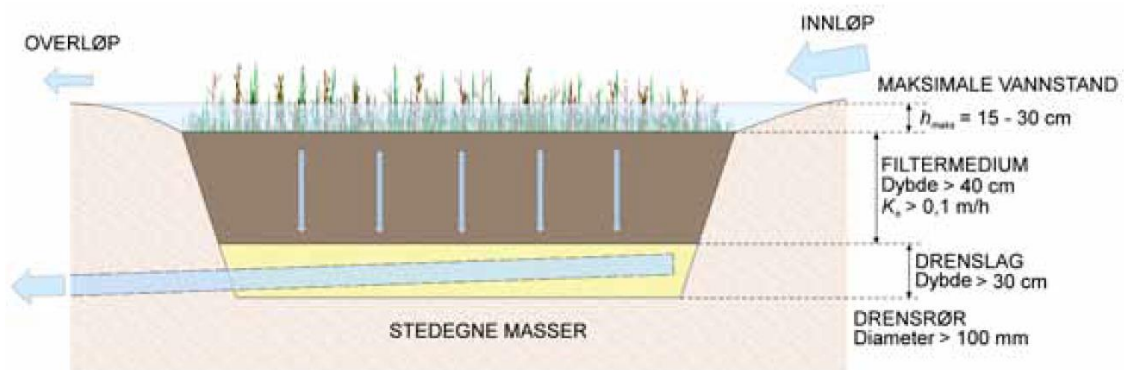
«Regnbed (eng: raingardens eller bioretention-cells) er en forsenkning i terrenget med porøs jord, beplantet med tørke- og fuktighetstolerant vegetasjon tilpasset mottak av vann fra tak, gårdsplasser og trafikkerte arealer (Bitter og Bowers, 1994)»

(Braskerud, et al., 2012).

Forsenkningen fordeler regnvannet over overflaten (Dalen, 2012), slik at det kan infiltreres ned i grunnen, samtidig som det fordrøyes (Paus & Braskerud, 2013).

Plantene er både estetiske og bidrar til å holde permeabiliteten oppe gjennom rotutvikling (Dalen, 2012).

Regnbed kan ha flere formål og hensikten til regnbedet må tas i betraktning når det skal dimensjoneres. Hensikten til et regnbed kan være å opprettholde grunnvannstanden, redusere årlig avrenning, redusere spissvannføring, rense mest mulig overvann eller rense first flush delen av nedbørshendelsen. Hva som er formålet med regnbedet er å med på å avgjøre hvilke egenskaper det skal ha og størrelsen på regnbedet. Med størrelsen menes dybden og arealet, dybden er som regel 15 – 30 cm, mens arealet kan variere mellom 5 – 10 % av det tilknyttete nedbørfeltet (Paus & Braskerud, 2013). Nedenfor viser Figur 2.8.3 oppbygningen av et typisk regnbed og en huskeliste for hva som må tas hensyn til ved etablering av regnbed, huskelisten er utarbeidet av Paus og Braskerud (Paus & Braskerud, 2013).



Figur 2.8.3. Regnbed på leirjord, med utskiftet filtermedium og drenering (Paus & Braskerud, 2013).

Figur 2.8.3. Figuren oppsummerer de viktigste kriteriene ved anlegging av regnbed,  $h_{\max}$  er mulig vannstand,  $K_s$  er infiltrasjonshastigheten.

- 1. Kartlegg vannveier for å finne egnet lokalitet. Velg tilstrekkelig avstand til bygninger.*
- 2. Bestem nedbørfeltets areal, gjennomsnittlig avrenningskoeffisient og dimensjonerende nedbørshendelse (mengde og varighet) iht. mål i 3-leddsstrategien.*
- 3. Bestem maksimale vannhøyde, anta mettet hydraulisk konduktivitet og beregn overflateareal, for eksempel ved bruk av formel i vedlegg 9.3.*
- 4. Vurder om stedegne masser har tilstrekkelig infiltrasjonskapasitet, eller om nytt filter og drenering må benyttes.*
- 5. Benytt filtermedium med god infiltrasjonskapasitet for effektivt å håndtere overvann gjennom hele året. Vurder skråstilt drenslag og drenerør i kontakt med regnbed-overflate.*
- 6. Gi regnbedet en form der vannet ledes over hele overflaten. Vurder forbehandling for tilbakeholdelse av partikler og søppel.*
- 7. Benytt vegetasjon tilpasset lokalt klima. Vær bevisst på beplantningsstrategi (vedlegg 9.2).*
- 8. Vann, gjødsle og fjern ugress til ønsket vegetasjon har etablert seg.*
- 9. Vedlikehold regnbedet etter behov.*

Et regnbed vil typisk være mellom 7 – 9 % av det tilknyttete nedbørfeltet, blir det større enn 15 % av nedbørfeltet vil det bli for plasskrevende og det vil sjeldent kunne ta mindre enn 5 % av arealet. Regnbedene er relativt arealkrevende LOD-tiltak.

Arealet til regnbedet kan bestemmes med følgende formel.

$$A_{\text{regnbed}} = (A_{\text{felt}} * c * P) / (h_{\text{maks}} + K_h * t_r)$$

Hvor

$A_{\text{regnbed}}$  er regnbedets overflateareal ( $m^2$ )

$A_{\text{felt}}$  er nedbørsfeltets størrelse ( $m^2$ )

$c$  er nedbørsfeltets gjennomsnittlige avrenningskoeffisient (-)

$P$  er dimensjonerende nedbørsmengde (m)

$h_{\text{maks}}$  er den maksimale vannstanden på overflaten før vannet går i oveløp

$K_h$  er filtermediets mettede hydrauliske konduktivitet (m/t)

$t_r$  er dimensjonerende varighet på tilrenningen til regnbedet (t)

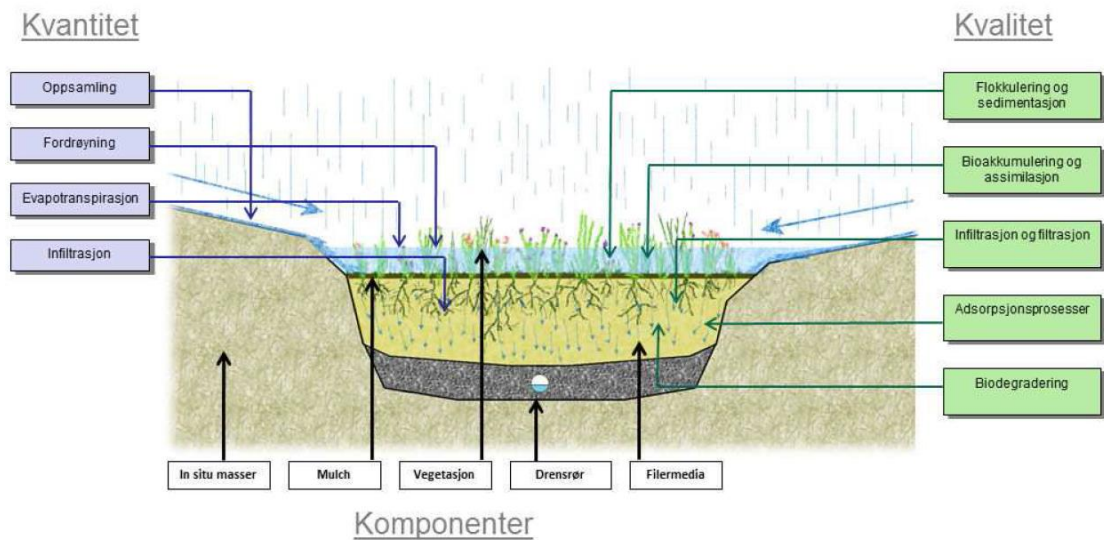
(Paus & Braskerud, 2013)

Det kan være utfordrende å fastslå en verdi for mediets mettede hydrauliske konduktivitet, denne bør være min 10 cm/t (Paus & Braskerud, 2013), det kan derfor være aktuelt å sløyfe bidraget fra infiltrasjon. Da vil regnbedet være som et åpent fordrøyningsbasseng. Uavhengig om infiltrasjonen tas hensyn til vil  $h_{\text{maks}}$  være av stor betydning, det er denne i kombinasjon med arealet som avgjør lagringskapasiteten til regnbedet. Dybden på vannstanden varierer mellom 0,15 – 0,3 m (Paus & Braskerud, 2013). For å bestemme kapasiteten til regnbed mer nøyaktig kan en benytte dimensjoneringsprogram som RECARGA.

Regnbed er først og fremst egnet som LOD-tiltak i små nedbørsfelt som er mindre en 0.8 ha, eventuelt kan det anlegges flere regnbed slik at nedbørsfeltene blir oppdelt (Paus & Braskerud, 2013). Regnbed skal kunne håndtere små til middels store nedbørsmengder og kan kategoriseres som trinn en eller to i treleddsstrategien, avhengig av formål. Større nedbørs mengder må transportere kontrollert bort i ledningsnett og trygge flomveger (Paus & Braskerud, 2013).

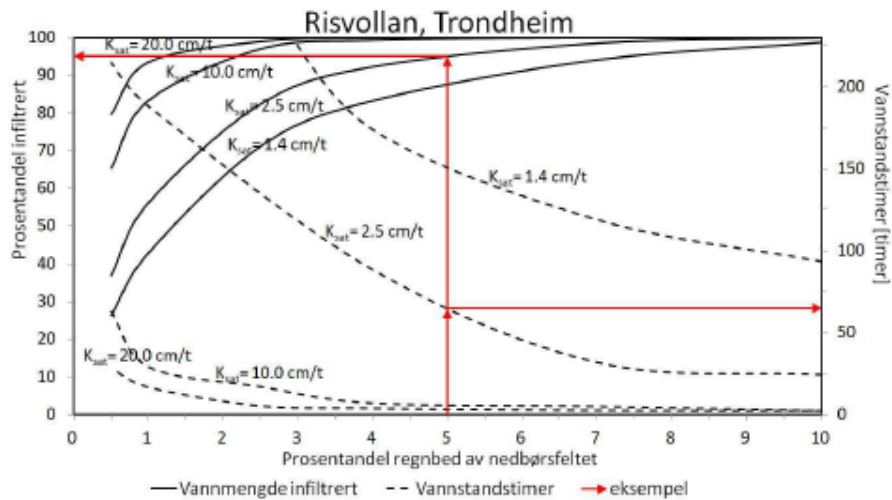
Regnbed kan også bedre vannkvaliteten. I komposten/barken, rotsonen og de underliggende jordlagene vil det foregå en rekke kjemiske og fysiske prosesser som bidrar til å øke vannkvaliteten. Dersom regnbedet hovedsakelig fungerer som fordrøyningsbasseng vil partikler kunne sedimentere. Disse egenskapene gjør regnbed spesielt godt egnet til å håndtere den såkalte first flush effekten.

Det er også knyttet en del utfordringer til bruken av regnbed, de er relativt arealkrevende, det må masseutskiftes dersom de stedege massene ikke er egnet, infiltrasjonsevnen kan reduseres som følge av frost, veisalt eller strøsand. Regnbedet krever også en del vedlikehold, spesielt i starten. Nedfor er det vist hvordan et regnbed er satt sammen og hvilke prosesser det som det bidrar med (Paus & Braskerud, 2013).

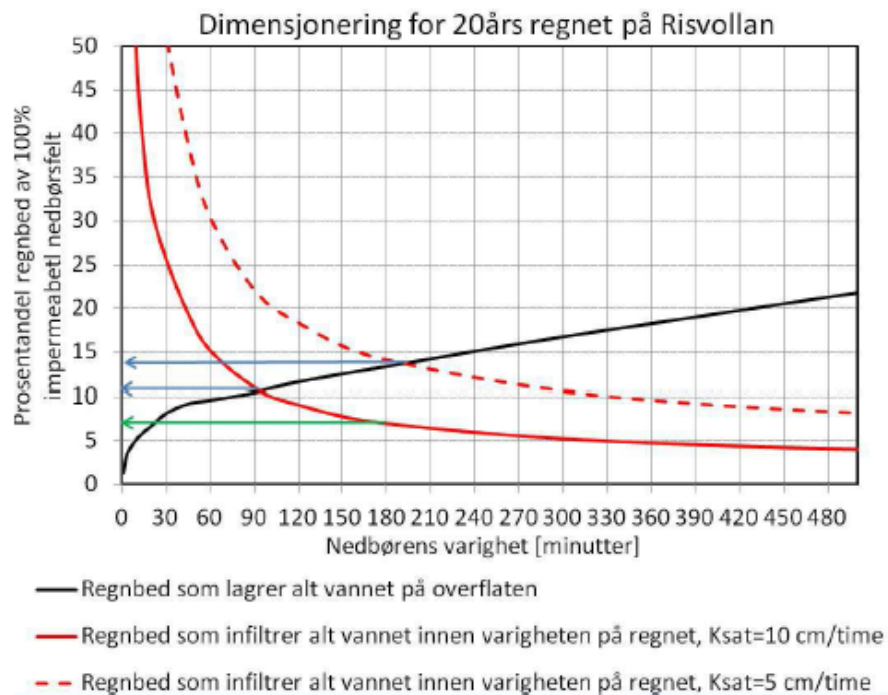


Figur 2.8.4. Figuren viser hvilke prosesser som er aktuelle i et regnbed av Kim Paus, 2011 (Dalen, 2012)





Figur 2.8.5. Figuren viser sammenhengen mellom størrelse på nedbørsfelt, fordrøyning (vannstandstimer) og infiltrasjonsmengde av årsnedbøren med ulik hydraulisk ledningsevne for Risvolla i Trondheim (Dalen, 2012). Tilsvarende grafer kan utarbeides for andre områder. Grafen er utarbeidet av Torstein Dalen i modelleringsverktøyet RECARGA.



Figur 2.8.6. Figuren viser sammenhengen mellom størrelsen på nedbørfelt, nedbørens varighet, mettet hydraulisk ledningsevne og fordrøyning for et 20 års regn på Risvolla i Trondheim (Dalen, 2012). Kryssningspunktene gir størrelsen på regnbedet, blå piler. Grønn pil viser hvor stort regnbedet må være om ikke alt vann må kunne lagres i regnbedet for et tre timers regn. Grafen er utarbeidet etter TPGC metoden av Torstein Dalen.

### 2.8.3 Gresskledde vannveger (swales)

Gresskledde vannveger kalles også swales, vadi eller vegeterte forsenkninger og er alle en betegnelse for det samme LOD-tiltaket. Formålet med disse vannvegene er først og fremst å samle og sakte transportere vann til andre LOD-tiltak, men vannvegene kan også benyttes til infiltrasjon, fordrøyning eller for å bedre vannkvaliteten. Dersom de benyttes til infiltrasjon eller fordrøyning, må de betraktes som infiltrasjongrøfter, fordrøyningsanlegg eller en kombinasjon av disse og må dimensjoneres deretter.

For at vannvegene skal fungere etter tiltenkt hensikt må de være riktig utformet og dimensjonert. Bunnen på vannvegene kan være mellom 0,5 – 2,5 m, helningen til sidene kan ikke være brattere enn 1:3, men bør være 1:4. Helningen til selve vannvegen må være brattere enn 1 %, men ikke brattere enn 5 %. Er helningen brattere enn 5 %, må det benytte terskler eller trappefall for å unngå erosjon. Anbefalt helning er 1 – 3 %, innløp og utløp må også sikres mot erosjon. Selve kapasiteten kan beregnes ved bruk av Mannings formel. Hovedforskjellen på gresskledde vannveger og tradisjonelle grøfter er at de gresskledde vannvegene gir mulighet til betydelig infiltrasjon, forsinkelse og fordrøyning, filtrering og sedimentering, i motsetning til tradisjonelle grøfter som kun har som formål å transportere bort vannet. Samtidig som de gresskledde vannvegene kan bidra til å bedre vannkvaliteten, kan de også akkumulere avfall og uønskede element. Dette må tas stilling til før bruk. De gresskledde vannvegene krever mye areal, 5- 10 % av nedbørsfeltet, når gresskledde vannveger benyttes som LOD-tiltak i større nedbørsfelt blir tiltakene meget omfattende (Leland, 2013). Tore Leland har skrevet en omfattende masteroppgave om gresskledde vannveger og laget en oppsummeringsliste over fordeler og ulemper. Listen er gjengitt nedenfor, teksten for øvrig er også i stor grad basert på denne masteroppgaven.

#### Fordeler (Leland, 2013)

- Kan erstatte overvannsledninger
- Knytter forskjellige LOD-tiltak sammen og reduserer belastningen ved redusere maksimal vannføring, volum og total masse forurensninger
- Det grunne, brede tverrsnittet forenkler vedlikehold
- Passer godt langs veger, slake sidekanter gir økt trafiksikkerhet
- Kan fungere som snødeponi der vannvegen ikke skal håndtere flomvann
- Godt egnet til å fange opp avrenning fra eiendommer og veger
- Mulig å ettermontere for å oppgradere overvannshåndteringen

#### Ulemper (Leland, 2013)

- Vanskelig å benytte i bratt terreng
- Kan oppstå erosjonsproblemer
- Arealbeslag og eventuelt filtermedium med underdrenering kan være fordyrende
- Manglende erfaring i norsk klima med hensyn til anlegging, funksjon og driftskostnader
- Plenklipping med tunge traktorklipperere kan skade gressdekket når jorda er fuktig
- Varierende renseeffekt gjør at gresskledde vannveger ikke er egnet som eneste rensetiltak med mindre den utformes for å fordrøye og infiltrere avrenningen

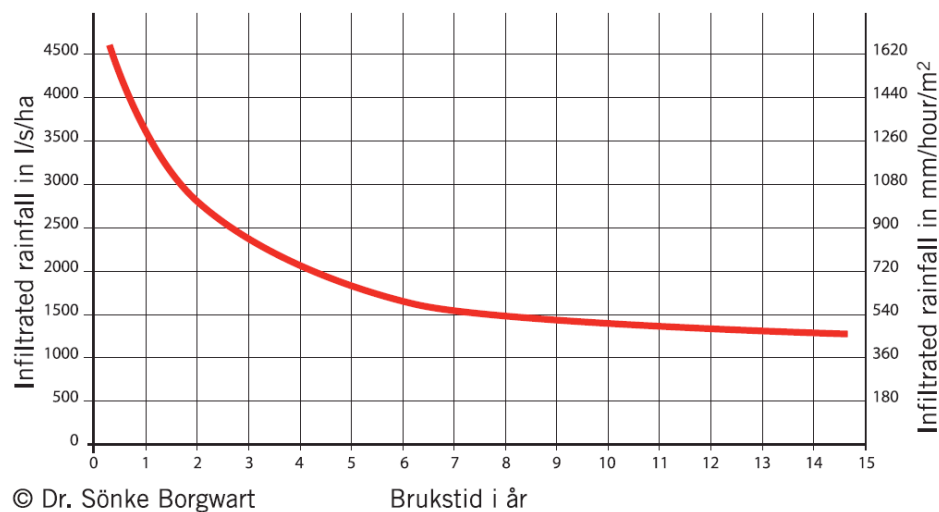


*Figur 2.8.7. Figuren viser en typisk gresskledd vannveg fra Augustenborg/Malmø (Fotograf: T. Leidstedt).*

#### 2.8.4 Permeable dekker

Den største delen av avrenningen til overflatevann kommer fra tette flater, foruten takflater, kommer overvannet fra flater som veier, gater, torg og parkeringsplasser med tette flater. Ved å begrense overflateavrenningen fra disse flatene kan en redusere avrenningen, ofte betydelig, dette vil også være såkalt kildek kontroll (Interpave , 2010). Disse flatene er ofte dekket av asfalt eller betongstein som er impermeabel, disse flatene kan med dagens anleggsteknikk gjøres permeable. Permeable dekker er porøse flater som enten kan brukes når en vil infiltrere overvannet i grunnen, bruke massene under overflaten til fordrøyningsvolum eller en kombinasjon av disse. Det er i alle tilfellene viktig at massene blir drenert ut innen rimelig tid for å hindre at oppbygningen til veien eller parkeringsplassen blir skadet.

Erfaringer har vist at drenerende asfalt kan fungere opp til 20 år med riktig vedlikehold, mens permeable dekker av betongstein som er riktig dimensjonert, utført og vedlikeholdt kan ha en levetid som avhenger av betongsteinens kvalitet. Dekker av betongstein vil i utgangspunktet ikke trenge noe særlig med vedlikehold, men i enkelte tilfeller må fugene feies eller spyles med et 20 års intervall og i ekstreme tilfeller må fugene skiftes ut (Interpave , 2010). Det vil samles finstoff i fugene når dekkene er nye, men etter hvert vil infiltrasjonskapasiteten stabiliseres med tiden, og i alle tilfeller vil kapasiteten overstige intensiteten til kortidsnedbøren.



Figur 2.8.8. Viser en kurve som illustrerer typisk reduksjon i infiltrasjonskapasiteten til de permeable dekkene av betongstein, figuren er Dr. Sönke Borgwart (Interpave , 2010).

Infiltrasjonskapasiteten til nye betongsteinsdekker som er riktig utført vil være 1620 mm/t. Denne vil reduseres til den stabiliseres på 400 mm/t. Infiltrasjonskapasiteten til forsterkningslaget under de permeable dekkene er 40 000 mm/t. 400 mm/t representerer en kapasitet på ca 1250 l/s ha, dette er langt over intensiteten til et typisk kortidsregn (Interpave , 2010). Et typisk kortidsregn har en intensitet på mellom 200-500 l/s ha avhengig av sted, varighet og gjentaksintervall.

Foruten å være et av de mest arealeffektive LOD-metodene, kan dekker av betongstein også bedre vannkvaliteten ved å fjerne forurensende stoffer fra overvannet. De forurensede stoffene blir enten liggende igjen på overflaten, når overflaten har lite fall, ellers blir de fanget opp og filtrert bort i det underliggende

fundamentet. Her blir de organiske forbindelsene som hydrokarboner nedbrutt over tid, dette er en naturlig biologisk prosess og kan foregå i det uendelige. Permeable dekker kan redusere forurensningsbelastningen fra hydrokarboner med hele 70 til 90 % (Interpave , 2010). «Dette gjør permeable dekker til ideelle for bruk på plasser hvor kjøretøy står oppstilt, som parkeringsplasser, lager og verksted» (Interpave , 2010).



*Figur 2.8.9. Belegningstein med 12 % permeabelt areal (Multiblokk, 2015).*

### 2.8.5 Infiltrasjonsgrøfter og infiltrasjon på gresskleddede flater

LOD-tiltak med infiltrasjon som formål kan utformes på en rekke ulike måter. Det kan være åpne og lukkede infiltrasjonsgrøfter, infiltrasjonsdammer/basseng eller filterbasseng. Lukkede infiltrasjonsgrøfter vil være det samme som perkolasjonsmagasin og er omtalt i eget avsnitt. Åpne infiltrasjonsgrøfter er langstrakte gresskleddede forsenkninger som er konstruert med den hensikt å infiltrere vannet kunstig, hvor stedlige masser er byttet ut med masser med god hydraulisk ledningsevne, med underliggende dreneringssystem og overløp er installert. Grøftene kan ha begrenset med fall både i lengderetning og til sidene (Vista Analyse AS / COWI, 2015).

Infiltrasjonsdammer og basseng er gresskleddede flater under tørrvær og fungerer som overvannsdammer hvor vannet lar seg infiltrere i stedlige masser under regnvær, dammene har forsedimentering og terskel ved innløpet. Disse har først og fremst stedlige masser, men kan og være utformet med utskiftete masser, dreningssystem og overløp. Dammene har forsedimentering, terskel ved innløpet og overløp (Vista Analyse AS / COWI, 2015).

Filterbasseng er i utgangspunktet det samme som infiltrasjonsbasseng, men benyttes hvor de stedlige massene har lav hydraulisk ledningsevne. Filterbasseng har i tillegg til forsedimentering, terskel ved innløpet og overløp, et underliggende dreneringssystem som leder vannet videre til det konvensjonelle ledningssystemet (Vista Analyse AS / COWI, 2015).

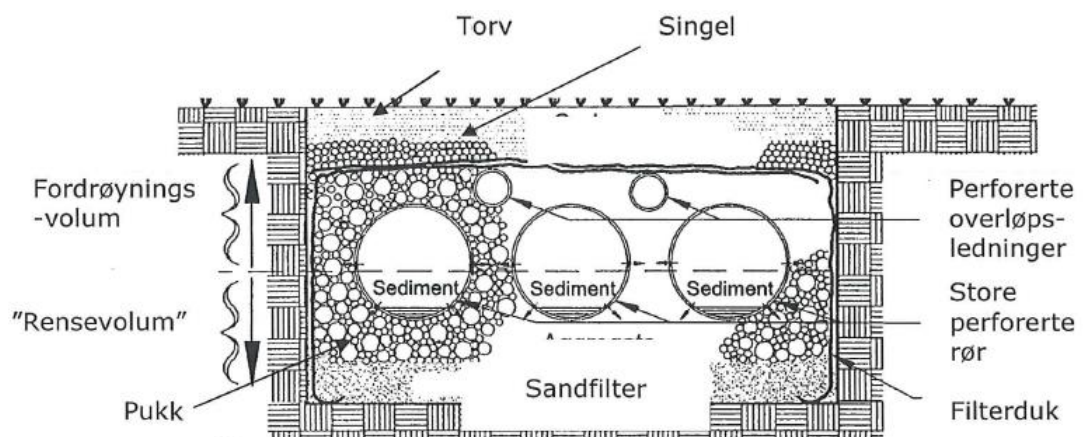
Alle infiltrasjonsløsningene kan bidra til å bedre vannkvaliteten, men de trenger også vedlikehold for å fungere etter tiltenkt hensikt. Infiltrasjonsløsningene krever i stor grad samme areal som regnbed, 7 – 9 % (COWI, 2013), og har ellers mange likhetstrekk med regnbed. Som for regnbed og alle andre infiltrasjonsløsninger bør den hydrauliske ledningsevnen også her være 10 cm/t av hensyn til kapasitet og driftsikkerhet.



Figur 2.8.10. Bilde av infiltrasjonsgrøft med gress langs E6, ved Minnesund (COWI, 2013).

## 2.8.6 Infiltrasjon i steinfyllinger eller plastkassetter (perkolasjon)

Dette utføres som lukkede grøfter eller magasin hvor vannet blir tilført under bakken og kalles også perkolasjonsmagasin. Disse kan bestå av steinfyllinger, pukkk, rør, plastkassetter osv. I de lukkede infiltrasjonsgrøftene tilføres vannet gjennom sluk og ledninger til magasinet, hvor det blir lagret mens det perkolerer videre ned i grunnen. Det har tidligere blitt brukt mye steinfyllinger, såkalte steinkister, med varierende erfaringer blant annet på grunn av gjentetting. Det må presiseres at de stedlige massene rundt anlegget må ha tilstrekkelig hydraulisk ledningsevne for at vannet skal kunne perkolere ned i grunnen, samtidig som sedimenter må fjernes før vannet tilføres magasinet. Dersom plastkassetter benyttes kan disse inspiseres og vedlikeholdes. Infiltrasjonsgrøftene kan også ha et utløpsrør, men dersom dette ikke er tiltenkt som nødoverløp, vil infiltrasjonsgrøftene være et slags fordrøyningsbasseng. Dersom steinkistene har utløpsrør vil de være å betrakte som et meget primitivt fordrøyningsbasseng. Nødoverløpene bør ideelt sett være to høytliggende drensør (Lindholm, et al., 2008).



Figur 2.8.11. Figuren viser hvordan en lukket infiltrasjonsgrøft kan utformes (Lindholm, et al., 2008).





Figur 2.8.12. Figuren viser hvordan en åpen infiltrasjonsgrøft kan utføres (Endresen, 2009).

### 2.8.7 Lokale dammer

Lokale dammer kan utformes på en rekke ulike måter, både med tørt og vått basseng, eller som våtmarker. Det kan utformes ulike kombinasjoner av dammer og våtmarker. Hensikten for dammene er å fordrøye vannet for å avlaste ledningsnettet nedstrøms. Dammene kan også bidra til å bedre vannkvaliteten, da hovedsakelig gjennom sedimentering av partikulært bundet forurensning. Dammene er et LOD-tiltak som har best effekt i tilknytning til større nedbørsfelt oppstrøms. De våte dammene bør ikke tilføres næringsstoffer som kan føre til sjenerende algevekst, de bør heller ikke tørke ut i perioder med lite nedbør dersom dette ikke er hensikten. Tørre dammer kan ha andre bruksmuligheter i tørrværsperioder, men våte dammer som tørker ut kan være sjenerende innslag i lokalmiljøet. Dammene bør planlegges, dimensjoneres og utføres slik at de blir en naturlig del av lokalmiljøet. De våte dammene bør ha avlang form på 1:3 for å sikre god gjennomstrømning og unngå kortslutning i vannstrømmen. Tørre dammer bør være tømt for vann innen 48 timer etter at det slutter å regne. Dammene bør ellers ha en slamsone og energidreper ved utløpet, utløpskontroll og overløp. Dammene krever jevnlig vedlikehold, blant annet fjerning av slam og avfall (Lindholm, et al., 2008).



Figur 2.8.13. Bildet er av dammen er fra Fornebu (Oslo Åpne Hus, 2015).

### 2.8.8 Oppsamling av takvann

Innretninger for oppsamling av takvann kan være enkle innretninger som regntønner eller mer kompliserte innretninger som lukkede fordrøyningsmagasin med utløpskontroll. Takvannet kan slippes kontrollert videre ut på en gresskledd infiltrasjonsflate, til et regnbed eller til det konvensjonelle ledningssystemet. Innretningene lagrer vann under nedbørshendelser og tømmes kontrollert under tørrvær.



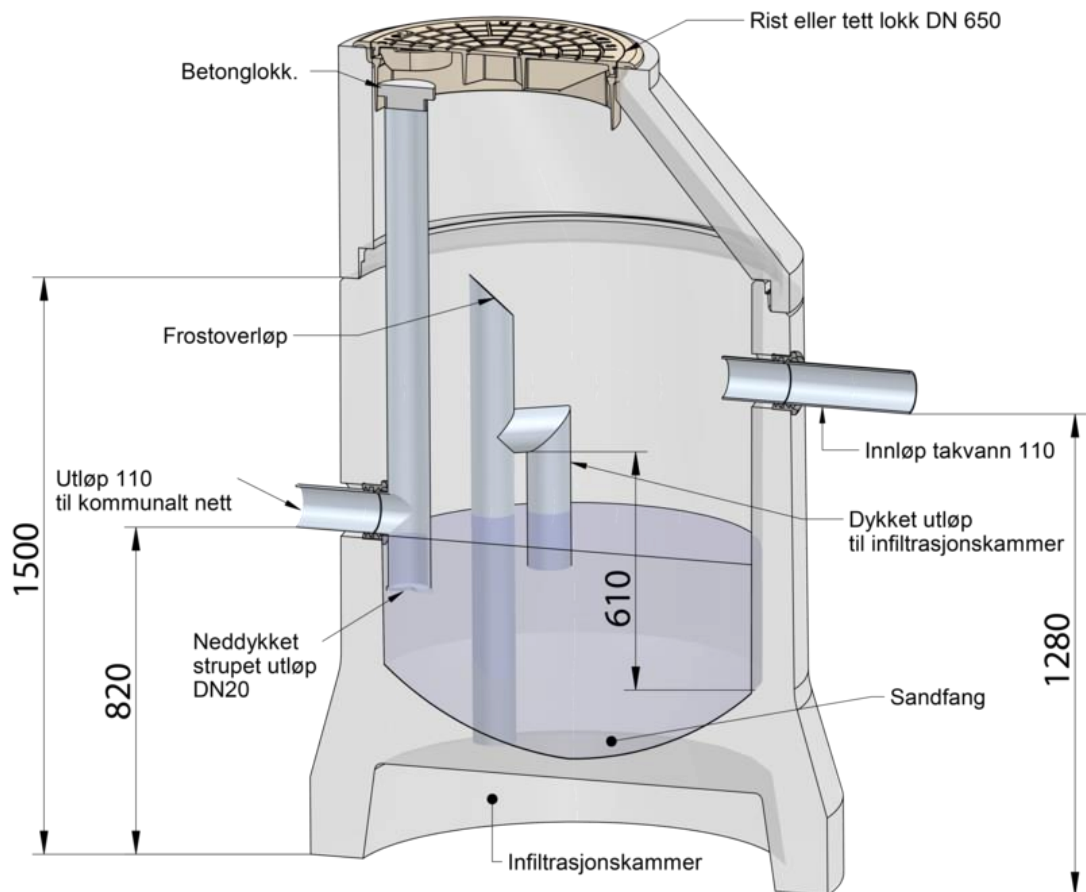
Figur 2.8.14. Figuren illustrerer en oppsamlingstank for takvann (Rossman, 2014).



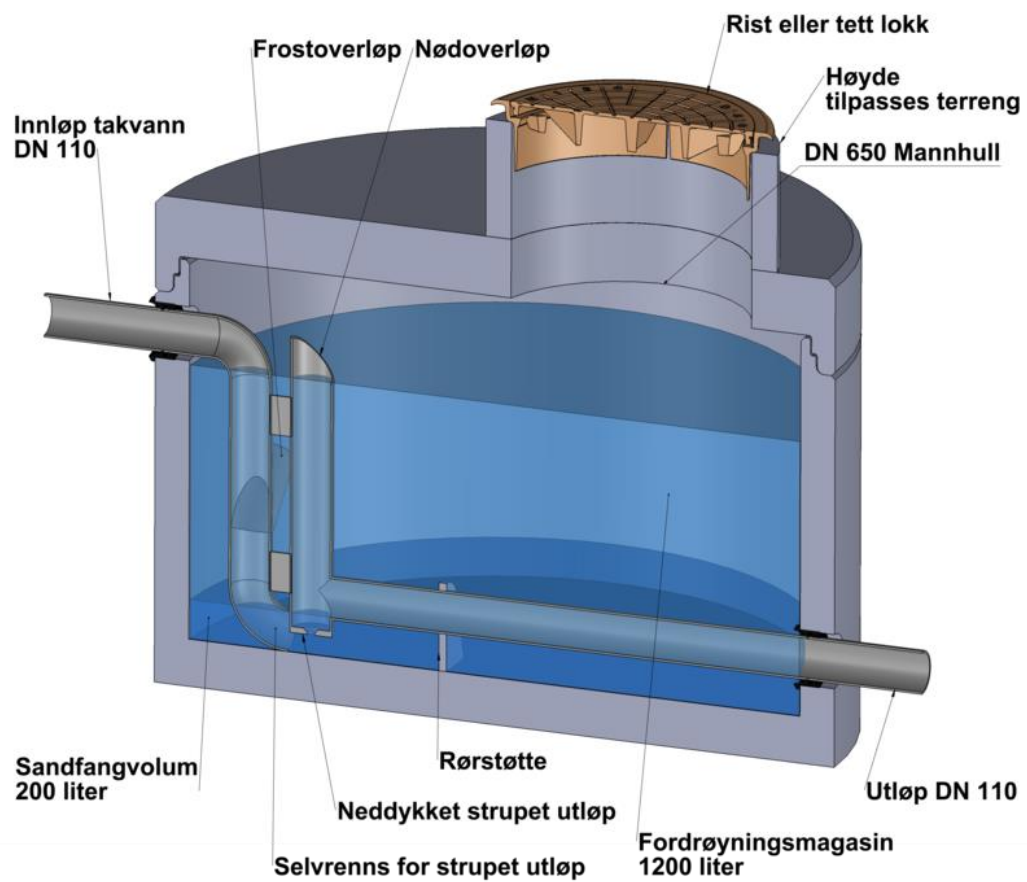
Figur 2.8.15. Figuren viser en regntønne som slipper vannet kontrollert videre til en plen. Foto: Ødegård (Vista Analyse AS / COWI, 2015).

### 2.8.9 Andre alternativ

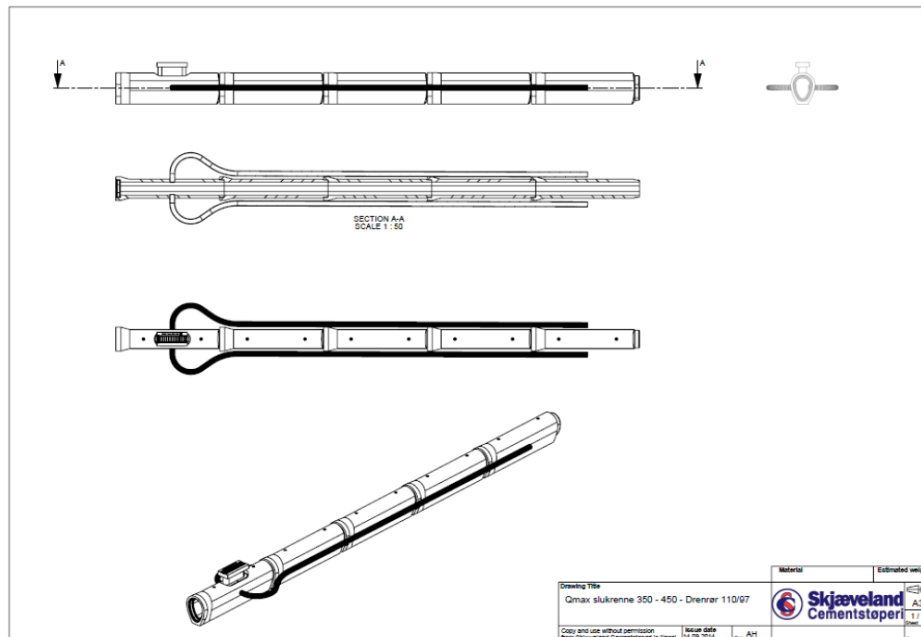
Andre LOD- tiltak kan være infiltrasjonssandfang, fordrøyningskummer eller ledningssystem som både fungerer som flomveger og drensssystem som gir nye muligheter for infiltrasjon. Noen av disse er ikke nødvendigvis en egen kategori, men faller heller ikke direkte inn under noen av de andre kategoriene og kan heller betraktes som mellomløsninger.



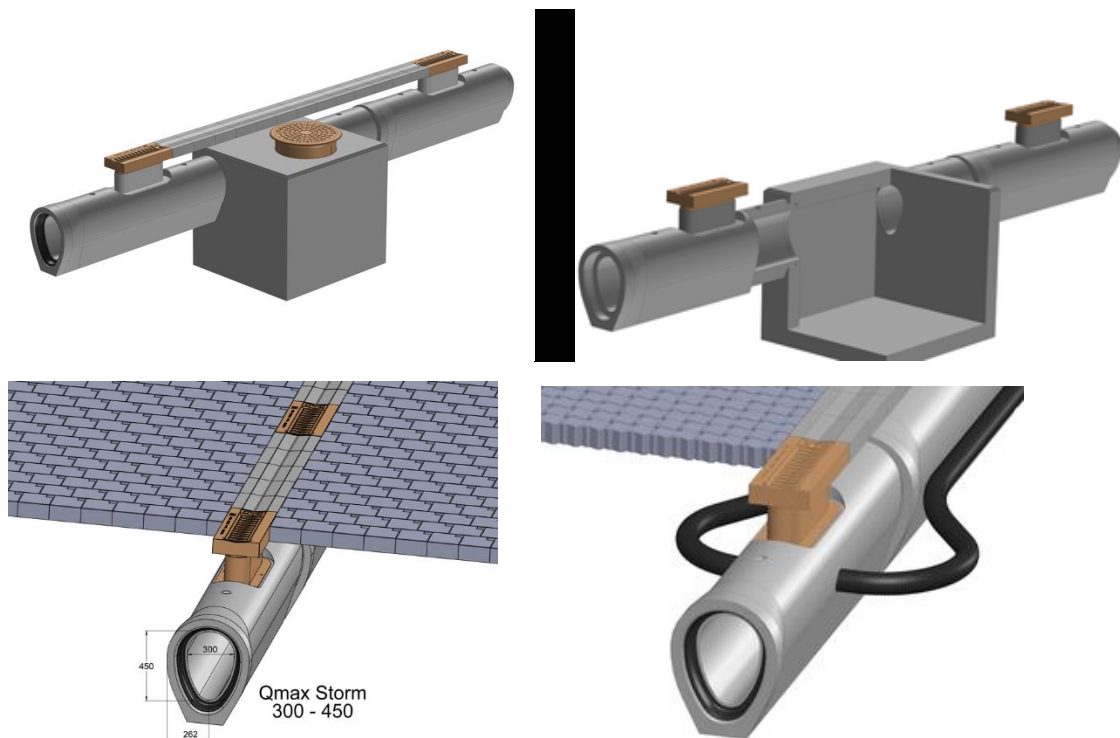
Figur 2.8.16. Figuren viser en infiltrasjonsandfang av typen Storm 1 med spesifisering av funksjoner og dimensjoner (Skjæveland Cementstøperi AS, 2015).



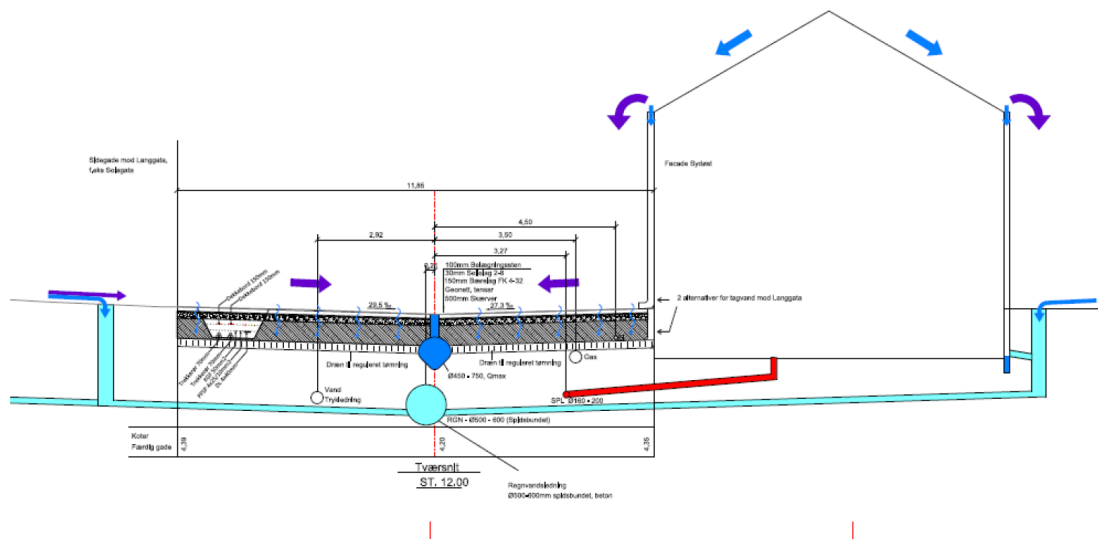
Figur 2.8.17. Figuren viser en fordrøyningskum av typen Storm 3 med spesifisering av funksjoner (Skjæveland Cementstøperi AS, 2015).



Figur 2.8.18. Prinsipptegningen viser Qmax Storm med drensledninger som lar grunnen og ledningene fungere sammen som fordryningsmagasin ved store nedbørsmengder (Skjæveland Cementstøperi AS, 2015)



Figur 2.8.19. Figuren viser ulike illustrasjoner av Qmax Storm med og uten sandfang. (Skjæveland Cementstøperi AS, 2015).



Figur 2.8.20. Tegningen viser hvordan prinsippet for overvannshåndteringen er tenkt utført i Sandnes Havnepark (Vagle, 2015).

Tegningen ovenfor viser hvordan overvannshåndteringen er tenkt utført i Sandnes Havnepark med permeable dekker som infiltrerer vannet ned i grunnen som lagrer vannet, mens det drener ut i Qmax rørene gjennom de tilkoblede drensledningene, Qmax rørene fungerer også som flomveger. Under disse finner vi hovedledningen for overvannet som kan motta overvann fra bygninger og eventuelle øvrige installasjoner.



Figur 2.8.21. Bilder av Qmax storm ferdig montert i grøften under utbyggingen av støperikvartalet (Skjæveland Cementstøperi AS, 2015).

## 2.9 SWMM, teori om modellering

SWMM, Storm Water Management Model, er et modelleringsverktøy som kan brukes til å simulere ulike avrenningssituasjoner som funksjon av ulike nedbørshendelser, både ved enkelt hendelser og over lengre tidsperioder, med hensyn på kvantitet og kvalitet. SWMM er et anerkjent simuleringsprogram som benyttes over hele verden med en over 40 år lang historie. Det er utviklet i U.S.A. av EPA, Environmental Protection Agency, som kan sies å være tilsvarende det norske Miljødirektoratet, dette gjør at programmet også er gratis med åpen kildekode. Dette gjør programmet tilgjengelig for alle som vil laste det ned og sette av tid til å lære seg å bruke det. Det finnes også andre alternativ, men ingen av disse er gratis og flere benytter seg også av SWMM sin beregningsmodul.

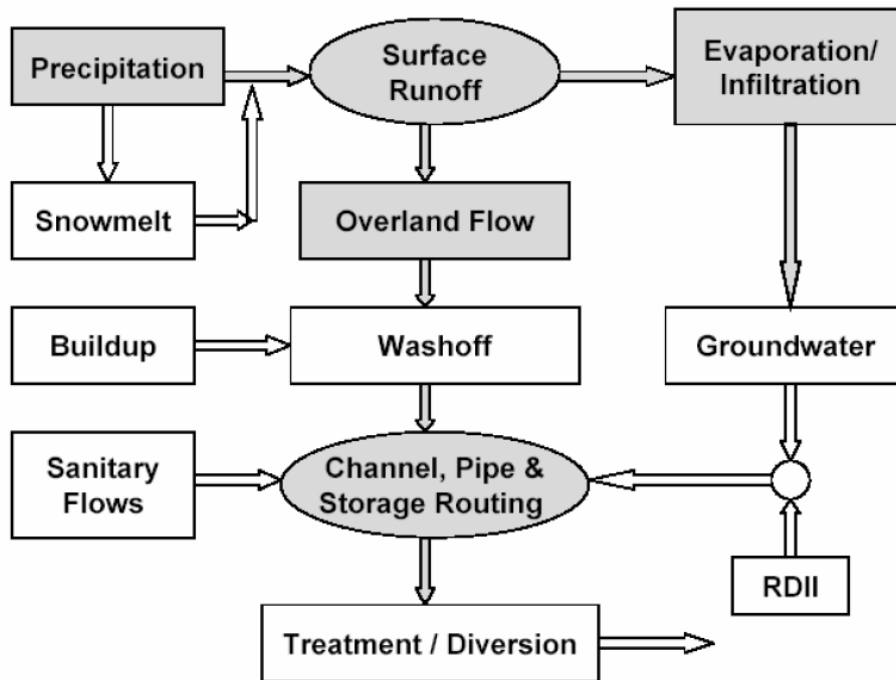
Hva er så hensikten med å bruke et modelleringsverktøy? Det er flere fordeler som kan være av interesse ved ulike analyse- og prosjekteringsituasjoner. Det gir en god innsikt i området som modelleres, enten det er et eksisterende område eller et som skal prosjekteres. Det gir en ryddig oversikt over forutsetningene og kriteriene som er lagt til grunn, samt at resultatene kan presenteres på en ryddig måte. Med en modell kan en lett kartlegge flaskehalser og svakheter i systemet, en kan også gjøre følsomhetsanalyser som gjør at en kan gjøre riktige prioriteringer av datainnhenting i fremtiden (Lindholm, 2014). Med gode modeller kan det gjøres betydelige økonomiske besparelser ved unngå feil dimensjonering av avløpssystem i nye prosjekter og utbedring av eksisterende avløpssystem. Samtidig som simuleringsprogrammet ikke regner banale feil og arbeider med å beregne nye situasjoner går tusen ganger raskere enn om det skulle vært gjort for hånd (Lindholm, 2014).

Modellen i SWMM blir satt sammen av et hensiktsmessig antall nedbørsfelt som mottar nedbør fra en forhåndsdefinert regnbyge. Når nedbørshendelsene inntreffer skapes det avrenning som ledes til avløpssystemet som er satt sammen av kummer, ledninger, kanaler, fordrøyningsbasseng, overløp, pumper og LOD-tiltak.

Simuleringer kan gjøres over et tidsrom som er hensiktsmessig i forhold til størrelsen på modellen og med et simuleringsintervall som gir ønsket nøyaktighet. Når simuleringen gjøres beregnes vannmengder fra alle nedbørsfeltene og vannmengder, dybde og hastighet i kummer, ledninger, kanaler, overløp, osv. Om kummene skulle bli overbelastet kan vann lagres på overflaten og returneres til systemet når kapasitet til systemet tillater det, hvis det



er ønskelig. Forurensningsbelastning fra nedbørsfelt og i systemet kan også beregnes (Rossmann, 2010).



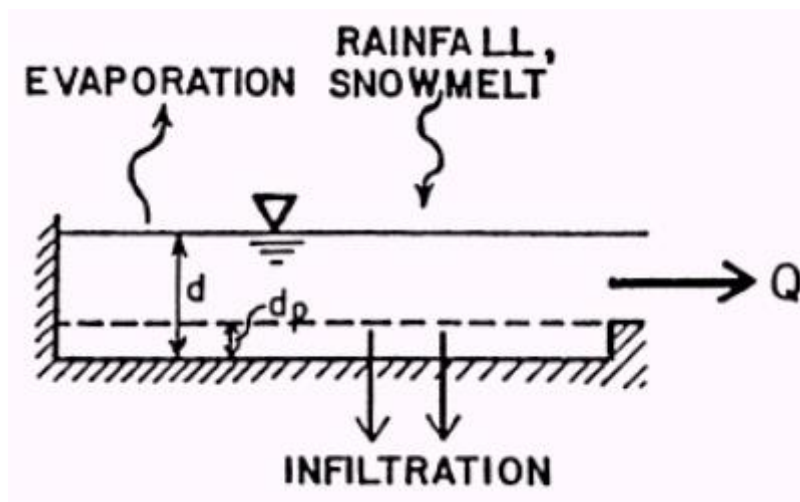
Figur 2.9.1. Figuren viser et flytskjema over avrenningen i SWMM fra nedbør til utløp (Lindholm, 2014).

SWMM er først og fremst utviklet for å simulere urbane avrenningssituasjoner med tilhørende avløps- og dreneringsystem, og kan ikke brukes til å simulere store rurale nedbørsfelt som for eksempel jordbruksområder eller skogsområder.

I det følgende er prinsippet til de ulike elementene i SWMM beskrevet, med hensyn på metoder for å beregne vannmengder og kvalitet.

### 2.9.1 Surface Runoff

Surface Runoff vil si overflateavrenning. I SWMM er avrenningen fra hvert enkelt nedbørsfelt behandlet som et ikke-lineært resevoar. Innløpet i reservoaret kommer fra den tilknyttede nedbøren og eventuelle oppstrøms nedbørsfelt som har avrenning til et nedenforliggende nedbørsfelt, mens utløpet går til sluk (node), infiltrasjon, evaporasjon og evt. nedenforliggende nedbørsfelt. Hvordan avrenningen skal skje og hva som skal tas med er opp til brukeren selv å ta hensyn til. Kapasiteten til reservoaret er selve gropmagasineringsen (depression storage). Gropmagasineringsen i SWMM tar indirekte høyde for intersepsjon. Når potensiell gropmagasineringskapasitet er full, beregnes avrenning fra nedbørsfeltet ved bruk av Mannings formel. De gjenværende vannmengde i nedbørsfeltet blir kontinuerlig beregnet med en vannbalanseligning. Nedenfor vises en figur som illustrerer dette prinsipielt (Rossmann, 2010).



Figur 2.9.2. Figuren viser prinsipielt hvordan avrenningen fra overflater i SWMM foregår (Rossmann, 2010).

### 2.9.2 Infiltration

Infiltrasjon er, som tidligere gjort rede for, når overflatevannet beveger seg gjennom overflaten og ned i den umettede sonen over grunnvannet. I SWMM kan det benyttes tre ulike infiltrasjonsligninger for å modellere denne mekanismen. Det er Horton's Equation, Green-Ampt Method og Curve Number Method. Hvilken av metodene som benyttes er avhengig av

tilgjengelige grunnlagsdata og brukerens preferanser. Her vil bare de tre metodene få en kort gjennomgang basert på hva som er beskrevet i SWMM manualen.

- Horton's Equation

Denne metoden er basert på empiriske observationer som viser at infiltrasjonsevnen avtar eksponensielt gjennom et nedbørsbyge, fra en maksimumsverdi ved nedbørens start, utgangspunktet, til en minimumsverdi når infiltrasjonskapasiteten er nådd.

Nødvendige inngangsparameter til denne metoden er maksimum og minimums infiltrasjonsrate og en konstant som beskriver hvordan infiltrasjonsevnen avtar eksponensielt over tid, samt hvor lang tid det tar for mettet jord til å tørke ut (Rossmann, 2010).

- Green-Ampt Method

Denne metoden for å modellere infiltrasjonen antar at en klar fuktighetsfront eksisterer i den umetta markvannsonen, denne jorden med noe fuktighet i utgangspunktet er separert fra den vannmettete jord som er over.

Nødvendige inngangsparameter til denne metoden er fuktighetsinnholdet til jorden i utgangspunktet, hydraulisk ledningsevne og kapillærkraften ved fuktighetsfronten (Rossmann, 2010).

- Curve Number Method

Denne metoden er hentet fra NRCS, Natural Resources Conservation Service, sin Curve Number method for å anslå avrenning. NRCS er et myndighetsorgan i U.S.A som jobber for å beskytte jord og bistår bønder med å utvikle jorden på en bærekraftig måte, samtidig som den gir god avkastning.

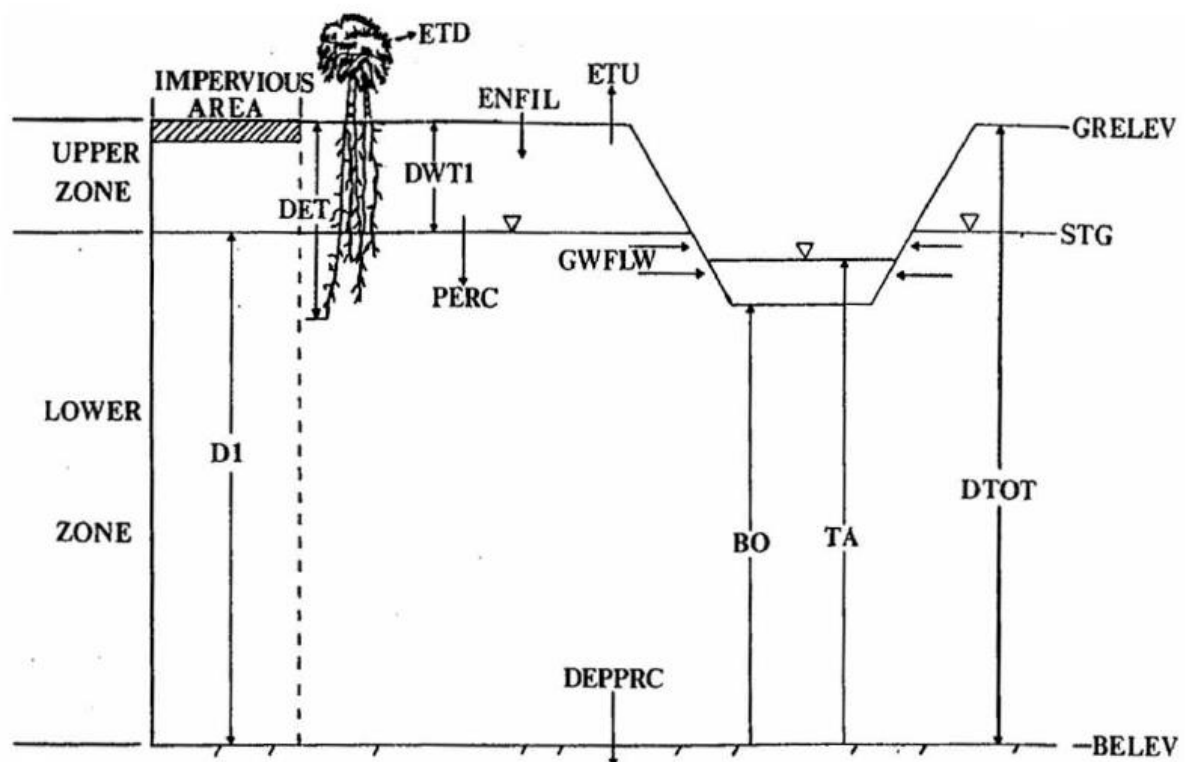
Metoden antar at en total infiltrasjonskapasitet kan estimeres ut fra en tabell med såkalte Curve Number. Under en nedbørshendelse blir denne kapasiteten utnyttet som en funksjon av den akkumulerte nedbøren og den gjenstående kapasiteten.

Inngangsparameterene for denne metoden er det såkalte curve number og tiden det tar fullt mettet jord til å tørke helt ut (Rossmann, 2010).

SWMM kan også modeller infiltrasjonsevnen gjennom å benytte en månedlig faktor som tar hensyn til sesongvariasjoner i grunnvannsnivå og evaporasjonraten. Den valgfrie månedlige faktoren for variasjonsmønsteret spesifiseres som en del av prosjektets evaporasjonsdata.

### 2.9.3 Groundwater

Grunnvannsnivået i SWMM varierer som en funksjon av det hydrologiske kretsløpet. Det vil si at både infiltrasjonsevne, evapotranspirasjon, perkolasjon fra rotsonen, perkolasjon fra den umetta sonen og grunnvannsnivå er hensyntatt. For hvert tidsintervall beregnes vannbalansen i systemet på ny, slik at grunnvannsnivå, vanngjennomstrømning og fuktighetsinnhold i grunnen til en hver tid er hensyntatt. Nedfor vises en prinsippskisse av hvordan vannbalansen i grunnen blir modellert, hentet fra manualen til SWMM.



Figur 2.9.3. Prinsippskisse av vannbalansen i grunnen med utgangspunkt i mettet og umettet sone (Huber, 1988).

#### 2.9.4 Snowmelt

Det er også mulig å ta hensyn til snøsmelting i SWMM, dette vil kun være aktuelt under spesielle forhold, særlig med tanke på modellering av nedbør på frosset mark og snøsmelting. Dette vil først og fremst være aktuelt for simuleringer over lengre tidsrom og spesielle hendelser, vanligvis dimensjoneres det for konvektiv nedbør om sommeren. Det som refereres til som sommerregn.

Snøsmelting i SWMM tar hensyn til nedbørsfrekvens og intensitet, temperatur, wind, sublimasjon, akumulering og refordeling av snø, samt andre relevante parametre (Rossmann, 2010).

Snø og snøsmelting vil ikke bli omtalt utover dette.

#### 2.9.5 Flow Routing

Når beregninger skal utføres kan en velge mellom tre ulike strømningsligninger, dette er Steady Flow Routing, Kinematic Wave og Dynamic Wave (Rossmann, 2010).

- Steady Flow Routing summerer kun opp avrenningen fra nedbørsfeltene oppstrøms beregningspunktet. Denne kan kun brukes på grensystem. Vann som går ut av systemet er tapt fra modellen (Rossmann, 2010).
- Kinematic wave tar hensyn til tyngdekraft, friksjon, fordrøyning i rør, kanaler og lagring av vann utenfor systemet, men ikke tilbakestrømning, inn- og utløpstep og kan kun brukes på grensystem (Rossmann, 2010).
- Dynamic Wave beregner ikke-uniforme stasjonære forhold i systemet. Dette gjør at tilbakestrømning, overløp, trykkstrømninger, inn- og utløpstep blir hensyntatt og alle mulige systemer kan analyseres, både på grensystem, parallelle ledninger og ringsystem. For å gjøre dette benytter den hele St. Venants ligning, som er en

dynamisk ligning som tar hensyn til kontinuitet og moment. Dette er den ligningen som har størst teoretisk nøyaktighet (Rossmann, 2010).

Ligningen krever små tidsintervall for å få god nøyaktighet på beregningene, dersom tidsintervallene eller tidsstegene ikke er små nok kan det resultere i ustabile resultat og vannføringsgrafer som oscillerer. For å unngå dette må som sagt tidsintervallene reduseres, hvis ikke dette er tilstrekkelig kan en prøve med variable tidsintervall, ignorere utgangspunktet til momentligningen eller forlenge de korteste ledningsstrekene. Dette er mer utfyllende forklart i SWMM manualen på side 118 og i en egen rapport, «Dynamic Flow Routing», som sammenligner resultater fra SWMM 4 opp mot SWMM 5 (Rossmann, 2006). Resultet til beregningene bør være innenfor en feilmargin på ti prosent (Rossmann, 2010).

### 2.9.6 Surface Ponding

Surface ponding vil si at det dannes vanddammer på overflaten. I utgangspunktet vil alt overskuddsvann som forlater systemet på grunn av kapasitetsunderskudd gå tapt fra modellen, men brukeren kan velge å lagre overskuddsvannet over kummer (junction) og føre det tilbake til systemet når kapasiteten tillater det (Rossmann, 2010).

Når en velger å gjøre dette med Dynamic Wave Routing som tar hensyn til både nivå og strømning i kummer og ledninger, føres vannet tilbake til systemet som en funksjon av arealet som er nødvendig for å lagre det. Dynamic Wave Routing kan også la overløpsvannet strømme videre på overflaten i åpne flomveger eller kanaler og eventuelt la vannet gjeninføres til systemet i et innløp nedstrøms eller føre vannet til åpne fordrøyningsbasseng eller andre fordypninger i terrenget hvor vannet ikke er til skade eller ulempe. Det er en nyttig funksjon generelt og vil være en viktig funksjon ved planlegging av åpne flomveger (Rossmann, 2010).

### 2.9.7 Water Quality Routing

Det er også mulig å modellere vannkvaliteten i SWMM og dette gjøres ved å spesifisere hvilken type område hvert enkelt nedbørsfelt representerer og hvor mye forurensinger disse genererer. Da kan forurensningsbelastningen estimeres ved at forurensningskonsentrasjonen akkumuleres i avløpssystemet, som fungerer som en såkalt continuously stirred tank reactor (CSTR). På denne måten kan forurensningsbelastningen som forlater systemet i hvert enkelt tidsintervall estimeres. Det er ikke mulig å bruke LOD-tiltak til å få beregnet hvor mye de aktuelle LOD-tiltak forbedrer vannkvaliteten (Rossmann, 2010).

### 2.9.8 LID Representation

LID, Low Impact Development, er en samlebetegnelse tilsvarende LOD, Lokal Overvanns Disponering, for bærekraftig overvannshåndtering av overvannet hvor en i størst mulig grad forsøker å opprettholde vannbalansen i det naturlige hydrologiske kretsløpet med fokus på kildekontroll.

I modelleringsprogrammet SWMM er det lagt til rette for bruk av syv ulike LOD-tiltak, disse er Bio-retention Cells, Infiltration Trenches, Continuous Porous Pavement, Rain Barrels, Vegetative Swales, Raingardens og Green Roofs. Videre er det gitt en nærmere innføring i hvordan de ulike tiltakene er utformet i SWMM og hvilken bruk de tiltenkt, denne innføring er basert på SWMM manualen.

- Bio-retention Cells, kan defineres som et avansert regnbed eller regnbed med en viss størrelse og er groper i terrenget som er beplantet med stedstilpasset vegetasjon i et egnet vekstmedium, over et et lag med pukk eller lignende. Dette gir lagringsvolum til vannet og mulighet for at vannet kan infiltrere ned i grunnen og evaporere ut i atmosfæren. Vannet kan være nedbør og avrenning fra omkringliggende områder og nedbørsfelt oppstrøms. Bio-retention Cells kan representere regnbed av ulik størrelse

og ulikt omfang og grønne tak og kan ses på som utgangspunktet for samtlige LOD-tiltak. Dersom LOD-tiltak ikke er forhåndsdefinert, kan Bio-retention Cells benyttes for å modellere det (Rossmann, 2010).

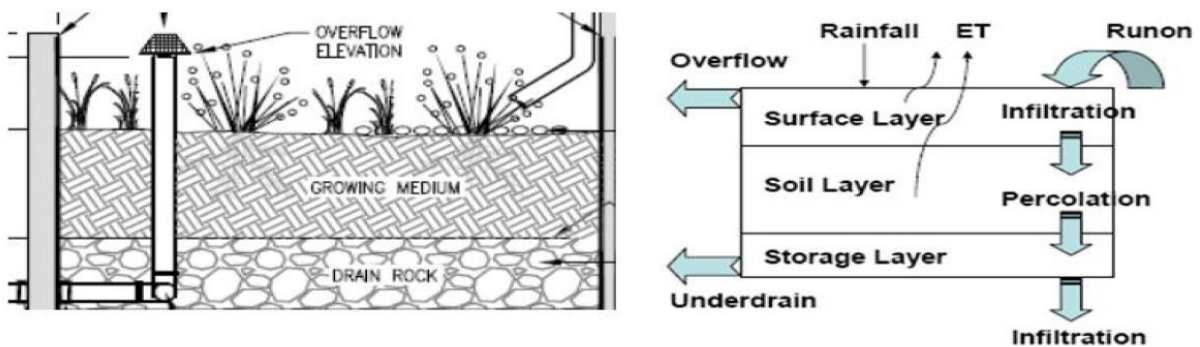
- Infiltration Trenches, infiltrasjonsgrøfter, er smale grøfter som er fylt med pukk og fanger opp avrenning oppstrøms det impermeable område. Disse er også referert til som avskjærende grøfter i norsk litteratur. Grøftene med pukk har et lagringsvolum og gir vannet mulighet til å infiltrere i de stedlige massene (Rossmann, 2010).
- Continuous Porous Pavement, permeable dekker, er veger, gater, parkeringsplasser, torg og lignende med dekker som er permeable. Under de permeable dekkene vil det være et lagringsvolum og dreneringssystem. De permeable dekkene kan bestå av porøs betong, asfalt, belegningsstein og grusdekke. Lagringsvolumet vil bestå av pukk og under kan det være drenerør som leder til det konvensjonelle ledningssystemet. Normalt vil alt regnvann passere gjennom de permeable dekkene umiddelbart og videre ned i lagringsvolumet hvor det kan infiltrere ned i de stedlige massene (Rossmann, 2010).
- Rain Barrels (cisterns), regntønner (siterner), er et lagringsvolum som fanger opp takvannet under kraftige nedbørsbyger. Vannet kan enten fordrøyes eller gjenbrukes til hagevanning og lignende senere (Rossmann, 2010).
- Vegetative Swales, vegeterte forsenkninger eller swales, er kanaler eller groper i terrenget hvor sidene består av en slak helning dekket gress eller annen vegetasjon. De vegeterte forsenkningene reduserer hastigheten til avrenningen som transporteres i dem og gir avrenningen mer tid til å infiltrere ned i de stedlige massene (Rossmann, 2010).
- Raingardens, regnbed, er en vegetert grop i terrenget uten lagringsvolum og dreneringssystem under. Dette kan betraktes som en enklere utgave av Bio-retention



Cells hvor en baserer seg på at vannet infiltreres i de stedlige massene (Rossmann, 2010)

- Green Roofs, grønne tak, kan være ekstensive eller intensive tak som reduserer avrenningshastigheten og bidrar til økt evapotranspirasjon, før vannet ledes videre (Rossmann, 2010).

LOD-tiltak i SWMM er oppbygd etter de samme prinsippene som det hydrologiske kretsløpet generelt. Hvor nedbør, tilrenning, avrenning, evapotranspirasjon, infiltrasjon, perkolasjon og grunnvann er hovedelementene som er hensyntatt i beregningen av vannbalansen.



Figur 2.9.4. Figuren illustrer den prinsippelle oppbygningen til LOD-tiltak (Rossmann, 2014).

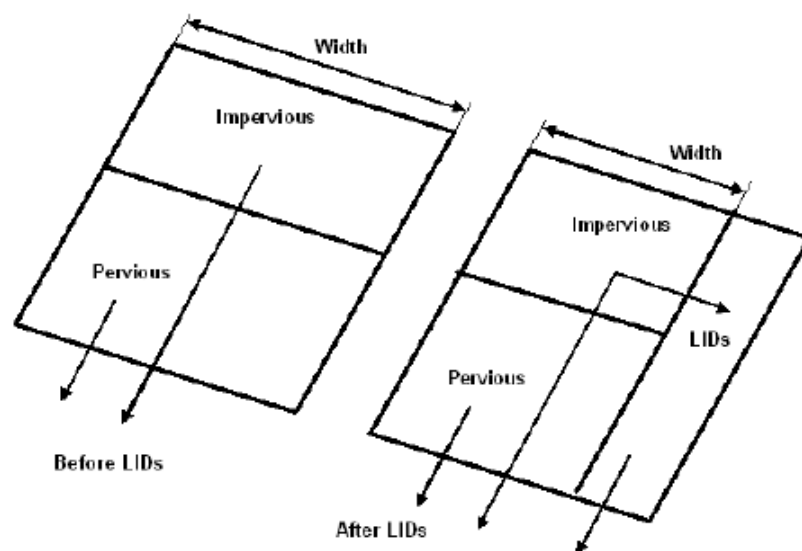
LOD-tiltakene defineres hver for seg og hvert enkelt LOD-tiltak kan plasseres fritt innenfor et nedbørsfelt med ønsket areal. Det er mulig å definere flere like LOD-tiltak med ulike egenskaper, i forhold til hva som er inkludert i tiltaket og bidraget til disse.

LOD-tiltakene er oppbygd som en kombinasjon av vertikale lag, som hver har en funksjon og egne inngangsdata. Hvert enkelt av disse vertikale lagene bidrar på ulike måter til det hydrologiske kretsløpet.

Tabell 2.9.1. Tabellen viser de ulike LOD-tiltakene og hvilke vertikale lag som er aktuelle for det enkelte LOD-tiltaket. Rundingene representerer valgfritt utløp/underdrenering til noen av tiltakene, tabellen er basert på tabell 3-1 i SWMM 5.0 (Rossmann, 2010).

LID - Type	Surface	Pavement	Soil	Storage	Underdrain	Drainage Mat
Bio-Retention Cell	X		X	X	O	
Porous Pavement	X	X		X	O	
Infiltration Trench	X			X	O	
Rain Barrel				X	X	
Vegetative Swale	X					
Green Roof	X		X			X
Raingarden	X		X			

Videre er det gitt en innføring i hva de enkelte lagene representerer, hvilken rolle de har og hvilket materiale som benyttes, forklaringen er basert på SWMM manualen.



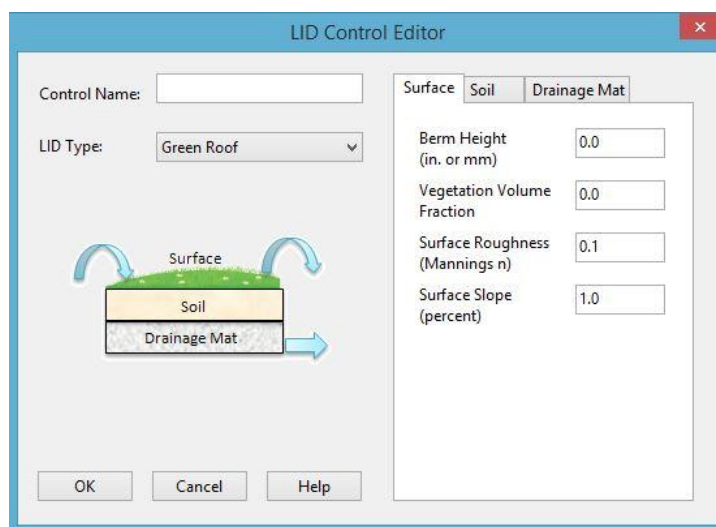
Figur 2.9.5. Figuren illustrer prinsipielt hvordan avrennings situasjonen foregår med og uten LOD-tiltak. LOD-tiltak i samme nedbørsfelt virker kun i parallell og ikke i serie, LOD-tiltak i serie må gjøres gjennom flere nedbørsfelt (Rossmann, 2010)

- The surface Layer, overflatelaget, representerer grunnens overflate. Det er på overflatelaget nedbøren faller, det er dette som mottar tilrenningen fra det resterende nedbørsfeltet og oppstrøms nedbørsfelt, det er her overskuddsvann blir lagret som funksjon av gropmagasiner og det er dette laget som generer avrenning til områder nedstrøms eller vann til det de underliggende lagene og dreneringssystemet (Rossmann, 2010).
- The pavement layer, gatebelegning eller veidekke, representerer den porøse overflaten til asfalt, beleggningsstein eller betong, men kan også representere armert gress og lignende permeable overflater (Rossmann, 2010).
- The Soil Layer, jordlaget, representerer et egnet vekstmedium som kan benyttes i regnbed og lignende LOD-tiltak. Vekstmediumet er en jordblanding tilpasset for å legge til rette for gode vekstvilkår, samtidig som den har en god infiltrasjonsevne (Rossmann, 2010).
- The Storage Layer, lagringslaget, representerer et volum under regnbed, infiltrasjonsgrøften og lignende LOD-tiltak av pukk eller en annen jortart med stor effektiv porøsitet som kan lagre vann. For regntønner er det bare selve tønner (Rossmann, 2010).
- The Underdrain System, dreneringssystemet, representerer et system som leder vannet ut av lagringsvolumet. Dette består fortrinnsvis av drensledninger med nødvendig kapasitet, som ledes til det konvensjonelle ledningssystemet. For regntønner er dette representert med utløpsventilen i bunnen av tønner (Rossmann, 2010).
- The Drainage Mat, dreneringsmatten, representerer et eget lag som kun benyttes av de grønne takene. Dreneringsmatten kan betraktes som en kombinasjon av lagringslaget og dreneringssystemet.

## 2.10 SWMM, LID Controls

Det er her gitt et forsøk på å forklare hva som er hensikten til de ulike parameterne som blir benyttet når en skal modellere LOD-tiltak i SWMM, og hvordan en finner frem til de ulike parameterne.

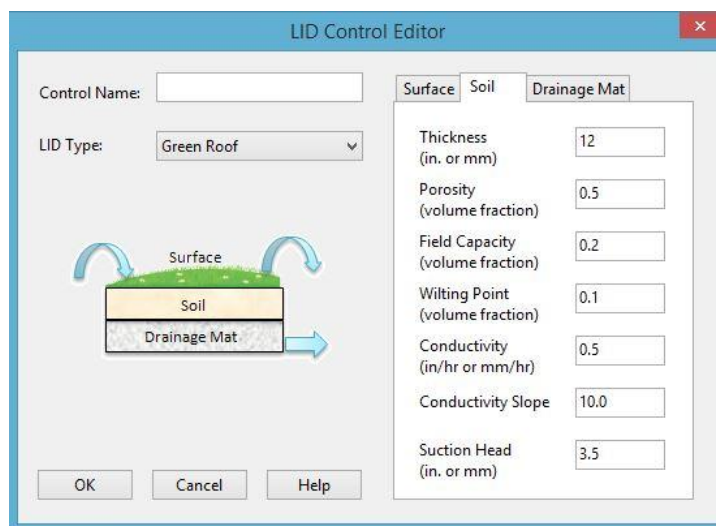
### 2.10.1 Grønne tak – Green Roof



Figur 2.10.1. Figuren viser LID Control Editor – Green Roof - Surface

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Berm Height (mm)</b>	«Berm Height» er ikke forklart i manualen.	«Berm Height» er høyden på sidene som omkranser overflaten. Det er høyden på sidene til overflaten, sammen med arealet på overflaten, som gir et evt lagringsvolum (fordrøyningsvolum) på overflaten.	Høyden til sidene må antas etter hva som kan være realistisk, eller hvor stort lagringsvolum som er nødvendig. Dersom tegninger foreligger benyttes disse. Kan variere mellom 50 – 300 mm.
<b>Vegetation Volume Fraction</b>	The fraction of the storage area above the surface that is filled with vegetation.	Dette er andelen av lagringsvolumet på overflaten som er fylt med vegetasjon (Rossman, 2011), oppgis i brøk. Lagringsvolumet er igjen avhengig av arealet og høyden på sidene.	Andelen av lagringsvolum som er fylt med vegetasjon må anslås, men denne vil i praksis aldri være mer enn fem prosent, 0,05. Selv dette er høyt 0,01 – 0,03 er mer realistisk. Er lagringsvolumet stort, kan 0,01 og være høyt. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 0.

		Av liten betydning, spesielt ved analyser av små nedbørsfelt.	
<b>Surface Roughness (Mannings n)</b>	Manning's n for overland flow over the surface of porous pavement or a vegetative swale. Use 0 for other types of LIDs	Manning's n for overflateavrenning på ulike overflater beskriver ruheten til overflaten. Manningstallet brukes til å beregne gjennomsnittlig strømningshastighet på overflater og i kanaler.	Denne må antas ut fra takets vegetasjon basert på faglige vurderinger. Det finnes Manningsverdier i manualen, appendix A.6, og flere andre steder bla. i Vassdragshåndboka. Manualen har en verdi på 0,15 for short prarie grass, som kan sammenlignes med sedumvekster.
<b>Surface Slope (percent)</b>	Slope of the porous pavement surface or vegetative swale (percent). Use 0 for other types of LIDs.	Dette er helningen på overflaten, helningen oppgis i prosent. Selv om manualen kun henviser til permeable dekker og swales, gjelder denne parameteren også for grønne tak. Dette er pga at manualen ikke er oppdatert til versjon 5.1 med regnbed og grønne tak.	Helningen til taket må antas ut fra type bygg/bebyggelse basert på faglige vurderinger. Dersom det foreligger føringer i evt. reguleringsplaner, eller tegninger er utarbeidet benyttes disse.

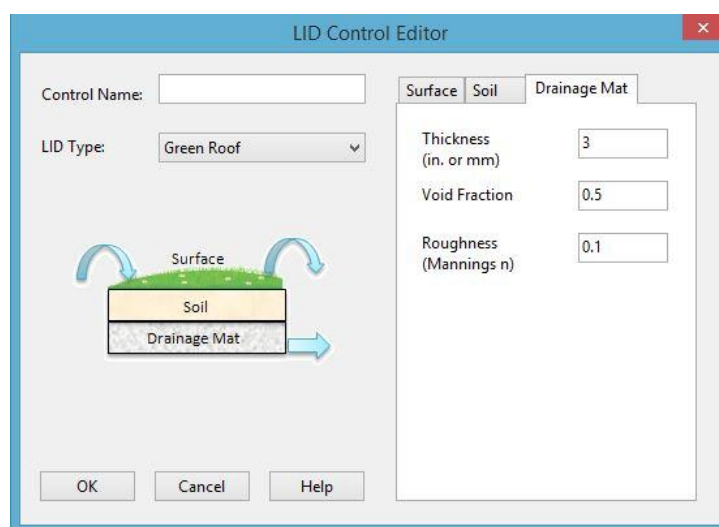


Figur 2.10.2. Figuren viser LID Control Editor – Green Roof – Soil

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren
<b>Thickness (mm)</b>	The thickness of the soil layer (mm). Typical values ranges from 450 to 900 mm for rain gardens, street	Denne parameteren representerer tykkelsen på jordlaget, også referert til som filtermedium. Typiske verdier kan variere mellom 400 – 800	Denne parameteren må antas basert på faglige vurderinger, om ikke tegninger foreligger. En kan også høre med ulike leverandører hva de anbefaler.

	planters and other types og land-based bio- retention units, but only 75 to 150 mm for green roofs.	mm, mens anbefalt verdi er ca. 400 mm. For grønne tak kan denne verdiene variere mellom 30 – 400 mm. Tykkelsen på jordlaget er også med å avgjøre lagringskapasiteten.	For intensive grønne tak kan denne verdien variere mellom 150 – 400 mm, for ekstensive tak vil 30 – 40 mm være typiske verier. Lave verdier vil være konservativt.
<b>Porosity (volume fraction)</b>	The volume of pore space relative to total volume of soil (as a fraction).	Porøsiteten angir det relative forholdet mellom totalt volum og volumet av porer (hulrom) i jorden eller filtermediet, oppgis som brøk. Porøsitet omtales også som hulromsfaktoren. Det er den totale porøsiteten som oppgis og ikke den effektive porøsiteten. Av liten betydning, spesielt ved analyser av små nedbørsfelt. Lave verdier vil være konservativt.	Den totale porøsiteten må antas basert på faglige vurderinger ved bruk av tabeller og diagrammer, om porøsiteten ikke er beregnet ved å tørke jordprøver tatt i felt. I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på total porøsitet for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter. For jord på grønne tak kan den totale porøsiteten antas å være 0,45. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 0,5.
<b>Field Capacity (volume fraction)</b>	Volume of pore water relative to total volume after the soil has been allowed to drain fully (as a fraction). Below this level, vertical drainage of water through the soil layer does not occur.	Feltkapasiteten angir det relative vanninnholdet i forhold til det totale volumet av jorda etter gravitasjonsdrenering, oppgis som brøk. Av liten betydning, spesielt ved analyser av små nedbørsfelt.	I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på feltkapasitet for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter. For jord på grønne tak kan feltkapasiteten antas å være 0,06. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 0,2.
<b>Wilting Point (volume fraction)</b>	Volume of pore water relative to total volume for a well dried soil where only bound water remains (as a fraction). The moisture content of the soil cannot fall below this limit.	Visnepunktet angir det relative vanninnholdet i forhold til det totale volumet av jorda etter gravitasjonsdrenering og langvarig tørke, fuktighetsinnholdet i jorda kan ikke bli lavere, oppgis i brøk. Det resterende fuktighetsinnholdet er sterkt bundet av friksjon til jorden, kommer fuktighetsinnholdet under dette punktet dør vegetasjonen. Av liten betydning, spesielt ved analyser av små nedbørsfelt.	I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på visnepunkt for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter. For jord på grønne tak kan visnepunktet antas å være 0,03. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 0,1.
<b>Conductivity mm/hr</b>	Hydraulic conductivity for the fully saturated soil (mm/hr).	Vannmettet hydraulisk konduktivitet, $K_{sat}$ , brukes til å beregne vanngjennomstrømmingen i grunnen eller relevant medium,	I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på hydraulisk konduktivitet for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter.

		sammen med den hydrauliske gradienten.	For jord på grønne tak kan hydraulisk konduktivitet antas å være 180 mm/t. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 12,7 mm/t.
<b>Conductivity Slope</b>	Slope of the curve of log(conductivity) versus soil moisture content (dimensionless). Typical values range from 5 for sands to 15 for silty clay.	Helningen til konduktivitetskurven er et mål (forholdstall) på hvor hurtig den hydrauliske konduktiviteten avtar når fuktighetsinnholdet i jorden avtar. Typiske verdier er 5 for sandjord og opp til 15 for siltig leire (Rossmann, 2010).	Det er ingen tabell med eksempler på forholdstall til helningen på konduktivitetskurven i manualen. I vedlegg A er det utarbeidet en tabell med eksempler for ulike jordarter basert på verdier oppgitt av L. Rossmann (Rossmann, 2011). For jord på grønne tak kan konduktivitetskurven antas å være 5,0. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 10,0 som er en middelverdi.
<b>Suction Head (mm)</b>	The average value of soil capillary suction along the wetting front (mm). This is the same parameter as used in the Green-Ampt infiltration model.	Sugekraften er en gjennomsnittlig verdi for kapilærkreftene langs fuktighetsfronten i grunnen. Dette er den samme parameteren som er brukt i Green-Ampt infiltrasjonmodell.	I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på sugekraft for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter. For jord på grønne tak kan sugekraften antas å være 50,0 mm. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 88,9 mm.

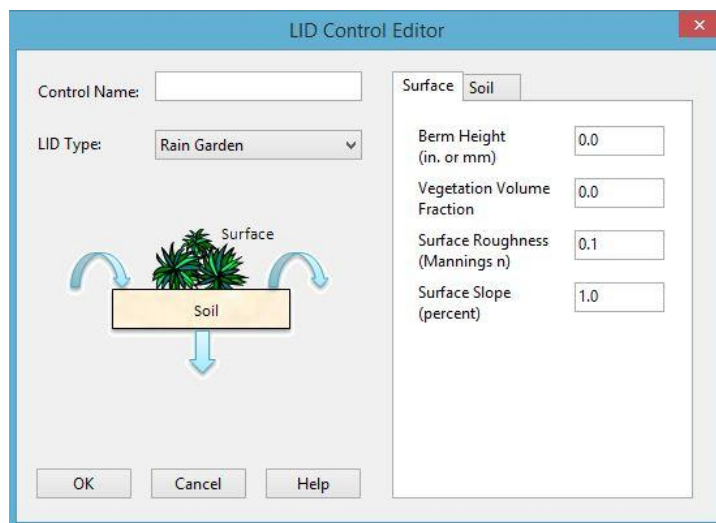


Figur 2.10.3. Figuren viser LID Control Editor – Green Roof – Drainage Mat

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren
<b>Thickness (mm)</b>	Drainage Mat og «Thickness» for Drainage Mat er ikke forklart i manualen, pga av at manualen ikke er oppdatert til versjon 5.1.	Denne parameteren representerer tykkelsen på dreneringsmatten, også referert til som dreneringsmedium. Ekstensive grønne tak med bratt takvinkel (2-27°) har en underliggende filtmatte som dreneringsmatte, tak med slakere helning (0-4°) har som regel en knotteplastlignende matte under for bedre avrenningen. Tykkelsen på dreneringslaget er også med å avgjøre lagringskapasiteten. Av liten betydning for de fleste typer analyser, spesielt små nedbørsfelt.	Disse verdiene må antas basert på faglige vurderinger. Dersom tegninger og tekniske spesifikasjoner foreligger benyttes disse, ellers kan ulike leverandører gi informasjon om oppbygningen. Typiske verdi for filtmatte under ekstensive grønne er ca. 10 mm, tykkelse på knotteplast kan være 10 - 25 mm. For intensive grønne tak er oppbygningen noe mer omfattende, men det kan antas at det kan modelleres på lignende måte, med et ekstra vannholdig lag. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 76,2 mm.
<b>Void Fraction</b>	Drainage Mat og «Void Fraction» er er ikke forklart i manualen, pga av at manualen ikke er oppdatert til versjon 5.1..	Void Fraction kan oversettes til hulromsandelen, på lik linje med porøsitet, kan og refereres til som hulromsfaktoren. Hvorfor det ikke benyttes samme terminologi, porøsitet, for hulromsandelen til dreneringsmatten er uklart. Hulromsandelen oppgis i brøk. Hulromsandelen vil være med å avgjøre lagringskapasiteten	Hulromsandelen for dreneringsmatter må antas basert på faglige vurderinger. Dersom tegninger og tekniske spesifikasjoner foreligger benyttes disse. Hulromsandelen vil kunne være mellom 0,3 – 0,6. I grunninnstillingene er 0,5 benyttet, denne verdien kan sannsynligvis benyttes i de fleste tilfeller for filtmatter, når knotteplast er nederste laget kan denne sannsynligvis heves til 0,8.
<b>Roughness (Mannings n)</b>	Drainage Mat og «Roughness» for Drainage Mat er ikke forklart i manualen, pga av at manualen ikke er oppdatert til versjon 5.1.	Manning's n for dreneringslaget beskriver ruheten og dermed friksjonen som må vannet møter mens det transporteres mot avløpet på taket og brukes til å beregne gjennomsnittlig strømningshastighet.	Denne må antas ut fra basert på faglige vurderinger. Det finnes Manningsverdier i manualen, appendix A.6, A.7 og A.8 og flere andre steder bla. i Vassdragshåndboka. Manualen har en verdier for overflateavrenning, ledninger og kanaler oppgitt. Det kan være utfordrende å plassere dreneringslaget i noen av disse kategoriene, men 0,80 dense underbush, woods, for filtmatte og 0,4 light underbush for filtmatte med knotteplast under kan være aktuelle verdier.



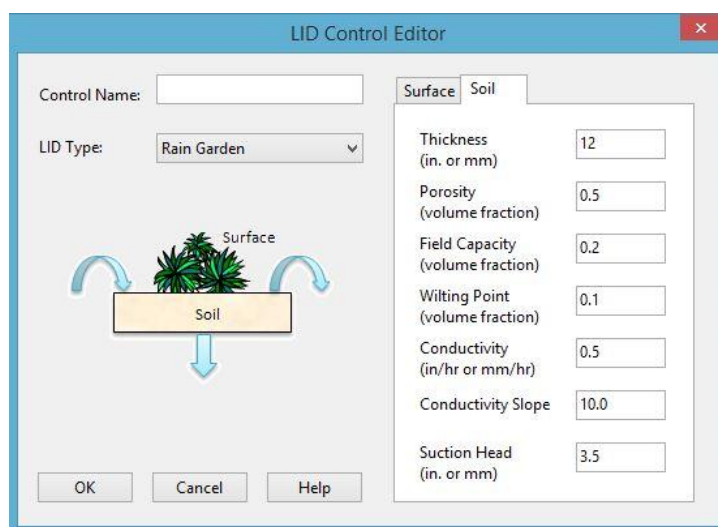
## 2.10.2 Regnbed – Rain Garden



Figur 2.10.4. Figuren viser LID Control Editor – Rain Garden - Surface

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren
<b>Berm Height (mm)</b>	«Berm Height» er ikke forklart i manualen	«Berm Height» er høyden på sidene som omkranser overflaten. Det er høyden på sidene til overflaten, sammen med arealet på overflaten, som gir et evt. lagringsvolum (fordrøyningsvolum) på overflaten.	Høyden til sidene må antas etter hva som kan være realistisk, eller hvor stort lagringsvolum som er nødvendig. Dersom tegninger foreligger benyttes disse. Dybden til regnbed er typisk 150 – 300 mm.
<b>Vegetation Volume Fraction</b>	The fraction of the storage area above the surface thar is filled with vegetation.	Dette er andelen av lagringsvolumet på overflaten som er fylt med vegetasjon, oppgis i brøk. Lagringsvolumet er igjen avhengig av arealet og høyden på sidene.	Andelen av lagringsvolum som er fylt med vegetasjon må anslås, men denne vil i praksis aldri være mer enn fem prosent, 0,05. Selv dette er høyt 0,01 – 0,03 er mer realistisk. Er lagringsvolumet stort, kan 0,01 og være høyt. I grunninstillingene er denne verdien satt til 0.
<b>Surface Roughness (Mannings n)</b>	Manning's n for overland flow over the surface of porous pavement or a vegetative swale. Use 0 for other types of LIDs	Manning's n for overflateavrenning på ulike overflater beskriver ruheten til overflaten. Manningstallet brukes til å beregne gjennomsnittlig strømningshastighet på overflater og i kanaler.	For andre typer LOD-tiltak enn permeable dekker, swales og grønne tak settes ruheten til 0. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 0,1.

<b>Surface Slope (percent)</b>	Slope of the porous pavement surface or vegetative swale (percent). Use 0 for other types of LIDs.	<p>Dette er helningen på overflaten, helningen oppgis i prosent.</p> <p>For andre LOD-tiltak enn permeable dekker, swales, og grønne tak settes denne verdien til 0.</p>	<p>Helningen til regnbedet settes til 0.</p> <p>I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 1.</p>
--------------------------------	--	--	--



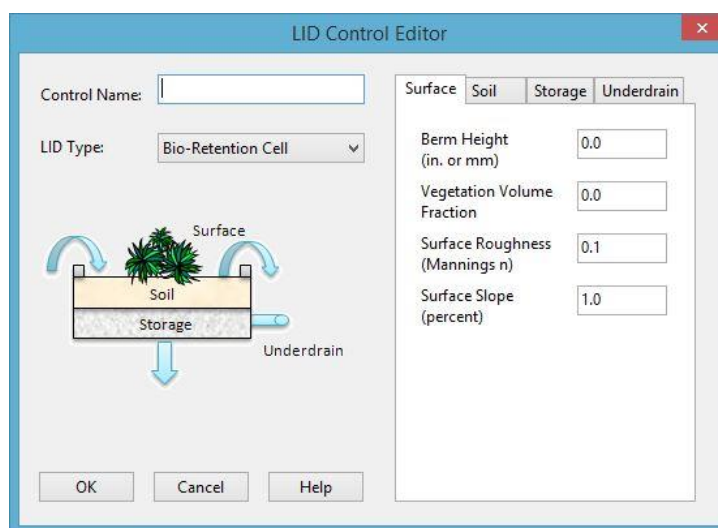
Figur 2.10.5. Figuren viser LID Control Editor – Rain Garden – Soil.

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren
<b>Thickness (mm)</b>	The thickness of the soil layer (mm). Typical values ranges from 450 to 900 mm for rain gardens, street planters and other types of land-based bio-retention units, but only 75 to 150 mm for green roofs.	Denne parameteren representerer tykkelsen på jordlaget, også referert til som filtermedium. Tykkelsen på jordlaget er også med å avgjøre lagringskapasiteten.	Denne parameteren må antas basert på faglige vurderinger, om ikke tegninger foreligger. Typiske verdier kan variere mellom 400 – 800 mm, mens anbefalt verdi er ca. 400 mm.
<b>Porosity (volume fraction)</b>	The volume of pore space relative to total volume of soil (as a fraction).	Porøsiteten angir det relative forholdet mellom totalt volum og volumet av porer (hulrom) i jorden eller filtermediet, oppgis som brøk. Porøsitet omtales også som hulromsfaktoren. Det er den totale porøsiteten som oppgis og ikke den effektive porøsiteten.	Den totale porøsiteten må antas basert på faglige vurderinger ved bruk av tabeller og diagrammer, om porøsiteten ikke er beregnet ved å tørke jordprøver tatt i felt. I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på total porøsitet for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter.

		Av liten betydning ved analyser av små nedbørsfelt.	For jord i regnbed kan den totale porøsiteten antas å være 0,45. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 0,5.
<b>Field Capacity (volume fraction)</b>	Volume of pore water relative to total volume after the soil has been allowed to drain fully (as a fraction). Below this level, vertical drainage of water through the soil layer does not occur.	Feltkapasiteten angir det relative vanninnholdet i forhold til det totale volumet av jorda etter gravitasjonsdrenering, oppgis som brøk. Av liten betydning, spesielt ved analyser av små nedbørsfelt.	I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på feltkapasitet for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter. For jord i regnbed kan feltkapasiteten antas å være 0,06. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 0,2.
<b>Wilting Point (volume fraction)</b>	Volume of pore water relative to total volume for a well dried soil where only bound water remains (as a fraction). The moisture content of the soil cannot fall below this limit.	Visnepunktet angir det relative vanninnholdet i forhold til det totale volumet av jorda etter gravitasjonsdrenering og langvarig tørke, fuktighetsinnholdet i jorda kan ikke bli lavere, oppgis i brøk. Det resterende fuktighetsinnholdet er sterkt bundet av friksjon til jorden, kommer fuktighetsinnholdet under dette punktet dør vegetasjonen. Av liten betydning, spesielt ved analyser av små nedbørsfelt.	I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på visnepunkt for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter. For jord på i regnbed kan visnepunktet antas å være 0,03. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 0,1.
<b>Conductivity mm/hr</b>	Hydraulic conductivity for the fully saturated soil (mm/hr).	Vannmettet hydraulisk konduktivitet, $K_{sat}$ , brukes til å beregne vanngjennomstrømningen i grunnen eller relevant medium, sammen med den hydrauliske gradienten. Av liten betydning ved analyser av små nedbørsfelt, da vannet ikke får tid til å infiltrere grunnen.	I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på hydraulisk konduktivitet for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter. For jord i regnbed bør hydraulisk konduktivitet være min. 100 mm/t av hensyn til frost, varierende rotutv., sammenpak., osv. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 12,7 mm/t.
<b>Conductivity Slope</b>	Slope of the curve of log(conductivity) versus soil moisture content (dimensionless). Typical values range from 5 for sands to 15 for silty clay.	Helningen til konduktivitetskurven er et mål (forholdstall) på hvor hurtig den hydrauliske konduktiviteten avtar når fuktighetsinnholdet i jorden avtar (Rossman, 2010). Typiske verdier er 5 for sandjord og opp til 15 for siltig leire (Rossmann, 2010). Av liten betydning ved analyser av små nedbørsfelt.	Det er ingen tabell med eksempler på forholdstall til helningen på konduktivitetskurven i manualen. I vedlegg A er det utarbeidet en tabell med eksempler for ulike jordarter basert på verdier oppgitt av L. Rossmann (Rossmann, 2011). For jord på grønne tak kan konduktivitetskurven antas å være 5,0. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 10,0 som er en middelvei.

<b>Suction Head (mm)</b>	The average value of soil capillary suction along the wetting front (mm). This is the same parameter as used in the Green-Ampt infiltration model.	Sugekraften er en gjennomsnittlig verdi for kapilærkreftene langs fuktighetsfronten i grunnen. Dette er den samme parameteren som er brukt i Green-Ampt infiltrasjonmodell. Av liten betydning ved analyser av små nedbørsfelt.	I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på sugekraft for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter. For jord i regnbed kan sugekraften antas å være 50,0 mm. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 88,9 mm.
--------------------------	--	---	--

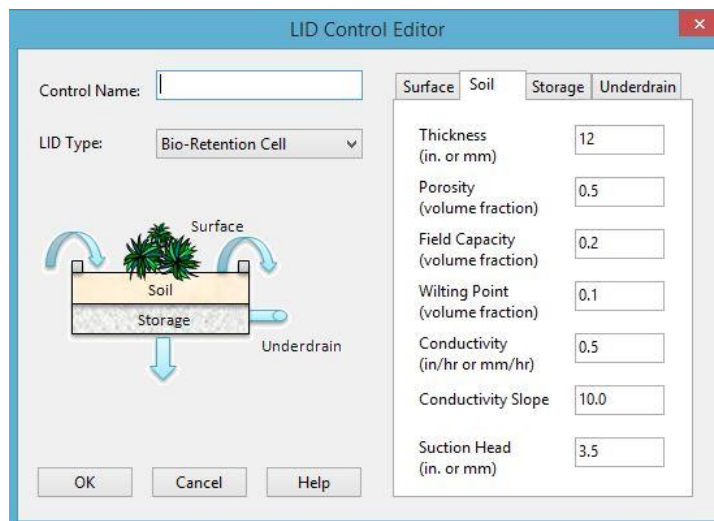
### 2.10.3 Bio-Retention Cell – regnbed/filterbasseng



Figur 2.10.6. Figuren viser LID Control Editor – Bio-retention Cell – Surface.

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Berm Height (mm)</b>	«Berm Height» er ikke forklart i manualen	«Berm Height» er høyden på sidene som omkranser overflaten. Det er høyden på sidene til overflaten, sammen med arealet på overflaten, som gir et evt. lagringsvolum (fordrøyningsvolum) på overflaten.	Høyden til sidene må antas etter hva som kan være realistisk, eller hvor stort lagringsvolum som er nødvendig. Dersom tegninger foreligger benyttes disse. Dybden til regnbed er typisk 150 – 300 mm.

<b>Vegetation Volume Fraction</b>	The fraction of the storage area above the surface that is filled with vegetation.	Dette er andelen av lagringsvolumet på overflaten som er fylt med vegetasjon, oppgis i prosent. Lagringsvolumet er igjen avhengig av arealet og høyden på sidene.	Andelen av lagringsvolum som er fylt med vegetasjon må anslås, men denne vil i praksis aldri være mer enn fem prosent, 0,05. Selv dette er høyt 0,01 – 0,03 er mer realistisk. Er lagringsvolumet stort, kan 0,01 og være høyt. I grunninnstillingene er denne verdien satt til 0.
<b>Surface Roughness (Mannings n)</b>	Manning's n for overland flow over the surface of porous pavement or a vegetative swale. Use 0 for other types of LIDs	Manning's n for overflateavrenning på ulike overflater beskriver ruheten til overflaten. Manningstallet brukes til å beregne gjennomsnittlig strømningshastighet på overflater og i kanaler.	For andre typer LOD-tiltak enn permeable dekker, swales og grønne tak settes ruheten til 0. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 0,1.
<b>Surface Slope (percent)</b>	Slope of the porous pavement surface or vegetative swale (percent). Use 0 for other types of LIDs.	Dette er helningen på overflaten, helningen oppgis i prosent. For andre LOD-tiltak enn permeable dekker, swales, og grønne tak settes denne verdien til 0.	Helningen til regnbedet settes til 0. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 1.

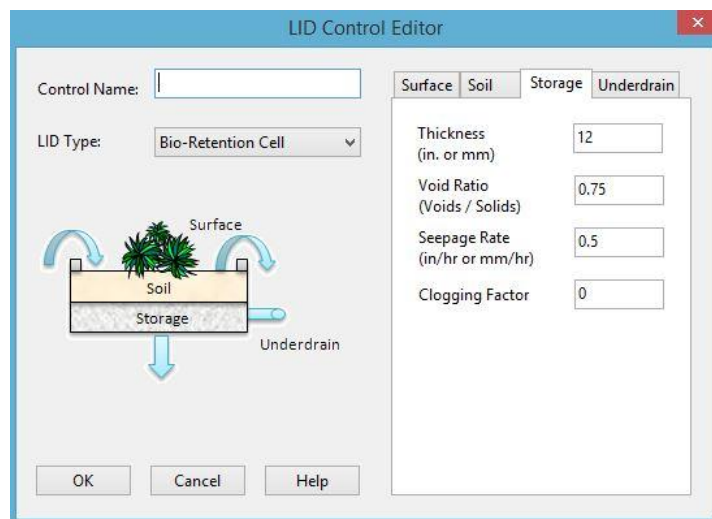


Figur 2.10.7. Figuren viser LID Control Editor – Bio-retention Cell – Soil.

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Thickness (mm)</b>	The thickness of the soil layer (mm). Typical values ranges from 450 to 900 mm for rain gardens,	Denne parameteren representerer tykkelsen på jordlaget, også referert til som filtermedium.	Denne parameteren må antas basert på faglige vurderinger, om ikke tegninger foreligger.

	street planters and other types og land-based bio- retention units, but only 75 to 150 mm for green roofs.	Tykkelsen på jordlaget er også med å avgjøre lagringskapasiteten.	Typiske verdier kan variere mellom 400 – 800 mm, mens anbefalt verdi er ca. 400 mm.
<b>Porosity (volume fraction)</b>	The volume of pore space relative to total volume of soil (as a fraction).	Porøsiteten angir det relative forholdet mellom totalt volum og volumet av porer (hulrom) i jorden eller filtermediet, oppgis som brøk. Porøsitet omtales også som hulromsfaktoren. Det er den totale porøsiteten som oppgis og ikke den effektive porøsiteten. Av liten betydning ved analyser av små nedbørsfelt.	Den totale porøsiteten må antas basert på faglige vurderinger ved bruk av tabeller og diagrammer, om porøsiteten ikke er beregnet ved å tørke jordprøver tatt i felt. I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på total porøsitet for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter. For jord i regnbed kan den totale porøsiteten antas å være 0,45. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 0,5.
<b>Field Capacity (volume fraction)</b>	Volume of pore water relative to total volume after the soil has been allowed to drain fully (as a fraction). Below this level, vertical drainage of water through the soil layer does not occur.	Feltkapasiteten angir det relative vanninnholdet i forhold til det totale volumet av jorda etter gravitasjonsdrenering, oppgis som brøk. Av liten betydning, spesielt ved analyser av små nedbørsfelt.	I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på feltkapasitet for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter. For jord i regnbed kan feltkapasiteten antas å være 0,06. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 0,2.
<b>Wilting Point (volume fraction)</b>	Volume of pore water relative to total volume for a well dried soil where only bound water remains (as a fraction). The moisture content of the soil cannot fall below this limit.	Visnepunktet angir det relative vanninnholdet i forhold til det totale volumet av jorda etter gravitasjonsdrenering og langvarig tørke, fuktighetsinnholdet i jorda kan ikke bli lavere, oppgis i brøk. Det resterende fuktighetsinnholdet er sterkt bundet av friksjon til jorden, kommer fuktighetsinnholdet under dette punktet dør vegetasjonen. Av liten betydning, spesielt ved analyser av små nedbørsfelt.	I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på visnepunkt for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter. For jord på i regnbed kan visnepunktet antas å være 0,03. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 0,1.
<b>Conductivity mm/hr</b>	Hydraulic conductivity for the fully saturated soil (mm/hr).	Vannmettet hydraulisk konduktivitet, $K_{sat}$ , brukes til å beregne vanngjennomstrømmingen i grunnen eller relevant medium, sammen med den hydrauliske gradienten. Av liten betydning ved analyser av små nedbørsfelt,	I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på hydraulisk konduktivitet for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter. For jord i regnbed bør hydraulisk konduktivitet være min. 100 mm/t av hensyn til frost, varierende rotutv., sammenpak., osv.

		da vannet ikke får tid til å infiltrere ned i grunnen.	I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 12,7 mm/t.
<b>Conductivity Slope</b>	Slope of the curve of log(conductivity) versus soil moisture content (dimensionless). Typical values range from 5 for sands to 15 for silty clay.	Helningen til konduktivitetskurven er et mål (forholdstall) på hvor hurtig den hydrauliske konduktiviteten avtar når fuktighetsinnholdet i jorden avtar (Rossman, 2010). Typiske verdier er 5 for sandjord og opp til 15 for siltig leire (Rossmann, 2010). Av liten betydning ved analyser av små nedbørsfelt.	Det er ingen tabell med eksempler på forholdstall til helningen på konduktivitetskurven i manualen. I vedlegg A er det utarbeidet en tabell med eksempler for ulike jordarter basert på verdier oppgitt av L. Rossmann (Rossmann, 2011). For jord på grønne tak kan konduktivitetskurven antas å være 5,0. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 10,0 som er en middelvei.
<b>Suction Head (mm)</b>	The average value of soil capillary suction along the wetting front (mm). This is the same parameter as used in the Green-Ampt infiltration model.	Sugekraften er en gjennomsnittlig verdi for kapilærkreftene langs fuktighetsfronten i grunnen. Dette er den samme parameteren som er brukt i Green-Ampt infiltrasjonmodell. Av liten betydning ved analyser av små nedbørsfelt.	I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på sugekraft for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter. For jord i regnbred kan sugekraften antas å være 50,0 mm. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 88,9 mm.



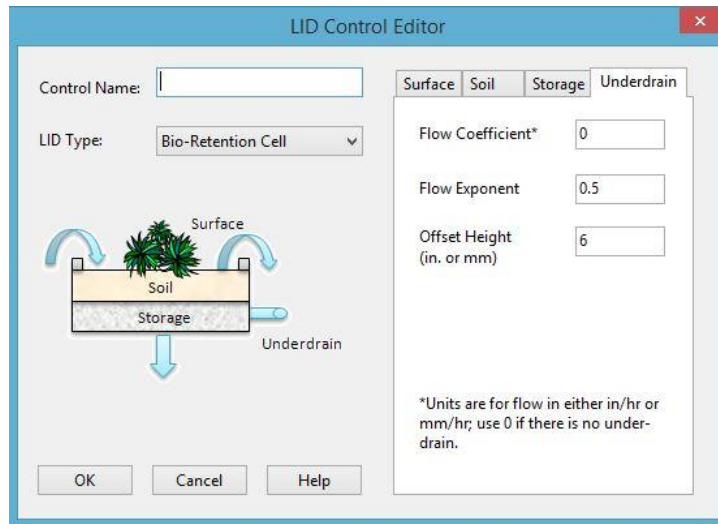
Figur 2.10.8. Figuren viser LID Control Editor – Bio-retention Cell – Storage.

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Thickness (mm)</b>	The hickness of a gravel layer (mm). Crushed stone and gravel layers are	Denne parameteren representerer tykkelsen på pukklaget som benyttes til lagringsvolum, også referert til	Parameteren må antas basert på faglige vurderinger, om ikke tegninger eller tekniske spesifikasjoner foreligger.

	typically 150 to 450 mm thick.	som lagringsmedium. Kan og være andre ensgraderte jordarter som sand, singel, stein osv.	Typiske tykkelser kan være 150 – 450 mm. Lave verdier vil være konservativt.
<b>Void Ratio (Voids / Solids)</b>	The volume of void space relative to the volume of solids in the layer. Typical values range from 0.5 to 0.75 for gravel beds. Note that porosity = void ratio / (1 + void ratio).	Volumet av hulrom relativt til volumet av faste partikler i jordlaget. Typiske verdier kan varierer mellom ca. 0,5 -0,75 for lagringsmedium av grus.  (Porøsitet = $\frac{\text{void ratio}}{1 + \text{void ratio}}$ )  Av liten betydning ved analyser av små nedbørsfelt.	Kan beregnes ved hjelp porøsiteten som ofte er kjent eller kan finnes i diagrammer og tabeller, se manual A.2 eller vedlegg A.  (void ratio = $\frac{\text{porøsitet}}{1 - \text{porøsitet}}$ )  Det vil her være total porøsitet, ikke effektiv porøsitet.
<b>Seepage Rate (mm/hr)</b>	The maximum rate at which water can flow out the bottom of the layer after it is first constructed (mm/hr). Typical values for gravels are 250 to 750 mm/hr. If the layer contains a sand bed beneath it then the conductivity of the sand should be used. If there is an impermeable floor or liner below the layer then use a value of 0. The actual exfiltration rate through the bottom will be the smaller of this limiting rate and the normal infiltration rate into the soil below the layer.	Denne parameteren angir hvor mye som kan perkolere ut av bunnen av lagringsvolumet og videre ned i grunnen mot grunnvannet. Perkolasjonshastigheten angis i mm/t. Typiske verdier for grus kan være 250 – 750 mm/t. Dersom lagringsvolumet har sandbunn bør den hydrauliske konduktiviteten til sand benyttes. Dersom bunnen er impermeabel pga leire eller en membran bør verdien settes til 0. Den faktiske eksfiltrasjonraten gjennom bunnen vil være begrensningen til hvor mye som kan perkolere videre ned i grunnen under lagringsvolumet.	Parameteren må antas basert på faglige vurderinger, om ikke jordprøver eller infiltrasjonsmålinger i felt er foretatt. I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på hydraulisk konduktivitet for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter. For stedlige masser kan ikke hydraulisk konduktivitet være minimum 1 mm/t, men bør være 20 mm/t. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 12,7 mm/t.
<b>Clogging Factor</b>	Total volume of treated runoff it takes to completely clog the bottom of the layer divided by the void volume of the layer. Use a value of 0 to ignore clogging. Clogging progressively reduces the Filtration Rate in direct proportion to the cumulative volume of runoff treated and may only be of concern for infiltration trenches with permeable bottoms and no under drains.	Denne parameteren er en faktor for hvor raskt gjenntetting foregår. Det vil si det totale volumet av behandlet avrenning som skal til før bunnen av lagringsvolumet er tett, dividert med hulromsvolumet i lagringsvolumet. Dersom gjenntetting kan ignoreres settes den parameteren til 0. Gjenntetting reduserer perkolasjonskapasiteten og er direkte relatert til de akkumulerte avrenningsvolumet som er behandlet. Dette gjelder først og fremst perkolasjonsløsninger som ikke er utformet med drenering i tillegg.	Dersom en ikke ønsker å ta hensyn til gjenntetting settes denne parameteren til 0. Dersom det er nødvendig å ta hensyn til gjenntetting må totalt estimert avrenningsvolum divideres med hulromsvolumet i lagringsvolumet.  (clogging f. = $\frac{Q_{tot}}{vol * n}$ )  Total avrenning må beregnes, hulromsvolumet må antas basert på faglige vurderinger om ikke jordprøver er tatt i felt og analysert. Dette vil kun være aktuelt for perkolasjonsmagasin. Perkolasjonsmagasin uten inspeksjon og vedlikeholdsmuligheter anbefales



		ikke brukt, spesielt for anlegg med lang levetid, dvs. over 20 – 30 år. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 0.
--	--	--

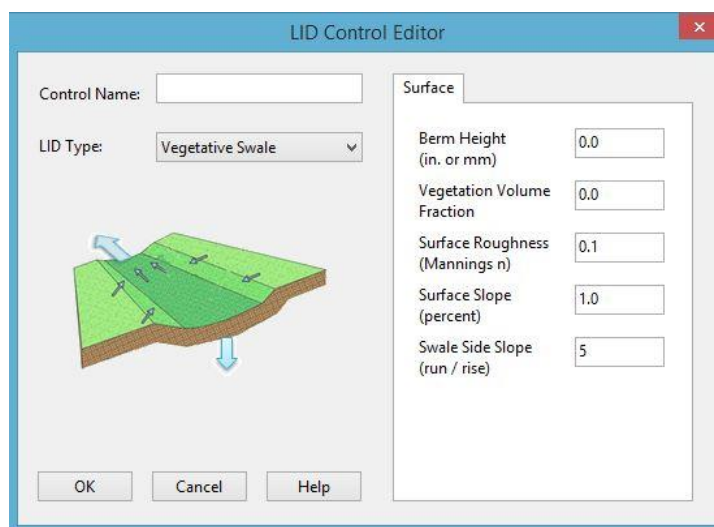


Figur 2.10.9. Figuren viser LID Control Editor – Bio-retention Cell – Underdrain.

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Flow Coefficient (mm/hr) 0 if there is no underdrain</b>	<p>Coefficient <math>C</math> and exponent <math>n</math> that determines the rate of flow through the underdrain as a function of height of stored water above the drain height. The following equation is used to compute this flow rate (per unit area of the LID unit):</p> $Q = C(h-H_d)^n$ <p>where <math>q</math> is outflow (mm/hr), <math>h</math> height of stored water (mm), and <math>H_d</math> is the drain height. If the layer does not have an underdrain then set <math>C</math> to 0. A typical value for <math>n</math> would be 0.5 (making the drain act like an orifice). A rough estimate for <math>C</math></p>	<p>Denne parameteren angir kapasiteten til en dreneringsledning i mm/t. Vanligvis benyttes l/s for ledninger, for å konvertere l/s til mm/t multipliseres antall l/s med 3600.</p> <p>Dersom LOD-tiltaket ikke har dreneringssystem settes denne til 0.</p> <p>Coeffisienten <math>C</math> kan også beregnes ved å bruke formelen</p> $C = 2D^{1/2} / T$	<p>Kapasiteten må antas basert på faglige vurderinger, om ikke tegninger eller tekniske spesifikasjoner foreligger. Typisk kapasitet til en 100 % full 110 drensledning er ca 5 l/s. For å anslå <math>C</math> i henhold til formelen i manualen settes dreneringstiden til 12 - 48 timer, som er anbefalt tømmeid for LOD-tiltak. Med anbefalt tømmeid vil LOD-tiltakene være tømt innen rimelig tid før neste større nedbørshendelse og utfordringer knyttet til mygg og lignende unngås.</p>
<b>Flow Exponent</b>	<p>where <math>q</math> is outflow (mm/hr), <math>h</math> height of stored water (mm), and <math>H_d</math> is the drain height. If the layer does not have an underdrain then set <math>C</math> to 0. A typical value for <math>n</math> would be 0.5 (making the drain act like an orifice). A rough estimate for <math>C</math></p>	<p>Strømnings-eksponenten tilsvarer det som referes til som avløpskoeffisient. for skarpkantet hull, men samsvarer ikke med denne. Typisk verdi for denne er 0,5 i henhold til manualen, da vil dreneringsutløpet utløpet</p>	<p>Det anbefales å benytte 0,5 som er angitt i manualen.</p>

	can be based on the time $T$ required to drain a depth $D$ of stored water. For $n = 0.5$ , $C = 2D^{1/2} / T$ .	fungere som et skarpkantet hull.	
<b>Offset Height (mm)</b>	Height $H_d$ of any underdrain piping above the bottom of a storage layer or rain barrel (mm).	Høyden, $H_d$ , er høyden til drensledningen over bunnen av lagringsvolumet eller regntønnen.	Høyden må antas basert på faglige vurderinger, om ikke tegninger eller tekniske spesifikasjoner foreligger. Ofte legges drensledninger direkte i grøften/grunnen, evt. kan ledningen legges på et 50 mm høyt underlag av singel.

## 2.10.4 Vegeterte forsenkninger – Swales

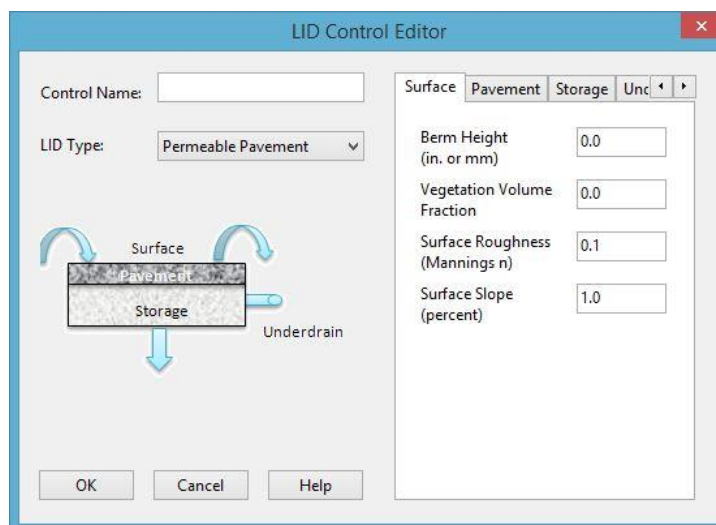


Figur 2.10.10. Figuren viser LID Control Editor – Vegetative Swale – Surface.

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Berm Height (mm)</b>	«Berm Height» er ikke forklart i manualen	«Berm Height» er høyden på sidene som omkranser overflaten. Det er høyden på sidene til overflaten, sammen med arealet på overflaten, som gir et evt lagringsvolum på overflaten.	Høyden til sidene må antas etter hva som kan være realistisk, eller hvor stort lagringsvolum som er nødvendig. Dersom tegninger foreligger benyttes disse. Denne høyden er med å avgjøre i hvor stor grad taket skal benyttes som fordrøyningsvolum.

<b>Vegetation Volume Fraction</b>	The fraction of the storage area above the surface that is filled with vegetation.	<p>Dette er andelen av lagringsvolumet på overflaten som er fylt med vegetasjon, oppgis i prosent. Lagringsvolumet er igjen avhengig av arealet og høyden på sidene.</p>	<p>Andelen av lagringsvolum som er fylt med vegetasjon må anslås, men denne vil i praksis aldri være mer enn fem prosent, 0,05. Selv dette er høyt 0,01 – 0,03 er mer realistisk. Er lagringsvolumet stort, kan 0,01 og være høyt. I grunninnstillingene er denne satt til 0.</p>
<b>Surface Roughness (Mannings n)</b>	Manning's n for overland flow over the surface of porous pavement or a vegetative swale. Use 0 for other types of LIDs	<p>Manning's n for overflateavrenning på ulike overflater beskriver ruheten til overflaten. Manningstallet brukes til å beregne gjennomsnittlig strømningshastighet på overflater og i kanaler.</p>	<p>Denne må antas ut fra takets vegetasjon basert på faglige vurderinger. Det finnes Manningsverdier i manualen, appendix A.6, og flere andre steder bla. i Vassdragshåndboka. Manualen har en verdi på 0,15 for dens grass, som vil si tettvekst gress.</p>
<b>Surface Slope (percent)</b>	Slope of the porous pavement surface or vegetative swale (percent). Use 0 for other types of LIDs.	<p>Dette er helningen på overflaten, helningen oppgis i prosent. Selv om manualen kun henviser til permeable dekker og swales, gjelder denne parameteren også for grønne tak. Dette er pga at manualen ikke er oppdatert til versjon 5.1 med regnbed og grønne tak.</p>	<p>Den langsgående helningen til den vegeterte forsøknningen må antas ut fra type anlegg/bebyggelse basert på faglige vurderinger. Dersom det foreligger føringer i evt. reguleringsplaner, eller tegninger er utarbeidet benyttes disse. Helningen må ikke være brattere enn 5 % og ikke slakere enn 1 %, men bør være mellom 1 – 3 %.</p>
<b>Swale Side Slope (run/rise)</b>	Slope (run over rise) of the side walls of a vegetative swale's cross section. This value is ignored for other types of LIDs.	<p>Helningen til sidene på den vegeterte forsøkninger angis som brøk, hvor lengden er dividert med stigningen. Lengde:stigning. Denne verdien er kun aktuell for vegeterte forsøkninger og ikke andre LOD-tiltak.</p>	<p>Den langsgående helningen til den vegeterte forsøknningen må antas ut fra type anlegg/bebyggelse basert på faglige vurderinger. Dersom det foreligger føringer i evt. reguleringsplaner, eller tegninger er utarbeidet benyttes disse. Sidekantene bør ikke være brattere enn 3:1 for å unngå erosjon, anbefalt helning på sidene er 4:1.</p>

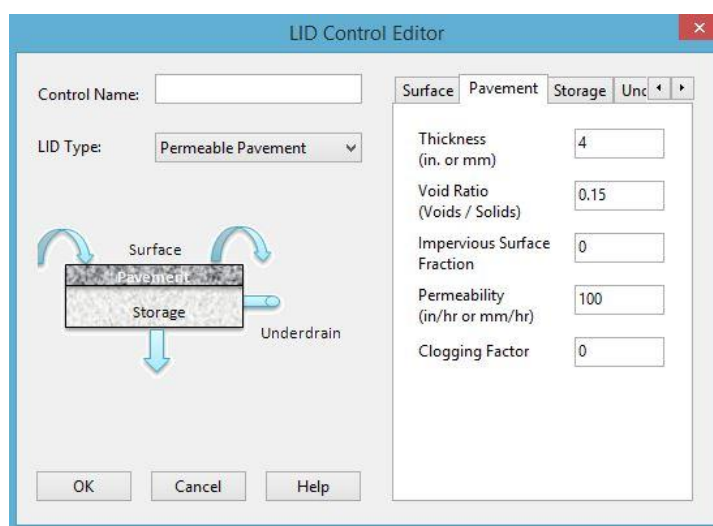
## 2.10.5 Permeable dekker – Permeable Pavement



Figur 2.10.11. Figuren viser LID Control Editor – Permeable Pavement – Surface.

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Berm Height (mm)</b>	«Berm Height» er ikke forklart i manualen.	«Berm Height» er høyden på sidene som omkranser overflaten. Det er høyden på sidene til overflaten, sammen med arealet på overflaten, som gir et evt lagringsvolum (fordrøyningsvolum) på overflaten.	Høyden til sidene må antas etter hva som kan være realistisk, eller hvor stort lagringsvolum som er nødvendig. Dersom tegninger foreligger benyttes disse. Denne høyden er med å avgjøre i hvor stor grad taket skal benyttes som fordrøyningsvolum. Kantstein eller bygninger vil som regel være avgrensende elementer.
<b>Vegetation Volume Fraction</b>	The fraction of the storage area above the surface thar is filled with vegetation.	Dette er andelen av lagringsvolumet på overflaten som er fylt med vegetasjon, oppgis i prosent. Lagringsvolumet er igjen avhengig av arealet og høyden på sidene.	Andelen av lagringsvolum som er fylt med vegetasjon må anslås, men denne vil i praksis aldri være aktuell ved modellering av gatebelegg/veidekke. Bør settes til 0, det er også denne verdien som er benyttet i grunninnstillingene.
<b>Surface Roughness (Mannings n)</b>	Manning's n for overland flow over the surface of porous pavement or a vegetative swale. Use 0 for other types of LIDs	Manning's n for overflateavrenning på ulike overflater beskriver ruheten til overflaten. Manningstallet brukes til å beregne gjennomsnittlig strømningshastighet på overflater og i kanaler.	Denne må antas ut fra beleggets type basert på faglige vurderinger. Det finnes Manningsverdier i manualen, appendix A.6, og flere andre steder bla. I Vassdragshåndboka. Maualen har en verdi på 0,014 for ordinary concrete lining som kan sammenlignes med beleggningsstein av betong. I grunninnstillingene er denne satt

			til 0.1, dette vil trolig være noe lavt.
<b>Surface Slope (percent)</b>	Slope of the porous pavement surface or vegetative swale (percent). Use 0 for other types of LIDs.	<p>Dette er helningen på overflaten, helningen oppgis i prosent.</p> <p>Selv om manualen kun henviser til permeable dekker og swales, gjelder denne parameteren også for grønne tak. Dette er pga at manualen ikke er oppdatert til versjon 5.1 med regnbed og grønne tak.</p>	<p>Helningen til vegen/gaten må antas ut fra type anlegg/bebyggelse basert på faglige vurderinger.</p> <p>Dersom det foreligger føringer i evt. reguleringsplaner, eller tegninger er utarbeidet benyttes disse.</p> <p>Dersom det lite fall på vegen/gaten vil helningen være representert med takfallet eller tverrfallet, som faller mot en evt. drensledning. Dersom det er bratt vil mer vann renne av på overflaten og fallet i lengderetningen vil være dominerende.</p>

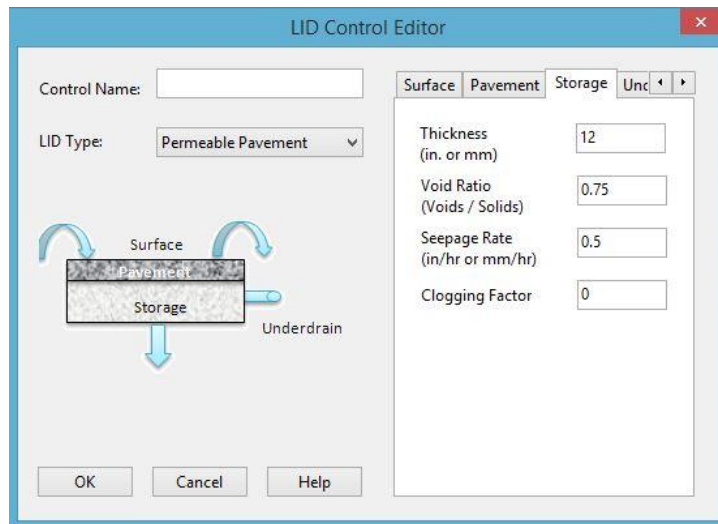


Figur 2.10.12. Figuren viser LID Control Editor – Permeable Pavement – Pavement

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Thickness (mm)</b>	The thickness of the pavement layer (mm). Typical values are (100 to 150 mm).	<p>Denne parameteren representerer tykkelsen på beleggningssteinen, også referert til som veidekke eller gatebelegget. Typiske verdier kan variere mellom 70 – 100 mm.</p> <p>Av liten betydning.</p>	<p>Denne parameteren må antas basert på faglige vurderinger, om ikke tegninger foreligger. En kan også høre med ulike leverandører hva de anbefaler.</p> <p>Som en middelvei kan 85 mm benyttes.</p> <p>Lave verdier vil være konservativt.</p>

<b>Void Ratio (Voids / Solids)</b>	<p>The volume of void space relative to the volume of solids in the pavement for continuous systems or for the fill material used in modular systems. Typical values for pavements are 0.12 to 0.21. Note that porosity = void ratio / (1 + void ratio).</p>	<p>Volumet av hulrom relativt til volumet av faste partikler i materialet som fyller de drenerende fugene, hvor selve gatebelegget er permeabelt gjelder gatebeleggets hulromsforhold.</p> <p>Typiske verdier kan variere mellom ca. 0,12 - 0,21 for heldekkende veidekker, men trolig litt høyt.</p> <p>For fugemasse kan 0,5 – 0,75 være typiske verdier.</p> <p>(Porøsitet = <math>\frac{\text{void ratio}}{1 + \text{void ratio}}</math>)</p>	<p>Kan beregnes ved hjelp porøsiteten som ofte er kjent eller kan finnes i diagrammer, tabeller, kataloger fra leverandører eller vedlegg A.</p> <p><math display="block">\text{void ratio} = \frac{\text{porøsitet}}{1 - \text{porøsitet}}</math></p> <p>Det vil her være total porøsitet, ikke effektiv porøsitet.</p>
<b>Impervious Surface Fraction</b>	<p>Ratio of impervious paver material to total area for modular systems; 0 for continuous porous pavement systems.</p>	<p>Dette er arealandelen med beleggningsstein eller armert gress, oppgis som brøk. Typiske verdier kan være 85 – 95 % for beleggningsstein, men 0 for heldekkende veidekker som asfalt eller porøs betong som er permeabel og ikke selve fugene.</p>	<p>Denne parameteren må antas basert på faglige vurderinger, om ikke tegninger og tekniske spesifikasjoner foreligger.</p> <p>Noen leverandører angir andelen i sine produktkataloger.</p>
<b>Permeability (mm/hr)</b>	<p>Permeability of the concrete or asphalt used in continuous systems or hydraulic conductivity of the fill material (gravel or sand) used in modular systems (mm/hr). The permeability of new porous concrete or asphalt is very high (e.g., hundreds of mm/hr) but can drop over time due to clogging by fine particulates in the runoff (see below).</p>	<p>Denne parameteren representerer infiltrasjonskapasiteten til dekket. For heldekkende veidekker som asfalt eller porøs betong oppgis permeabiliteten i mm/t. For beleggningsstein med fuger oppgis den hydrauliske konduktiviteten i mm/t til materiale brukt i fugene.</p> <p>For nye permeable gatebelegg kan infiltrasjonskapasiteten være veldig høy, 1600 mm/t, men over tid kan kapasiteten reduseres med 90 % til 160 mm/t. Til tross for dette vil de permeable dekkende fint holde unna de verste styrtregnende. Dekkende trenger vedlikehold, noen mener hver 20. år, mens andre 4 ganger i året. Dette vil være steds og bruksavhengig. Det er også mulig å legge inn en faktor for gjenretting av dekket.</p>	<p>Denne parameteren må antas basert på faglige vurderinger, om ikke tegninger og tekniske spesifikasjoner foreligger.</p> <p>Noen leverandører angir infiltrasjonskapasiteten i produktkataloger. Høye verdier vil være konservativt.</p> <p>Det anbefales å benytte redusert kapasitet etter gjenretting og heller sette gjenrettingsfaktoren til 0.</p> <p>En aktuell verdi kan være 160 mm/t, hentet fra <a href="http://www.paving.org.uk">www.paving.org.uk</a> (Interpave, 2010).</p>
<b>Clogging Factor</b>	<p>Number of pavement layer void volumes of runoff treated it takes to completely</p>	<p>Denne parameteren er en faktor for hvor raskt gjenrettingen foregår. Det vil si</p>	<p>Dersom en ikke ønsker å ta hensyn til gjenretting settes denne</p>

	<p>clog the pavement. Use a value of 0 to ignore clogging. Clogging progressively reduces the pavement's permeability in direct proportion to the cumulative volume of runoff treated.</p> <p>If one has an estimate of the number of years it takes to fully clog the system (Yclog), the Clogging Factor can be computed as: <math>Yclog * Pa * CR * (1 + VR) * (1 - ISF) / (T * VR)</math> where Pa is the annual rainfall amount over the site, CR is the pavement's capture ratio (area that contributes runoff to the pavement divided by area of the pavement itself), VR is the system's Void Ratio, ISF is the Impervious Surface Fraction, and T is the pavement layer Thickness.</p> <p>As an example, suppose it takes 5 years to clog a continuous porous pavement system that serves an area where the annual rainfall is 36 inches/year. If the pavement is 6 inches thick, has a void ratio of 0.2 and captures runoff only from its own surface, then the Clogging Factor is <math>5 \times 36 \times (1 + 0.2) / 6 / 0.2 = 180</math>.</p>	<p>det totale volumet av behandlet avrenning som skal til før det permable dekk er tett. Dersom gjenntetting kan ignoreres settes den parameteren til 0. Gjenntetting reduserer infiltrasjonskapasiteten og er direkte relatert til de akkumulerte avrenningsvolumet som er behandlet.</p> <p>Dersom en har estimert hvor mange år det er til det permeable dekket er helt tett (Yclog), kan Clogging Factor beregnes slik:</p> $\text{clogging factor} = \frac{Yclog * Pa * CR * (1 + VR) * (1 - ISF)}{T * VR}$ <p>Hvor Pa er årlig nedbør tilknyttet tiltaket. CR er et forholdtall på bidragsområde til dekket (areal som bidrar med avrenning til dekket dividert med arealet til selve dekket). VR er systemets Void Ratio. ISF er Impervious Surface Fraction. T er tykkelsen til dekket.</p>	<p>parameteren til 0. Dersom det er nødvendig å ta hensyn til gjenntetting kan denne beregnes med formelen under, ved bruk av informasjon innenhentet eller beregnet til de øvrige parametrene.</p> $\text{clogging factor} = \frac{Yclog * Pa * CR * (1 + VR) * (1 - ISF)}{T * VR}$ <p>For eksempel, dersom en antar at det tar 5 år før et heldekkende dekket er tett, dekket er plassert i et område hvor årlig nedbør er 915 mm/år. Dersom dekket har en tykkelse på 152,4 mm, void ratio på 0,2 og kun mottar avrenning fra sin egen overflate, da er</p> $\text{clogging f.} = \frac{5 \times 915 \times (1 + 0.2)}{152,4 / 0.2} = 180$
--	--	---	---

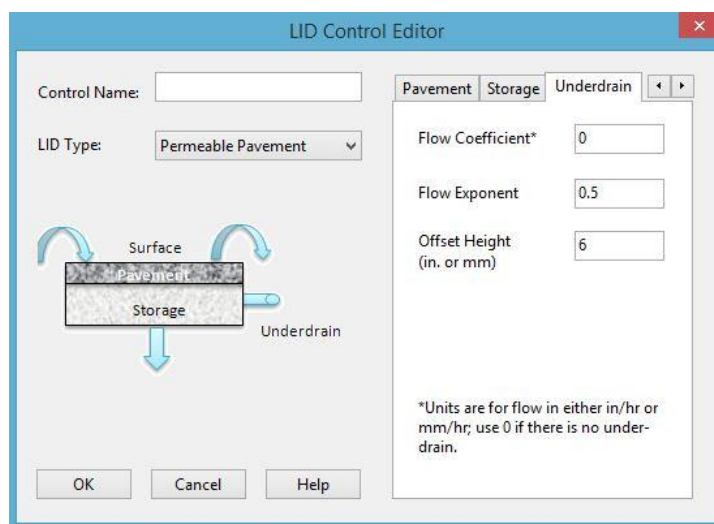


Figur 2.10.13. Figuren viser LID Control Editor – Permeable Pavement – Storage

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Thickness (mm)</b>	The hickness of a gravel layer (mm). Crushed stone and gravel layers are typically 150 to 450 mm thick.	Denne parameteren representerer tykkelsen på pukklaget som benyttes til lagringsvolum, også referert til som lagringsmedium. Kan og være andre ensgraderte jordarter som sand, singel, osv.	Parameteren må antas basert på faglige vurderinger, om ikke tegninger eller tekniske spesifikasjoner foreligger. Typiske tykkelser kan være 150 – 600 mm. Lave verdier vil være konservativt.
<b>Void Ratio (Voids / Solids)</b>	The volume of void space relative to the volume of solids in the layer. Typical values range from 0.5 to 0.75 for gravel beds. Note that porosity = void ratio / (1 + void ratio).	Volumet av hulrom relativt til volumet av faste partikler i jordlaget. Typiske verdier kan varierer mellom ca. 0,5 -0,75 for lagringsmedium av grus.  $(\text{Porøsitet} = \frac{\text{void ratio}}{1 + \text{void ratio}})$ <p>Av liten betydning ved analyser av små nedbørsfelt.</p>	Kan beregnes ved hjelp porøsiteten som ofte er kjent eller kan finnes i diagrammer og tabeller, se manual A.2 eller vedlegg A.  $(\text{void ratio} = \frac{\text{porøsitet}}{1 - \text{porøsitet}})$ <p>Det vil her være total porøsitet, ikke effektiv porøsitet.</p>
<b>Seepage Rate (mm / hr)</b>	The maximum rate at which water can flow out the bottom of the layer after it is first constructed ( mm/hr). Typical values for gravels are 250 to 750 mm/hr. If the layer contains a sand bed beneath it then the conductivity of the sand should be used. If there is an impermeable floor or liner below the layer then use a value of 0. The actual exfiltration	Denne parameteren angir hvor mye som kan perkolere ut av bunnen av lagringsvolumet og videre ned i grunnen mot grunnvannet. Perkolasjonshastigheten angis i mm/t. Typiske verdier for grus kan være 250 – 750 mm/t. Dersom lagringsvolumet har sandbunn bør den hydrauliske konduktiviteten til sand benyttes. Dersom bunnen er impermeabel pga leire eller en membran bør verdien	Parameteren må antas basert på faglige vurderinger, om ikke jordprøver eller infiltrasjonsmålinger i felt er foretatt. I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på hydraulisk konduktivitet for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter. For stedlige masser kan ikke hydraulisk konduktivitet være minimum 1 mm/t, men bør være 20 mm/t.



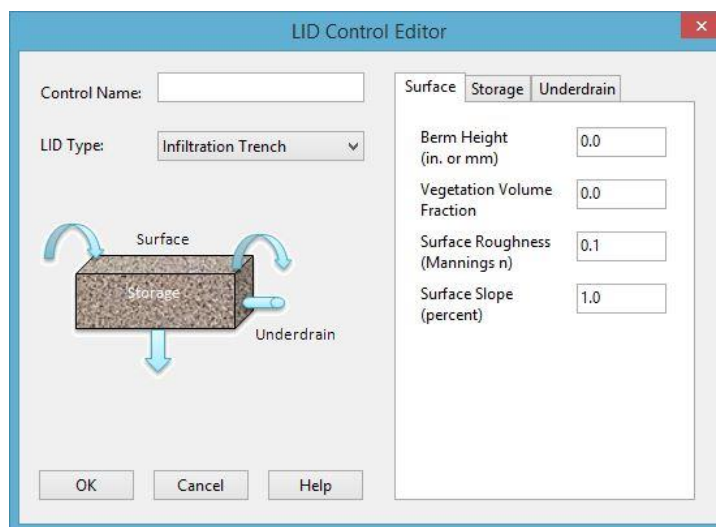
	rate through the bottom will be the smaller of this limiting rate and the normal infiltration rate into the soil below the layer.	settes til 0. Den faktiske eksfiltrasjonsraten gjennom bunnen vil være begrensningen til hvor mye som kan perkolere videre ned i grunnen under lagringsvolumet.	I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 12,7 mm/t.
<b>Clogging Factor</b>	Total volume of treated runoff it takes to completely clog the bottom of the layer divided by the void volume of the layer. Use a value of 0 to ignore clogging. Clogging progressively reduces the Filtration Rate in direct proportion to the cumulative volume of runoff treated and may only be of concern for infiltration trenches with permeable bottoms and no under drains.	Denne parameteren er en faktor for hvor raskt gjentettingen foregår. Det vil si det totale volumet av behandlet avrenning som skal til før bunnen av lagringsvolumet er tett, dividert med hulromsvolumet i lagringsvolumet. Dersom gjentetting kan ignoreres settes den parameteren til 0. Gjentetting reduserer perkolasjonskapasiteten og er direkte relatert til de akkumulerte avrenningsvolumet som er behandlet. Dette gjelder først og fremst perkolasjonsløsninger som ikke er utformet med drenering i tillegg.	Dersom en ikke ønsker å ta hensyn til gjentetting settes denne parameteren til 0. Dersom det er nødvendig å ta hensyn til gjentetting må totalt estimert avrenningsvolum divideres med hulromsvolumet i lagringsvolumet.  $(\text{clogging f.} = \frac{Q_{tot}}{vol+n})$  Total avrenning må beregnes, hulromsvolumet må antas basert på faglige vurderinger om ikke jordprøver er tatt i felt og analysert. Dette vil kun være aktuelt for perkolasjonsmagasin. Perkolasjonsmagasin uten inspeksjon og vedlikeholdsmuligheter anbefales ikke brukt, spesielt for anlegg med lang levetid, dvs. over 20 – 30 år. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 0.



Figur 2.10.14. Figuren viser LID Control Editor – Permeable Pavement - Underdrain

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Flow Coefficient (mm / hr) 0 if there is no underdrain</b>	<p>Coefficient <math>C</math> and exponent <math>n</math> that determines the rate of flow through the underdrain as a function of height of stored water above the drain height. The following equation is used to compute this flow rate (per unit area of the LID unit):</p> $Q = C(h-Hd)^n$ <p>where <math>q</math> is outflow (in/hr or mm/hr), <math>h</math> height of stored water (inches or mm), and <math>Hd</math> is the drain height. If the layer does not have an underdrain then set <math>C</math> to 0. A typical value for <math>n</math> would be 0.5 (making the drain act like an orifice). A rough estimate for <math>C</math> can be based on the time <math>T</math> required to drain a depth <math>D</math> of stored water. For <math>n = 0.5</math>, <math>C = 2D^{1/2}/T</math>.</p>	<p>Denne parameteren angir kapasiteten til en dreneringsledning i mm/t. Vanligvis benyttes l/s for ledninger, for å konvertere l/s til mm/t multipliseres antall l/s med 3600. Dersom LOD-tiltaket ikke har dreneringssystem settes denne til 0. Coeffisienten <math>C</math> kan også beregnes ved å bruke formelen</p> $C = 2D^{1/2}/T$	<p>Kapasiteten må antas basert på faglige vurderinger, om ikke tegninger eller tekniske spesifikasjoner foreligger. Typisk kapasitet til en 100 % full 110 drensledning er ca 5 l/s. For å anslå <math>C</math> i henhold til formelen i manualen settes dreneringstiden til 12 - 48 timer, som er anbefalt tømmeid for LOD-tiltak. Med anbefalt tømmeid vil LOD-tiltakene være tømt innen rimelig tid før neste større nedbørshendelse og utfordringer knyttet til mygg og lignende unngås.</p>
<b>Flow Exponent</b>	<p>then set <math>C</math> to 0. A typical value for <math>n</math> would be 0.5 (making the drain act like an orifice). A rough estimate for <math>C</math> can be based on the time <math>T</math> required to drain a depth <math>D</math> of stored water. For <math>n = 0.5</math>, <math>C = 2D^{1/2}/T</math>.</p>	<p>Strømnings-eksponenten tilsvarer det som referes til som avløpskoeffisient. for skarpkantet hull <math>i</math>, men samsvarer ikke med denne. Typisk verdi for denne er 0,5 i henhold til manualen, da vil drenreingen utløpet fungere som et skarpkantet hull.</p>	<p>Det anbefales å benytte 0,5 som er angitt i manualen.</p>
<b>Offset Height (mm)</b>	<p>Height <math>Hd</math> of any underdrain piping above the bottom of a storage layer or rain barrel (inches or mm).</p>	<p>Høyden, <math>Hd</math>, er høyden til drensledningen over bunnen av lagringsvolumet eller regntønnen.</p>	<p>Høyden må antas basert på faglige vurderinger, om ikke tegninger eller tekniske spesifikasjoner foreligger. Ofte legges drensledninger direkte i grøften/grunnen, evt. kan ledningen legges på et 50 mm høyt underlag av singel.</p>

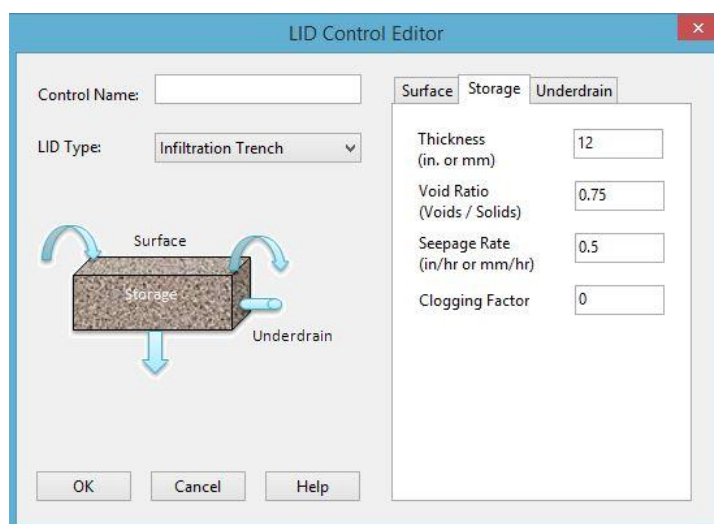
## 2.10.6 Infiltrasjonsgrøft – Infiltration Trench



Figur 2.10.15. Figuren viser LID Control Editor – Infiltration Trench – Surface.

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Berm Height (mm)</b>	«Berm Height» er ikke forklart i manualen.	«Berm Height» er høyden på sidene som omkranser overflaten. Det er høyden på sidene til overflaten, sammen med arealet på overflaten, som gir et evt lagringsvolum på overflaten.	Høyden til sidene må antas etter hva som kan være realistisk, eller hvor stort lagringsvolum som er nødvendig. Dersom tegninger foreligger benyttes disse. Denne høyden er med å avgjøre i hvor stor grad taket skal benyttes som fordrøyningsvolum.
<b>Vegetation Volume Fraction</b>	The fraction of the storage area above the surface thar is filled with vegetation.	Dette er andelen av lagringsvolumet på overflaten som er fylt med vegetasjon, oppgis i prosent. Lagringsvolumet er igjen avhengig av arealet og høyden på sidene.	Andelen av lagringsvolum som er fylt med vegetasjon må anslås, men denne vil i praksis aldri være mer enn fem prosent, 0,05. Selv dette er høyt 0,01 – 0,03 er mer realistisk. Er lagringsvolumet stort, kan 0,01 og være høyt. I grunninnstillingene er denne satt til 0.
<b>Surface Roughness (Mannings n)</b>	Manning's n for overland flow over the surface of porous pavement or a vegetative swale. Use 0 for other types of LIDs	Manning's n for overflateavrenning på ulike overflater beskriver ruheten til overflaten. Manningstallet brukes til å beregne gjennomsnittlig strømningshastighet på overflater og i kanaler.	For andre typer LOD-tiltak enn permeable dekker, swales og grønne tak settes ruheten til 0. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 0,1.

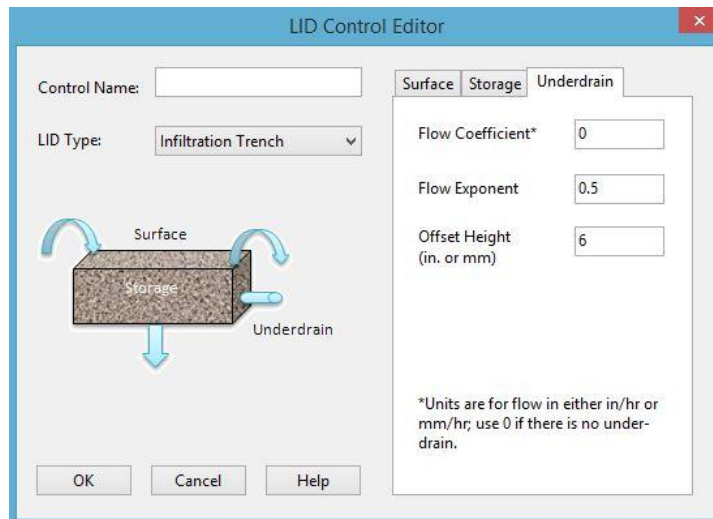
<b>Surface Slope (percent)</b>	Slope of the porous pavement surface or vegetative swale (percent). Use 0 for other types of LIDs.	Dette er helningen på overflaten, helningen oppgis i prosent.	For andre typer LOD-tiltak enn permeable dekker, swales og grønne tak settes helningen til 0. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 1.
--------------------------------	--	---	---



Figur 2.10.16. Figuren viser LID Control Editor – Infiltration Trench – Storage.

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Thickness (mm)</b>	The hickness of a gravel layer (mm). Crushed stone and gravel layers are typically 150 to 450 mm thick.	Denne parameteren representerer tykkelsen på pukklaget som benyttes til lagringsvolum, også referert til som lagringsmedium. Kan og være andre ensgraderte jordarter som sand, singel, stein osv.	Parameteren må antas basert på faglige vurderinger, om ikke tegninger eller tekniske spesifikasjoner foreligger. Typiske tykkelser kan være 150 – 900 mm. Lave verdier vil være konservativt.
<b>Void Ratio (Voids / Solids)</b>	The volume of void space relative to the volume of solids in the layer. Typical values range from 0.5 to 0.75 for gravel beds. Note that porosity = void ratio / (1 + void ratio).	Volumet av hulrom relativt til volumet av faste partikler i jordlaget. Typiske verdier kan varierer mellom ca. 0,5 -0,75 for lagringsmedium av grus.  (Porøsitet = $\frac{\text{void ratio}}{1 + \text{void ratio}}$ )  Av liten betydning ved analyser av små nedbørsfelt.	Kan beregnes ved hjelp porøsiteten som ofte er kjent eller kan finnes i diagrammer og tabeller, se manual A.2 eller vedlegg A.  (void ratio = $\frac{\text{porøsitet}}{1 - \text{porøsitet}}$ )  Det vil her være total porøsitet, ikke effektiv porøsitet.
<b>Seepage Rate (mm / hr)</b>	The maximum rate at which water can flow out the bottom of the layer after it is first	Denne parameteren angir hvor mye som kan perkolere ut av bunnen av lagringsvolumet og videre ned i	Parameteren må antas basert på faglige vurderinger, om ikke jordprøver eller

	<p>constructed (mm/hr). Typical values for gravels are 250 to 750 mm/hr. If the layer contains a sand bed beneath it then the conductivity of the sand should be used. If there is an impermeable floor or liner below the layer then use a value of 0. The actual exfiltration rate through the bottom will be the smaller of this limiting rate and the normal infiltration rate into the soil below the layer.</p>	<p>grunnen mot grunnvannet. Perkolasjonshastigheten angis i mm/t. Typiske verdier for grus kan være 250 – 750 mm/t. Dersom lagringsvolumet har sandbunn bør den hydrauliske konduktiviteten til sand benyttes. Dersom bunnen er impermeabel pga leire eller en membran bør verdien settes til 0. Den faktiske eksfiltrasjonraten gjennom bunnen vil være begrensningen til hvor mye som kan perkolere videre ned i grunnen under lagringsvolumet.</p>	<p>infiltrasjonsmålinger i felt er foretatt. I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på hydraulisk konduktivitet for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter. For stedlige masser kan hydraulisk konduktivitet være minimum 1 mm/t, men bør være 13 mm/t. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 12,7 mm/t.</p>
<b>Clogging Factor</b>	<p>Total volume of treated runoff it takes to completely clog the bottom of the layer divided by the void volume of the layer. Use a value of 0 to ignore clogging. Clogging progressively reduces the Filtration Rate in direct proportion to the cumulative volume of runoff treated and may only be of concern for infiltration trenches with permeable bottoms and no under drains.</p>	<p>Denne parameteren er en faktor for hvor raskt gjentettingen foregår. Det vil si det totale volumet av behandlet avrenning som skal til før bunnen av lagringsvolumet er tett, dividert med hulromsvolumet i lagringsvolumet. Dersom gjentetting kan ignoreres settes den parameteren til 0. Gjentetting reduserer perkolasjonskapasiteten og er direkte relatert til de akkumulerte avrenningsvolumet som er behandlet. Dette gjelder først og fremst perkolasjonsløsninger som ikke er utformet med drenering i tillegg.</p>	<p>Dersom en ikke ønsker å ta hensyn til gjentetting settes denne parameteren til 0. Dersom det er nødvendig å ta hensyn til gjentetting må totalt estimert avrenningsvolum divideres med hulromsvolumet i lagringsvolumet.</p> $(\text{clogging f.} = \frac{Q_{tot}}{vol \cdot n})$ <p>Total avrenning må beregnes, hulromsvolumet må antas basert på faglige vurderinger om ikke jordprøver er tatt i felt og analysert. Dette vil kun være aktuelt for perkolasjonsmagasin. Perkolasjonsmagasin uten inspeksjon og vedlikeholdsmuligheter anbefales ikke brukt, spesielt for anlegg med lang levetid, dvs. over 20 – 30 år. I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 0.</p>

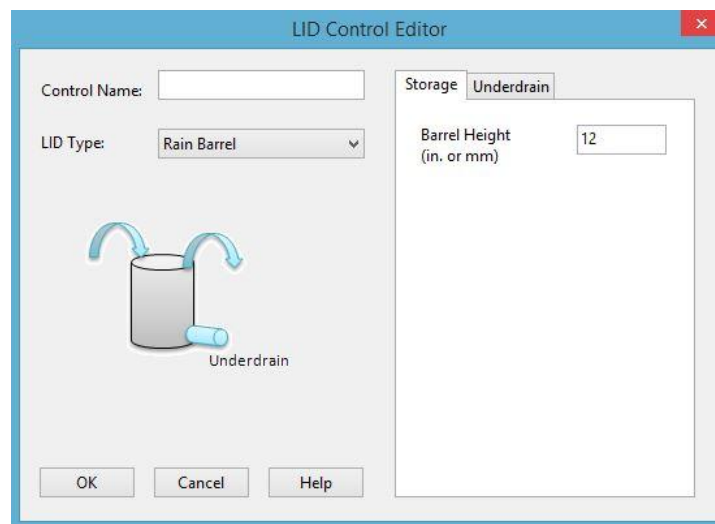


Figur 2.10.17. Figuren viser LID Control Editor – Infiltration Trench – Underdrain.

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Flow Coefficient (mm / hr) 0 if there is no underdrain</b>	<p>Coefficient <math>C</math> and exponent <math>n</math> that determines the rate of flow through the underdrain as a function of height of stored water above the drain height. The following equation is used to compute this flow rate (per unit area of the LID unit):</p> $Q = C(h-H_d)^n$ <p>where <math>q</math> is outflow (in/hr or mm/hr), <math>h</math> height of stored water (inches or mm), and <math>H_d</math> is the drain height. If the layer does not have an underdrain then set <math>C</math> to 0. A typical value for <math>n</math> would be 0.5 (making the drain act like an orifice). A rough estimate for <math>C</math> can be based on the time <math>T</math> required to drain a depth <math>D</math> of stored water. For <math>n = 0.5</math>, <math>C = 2D^{1/2}/T</math>.</p>	<p>Denne parameteren angir kapasiteten til en dreneringsledning i mm/t. Vanligvis benyttes l/s for ledninger, for å konvertere l/s til mm/t multipliseres antall l/s med 3600. Dersom LOD-tiltaket ikke har dreneringssystem settes denne til 0. Coeffisienten <math>C</math> kan også beregnes ved å bruke formelen</p> $C = 2D^{1/2}/T$	<p>Kapasiteten må antas basert på faglige vurderinger, om ikke tegninger eller tekniske spesifikasjoner foreligger. Typisk kapasitet til en 100 % full 110 drensledning er ca 5 l/s. For å anslå <math>C</math> i henhold til formelen i manualen settes dreneringstiden til 12 - 48 timer, som er anbefalt tømmeid for LOD-tiltak. Med anbefalt tømmeid vil LOD-tiltakene være tømt innen rimelig tid før neste større nedbørshendelse og utfordringer knyttet til mygg og lignende unngås.</p>
<b>Flow Exponent</b>	<p>If the layer does not have an underdrain then set <math>C</math> to 0. A typical value for <math>n</math> would be 0.5 (making the drain act like an orifice). A rough estimate for <math>C</math> can be based on the time <math>T</math> required to drain a depth <math>D</math> of stored water. For <math>n = 0.5</math>, <math>C = 2D^{1/2}/T</math>.</p>	<p>Strømnings-eksponenten tilsvare det som referes til som avløpskoeffisient. for skarpkantet hull i, men samsvarer ikke med denne. Typisk verdi for denne er 0,5 i henhold til manualen, da vil dreneringen utløpet fungere som et skarpkantet hull.</p>	<p>Det anbefales å benytte 0,5 som er angitt i manualen.</p>
<b>Offset Height (mm)</b>	<p>Height <math>H_d</math> of any underdrain piping above the bottom of a storage layer or rain barrel (inches or mm).</p>	<p>Høyden, <math>H_d</math>, er høyden til drensledningen over bunnen av lagringsvolumet eller regntønnen.</p>	<p>Høyden må antas basert på faglige vurderinger, om ikke tegninger eller tekniske spesifikasjoner foreligger.</p>

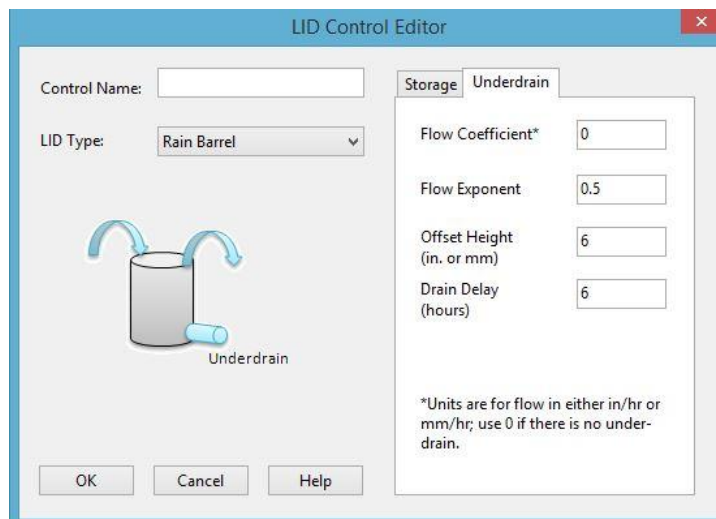
			Ofte legges drensledninger direkte i grøften/grunnen, evt. kan ledningen legges på et 50 mm høyt underlag av singel.
--	--	--	--

## 2.10.7 Regntønne – Rain Barrel



Figur 2.10.18. Figuren viser LID Control Editor – Rain Barrel - Storage

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren
<b>Barrel Height (mm)</b>	This is the height of a rain barrel (mm). A single family home rain barrels range in height from 600 to 900 mm.	Dette er høyden til regntønne i mm. En typiske regntønne for et enkelt hus kan varierer i høyde fra 600 til 900.	Parameteren må antas basert på faglige vurderinger, om ikke tegninger eller tekniske spesifikasjoner foreligger.



Figur 2.10.19. Figuren viser LID Control Editor – Rain Barrel – Underdrain.

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Flow Coefficient (mm / hr)</b> <b>0 if there is no underdrain</b>	<p>Coefficient <math>C</math> and exponent <math>n</math> that determines the rate of flow through the underdrain as a function of height of stored water above the drain height. The following equation is used to compute this flow rate (per unit area of the LID unit):</p> $Q = C(h-H_d)^n$ <p>where <math>q</math> is outflow (in/hr or mm/hr), <math>h</math> height of stored water (inches or mm), and <math>H_d</math> is the drain height. If the layer does not have an underdrain then set <math>C</math> to 0. A typical value for <math>n</math> would be 0.5</p>	<p>Denne parameteren angir kapasiteten til en dreneringsledning i mm/t. Vanligvis benyttes l/s for ledninger, for å konvertere l/s til mm/t multipliseres antall l/s med 3600. Dersom LOD-tiltaket ikke har dreneringssystem settes denne til 0. Coeffisienten <math>C</math> kan også beregnes ved å bruke formelen</p> $C = 2D^{1/2} / T$	<p>Kapasiteten må antas basert på faglige vurderinger, om ikke tegninger eller tekniske spesifikasjoner foreligger. Typisk kapasitet til en 100 % full 110 drensledning er ca 5 l/s. For å anslå <math>C</math> i henhold til formelen i manualen settes dreneringstiden til 12 - 48 timer, som er anbefalt tømmeid for LOD-tiltak. Med anbefalt tømmeid vil LOD-tiltakene være tømt innen rimelig tid før neste større nedbørshendelse og utfordringer knyttet til mygg og lignende unngås.</p>
<b>Flow Exponent</b>	<p>0.5 (making the drain act like an orifice). A rough estimate for <math>C</math> can be based on the time <math>T</math> required to drain a depth <math>D</math> of stored water. For <math>n = 0.5</math>, <math>C = 2D^{1/2} / T</math>.</p>	<p>Strømnings-eksponenten tilsvarer det som referes til som avløpskoeffisient. for skarpkantet hull i, men samsvarer ikke med denne. Typisk verdi for denne er 0,5 i henhold til manualen, da vil dreneringsutløpet fungere som et skarpkantet hull</p>	<p>Det anbefales å benytte 0,5 som er angitt i manualen.</p>
<b>Offset Height (mm)</b>	<p>Height <math>H_d</math> of any underdrain piping above the bottom of a storage layer or rain barrel (mm).</p>	<p>Høyden, <math>H_d</math>, er høyden til drensledningen over bunnen av lagringsvolumet eller regntønnen.</p>	<p>Høyden må antas basert på faglige vurderinger, om ikke tegninger eller tekniske spesifikasjoner foreligger. Ofte legges utløpsledningen i bunnen av regntønnen, evt. kan ledningen legges 50 - 100 mm over bunnen.</p>



<b>Drain Delay (hours)</b>	The number of dry weather hours that must elapse before the drain line in a rain barrel is opened (the line is assumed to be closed once rainfall begins). This parameter is ignored for other types of LIDs.	Denne parameteren angir antallet av tørre oppholdstimer uten regn som må passeres før utløpet til regntønnen åpnes (utløpet er antatt å være stengt under selve regnhendelsen). Den parameteren kan settes til for andre typer LOD-tiltak.	Denne parameteren kan settes til 0, om det ikke er behov for et konkret antall timer med fordrøying.
----------------------------	---	--	--

## 2.10.8 Grunnvannsinnstillinger – Aquifer Editor

Property	Value
Aquifer Name	
Porosity	0.5
Wilting Point	0.15
Field Capacity	0.30
Conductivity	5.0
Conductivity Slope	10.0
Tension Slope	15.0
Upper Evap. Fraction	0.35
Lower Evap. Depth	14.0
Lower GW Loss Rate	0.002
Bottom Elevation	0.0
Water Table Elevation	10.0
Unsat. Zone Moisture	0.30
Upper Evap. Pattern	

User-assigned aquifer name

OK Cancel Help

Figur 2.10.20. Figuren viser Aquifer Editor

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Aquifer Name</b>	User-assigned aquifer name.	Denne parameteren angir navnet til akviferen. En akvifer er betegnelse på grunnvann for et avgrenset område.	Navnet bestemmes selv av brukeren til programmet - modellen. Navnet anbefales å være av en beskrivende logisk karakter.
<b>Porosity</b>	Volume of voids / total soil volume (volumetric fraction).	Porøsiteten angir det relative forholdet mellom totalt volum og volumet av porer (hulrom) i jorden eller filtermediet, oppgis som brøk. Porøsitet	Den totale porøsiteten må antas basert på faglige vurderinger ved bruk av tabeller og diagrammer, om porøsiteten ikke er beregnet ved å tørke jordprøver tatt i felt.

		omtales også som hulromsfaktoren. Det er den totale porøsiteten som oppgis og ikke den effektive porøsiteten.	I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på total porøsitet for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter. I grunninnstillingene er denne satt til 0,5.
<b>Wilting Point</b>	Soil moisture content at which plants cannot survive (volumetric fraction).	Visnepunktet angir det relative vanninnholdet i forhold til det totale volumet av jorda etter gravitasjonsdrenering og langvarig tørke, fuktighetsinnholdet i jorda kan ikke bli lavere, oppgis i brøk. Det resterende fuktighetsinnholdet er sterkt bundet av friksjon til jorden, kommer fuktighetsinnholdet under dette punktet dør vegetasjonen. Av liten betydning, spesielt ved analyser av små nedbørsfelt.	I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på visnepunkt for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter. I grunninnstillingene er denne satt til 0,15.
<b>Field Capacity</b>	Soil moisture content after all free water has drained off (volumetric fraction).	Feltkapasiteten angir det relative vanninnholdet i forhold til det totale volumet av jorda etter gravitasjonsdrenering, oppgis som brøk. Av liten betydning, spesielt ved analyser av små nedbørsfelt.	I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på feltkapasitet for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter. I grunninnstillingene er denne satt til 0,30.
<b>Conductivity</b>	Soil's saturated hydraulic conductivity (mm/hr).	Vannmettet hydraulisk konduktivitet, $K_{sat}$ , brukes til å beregne vanngjennomstrømningen i grunnen eller relevant medium, sammen med den hydrauliske gradienten.	I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på hydraulisk konduktivitet for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter. I grunninnstillingene er denne satt til 127 mm/t.
<b>Conductivity Slope</b>	Average slope of log(conductivity) versus soil moisture deficit (porosity minus moisture content) curve (unitless).	Helningen til konduktivitetskurven er et mål (forholdstall) på hvor hurtig den hydrauliske konduktiviteten avtar når fuktighetsinnholdet i jorden avtar (Rossman, 2010). Typiske verdier er 5 for sandjord og opp til 15 for siltig leire (Rossmann, 2010).	Det er ingen tabell med eksempler på forholdstall til helningen på konduktivitetskurven i manualen. I vedlegg A er det utarbeidet en tabell med eksempler for ulike jordarter basert på verdier oppgitt av L. Rossmann (Rossmann, 2011). I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 10,0 som er en middelvei.

<p><b>Tension Slope</b></p>	<p>Average slope of soil tension versus soil moisture content curve (mm).</p>	<p>Dette er den gjennomsnittlige helningen til kapilærkreftene langs fuktighetsfronten i forhold til kurven for jordens fuktighetsinnhold, oppgis i mm.</p> $\text{Tension slope} = -\frac{d(\Psi)}{d(\Theta)}$ <p>Theta er fuktighetsinnh. i jorden. Psi sugekraften til jorden, dvs undertrykket.</p> <p>Tension slope er et begrep som blir benyttet for å evaluere perkolasjonsforholdet mellom øvre umettete grunnvannssone og nedre mettede grunnvannssone via Darcy's lov. Begrepet tension slope ble tatt med i SWMM 5 for å gjøre den nye versjonen kompatibel med de eldre. Parameteren kunne vært satt til 0 for å holde grunnvannsmodellen logisk konsistent fritt oversatt etter L. Rossman (Rossman, 2015).</p>	<p>I manualen til SWMM4 er det vist ulike grafer i appendix X med eksempler på tension slope for ulike jordarter, figur X-2, X-3 og X-4 (Huber, 1988). Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter beregnet på grunnlag av følgende formel.</p> $\text{Tension slope} = \frac{(\text{kapilærkraft (mm)} * 1,42)}{\text{feltkapasitet}}$ <p>I grunninnstillingene er denne parameteren satt til 381 mm.</p> <p>Dette er ikke en parameter som påvirker grunnvannsmodellen i stor grad, dvs. den er lite følsom for endringer i parameteren, spesielt ved simulering av enkelthendelser.</p> <p>Det vil også være mulig å finne parametere ved å kalibrere modellen.</p>
<p><b>Upper Evap. Fraction</b></p>	<p>Fraction of total evaporation available for evapotranspiration in the upper unsaturated zone.</p>	<p>Andelen av total evaporasjon tilgjengelig til evapotranspirasjon i øvre umettete sone. Av liten betydning ved analyser av små nedbørsfelt. Ved simulering av enkelthendelser har ikke denne parameteren, eller evapotranspirasjon, noe hensikt og kan settes til 0.</p>	<p>Andelen av total evaporasjon tilgjengelig til evapotranspirasjon i den øvre umettete sonene må antas basert på faglige vurderinger. Det kan være utfordrende å finne noen gode forholdstall på denne andelen, den vil kunne variere mellom ca. 20 – 80 %. Den nedre andelen vil være relatert til arktisk klima og den øvre andelen tropisk klima. I grunninnstillingene er denne satt til 0,35, som også vil kunne benyttes i de fleste situasjoner. Dette er en verdi som må tilpasses ved kalibrering.</p>
<p><b>Lower Evap. Depth</b></p>	<p>Maximum depth into the lower saturated zone over which evapotranspiration can occur (m).</p>	<p>Denne parameteren representerer maksimal dybde i den nedre mettede sonen hvor evapotranspirasjon kan forekomme (m). Av liten betydning ved analyser av små nedbørsfelt.</p>	<p>Andelen av total evaporasjon tilgjengelig til evapotranspirasjon i den øvre umettete sonene må antas basert på faglige vurderinger. Det kan være utfordrende å finne gode verdier for denne</p>

		Ved simulering av enkelthendelser har ikke denne parameteren, eller evapotranspirasjon, noe hensikt og kan settes til 0.	parameteren, i vedlegg A med eksempler på ulike verdier.
<b>Lower GW Loss Rate</b>	Rate of percolation from saturated zone to deep groundwater (mm/hr).	Denne parameteren beskriver perkolasjonshastigheten fra den mettede grunnvannssonen til permanente grunnvannet, oppgis i mm/t.  Perkolasjonshastighet = - hydraulisk ledningsevne * (1+kapilærkraft/høyde på grunnvannsspeilet)  Ved simulering av enkelthendelser har denne parameteren liten hensikt og kan settes til 0.	Verdiene som benyttes for å beregne perkolasjonshastigheten antas basert på faglige vurderinger. I vedlegg A er det eksempler på ulike verdier som kan benyttes i likningen for å beregne perkolasjonshastigheten.  I grunninnstillingene er denne satt til 0,051 mm/t, som tilsvarer 0,2 m/s. Anbefalt minimums hastighet er 13 mm/t.
<b>Bottom Elevation</b>	Elevation of the bottom of the aquifer (m).	Dette er høyden på bunnen av akviferen, dvs høyden i underkant av akviferen, oppgis i m.	Denne høyden kan antas basert på faglige vurderinger, om det ikke foretatt målinger i felt. Det kan være hensiktsm. å benytte en differanse på ca. 5 – 10 m min ift. det pergrunnvannsspeilet.
<b>Water Table Elevation</b>	Elevation of the water table in the aquifer at the start of the simulation (m).	Dette er høyden på grunnvannsspeilet i akviferen i begynnelsen av simulering., oppgis i m. Dette vil være høyden på det permanente grunnvannsspeilet.	Denne høyden kan antas basert på faglige vurderinger.  Der hvor hav, innsjø eller elv er i nærheten kan dette antas å være høyden.
<b>Unsat. Zone Moisture</b>	Moisture content of the unsaturated upper zone of the aquifer at the start of the simulation (volumetric fraction) (cannot exceed soil porosity).	Fuktighetsinnholdet av den umettete øvre sonen av akviferen, i starten av simuleringen. Dette er volumandelen med vann/fuktighet i forhold til totalt volum. Kan ikke være større enn effektiv porøsitet.	Denne parameteren kan antas basert på faglige vurderinger. I utgangspunktet kan denne settes lik feltkapasiteten til den aktuelle jordarten eller noe i overkant, da det antas at grunnen er gravitasjonsdrenert ved starten av simuleringen.
<b>Upper Evap. Pattern</b>	Ikke omtalt i manualen.	Dette er variasjonsmønster som representer forholdstall for evapotranspirasjonen i den øvre umettete grunnvannssonen.	Forholdstallene til evapotranspirasjonen må antas basert på faglige vurderinger, disse vil være størst i sommermånedene og mindre om vinteren.

## 2.10.9 Nedslagsfelt – Subcatchment

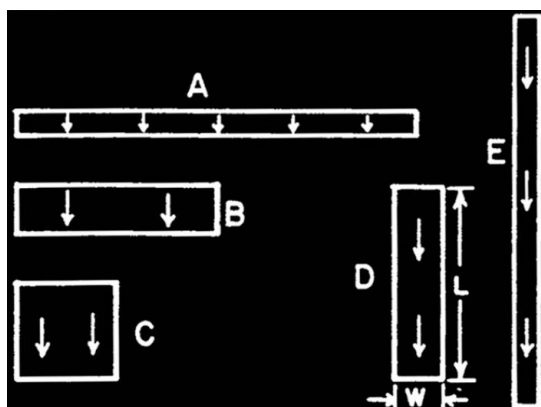
Property	Value
Name	S40
X-Coordinate	464.726
Y-Coordinate	2343.225
Description	
Tag	
Rain Gage	*
Outlet	*
Area	5
Width	500
% Slope	3
% Imperv	0.9
N-Imperv	0.011
N-Perv	0.025
Dstore-Imperv	2.5
Dstore-Perv	5
%Zero-Imperv	10
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100
Infiltration	HORTON
Groundwater	NO
Snow Pack	
LID Controls	0
Land Uses	0
Initial Buildup	NONE
Curb Length	0
User-assigned name of subcatchment	

Figur 2.10.21. Figuren viser konfigurasjonsvinduet til subcatchment.

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Name</b>	User-assigned subcatchment name.	Denne parameteren angir navnet til avrenningsfeltet.	Navnet bestemmes selv av brukeren til programmet - modellen. Navnet anbefales å være av en beskrivende logisk karakter.
<b>X-Coordinate</b>	Horizontal location of the subcatchment's centroid on the Study Area Map. If left blank then the subcatchment will not appear on the map.	Horisontal lokalisering av avrenningsfeltet senterpunkt på kartet. Dersom feltet er blankt vil ikke avrenningsfeltet vise på kartet, forutsatt at kart er importert som bakgrunn.	Koordinatene blir automatisk beregnet når avrenningsfeltet blir plassert i modellen. Dersom kart er importert som bakgrunn og plassert med riktige koordinater, vil også avrenningskoordinatene samstemme med disse når omrisset

<b>Y-Coordinate</b>	Vertical location of the subcatchment's centroid on the Study Area Map. If left blank then the subcatchment will not appear on the map.	Vertikal lokalisering av avrenningsfeltets senterpunkt på kartet. Dersom feltet er blankt vil ikke avrenningsfeltet vise på kartet, forutsatt at kart er importert som bakgrunn.	av avrenningsfeltet blir skissert i modellen.
<b>Description</b>	Click the ellipsis button (or press Enter) to edit an optional description of the subcatchment.	I dette feltet kan en velge å legge inn en kortere tekst som beskriver avrenningsfeltet.	Beskrivelsen kan gjerne si litt om hva som definerer avrenningsfeltet og evt. hensyn som må ivaretas i modellen.
<b>Tag</b>	Optional label used to categorize or classify the subcatchment.	I dette feltet kan en velge å legge inn en «merkelapp» som kan kategorisere eller klassifisere avrenningsfeltet.	«Merkelapp» defineres ut fra behov og preferanser for brukeren av programmet – modellen.
<b>Rain Gage</b>	Name of the rain gage associated with the subcatchment.	Her velger hvilken nedbørstype som skal være tilknyttet avrenningsfeltet.	Dette er forhåndsdefinerte nedbørsdata som enten kan være enkelt hendelser i form av konstruerte symmetriske hyetogram eller filer med lengre tidsperioder.
<b>Outlet</b>	Name of the node or subcatchment which receives the subcatchment's runoff.	Her velges noden som mottar avrenningen fra feltet.	Dette er utløpet fra feltet dersom det er flere noder i feltet eller i nærheten må det en faglig vurdering legges til grunn for hvilken node som bør motta avrenningen, ofte er det en node oppstrøms i feltet.
<b>Area</b>	Area of the subcatchment (hectares).	I dette feltet angis avrenningsfeltets areal, oppgis i hektar.	Arealet kan anslås, men bør måles på aktuelle reguleringsplaner eller kart.
<b>Width</b>	Characteristic width of the overland flow path for sheet flow runoff (feet or meters). An initial estimate of the characteristic width is given by the subcatchment area divided by the average maximum overland flow length. The maximum overland flow length is the length of the flow path from the the furthest drainage point of the subcatchment before the flow becomes channelized. Maximum lengths from several different possible flow paths should be averaged. These	I dette feltet angis feltets bredde, dvs avstanden på tvers av den gjennomsnittlige avrenningslengden på overflaten av avrenningsfeltet, oppgis i m. Et grunnleggende estimat av den karakteristiske bredden blir gitt ved å dividere feltets areal på den gjennomsnittlige lengden på de lengste avrenningsveiene på overflaten av avrenningsfeltet, dvs før vannet når sluk eller lavbrekk hvor vannet kanaliseres. Avrenningsveiene bør hovedsakelig reflektere sakteavrenning og ikke avrenning over tak, asfalt, betong rennestein osv. Lengden på avrenningsvegene bør ikke overstige 150 m. With, eller bredden på avrenningsfeltene er muligens den viktigste	With, eller bredden til et felt finnes gjennom å dividere avrenningsfeltets areal med den gjennomsnittlige avrenningslengden før vannet når avløpssystemet eller blir kanalisert. Det er i denne sammenheng viktig å tenke på at alle avrenningsfelt i SWMM er idealiserte rektangler. $\text{With} = \frac{\text{Areal}}{\text{gjenns. l}}$ Nedenfor er det vist en rekke eksempler på hvordan bredden til feltet påvirker avrenningslengden og dermed konsentrasjonstiden, flomtoppen (Huber, 1988). Stor bredde gir liten avrenningslengde og kort konsentrasjonstid, liten bredde gir lang avrenningslengde og lengre konsentrasjonstid.  Den gjennomsnittlige avrenningslengden må antas ut fra

	<p>paths should reflect slow flow, such as over pervious surfaces, more than rapid flow over pavement, for example. Adjustments should be made to the width parameter to produce good fits to measured runoff hydrographs.</p>	<p>kalibreringsparameteren og tilpassninger må ofte gjøres for at den skal stemme overens med avrenningshydrografen (Gironas, et al., 2009).</p>	<p>målinger på kart og reguleringsplaner basert på faglige vurderinger</p>
--	--	--	--



Figur 2.10.22. Idealiserte avrenningsfelt i SWMM

<p><b>% Slope</b></p>	<p>Average percent slope of the subcatchment.</p>	<p>Dette er helningen på avrenningsoverflaten, helningen oppgis i prosent. Helningen gjelder for hele avrenningsfeltet, både den permeable og impermeable delen. Helningen er på lik linje som bredden basert på helningen til avrenningsvegene eller et estimert gjennomsnitt av disse.</p>	<p>Den gjennomsnittlige helningen til avrenningsfeltet må antas ut fra målinger på kart, tegninger og reguleringsplaner basert på faglige vurderinger.</p>
<p><b>% Imperv</b></p>	<p>Percent of land area which is impervious.</p>	<p>Dette er andelen med impermeable flater i avrenningsfeltet, dette er flater som tak og vegger hvor vannet ikke har mulighet til å infiltrere. Andelen oppgis i prosent. Parameteren er en viktig kalibreringsparameter, dvs. den er meget følsom for forandring og har stor påvirkning på avrenningen.</p>	<p>Andelen med impermeable flater må antas ut fra målinger på kart og reguleringsplaner basert på faglige vurderinger. Andelen med impermeable flater kan variere fra 5 % i avrenningsfelt uten bebyggelse og opp til 95 % i områder med høy utnyttelse av arealene.</p>
<p><b>N-Imper</b></p>	<p>Manning's n for overland flow over the impervious portion of the subcatchment (see Section A.6 for typical values).</p>	<p>Manning's n for overflateavrenning på ulike impermeable overflater beskriver ruheten til de impermeable overflatene. Manningstallet brukes til å</p>	<p>Manningstallet må antas ut fra avrenningsfeltets overflater og hva som karakteriserer dem basert på faglige vurderinger. Det finnes Manningsverdier i manualen, appendix A.6, og flere</p>

		beregne gjennomsnittlig strømningshastighet på overflater og i kanaler.	andre steder bla. I Vassdragshåndboka. Manualen har f. eks. en verdi på 0,012 for lite slitt asfalt, smooth asphalt.
<b>N-Perv</b>	Manning's n for overland flow over the pervious portion of the subcatchment (see Section A.6 for typical values).	Manning's n for overflateavrenning på ulike permeable overflater beskriver ruheten til de permeableoverflaten. Manningstallet brukes til å beregne gjennomsnittlig strømningshastighet på overflater og i kanaler.	Manningstallet må antas ut fra avrenningsfeltets overflater og hva som karakteriserer dem basert på faglige vurderinger. Det finnes Manningsverdier i manualen, appendix A.6, og flere andre steder bla. I Vassdragshåndboka. Manualen har f. eks. en verdi på 0,8 for tett skog, dense wooded areas.
<b>Dstore- Imperv</b>	Depth of depression storage on the impervious portion of the subcatchment (millimeters) (see Section A.5 for typical values).	Dette er den gjennomsnittlige dybden på gropmagasineringen til de impermeable flatene i avrenningsf., oppgis i mm. Gropmagasineringen representerer det volumet som må fylles før avrenningen kan begynne, dette kan være vanndammer og intersepsjon på ulike flater og vegetasjon. Gropmagasinene tømmes gjennom evaporasjon.	Denne verdien må antas ut fra avrenningsfeltets overflater og hva som karakteriserer dem basert på faglige vurderinger. Det finnes ulike gropmagasineringverdier i manualen, appendix A.5, og flere andre steder bla. I NVE rapport nr. 10, 1997, Anvendt Urbanhydrologi i tabell 1,5 (Bøyum, et al., 1997). Norsk Vann Rapport nr. 193 anbefaler å bruke 1,2 til 2,4 (Lindholm, et al., 2012).
<b>Dstore-Perv</b>	Depth of depression storage on the pervious portion of the subcatchment (millimeters) (see Section A.5 for typical values).	Dette er den gjennomsnittlige dybden på gropmagasineringen til de permeable flatene i avrenningsf., oppgis i mm. Gropmagasineringen representerer det volumet som må fylles før avrenningen kan begynne, dette kan være vanndammer og intersepsjon på ulike flater og vegetasjon. Gropmagasinene tømmes gjennom evaporasjon.	Denne verdien må antas ut fra avrenningsfeltets overflater og hva som karakteriserer dem basert på faglige vurderinger. Det finnes ulike gropmagasineringverdier i manualen, appendix A.5, og flere andre steder bla. i NVE rapport nr. 10, 1997, Anvendt Urbanhydrologi i tabell 1,5 (Bøyum, et al., 1997). Norsk Vann Rapport nr. 193 henviser til at hager har ca. 10 mm gropmagasinering (Lindholm, et al., 2012).
<b>%Zero- Imperv</b>	Percent of the impervious area with no depression storage.	Dette er andelen av impermeable flater uten gropmagasinering, oppgis i prosent. På disse flatene vil avrenning begynne når første regndråpe treffer bakken, disse flatene representerer rennesteinen, bratte takflater som drenerer direkte til avløpsystemet og ulike dekker med svært lav ruhet, som ny betong eller asfalt.	Denne verdien må antas ut fra avrenningsfeltets overflater og helning basert på faglige vurderinger. I grunninnstillingene er denne satt til 25 %, det er også denne verdien som er anbefalt i bruksmanualen (Gironas, et al., 2009) om det foreligger spesielle forhold som tilsier noe annet.



<b>Subarea-Routing</b>	Choice of internal routing of runoff between pervious and impervious areas: <b>IMPERV</b> : runoff from pervious area flows to impervious area, <b>PERV</b> : runoff from impervious area flows to pervious area, <b>OUTLET</b> : runoff from both areas flows directly to outlet.	Her kan en velge å styre avrenningen internt i avrenningsfeltet mellom permeable og impermeable. Avrenningen kan styres både fra permeable flater til impermeable og fra impermeable til permeable, samt at avrenningen kan gå direkte fra begge arealene til avrenningsfeltets utløp.	Om og hvordan avrenningen skal styres og kontrolleres internt på hvert felt må vurderes ut fra hva som er mest hensiktsmessig i de enkelte situasjonene. Dette er også en god mulighet til å se på effekten av å la avrenningen få mulighet til å infiltrere på de permeable flatene.
<b>Percent-Routed</b>	Percent of runoff routed between subareas.	Her angir en hvor stor prosentandel som skal styres hvor.	
<b>Infiltration</b>	Click the ellipsis button (or press Enter) to edit infiltration parameters for the subcatchment.	Her kan infiltrasjonsparametrene for det aktuelle avrenningsområdet endres.	Hvilke infiltrasjonsparametre og hvor disse kan finnes er omtalt i egen matrise under infiltrasjonsinnstillinger, Infiltrations Editor, nedenfor.
<b>Groundwater</b>	Click the ellipsis button (or press Enter) to edit groundwater flow parameters for the subcatchment.	Her kan en velge om avrenningen fra feltet skal påvirkes av grunnvann og aktuelle parameter for grunnvannstrømningen.	Hvilke grunnvannsparametre og hvor disse kan finnes er omtalt i egen matrise under grunnvannsinstillinger, Groundwater Flow Editor, nedenfor.
<b>Snow Pack</b>	Name of snow pack parameter set (if any) assigned to the subcatchment.	Her kan en velge om avrenningen fra feltet skal påvirkes av nedbør i form av snø og snølagring, og aktuelle parameter for dette scenarioet.	Ikke aktuelt, dette vil ikke bli nærmere omtalt.
<b>LID Controls</b>	Click the ellipsis button (or press Enter) to edit the use of low impact development controls in the subcatchment.	Her kan en velge om deler eller hele avrenningsfeltet skal bestå av LOD-tiltak og evt. hvilke LOD-tiltak.	Hvilke infiltrasjonsparametre og hvor disse kan finnes er omtalt i egen matrise under valg av LOD-tiltak, LID Controls for Subcatchment, nedenfor.
<b>Land Uses</b>	Click the ellipsis button (or press Enter) to assign land uses to the subcatchment.	Her kan en velge hvilken type areal avrenningen fra feltet skal bestå av, med hensyn til diffuse forurensningsutslipp. Dette kan være tung/lett industri, boligfelt o.l.	Ikke aktuelt, arealtyper kan finnes på reguleringsplaner og eksisterende kart. Forurensningsbelastninger for ulike arealtyper kan finnes på <a href="http://www.stormtac.com">www.stormtac.com</a>
<b>Initial Buildup</b>	Click the ellipsis button (or press Enter) to specify initial quantities of pollutant buildup over the subcatchment.	Her kan en spesifisere hvor stor forurensningsbelastn. til avrenningsfeltet er ved simuleringens start.	Ikke aktuelt, dette vil ikke bli nærmere omtalt.
<b>Curb Length</b>	Total length of curbs in the subcatchment (any length units). Used only when pollutant	Her angir en lengde på kantstein/rennestein i avrennings området.	Lengden på kantstein kan måles på tegninger, reguleringsplaner eller kart. Hvis ikke kan den anslås basert på faglige vurderinger.

	buildup is normalized to curb length.	Benyttes kun når forurensninger blir beregnet ut fra lengden på kantstein/rennestein.	
--	---------------------------------------	---	--

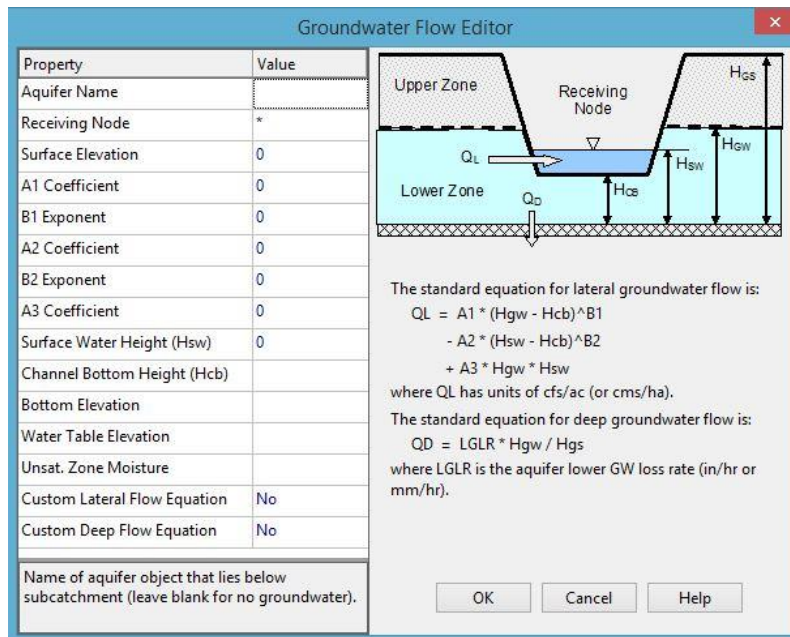
## 2.10.10 Infiltrasjonsinnstillinger – Infiltrations Editor

Figur 2.10.23. Figuren viser Infiltration Editor.

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Max. Infil. Rate (mm/hr)</b>	<p>Maximum infiltration rate on the Horton curve (mm/hr). Representative values are as follows:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. DRY soils (with little or no vegetation): Sandy soils: 5 in/hr Loam soils: 3 in/hr Clay soils: 1 in/hr</li> <li>2. DRY soils (with dense vegetation): Multiply values in A. by 2</li> <li>3. MOIST soils: Soils which have drained but not dried out (i.e., field capacity): Divide values from A and B by</li> <li>3. Soils close to saturation: Choose value close to min. infiltration rate. Soils which have partially dried out: Divide values from A and B by 1.5 - 2.5.</li> </ol>	<p>Maksimal infiltrasjonshastighet for Hortons kurve, oppgis i mm/t. Representative verdier er følgende:</p> <p>A. TØRR jord (med lite eller ingen vegetasj.): - Sandjord: 127 mm/t - Blandingsjord: 76.2 mm/t - Leirjord: 25.4 mm/t</p> <p>B. TØRR jord (med tett vegetasjon): Multipliser verdiene i A med 2.</p> <p>C. FUKTIG jord: - Jord som er drenert, men ikke tørket ut (feltkapasitet): Divider verdiene fra A og B med 3.</p> <p>- Tilnærmet vannmettet jord: Velg en verdi nær minimumsverdien til jordens infiltrasjonsh.</p> <p>- Jord som er delvis uttørket: Divider verdiene fra A og B med 1.5 – 2.5.</p>	<p>Det anbefales å bruke verdiene for maksimal infiltrasjonshastighet som er oppgitt i manualen, hvis ikke er det oppgitt noen eksempler i bla. NVE rapport nr. 10, 1997, Anvendt Urbanhydrologi i tabell 1,2 (Bøyum, et al., 1997).</p>

<b>Min. Infil. Rate (mm/hr)</b>	Minimum infiltration rate on the Horton curve (mm/hr). Equivalent to the soil's saturated hydraulic conductivity. See the Soil Characteristics Table in Section A.2 for typical values.	Minimums infiltrasjonshastighet på Hortons kurve, oppgis i mm/t. Ekvivalent til jordens mettede hydrauliske konduktivitet. Se karakteristiske verdier for ulike jordarter i appendix A.2.	I manualen er det en tabell i appendix A.2 med eksempler på hydraulisk konduktivitet for ulike jordarter. Det er også utarbeidet en tabell i vedlegg A med ulike jordarter.
<b>Decay Constant (1/hr)</b>	Infiltration rate decay constant for the Horton curve (1/hours). Typical values range between 2 and 7.	Infiltrasjonshastighetens reduksjonskonstant for Hortons kurve (1/time). Typiske verdier varierer mellom 2 og 7. Denne beskriver hvor raskt infiltrasjonskapasiteten avtar, 2 timer vil være konservativt.	Reduksjonskonstanten må vurderes ut fra klimaet hvor tiltaket er plassert og grunnforh. En høy reduksjonskonstant som 0.5 tilsvarer at infiltrasjonskapasiteten vil være mettet etter 2 timer. Dersom målinger ikke er foretatt i felt kan det være hensiktsmessig å være konservativt.
<b>Drying Time (days)</b>	Time in days for a fully saturated soil to dry completely. Typical values range from 2 to 14 days.	Tid i dager som helt vannmettet jord bruker på å tørke ut fullstendig. Typiske verdier varierer mellom 2 og 14 dager. 14 dager vil være konservativt, mens 2 dager tilsvarer temperert klima med porøs jordstruktur.	Tid i dager som vannmettet jord bruker på å tørke helt ut må vurderes ut fra klimaet for tiltaket er plassert og grunnforholdene. Dersom målinger ikke er foretatt i felt kan det være hensiktsmessig å være konservativt.
<b>Max. Volume (mm, 0 if not applicable)</b>	Maximum infiltration volume possible (mm, 0 if not applicable). It can be estimated as the difference between a soil's porosity and its wilting point times the depth of the infiltration zone.	Maksimalt infiltrasjonsvolum når dette er tilgjengelig, oppgis i mm, settes til 0 dersom grunnen ikke har tilgjengelig infiltrasjonskapasitet. Volumet kan estimeres ut fra differansen mellom jordens porøsitet og jordens visnepunkt, som gir jordens effektive porøsitet, sammen med dybden til infiltrasjonssonen. Volumet er oppgitt i mm, som f. eks. at 1 m <sup>3</sup> tilsvarer 1000 mm nedbør på 1 m <sup>2</sup> , eller 1000 liter. 1000 liter = 1000 mm	Infiltrasjonsdybden må antas basert på observasjoner i felt og faglige vurderinger, dersom ikke målinger i felt foreligger. Infiltrasjonskapasiteten kan beregnes ved å benytte antatt effektiv porøsitet og volumet over grunnvannssonen, dvs det effektive volumet i markvannssonen.

## 2.10.11 Grunnvannsinstillinger – Groundwater Flow Editor



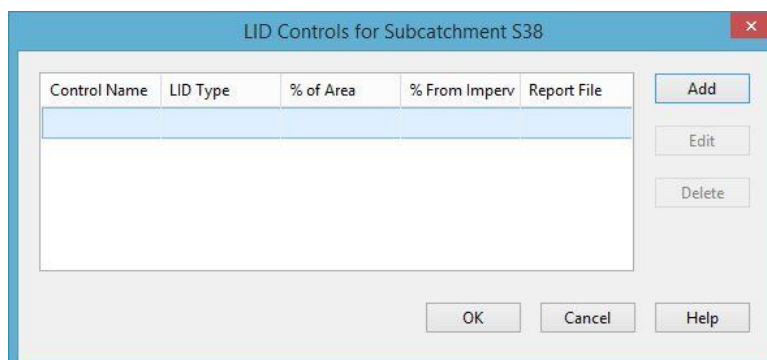
Figur 2.10.24. Figuren viser Groundwater Flow Editor.

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Aquifer Name</b>	Name of aquifer object that supplies groundwater. Leave this field blank if you want the subcatchment not to generate any groundwater flow.	Her velges hvilken akvifer som forsyner grunnvannet. Dersom en vil at avrenningsfeltet ikke skal generere grunnvannsstrømning, lar en dette feltet være blankt.	Her velges en forhåndsdefinert akvifer med de parametrene som er aktuelle for grunnvannstrømningen i det gjeldende nedbørsfeltet, dersom det er relevant å ta hensyn til grunnvannsstrømning i modellen.
<b>Receiving Node</b>	Name of node that receives groundwater from the aquifer.	Navnet på noden som mottar grunnvannsstrømningen fra akviferen.	Her velges noden som grunnvannet strømmer inn i, eller hvor drencsystem er tilkoblet. Ofte er dette en node nedstrøms i avrenningsfeltet, mens overflateavrenningen er tilkoblet systemet oppstrøms.
<b>Surface Elevation</b>	Elevation of ground surface for the subcatchment that lies above the aquifer in feet or meters.	Høyden på overflaten til avrenningsfeltet som ligger over akviferen, oppgis i m.	Høyden på overflaten kan finnes på tegninger, reguleringsplaner eller eksisterende kart. Dersom tilstrkkelig grunnlagsdate ikke foreligger må det legges til grunn en antatt gjennomsnittshøyde basert på faglige vurderinger.
<b>A1 Coefficient</b>	Value of A1 in the groundwater flow formula.	Verdien til A1 i grunnvannets strømningsformel.	$A1 = 16 * \frac{K}{L * L}$ <p>K er hydraulisk konduktivitet i m/s.</p>

			L er avrenningsfeltets lengde i meter (Rossmann, 2010).  Formelen er hentet fra side 489 i manualen til SWMM 4 (Huber, 1988).
<b>B1 Exponent</b>	Value of B1 in the groundwater flow formula.	Verdien til B1 i grunnvannets strømningsformel.	B1 = 1
<b>A2 Coefficient</b>	Value of A2 in the groundwater flow formula.	Verdien til A2 i grunnvannets strømningsformel.	A2 = A1
<b>B2 Exponent</b>	Value of B2 in the groundwater flow formula.	Verdien til B2 i grunnvannets strømningsformel.	B2 = 1
<b>A3 Coefficient</b>	Value of A3 in the groundwater flow formula.	Verdien til A3 i grunnvannets strømningsformel.	A3 = 0
<p>Når grunnvannsstrømningen er proporsjonal med differansen mellom vannhøyde i grunnen og vannhøyde i ledning settes B1 = 1 og B2 = B1. A1 settes til proporsjonalitetsfaktoren, A2 = A1 og A3 = 0 (Rossmann, 2010).</p> <p>Settes B1 høyere enn eller lik B2, A1 høyere enn eller lik A2 og A3 lik 0, hindrer en negativ strømning til grunnvannet, dvs at ledningen drenerer til grunnen eller eksfiltrasjon fra ledning til grunnen. Dette er ikke hensikten til modellen og SWMM er ikke programert for å simulere denne situasjonen, modellen kan kun infiltrere vann fra grunnen til ledningssystemet (Rossmann, 2010).</p>			
<b>Surface Water Height (H<sub>sw</sub>)</b>	Fixed depth of surface water at the receiving node (meters) (set to zero if surface water depth will vary as computed by flow routing). This value is used to compute H <sub>sw</sub> .	Fast dybde til overvannet i noden som mottar grunnvannsstrømningen, denne settes til 0 om dybden på overvannet i noden vil variere gjennom overvannsbelastningen fra overflaten. Denne verdien benyttes til å beregne H <sub>sw</sub> .	Dybden til overvannet i noden og ledningssystemet settes til 0 for de fleste tilfeller, da en antar at nye anlegg er tette eller har til hensikt å senke grunnvannspeilet. I tilfeller hvor det er målt en permanent minimusdybde i eksisterende ledningssystem kan denne høyden benyttes, eller hvor ledningssystemet bygges under havnivå. Dersom noden har en konstant tørrversrenning benyttes denne dybden.
<b>Channel Bottom Height (H<sub>cb</sub>)</b>	Groundwater elevation that must be reached before any flow occurs (meters). Leave blank to use the receiving node's invert elevation.	Grunnvannshøyde som må nås før grunnvannstrømning kan forekomme, oppgis i m. Denne kan være blank om mottaksnodens høyde skal benyttes.	Denne parameteren vil være blank i de fleste situasjoner, men for drensledninger og lignende hvor inntakshull er på toppen av ledningen kan denne differansen tas hensyn til i beregningene.
<b>Bottom Elevation</b>	Elevation of the bottom of the aquifer (m). (Leave blank to use Aquifer value).	Høyden på akviferens bunn, underkant, oppgis i m. Denne kan være blank om en vil benytte høyden til den valgte akviferen.	Dersom det er behov for å justere den valgte akviferens dybde kan det gjøres her. Grunner til dette kan være relativt store høydeforskjeller, avstander eller grunnforhold fra stedet hvor en har tatt utgangspunkt akviferen beliggenhet.

<b>Water Table Elevation</b>	Initial water table elevation (m). (Leave blank to use Aquifer value)	Grunnvannspeilets opprinnelige høyde i starten av simuleringen, oppgis i m. Denne kan være blank om en vil benytte høyden til den valgte akviferen.	Dersom det er behov for å justere den valgte akviferens høyde kan det gjøres her. Grunner til dette kan være relativt store høydeforskjeller, avstander eller grunnforhold fra stedet hvor en har tatt utgangspunkt akviferen beliggenhet.
<b>Unsat. Zone Moisture</b>	Initial moisture content of the unsaturated upper zone (fraction). (Leave blank to use Aquifer value)	Opprinnelig fuktighetsinnhold i den umettete markvannsonen over grunnvannspeilet, oppgis som brøk. Denne kan være blank om en vil benytte verdeen til den valgte akviferen.	Dersom det er behov for å justere den valgte akviferens høyde kan det gjøres her. Grunner til dette kan være relativt store høydeforskjeller, avstander eller grunnforhold fra stedet hvor en har tatt utgangspunkt akviferen beliggenhet.
<b>Custom Lateral Flow Equation</b>	Click to supply a custom equation for lateral GW flow.	Her kan en legge inn en egen grunnvannsformel for gjennomstrømningen til grunnvannet for det aktuelle avrenningsfeltet.	Dette vil sjelden være aktuelt, dersom det er foretatt omfattende grunnundersøkelser kan slike formler foreligge.
<b>Custom Deep Flow Equation</b>	Click to supply a custom equation for deep GW flow.	Her kan en legge inn en egen grunnvannsformel for gjennomstrømningen til det dypere grunnvannet for det aktuelle avrenningsfeltet.	Dette vil sjelden være aktuelt, dersom det er foretatt omfattende grunnundersøkelser kan slike formler foreligge.

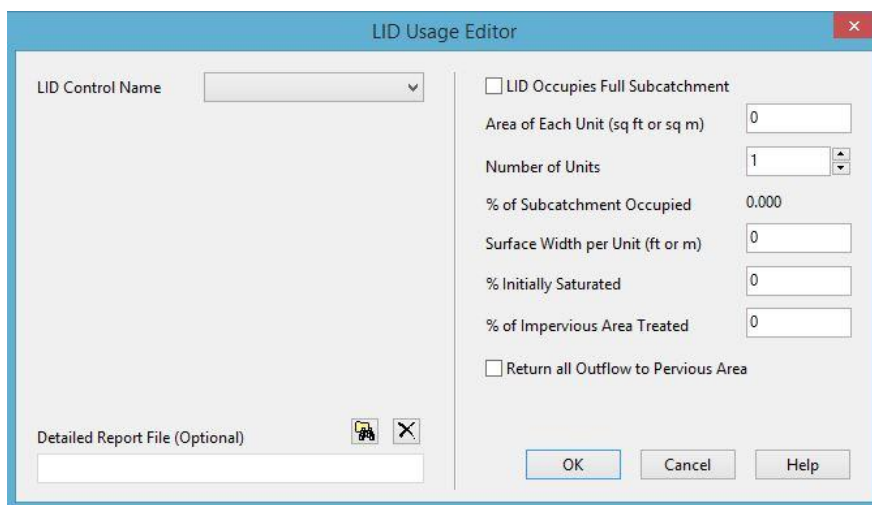
## 2.10.12 Valg av LOD-tiltak – LID Controls for Subcatchment



Figur 2.10.25. Figuren viser LID Controls for Subcatchment, det er her en velger hvilke LOD-tiltak som befinner seg hvert enkelt nedslagsfelt, og hvor stor andel av nedslagsfeltet de dekker.

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Contol Name</b>	The LID Group Editor is invoked when the LID Controls property of a Subcatchment is selected for editing. It is used to identify a group of previously defined LID controls that will be placed within the subcatchment, the sizing of each control, and what percent of runoff from the non-LID portion of the subcatchment each should treat.	The LID Group Editor benyttes når en vil benyttes LOD-tiltak som en del av overvannshåndtering en i et avrenningsfelt. Her velges hvilke forhåndsdefinerte LOD- tiltak som skal være en del av avrenningsfeltet, gjennom LID Usage Editor. Samt størrelse, andel av avrenningsfeltet og hvor stor andel av avrenningen som LOD-tiltaket skal håndtere.	Angir navn på valgt LOD-tiltak. Hvilke LOD-tiltak som skal benyttes velges i LID Usage Editor.
<b>LID Type</b>			Angir hvilken type det valgte LOD-tiltaket representerer. Type LOD-tiltak velges i LID Usage Editor.
<b>% of Area</b>			Angir hvor stor andel av arealet til avrenningsfeltet det valgte LOD-tiltaket representerer. Andelen velges i LID Usage Editor.
<b>% From Imperv</b>			Angir kun hvor stor andel av de impermeable avrenningsflatene som håndteres av LOD-tiltaket. Andelen velges i LID Usage Editor.
<b>Report File</b>			Angir navn på rapportfil som oppsummerer bidraget til LOD-tiltaket. Hvilken rapportfil som skal benyttes velges i LID Usage Editor.

## 2.10.13 Bruk av LOD-tiltak – LID Usage Editor



Figur 2.10.26. Figuren viser LID Usage Editor.

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Control Name</b>	The name of a previously defined LID control to be used in the subcatchment. (LID controls are added to a project by using the Data Browser.)	Navnet til et forhåndsdefinert LOD-tiltak som skal benyttes i avrenningsfeltet.	Her velges hvilket forhåndsdefinert LOD-tiltak som skal benyttes, LOD-tiltaket velges fra nedtrekksmenyen.
<b>LID Occupies Full Subcatchment</b>	The surface area devoted to each replicate LID unit (sq. m). If the <b>LID Occupies Full Subcatchment</b> box is checked, then this field becomes disabled and will display the total subcatchment area divided by the number of replicate units. (See Section 3.3.14 for options on placing LIDs within subcatchments.) The label below this field	Her kan en huke av for om LOD-tiltaket skal dekke hele avrenningsfeltet.	Noen ganger kan det være hensiktsmessig å bruke egne avrenningsfelt dedikert til LOD-tiltak, som f.eks vegeterte forsenkninger, permeable dekker, eller grønne tak. Skal LOD-tiltakene benyttes i serie må de plasseres i egne avrenningsfelt som sender utløpet videre til neste LOD-tiltak.
<b>Area of Each Unit (m<sup>2</sup>)</b>	indicates how much of the total subcatchment area is devoted to the particular LID being deployed.	Dersom et enkelt LOD-tiltaket ikke skal dekke hele avrenningsfeltet kan en her angi hvor stort areal i kvadratmeter hvert av LOD-tiltakene skal oppta. Der hvor et en LOD-tiltaket skal dekke hele avrenningsarealet er ikke dette et alternativ.	Arealet til LOD-tiltaket opptar typisk 7-9 % av det totale avrenningsfeltet. Nødvendig areal antas ut fra type areal og intensiteten til nedbøren basert på faglige vurderinger.
<b>Numbers of Units</b>	The number of equal size units of the LID practice (e.g., the number of rain	Her angis antall LOD-tiltak av hver enkelt type i avrenningsfeltet, disse vil	Antall enheter tilpasses det enkelte avrenningsfeltene



	barrels) deployed within the subcatchment.	bli like store og virke i parallell.	og stedlige behov basert på faglige vurderinger.
<b>% of Subcatchment Occupied</b>		Når arealet er angitt, beregnes det hvor stor prosentandelen som LOD-tiltaket opptar av avrenningsfeltet.	Genereres automatisk ut fra det oppgitte arealet.
<b>Surface Width per Unit (m)</b>	The width of the outflow face of each identical LID unit (m). This parameter only applies to LID processes such as Porous Pavement and Vegetative Swales that use overland flow to convey surface runoff off of the unit. (The other LID processes, such as Bio-Retention Cells and Infiltration Trenches simply spill any excess captured runoff over their berms.)	Her angis with, bredden til avrenningsflaten for hvert av de enkelte LOD-tiltakene, bredden oppgis i m. Denne parameteren oppgis kun for LOD-tiltak med avrenning på overflaten som permeable dekker, vegeterte forsengkninger og evt. grønne tak. De andre LOD-tiltakene «mister» all avrenning nå denne renner over sidene som omgir LOD-tiltaket. «Mistet» avrenning er ute av modellen	Bredden, with, til LOD-tiltaket beregnes på lik linje med bredden til avrenningsfeltet, slik som omtalt under matrisen for nedslagsfelt, Subcatchment. Lengden må anslås ut fra type LOD-tiltak basert på faglige vurderinger.
<b>% Initialy Saturated</b>	For Bio-Retention Cells this is the degree to which the unit's soil is initially filled with water (0 % saturation corresponds to the wilting point moisture content, 100 % saturation has the moisture content equal to the porosity). The storage zone beneath the soil zone of the cell is assumed to be completely dry. For other types of LIDs it corresponds to the degree to which their storage zone is initially filled with water.	For Bio-Retention Cells representerer denne parameteren hvor stor andel av jorden som er mettet med vann (0 % med vannmettet jord samsvarer med visnepunktet til jorden, 100 % vannmettet jord har et fuktighetsinnhold som samsvarer med porøsiteten. Lagringsvolumet under jorden er antatt å være helt tørt. For andre typer LOD-tiltak samsvarer parameteren med hvor mye vann lagringsvolumet opprinnelig er fullt med i starten av simuleringen.	Denne parameteren kan antas basert på faglige vurderinger. I utgangspunktet kan denne settes lik feltkapasiteten til den aktuelle jordarten eller noe i overkant, da det antas at grunnen er gravitasjonsdrenert ved starten av simuleringen. Dersom en ønsker simulere spesielle hendelser som f.eks hva som skjer om lagringsvolumet er fullt ved regnets start og lignende settes metningsprosenten deretter.
<b>% of Impervious Area Treated</b>	The percent of the impervious portion of the subcatchment's non-LID area whose runoff is treated by the LID practice. (E.g., if rain barrels are used to capture roof runoff and roofs represent 60% of the impervious area, then the impervious area treated is 60%). If the LID unit treats only direct rainfall, such as	Dette er prosentandelen av den impermeable delen av avrenningsfeltet som ikke består av LOD-tiltak som bidrar med avrenning til LOD-tiltaket. F.eks dersom regntønner benyttes til å håndtere regnvann fra tak og taket dekker 60 % av den impermeable flaten, da er	Andelen med impermeable flater som bidrar med avrenning må antas ut fra målinger på gjeldende tegninger, reguleringsplaner eller kart basert på faglige vurderinger.

	with a green roof, then this value should be 0. If the LID takes up the entire subcatchment then this field is ignored.	60 % av de impermeable flatene håndtert av regntønnene. Dersom LOD-tiltaket kun håndterer direkte nebør, slik som grønne tak, da er denne verdien 0. Dersom LOD-tiltaket dekker hele avrenningsfeltet kan dette feltet ignoreres.	
<b>Return all Outflow to Pervious Area</b>	Select this option if the outflow from the LID is returned onto the subcatchment's pervious area rather than going to the subcatchment's outlet. An example of where this might apply is a rain barrel whose contents are used to irrigate a lawn area. This field is ignored if the LID takes up the entire subcatchment.	Huk av dette feltet dersom avløpet fra LOD-tiltaket returneres til de permeable flatene i avrenningsfeltet, i stedet for å gå direkte i utløpet til avrenningsfeltet. F. eks en regntønne som benyttes til å vanne en plen. Dersom LOD-tiltaket dekker hele avrenningsfeltet kan dette feltet ignoreres.	Om og hvordan avrenningen skal styres og kontrolleres internt på hvert felt må vurderes ut fra hva som er mest hensiktsmessig i de enkelte situasjonene. Dette er også en god mulighet til å se på effekten av å la avrenningen få mulighet til å infiltrere på de permeable flatene.

## 2.10.14 Node, knutepunkt (Kummer) – Junction

Property	Value
Name	J49
X-Coordinate	-2961.926
Y-Coordinate	3829.787
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	0
Max. Depth	2
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	10000
User-assigned name of junction	

Figur 2.10.27. Figuren viser Junction.

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Name</b>	User-assigned junction name.	Denne parameteren angir navnet til knutepunktet.	Navnet bestemmes selv av brukeren til programmet - modellen. Navnet anbefales å være av en beskrivende logisk karakter.
<b>X-Coordinate</b>	Horizontal location of the junction on the Study Area Map. If left blank then the junction will not appear on the map.	Horisontal lokalisering av knutepunktets senterpunkt på kartet. Dersom feltet er blankt vil ikke knutepunktet vise på kartet, forutsatt at kart er importert som bakgrunn.	Koordinatene blir automatisk beregnet når noden blir plassert i modellen. Dersom kart er importert som bakgrunn og plassert med riktige koordinater, vil også koordinatene til avrenningsfeltet samstemme med disse når omrisset av avrenningsfeltet blir skissert i modellen.
<b>Y-Coordinate</b>	Vertical location of the junction on the Study Area Map. If left blank then the junction will not appear on the map.	Vertikal lokalisering av knutepunktets senterpunkt på kartet. Dersom feltet er blankt vil ikke avrenningsfeltet vise på kartet, forutsatt at kart er importert som bakgrunn.	
<b>Description</b>	Click the ellipsis button (or press Enter) to edit an optional description of the junction.	I dette feltet kan en velge å legge inn en kortere tekst som beskriver knutepunktet.	Beskrivelsen kan gjerne si litt om hva som definerer noden og evt. hensyn som må ivaretas i modellen.
<b>Tag</b>	Optional label used to categorize or classify the junction.	I dette feltet kan en velge å legge inn en «merkelapp» som kan kategorisere eller klassifisere knutepunktet.	«Merkelapp» defineres ut fra behov og preferanser for brukeren av programmet – modellen.
<b>Inflows</b>	Click the ellipsis button (or press Enter) to assign external direct, dry weather	I dette feltet kan en velge å legge inn eksterne tilførsler direkte til noden,	Hvilke typer eksterne tilførsler, forutsetninger og aktuelle

	or RDII inflows to the junction.	tørrværs gjennomstrømning i noden eller om noden mottar fremmedvann.	parametere for disse velges ut fra egen meny for dette. Dette vil ikke bli nærmere omtalt.
<b>Treatment</b>	Click the ellipsis button (or press Enter) to edit a set of treatment functions for pollutants entering the node.	Her kan en angi ulike behandlingsfunksjoner for forurensningsbelastningen som noden mottar.	Ikke aktuelt, dette vil ikke bli nærmere omtalt.
<b>Invert El.</b>	Invert elevation of the junction ( meters).	Dette er høyden til bunn kum, oppgis i m.	Høyden og dybden til noden velges ut fra tegninger, eller fra reguleringsplaner og kart basert på faglige vurderinger.
<b>Max. Depth</b>	Maximum depth of junction (i.e., from ground surface to invert) (meters). If zero, then the distance from the invert to the top of the highest connecting link will be used.	Dette er dybden til noden, dybden fra terrengoverflaten, oppgis i m. Det er dette dybden som definerer høyden til terrenget. Dersom dybden er 0, vil terrengoverflaten samsvare med topp ledning.	Dybden til nodene er ofte mellom 2 - 4 m.
<b>Initial Depth</b>	Depth of water at the junction at the start of the simulation (meters).	Dette er dybden til evt. vann i noden i starten av simuleringen, oppgis i m.	Denne høyden kan antas basert på faglige vurderinger. I tilfeller hvor det er målt en permanent minusdybde i eksisterende ledningssystem kan denne høyden benyttes, eller hvor ledningssystemet bygges under havnivå. Dersom noden har en konstant tørrversrenning benyttes denne dybden.
<b>Surcharge Depth</b>	Additional depth of water beyond the maximum depth that is allowed before the junction floods (meters). This parameter can be used to simulate bolted manhole covers or force main connections.	Dette ytterligere dybde av vannet over maksimal dybde som kan tillates før noden flommer over terrengnivået, oppgis i m. Denne parameteren kan bli benyttet til å simulere avløpssystem under trykk, hvor kumlokk o.l. er boltet igjen.	Det er sjelden aktuelt å konstruere avløpssystemet som et trykksystem, derfor vil denne være 0 i de fleste situasjoner. Når denne er 0 vil vanne flomme over når det når det når terrengoverflaten.
<b>Ponded Area</b>	Area occupied by ponded water atop the junction after flooding occurs (sq. meters). If the Allow Ponding simulation option is turned on, a non-zero value of this parameter will allow ponded water to be stored and subsequently returned to the conveyance system when capacity exists.	Dette arealet angir hvor stort område over noden som legges under vann når node flommer over, oppgis i kvadratmeter. Dersom simuleringen skal ta hensyn til at vann som flommer over kan lagres og returneres til systemet når tilgjengelig kapasitet tillater det, må denne verdien settes høyere enn 0. Vann som flommer over og ikke lagres vil «mistes» fra modellen.	Dette arealer kan være relativt stort, typisk 1000 m <sup>2</sup> eller 10 000 m <sup>2</sup> , slik vannet som flommer over ikke «mistes» fra modellen og kan returne til systemet når kapasiteten tillater det.

## 2.10.15 Ledninger (Rør) – Conduits

Property	Value
Name	C1
Inlet Node	J1
Outlet Node	J2
Description	
Tag	
Shape	CIRCULAR
Max. Depth	1
Length	80
Roughness	0.015
Inlet Offset	*
Outlet Offset	*
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	
Initial flow in the conduit (flow units)	

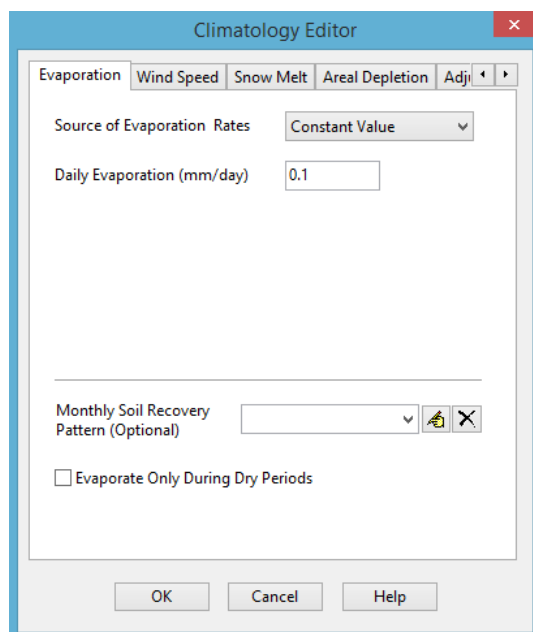
Figur 2.10.28. Figuren viser Conduits.

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Name</b>	User-assigned conduit name.	Denne parameteren angir navnet til ledningen.	Navnet bestemmes selv av brukeren til programmet - modellen. Navnet anbefales å være av en beskrivende logisk karakter.
<b>Inlet Node</b>	Name of node on the inlet end of the conduit (which is normally the end at higher elevation).	Her velges innløpsnoden til ledningen, dette er vanligvis noden oppstrøms.	Denne velges automatisk når ledningen skisseres i modellen.
<b>Outlet Node</b>	Name of node on the outlet end of the conduit (which is normally the end at lower elevation).	Her velges utløpsnoden til ledningen, dette er vanligvis noden nedstrøms.	Denne velges automatisk når ledningen skisseres i modellen.
<b>Description</b>	Click the ellipsis button (or press Enter) to edit an optional description of the conduit.	I dette feltet kan en velge å legge inn en kortere tekst som beskriver ledningen.	Beskrivelsen kan gjerne si litt om hva som definerer ledningen og evt. hensyn som må ivaretas i modellen.
<b>Tag</b>	Optional label used to categorize or classify the conduit.	I dette feltet kan en velge å legge inn en «merkelapp» som kan kategorisere eller klassifisere knutepunktet.	«Merkelapp» defineres ut fra behov og preferanser for brukeren av programmet – modellen.
<b>Shape</b>	Click the ellipsis button (or press Enter) to edit the	Her kan en velge hvilket tversnitt ledningen skal ha.	Vanligvis benyttes rør med sirkulære tversnitt, men andre

	geometric properties of the conduit's cross section.	Det er flere forhåndsdefinerte tverrsnitt, samt at en kan definere egne tverrsnitt etter behov.	typer som f.eks. eggform benyttes også i noen tilfeller. Flomveger og bekker kan defineres etter behov, slik at de stemmer overens med gaten eller trasen de følger.
<b>Max. Depth</b>	Maximum depth of the conduit's cross section (meters).	Her angis størrelsen på tverrsnittet til ledningen, eller dybden til kanalen osv., oppgis i m.	Dimensjonen til ledningen antas basert på faglige vurderinger, og justeres i ettekant hvor ledningen har ovekapasitet eller flaskehals oppstår.
<b>Length</b>	Conduit length (meters).	Dette er lengden til ledningen, oppgis i m.	Avløpsledninger bør ikke være lenger en 80 – 100 m. Korte ledninger kan gi avvik i beregningene og grafer som oscilerer, da gjennomstrømningstiden blir for kort.
<b>Roughness</b>	Manning's roughness coefficient (see Section A.7 for closed conduit values or Section A.8 for open channel values).	Manning's n for ulike ledninger, kanaler og flomveger beskriver ruheten. Manningstallet brukes til å beregne gjennomsnittlig strømningshastighet på i ledninger, kanaler og flomveger.	Manningstallet må antas ut fra ledningens, kanalens eller flomvegens matriale og tilstanden til overflatene og hva som karakteriserer dem basert på faglige vurderinger. Det finnes Manningsverdier i manualen, appendix A.7, og flere andre steder bla. I Vassdragshåndboka. Manualen har f eks. en verdi på 0,012 for betong, concrete.
<b>Inlet Offset</b>	Depth or elevation of the conduit invert above the node invert at the upstream end of the conduit (meters).	Her angis dybde eller høyden til ledningsbunnen oppstrøms i forhold til innløpsnoden oppstrøms, oppgis i m.	Det vil være hensiktsmessig om denne har samme høyde som bunn kum.
<b>Outlet Offset</b>	Depth or elevation of the conduit invert above the node invert at the downstream end of the conduit (feet or meters).	Her angis dybde eller høyden til ledningsbunnen oppstrøms i forhold til innløpsnoden oppstrøms, oppgis i m.	Det vil være hensiktsmessig om denne har samme høyde som bunn kum, i enkelte tilfeller er utløpet høyere plassert enn bunn kum.
<b>Initial Flow</b>	Initial flow in the conduit (flow units).	Dette er opprinnelig gjennomstrømning i ledningen når simuleringen starter, oppgi LPS.	Dette er ikke aktuelt, da ekstern innstrømning, tørrværgjennomstrømning og fremmedvann oppgis i nodene oppstrøms.
<b>Maximum Flow</b>	Maximum flow allowed in the conduit (flow units) – use 0 or leave blank if not applicable.	Dette er maksimal kapasitet til ledningen i LPS, dersom en ikke vil definere noen øvre kapasitet kan denne være blank.	I de fleste tilfeller vil selve tverrsnittet ledningen, ruheten til ledningsmaterialet og helningen være begrensende for kapasiteten.
<b>Entry Loss Coeff.</b>	Head loss coefficient associated with energy losses at the entrance of the conduit. For culverts, refer to Table A11.	Her angis singulærtapskoeffisienten for innløpet til ledningen. Dette vil sjelden være aktuelt for avløpssystem,	Hvor stort singulærtapet er kan velges ut fra listen i appendix A.11 i manualen, valget gjøres ut fra faglige vurderinger ift.

		men må benyttes for stikkrenner og kulverter.	utforming og plassering av stikkrennen eller kulverten.
<b>Exit Loss Coeff.</b>	Head loss coefficient associated with energy losses at the exit of the conduit. For culverts, use a value of 1.0	Her angis singulærtapskoeffisienten for innløpet til ledningen. Dette vil sjelden være aktuelt for avløpssystem, men må benyttes for stikkrenner og kulverter.	For stikkrenner og kulverter er singulærtapskoeffisienten 1.
<b>Avg. Loss Coeff.</b>	Head loss coefficient associated with energy losses along the length of the conduit.	Her angis singulærtapskoeffisienten for tap i selve ledningen. Dette kan være aktuelt for ledningsstrek med mange stikkledninger.	Singulærtapet i selve ledningen vil i de fleste tilfeller være neglisjerbart. I tilfeller hvor et ledningsstrek er tilknyttet mange stikkledninger eller har store skader pga røtter eller knuste rør må tapet anslås basert på faglige vurderinger
<b>Flap Gate</b>	<b>YES</b> if a flap gate exists that prevents backflow through the conduit, or <b>NO</b> if no flap gate exists.	Her kan en velge om en vil benytte tilbakeslagsventil, slik at strømmingen kun kan renne en veg.	Om det vil være aktuelt og hensiktsmessig med tilbakeslagsventil må vurderes for de kritiske punktene i hver enkelt modell.
<b>Culvert Code</b>	Code number of inlet geometry if conduit is a culvert – leave blank otherwise. Culvert code numbers are listed in Table A10.	Dersom ledningen er en stikkrenne eller en kulvert, kan en velge hvilken type her. Hvis ikke kan dette feltet være blankt.	Hvilken type stikkrenne eller kulvert som skal benyttes kan velges ut fra listen i appendix A.10 i manualen, valget gjøres ut fra faglige vurderinger ift. Bruk og plassering

## 2.10.16 Climatology Editor



Figur 2.10.29. Figuren viser Climatology Editor

Parameter	SWMM USERS'S MANUAL Version 5.0	Forklaring	Hvordan finne parameteren.
<b>Source of Evaporation Rates</b>	There are five choices for specifying these rates	Her oppgis grunnlaget til hvordan evaporasjonsbidraget beregnes, det er fem mulige valg for hvordan evaporasjonen kan beregnes. Dette kan være en konstant verdi, en valgt tidsserie, en registrert tidsserie fra en klimafil, beregnede temperaturer eller et månedlig gjennomsnitt.	Valget gjøres ut fra tilgjengelige data og behov. For enkelthendelser er det ikke nødvendig å ta hensyn til evaporasjon, dette er kun aktuelt ved langtidssimuleringer.
<b>Daily Evaporation (mm/day)</b>	Use this choice if evaporation remains constant over time. Enter the value in the edit box provided.	Denne kan benyttes om evaporasjonen forblir konstant over en periode. Evaporasjonsverdien oppgis i mm/dag.	Dersom en ikke har noen gode grunnlagsdata kan en benytte en konstant for en periode. Dersom en vet årlig evaporasjon kan en dele denne på 365, evt. gange denne med f. eks 0,7 som en sikkerhetsfaktor. Det vil si at om årlig evaporasjon er 280 mm, blir daglig evaporasjon $280 \cdot 0,7 / 365 = 0,53$ mm.
<b>Monthly Soil Recovery</b>	This is a time pattern whose factors adjust the rate at which infiltration capacity is recovered	Her kan en legge inn et variasjonsmønster som beskriver hvor raskt infiltrasjonskapasiteten	Her er det mulig å legge inn et månedlig varisjonsmønster med faktorer som justerer infiltrasjonskapasiteten,



<p><b>Pattern (Optional)</b></p>	<p>during periods with no precipitation. It applies to all subcatchments for any choice of infiltration method. For example, if the normal infiltration recovery rate was 1% during a specific time period and a pattern factor of 0.8 applied to this period, then the actual recovery rate would be 0.8%. The Soil Recovery Pattern allows one to account for seasonal soil drying rates. In principle, the variation in pattern factors should mirror the variation in evaporation rates but might be influenced by other factors such as seasonal groundwater levels. The button is used to launch the Time Pattern Editor for the selected pattern.</p>	<p>restituerer seg i perioder uten nedbør. Denne gjelder for alle avrenningsfelt og alle infiltrasjonsmetoder. F. eks hvis den normale restitusjonshastigh. til infiltrasjonskapasiteten er 1 % for en bestemt tidsperiode, da er faktisk restitusjonshastighet 0,8 %. Jordens restitusjonsmønster godtar at en kan ta hensyn til sesongvariasjoner i tørkehastigheten til jorden. I prinsippet skulle variasjoner i variasjonsfaktorer gjenspeilet evaporasjonshastigheten, men denne kan bli påvirket av andre faktorer som sesongvariasjoner i grunnvannsnivået.</p>	<p>dersom slike varisjonsmønster ikke foreligger ferdig utarbeidet av kompetente kilder på forhånd, anbefales det å benytte en daglig evaporasjonskonstant. En daglig evaporasjonskonstant vil være lettere og anslå og ikke nødvendigvis mer unøyaktig.</p>
<p><b>Evaporate Only During Dry Periods</b></p>	<p>Select this option if evaporation can only occur during periods with no precipitation.</p>	<p>Huk av dette feltet om evaporasjon kun forekommer i tørrværsperioder uten nedbør.</p>	<p>Det vil være konservativt å kun la evaporasjon i tørrværsperioder, da de mest intense nedbørshendelsen forekommer under tempererte forhold om sommeren.</p>

## 3 Del 3: Analysområdet

### 3.1 Sandnes

Sandnes er Rogaland fylkes nest største by og er lokalisert 15 kilometer sør for Rogalands største by, Stavanger. Sandnes har historisk sett vært en industriby som har produsert blant annet sykler, tekstiler, men det var pottemakerindustri og teglverk som la grunnlaget for byens tilblivelse og dypt er festet i byens identitet. Sandnes Tæglverk (Gamlaværket) ble etablert helt tilbake i 1782. Dette har også gitt opphav til kommunevåpenet, som er en Sandnesgauk på grønn bakgrunn. En Sandnesgauk er en leirgauk som brukes til blåseinstrument eller bare pynt (Wikipedia, 2015).



*Figur 3.1.1. Figuren viser Sandnes kommunes kommunevåpen (Sandnes kommune, 2015).*

I dag er næringsutviklingen i stor grad knyttet opp mot petroleumsindustrien som ellers i regionen. I praksis har kommune Randaberg, Stavanger, Sola og Sandnes i stor grad vokst sammen til en stor byregion, hvor hovedvekten av næringsaktiviteten foregår på Forus som er delt mellom Stavanger, Sola og Sandnes. Ellers er næringsutviklingen tilknyttet sentrumsområdene, bydelsentrene, regionshavnen og offshorebasene i Tananger (Sola) og offshorebasen i Dusavika (Stavanger). Sandnes har, 01.10.2014, 73,198 innbyggere og er landets raskest voksende by med en årlig vekst på ca. 2,5 % (Wikipedia, 2015). Dette har medbrakt et behov for flere boliger og flere bydeler har gjennomgått en kraftig transformasjon de siste 15 årene. Det kan nevnes bydeler som Smeaheia, Kleivane, Bogafjell, Brattebø og Sviland øst for Sandnes sentrum. Dette har også medført et behov for økt næringsutvikling og boliger i Sandnes sentrum. Både med hensyn til økonomi, men også

tilknytning og identitet for kommunens innbyggere. Derfor har kommunestyret vedtatt å transformere byens aldrende sentrum, preget av industri, asfalt, eldre betongbygninger oppført på 60-tallet og en ellers uryddig bygningsstruktur, til en moderne by for fremtiden med blågrønn struktur som hele regionen kan være stolt av å se til for inspirasjon. Som en et ledd i denne utviklingen skal også byens havn gjennomgå en omfattende urban transformasjon.

### 3.2 Sandnes, Fremtidens blågrønne by

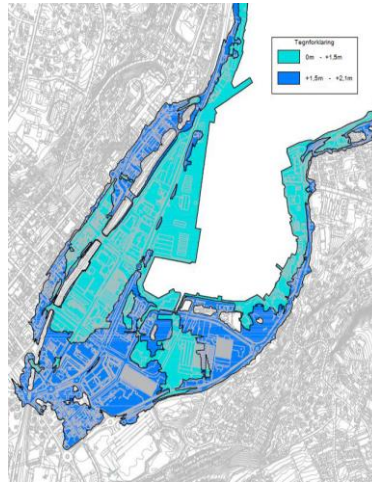
Sandnes var også en del av kommunal og moderniseringsdepartementet sitt prosjekt «Framtidens byer» som pågikk fra 2008 til 2014. Hovedmålet med prosjektet var å redusere klimautslippene mest mulig for å legge grunnlaget for bærekraftige byer og tettsteder (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2014). I praksis krever dette store grep og omprioriteringer. Dette vil si at mange av tiltakene med stor effekt først og fremst vil gi resultater på lang sikt. Samtidig som det vil være mer utfordrende å få realisert tiltak som gir resultater på kort sikt. Det er også viktig å ha fokus på holdningsskapende arbeid for å få med brukerne og hindre at virkningen av tiltakene som gir utslippsreduksjoner ikke blir kortvarige og resulterer i at utslippene øker igjen om kort tid. Det er i Sandnes sitt handlingsprogram for «Framtidens byer» vedtatt fire satsningsområder, disse er (Stavanger / Sandnes, 2009):

- Arealbruk og transport
- Stasjonær energibruk i bygg
- Forbruksmønster og avfall
- Klimatilpasning

Satsningsområdene som berører denne oppgaven er hovedsakelig arealbruk og transport, og klimatilpasning. Det er av stor betydning med en helhetlig og langsiktig planlegging av

arealbruken med den tilhørende infrastrukturen, samt at satsingen og rammebetingelsene for disse er gode, da «veitransportsektoren i Sandnes og Stavanger kommune står for hele 67 % av de direkte utslippene av klimagasser» (Stavanger / Sandnes, 2009). Det vil si at veitransportsektoren står for det klart største bidraget av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Med en helhetlig og langsiktig planlegging kan en redusere reiseavstander og avhengigheten av energikrevende transport. Med andre ord legge til rette for gående, syklende og kollektivtrafikk (Stavanger / Sandnes, 2009).

Klimatilpasningene innebærer å ta hensyn til klimaendringene som allerede er skjedd og som vil øke i fremtiden og utfordringene disse vil gi. Klimaendringene som må tilpasses i denne regionen er høyere vannstand, mildere vintre med mer nedbør, høyere temperaturer og lengre tørkeperioder om sommeren, samt mer ekstremvær i form av sterk vind og høy nedbørintensitet (Stavanger / Sandnes, 2009). Dette vil gi ulike utfordringer som for eksempel økt slagregn og slitasje på konstruksjoner som følge av vind, flom i vassdrag, skade på infrastruktur, men en av de fremste utfordringene vil være økt stormflo og overbelastning av avløpsanlegg generelt (NOU, 2010). Bygninger og andre konstruksjoner på Vestlandet er i stor grad allerede robuste og egnet til å motstå utfordringer knyttet til slagregn og vind, avløpsanleggene kan avlastes ved hjelp av naturens egne mekanismer for flomdempning, men kombinasjonen av høyere vannstand, mer nedbør om vinteren, og mer ekstremvær i form av sterk vind og høy nedbørsintensitet vil kunne gi betydelige utfordringer i form av stormflo. Fremtidig stormflo for Sandnes er en utfordring siden store deler av Sandnes sentrum ville kunne stå under vann. Fremtidig stormflo er en kombinasjon av økt vannstand generelt, tidevann, mer ekstremvær og mer nedbør, det er anslått at fremtidig stormflonivå med 100 års gjentaksintervall vil være på kote +2,1 m og i verste fall kan en få et stormflo nivå på kote +2,44 m. Store deler av Sandnes sentrum ligger i dag under dette, kote +2,1 m (Vasskog, et al., 2009).



Figur 3.2.1. Viser arealene i Sandnes sentrum som ligger mellom kote 0 og +1.5, lys blå, og mellom +1.5 og +2.1, mørk blå (Vagle, 2012).

Ved stormflo vil en også få utfordringer med oppstuvning i avløpsledninger oppstrøms sentrum, og overløp tilknyttet disse.

For å kunne forebygge og redusere omfanget og skadene dette vil medføre, er det viktig å kartlegge konsekvensene gjennom en ROS-analyse, risiko og sårbarhetsanalyse. Stavanger kommune har for eksempel gjennomført et prosjekt som heter «klima-ROS» (Vatn, 2011). Stavanger og Sandnes har også utviklet et visualiseringsverktøy med navnet «Klima-GIS», som kan gjøre simuleringer og analyser (Stavanger kommune, 2011).

Siden Sandnes sentrum ligger relativt lavt i henhold til fremtidig havnivå, vil det være like aktuelt å redusere omfanget av skadene som å forebygge skadene helt.

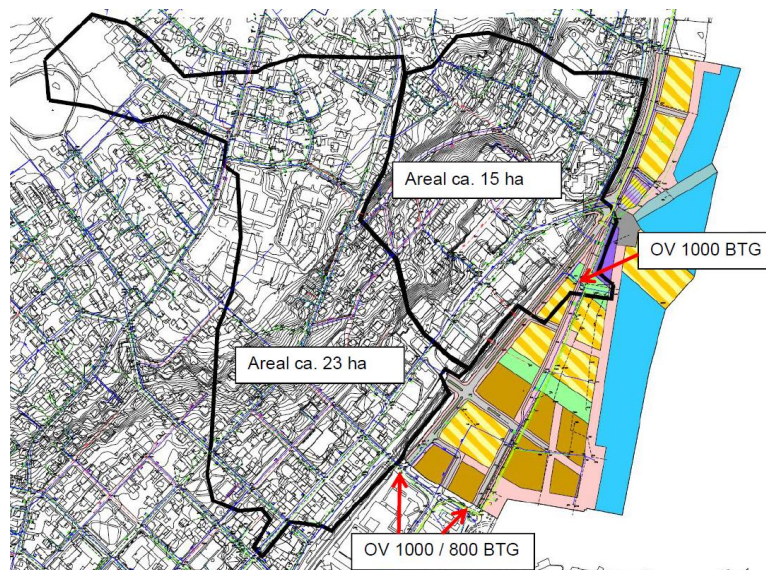


Figur 3.2.2. Viser arealene i Sandnes sentrum med flyfoto som bakgrunn, vannstand 2.04 m (Fylkesmannen i Rogaland, 2011).

### 3.3 Sandnes Indre Havn, dagens situasjon

Frem til utbyggingen av Sandnes Indre Havn ble vedtatt, var Sandnes Indre Havn en tradisjonell industrihavn med en over hundre år lang historie. Den første kommunale kaien ble åpnet i 1890 og siden den gang har utviklingen vært stor. Havnen har stadig blitt utvidet, i 1927 ble havnen oppgradert til å ta imot større skip og med denne oppgraderingen ble de berørte kaiene også opparbeidet med svingkraner og jernbanespor. Etter hvert som petroleumsindustrien begynte å prege regionens utvikling på 1970-tallet, begynte dette også å prege havnebildet, frem til 1990-tallet ble havnen kontinuerlig utvidet med kraner, bygg og lager (Wikipedia, 2015). I 2005 åpnet en ny regionhavn i Risavika, noe som reduserte betydningen av Sandnes Indre Havn og svekket dens markedsposisjon. Med dagens situasjon er det mer hensiktsmessig å benytte havnearealene til andre næringer, boliger, offentlige bygg og promenade.

Havneområdet er i dag i stor grad dekket av asfalt og lagerbygninger, det vil si generelt sett tette flater. Overvannet på området blir i dag drenert direkte til sjøen med konvensjonell overvannshåndtering, som innebærer sluk og tilhørende ledningssystem. «Jernbanen fungerer i dag som en effektiv barriere mot overvann fra areal oppstrøms havnen. Det ligger to store overvannsledninger som leder vannet fra områdene på vestsiden av jernbanen, under jernbanen og gjennom planområdet» (Asplan Viak, 2012).



Figur 3.3.1. Nedbørfelt for eksisterende overvannsledninger (Asplan Viak, 2012).

### 3.4 Sandnes Indre Havn, planlagt situasjon: Havneparken Sandnes

Området som i dag utgjør Sandnes Indre Havn skal transformeres til en moderne og attraktiv del av sentrum med nytt rådhus, Jæren tingrett, Sandnes Sparebank, Vernepleierhøgskole, hotell, restauranter, boliger, kontorlokaler og havnepromenade langs hele området. Totalt skal 153 000 kvadratmeter landareal transformeres til en moderne og urban del av sentrum (Sandnes Tomteselskap, 2015). Prosjektet har fått tilnavnet Havneparken Sandnes.

Havneparken Sandnes ble i 2012 godkjent som et pilotprosjekt i «Framtidens byer», det vil si at Havneparken planlegges og utvikles i tråd med kriteriene for «Framtidens byer» (Asplan Viak, 2012).

Dette innebærer at Havneparken skal være et foregangsprosjekt for bærekraftig byutvikling med løsninger som tar hensyn til dagens og framtidens klima. «Bebyggelsen i området skal også uttrykke samtidsarkitektur, basert på moderne energi- og ressurseffektive løsninger» (Sandnes kommune, 2014).

Havneparken skal utvikles med en bymessig kvartalsstruktur, med publikumsattraktive funksjoner som butikker, serveringssteder, kulturtilbud og lignende i første etasje og legge til rette for bolig og næringsvirksomhet i de øvrige etasjene (Sandnes kommune, 2014).

Hovedveien som går gjennom området i dag i Elvegata – Strandgatas forlengelse, RV 44, skal legges om og gå i Jernbanegata. Ellers skal Havneparken være tilnærmet bilfritt, med unntak for vareleveranser og nødkjøring. Parkering skal vil være lokalisert under de enkelte kvartalene. Området skal heves fra dagens nivå til et nivå som er tilpasset antatt havnivåstigning som følge av klimaendringer (Asplan Viak, 2012).

Det er ønskelig at overvannshåndteringen i Havneparken gjøres med åpne overvannsløsninger der dette er mulig, samtidig som eksisterende overvannsløsninger ivaretas. Det er ikke alle steder det er mulig med åpne overvannsløsninger, for å imøtekomme fremtidig havnivåstigning er det utviklet et nytt dreneringssystem for sentrumsgater som kan avlaste et overbelastet overvannssystem og lede overvannet bort på en hensiktsmessig måte (Asplan Viak, 2012). Dette dreneringssystemet kalles «Qmax-Storm og det kan samle opp og drenere store mengder overvann og samtidig ha god selvrens ved lav vannføring» (Asplan Viak, 2012).

Dreneringssystemet er et resultat av et offentlig forsknings- og utviklingsprosjekt (OFU) mellom Sandnes kommune og Skjæveland Cementstøperi (Asplan Viak, 2012).

Håndteringen av overvann på de enkelte kvartalene må tilpasses omkringliggende overvannssystem. For de kvartalene som ligger i tilknytning til parkene vil overvannet ledes mest mulig ut i de åpne kanalene og vannspeilene som er i parkene. Dette gjelder også for kvartalene som ligger langs sjøen (Asplan Viak, 2012). I kvalitetsprogrammet er det lagt til grunn at alle takflater skal ha grønne tak for å bidra til fordrøyning, slik at flomtopper og dimensjoner på taknedløp kan reduseres. Det kan ikke ledes takvann i taknedløp langs fasaden i Elvegaten, da dette vil komme i konflikt med den arkitektoniske framtoningen. Kvalitetsprogrammet sier også at overvannet skal nyttes aktivt i utforming av utearealene, både de grønne allmenningene og i gårdsrommene (Sandnes kommune, 2014). Ved å lede overvannet raskt ut mot grønne områder, permeable dekker og sjø, tar en sikte på å redusere den totale avrenningskoeffisienten fra 0,95 i dagens situasjon til 0,5-0,6 i fremtidig situasjon. Dette vil gi reduserte flomtopper og avlaste det eksisterende overvannssystemet (Asplan Viak, 2012).

### 3.5 Geologi, grunnforhold og infiltrasjonskapasitet

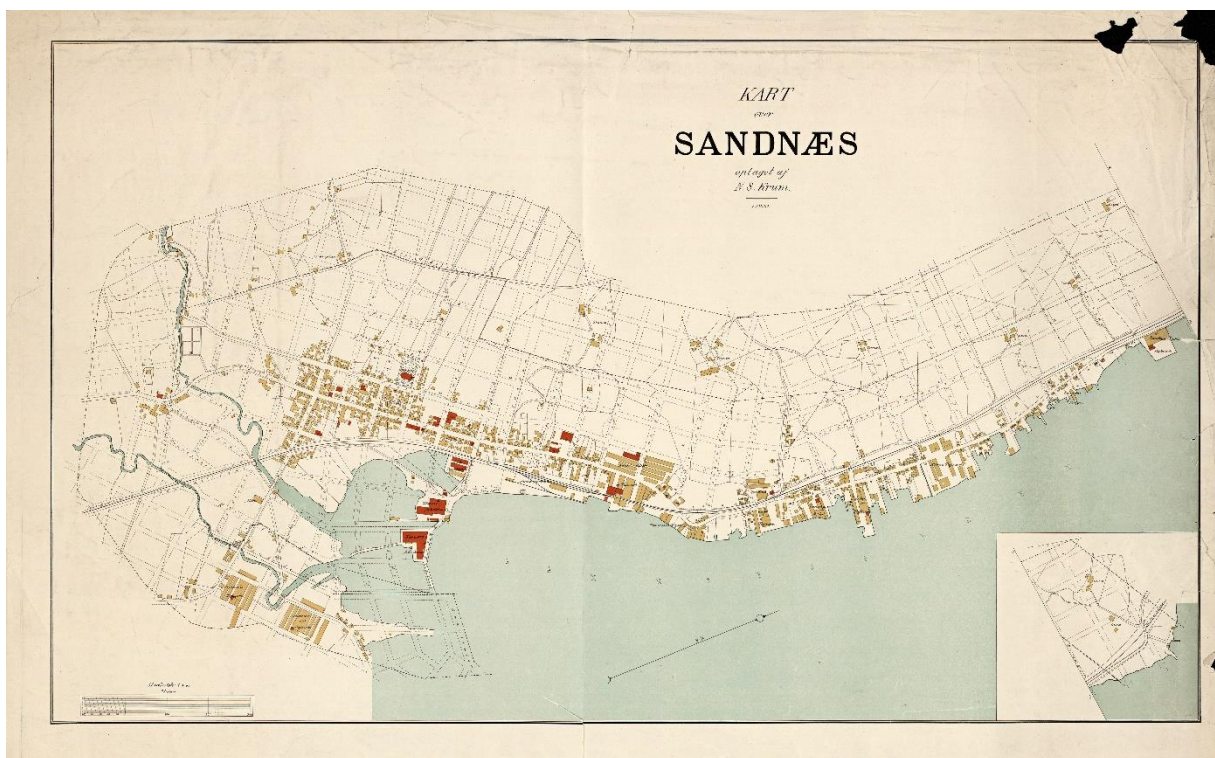
«Geologien i Sandnes er sammensatt» (Sandnes kommune, 2015), med både synlig grunnfjell og løsmasseavsetninger som varierer fra sand til leire og morene.

Grunnen i havneområdet består som tidligere vist i kapittel 2.2.10 av fyllmasse, det er antatt at fyllmassen er av tilstrekkelig stabilitet til at den kan benyttes til å bygge på i og med at det allerede er et utbygd område. Det vil si at fyllmassen minimum må være av grovere sortering enn leire. Utover dette er det vanskelig å si noe om massene, sorteringen til massene varierer antakelig etter hva som var tilgjengelig i fyllingsperioden.

Når en skal benytte grunnen til infiltrasjon må en ta utgangspunkt i infiltrasjonsevnen til den delen av grunnen med dårligst infiltrasjonsevne. Derfor må en ta utgangspunkt i at fyllmassene i havneområde har en hydraulisk ledningsevne mellom 0.0001 – 0.01 m/t, som tilsvarer ulike typer silt og morene. Tas det utgangspunkt i at grunnen har en



infiltrasjonsevne på 0.0001 m/t, er infiltrasjonsevnen meget begrenset og kan nærmest ikke tas i betraktning. Det er denne betraktningen som vil bli lagt til grunn i simuleringene. Det er tatt utgangspunkt i at grunnvannet vil fluktuere jevnt med havnivået. Havnivået er satt til 0.9 m og er basert på 0.78 m havnivåstigning de neste hundre årene og 0.12 m middel høyvann.



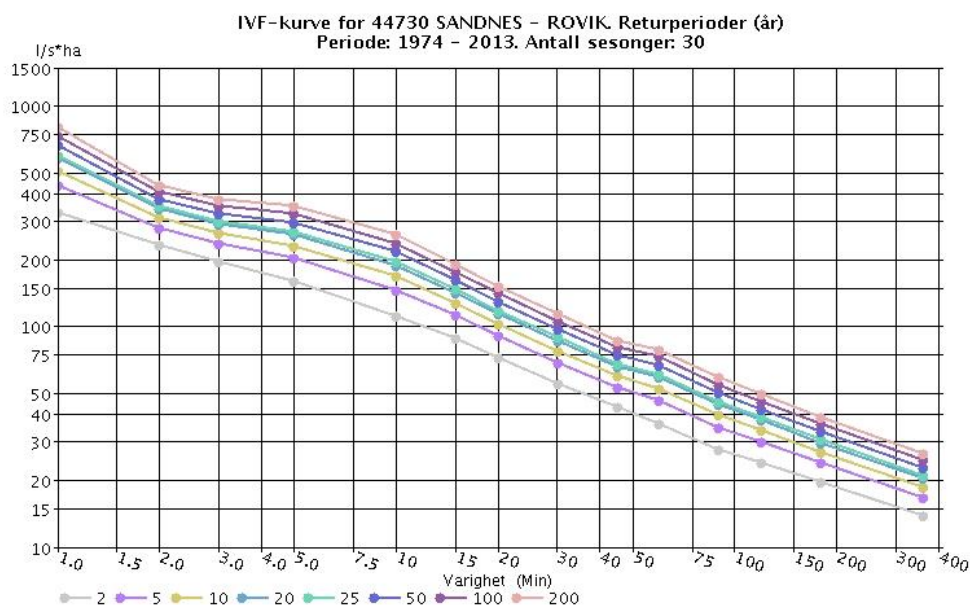
Figur XX. Figuren viser et kart over Sandnes sentrum fra år 1900. Kartet viser hvordan området, Havneparken, øst for jernbanen tidligere har vært en del av fjorden og har blitt utvidet med tilkjørt masse på et senere tidspunkt (Wikipedia, 2015).

## 4 Del 4: Analyse

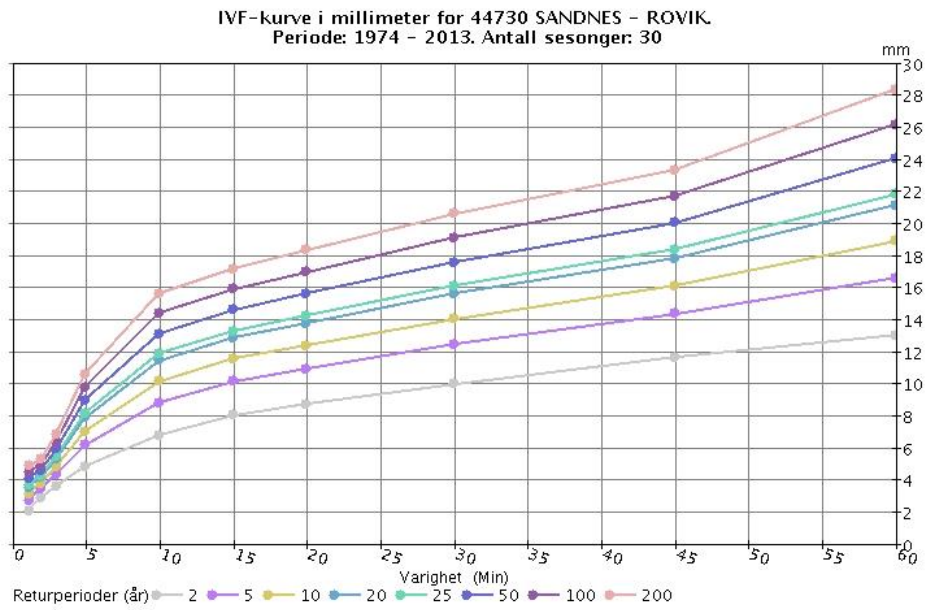
### 4.1 Mengde, konstruerte syntetiske regn.

#### 4.1.1 Nedbør

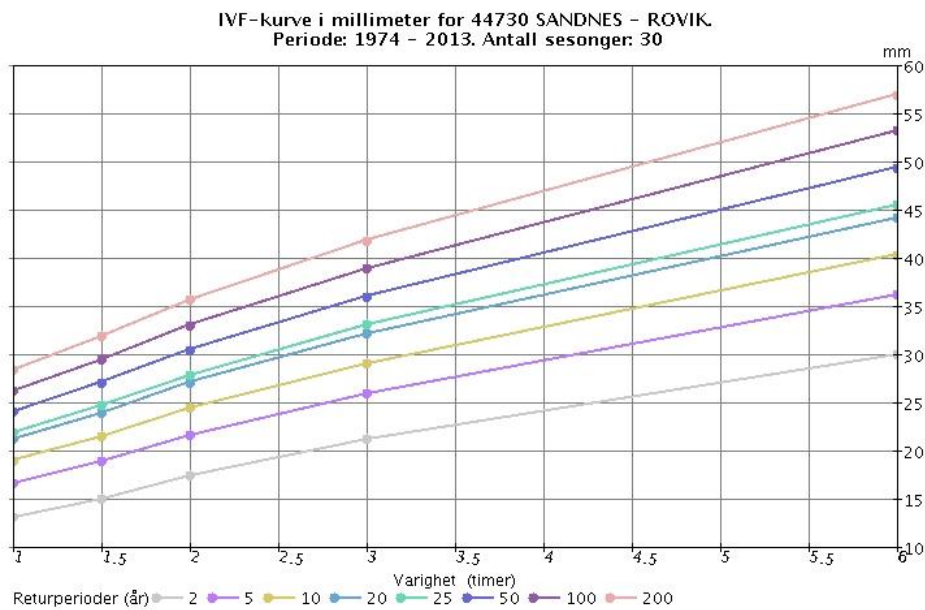
Det er hentet nedbørsdata i form IVF-kurver fra eklima.no som er brukt i oppgaven. eklima.no er en tjeneste tilbudt av meteorologisk institutt hvor en kan laste ned et vidt spekter av klimadata vederlagsfritt. Klimadata er basert på lokale målestasjoner og det er opp til brukeren å vurdere kvaliteten på datane og hvilken målestasjon som en skal forholde seg til. IVF-kurven er basert på målinger fra Rovik målestasjon med nasjonalt stasjonnr. 44730. Målestasjonen er av type pluviometer og har vært i drift siden 1974. IVF-kurver gir oss informasjon om intensitet, varighet og frekvens. Intensiteten er oppgitt på x-aksen, varigheten på y-aksen og hver frekvens har sin graf. Det er totalt vist åtte grafer, det vil si åtte ulike frekvenser hvor et gjentakintervall på to år er den minste, mens tohundre år er det høyeste gjentakintervallet. Nedenfor er det vist tre IVF-kurver fra Rovik målestasjon, en med intensiteten oppgitt i l/s\*ha og to med intensiteten oppgitt i mm. Som en kan se på grafene er det betydelig forskjell på intensitet til et regn med to års gjentakintervall og et med tohundreårs gjentakintervall.



Figur 4.1.1. Figur viser IVF-kurven viser intensiteten i l/s\*ha som funksjon av varigheten i min (Meteorologisk Institutt, 2015).



Figur 4.1.2. Figur viser IVF-kurven med intensiteten i mm som funksjon av varigheten i min (Meteorologisk Institutt, 2015)



Figur 4.1.3. Figuren viser IVF-kurven med intensiteten i mm som funksjon av varigheten i timer (Meteorologisk Institutt, 2015).

I henhold til treleddsstrategien skal opp til de 20 første millimeterne fanges opp og infiltreres, de neste 20 millimeterne skal forsinkes og fordrøyes, og de resterende vannmengdene over 40 millimeter skal kunne transporteres bort i trygge flomveier.

Ut fra IVF-kurvene til Sandnes- Rovik vil det si at cirka alt regn den første timen av en nedbørsbyge med et gjentaksintervall på 20 år skal fanges opp og infiltreres. Regnet som faller de neste fire timene skal forsinkes og fordrøyes, mens alt regn etter fem timer skal ledes bort ved hjelp av trygge flomveger.

I tabellen under er alle regn som skal som skal fanges opp og infiltreres markert med grønt, alle regn som delvis skal forsinkes og fordrøyes er markert med gult og alle større regnhendelse som skal transporteres bort i trygge flomveger er markert med rødt, i henhold til veiledende mengder i treleddsstrategien utarbeidet av Norsk Vann.

Tabell 4.1.1. Tabellen viser returperioder (år); Nedbørsum (mm). Tabellen er også hentet fra *eklima.no*, med målinger basert på målestasjon 44730 Sandnes- Rovik i perioden 1974-2013 (30 sesonger), modifisert med farger for infiltrasjon, fordrøyning og flomveger av forfatter.

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	2,0	2,8	3,5	4,8	6,7	8,0	8,6	9,9	11,6	13,0	14,8	17,3	21,1	29,8
5	2,6	3,4	4,3	6,1	8,7	10,1	10,8	12,3	14,3	16,5	18,7	21,5	25,8	36,1
10	3,0	3,7	4,8	7,0	10,1	11,5	12,3	14,0	16,0	18,8	21,3	24,3	28,9	40,2
25	3,5	4,1	5,2	7,8	11,4	12,8	13,7	15,5	17,7	21,1	23,8	26,9	32,0	44,1
20	3,6	4,2	5,4	8,1	11,8	13,2	14,1	16,0	18,3	21,7	24,6	27,7	32,9	45,4
50	4,0	4,5	5,8	8,9	13,0	14,5	15,5	17,5	20,0	23,9	26,9	30,3	35,9	49,2
100	4,4	4,9	6,3	9,7	14,3	15,8	16,9	19,0	21,6	26,1	29,3	32,9	38,8	53,1
200	4,8	5,2	6,8	10,5	15,6	17,1	18,3	20,5	23,2	28,3	31,7	35,5	41,7	56,8

#### 4.1.2 Dimensjonerende nedbørsmengder

Dimensjonerende nedbørsmengde, som er et resultat av intensitet, varighet og frekvens, beregnes ut fra konsentrasjonstiden til avrenningen og gjentaksintervallet til nedbøren. Det er disse kriteriene som gir den dimensjonerende intensiteten. Konsentrasjonstiden til avrenningen, det vil si den tiden det tar for en regndråpe å bevege seg fra et nedbørsfelts ytterpunkt til utløpet i nedbørsfeltet gir varigheten til dimensjonerende nedbøren. Gjentaksintervallet på nedbøren velges ut fra akseptabel risiko, risiko er et uttrykk for kombinasjonen av sannsynligheten og konsekvensen av en uønsket hendelse (Rambøll, 2015).

I TEK 10 § 7-2 er det fastsatt sikkerhetsklasser for flom med hensyn til konsekvens og sannsynlighet, risikoklasser. Disse er gjengitt i tabellen nedenfor, men i de tilfeller hvor det er fare for liv gjelder sikkerhetsklassene for byggverk i skredutsatt område som er fem ganger så strenge (Miljøverndepartementet, 2008).

*Tabell 4.1.2. Sikkerhetsklasser for byggverk i flomutsatt område, disse gjelder også for stormflo, TEK 10 § 7-2 (Miljøverndepartementet, 2008).*

Sikkerhetsklasse	Konsekvens	Største årlige nominelle sannsynlighet
F1	Liten	1/20
F2	Middels	1/200
F3	Stor	1/1000

Hvor F1 kan være bygninger som garasjer og naust, F2 kan være boliger, industri, kontor, fritidsboliger, driftsbygninger i landbruket og F3 kan være sykehus, sykehjem, politistasjoner, brannvesen, sivilforsvarsanlegg, byggverk og infrastruktur som har særlig nasjonal og regional betydning i beredskapssituasjoner, i henhold til veiledning om tekniske krav til byggverk.

Disse sikkerhetsklassene gjelder for flommer i elver, bekker og vann, såkalte saktevoksende flommer, men de gjelder også ved stormflo (DiBK, 2011).

Akseptabel risiko for overvannsflo må vurderes, ut fra faglig skjønn og kriteriene gitt i TEK 10 § 7, for hver enkelt område og overvannssystem. Det er foreløpig ulik praksis på dette rundt om i landet og ideelt sett burde en ROS-analyse vært utarbeidet for hvert enkelt område som skal dimensjoneres eller analyseres. Det er utarbeidet en rekke ulike minimumsverdier for gjentaksintervaller, både av kommuner og andre faglige instanser som Norsk Vann. Nedenfor er noen av disse gjengitt, samt en sammenstilling av ulike gjentaksintervall (Rambøll, 2015).

Tabell 4.1.3. Dimensjonerende gjentaksintervall fra Norsk Standard NS-EN 752 1997 (Lindholm, et al., 2008).

Dimensjonerende regnskylhyppighet (1 i løpet av «n» år)*	Plassering	Dimensjonerende oversvømmelseshyppighet (1 i løpet av «n» år)**
1 i løpet av 1	Landbruksområder	1 i løpet av 10
1 i løpet av 2	Boligområder	1 i løpet av 20
1 i løpet av 2 1 i løpet av 5	Bysenter/industriområder/forretningsstrøk - med oversvømmelseskontroll - Uten oversvømmelseskontroll	1 i løpet av 30
1 i løpet av 10	Undergrunnsbaner/underganger	1 i løpet av 50

\*Ledningsnettets skal bare fylles til topp rør ved dimensjonerende regn.

\*\*Oversvømmelsesnivået skal normalt regnes til marknivået eller kjellernivået.

Tabell 4.1.4. Dimensjonerende gjentaksintervall fra Norsk Vann Rapport 162 (Lindholm, et al., 2008).

Dimensjonerende regnskylhyppighet (1 i løpet av «n» år)*	Plassering	Dimensjonerende oversvømmelseshyppighet (1 i løpet av «n» år)**
1 i løpet av 5	Områder med lavt skadepotensiale (utkantområder, landbrukskommuner)	1 i løpet av 10
1 i løpet av 10	Boligområder	1 i løpet av 20
1 i løpet av 20	Bysenter/industriområder/forretningsstrøk	1 i løpet av 30
1 i løpet av 30	Underganger/områder med høyt skadepotensial	1 i løpet av 50

\*Ledningsnettets skal bare fylles til topp rør ved dimensjonerende regnskylhyppighet.

\*\*Oversvømmelsesnivået skal normalt regnes til et kjellernivå 90 cm over topp rør i hovedledningsnettets.

Tabell 4.1.5. Tilpasset sammenstilling av dimensjonerende gjentaksintervall fra utredning om risikoakseptkriterier for overvannsflo og dimensjonerende nedbør (Rambøll, 2015).

Type område	Sandnes/ Nord-Jæren	Oslo*	Bergen	Kristiansand	Trondheim	Norsk Vann	NS-EN 752
Ubebygde	10	5	2	10	2	5	1
Boligområde	20	10	10 (åpent) 20 (lukket)	25	10 (åpent) 20 (lukket)	10	2
By/ sentrumsområder	20	20	20 (åpent) 30 (lukket)	-	20 (åpen) 30 (lukket)	20	5
Underganger/ Høyt skadepotensial	50	30	-	50		30	10

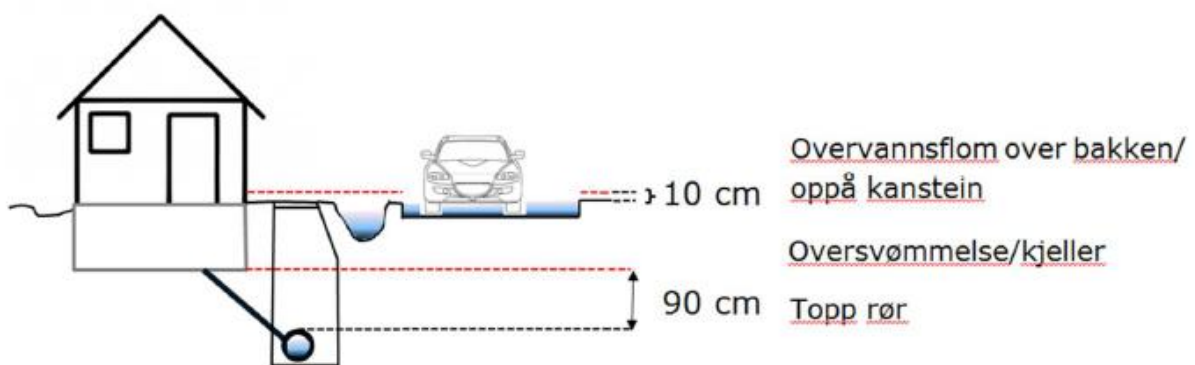
\*Gjelder lokal overvannshåndtering

Som en kan se av sammenstillingen i Tabell 4.1.5 er det noe variasjon i dimensjonerende gjentaksintervall i de ulike stedene, men konsensus i 20 års gjentaksintervall for by og sentrumsområder. Det kan dog være utfordrende å vurdere om et område går under kategorien høyt skadepotensiale, eller om det vil gjøre det i fremtiden. Det er i denne oppgaven tatt utgangspunkt i at området, Sandes Havnepark, er definert som sentrumsområde, om dette er riktig er uklart siden området skal inneholde både rådhus og bank og det er uklart hvilke andre funksjoner som vil bli lokalisert til område senere. Det kan argumenteres for at dette er institusjoner som faller inn under kategorien «høyt skadepotensiale», da for eksempel bank og finans kan kategoriseres som samfunns viktig infrastruktur og det kan tenkes at kriseledelse i visse beredskapssituasjoner kan finne sted i f. eks. rådhuset.

Ut fra sikkerhetsklasse i TEK 10 § 7-2 vil Sandnes Havnepark tilhøre sikkerhetsklasse F2 om samme kriterier legges til grunn, sikkerhetsklassen i TEK 10 velges med hensyn til stormflo og ikke nedbør. Det vil si at dimensjonerende stormflo har et gjentaksintervall på 200 år.

Flomveiene for overvann skal ifølge de kommunaltekniske normene for vann- og avløpsanlegg på nord-Jæren dimensjoneres for 100 års flom (Sandnes kommune, 2012), men for at det skal samsvare med gjentaksintervallet for stormflo er det valgt å benytte 200 års gjentaksintervall ved dimensjonering av flomveger.

Under er det vist en skisse som definerer ulike nivåer for flom og oversvømmelse. Ved dimensjonerende gjentaksintervall for nedbør skal vannstanden ikke overstige topp rør. Ved oversvømmelse kan vannstanden stige til kjellernivå, det vil si 90 cm over topp rør, eller marknivået hvor det ikke er kjellere. Når vannet stiger 90 cm over topp rør eller til marknivå skal klart definerte flomveger håndtere det resterende vannet. De klart definerte flomvegene skal sørge for at vannstanden ikke blir høyere enn 10 cm over topp kantstein noe sted. Vannstanden kan være dypere i de klart definerte flomvegene, men ikke utenfor. Det vil si at vannstanden i bygninger og på fortau ikke må overstige 10 cm. Dette er for øvrig ikke noe gjeldende krav på nåværende tidspunkt, men forslag til risikoakseptkriterier. Dette medfører også at alle kjellere uten tilbakeslavsventil som er tilknyttet de respektive ledningsanleggene vil bli oversvømt med jevne mellomrom.



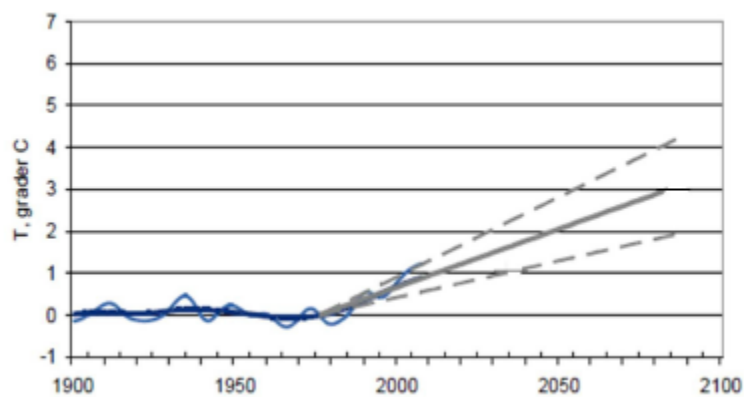
Figur 4.1.4. Figuren viser en skisse av ulike kritiske nivåer i forbindelse med overvannsflo (Rambøll, 2015).

I dette tilfelle vil 20 års gjentaksintervall bli benyttet som dimensjonerende gjentaksintervall, dvs. fylling opp til topp rør, og 200 års gjentaksintervall for flomvegene, dvs. at vannet ikke skal gå mer en 10 cm over topp kantstein! Det må bemerkes at vannet ikke bør stige over kantstein om mulig ved en 200 års flom.



### 4.1.3 Klimafaktor

På grunn av klimaendringene som er ventet å finne sted de neste hundre årene og de tydelige trendene som er observert med hensyn til dagens klima er det hensiktsmessig å kalkulere med en klimafaktor når nedbørsmengder skal beregnes. Det er ventet at både nedbørsmengder og temperatur vil øke i fremtiden. Nedbørsmengden er ventet å øke opp til 20 % på Vestlandet (RegClim, 2005), men dette er total årsnedbør. Temperaturen er ventet å stige opp mot 4,2 grader celsius på Vestlandet om sommeren, men er ventet å stige 2 – 3 grader celsius og da mest på Sørlandet (RegClim, 2005).



Figur 4.1.5. Figuren viser antatt temperaturutvikling frem mot 2100 (Fylkesmannen i Rogaland, 2011).

Økningen i temperatur gjør at luften kan inneholde mer fuktighet, hele ca. 8 % pr. 1 grad celsius økning (COWI, 2014)). Dette gjør at intensiteten på nedbørsbygene kan øke betraktelig, da fortrinsvis den konvektive sommernedbøren. Det er stor usikkerhet i hvor mye intensiteten vil øke og det er laget utallige anslag for hvor mye intensiteten vil øke. Disse varierer fra 20 – 60 % (Lindholm, et al., 2008) (Lindholm, et al., 2012), men det mest riktige ville nok vært å basere seg på 40 % som ligger midt mellom ytterpunktene og stemmer med 8 % økning pr grad celsius, samtidig som konsensus av anslagene ligger opp mot 40 %.

Nord-Jæren og Sandnes kommune benytter foreløpig en klima faktor på 20 %. I denne oppgaven det valgt å benytte 20 % og 60 % klimapåslag i forhold til IVF-kurvene hentet på

eklima.no. Dette er gjort for å ta hensyn til gjeldene klimafaktor som benyttes på Nord-Jæren, samtidig som en tar hensyn til et «worst case» scenario, eller at begge ytterpunktene blir illustrert og konsensus er et sted midt i mellom.

I Norsk Vann Rapport 193 anbefales det at «nye avløpsanlegg som dimensjoneres for en levetid på lengre enn 100 år får et klimapåslag på 30 – 50 % på de IVF-kurvene som er utarbeidet før år 2011» (Lindholm, et al., 2012).

Også Norsk Vann anbefaler et klimapåslag på ca. 40 %, men med forutsetning at IVF-kurvene er utarbeidet før 2011. IVF-kurvene for Sandnes-Rovik er fra 2013, det er dog utfordrende å vite hvor mye en kan redusere klimapåslaget med hensyn til at IVF-kurvene er utarbeidet etter 2011. Ved en økning i regnintensiteten på 40 % vil selve avrenningen øke i enda større grad, grunnen blir raskere mettet med vann osv., gjerne opp mot 100 %. Samme prinsipp vil gjelde for overløp i avløpsanlegg.

#### 4.1.4 Regnhyetogram

Når en skal simulere nedbør i en modell er det mest hensiktsmessig å lage et konstruert regnhyetogram. I motsetning til et kasseregn som har en bestemt intensitet over en valgt tidsperiode, vil et konstruert regnhyetogram være mer realistisk siden et regn sjeldent har en bestemt intensitet. Intensiteten til et regn vil variere, men et typisk regn har gjerne en veldig høy toppintensitet en stund etter at regnet startet. Det konstruerte regnhyetogrammet gir et kunstig regnhendelse med varierende intensitet og regnhyetogrammet er symmetrisk om sin midtakse. Når en benytter konstruerte regnhyetogram får en dimensjonerende vannføringer i hele ledningssystemet i en beregning, samtidig som det samme regnhyetogrammet kan brukes til alle ledningsstørrelser og konsultasjonstider i regioner med ensartede meteorologiske forhold. Det er de korte intense nedbørsbygene som er dimensjonerende for små ledningsnett og de øvrige delene av større ledningsnett, mens det er de lengre nedbørsbygene som er dimensjonerende for de nedre delene av et ledningsnett.

Prinsippene bak konstruksjonen av et nedbørhyetogram er følgende (Ødegaard, et al., 2012):

- «Regnhyetogrammet konstrueres på basis av en vanlig IVF-kurve».
- «Det antas at hyetogrammet er symmetrisk om sin midtakse».
- «Konstruksjonsprinsippet er at regnvolumet innenfor de x mest intensive minuttene (x/2 minutter på hver side av midtlinjen) i hyetogrammet nøyaktig skal tilsvare regnvolumet i et «kassereg» av varighet x minutter».
- «Hensiktsmessig beregningssteg vil for de fleste tilfeller være ca. 5 minutter. Steg på bare 1 minutt gir en meget høy spissintensitet».

Basert på en IVF-kurve fra Sandnes- Rovik med 20 års gjentakintervall:

- regnvarighet 10 minutter har en intensitet på 189,5 l/s ha
- regnvarighet 20 minutter har en intensitet på 114,2 l/s ha
- regnvarighet 30 minutter har en intensitet på 86,2 l/s ha
- regnvarighet 40 minutter har en intensitet på 73,0 l/s ha
- regnvarighet 50 minutter har en intensitet på 68,0 l/s ha
- regnvarighet 60 minutter har en intensitet på 58,5 l/s ha

$$I_{10} = \frac{V_{10}}{\Delta t} = \frac{189,5 \cdot 10}{10} = 189,5 \text{ [l/s*ha]}$$

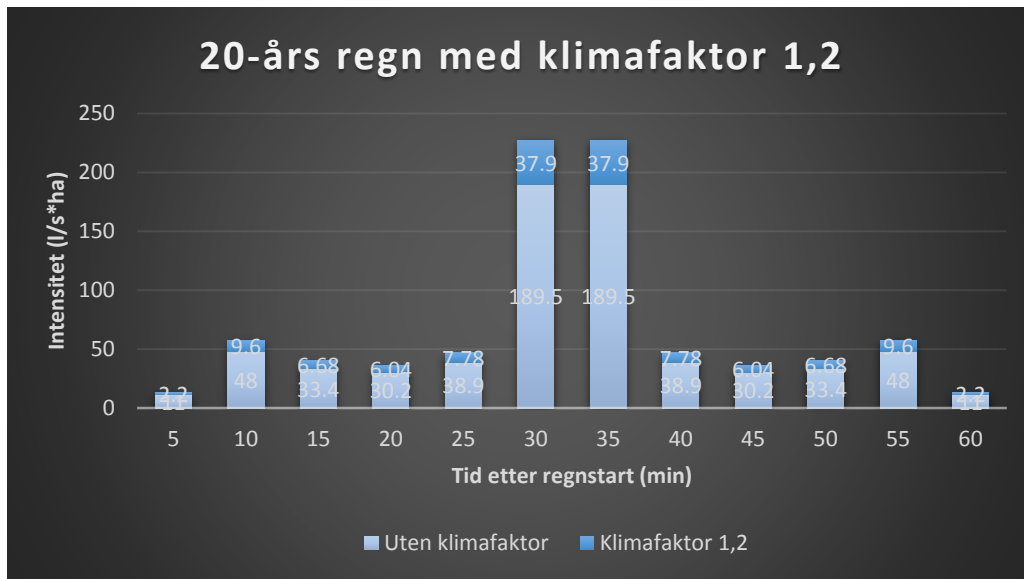
$$I_{20} - I_{10} = \frac{V_{20} - V_{10}}{\Delta t} = \frac{114,2 \cdot 20 - 189,5 \cdot 10}{10} = 38,9 \text{ [l/s*ha]}$$

$$I_{30} - I_{20} = \frac{V_{30} - V_{20}}{\Delta t} = \frac{86,2 \cdot 30 - 114,2 \cdot 20}{10} = 30,2 \text{ [l/s*ha]}$$

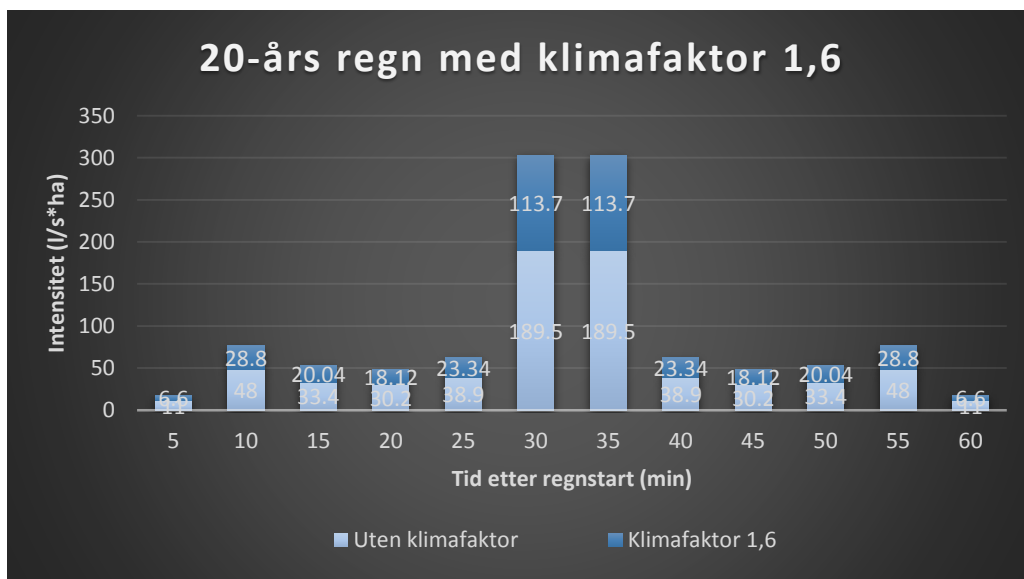
$$I_{40} - I_{30} = \frac{V_{40} - V_{30}}{\Delta t} = \frac{73,0 \cdot 40 - 86,2 \cdot 30}{10} = 33,4 \text{ [l/s*ha]}$$

$$I_{50} - I_{40} = \frac{V_{50} - V_{40}}{\Delta t} = \frac{68,0 \cdot 50 - 73,0 \cdot 40}{10} = 48,0 \text{ [l/s*ha]}$$

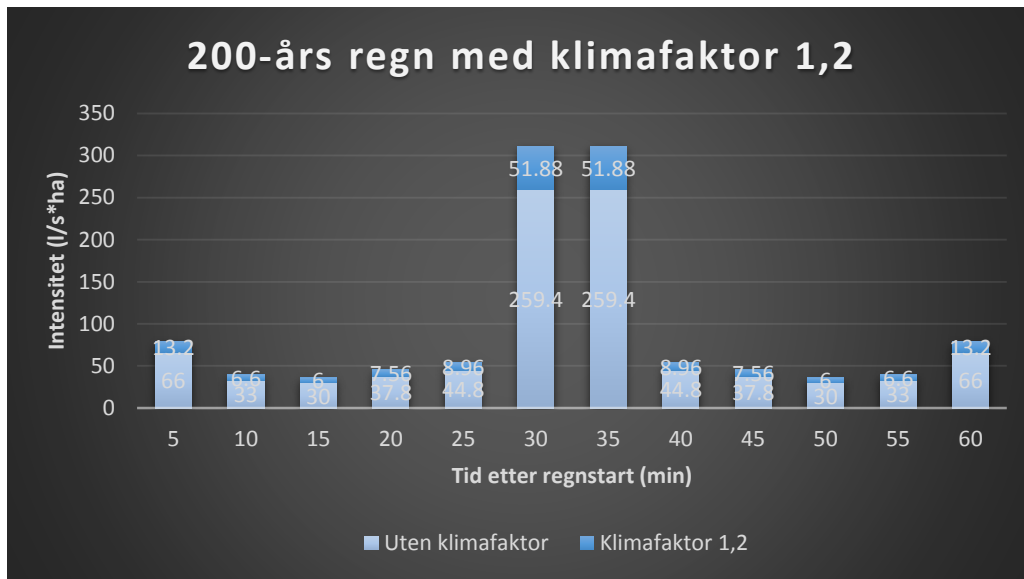
$$I_{60} - I_{50} = \frac{V_{60} - V_{50}}{\Delta t} = \frac{58,5 \cdot 60 - 68,0 \cdot 50}{10} = 11,0 \text{ [l/s*ha]}$$



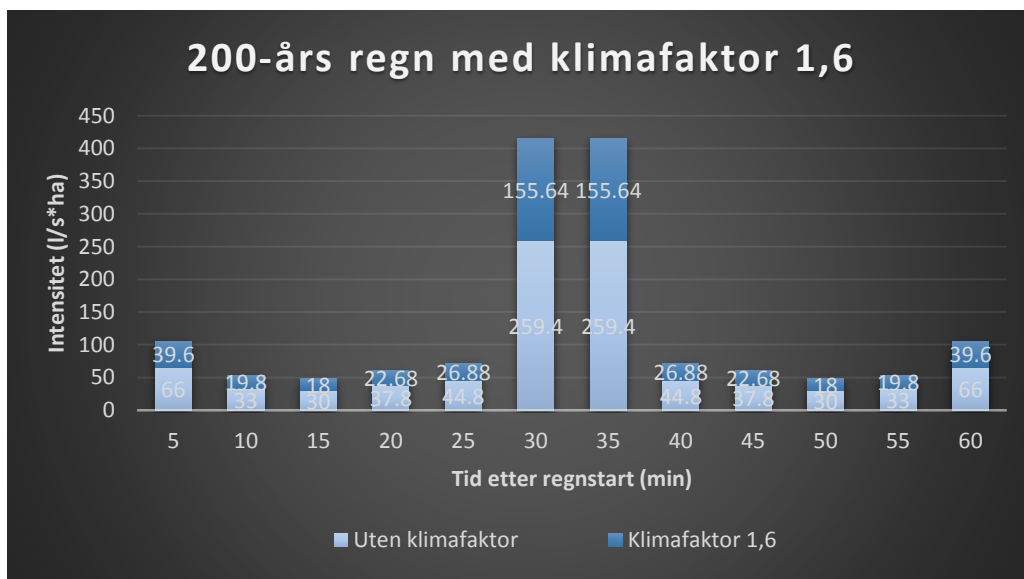
Figur 4.1.6. Regnhyetogram for 20 års regn med klimafaktor 1.2.



Figur 4.1.7. Regnhyetogram for 20 års regn med klimafaktor 1.6.



Figur 4.1.8. Regnhyetogram for 200 års regn med klimafaktor 1.2.



Figur 4.1.9. Regnhyetogram for 200 års regn med klimafaktor 1.6.

## 4.2 Metoder. SWMM, om modellen. Hvilke forutsetninger og begrensninger er lagt til grunn.

Det har blitt gjort noen ulike analyser i SWMM, disse er gjort for å demonstrere bruken av LOD-tiltak når disse modelleres i SWMM. Resultatene er illustrert med grafer som viser hvor stor avrenningen er.

Det er gjort et sett med analyser som demonstrerer bruken av LOD-tiltak i SWMM med tilhørende ledningsnett og et sett med analyser som demonstrerer følsomheten av ulike parametre som er av betydning når LOD-tiltak skal modelleres.

For analysen med ledningsanlegget er det lagt til avrenning fra to omkringliggende kvartal uten LOD-tiltak med avrenningsfaktor 0.95, mellom kvartalene er gaten belagt med et permeabelt dekke, 12 %, av beleggningsstein. Gaten har tre vannveger ned mot sjøen, en ledning med et sirkulært Ø 400 mm rør, en ledning med et eggformet (Qmax Storm) største Ø 450 mm rør og en flomveg på gateplan. Ledningene samles i en egen utløpsledning, mens flomvegen har et eget utløp. Modellen i SWMM er ikke utformet slik som det er tiltenkt at anlegget skal bygges i praksis, men utformet med den hensikt å demonstrere funksjonen til de ulike delene i systemet. Det er gjort åtte ulike analyser med og uten grunnvannstrømning, diverse gjentaksintervall og en situasjon uten permeabelt dekke.

Det er tatt utgangspunkt i et av kvartalene, kvartal A8, og laget en modell med 15 ulike eksempler av A8, denne er vist i Figur 4.4.2. Eksempelene består av 2 referansekvartal og de øvrige med de ulike LOD-tiltakene som en har mulighet til å benytte i SWMM 5.1, og et felt med tradisjonelt ledningsanlegg. Referansekvartalene representerer kvartal A6 i utviklet tilstand med permeable flater og et med dagens tilstand hvor alle flatene er impermeable. LOD-tiltakene er i størst mulig grad utformet etter de samme prinsippene slik at sammenligningsgrunnlaget skal bli mest mulig likt. De grønne takene og permeable dekkene dekker hele nedslagsfeltet og de andre LOD-tiltakene dekker 9 % av nedslagsfeltet (COWI, 2013). Alle beregningene med LOD-tiltak er gjort med 20 % vannmetning.

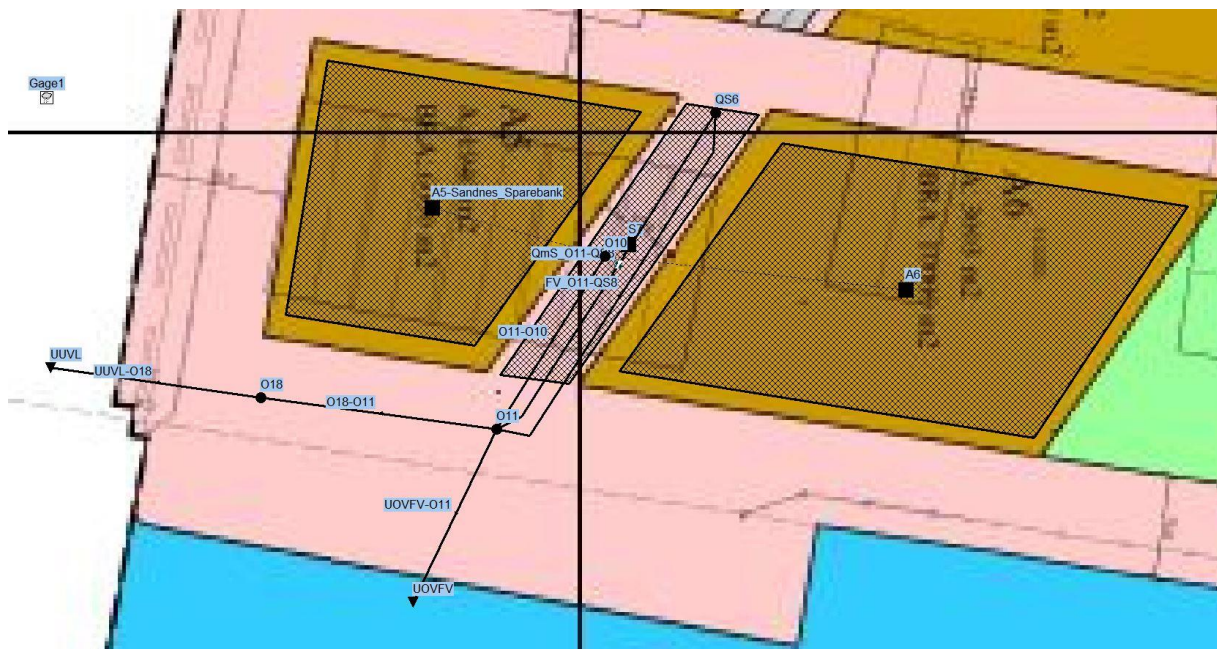
Det er ikke benyttet regn med 20 års gjentaksintervall og klimafaktor 1.6 på noen av beregningene. Grunnen til dette er at det syntetiske hyetogrammet til denne nedbørsituasjonen i stor grad sammenfaller med det syntetiske hyetogrammet til regn med 200 års gjentaksintervall og klimafaktor 1.2. Det er denne nedbørsituasjonen, 200 års gjentaksintervall med klimafaktor 1.2, som er benyttet som utgangspunkt når analysen av følsomheten til de ulike parametrene til LOD-tiltaks er gjennomført.

For analysen med ledningsanlegget er det tatt utgangspunkt i regn med 200 års gjentaksintervall og klimafaktor 1.6 for de fleste analysene, dette for å sikre store nok mengder til å kunne demonstrere funksjonen til de ulike delene i systemet.

### 4.3 Resultater. Beregning av avrenning ved ulike situasjoner 20- og 200-års nedbør.



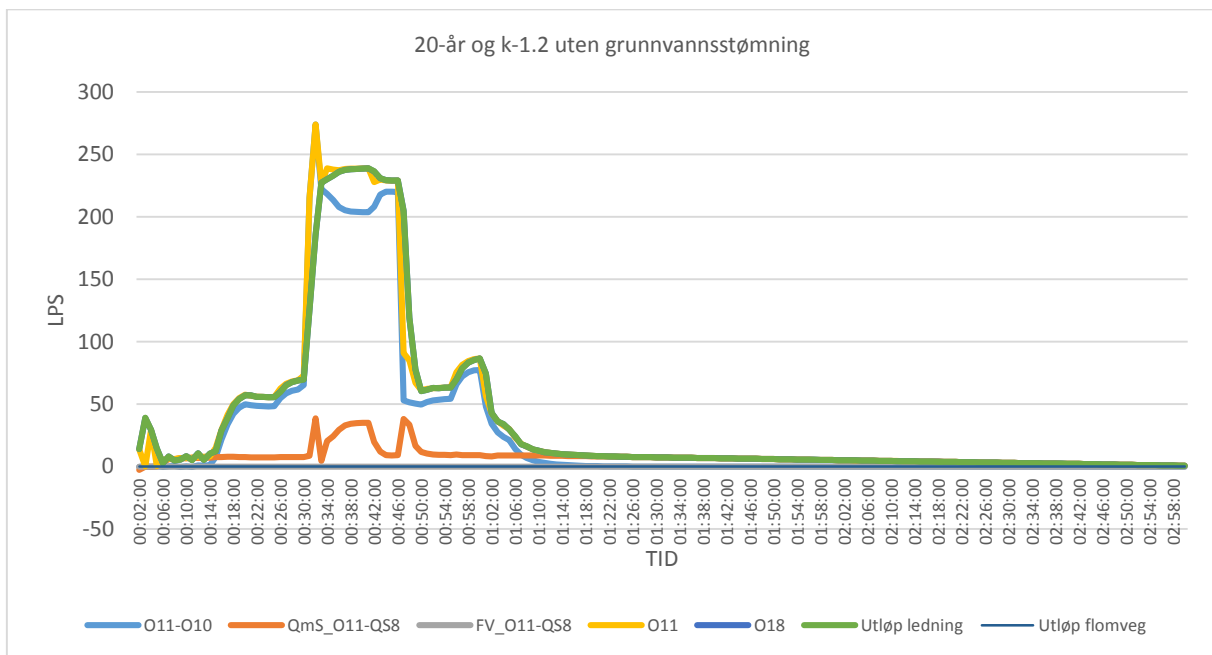
Figur 4.3.1. Sandnes Havnepark med de modellerte feltene i SWMM.



Figur 4.3.2. Ledningsanlegget slik det ble modellert i SWMM.

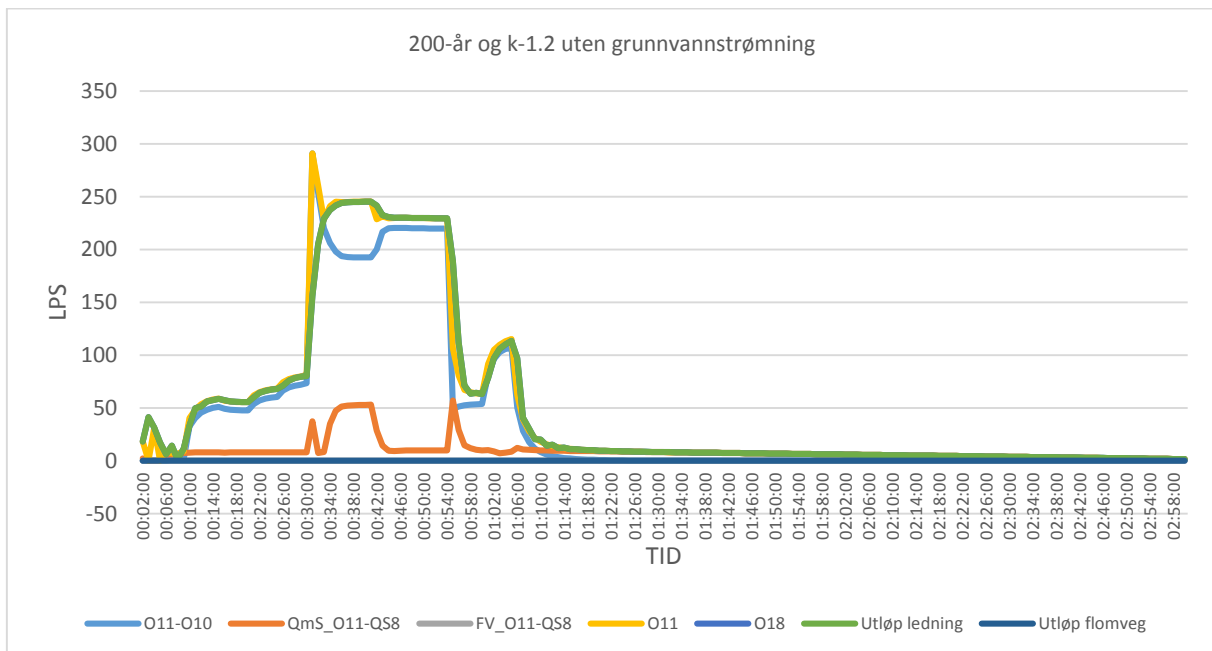


#### 4.3.1 20 års gjentaksintervall, klimafaktor på 1.2, uten grunnvannsstrømning



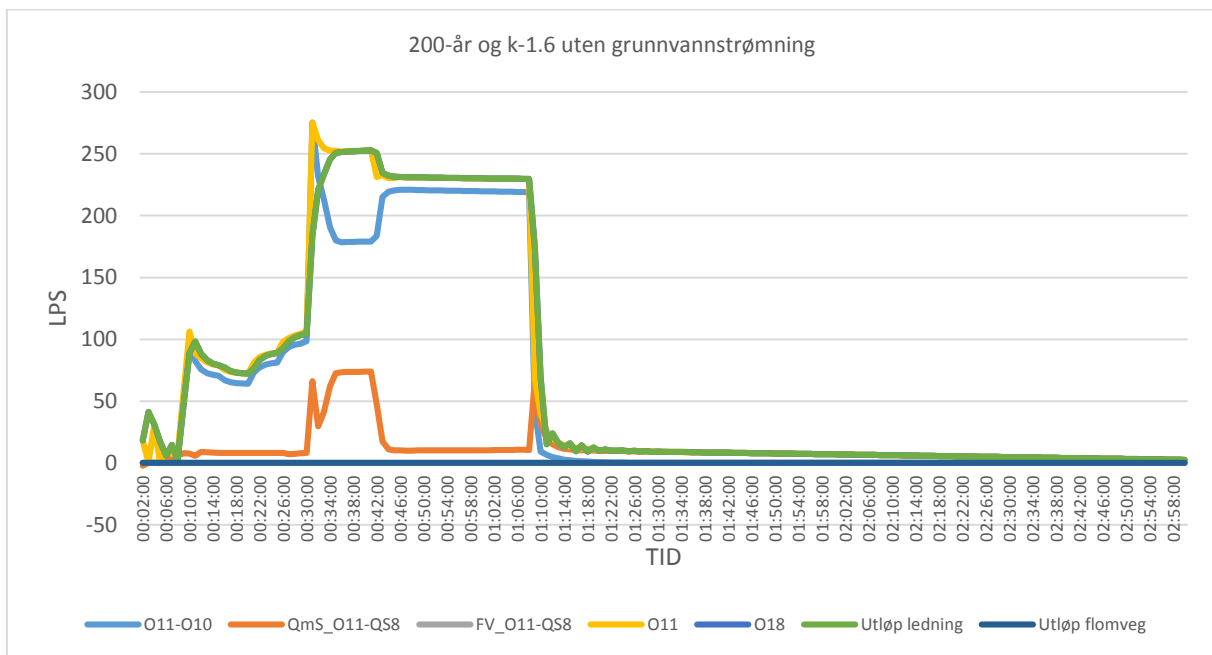
Figur 4.3.3. Figuren viser nedbør med 20 års gjentaksintervall, klimafaktor på 1.2, uten grunnvannsstrømning.

#### 4.3.2 200 års gjentaksintervall, klimafaktor på 1.2, uten grunnvannsstrømning



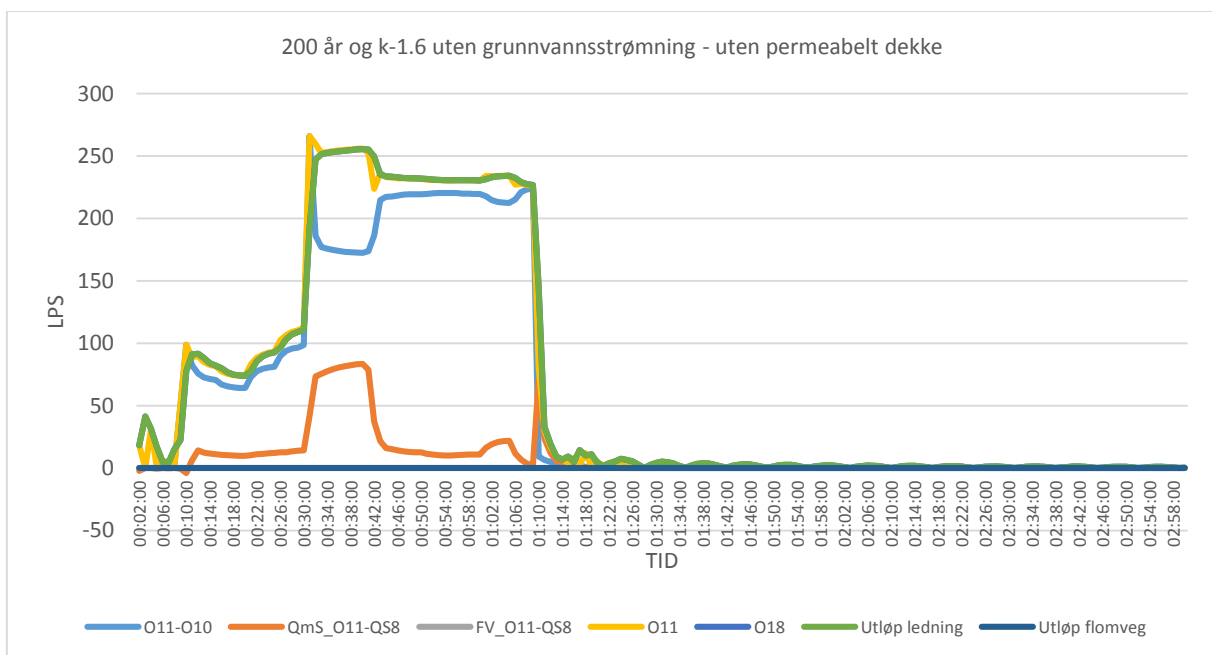
Figur 4.3.4. Figuren viser nedbør med 200 års gjentaksintervall, klimafaktor på 1.2, uten grunnvannsstrømning.

### 4.3.3 200 års gjentaksintervall, klimafaktor på 1.6, uten grunnvannsstrømning



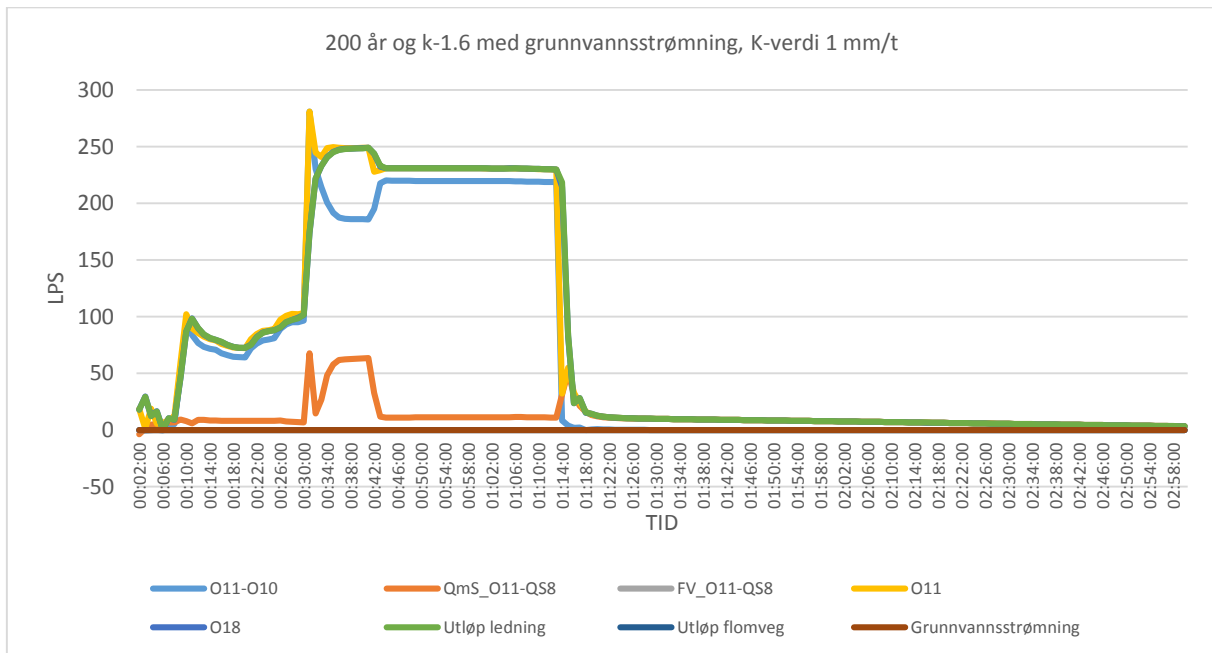
Figur 4.3.5. Figuren viser nedbør med 200 års gjentaksintervall, klimafaktor på 1.6, uten grunnvannsstrømning.

### 4.3.4 200 års gjentaksintervall, klimafaktor på 1.6, uten grunnvannsstrømning og uten permeabelt dekke



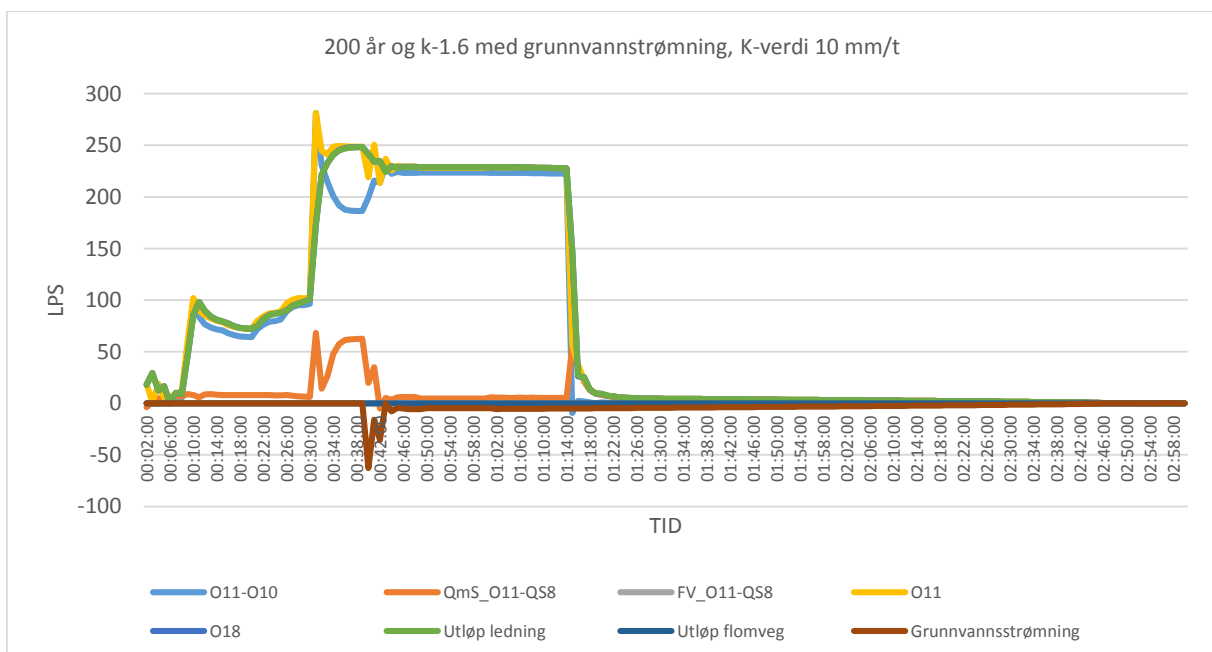
Figur 4.3.6. Figuren viser nedbør med 200 års gjentaksintervall, klimafaktor på 1.6, uten grunnvannsstrømning og uten permeabelt dekke.

#### 4.3.5 200 års gjentaksint., klimaf. på 1.6, med grunnvannsstrømning, 1 mm/t



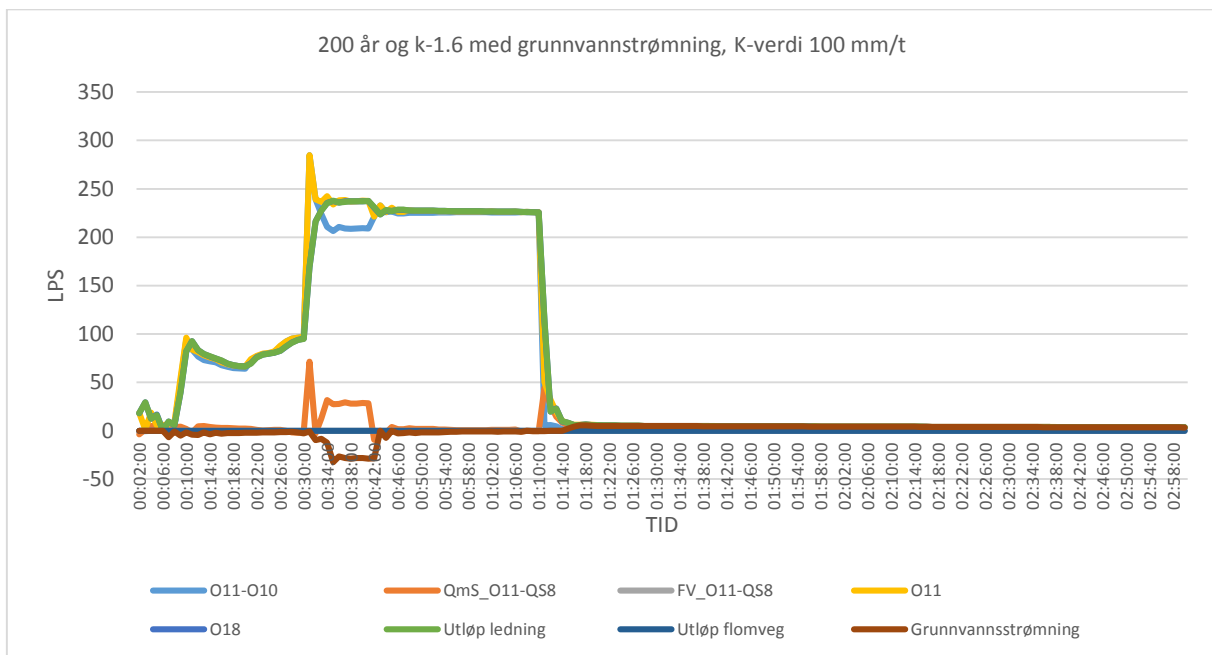
Figur 4.3.7. Figuren nedbør med 200 års gjentaksintervall, klimafaktor på 1.6, med grunnvannsstrømning. Grunnen har en hydraulisk ledningsevne, K-verdi, på 1 mm/t.

#### 4.3.6 200 års gjentaksint., klimaf. på 1.6, med grunnvannsstrømning, 10 mm/t



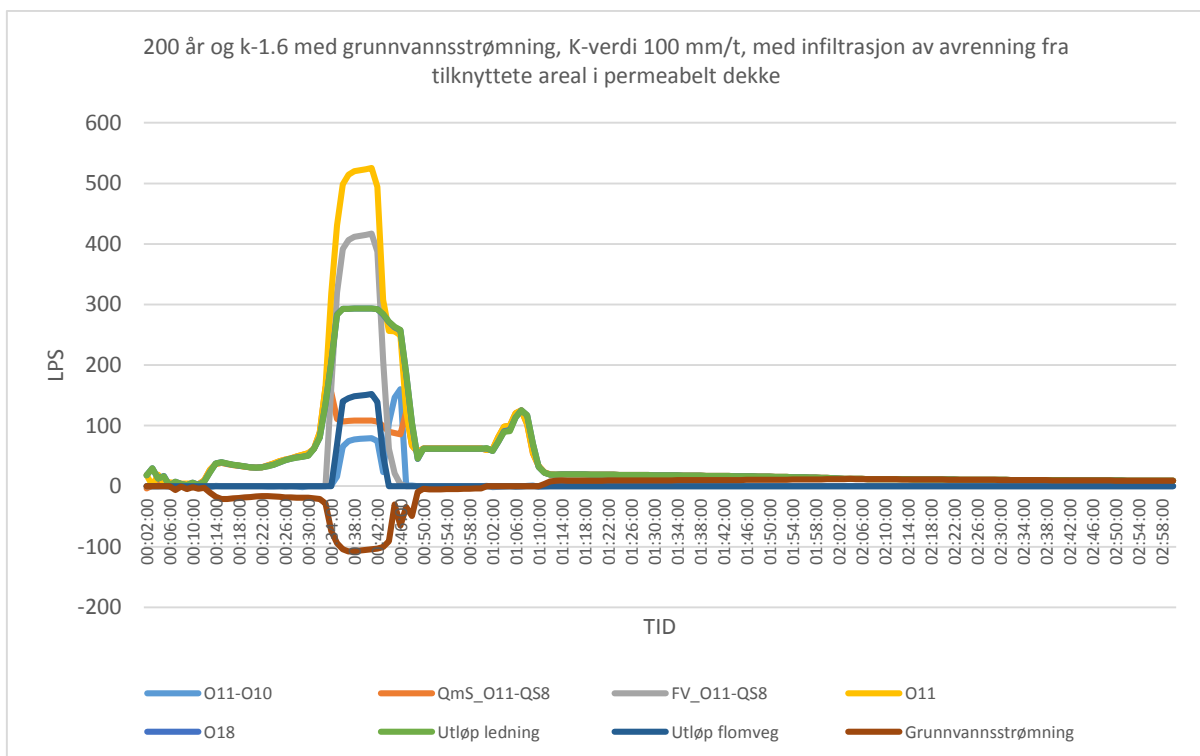
Figur 4.3.8. Figuren nedbør med 200 års gjentaksintervall, klimafaktor på 1.6, med grunnvannsstrømning. Grunnen har en hydraulisk ledningsevne, K-verdi, på 10 mm/t.

#### 4.3.7 200 års gjentaksint., klimaf. på 1.6, med grunnvannsstrømning, 100 mm/t



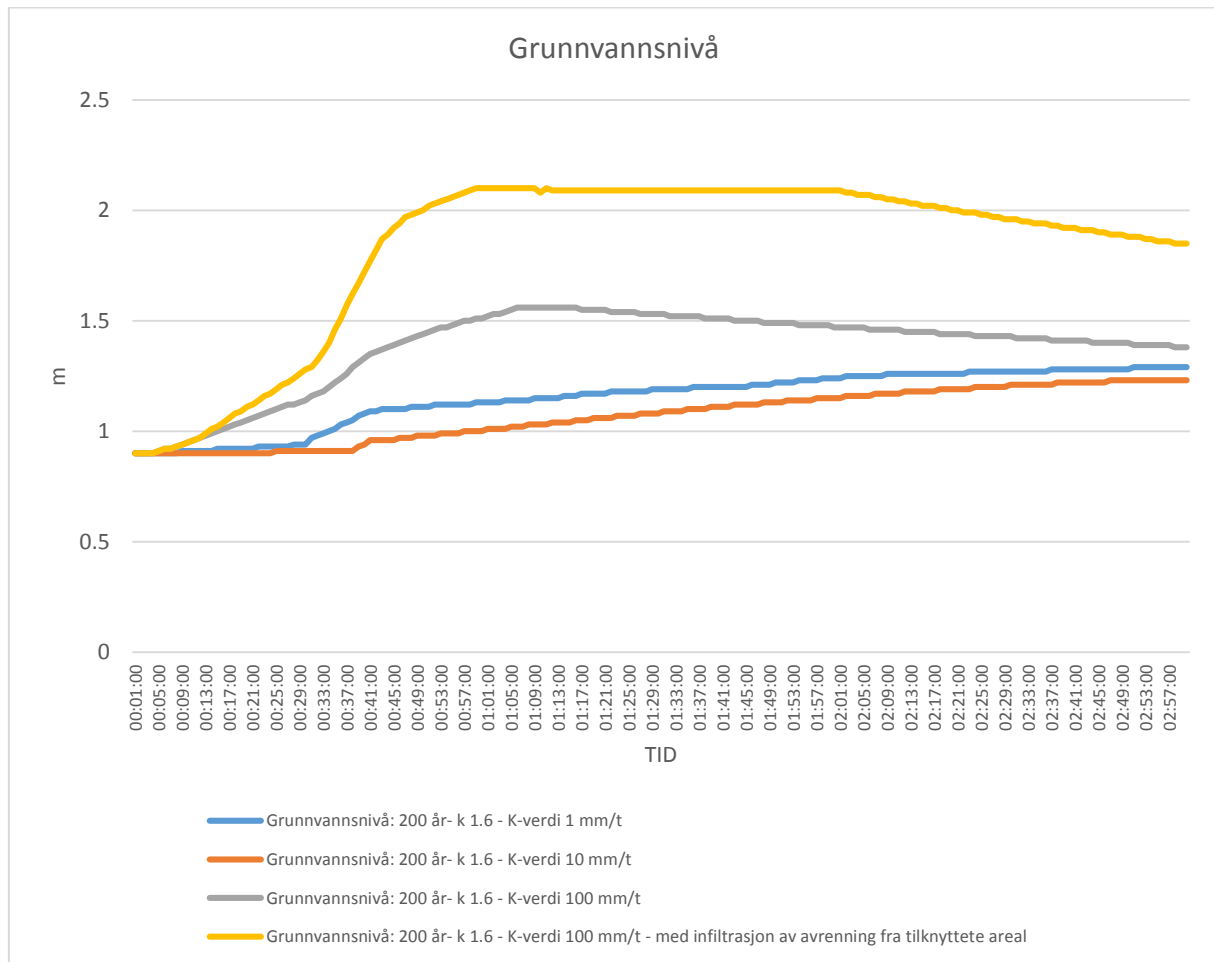
Figur 4.3.9. Figuren nedbør med 200 års gjentaksintervall, klimafaktor på 1.6, med grunnvannsstrømning. Grunnen har en hydraulisk ledningsevne, K-verdi, på 100 mm/t.

#### 4.3.8 200 års gjentaksintervall, klimafaktor på 1.6, med grunnvannsstrømning, 100 mm/t, og infiltrasjon av tilknyttet areal



Figur 4.3.10. Figuren nedbør med 200 års gjentaksintervall, klimafaktor på 1.6, med grunnvannsstrømning. Grunnen har en hydraulisk ledningsevne, K-verdi, på 100 mm/t.

### 4.3.9 Grunnvannsnivå med 200 års gjentaksintervall, klimafaktor på 1.6, og ulik hydraulisk ledningsevne i grunnen



Figur 4.3.11. Figuren viser grunnvannsnivå ved nedbør med 200 års gjentaksintervall, klimafaktor på 1.6 og ulik hydraulisk ledningsevne i grunnen.

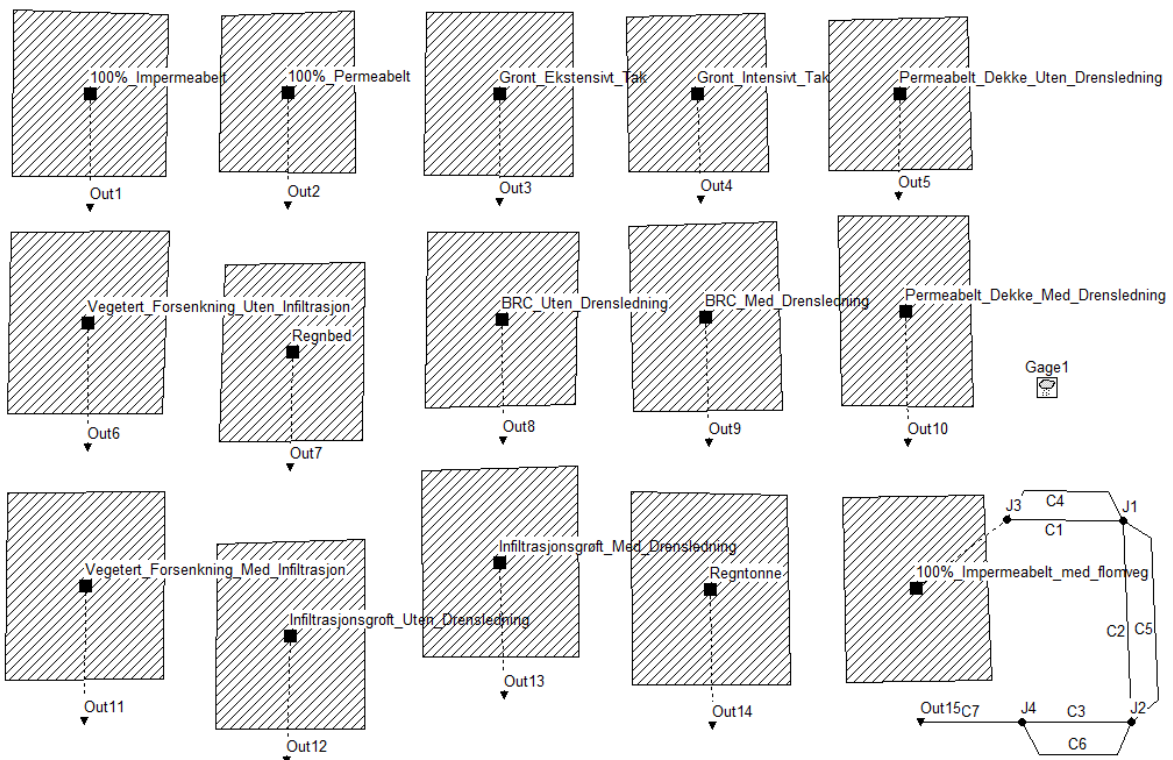
Grunnen til at grafene er relativt like er at avrenningen går direkte til ledningsnett og dette fungerer som en flaskehals for kapasiteten, derfor er det kun varigheten som blir påvirket av at intensiteten øker. I ledningen med Qmax Storm rør kan en se mengden øker ved økte nebørsintensiteter.

For beregningene med grunnvannsstrømning kan en tydelig se hvordan grunnvannsstrømningen øker med økt hydraulisk ledningsevne, som ventet. For anlegget med infiltrasjon av avrenningen fra alle tilknyttete areal kan en se at infiltrasjonen av avrenningen er betraktelig, men ikke tilstrekkelig og en betydelig del av avrenningen renner også av på overflaten i flomvegene.

## 4.4 Følsomhetsanalyse

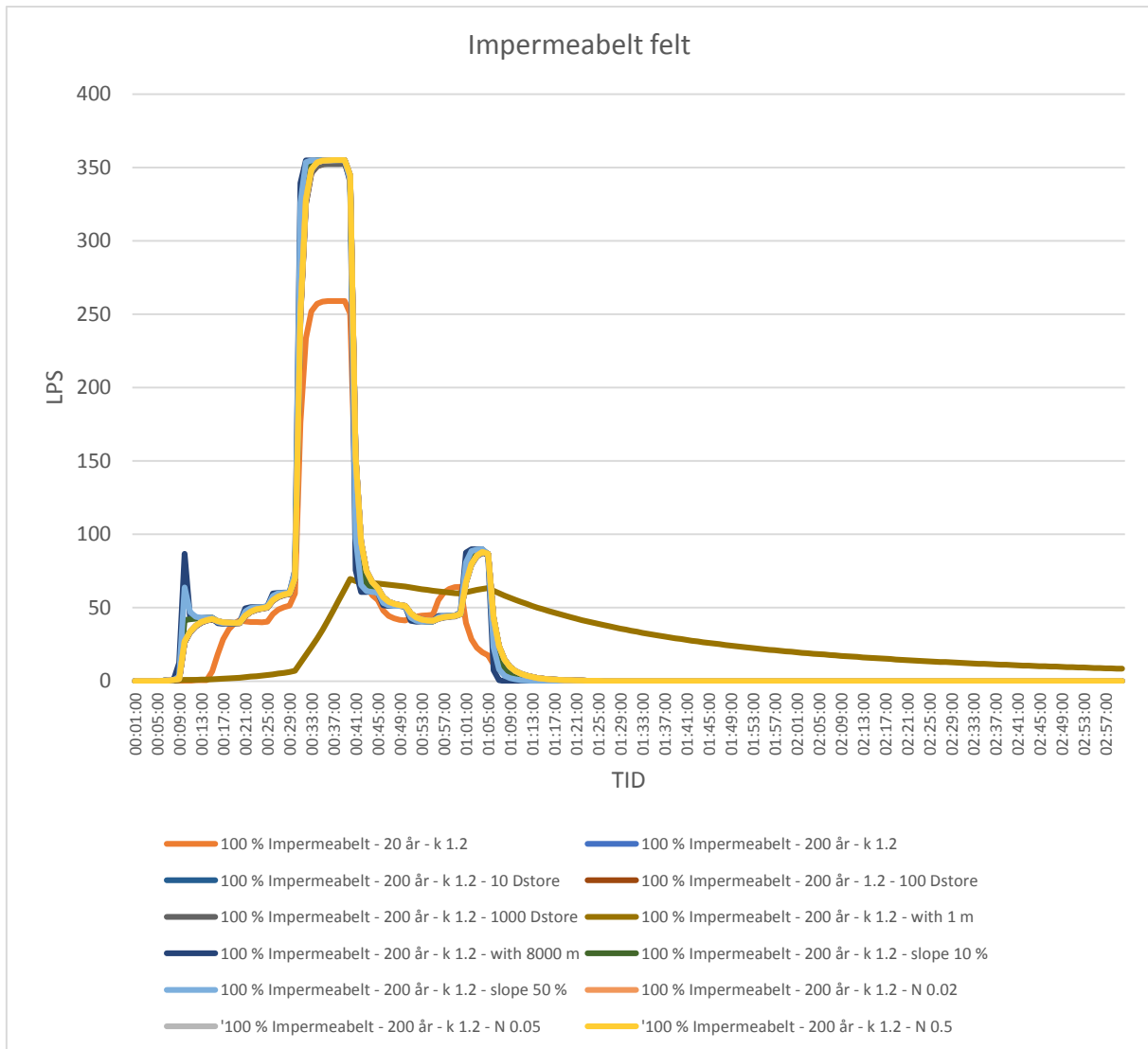


Figur 4.4.1. Figuren viser et utsnitt over det areal som det er tatt utgangspunkt i ved gjennomføringen av følsomhetsanalysen.



Figur 4.4.2. Figuren viser de ulike LOD-tiltakene som er modellert i SWMM med utgangspunkt i kvartal A8 i havneparken.

#### 4.4.1 Impermeabelt felt

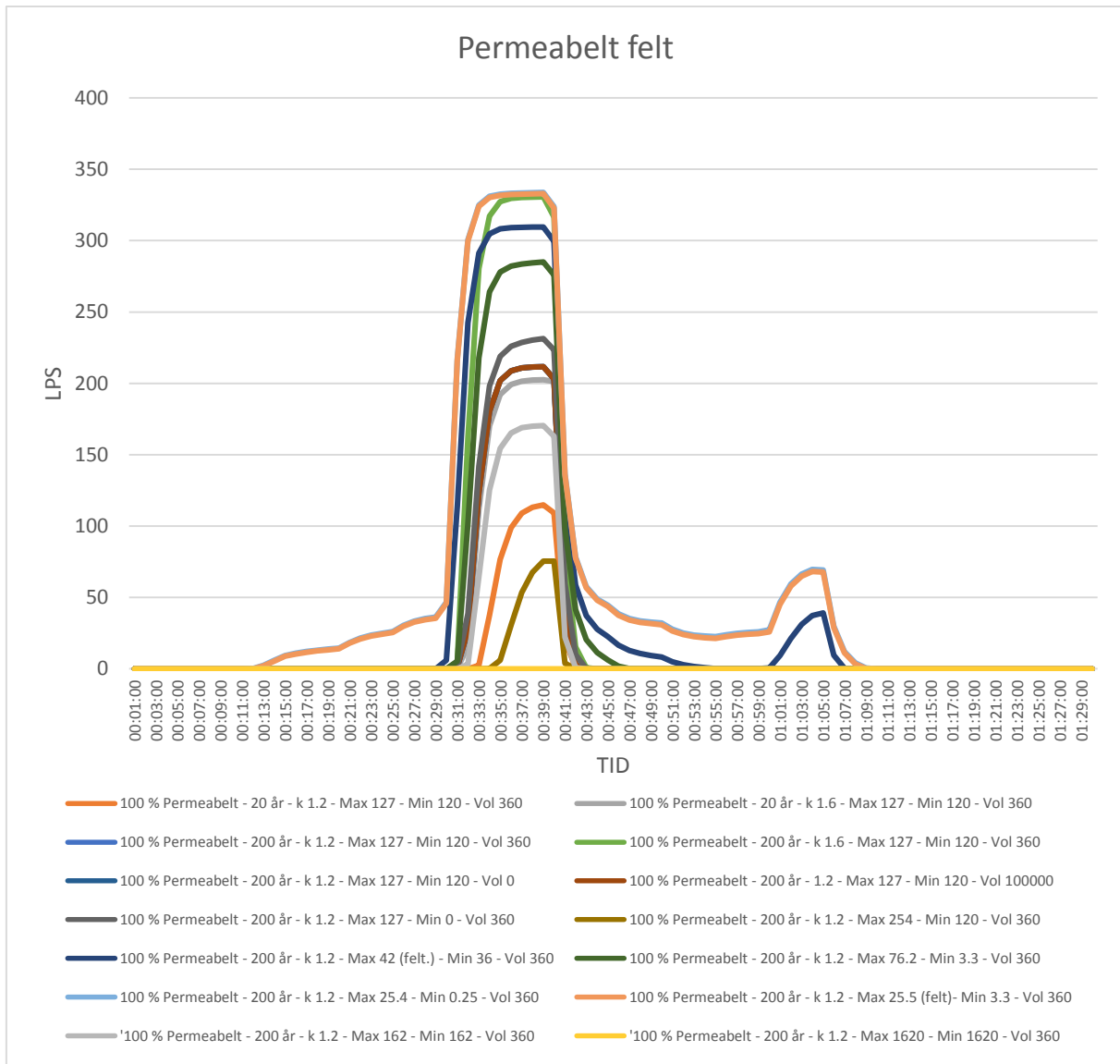


Figur 4.4.3. Figuren viser avrenningen fra feltet med impermeabel overflate.

Hydrografen til avrenningen fra det impermeable feltet er stor grad lik konturen til det syntetiske hyetogrammet. Aviket er beregningen med lang tilrenningstid, with 1 m, her avrenningskonsentrasjonen redusert betraktelig og det forekommer ikke noe flomtopp i det hele tatt.

Det er avrenningen fra denne situasjonen som er gjeldene på nåværende tidspunkt.

## 4.4.2 Permeabelt felt



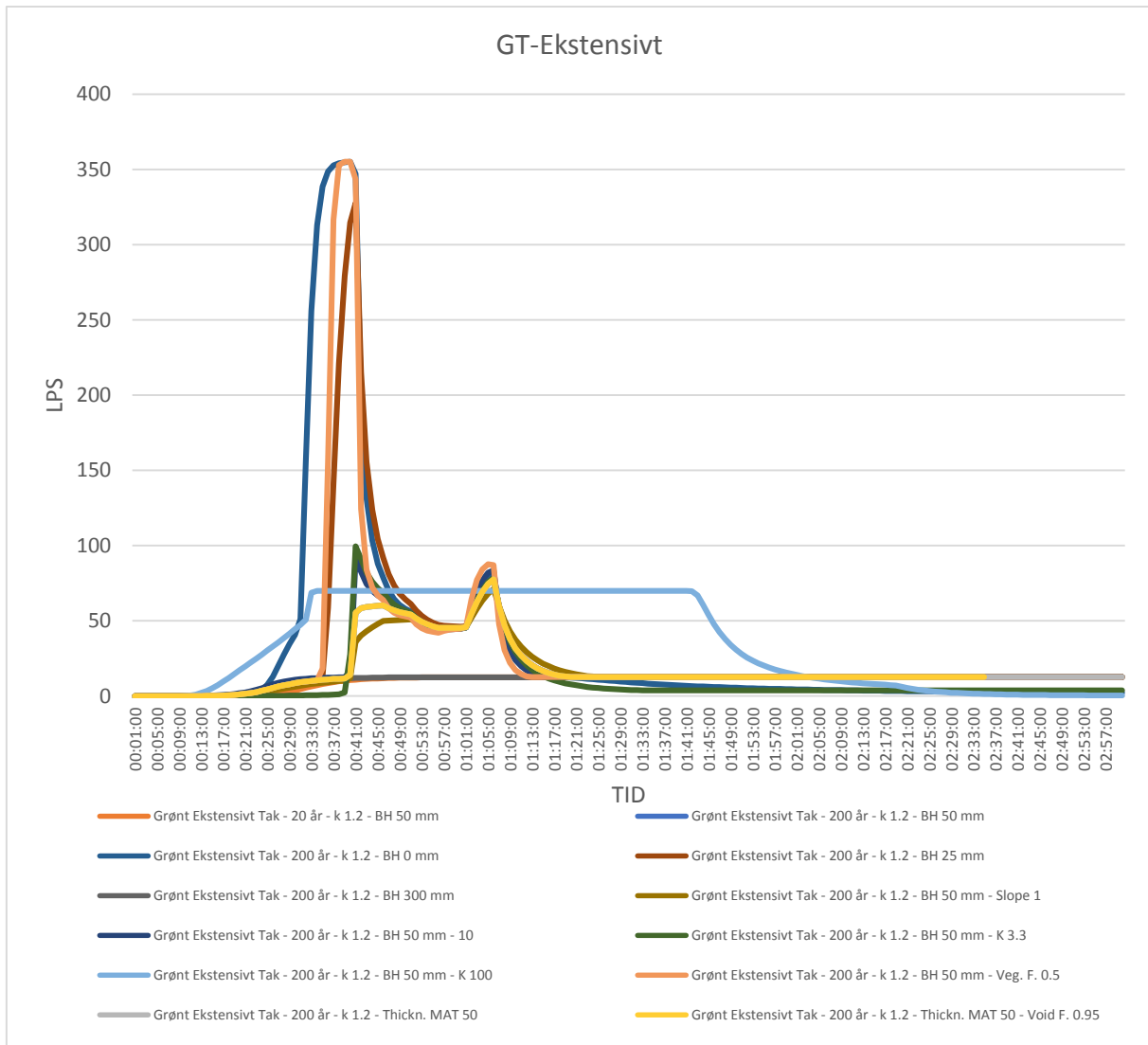
Figur 4.4.4. Figuren viser avrenningen fra feltet med permeabel overflate.

Hydrografen til avrenningen fra det permeable feltet viser at avrenningen blir betydelig redusert når den får mulighet til å infiltrere.

Det er avrenningen fra denne situasjonen som prøves å gjenskapes ved å benytte LOD-tiltak.



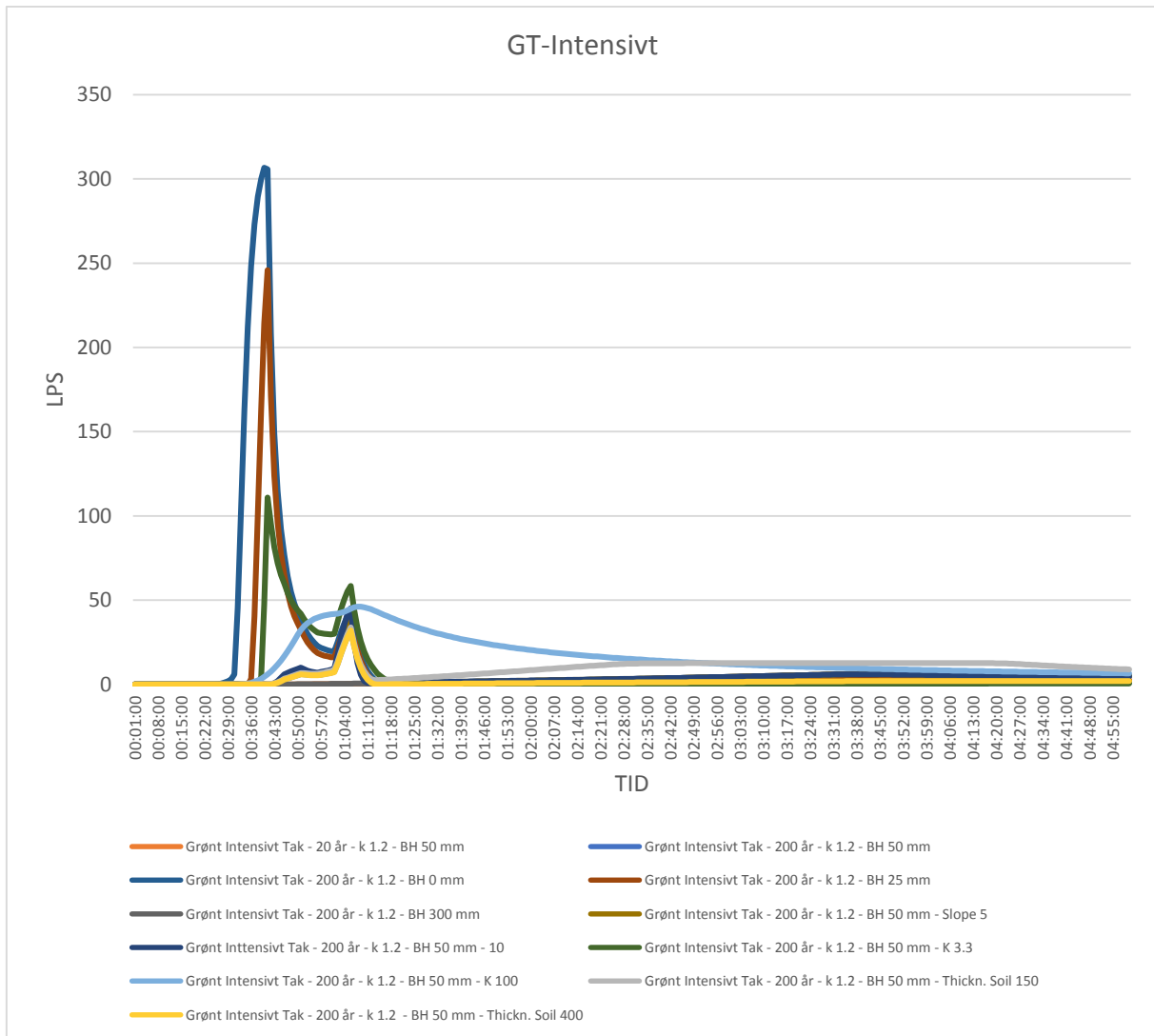
### 4.4.3 Grønt ekstensivt tak



Figur 4.4.5. Figuren viser avrenningen fra feltet med grønt ekstensivt tak.

Hydrografen til avrenningen fra feltet med grønt ekstensivt tak viser at «berm heigt» og den hydrauliske ledningsevnen til jorden er av avgjørende betydning for takets evne til å fordrøye nedbøren. Taket med jord som har god hydraulisk ledningsevne gir en jevn avrenning og toppene unngås. Taket uten de om omkringliggende sidene, «berm height», får omtrent samme toppintensitet som det impermeable feltet har.

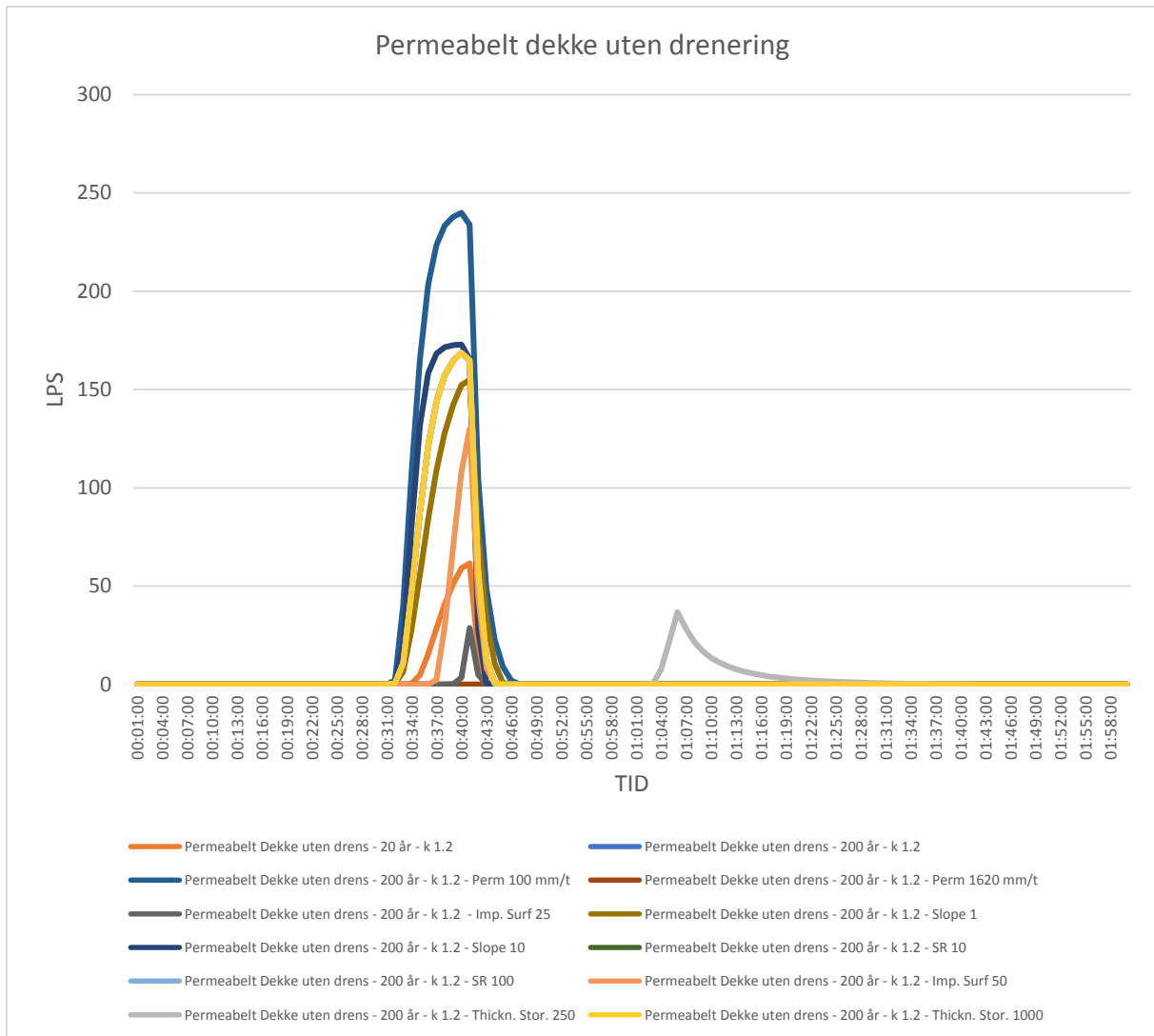
#### 4.4.4 Grønt intensivt tak



Figur 4.4.6. Figuren viser avrenningen fra feltet med grønt intensivt tak.

Hydrografen til avrenningen fra feltet med grønt intensivt tak viser at avrenningen har lavere toppintensitet og kortere varighet på toppintensiteten enn grønt ekstensivt tak, selv uten de omkringliggende sidene, «berm height».

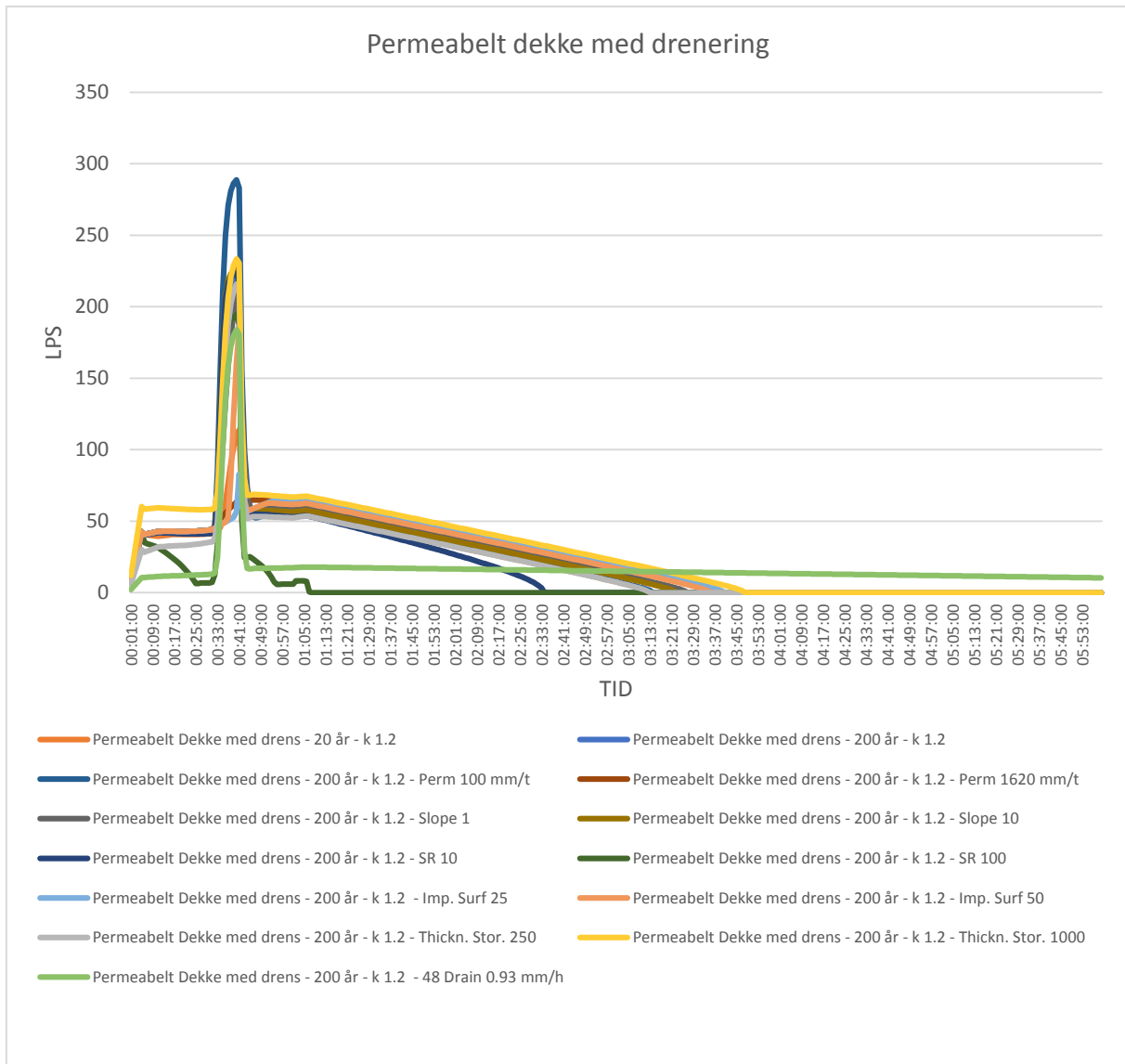
#### 4.4.5 Permeabelt dekke uten drenering



Figur 4.4.7. Figuren viser avrenningen fra feltet med permeabelt dekke uten drenering.

Hydrografen til avrenningen fra det permeable dekket viser at avrenningen blir betydelig dempet og toppintensiteten blir redusert med over 100 l/s i forhold til det impermeable feltet. Det fremkommer også tydelig hvilken betydning den hydrauliske ledningsevnen har, både for infiltrasjonen og transporten videre ned i grunnen.

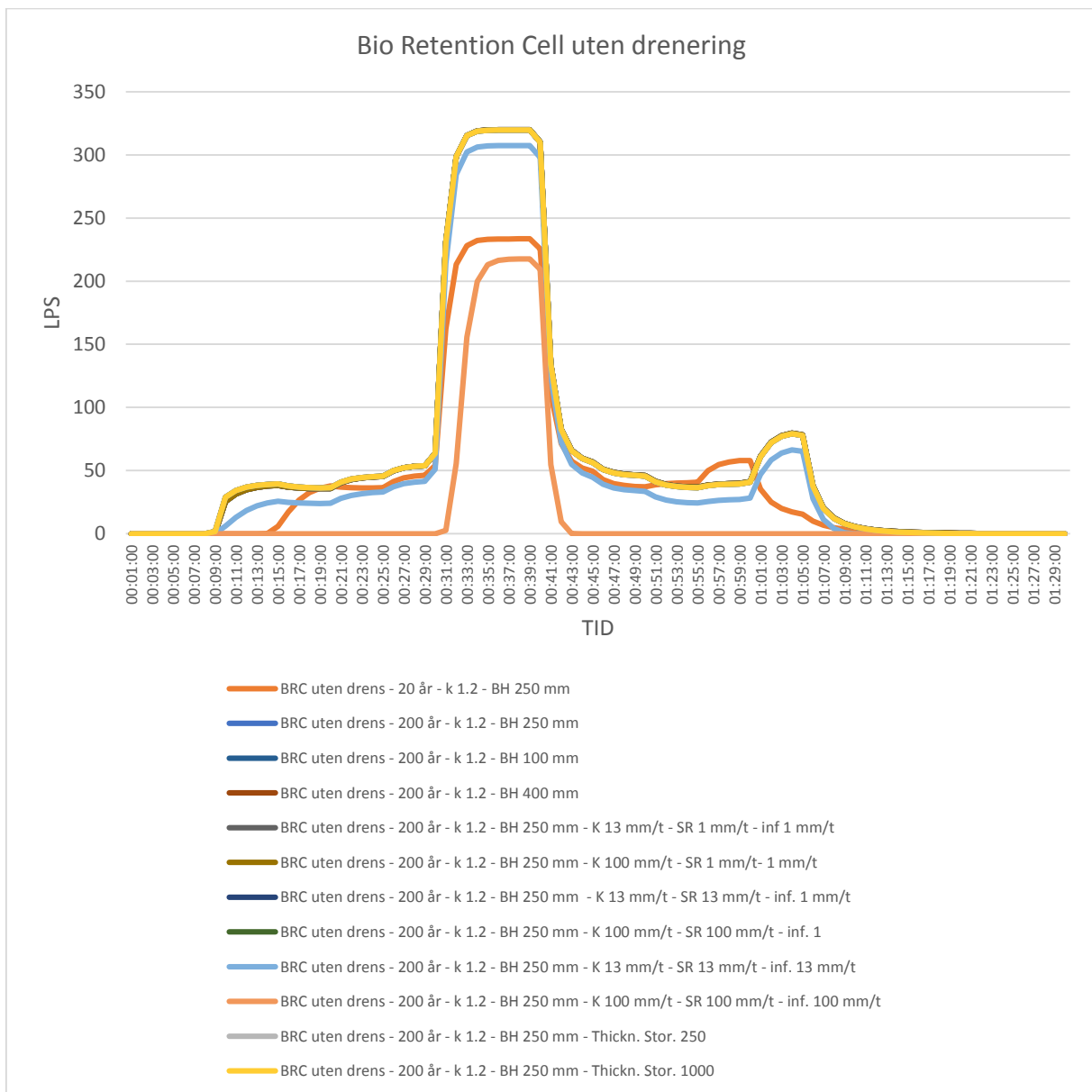
#### 4.4.6 Permeabelt dekke med drenering



Figur 4.4.8. Figuren viser avrenningen fra feltet med permeabelt dekke med drenering.

Hydrografen til avrenningen fra feltet med permeabelt dekke viser at avrenningen starter umiddelbart etter regnets start, samtidig som toppintensiteten blir høyere enn fra permeabelt dekke uten drenering, men varigheten på toppintensiteten reduseres.

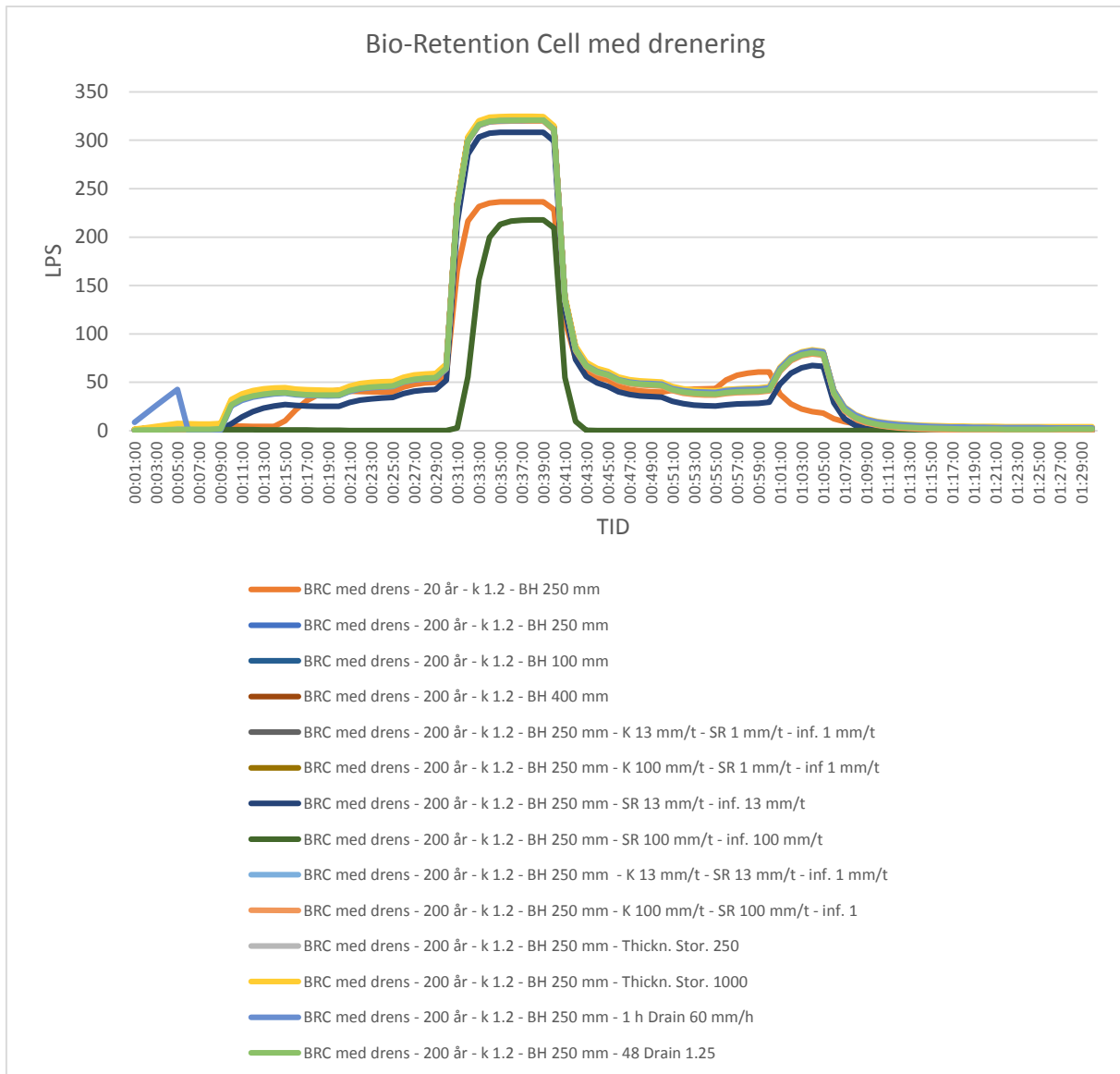
#### 4.4.7 Bio-Retention Cell uten drenering



Figur 4.4.9. Figuren viser avrenningen fra feltet med Bio-Retention Cell og uten tilhørende underdrenering.

Hydrografen fra feltet med Bio-Retention Cell uten drenering viser at infiltrasjonsevnen til jorden i selve avrenningsfeltet er av avgjørende betydning. Det er verdt å merke seg at både «berm height» (BH), Seepage Rate (SR), Thickness Storage (Thickn. Stor.) og den hydrauliske ledningsevnen (K) til jorden i Bio-Retention Cell (BRC) er av mindre betydning for resultatet. Ellers er hydrografen i stor grad lik hydrografen fra det impermeable feltet, toppintensiteten er noe redusert.

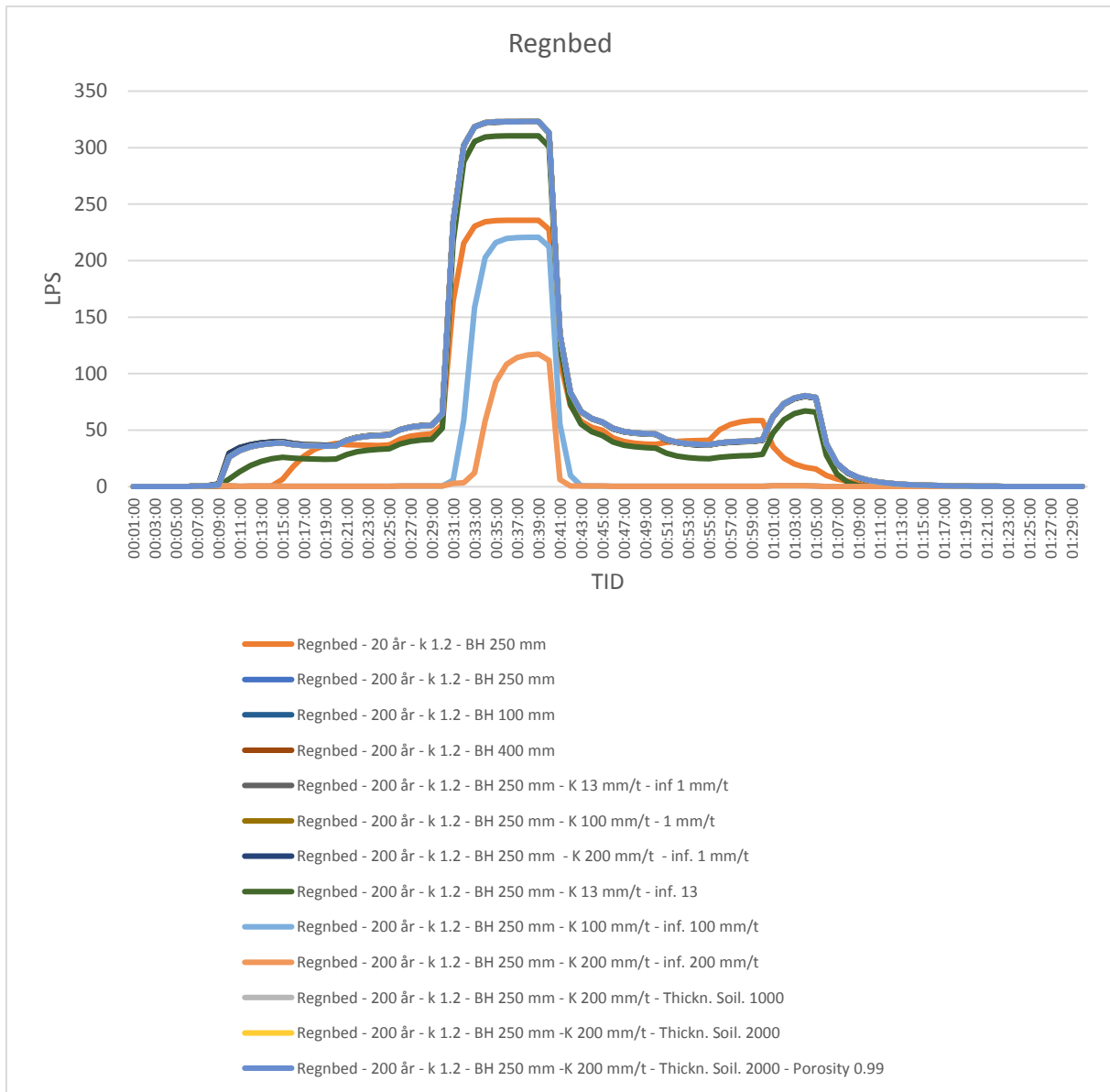
#### 4.4.8 Bio-Retention Cell med drenering



Figur 4.4.10. Figuren viser avrenningen fra feltet med Bio-Retention Cell og tilhørende underdrenering.

Hydrografen fra feltet med Bio-Retention Cell med drenering viser i stor grad det samme som den forrige grafen til BRC uten drenering, men med noe vedvarende avrenning på grunn av dreneringen.

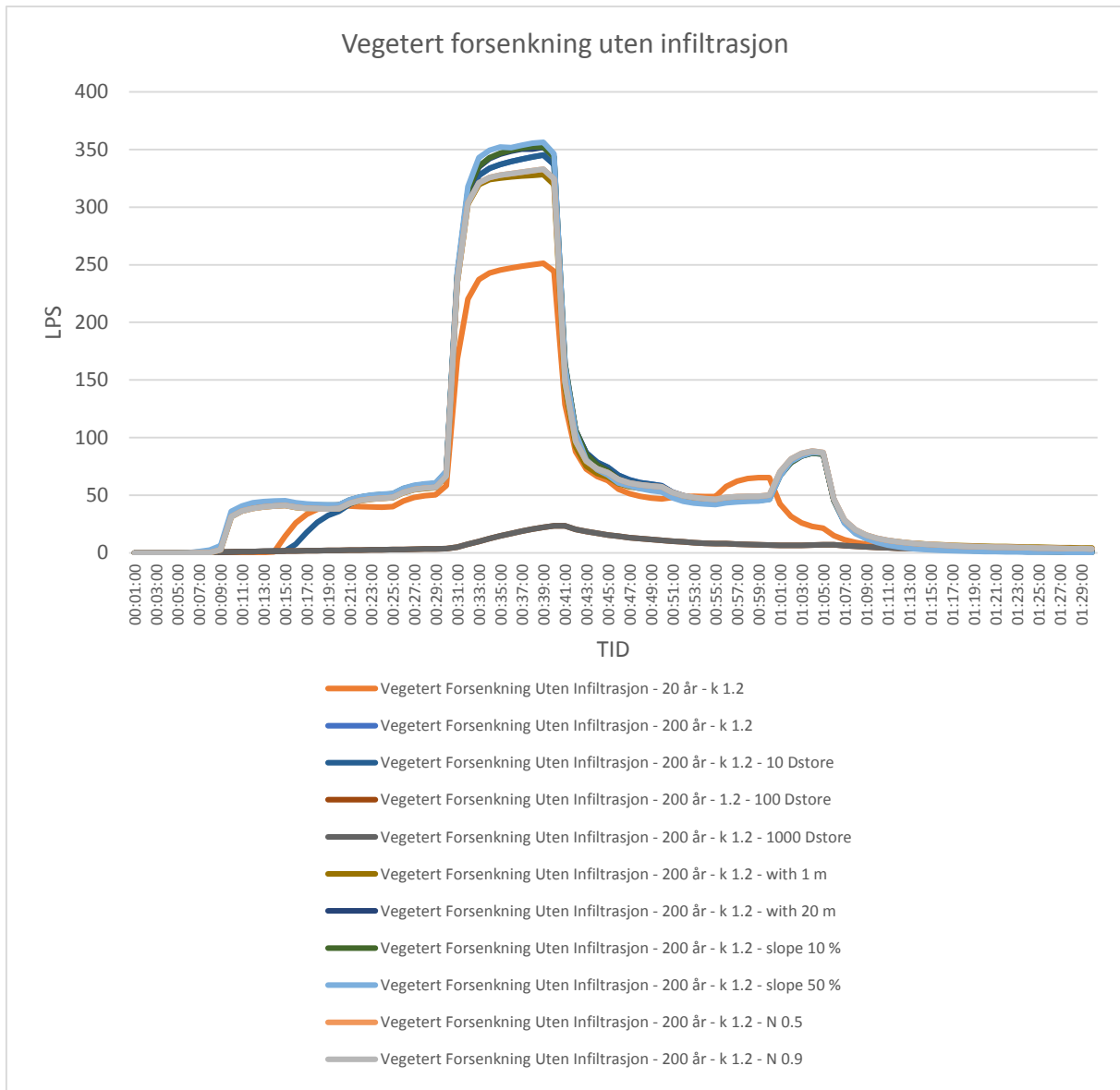
## 4.4.9 Regnbed



Figur 4.4.11. Figuren viser avrenningen fra feltet med regnbed.

Hydrografen fra feltet med regnbed viser i stor grad det samme som de to foregående grafene til feltene med BRC, at infiltrasjonsevnen til selve avrenningsfeltet er den mest sentrale parameteren, selv om denne ikke er en del av parametrene til selve LOD-tiltaket.

#### 4.4.10 Vegetert forsenkning uten infiltrasjon

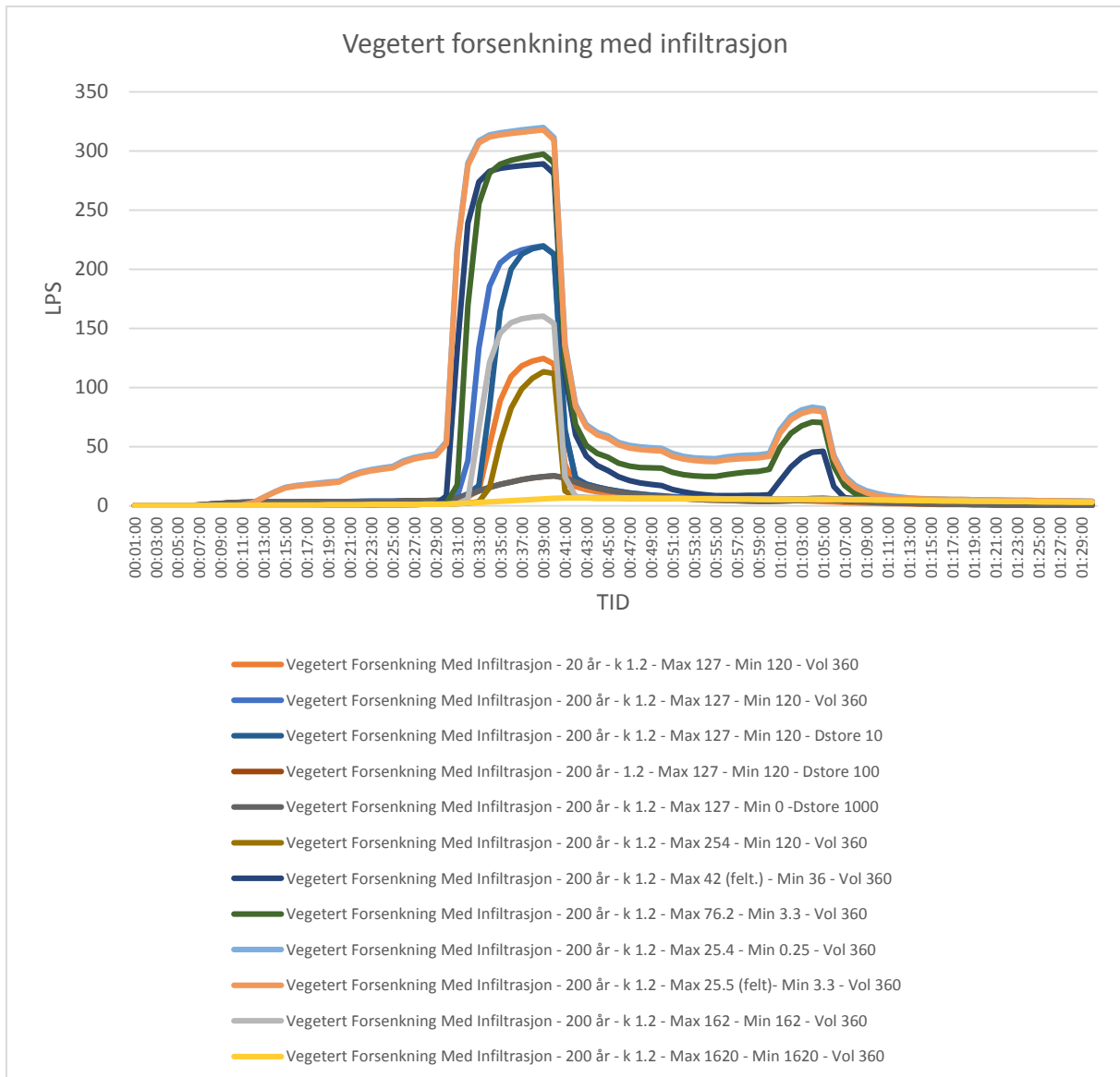


Figur 4.4.12. Figuren viser avrenningen fra feltet med vegetert forsenkning uten infiltrasjon.

Hydrografen fra feltet med vegeterte forsenkninger uten infiltrasjon viser at de ulike forutsetningene påvirker resultatet lite, bortsett fra gropmagasinerings av en viss størrelse. Da denne gropmagasinerings er såpass stor, 1000 mm (1 m), kan en i praksis se bort fra denne.



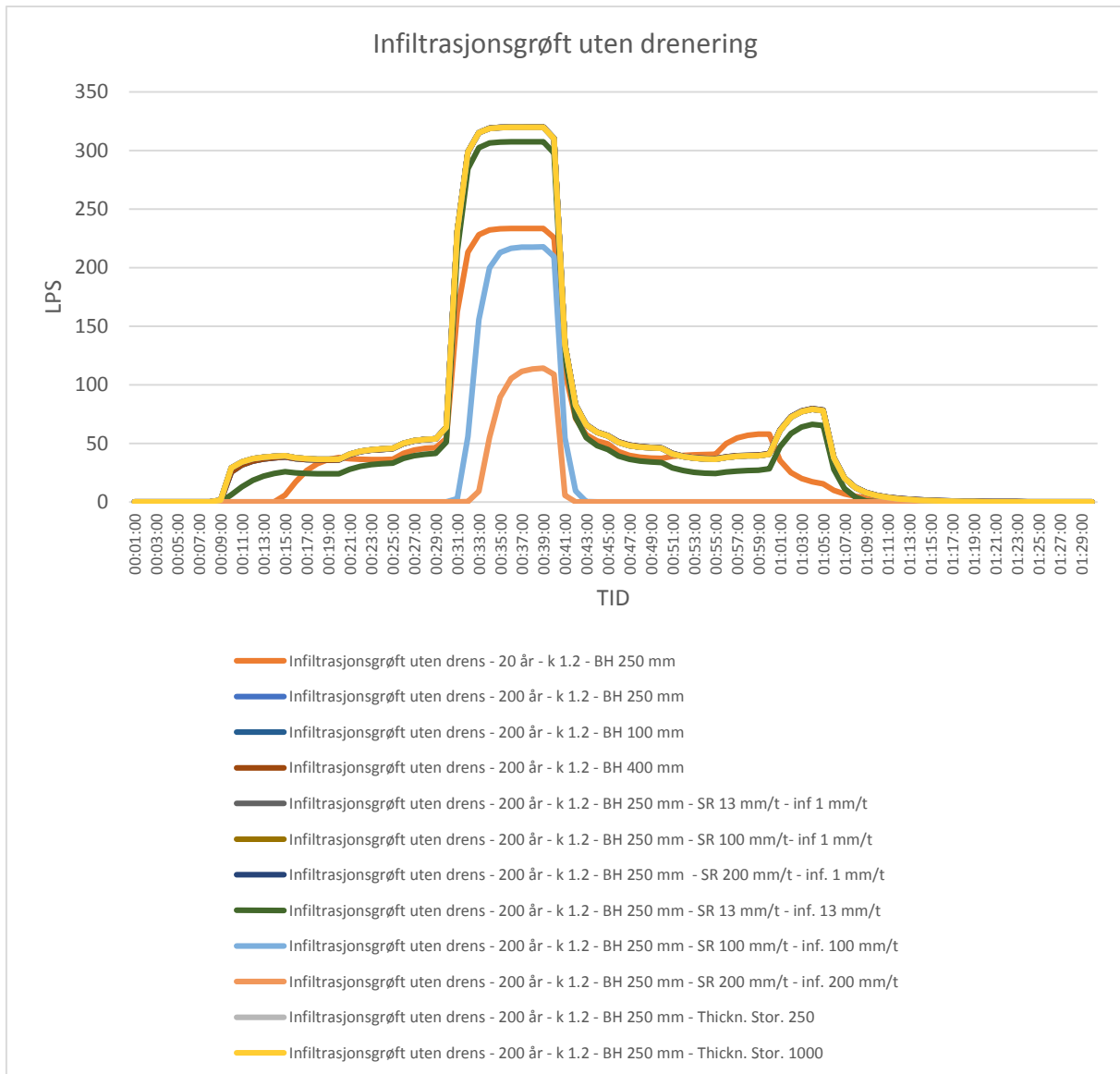
#### 4.4.11 Vegetert forsenkning med infiltrasjon



Figur 4.4.13. Figuren viser avrenningen fra feltet med vegetert forsenkning med infiltrasjon.

Hydrografen fra feltet med vegeterte forsenkninger med infiltrasjon viser også her at infiltrasjonsevnen til selve avrenningsfeltet er av stor betydning for reduksjonen av avrenningen.

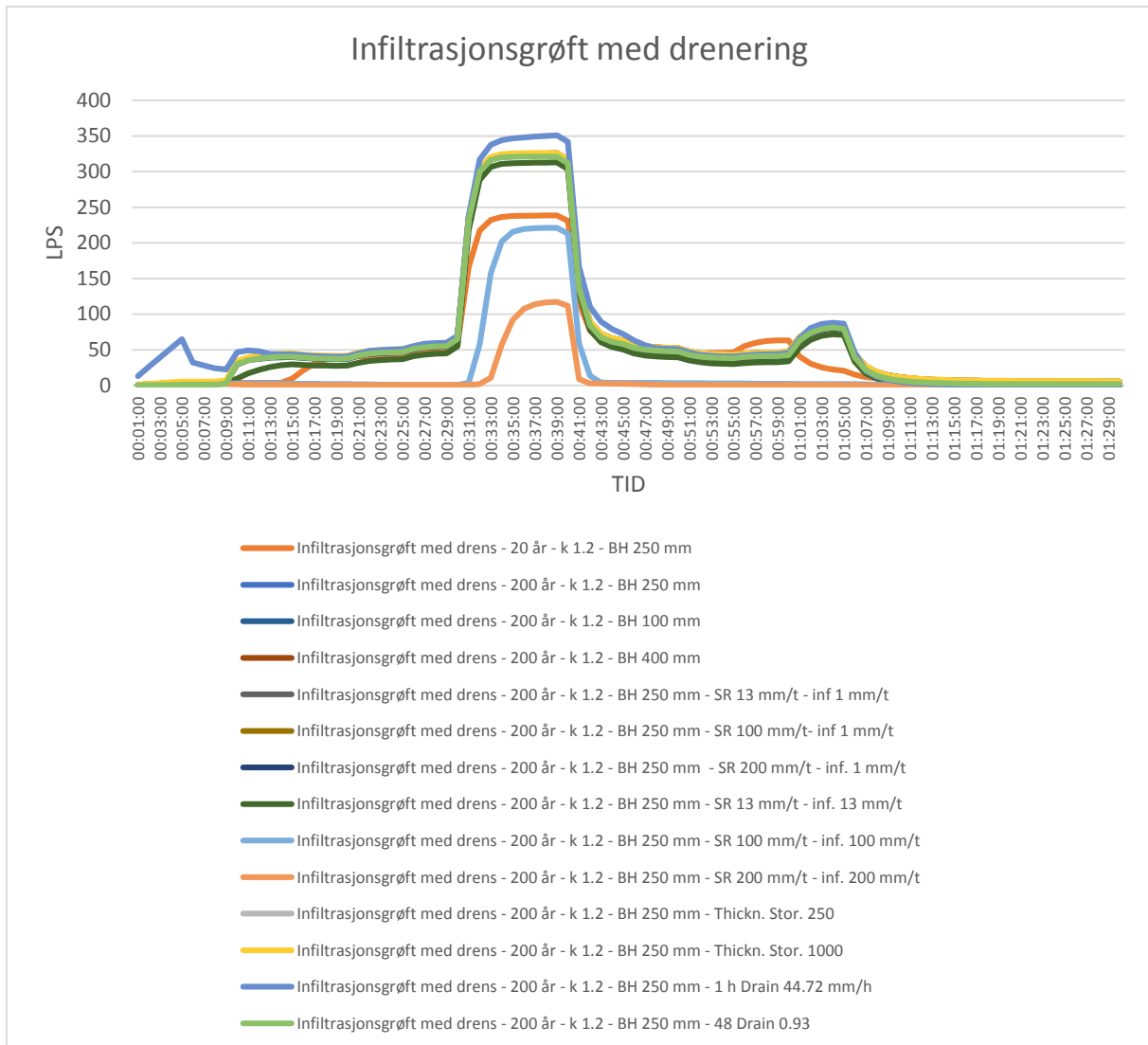
#### 4.4.12 Infiltrasjonsgrøft uten drenering



Figur 4.4.14. Figuren viser avrenningen fra feltet med Bio-Retention Cell og uten tilhørende underdrenering.

Hydrorafen fra feltet med infiltrasjonsgrøft uten drenering viser at resultatene er tilnærmet identiske med resultatene fra BRC uten drenering.

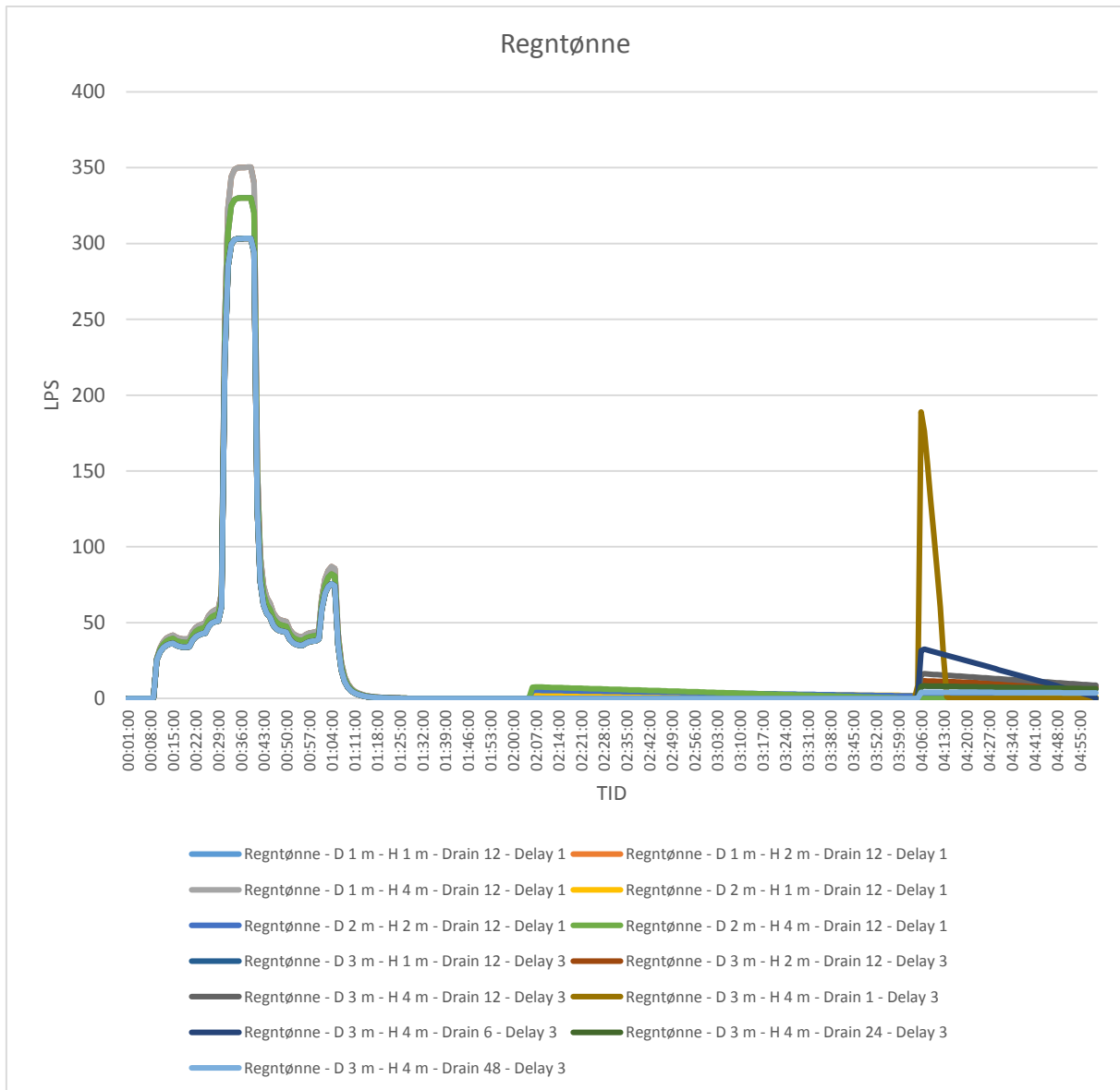
#### 4.4.13 Infiltrasjonsgrøft med drenering



Figur 4.4.15. Figuren viser avrenningen fra feltet med Bio-Retention Cell og med tilhørende underdrenering.

Hydrografen fra feltet med infiltrasjonsgrøft med drenering viser at resultatene er tilnærmet identiske med resultatene fra BRC med drenering, men med noe høyere toppintensitet siden infiltrasjonsgrøften ikke har noe jordlag over som bidrar til å lagre vann.

#### 4.4.14 Regntønne

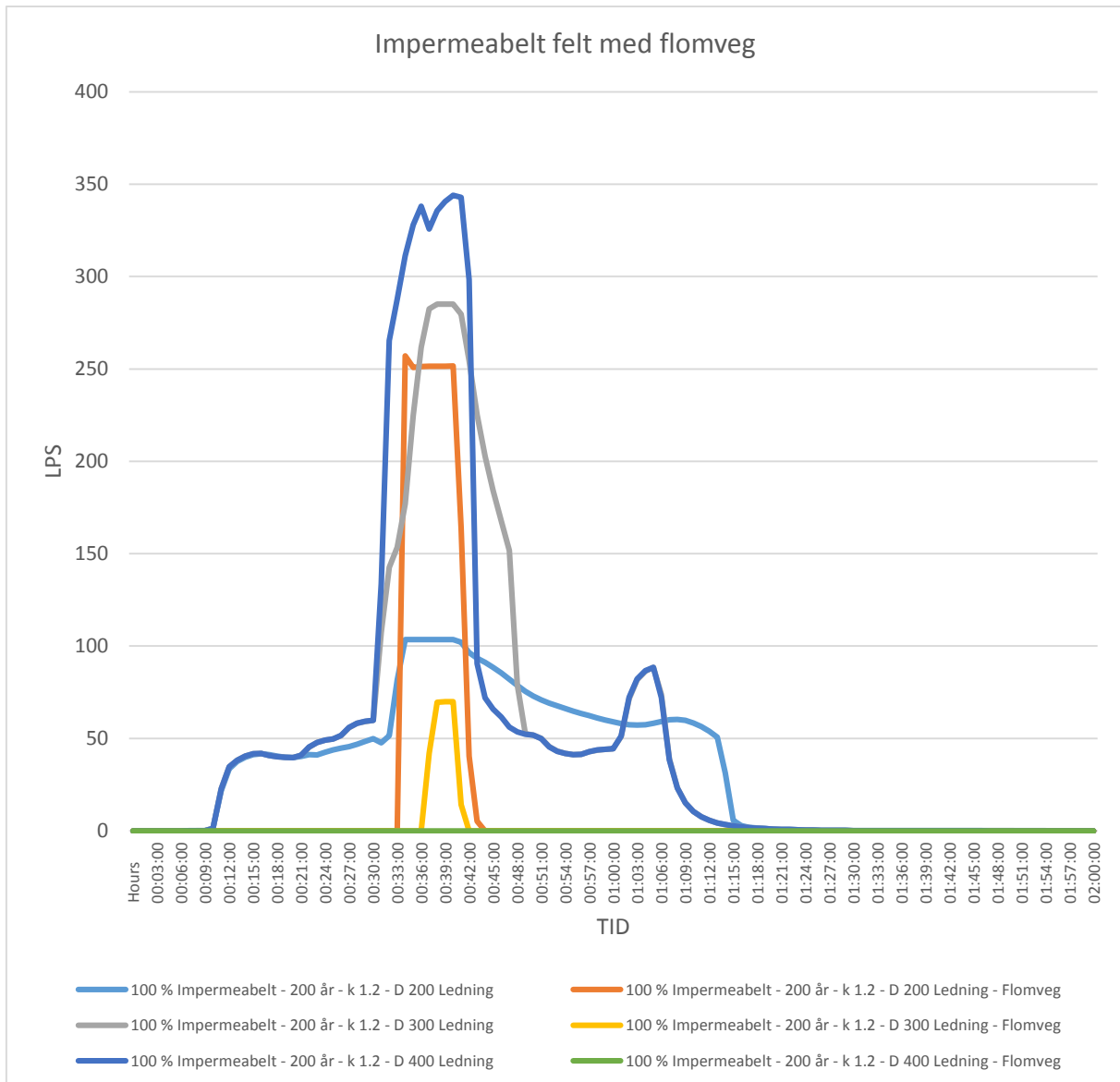


Figur 4.4.16. Figuren viser avrenningen fra feltet med regntønner.

Hydrografen for feltet med regntønner viser at bidraget fra regntønnene er svært begrenset, selv om regntønnene blir enormt store. Her er de minste regntønnene 1 m i diameter og 1 m høye, og de største er 3 m i diameter og 4 m høye. I dette tilfellet har ikke høyden noe innvirkning på resultatet, høyden burde hatt stor innvirkning på resultatet siden denne øker kapasiteten betydelig.

Hydrografen viser også hvor stor og rask avrenningen fra avløpet er i forhold til dreneringstid og høyde.

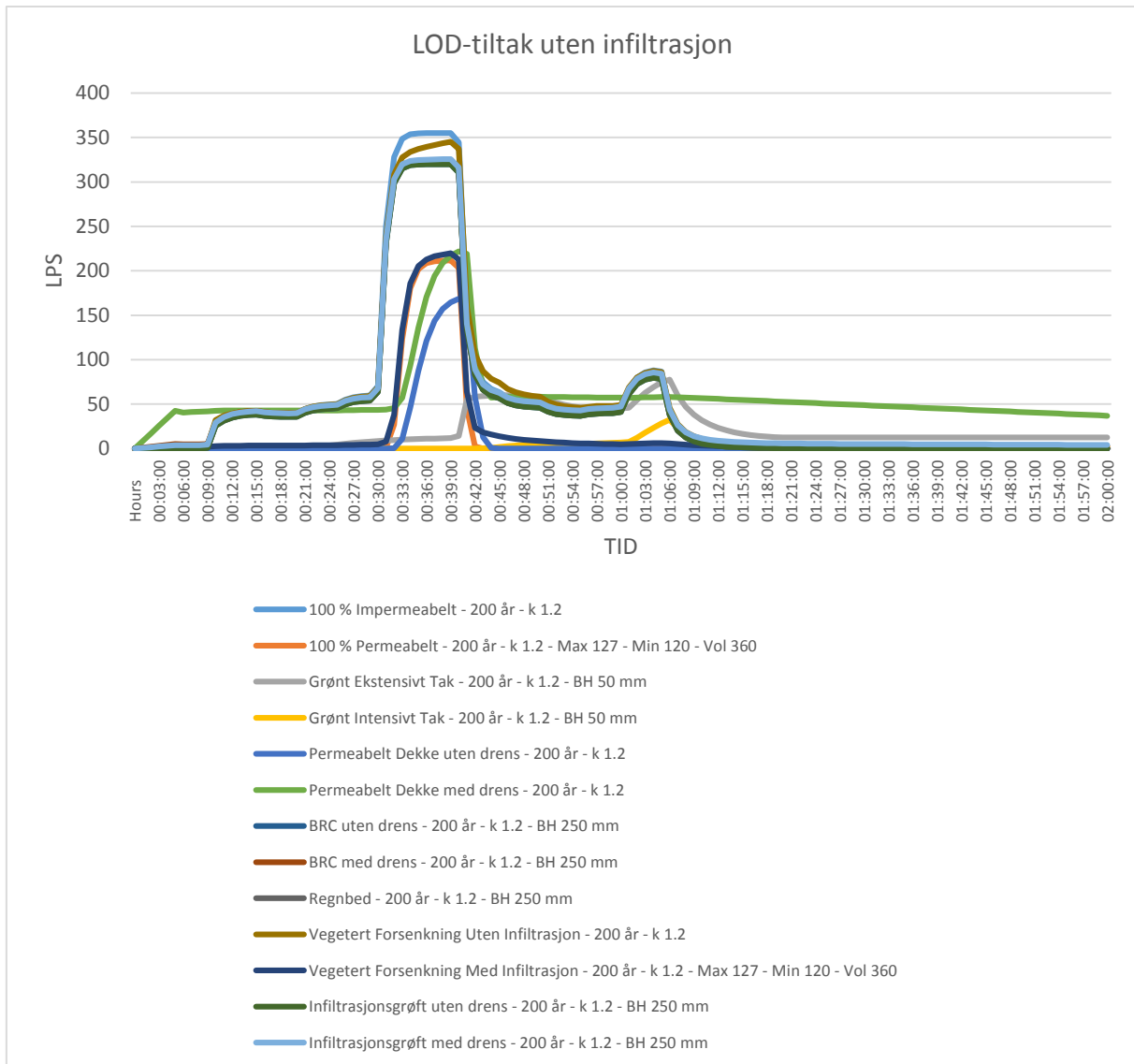
#### 4.4.15 Impermeabelt felt med flomveg



Figur 4.4.17. Figuren viser avrenningen fra det impermeable feltet med ledninger og flomveg.

Hydrografen fra feltet med ledning og flomveg viser sammenhengen mellom mengdene som renner av på overflaten og hvor mye ledningene har kapasitet til å håndtere. Grafen viser at toppintensiteten blir større når store ledninger benyttes uten at kapasiteten til flomvegene blir benyttet.

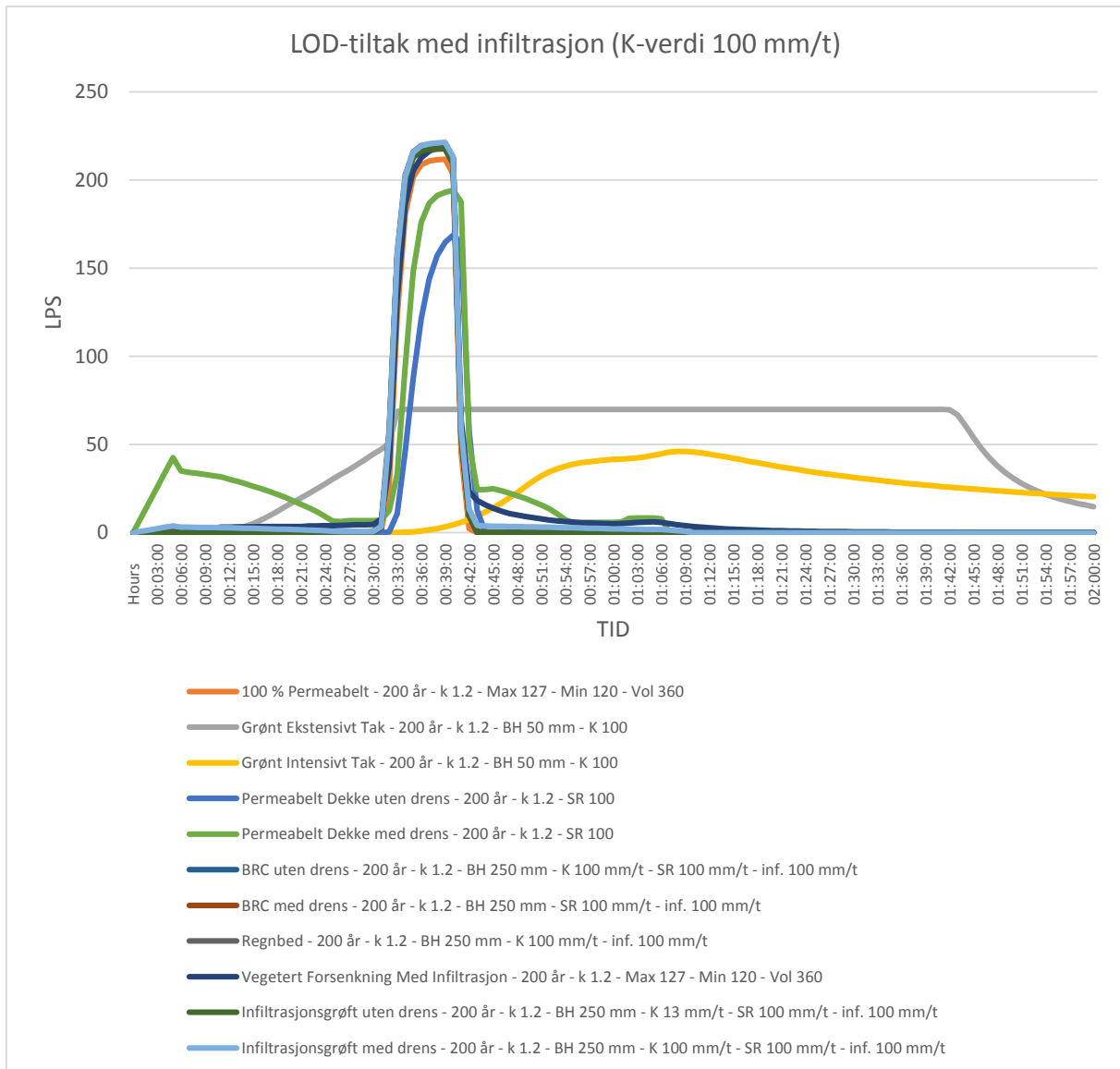
#### 4.4.16 LOD-tiltak uten infiltrasjon



Figur 4.4.18. Figuren viser avrenningen fra det impermeable feltet med ulike typer LOD-tiltak uten infiltrasjon.

Hydrografene fra feltet med de ulike LOD-tiltakene sett opp mot hverandre viser at effekten fra de permeable dekkene er betydelig i forhold til de andre LOD-tiltakene når de andre LOD-tiltakene er omgitt av grunnforhold med lav hydraulisk ledningsevne.

#### 4.4.17 LOD-tiltak med infiltrasjon



Figur 4.4.19. Figuren viser avrenningen fra det impermeable feltet med ulike typer LOD-tiltak med infiltrasjon.

Hydrografene fra feltet med de ulike LOD-tiltakene sett opp mot hverandre viser at effekten fra de permeable dekkene fortsatt er bedre i forhold til de andre LOD-tiltakene når de andre LOD-tiltakene er omgitt av grunnforhold med anbefalt hydraulisk ledningsevne, men toppintensiteten på avrenningen er betydelig redusert for alle LOD-tiltakene.

## 4.5 Diskusjon. Korttids nedbør eller langtidssnedbør.

For beregninger og analyser av LOD-tiltak med infiltrasjon i SWMM vil det være aktuelt med langtidssimuleringer siden infiltrasjonskapasiteten er avhengig av tørrværsoppholdet siden sist regnhendelse.

For å kunne ta hensyn til tidligere nedbørshendelser i SWMM er det også nødvendig å modellere grunnvannet, ellers vil infiltrasjonskapasiteten være uten begrensninger siden det ikke er noe grunnvannsmagasin (akvifer) som blir fullt. Hvor mye vann som kan infiltreres er kun avhengig av den hydrauliske ledningsevnen når grunnvannsmagasinet ikke modelleres, og dette samstemmer ikke med infiltrasjon i naturen. Ved langtidssimuleringer kan infiltrasjonskapasiteten være begrenset av tidligere nedbørshendelser. Dersom langtidssimuleringer gjennomføres bør det også vurderes å ta hensyn til evapotranspirasjon og vektlegge virkningen av feltkapasitet, visnepunkt, kapillærkrefter i større grad. Dette er ikke parametre som er av stor betydning på resultatet når enkelthendelser simuleres og er heller ikke vektlag i beregningene som er gjort i denne sammenheng.

Det ble først gjort beregninger uten å ta hensyn til infiltrasjonsevnen til selve avrenningsfeltene, og da var infiltrasjonsevnen fraværende. Dette var noe uventet da alle LOD-tiltakene har egne parametre for hydraulisk ledningsevne (K), perkolasjon (SR), lagringskapasitet, porøsitet osv., og det ville vært forventet at disse hadde større påvirkning på resultatet.



## 5 Konklusjon og anbefalinger for vegen videre

Det har vært en utfordrende oppgave siden det er utarbeidet få vegledere og generelt lite informasjon om infiltrasjon og modellering som er beregnet på bruk til modellering av LOD-tiltak Norge.

Informasjonen som finnes om infiltrasjon er mangelfull og uoversiktlig, med vekslende terminologi og en mengde enheter og koeffisienter som gjør det krevende å forholde seg til. Selv om overvannet skal håndteres etter en treleddsstrategi hvor det første leddet er infiltrasjon, er det lite som binder den viktige hydrogeologien opp mot avløpsanlegg og håndtering av overvann. Det er laget en egen vegleder for infiltrasjon til mindre avløpsanlegg (Mæhlum, et al., 2010), en tilsvarende vegleder kunne vært utformet for infiltrasjon av overvann. Veglederen kunne med fordel hatt retningslinjer for infiltrasjonsevne, infiltrasjonskapasitet og definert en entydig terminologi og et utvalg av relevante enheter for bruk i praksis.

Det er heller ikke mye tilgjengelig informasjon om modellering av avløpsanlegg, LOD-tiltak og modelleringspraksis generelt. Utover rapporten fra 1987, Avløpsberegninger med EDB (Lindholm, 1987), er det utarbeidet lite om modellering og simuleringer i etterkant. I denne rapporten gis det en rekke argumenter for bruk av modeller og simuleringer i planleggingsarbeidet, som f. eks. at en tvinges til å systematisere grunnlagsdatene, banale regnefeil unngås, beregningene blir dokumentert, beregningene kan utføres raskt, beregningene kan lett gjentas, langtidssimuleringer kan gjennomføres og kompliserte ledningssystemer kan analysere relativt nøyaktig for å nevne noen av argumentene. Det vil også være svært lite hensiktsmessig, om ikke umulig, å beregne avløpssystem som kombinerer infiltrasjon, tradisjonelle ledningssystem og flomveger uten å benytte beregningsprogram som SWMM eller lignende. Spesielt om disse beregningene skal gjøres over lengre tidsperioder, som kan være aktuelt når grunnvannsnivået i perioder kan være høyt.

Det kan i fremtiden, som vegen videre, vurderes å utarbeide egne vegledere for infiltrasjon av overvann og flere vegledere for bruk av modelleringsprogram som SWMM og tilsvarende i planleggingsarbeidet, gjerne med fokus på å relatere aktuelle parametre til terminologi benyttet i Norge og vegledende eksempler på aktuelle parametre.

## 6 Bekjennelser

Oppgaven er skrevet med begrensede forhåndskunnskaper i hydrogeologi, modellering (SWMM) og oppbygning av tiltak for lokal overvannsdiskonering. Det har vært begrenset med tid tilgjengelig til å videreutvikle kompetansen innefor disse områdene, gjennomføre beregninger og skrive selve oppgaven, valg og vurderinger gjort i oppgaven bærer preg av dette. Særlig beregningene og analysene er gjort på et svært begrenset tidsrom, og var i utgangspunktet tiltenkt å være mer knyttet opp mot den aktuelle reguleringsplanen. I stedet er beregningene gjort med fokus på å demonstrere hvordan LOD-tiltakene fungerer i SWMM. I og med beregningene er gjort på et svært begrenset tidsrom kan dette også ha påvirket kvaliteten, da det er mange parametre som skal tas hensyn til ved modellering av de ulike LOD-tiltakene, og analysene kan fremstå som noe overfladisk.

## 7 Referanser

- Asplan Viak, 2012. *Havneparken - teknisk plan*, Stavanger: Asplan Viak AS.
- Braskerud, B. C., 2014. *Grønne tak og styrtregn*, Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Braskerud, B. C., Kihlgren, K. S., Saksæther, V. & Bjerkholt, J., 2012. Hydrologisk testing av regnbed for bruk som LOD-tiltak i småhusbebyggelse. *VANN*, 1 4, pp. 490-503.
- Brødrene Dahl, 2014. *VA-konsept GRØNNE TAK*. s.l.:Brødrene Dahl.
- BYGGBASEN, 2015. *Takcentrum Sverige AB > Tätskikt för gröna tak*. [Internett]  
Available at: [http://www.byggbasen.com/prod/tatskikt\\_for\\_grona\\_tak/2087.html](http://www.byggbasen.com/prod/tatskikt_for_grona_tak/2087.html)  
[Funnet 2 5 2015].
- Bøyum, Å. et al., 1997. *Anvendt Urbanhydrologi*, Oslo: NVE Norges Vassdrags- og Energiverk .
- COWI, 2013. *På lag med regnet - Veileder for lokal overvannshåndtering*, s.l.: Rogaland Fylkeskommune / Jæren Vannområde.
- COWI, 2014. *Metoder For Beregning Av Klimafaktor For Fremtidig Nedbørsintensitet*, s.l.: Miljødirektoratet.
- Dagestad, A., Hansen, L. & Braathe, A., 2003. *Hydrauliske egenskaper i løsmasser og i fjell sett i sammenheng med EU-direktivet for deponering av avfall*, Trondheim: Norges Geologiske Undersøkelser.
- Dalen, T., 2012. *Hydrologisk dimensjonering av regnbed i kaldt klima*. 1 red. Trondheim: NTNU, Institutt for vann og miljøteknikk.
- DiBK, 2011. *Veiledning om tekniske krav til byggverk*. s.l.:Direktoratet For Byggkvalitet.
- Drange, H., Marzeion, B., Nesje, A. & Sorteberg, A., 2007. *Bjerknes Centre for Climate Change*. [Internett]  
Available at: <http://www2.bjerknes.uib.no/pages.asp?kat=2&id=1392&lang=1>  
[Funnet 1 5 2015].
- DSB, 2011. *Håndtering av HAVNIVÅSTIGNING i kommunal planlegging*, Tønsberg: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.
- Endresen, S., 2009. *Overflateinfiltrasjon*, s.l.: VA - Miljø Blad Nr. 92.
- Englund, J. O. & Haldorsen, S., 2001. *Grunnvann*. Ås: Institutt for jord- og vannfag Norges Landbrukshøgskole.

Friborg, T. et al., 2013. *Repetisjonshefte VANN200*. [Internett]

Available at: [http://student.umb.no/~torbfr/rephefte\\_vann200.pdf](http://student.umb.no/~torbfr/rephefte_vann200.pdf)

[Funnet 25 4 2015].

Fylkesmannen i Rogaland, 2011. *Klimatilpasning i Rogaland. Vedlegg 2 FylkesROS Rogaland: BETRE FØRE VAR...*, Stavanger: Fylkesmannen i Rogaland.

Gironas, J., Roesner, L. A. & Davis, J., 2009. *Storm Water Management Model Applications Manual*. 1 red. Fort Collins: EPA, United States Environmental Protection Agency.

Huber, W. C., 1988. *Storm Water Management Model Version 4*. 2 red. Corvallis: EPA, United States Environmental Protection Agency.

Ingeniøren, 2015. *Grønne tage bringer naturen ind i byen*. [Internett]

Available at: <http://ing.dk/artikel/gronne-tage-bringer-naturen-ind-i-byen-132649>

[Funnet 2 5 2015].

INSTALACJA , 2015. <http://instalacja.pl/start>. [Internett]

Available at: <http://instalacja.pl/oferta/2,7,48/system-skrzynek-wavin-q-bic>

[Funnet 29 4 2015].

Interpave , 2010. *Permeable Dekker*. 6 red. s.l.:Interpave - The Precast Concrete Paving and Kerb Association.

Kommunal- og moderniseringdepartementet, 2014. *Blågrønn faktor - verktøy for å sikre kvalitet i uterom*. [Internett]

Available at: <https://www.regjeringen.no/nb/tema/kommuner-og-regioner/by--og-stedsutvikling/framtidensbyer/aktuelt-2/nyhetsarkiv/Blagronn-faktor---verktoy-for-a-sikre-kvalitet-i-uterom/id753823/>

[Funnet 19 2 2015].

Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2014. *Om Framtidens Byer*. [Internett]

Available at: <https://www.regjeringen.no/nb/tema/kommuner-og-regioner/by--og-stedsutvikling/framtidensbyer/om-framtidens-byer/id548028/>

[Funnet 11 2 2015].

Leland, T., 2013. *Gresskledde vannveger i norsk klima*. 1 red. Trondheim: NTNU, Institutt for vann- og miljøteknikk.

Lindholm, O., 1987. *Avløpsnettberegninger med EDB*, Oslo: Norsk institutt for vannforskning NIVA.

Lindholm, O., 2007. *Klimatilpasninger - Veiledning om mulige tiltak i avløpsanlegg*, Oslo: Statens forurensningstilsyn.

Lindholm, O., 2014. *Introduction to USEPA SWMM, THT 300 - 2014*. Ås: NMBU.

Lindholm, O., 2014. *Om matematiske modeller for beregning av urbane avløpssystemer, THT 300*. Ås: NMBU.

Lindholm, O., Endresen, S., Smith, B. T. & Thorolfsson, S., 2012. *Norsk Vann Rapport 193: Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem*, Hamar: Norsk Vann BA.

Lindholm, O. et al., 2008. *Norsk Vann Rapport 162: Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*, Hamar: Norsk Vann BA.

Lindholm, O. et al., 2008. *Norsk Vann Rapport 162: Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering - Vedlegg 1 Beskrivelse av anlegg for lokal overvannsdiskonering (LOD)*, Hamar: Norsk Vann BA.

Lindholm, O. et al., 2008. *Norsk Vann Rapport 162: Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering: Vedlegg 6, Beregningsmetoder og datagrunnlag*, Hamar: Norsk Vann BA.

McCuen, R. H., Johnson, P. A. & Ragan, R. M., 2002. *Highway Hydrology*, Arlington: Federal Highway Administration.

Meteorologisk Institutt, 2015. *eKlima*. [Internett]  
Available at: <http://eklima.met.no>  
[Funnet 27 1 2015].

Miljøverndepartementet, 2008. *Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven 2008)*. s.l.:Lovdata.

Multiblokk, 2015. *Inspirerte uterom*. Sandnes: Multiblokk.

Mæhlum, T., Køhler, J. C., Jenssen, P. D. & Hensel, G. R., 2010. *Norsk Vann Rapport 178: Grunnundersøkelser for infiltrasjon - mindre avløpsanlegg*. Hamar: Norsk Vann BA.

National Geographic Norge, 2015. *Grønne tak blomstrer i verdens storbyer*. [Internett]  
Available at: <http://natgeo.no/folk-og-kultur/byer/gronne-tak-blomstrer-i-verdens-storbyer>  
[Funnet 2 5 2015].

NGU, 2006. *Grunnvann i Norge*. [Internett]  
Available at: [http://www.grunnvann.no/top\\_ordbok.php](http://www.grunnvann.no/top_ordbok.php)  
[Funnet 16 Mars 2015].

NGU, 2015. *Norges Geologiske Undersøkelser*. [Internett]

Available at: <http://geo.ngu.no/kart/minkommune/>

[Funnet 2 2 2015].

NOU, 2010. *Tilpassing til eit klima i endring*, Oslo: Miljøverndepartementet.

Oslo Åpne Hus, 2015. *Oslo Åpne Hus*. [Internett]

Available at: <http://www.osloåpnehus.no/?portfolio=1364-nansenparken>

[Funnet 29 4 2015].

Paus, K. H., 2015. *Stormwater Management Using Infiltration Practices - The Functioning and Design og Bioretention Cells*. s.l.: COWI / IVM, NTNU.

Paus, K. H. & Braskerud, B. C., 2013. *Anlegging av regnbed. En billedkavalkade over 4 anlagte regnbed*, Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.

Paus, K. H. & Braskerud, B. C., 2013. Forslag til Dimensjonering og Utforming av Regnbed for Norske Forhold. *VANN*, 1 1, pp. 54-67.

Rambøll, 2015. *Risikoakseptkriterier For Overvannsflom og Dimensjonerende Nedbør (Utredning)*, s.l.: Miljødirektoratet.

RegClim, 2005. *Norges klima om 100 år, Usikkerheter og risiko*, s.l.: RegClim.

Rossman, L. A., 2006. *Storm Water Management Model Quality Assurance Report: Dynamic Wave Flow Routing*, Cincinnati: EPA, United States Environmental Protection Agency.

Rossman, L. A., 2010. Modeling Low Impact Development Alternatives with SWMM. *JOURNAL OF WATER MANAGEMENT MODELING*, pp. 167-182.

Rossman, L. A., 2010. *SWMM Knowledge Base - Consistent units to groundwater flow coefficients*. [Internett]

Available at: <https://www.openswmm.org/Topic/4112/consistent-units-to-groundwater-flow-coefficients>

[Funnet 15 4 2015].

Rossman, L. A., 2011. *SWMM Knowledge Base - Conductivity Slope*. [Internett]

Available at: <https://www.openswmm.org/Topic/4312/conductivity-slope-parameter-in-lid-soil-layer-and-aquifer>

[Funnet 12 4 2015].

Rossman, L. A., 2011. *SWMM Knowledge Base - Volume Fraction*. [Internett]

Available at: <https://www.openswmm.org/Topic/4297/lid-vegetative-cover-fraction-and->

continuity-error

[Funnet 12 4 2015].

Rossmann, L. A., 2014. *National Stormwater Calculator User's Guide - Version 1.1*. 1 red. Cincinnati: EPA, United States Environmental Protection Agency.

Rossmann, L. A., 2015. *SWMM Knowledge Base - Tension Slope*. [Internett]

Available at: <https://www.openswmm.org/Topic/4745/aquifer-tension-slope-parameter>

[Funnet 14 4 2015].

Rossmann, L. A., 2010. *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0*. 2 red. s.l.:EPA, United States Environmental Protection Agency.

Saksæther, V. & Kihlgren, K. S., 2012. *Regnbed Som Tiltak For Overvannshåndtering i Småhusbebyggelse*, Ås: Universitetet for Miljø og Biovitenskap, Institutt for Matematiske Real FAG og Teknologi.

Sandnes kommune, 2012. *Norsk VA-norm, Sandnes, Vedlegg 9 Overvannshåndtering*.

[Internett]

Available at: <http://va-norm.no/VA-norm/Kommuner/Sandnes>

[Funnet 17 2 2015].

Sandnes kommune, 2014. *Kvalitetsprogram for detaljregulering innenfor områdeplan 2009 116 - Sandnes indre havn - Havneparken*, Sandnes: Sandnes kommune.

Sandnes kommune, 2015. *Sandnes kommune*. [Internett]

Available at: <https://www.sandnes.kommune.no/>

[Funnet 11 2 2015].

Sandnes Tomteselskap, 2015. *Sandnes Havnepark*. [Internett]

Available at: <http://www.sandnes-tomteselskap.no/sentrums-prosjekter/havneparken-sandnes/>

[Funnet 22 2 2015].

Sekse, T., 2012. *Norsk Vann Rapport 190: Klimatilpasningstiltak innen vann og avløp i kommunale planer*, Hamar: Norsk Vann BA.

Skjæveland Cementstøperi AS, 2015. *Skjæveland*. [Internett]

Available at: <http://www.skjæveland.no/newsread/index.aspx>

[Funnet 22 3 2015].

SoilandWater, 2010. *Soil and water*. [Internett]

Available at: <http://www.aardappelpagina.nl/explorer/pagina/pictures/pfcurvey.jpg>

[Funnet 25 4 2015].

Stahre, P., 2006. *Sustainability in Urban Storm Drainage*. Stockholm: Svensk Vatten.

Stange, R. et al., 2014. *Blågrønn faktor Veileder byggesak*. Oslo: Framtiden Byer.

Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2012. *Håndbok R761 - Prosesskode 1 - Standard beskrivelsestekster for vegkontrakter - Hovedprosess 1 - 7*. Oslo: Statens vegvesen.

Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2014. *Håndbok N200 Vegbygging*, Oslo: Statens vegvesen, Vegdirektoratet.

Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2014. *Håndbok V220 - Geoteknikk i vegbygging*. 6 red. Oslo: Statens vegvesen, Vegdirektoratet.

Stavanger / Sandnes, 2009. *Handlingsprogram 2009 - 2013, Framtidens Byer*, Stavanger / Sandnes: Stavanger / Sandnes.

Stavanger kommune, 2011. *Klima-GIS*. [Internett]

Available at: <http://www.klimagis.no/wip4/>

[Funnet 22 2 2015].

Sæterbø, E. et al., 2010. *Vassdragshåndboka*. 2 red. Trondheim: Tapir Akademisk Forlag.

The Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 1998. *Stream Corridor Restoration, Principles, Processes, and Practices*. 2 red. s.l.:s.n.

Thorolfsson, S. T., 2012. *Overvannsteknologi*. 2 red. Trondheim: Institutt for vann og miljøteknikk, NTNU.

Tollan, A., 2002. *Vannressurser*. 1 red. Oslo: Universitetsforlaget.

Tonning, L. & Langeland, A., 2008. *BIB480 - 1 Urban Transformasjon*. [Internett]

Available at:

[http://www5.uis.no/studiebok09/Emner.aspx?id=BIB480\\_1&lang=BOKM%C3%85L](http://www5.uis.no/studiebok09/Emner.aspx?id=BIB480_1&lang=BOKM%C3%85L)

[Funnet 19 Februar 2015].

Ukjent, 2015. *Minskad vattenanvändning*. [Internett]

Available at: <http://www.urban-ecotech.org/minskad%20vattenanvandning.htm>

[Funnet 2 5 2015].

USDA, 1993. *Soil Survey Manual*. 3 red. s.l.:United States Department of Agriculture.

USDA, 2008. *Soil Quality Indicators*, Ukjent: USDA Natural Resources Conservation Service.



Vagle, O. A., 2012. Vann i BY - havstigning og ekstremnedbør. *Kommunalteknikk*, Issue 11, pp. 21-23.

Vagle, O. A., 2015. *Klimautfordringer - overvann i Sandnes*. Oslo: Sandnes kommune.

Vasskog, K., Drange, H. & Nesje, A., 2009. *Havnivåstigning, Estimater av framtidig havnivåstigning i norske kystkommuner*, s.l.: Det nasjonale klimatilpasningssekretariatet ved Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.

Vatn, J., 2011. *KlimaROS, Metodiske tilnærminger og eksempelstudier*, Trondheim: SINTEF Teknologi og samfunn.

Veg Tech, 2015. *Sedumtak - Grønne Tak*. [Internett]

Available at: <http://www.vegtech.no/gronne-tak--lokk-og-gardsrom/sedumtak--gronne-tak/>  
[Funnet 15 2 2015].

Vista Analyse AS / COWI, 2015. *Kostnader og nytte ved overvannstiltak*, s.l.: Miljødirektoratet.

Wikipedia, 2013. *Hydraulisk konduktivitet*. [Internett]

Available at: [http://da.wikipedia.org/wiki/Hydraulisk\\_konduktivitet](http://da.wikipedia.org/wiki/Hydraulisk_konduktivitet)  
[Funnet 9 3 2015].

Wikipedia, 2015. *Hydraulic Conductivity*. [Internett]

Available at: [http://en.wikipedia.org/wiki/Hydraulic\\_conductivity](http://en.wikipedia.org/wiki/Hydraulic_conductivity)  
[Funnet 15 4 2015].

Wikipedia, 2015. *Permeabilitet*. [Internett]

Available at: [http://no.wikipedia.org/wiki/Permeabilitet\\_%28geologi%29](http://no.wikipedia.org/wiki/Permeabilitet_%28geologi%29)  
[Funnet 3 25 2015].

Wikipedia, 2015. *Permeability*. [Internett]

Available at: [http://en.wikipedia.org/wiki/Permeability\\_%28earth\\_sciences%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Permeability_%28earth_sciences%29)  
[Funnet 15 4 2015].

Wikipedia, 2015. *Sandnes*. [Internett]

Available at: <http://no.wikipedia.org/wiki/Sandnes>  
[Funnet 11 2 2015].

Ødegaard, H. et al., 2012. *Vann- og avløpsteknikk*. 1 red. Hamar: Norsk Vann.

## 8 Vedlegg

## 8.1 Vedlegg A: Hydraulisk ledningsevne og diverse jordartsparmetre for bruk i SWMM.



## 8.2 Vedlegg B: Tabeller for dreneringskoeffisienter ved ulike dybder.

D (mm) = 100	
C (mm/t)	Time (t)
20.00	1
10.00	2
6.67	3
3.33	6
2.22	9
1.67	12
1.11	18
0.83	24
0.56	36
0.42	48

D (mm) = 200	
C (mm/t)	Time (t)
28.28	1
14.14	2
9.43	3
4.71	6
3.14	9
2.36	12
1.57	18
1.18	24
0.79	36
0.59	48

D (mm) = 300	
C (mm/t)	Time (t)
34.64	1
17.32	2
11.55	3
5.77	6
3.85	9
2.89	12
1.92	18
1.44	24
0.96	36
0.72	48

D (mm) = 400	
C (mm/t)	Time (t)
40.00	1
20.00	2
13.33	3
6.67	6
4.44	9
3.33	12
2.22	18
1.67	24
1.11	36
0.83	48

D (mm) = 500	
C (mm/t)	Time (t)
44.72	1
22.36	2
14.91	3
7.45	6
4.97	9
3.73	12
2.48	18
1.86	24
1.24	36
0.93	48

D (mm) = 600	
C (mm/t)	Time (t)
48.99	1
24.49	2
16.33	3
8.16	6
5.44	9
4.08	12
2.72	18
2.04	24
1.36	36
1.02	48

D (mm) = 700	
C (mm/t)	Time (t)
52.92	1
26.46	2
17.64	3
8.82	6
5.88	9
4.41	12
2.94	18
2.20	24
1.47	36
1.10	48

D (mm) = 800	
C (mm/t)	Time (t)
56.57	1
28.28	2
18.86	3
9.43	6
6.29	9
4.71	12
3.14	18
2.36	24
1.57	36
1.18	48

D (mm) = 900	
C (mm/t)	Time (t)
60.00	1
30.00	2
20.00	3
10.00	6
6.67	9
5.00	12
3.33	18
2.50	24
1.67	36
1.25	48

D (mm) = 1000	
C (mm/t)	Time (t)
63.25	1
31.62	2
21.08	3
10.54	6
7.03	9
5.27	12
3.51	18
2.64	24
1.76	36
1.32	48

D (mm) = 2000	
C (mm/t)	Time (t)
89.44	1
44.72	2
29.81	3
14.91	6
9.94	9
7.45	12
4.97	18
3.73	24
2.48	36
1.86	48

D (mm) = 4000	
C (mm/t)	Time (t)
126.49	1
63.25	2
42.16	3
21.08	6
14.05	9
10.54	12
7.03	18
5.27	24
3.51	36
2.64	48

### 8.3 Vedlegg C: Reguleringsplanen til Sandnes Havnepark

**Områderegulering for Sandnes indre havn.**

Endring til plan nr.:

**Tegnforklaring:**

Reguleringsplan-Begyggelse og anlegg (PBL2008 §12-5 NR.1)

- Sentrumsformål
- Næringsbygging
- Bolig/forretning/kontor
- Begyggelse og anleggsformål kombinert med andre angitte hovedformål

Reguleringsplan-Samferdselsanlegg og teknisk infrastruktur (PBL2008 §12-5 NR.2)

- Samferdselsanlegg og teknisk infrastruktur (arealer)
- Kjøreveg
- Fortau
- Gangveg
- Sykkelveg/-felt
- Annen veggrunn - grøntareal
- Trase for jernbane
- Havn

Reguleringsplan-Grønnstruktur (PBL2008 §12-5 NR.3)

- Park

Reguleringsplan- Bruk og vern av sjø og vassdrag (PBL2008 §12-5 NR.6)

- Havneområde i sjø
- Småbåthavn

Reguleringsplan-Hensynsoner (PBL2008 §12-6)

- Sikringsone - Friskt
- Angitthensynsone - Bevaring kulturmiljø

Reguleringsplan-Juridiske linjer og punkt PBL2008

- Sikringsongrense
- Angitthensyngrense

Reguleringsplan-Felles for PBL 1985 og 2008

- Planens begrensning
- Formålsgrense
- Byggegrense
- Regulert senterlinje
- Frisiktslinje
- Regulert kant kjørebane
- Regulert kjørefelt
- Regulert støttemur
- Målelinje/Avstandslinje
- Avkjørsel

Reguleringsplan-Felles for PBL 1985 og 2008

- Planens begrensning
- Formålsgrense
- Byggegrense
- Regulert senterlinje
- Frisiktslinje
- Regulert kant kjørebane
- Regulert kjørefelt
- Regulert støttemur
- Målelinje/Avstandslinje
- Avkjørsel

Reguleringsplan-Felles for PBL 1985 og 2008

- Planens begrensning
- Formålsgrense
- Byggegrense
- Regulert senterlinje
- Frisiktslinje
- Regulert kant kjørebane
- Regulert kjørefelt
- Regulert støttemur
- Målelinje/Avstandslinje
- Avkjørsel

Reguleringsplan-Felles for PBL 1985 og 2008

- Planens begrensning
- Formålsgrense
- Byggegrense
- Regulert senterlinje
- Frisiktslinje
- Regulert kant kjørebane
- Regulert kjørefelt
- Regulert støttemur
- Målelinje/Avstandslinje
- Avkjørsel

Reguleringsplan-Felles for PBL 1985 og 2008

- Planens begrensning
- Formålsgrense
- Byggegrense
- Regulert senterlinje
- Frisiktslinje
- Regulert kant kjørebane
- Regulert kjørefelt
- Regulert støttemur
- Målelinje/Avstandslinje
- Avkjørsel

Revisjoner før godkjenning: 30.08.2011

Saksbehandling:

Utvalg for byutvikling, 1. gang: 11.05.2011

Utlagt til offentlig ettersyn i tidsrommet: 19.05 - 01.07.2011

Utvalg for byutvikling, 2. gang: 21.09.2011.

Bystyrets vedtak: 18.10.2011.

Mindre vesentlig endring:

Produzent / planlegger / konstruktør: Innsendt plan 1.gang: 09.02.2011

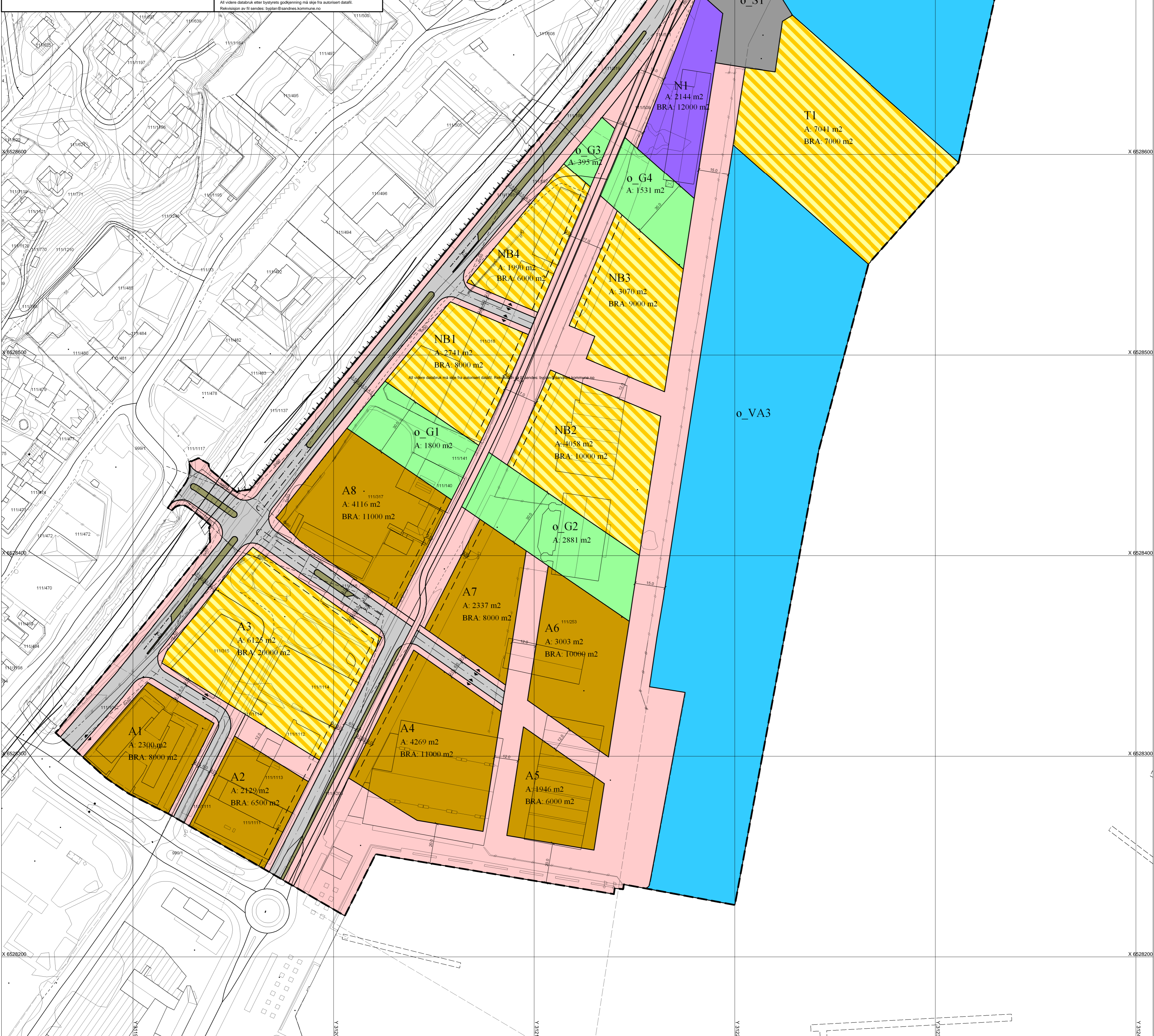
Asplan viak

Datum = EUREF89  
Kartgrunnlag FKB fra Sandnes kommune  
Ekvidistanse 1 m  
Kartmålestokk 1:1000 A1

Plan 2009 116  
Godkjent av Sandnes bystyre  
i.h.t plan- og bygn. lovens § 12-12  
Den: 18.10.2011  
Ordføreren i Sandnes

Byplansjefen i Sandnes  
Saksbehandler i Sandnes kommune: SER

All videre databakgrunn med saksbehandling må søke fra autorisert detalj.  
Revisjoner av fil sendes: byplan@sandnes.kommune.no

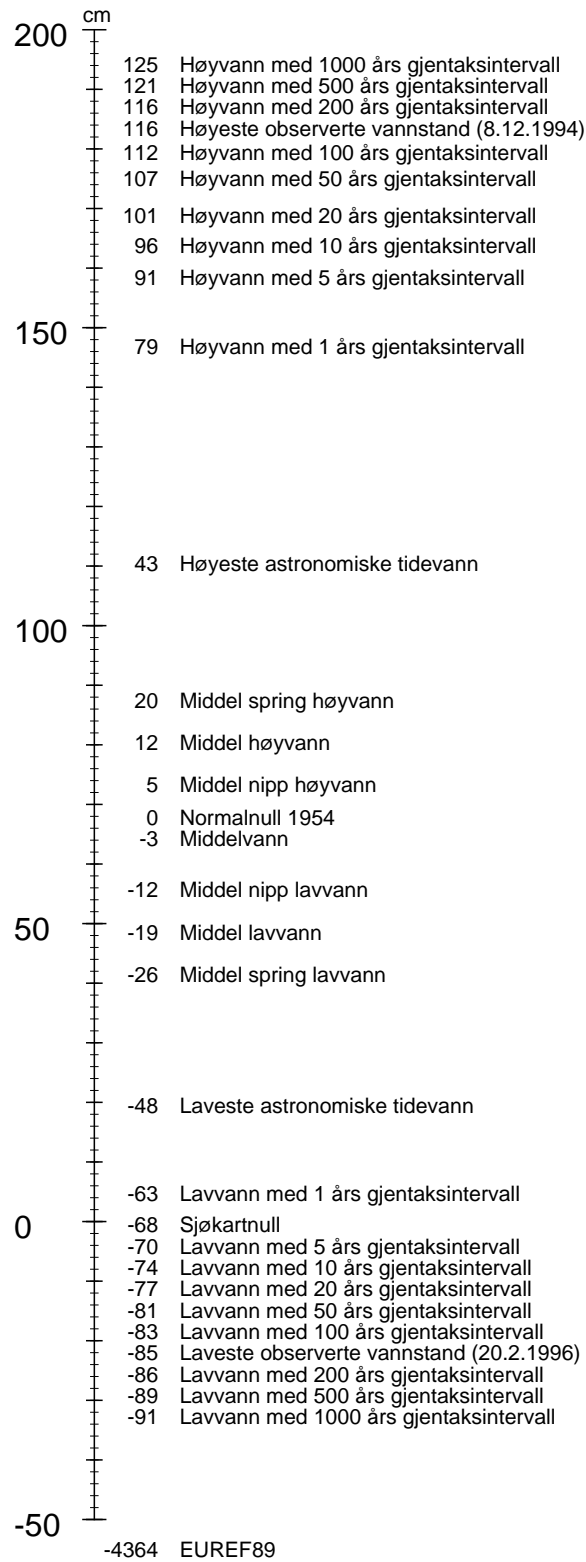




## 8.4 Vedlegg D: Vannstands nivå for Sandnes kommune



Landheving er 1,6 mm pr år.



**Høyvann med 1000 års gjentaksintervall**

Statistiske beregninger av hvor hyppig et ekstremt høyvann av en viss størrelse vil opptre. I gjennomsnitt oppnår høyvannet dette nivået en gang i løpet av gjentaksintervallet. Det betyr at et ekstremt høyvann med for eksempel 50 års gjentaksintervall i gjennomsnitt vil opptre en gang per 50 år. Gjentaksintervall kalles også returperiode.

**Høyeste observerte vannstand (8.12.1994)**

Den høyeste observerte vannstanden for denne målestasjonen. Dette er summen av tidevannet og værrets virkning (vind, lufttrykk og temperatur) på dette tidspunktet. Effekten av eventuelle vindbølger vil komme i tillegg.

**Høyeste astronomiske tidevann**

Høyeste mulige vannstand under midlere meteorologiske forhold, det vil si uten påvirkning fra blant annet vind, lufttrykk og temperatur. I praksis bestemmes HAT ved å lage tidevannstabeller for 19 år og plukke ut det høyeste tidevannet. Tidevannet har blant annet en periode på 18,6 år.

**Middel spring høyvann**

Gjennomsnittet av observerte høyvann i tiden omkring ny- eller fullmåne (springperiode). I praksis brukes harmoniske konstanter som en tilnærming. I tiden omkring ny- eller fullmåne vil tidevannsamplitudene øke siden tidevannskreftene fra sol og måne virker i samme retning. Dette fører til høyere høyvann enn ellers.

**Middel høyvann**

Gjennomsnittet av alle observerte høyvann i en periode på 19 år. Kartverket bruker middelvann pluss amplituden til den harmoniske konstituenten M2 som en god tilnærming.

**Middel nipp høyvann**

Gjennomsnittet av observerte høyvann i tiden omkring halvmåne (nipperiode). I praksis brukes harmoniske konstanter som en tilnærming. Ved halvmåne, når månen er i første eller tredje kvarter, vil tidevannsamplituden bli mindre siden tidevannskreftene fra sol og måne motvirker hverandre. Dette fører til lavere høyvann enn ellers.

**Normalnull 1954**

Nullnivå i og navn på det nasjonale høydesystemet fra 1954 som fortsatt er i bruk i Norge. Normalnull 1954 (NN1954) er også fysisk knyttet til et bestemt fastmerke ved Tregde vannstandsmåler (nær Mandal). Høyden på dette fastmerket er basert på en utjevning fra 1954 av middelvannstandsberegningene for vannstandsmålerne i Oslo, Nevlunghavn, Tregde, Stavanger, Bergen, Kjølisdal og Heimsjø. NN1954 avlases innen år 2015 av Normalnull 2000 (NN2000).

**Middelvann**

Gjennomsnittlig høyde av sjøens overflate på et sted over en periode på 19 år. Middelvann beregnes som gjennomsnittet av vannstandsobservasjoner foretatt med faste tidsintervall - fortrinnsvis over en periode på 19 år. Dagens middelvann er beregnet over perioden 1979 til 1997.

**Middel nipp lavvann**

Gjennomsnittet av observerte lavvann i tiden omkring halvmåne (nipperiode). I praksis brukes harmoniske konstanter som en tilnærming. Ved halvmåne, når månen er i første eller tredje kvarter, vil tidevannsamplituden bli mindre siden tidevannskreftene fra sol og måne motvirker hverandre. Dette fører til høyere lavvann enn ellers.

**Middel lavvann**

Gjennomsnittet av alle observerte lavvann i en periode på 19 år. Kartverket bruker middelvann minus amplituden til den harmoniske konstituenten M2 som en god tilnærming.

**Middel spring lavvann**

Gjennomsnittet av observerte lavvann omkring ny- eller fullmåne (springperiode). I praksis brukes harmoniske konstanter som en tilnærming. I tiden omkring ny- eller fullmåne vil tidevannsamplitudene øke siden tidevannskreftene fra sol og måne virker i samme retning. Dette fører til lavere lavvann enn ellers.

**Laveste astronomiske tidevann**

Laveste mulige vannstand under midlere meteorologiske forhold, det vil si uten påvirkning fra blant annet vind, lufttrykk og temperatur. I praksis bestemmes LAT ved å lage tidevannstabeller for 19 år og plukke ut det laveste tidevannet. Tidevannet har blant annet en periode på 18,6 år.

**Lavvann med 1 års gjentaksintervall**

Statistiske beregninger av hvor hyppig et ekstremt lavvann av en viss størrelse vil opptre. I gjennomsnitt når lavvannet dette nivået en gang i løpet av gjentaksintervallet. Det betyr at et ekstremt lavvann med for eksempel 50 års gjentaksintervall i gjennomsnitt vil opptre en gang per 50 år. Gjentaksintervall kalles også returperiode.

**Sjøkartnull**

Nullnivå for dybder i sjøkart og høyder i tidevannstabellen. Sjøkartnull er fra 1. januar 2000 lagt til laveste astronomiske tidevann (LAT). Langs Sørlandskysten og i Oslofjorden er tidevannsvariasjonene små i forhold til værrets virkning på vannstanden (vind, lufttrykk og temperatur). Sjøkartnull er derfor av sikkerhetsmessige grunner lagt 20 cm lavere enn LAT langs kysten fra svenskegrensen til Utsira og 30 cm lavere enn LAT i indre Oslofjord (innenfor Drøbaksundet).

**Laveste observerte vannstand (20.2.1996)**

Den laveste observerte vannstanden for denne målestasjonen. Kombinasjonen av lavt tidevann og værrets virkning (vind, lufttrykk og temperatur) kan resultere i ekstra lav vannstand.

**EUREF89**

Regional referanseramme som er knyttet til den eurasiske kontinentalplaten, slik at man kan operere med koordinater som er uavhengige av jordkorpebevegelser. EUREF89 er fra 2009 tatt i bruk i alle landets kommuner til kartlegging og annen stedfesting av data, og erstatter de tidligere referanserammene NGO1948 og ED50. Koordinatene presenteres ofte ved hjelp av kartprojeksjonen Universal Transverse Mercator (UTM).





Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
67 23 00 00  
[www.nmbu.no](http://www.nmbu.no)