



Forord

Denne masteroppgaven er en avsluttende innlevering etter endt masterstudie på min mastergrad i Vann og Miljøteknikk ved Institutt for Matematiske Realfag og Teknologi (IMT) ved Norges miljø- og biovitenskapelig universitet (NMBU). Masteroppgaven tilsvarer et semesters arbeid på 30 studiepoeng. Arbeidet med oppgaven har vært tidskrevende, spennende og meget lærerikt prosess. Resultatet er jeg stolt av å presentere her.

Oppgaven handler om å modeller nedslagsfeltet for Veumdalen og se hvordan overvannstunnelen fungerer i forskjellige nedbørsituasjoner. Gjennom arbeidet har jeg lært mye om modellerings programmet SWMM og fått en innsikt i hvordan det er å jobbe med planlegging og analysering av et nedslagsfelt.

Jeg er glad for å presentere dette arbeidet som er gjennomført i samarbeid med COWI AS avd. Fredrikstad. Jeg vil bruke anledningen til å takke min hovedveileder Jon Arne Engan for gode veiledninger og tilstedeværelsen under min masteroppgave. Jeg vil også rette takken til biveileder Sverre Olav Gjerløw fra COWI som har hjulpet meg med å finne riktig data og vært en god veileder og støtte gjennom oppgaven. Vil også gi en stor takk til Eyvind Hesselberg og Fredrikstad kommune som har bistått med innspill og grunnlagsdata som jeg har hatt stor bruk for.

Jeg vil takke familien min som har vært 100 % støttende gjennom oppgaven, spesielt min kjære kone som har vært en kjempe god støttespiller, gitt meg all den motivasjonen og for korrekturlesingen, jeg setter stor pris på alt dette.

Ås, 14. 05.2015

Jamal Haqi

Sammendrag

Fredrikstad kommune har hatt store prosjekter pågang i de siste årene i forbindelse med opprustning av ledningsnett. Oppfylte kjellere har vært en viktig tema for kommunen, og de har en intensjon om å redusere faren for oversvømmelser i utsatte steder. En av de utsatte stedene i Fredrikstad er Veumdalen som har problemer med oversvømmelser nesten hvert år. Som en forebyggende tiltak har kommunen i samarbeid med COWI bygget en tunnel fra Veumveien/Veumbekken til Seutelva. Det er planlagt å sette tunnelen i drift i løpet av første halvåret av 2015.

Tunnelen skal føre overvann fra Veumbekken til Seutelva for å unngå oppstuvning i bekken. Avlastningen reduserer faren for oppfylte kjellere i nedre del av Veumdalen. Den nye flomveien kommer til å påvirke hydrologien i hele nedbørfeltet, i den forbindelse ønsker COWI at denne masteroppgaven skal finne ut hvordan overvannstunnelen fungerer i forskjellige nedbørsituasjoner og hvordan hydrologien i nedslagsfeltet forandres.

Programmet SWMM ble brukt i denne oppgaven til å lage modellen av nedslagsfeltet og testet mot 3 forskjellige flomsituasjoner. Nedslagsfeltet ble kartlagt og eksisterende hydrologiske forhold ble beskrevet for å bygge modellen i programmet SWMM. Modellen ble kalibrert mot manuelle beregninger som er brukt i risiko analyser utført av COWI. De 3 forskjellige flomsituasjonene er:

- Sommersituasjon
- Høstsituasjon
- Vintersituasjon

I modellen ble nedbør simulert ved å konstruere regnhyetogrammer fra IVF-kurven for Fredrikstad for 25, 50 og 100 års regn, samt regntilfellet som inntraff den 14.08.2008. Modellen ble kjørt med 300 minutters regnvarighet for alle flomsituasjonen. Totalt ble modellen testet mot 16 nedbørsituasjoner. Sommersituasjonen ble testet mot 4 nedbørshendelser som tilsvarer 25, 50 og 100 års regn, og nedbøren i 14.08.2008. For simulering av høstsituasjonen ble impermeabiliteten økt med 50% og infiltrasjonskapasiteten for arealene ble redusert. Deretter ble høstsituasjonen testet mot de 4 nedbørsituasjonene. Vintersituasjonen ble simulert med to avrenningssituasjoner ved å øke modellens impermeabilitet til forholdsvis 100- og 80%. Dette betyr at vi får 100 og 80 % frossen mark for vintersituasjonen noe som er i overdrevet i forhold til virkeligheten. Resultatene for sommer- og høstsituasjonen viste at overvannstunnelen kommer til å fungere utmerket i alle nedbørsituasjonene. Resultatene for vintersituasjonen viste at overvannstunnelen kommer til å redusere faren for oversvømmelse for de mest sannsynlige nedbørsituasjonen. Vintersituasjonen er teste mot to avrenningssituasjoner med ekstreme forhold slik som 100% frossen mark og nedbør som tilsvarer regntilfellet i 14.08.2008. Det er lite sannsynlig at disse forholdene inntreffer samtidig.

Abstract

Fredrikstad has had major projects going on recent years in connection with upgrading of pipelines. Fulfilled cellars have been an important issue for the municipality, and they have an intention to reduce the risk of flooding in vulnerable places. One of the vulnerable place in Fredrikstad is Veumdalen who has problems with flooding almost every year. As a preventive measure, the municipality has in cooperation with COWI built a tunnel from Veum road / Veumbekken to Seutelva. It is planned to put the tunnel into drift during the first half of 2015

The tunnel shall bring stormwater from Veumbekken to Seutelva to avoid congestion in the pelvis. Discharge reduces the risk of fulfilling cellars in the lower part of Veumdalen. The new flood way will affect the hydrology of the entire watershed, in this case, COWI wish that this thesis will help to find out how stormwater tunnel works in different rainfall situations and how hydrology in the catchment area changes.

The program SWMM was used to create the model of the catchment area, and tested against 3 different flood situations. Swoop field was mapped and existing hydrological conditions were described to build the model in the program SWMM. The model was calibrated against manual calculations that is used in the risk analysis conducted by COWI. The model was tested against three different flood scenarios:

- Summer Situation
- Fall Situation
- Winter Situation

In The model was rainfall simulated by constructing hyetograph from IVF curve for Fredrikstad for 25, 50 and 100 years of rain and a rain case that happened 14.08.2008. The model was driven with 300 minutes rainfall duration for all these 3 flood situations. Overall, the model was tested against 16 rainfall situations. The Summer situation were tested against four precipitation events corresponding 25, 50 and 100 years rain, and the precipitation in 14.08.2008. For simulation of the fall situation was the imperviousness increased by 50% and the infiltration capacity for subcatchments was reduced. The fall situations was then tested against the four rainfall situations. The winter situation was simulated with two runoff situations by increasing the model's impervious to relatively 100- and 80%. This means that we get 100 and 80 % frozen ground for the winter situation which is exaggerated in relation to reality.

The results for the summer and fall situation showed that stormwater tunnel is going to work excellent in every precipitation situations. The results of the winter situation showed that stormwater tunnel is going to reduce the risk of flooding for the most likely precipitations. Winter situation is testing against two runoff situations of extreme conditions such as 100% frozen ground and precipitation that corresponds the rain case in 14.08.2008. It is unlikely that these conditions occur at the same time.

Innholdsfortegnelse

Kapittel.1. Innledning	1
1.1 Innledning/bakgrunn	1
1.2 VA- og overvanns historikk i Fredrikstad	2
1.3 Veumbekken i Fredrikstad	4
1.4 Planlagt flomvei gjennom tunnel fra Veumbekken til Seutelva	5
1.5 Gjenåpning av Veumbekken	7
1.6 Bakgrunn for oppgaven	8
1.6.1 Bakgrunn	8
1.6.2 Problemstilling	8
1.6.3 Metode	8
Kapittel 2. Teori	9
2.1 Urbanhydrologi	10
2.1.1 Hydrologi	10
2.1.2 Hydrologiske prosesser	11
2.2 Nedbør	14
2.2.1 Inndeling av nedbørstyper	14
2.2.2 Nedbørsdata	16
2.2.3 Omdanning av IVF-kurver til en symmetrisk hyetogram	17
2.3 Feltparameter	18
2.3.1 Nedslagsfelt	18
2.3.2 Sammenheng mellom nedbør og overflateavrenning	21
2.3.3 EDB-baserte avrenningsmodeller og den rasjonelle formel	22
2.3.4 Konsentrasjonstiden for et nedslagsfelt	22
3. Modul 1 Kartlegging og analyse av nedslagsfeltet	24
3.1 Fredrikstad	24
3.1.1 Klima	24
3.1.2 Klima endringer i Fredrikstad	24
3.2 Nedbørsfeltet	26
3.2.1 Avgrensning av hovednedslagsfeltet	26
3.2.2 Inndeling av nedslagsfeltet	28
3.2.3 Avgrensning av nedslagsfeltet med utgangspunkt i - overvannstunnelen	30
3.3 Vannskille analyser	31
3.3.1 Vannskille analyse A1	31

3.3.2	Vannskille analyse A2 og A3	32
3.3.3	Vannskille analyse A4, A5 og A6	32
3.4	Grunnforhold	34
3.5	Grønnstruktur	36
4.	Modul 2 Modelling i SWMM	37
4.1	Prinsipp for overflateavrenning i SWMM	37
4.1.1	Forklaring av de fysiske prosessene	38
4.2	Modeloppbygging	42
4.2.1	Modellering av arealer (subcatchments)	43
4.2.2	Modellering av kanaler og rørsystemer	45
4.2.3	Modellering av nedbør	45
4.2.4	Modellering av dam og myr	47
4.3	Modell kalibrering	48
4.3.1	Modellverifikasjon og etterprøving	49
4.4	Resultater	55
4.4.1	Sommer situasjon	56
4.4.2	Høstsituasjon	59
4.4.3	Vintersituasjon	62
5.	Modul 3 drøfting og sammenligning av modellresultater	70
5.1	Kapasitet av eksisterende og dimensjonert flomvei i Veumdalen	70
5.2	Drøfting av modellresultater	70
5.2.1	Sommersituasjon	70
5.2.2	Høstsituasjon	71
5.2.3	Vintersituasjon	72
6.	Konklusjon og anbefalinger	74
6.1	Konklusjon	74
6.2	Anbefalinger	74
	Litteraturliste	
	Vedlegg A	
	Vedlegg B	
	Vedlegg C	

Kapittel 1. Innledning

1.1 Innledning/bakgrunn

Befolkningen i byene stiger og folk bor tettere i byene enn noen gang. Denne prosessen kalles urbanisering og med denne utviklingen i urbaniseringsprosessen må det bygges flere hus, leiligheter, skoler, veier og institusjoner osv. Med andre ord øker andelen av tetteflater i byene og med dette øker faren for overvannsproblemer. I et slik situasjon må kommunene ruste opp avløpssystemet i byene slik at skadeomfanget blir minimalt.

Forskning viser at klimaet har forandret seg betydelig de siste 20-30 årene, og som følge av drivhuseffekten rundt kloden vår er det estimert at vi må vente større og mer intense nedbørsmengder inn over Norge. Forskere begynte å måle temperaturen i 1860 og siden da har man sett at jordas klima har endret seg merkbart. Middelttemperaturen globalt har økt med ca. 0,74 °C siden målingen startet, som følge av denne økningen må vi vente mer ekstremvær som flom, hetebølger og tørke oftere og med høyere intensitet. Jordbruk og naturområder endres og arter kan utryddes, lavtliggende landområder kan forsvinne som følge av havstigning.

Klimapanelets scenarier (Regclim 2002) regner med at det skjer en temperatur økning i Norge, og avhengig av landsdel vil den årlige gjennomsnittstemperaturen øke med 2,5-3,5 °C. Mest økning av gj.snittstemperaturen vil skje i innlandet og i de nordligste delene av landet og vinterne vil bli mildere. Som følge av økning i temperaturen vil vi få mer ekstremvær i Norge. Nedbørsmengden vil øke med 5-20% avhengig av landsdel med større hyppighet og høyere intensitet. En annen effekt fra klimaendringen er havstigning. Prognoser viser at havnivået i Trondheim vil stige med ca. 50 cm fram mot år 2100, og tilsvarende i andre kystbyer i Norge.

Ekstremvær er en sjelden naturfenomen, og samfunnet og naturen er dårlig forberedt på effektene. Flere dager med regn pr. år fører til at marken oftere og i lengere perioder har et høyt innhold av vann. Det bygges mer tetteflater i byene, og denne kombinasjonen vil øke avrenningskoeffisientene noe som gir større overvannsmengder. Samme regnintensitet som før vil også kunne øke sannsynligheten for større flommer. Klimaendringen og tettere flater i byene gir en uheldig kombinasjon som har kostbare konsekvenser for samfunnet og naturen. Vannskader i de siste 10 årene har økt dobbelt så mye som brannskader, og forsikringsselskaper regner med at vannskader kan øke med minst 40% i de neste tiårene. Store overvannsmengder og dårlig avløpsnett er hovedårsaken til økningen av vannskader.

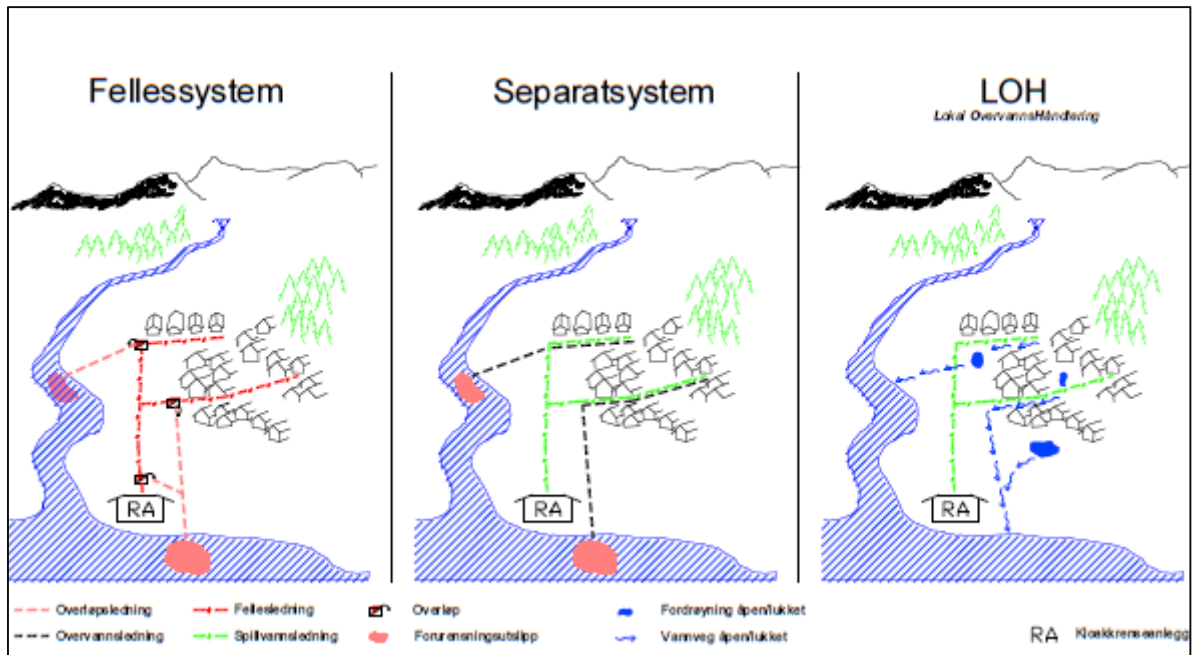
For å møte fremtidige utfordringer om håndtering av overvann må kommunen kartlegge nedbørfelt som har stor sannsynlighet for oversvømmelse, planlegge og igangsette tiltak som håndterer store overvannsmengder for å unngå skader.

1.2 VA- og overvanns historikk i Fredrikstad

En stor del av VA-systemet i Fredrikstad er basert på felles avløpssystem dvs, spillvann, drens og overvann renner i samme rør og blir transportert til renseanlegg. Tanken bak et slik system er å lede vannet raskest mulig til lukkede ledningssystemer og føre det til en resipient. Dette skaper flere uheldige situasjoner i kombinasjon med klimaendringene og den voksende urbaniseringen. Tettere byer og flere dager med regn pr. år har ført til at overflateavrenningen har økt betydelig. I et slik situasjon vil ikke den eksisterende ledningssystemet klar å ta unna det aktuelle spill- og overvannet som kommer under ekstreme forhold. I Fredrikstad har det vært flere tilfeller hvor kjeller er blitt oversvømt pga. overbelastning i avløpssystemet.

I dag stilles det strenge krav til rensing av avløpsvannet som kommer til renseanlegg, og dette systemet er ikke en god løsning da renseanleggene må overdimensjoneres pga. overbelastning. Ved store nedbørsmengder vil ikke renseanleggene ha tilstrekkelig kapasitet for å ta imot avløpsvannet som kommer fra fellessystemet, derfor går avløpsvannet i overløp. Dette er svært uheldig da regnvanns overløp medfører til at kloakken går rett i resipientene urenset. Overløp er vanligvis i nærheten av badestrender og sårbare områder, og det fører til hygieniske og forurensningsproblemer. Fredrikstad kommune bruker Glomma som hoved resipient og hvis kommunen skal klare å tilfredsstille kravene om rensing av avløpsvann og håndtering av overvann må kommunen planlegge og investere i separat avløpssystem.

I separat avløpssystem føres spill- og overvann hvert sitt eget rør, spillvann føres til renseanlegg mens drens, og overvann ledes direkte til nærmeste resipient.



Figur 1.1: Fredrikstad kommune (teknisk drift overvannsrammeplan del 1 kap.2.s.6)

Fredrikstad har opplevd kraftige nedbør i de siste 10 årene og kjeller oversvømmelser har vært mange. I 2002 mente forsikringsselskapene at kommunen hadde ansvaret for skadene som skjedde etter at en kraftig nedbør fant sted, nærmere 250 eiendommer fikk vannskader som følge av kraftig nedbør. Slike regnhendelser har inntruffet i 2006, 2007 og 2008 da ledningsnettet i det kommunale avløpsnettet ble overbelastet, nærmere 200 skadehendelser ble registret. Forsikringsselskapene sendte regresskrav til Fredrikstad kommune for at deres avløpsnett ikke var tilstrekkelig.



Figur 1.2: Kjeller oversvømmelse på Christianslund området i Fredrikstad. (Kilde Fredrikstad Blad)



Figur 1.3: Oversvømmelse ved Holmen området. (Kilde Fredrikstad Blad)

Etter flere runder i domstolen fikk Fredrikstad kommune medhold i saken. Kommunen argumenterte med at regnhendelsen hadde en gjentaksintervall på 50 år og derfor måtte den anses som force majeure hendelse, altså en uforutsett hendelse som ikke lar seg avverge slik som en naturkatastrofe. Borgarting lagmannsretten flertall kom i 2007 fram til at Fredrikstad kommune kan fraskrive seg objektivt ansvaret for skade som traff sted som følge av ekstraordinær regn, men dommen betyr ikke at kommunen kan fraskrive seg ansvaret for vedlikehold og utbedring av ledningssystemet (Fatah 2013).

Disse hendelsene har vært en vekker for kommunen og har hatt en positivt effekt ved at det har blitt bevilget mer penger fra politisk hold for opprusting av avløpssystemet.

1.3 Veumbekken i Fredrikstad

Veumdalen er ca. 7 km fra nord til sør, dalen ligger sentralt i Fredrikstad og omfatter deler av sentrum i sør, deler av Fredrikstadmarka, jordbruksområder og boligfelt. Veumdalen har en nedslagsfelt på ca. 12 km² som drenerer til Veumbekken. Veumbekken renner langs dalbunnen ned mot utløpet i sør og har en lengde på ca. 7 km. Veumbekken har sitt utspring fra Veummyra nord i dalen, videre nedover dalen følger bekken et jordbruksområde i ca. 4 km før den når et bebygget område som tilslutt ender i en kulvert fra jernbanelinjen ved Frydenberg videregående skole. Bekken ledes så ned i bakken og via rør går Veumbekken ut til Glomma.

Den nedre delen av Veumdalen har spesielt vært utsatt for flomepisoder de siste årene som følge av store nedbørmengder. Som det er nevnt tidligere er det flere

faktorer som er med på å skape en slik situasjon. For tette flater og større nedbørsmengder har ført til at avrenningsevnen har økt betydelig, og i tillegg til at ledningsnettene er underdimensjonert for slike nedbørsmengder. I 2002 fikk 250 eiendommer sine kjellere oversvømmet og skadene kostet samfunnet ca. 14,5 millioner kroner.

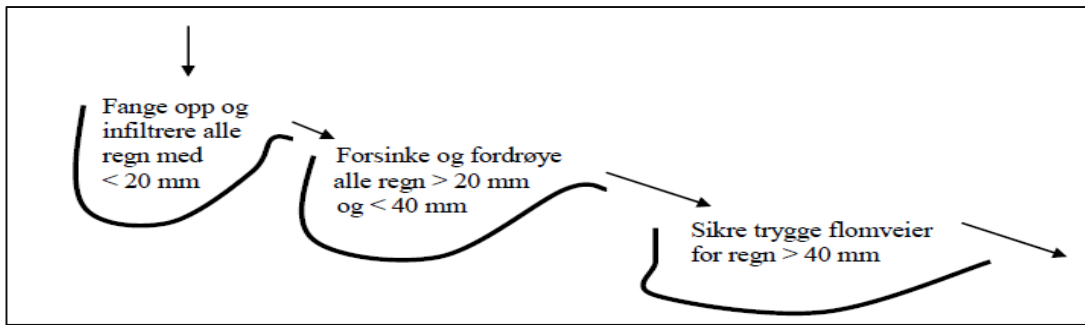
Det kommunale avløpssystemet i Veumdalen er gammalt og slit. Ledningsnettene har både felles- og separat avløpssystem, ca 39 % er fellessystem og resterende separatsystem er ikke virksomt siden det renner i et fellessystem lengder ned i dalen. Et annet problem som skaper trøbbel for kapasiteten i rørsystemet er fremmedvann som lekker inn gjennom spekker. Systemet har også flere overløp til Veumbekken og disse overløpene er der for å avlaste rørsystemet i nedbørssituasjoner (Vadum 2011). I ekstreme nedbørssituasjoner kan bekken ha for stor vannføring og enkelte steder kan det oppstå oppstuvning som kan fylle rørsystemet i Veumdalen. Dette er svært ugunstig og øker sannsynligheten for kjeller oversvømmelser.

Overløpene har skapt forurensningsproblemer i Veumbekken, når overløpene treer i kraft strømmer urensset avløpsvann direkte ut i bekken.

Analyse fra vannprøver gjort i Veumbekken i 2008 viste høye verdier av termotolerante koliforme bakterier (TKB), som indikerer betydelig tilførsel av fekal forurensning. Analysen viste at det er størst konsentrasjon av næringsstoffer om sommeren, med maksimumverdier av fosfor og nitrogen i august. De viktigste kildene til forurensning i Veumbekken er utlekking fra avløpsledninger, direkte utslipp fra overløp, avrenning fra landbruksområder og forurenset overflatevann (Vadum 2011).

1.4 Planlagt flomvei gjennom tunnel fra Veumbekken til Seutelva

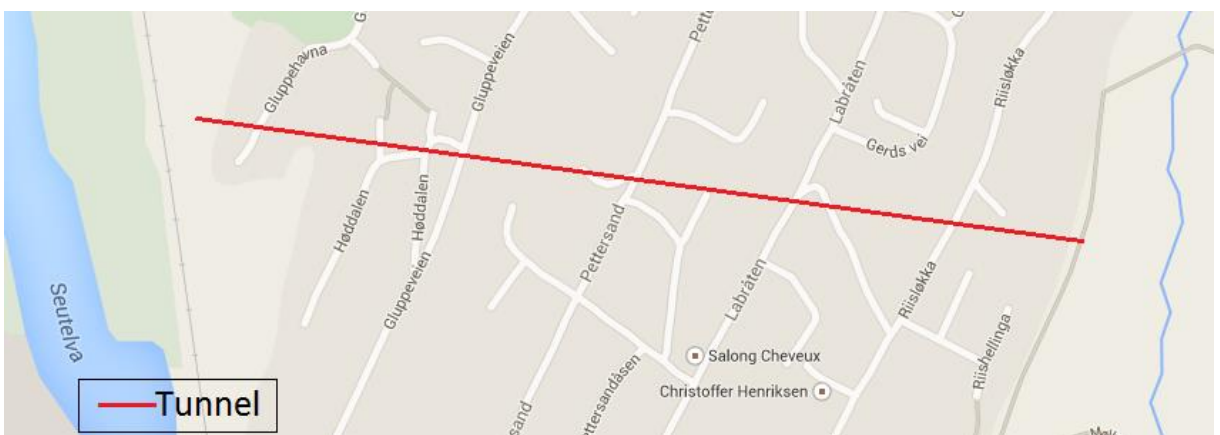
Fredrikstad kommune har utarbeidet en rammeplan for fremtidige overvannshåndtering i flom utsatte områder. Målet med denne rammeplanen er å skape bevissthet blant kommunale og private utbyggere om overvannsproblematikk og overvannshåndtering etter moderne ideer og bærekraftige prinsipper. Kommunen anbefaler treledsstrategien ved dimensjonering/ designe av fremtidige overvannssystemer som er anbefalt av NORVAR. Figuren nedenfor viser en illustrasjon av treledsprinsippet for håndtering av overvannssystemer (Fredrikstad and 2013).



Figur 1.4: Treledstrategi, illustrasjon for håndtering av nedbør. (Kilde NORVAR)

Kommunen anbefaler at en slik strategi skal gjelde for både bygging av overvannssystemer i eksisterende urbane områder og for nye utbygginger. Overvann skal i størst mulig grad håndteres lokalt i bebygde områder og ved nye utbygginger skal det søkes løsninger som fordrøyer den økende overflateavrenningen som utbyggingen medfører. I områder der forholdene ligger til rette for håndtering av overvann lokalt, skal det anlegges åpne overvannssystemer, og eksisterende lukkede overvannssystemer skal vurderes åpent. Tanken bak denne ideen er å gi områder en ny dimensjon til glede for innbyggere og bidra til biologisk mangfold. Naturgrunnlag og topografi i utbyggingsområdet bør legges til grunn ved valg av overvannssystemer (Vadum 2011).

I den forbindelse har Fredrikstad kommune i samarbeid med COWI AS prosjektert og bygget ut en tunnel fra Veumbekken til Ørebekk/Seut. Tunnelen går fra Veumveien/Veumbekken vest for Hjørnerød til Ørebekk/Seut, ca. 750 meter. Tunnelen vil gå gjennom fjellet under Riisløkka, Labråten, Petterssand, Gluppe. Den nye tunnelen skal lede overvann fra Veumbekken til Seutelva. Tunnelen skal også bli en del av ringledningen for vann som er bygd rundt Fredrikstad de senere årene. Tunnelen er bygget etappevis og det er planlagt at det skal være i full drift midten av mai i 2015.

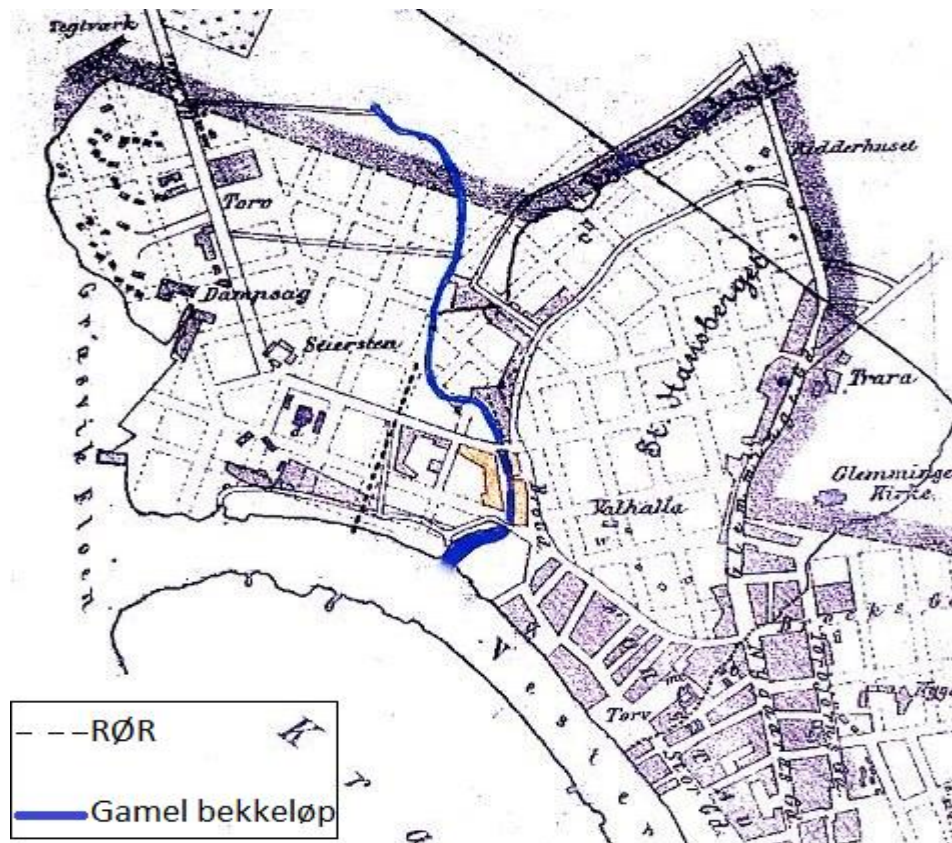


Figur 1.5: Overvannstunnelen fra Veumbekken til Seutelva.

Tunnelen skal avlaste Veumbekken for overvann opptil en nivå slik at oppstuvning ikke oppstår i nedre del av Veumdalen. Holmen- og Christanslund området er de mest utsatte områdene, ved å lede overvannet lengere nord i Veumbekken vil ikke oppstuvning oppstå ved disse områdene. På denne måten vil kapasiteten i ledningssystemet være stabil og man får også mindre utslipp fra overløpene til Veumbekken.

1.5 Gjenåpning av Veumbekken

Veumbekken går i rør fra jernbanelinjen ved Frydenberg videregående skole og ut til Glomma. Lukkingen av evja skjedde etappevis, og siste del havnet i rør i 1939. Bekken var ingen attraksjon på den tiden, den var illeluktende og forurenset. Ideen bak bekkelukkingen var primært å føre vannet raskest mulig til Vestrelva og løse luktproblemet på den tiden. Flømeepisoder i de siste årene i nedre del av Veumdalen har vekket ny tanker om å gjenåpne Veumbekken.



Figur 1.6: Den gamle evja. Det tidligere løpet til Veumbekken ses i blått. (Kilde Fredrikstad Blad 2009)

Ved å åpne bekken oppnår man større kapasitet i bekkeløpet og overvannet kan ledes trygt til Glomma. Bekkeåpningen kan forskjønne området og bidrar til å opprettholde biologiske mangfold i området. Bekkeåpningen og tunnelen til sammen vil avlaste en god del overvann som vil redusere faren for oversvømmelser i fremtiden. Forurensningen i Veumbekken blir mindre og det påvirker bybildet positivt.

1.6 Bakgrunn for oppgaven

1.6.1 Bakgrunn

Fredrikstad kommune har intensjoner om å utbedre det kommunale avløpsnett for å møte fremtidens utfordringer om overvannshåndtering. Slik som det er beskrevet tidligere er kommunen i gang med å bygge en overvannstunnel i Veumdalen, og i tillegg til dette har kommunen planer om å gjenåpne den nedre delen av Veumbekken. Holmen og Christianslund området er utsatte områder i nedre del av Veumdalen og disse prosjektene er ment å være forebyggende tiltak mot overvannsproblemtikk i dette området.

Overvannstunnelen kommer til å avlaste mye overvann og dette kommer til å påvirke de hydrologiske forholdene i hele nedslagsfeltet. I den forbindelse ønsker COWI AS at denne masteroppgaven skal se på hvilke effekter og forandringer overvannstunnelen vil ha for nedslagsfeltet. Dermed er målet med denne oppgaven å se på eksisterende hydrologiske forhold og se dette i sammenheng med overvannstunnelen når den er i drift.

1.6.2 Problemstilling

Hvordan hydrologiske forhold forandres i nedslagsfeltet etter at overvannstunnelen er satt i drift. Hvordan tunnelen kommer til å fungerer i forskjellige nedbørssituasjoner og hvor stor mengde overvann slippes i Veumbekken.

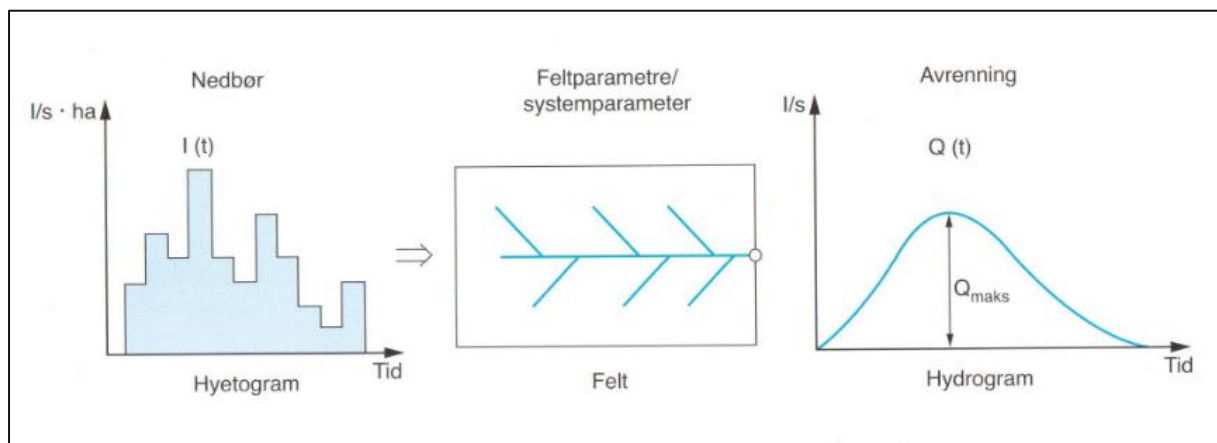
1.6.3 Metode

For å danne en helhetlig bilde av nedbørfeltet analyseres naturgrunnlaget i Veumdalen. De lokale forholdene analyseres og kartlegges for å forstå hvordan vannet beveger seg. Med andre ord, betraktes det hydrologiske systemet i nedslagsfeltet under ett. Analyseområdet kartlegges og ses som en helhet. Nedslagsfeltet modelleres i programmet SWMM og de forskjellige nedbørsituasjonene simuleres i modellen. Modellen skal kjøres med forskjellige regnhyetogrammer og resultatene sammenlignes. Til dette brukes grunnlagsdata som er hentet hos kommunen.

Kapittel 2. Teori

Kapittel 1 i denne oppgaven er ment å være en innføring som beskriver eksisterende og fremtidige overvannsproblematikk generelt og lokalt. Videre er problemstilling og tiltaksbehov presentert i kapittel 1. Hovedmålet i denne oppgaven er å lage en teoretisk modell av nedslagsfeltet som skal representere virkeligheten. Teoretiske modeller bygger på noen matematiske formuleringer som har som hovedoppgave å beregne eller fremstille ønskede parametere. Kapittel 2 beskriver faglige begreper og generell teori som danner grunnlaget for modellen vår.

Første steg i modellbyggingen er å skaffe nedbørsdata og bearbeide disse dataene som skal benyttes i modellen. Steg 2 er å kartlegge og analysere feltparametere som skal lage grunnlaget for modellen vår. Siste steg handler om fremstilling og tolking av resultater. Figur 1.7. viser en skisse av metode, kartleggings- og analysearbeidet. Kapittel 2 er delt inn etter denne skissen, hvor forutsetninger og metodikk blir beskrevet.



Figur 1.7: Omdanning av regnhyetogram til avrenningskurve. (Vann og avløpsteknikk boka)

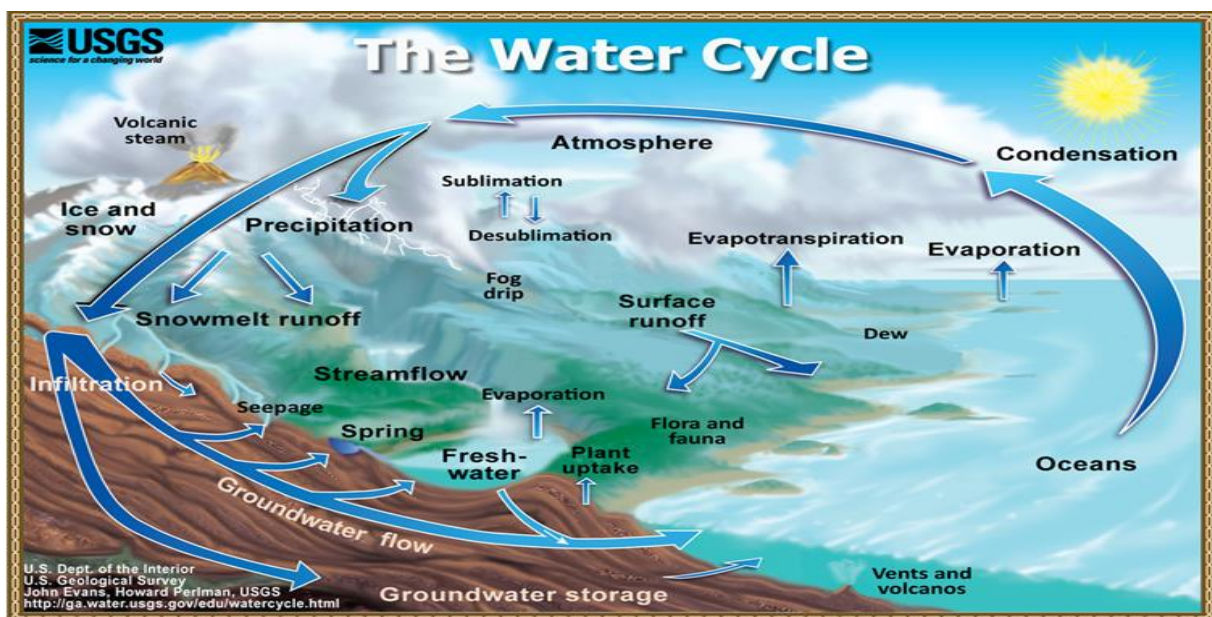
- 1) Denne delen skal beskrive dannelse og egenkapsler av forskjellige nedbørstyper. Nedbørsdata og metodikk for bearbeiding av disse dataene blir presentert.
- 2) Valg av metodikk, analyse- og modelleringsverktøy er hoved tema i denne delen. Analysing og modellerings arbeidet presenteres i Modul 1 og Modul 2.
- 3) Denne delen handler hovedsakelig om tolkning av resultatene og vil bli presentert i Modul 3.

2.1 Urbanhydrologi

Urbanhydrologi er den delen av vannets kretsløp som er knyttet til bebygde områder. Urbanisering dvs. utbygging av byer og tettsteder fører til arealer med impermeable¹ overflater. Dette fører til at vegetasjon blir fjernet, tette flater etablert, naturlige vann veier rettet ut og medfører at nedslagsfeltet endrer hydrologiske karakterer. Det fører til mindre infiltrasjon, raskere avrenningen og økt erosjon i nedslagsfeltet. I et slik situasjon er analyse og kartlegging av vannsystemet i nedslagsfeltet nødvendig for overvannshåndtering i urbane områder. Dermed er forståelsen for urbanhydrologi et nødvendig grunnlag for analyse og modellerings arbeidet.

2.1.1 Hydrologi

Hydrologi er læren om vannets forekomst, egenskaper, kretsløp og vekselvirkning med omgivelsen. Hydrologi handler i første omgang om vannets kretsløp slik som figuren viser. Havvannet fordamper til atmosfæren og avsaltes og blir omdannet til ferskvann i form av nedbør. Vannet forlater atmosfæren i form av nedbør og fylles på igjen ved fordamping fra vann, land og planter. Denne prosessen kan sies å være konstant dvs. andelen vann som fordamper til atmosfæren i forhold til vann som forlater atmosfæren i form av nedbør er omtrent konstant(Norsk-Vann 2012).



Figur 2.1: Illustrasjon vannets kretsløp på jordkloden. (Kilde: US. Geological Survey)

¹ Definisjon: Ugjennomtrengelig

Denne sammenhengen kan beskrives av vannbalanseligningen: $N = E$

Det betyr at nedbøren (N) er lik evapotranspirasjonen (E)² for hele jorda i et langt perspektiv (Norsk-Vann 2012). En mer interessant arbeidsfelt i hydrologien er å kvantifisere hvor store mengder vann som transporters over et landområde. Dermed kretsløpet begrenses til landjord og ligningen blir: $N = E + Q^3$

Denne ligningen er også beregnet for lange perioder, for studier over kortere tidsavsnitt må man inkludere lagring av vann. Ligningen over må da ha med et ledd for endringer av vannmagasinet i nedslagsfeltet: $N = E + Q + \Delta M^4$

En fullstendig vannbalanseligning for norske forhold blir som dette (Wikipedia 2014):

$$N_r + N_s = E_s + E_f + Q_o + Q_g + \Delta M_i + \Delta M_s + \Delta M_m + \Delta M_g$$

- N_r = nedbør som regn
- N_s = nedbør som snø
- E_s = evapotranspirasjon
- E_f = fordamping
- Q_o = overflateavrenning
- Q_g = grunnvanns avrenning
- ΔM_{s-i} = endring i magasin av snø og is
- ΔM_i = endring i magasin av innsjø
- ΔM_m = endring i magasin av markvann
- ΔM_g = endring i magasin av grunnvann

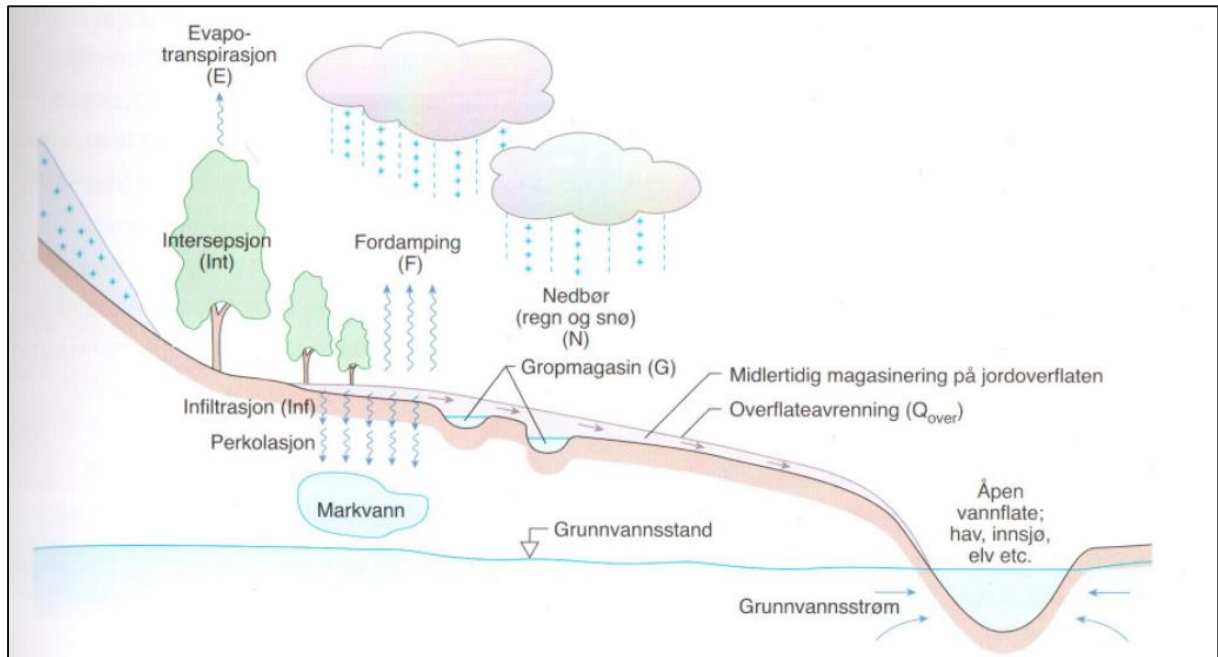
2.1.2 Hydrologiske prosesser

De hydrologiske prosessene er illustrert i figur 2.2 I dette delkapittelet gis det en kort beskrivelse av mekanismer og innvirkninger disse prosessene har (Norsk-Vann 2012).

² E = evapotranspirasjon beskriver den prosessen der vann flyttes gjennom vegetasjonen og deretter fordampes til atmosfæren.

³ Q = avrenning fra jordoverflate både i elver og i grunnen

⁴ ΔM = endring av volum for alle vannmagasiner (innsjøer, snø, bre etc.)



Figur 2.2: Vannets kretsløp. (Kilde Vann og avløpsteknikk boka kap.2 s.59)

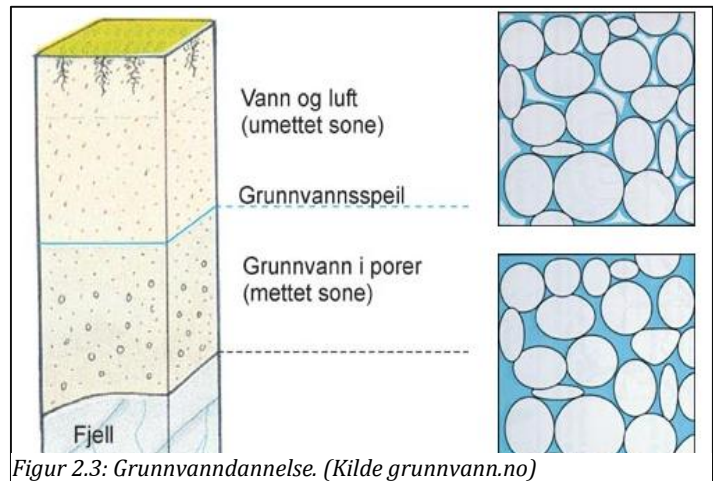
Nedbør (N): faller som regn, snø og sludd avhengig av lufttemperatur.

Fordamping (F): beskriver prosessen der vann transformeres fra fast eller flytende til gassform. I hydrologi sammenheng vil vannet fordampe fra overflater med eller uten vegetasjonsdekke, trær, tette flater som tak veger, parkeringsplasser etc.

Evapotranspirasjon (E): beskriver den prosess der vannet flyttes gjennom vegetasjon og deretter fordampes til atmosfæren. Denne prosessen er avhengig av temperatur, luftfuktighet, vind, lufttrykk, type vegetasjon etc. Evapotranspirasjon har mindre betydning for korte regnbyger, mens den har størst betydning om sommeren og undre snøsmelting om våren.

Gropmagasinering (G): er en prosess hvor en del av nedbøren magasineres i groper på overflaten og fordampes derfra. Vann som magasineres i groper vil verken renne av som overflatevann eller infiltrere. Gropmagasinering er avhengig av faktorer som overflatetype, land helning, fordamping og etc.

Infiltrasjon (Inf): er det fysiske fenomenet hvor det vannet som er tilstede på jordoverflaten trenger inn gjennom jordmassene og beveger seg loddrett ned i bakken. Når det regner på overflaten med økende intensitet, kommer en til en grense der evnen til jordmassene til å ta imot vannet overskrides. Vannet begynner å samles i små groper og senkninger, og det oppstår avrenning fra overflate. Før en når denne grensen vil alt vann infiltrere. I urbane områder er infiltrasjon en viktig prosess da bebyggelse reduserer infiltrasjonen og øker avrenningen. Det finnes to soner i jordmassene ned i bakken, 1) umettede sone og 2) mettet sone. Bevegelsen av infiltrert vann nedover gjennom den umettede sonen kalles perkolasjon, og vannet som befinner seg i denne sonen kalles markvann.



Figur 2.3: Grunnvanndannelse. (Kilde grunnvann.no)

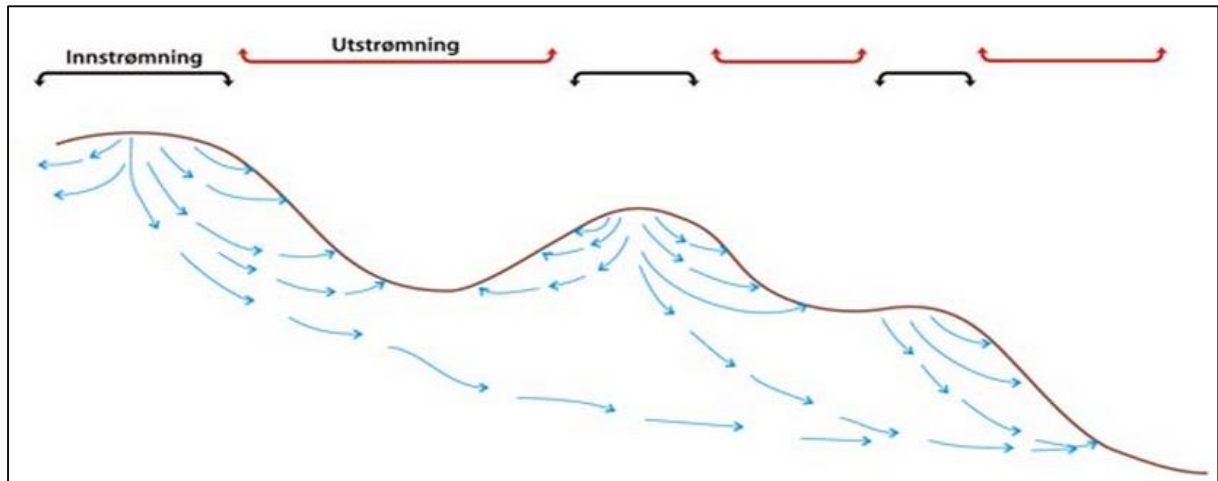
Snø og is lagrer nedbør og ved temperaturer over nullpunktet vil dette magasinet begynne å gi avrenning.

Overflateavrenning (Q_o): beskriver vannets bevegelse på jordoverflaten mot kantstein eller sluk, grøft eller bekkeinntak, naturlige eller kunstig kanal eller innsjø, elv eller annen resipient. Denne prosessen påvirkes av andre hydrologiske prosesser som nedbør, infiltrasjon, og faktorer som helning og andel tette flater.

Grunnvannsstrøm (Q_g): skjer i den mettede sonen under grunnvannstanden. Vannet beveger seg sakte mot en bekk, en elv en innsjø, en naturlig eller konstruert kanal, en drensledning eller en grunnvannsbrønn.

Mengde grunnvannsavrenning bestemmes av permeabiliteten⁵ til massene og grunnvannspeilets helning. Gravitasjonskraften driver vannet fra områder med høyere trykknivå til områder med lavere trykknivå. Dermed kan landskapet dels inn i innstrømnings- og utstrømningssoner. Innstrømning (infiltrasjon) vil skje på åsrygger og flater, mens utstrømningssoner er myrer kilde/oppkommer.

⁵ Permeabilitet = Gjennomtrengelighetsgrad



Figur 2.4: Grunnvannsstrømning fra høyere til lavere trykknivå med inn- og utstrømningssoner. (Kilde grunnvann.no)

Grunnvann som er i kontakt med vassdrag har en toveiskommunikasjon med vassdraget. Dette betyr at grunnvannet både mates, og mater elver og innsjøer. Hvilken vei prosessen går vil være avhengig av grunnvannsspeilet og vannføringen i vassdragene. I perioder med lite nedbør og overflateavrenning er grunnvannet en viktig bidragsyter til vannføringen i vassdragene. Om vinteren og sensommeren kan grunnvannet bidra med 40-100% av vannføringen i vassdraget. Mengde grunnvann i bakken er avgjørende for flomdannelse. Er bakken mett med vann dvs. grunnvannsspeilet er nært overflaten, øker sjansen for flom ved nedbør og snøsmelting fordi bakken ikke klarer å ta imot alt vannet som kommer (Norsk-Vann 2014).

2.2 Nedbør

2.2.1 Inndeling av nedbørstyper

For å oppnå et godt resultat i beregning og analysearbeidet for et nedslagsfelt er kjennskap til nedbør og hydroklimatologiske forholdene avgjørende. Tilgang til gode og pålitelige nedbørsdata er avgjørende for å kunne beregne avrenning, samt fremtidig prognosering av avrenning og tilsig. Avhengig av års sesong, landsdel og beliggenhet i forhold til havet varierer nedbørens intensitet, varighet og mengde. Nedbøren er betydelig høyere ved kysten enn i innlandet, mens intensiteten kan være adskillig kraftigere i innlandet enn ved kysten. Om vinteren kan forholdene være forskjellige fra kystområder til innlandet, med mer snø i innlandet.

Overvannsavrenningen er et resultat av all slags type nedbør, dermed er karakterisering av nedbøren av størst interesse. Nedbøren kan karakteriseres etter hvilket løftemekanisme som gir avkjøling, kondensasjon og dråpedannelse. Nedbørtypene deles inn i 4 grupper (Norsk-Vann 2012):

A) Konvektivnedbør

Oppvarming av bakken fører til ustabilitet som gir lokale vertikale luftstrømmer. Det tvinger varmluft oppover som avkjøles og gir lokal nedbør. Den type nedbør er mest vanlig om sommeren, typiske ettermiddagsbyger om sommeren er et eksempel. De har lite areal utbredelse, men ofte høy intensitet, og forekommer inn i frontnedbør og orografisknedbør.

B) Orografisknedbør

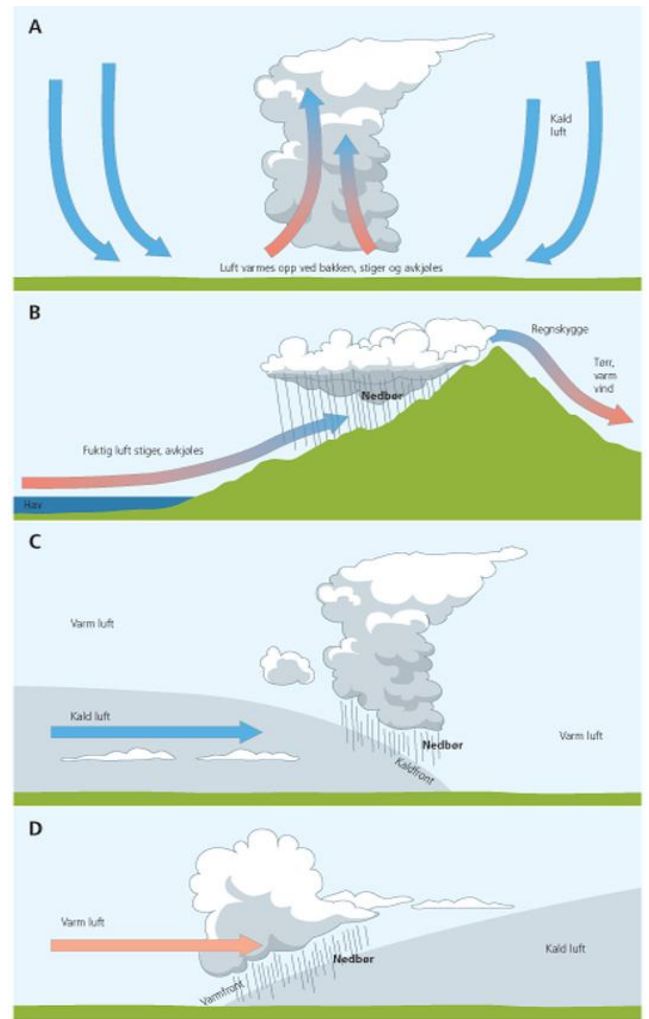
Denne type nedbør dannes når en fuktig luftmasse tvinges over hindringer som fjell o.l. Som figuren viser får man nedbør på forsiden av fjellet. Den type nedbør er mest vanlig ved kyststrøk som gir en stor mengde nedbør.

C) Frontnedbør-kaldfront

Frontnedbør dannes ved bølger i polarfronten og har en skråflate med svak helning. Nedbør dannes i forbindelse med bølger som utvikler seg til sykloner (lavtrykk) og har to fronter. Ved kaldfront vil den varme luften blir presset oppover, hvilket forårsaker tykke og høye skyformasjoner. Den type nedbør har høy intensitet men lav varighet.

D) Frontnedbør-varmfront

Ved varmfront glir den varme luften opp over den kalde luften, hvor det dannes forholdsvis tett men flat skylag. Varmfronten har en stor horisontal utstrekning som gir en jevn og langvarig regn.



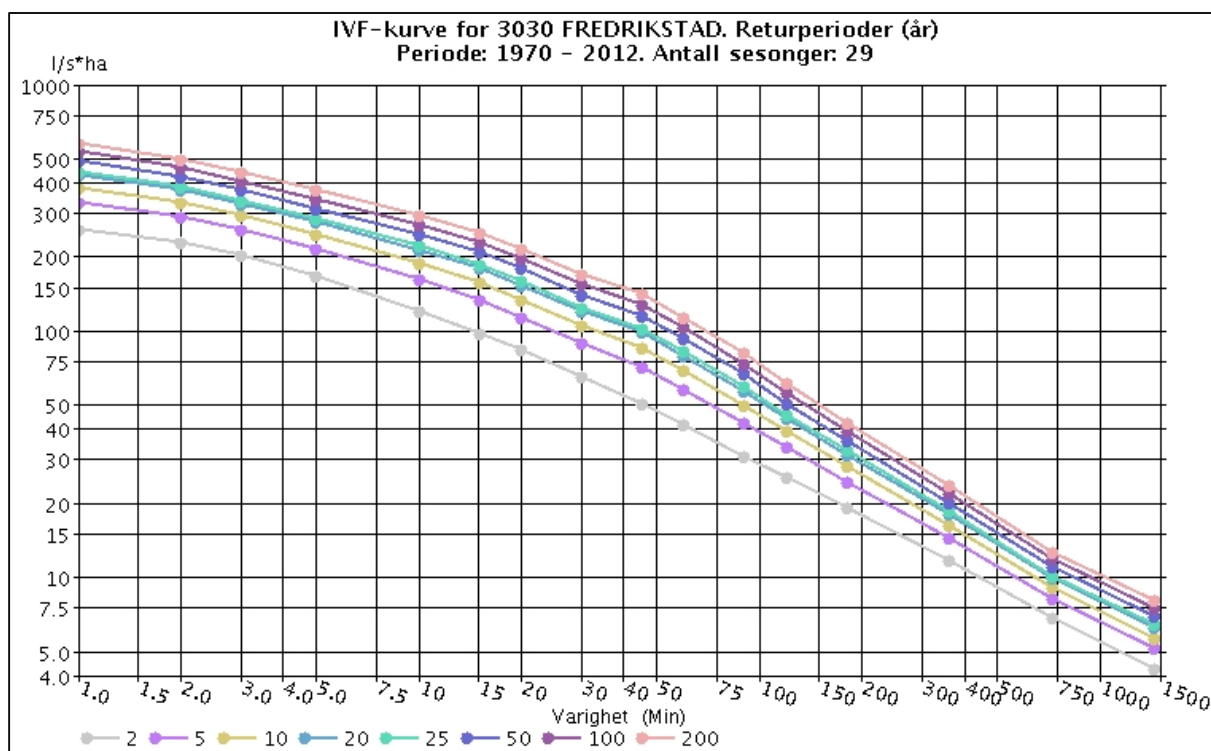
04.08 Nedbørstyper

Figur 2.5: Illustrasjon av nedbørstyper (Kilde Gyldendal.no/undervisning/geo)

2.2.2 Nedbørsdata

Tilgang til gode og pålitelige nedbørsdata er helt essensielt for beregning og analyse arbeidet når en skal jobbe med overvann. Det norske meteorologiske instituttet står for målingene av nedbør i Norge. Instituttet har over 700 stasjoner over landet som registrerer nedbørsmengder hele året. Nedbørsmengde oppgis i antall mm nedbørhøyde i løpet av et tidsrom (år, måned, døgn, timer, minutter og sekunder). Nedbør har andre egenskaper som intensitet, varighet, frekvens og arealfordeling som er viktige for beregning av nedbørsmengder.

Intensitet er et mål på hvor mye nedbør som er falt i løpet av et bestemt tidsrom, f.eks. mm/år, mm/mnd, mm/dag, mm/time, mm/min, l/s*ha. Varighet er et mål på hvor lang tid det faller nedbør med en bestemt intensitet. Frekvensen forteller oss hvor ofte nedbør med en bestemt intensitet og varighet inntreffer i en viss tidsperiode, også kalt returperiode. Frekvensen er gitt ved gjentaksintervallet i år. Arealfordeling beskriver hvordan punktnebbøren fordeler seg utover et bestemt areal(Norsk-Vann 2012).



Figur 2.6: IVF-kurve for Fredrikstad. (www.met.no)

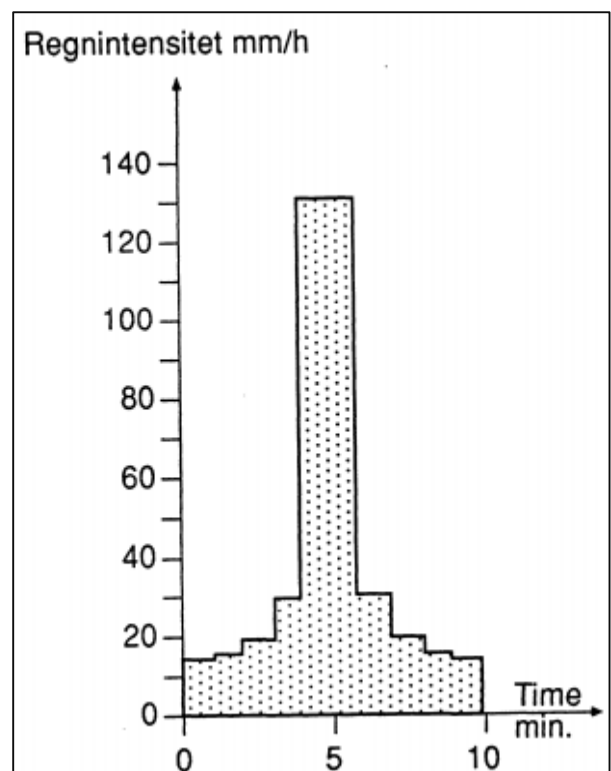
Sammenhengen mellom intensitet, varighet og frekvens er gitt på frekvensdiagrammer (Gumbels fordeling). I dette tilfellet IVF-kurv for Fredrikstad.

Når en skal jobbe med beregning av nedbørsmengder skal det brukes nedbørstatikker som er representative for området. Det kan være store variasjoner i nedbørsmengde både over året og over korte tidsrom. Derfor er det viktig å vurdere nøye hvilken nedbørstasjon som gir mest mulig representativ nedbørstatikk. I noen tilfeller så har ikke man målinger for akkurat det aktuelle området, derfor er det viktig å velge en nedbørstasjon som gir beste nedørstatikk. Det trengs ikke å være den nærmeste målestasjonen(Nosk-Vann 2014).

2.2.3 Omdannings av IVF-kurver til en symmetrisk hyetogram

Ved hjelp av en spesiell metode kan data som ligger i en IVF-kurve omdannes til et såkalt symmetrisk regnhyetogram⁶. Det er flere grunner for å bruke denne metoden til beregning av nedbørsmengder(Norsk-Vann 2014). Denne metoden skal bruks til kartlegging av nedbørsforløp.

- Regn som er så sterke at de er dimensjonerende, sjelden har en konstant regnintensitet. De har ofte en høy toppintensitet en stund etter at regnet har startet.
- Regn forløpet, og dermed avrenningsforløpet og maksimal avrenning, blir betydelig mer realistisk enn ved bruk av en «kasseregn»⁷
- I et område hvor meteorologiske forhold er ensartede kan den samme regnhyetogrammet brukes til alle ledningsnetttestørrelser uansett konsentrasjonstid.
- Man får dimensjonerende vannføringer i alle deler av avløpsledningsnettet i en og samme beregning. Bakgrunnen for dette er at regnhyetogrammet i sin mest intense del inneholder virkninger av korte regn, som er dimensjonerende for de øvre deler av nedslagsfeltet som har korte konsentrasjonstider, men hele hyetogramet vil virke dimensjonerende for de nedre deler av nettet som har lengere konsentrasjonstid.



Figur 2.7: Eksempel på regnhyetogram. (NVE 1997, Anvendt urbanhydrologi)

⁶ Regnhyetogram: Nedbørintensiteten som funksjon tiden kalles regnhyetogrm.

⁷ Kasseregn: er en gammel metode som ble brukt for beregning av nedbørsmengder. Denne metoden brukes til mer manuelle metoder og gir ikke gode resultater. Dersom man analyserer et ledningsnett for et slik regn, får man i beste fall bare dimensjonerende vannføring for de punkter i nettet som har en konsentrasjonstid lik regnets varighet.

Prinsipper for konstruksjon av en hyetogram(Norsk-Vann 2014):

- Hyetogrammet skal konstrueres på basis av en vanlig IVF-kurve
- Hyetogrammet skal være symmetrisk om sin midtakse
- Regnvolumet innenfor de x mest intense minuttene i hyetogrammet nøyaktig skal tilsvare regnvolumet i et «kasseregn» av varighet x minutter.
- Hensiktsmessige beregningssteg vil for de fleste tilfellene være ca. 5 minutter. Steg med bare 1 minutt gir en meget høy spissintensitet.

2.3 Feltparameter

2.3.1 Nedslagsfelt

Begrepsdefinisjon:

Et nedslagsfelt er et landområde som avgrenses innenfor et topografisk landområde. Dette landområdet består av areal(er) som samler vann fra nedbør (regn og snøsmelting) i et system av elver, bekker og innsjøer og leder det til et felles utløp. Utløpet munner ut i en resipient, som kan være et hav, en innsjø eller en større elv. Selve landområdet kalles nedslagsfelt, mens vassdrag er samlebetegnelsen for selve vannsystemet. Alt vannet fra nedbør drenerer mot vassdraget, og innenfor vannsystemet finner vi både overflatevann og grunnvann.

Overflatevann er det vannet som befinner seg synlig på overflaten, mens grunnvann er det vannet som har infiltrert til den mettede grunnvannssonen ned i bakken.

Det er altså to systemer som samler og transporterer vann til et resipient, vannet som transporteres kan bytte karakter mange ganger fra overvann til grunnvann gjennom transportsystemet. Avhengig av topografi og geologi kan overvann infiltrer ned i bakken og danne grunnvann. Videre renner den under overflaten, og kan så pipe opp til overflaten i form av en kilde eller tilsig til en annen overflatevann.

Nedslagsfelt finnes i alle størrelser og danner et hierarkisk system. Havet har et nedslagsfelt som består av nedslagsfeltene til elvene som munner ut i dette havet. På samme måte består nedslagsfeltet til en elv av nedslagsfeltet til denne elvens bielver. Et slik oppsamling og transportsystem av vann er svært kompleks og deler landskapet i mindre og større nedslagsfelt. Høydedragene i terrenget avgrenser nedslagsfeltene og danner grenser med et annet nedslagsfelt. Grenselinjen kalles vannskille og omslutter hele nedslagsfeltet.

Vannskillet defineres som et punkt i terrenget hvor tangenten til høydekoten står i rett vinkel på dette punktet. Dette fordi vannet alltid renner i minste motstands vei.

Det finnes i hovedsak to typer nedslagsfelt, 1) nedslagsfelt som drenerer mot havet og 2) lukkede nedslagsfelt, også kalt endorheiske nedslagsfelt, der vannet ikke forlater systemet annet enn ved fordamping eller sig. Type 2 er mer vanlig i ørkenområder.

System og egenskaper:

Nedslagsfelt og tilhørende vassdrag bygger komplekse oppsamlings og dreneringssystemer, der alle deler er relevante og avhengige av hverandre. Vannet renner alltid minste motstands vei fra de høytliggende ytterkantene av nedslagsfeltet, via lavereliggende vassdrag til den endelige resipienten. Det som skjer i den øvre delen av nedslagsfeltet kan ha følger for områder nedstrøms der vannet konsentreres i de store vassdragene mot bunnen av feltet.

Det er dermed åpenbart at tilstanden i et slik system påvirkes av arealbruken i feltet. Plassering og andel av bebygde- og urbane områder, landbruks- og naturmark kan ha innvirkning både på vannkvalitet- og kvantitet. Dette betyr at arealbruken på et sted i feltet ikke nødvendigvis merkes på stedet, men får utslag på et annet areal i feltet.

Flomhendelser og forurensing i slike situasjoner blir vanskelig å spore ettersom det er vanskelig å få øye på slike sammenhenger. Kartlegging av topografi og naturgrunlaget i nedslagsfeltet er helt avgjørende for modellering og sporing av problemer i nedslagsfeltet. Et nedslagsfelt kan deles inn i fire overordnede funksjonssoner. En slik inndeling er en grov tilnærming til virkeligheten, men det kan likevel brukes til å bygge en analysemodell av nedslagsfeltet. Dette hjelper oss med å forstå egenskapene, begrensningene og konsekvensene hver område har i nedslagsfeltet. En slik inndelingen av et nedslagsfelt forekommer globalt og lokalt innenfor samme nedslagsfelt.

Hele feltet kan deles inn i sonene beskrevet nedenfor, men de hierarkiske egenskapene til et nedslagsfeltet tilsier at disse sonene forekommer i mindre skala innenfor samme nedslagsfelt.

1) Bidragssonen (Contributing zone)

Denne sonen representerer starten eller toppen av feltet. Bidragssonen består vanligvis av store arealer og topografien i disse områdene sørger for drenering av vannet fra de høyereliggende områdene til lavereliggende områder. Overflateavrenning fra disse områdene kan transportere med seg stoffer til andre områder og kan ha innvirkning på hele systemet når vannet finner veien til de store vassdragene lengere ned i systemet.

2) Samlingssonen (Collection zone)

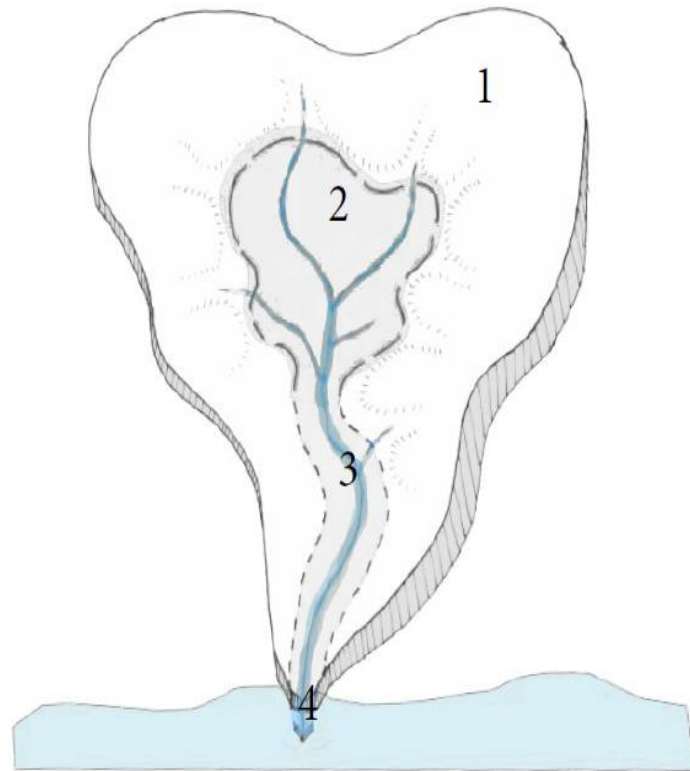
Samlingssonen utgjør de lavereliggende områdene i den øvre delen av nedslagsfeltet, som samler opp overflatevann fra bidragssonen. Samlingssonen får i tillegg til overflatevann tilsig fra grunnvann på utkanten av sonen. Store deler av samlingssonen kan ha en høy - grunnvannsstand i våte sesonger. Konsekvensene av dette kan være at systemet kan få dreneringsproblemer og er et typisk punkt utsatt for flom.

3) Transportsonen (conveyance zone)

Denne sonen består av hoved bekken eller elven i nedslagsfeltet, der hoved funksjonen er å transportere vann fra hele feltet til resipienten. Sonen inkluderer den tilgrensede elvesletten som tar imot overflatevann ved flom. Det er nesten selv forklarende at denne sonen er mest utsatt for flomdannelse og dermed hydrologien vanskelig å kontrollere. Av den totale vannmengden som tilføres transportsonen består hoved volumet av vann fra høyet grunnvannsspeil og tilsig fra omkringliggende områder. Andelen overvann kommer hovedsakelig fra de to sonene oppstrøms, bidragssonen og samlingssonen. Selv om andelen overvann er lite i forhold til grunnvannsandelen, så er det dette som utgjør hoveddelen av flomvannet i nedslagsfelt der arealene i feltet er disponert til bebyggelse.

4) Elvemunningen

Alt av vann som tilføres transportsonen skal gjennom elvemunningen og ut til resipienten. Området rundt elvemunningen er rik på næringsstoffer som vannet har tatt med seg nedstrøms og sedimenter i dette området. Elvemunninger er ofte kraftig utbygget pga. nærheten til vannforekomster til tross for ugunstige forhold som ustabil grunn og flomfare.



Figur 2.8: Illustrasjon typisk nedslagsfelt.

2.3.2 Sammenhengen mellom nedbør og overflateavrenning

Ved beregning av overvannsmengder er sammenhengen mellom nedbør og avrenning avgjørende for lange og korte perioder. En del av nedbøren som faller på overflaten fordampes, faller på trær og henger igjen. Med andre ord den intersepterer eller infiltrere og magasineres i groper på overflaten. Det som blir igjen etter disse tapsledene vil renne på overflaten til nærmeste sluk, grøft, bekk eller annen resipient. Overflateavrenningen kan uttrykkes slik:

$$Q_o = N - F - \text{Int} - \text{Inf} - G - X$$

N = Nedbør

F = Fordamping

Int = Interseparasjon

Inf = Infiltrasjon

G = Gropmagasinering

X = Andre tap

Forholdet mellom nedbør og avrenning kan beskrives av avrenningskoeffisienten(ϕ).

Avrenningskoeffisienten gir forholdet mellom avrent vannmengde og tilhørende nedbørmengde. Den benyttes for å beskrive volum- og spissavrenningen, både fra store nedslagsfelt (km^2) og urbane felt (ha) til små flater som tak, parkeringsplasser (m^2) etc. Et nedslagsfelt består av forskjellige flater og man kan bestemme avrenningskoeffisienten til hver enkel flate. Avrenningen varierer med års sesongene, og man må alltid ta dette i betraktning når man skal beregne overvannsmengder.

Avrenningssituasjonen kan karakteriseres som følger:

- Sommersituasjon: kraftig byger på tørr og tett overflate. Lite avrenning fra semipermeable og permeable flater.
- Høstsituasjon: Langvarig regn på våt mark, Betydelig avrenning fra permeable flater. Høy grunnvannstand
- Vintersituasjon: Regn på snø og frossen mark. Avrenning fra tette flater og betydelig avrenning fra semipermeable og permeable flater.
- Vårsituasjon: Snøsmelting, avrenning fra alle typer flater. Høy grunnvannstand.

2.3.3 EDB-baserte avrenningsmodeller og den rasjonelle formel

Den rasjonelle formel⁸ brukes til å dimensjonere små urbane felt (ha), der arealet er mindre enn 20-50 hektar (ha) og avrenningen er tilknyttet direkte til nedbøren, som kraftige regnbyger om sommeren. For større og mer komplekse nedslagsfelt der arealet er større enn 20-50 hektar og avrenningen er resultat av flere avrenningssystemer som grunnvann og nedbør bør det benyttes EDB-baserte⁹ avrenningsmodeller som SWMM, MOUSE, etc (Norsk-Vann 2014).

Nedslagsfeltet vårt er ca. 12 km², dermed skal det brukes data-programmet SWMM til modellering av nedslagsfeltet.

2.3.4 Konsentrasjonstiden for et nedslagsfelt

Tiden en dråpe bruker fra den faller ned helt i ytterkant av feltet til den når fram til utløpet av feltet kalles konsentrasjonstiden (t_k). Konsentrasjonstiden brukes til å velge dimensjonerende regn fra IVF-kurven for å finne maksimal overvannsavrenning fra feltet. Man skal bruke absolutt lengste strømmingstiden fra ytterst i avløpsfeltet til det punktet man skal beregne. Konsentrasjonstiden består av tiden dråpen bruker på overflaten, t_t , fram til sluket eller kanalen og strømmingstiden i rørsystemet eller i bekken, t_s (Norsk-Vann 2014).

Dermed kan konsentrasjonstiden skrives slik:

$t_k = t_t + t_s =$ strømmingstid på overflaten fram til et sluk/kanal + strømmingstiden i rørene/bekken.

For urbane strøk vil strømmingstiden i rørene være bestemt av denne ligning:

$$t_s = L/v$$

- L = lengde av ledningen fram til punktet
- V = vannhastigheten i ledningen (m/s)

Vannhastigheten i ledningen antas å være 1,5-2 m/s.

Strømmingstiden på overflaten minker med regnhastigheten og terrengfallet og er avhengig av overflatens beskaffenhet. Den anslås ofte til å være ca. 3-7 minutter i urbaniserte områder.

⁸ Den rasjonelle formel: $Q = \phi \cdot A \cdot I$

- Q = Avrent vannføring fra feltet i liter pr. sekund (l/s)
- Φ = Avrenningskoeffisient
- A = Området innenfor vannskillene for feltet (ha)
- I = Nedbørintensitet (l/s.ha)

⁹ EDB-baserte: Elektronisk databehandlingssystem

For andre flater som mer sammensatte, måler man avstanden på terrenget, vurderer helningen og anslår vannhastigheten over overflaten. Vannhastigheten over overflatene kan beregnes ved hjelp av Mannings- formel.

Mannings formel er som følger:

$$V = M * R^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}$$

- V = vannhastigheten (m/s)
- M = Mannings tall for friksjonsforholdene langs veggene i systemet (dimensjonsløst)
- R = hydraulisk radius (m) $\rightarrow R = \frac{A}{P}$
 - o A = «vått» areal av tverrsnittet
 - o P = lengde av den «våte» periferien i tverrsnittet (omkretsen)
- I = fallet på kanalen (m/m) (oppgis vanligvis i promiller)

Ved dimensjonering ønsker man å finne maksimal overvannsføring og man setter varigheten for regnskyellet (t_r) lik konsentrasjonstiden for nedslagsfeltet. Det vil si at i regnintensitetskurver (IVF-kurver) setter man $t_k = t_r$.

3. Modul 1. Kartlegging og analyse av nedslagsfeltet

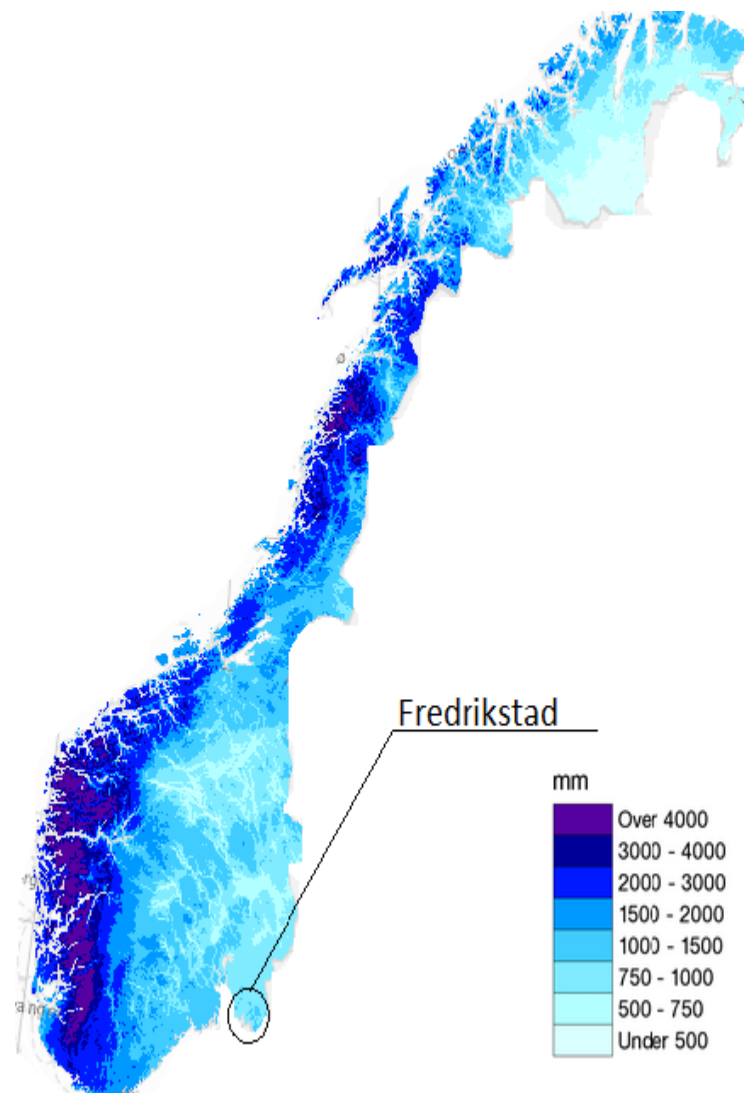
3.1 Fredrikstad

3.1.1 Klima

Fredrikstad ligger sør-øst i landet og har en blanding av kyst og innlandsklima.

I vinterhalvåret er nordavind dominerende hovedvindretning og om sommeren er sør-sørvestlige vindretning dominerende. I Fredrikstad er de utrygge værforholdene kan sies å være forårsaket av de sør-sørvestlige vindene (Skallebakken 2010).

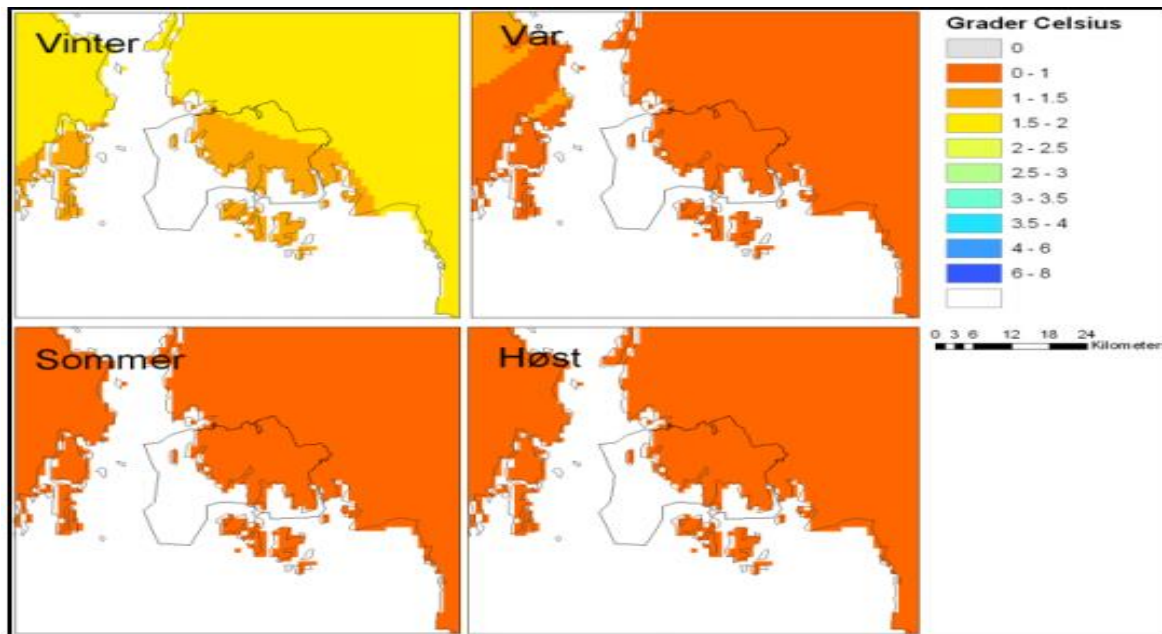
Oversiktskartet fra NVE viser samlet årsnedbør på ca. 800 mm for Fredrikstad, dette gir 800 liter per kvadratmeter. Man regner med at halvparten av denne summen tas opp i planter, infiltrere ned i bakken eller fordampes (Fredrikstad kommune 2007a).



Figur 3.1 Kartet viser normal årsnedbør i (mm) for normalperioden 1971-2000. (Kartet er hentet fra NVE)

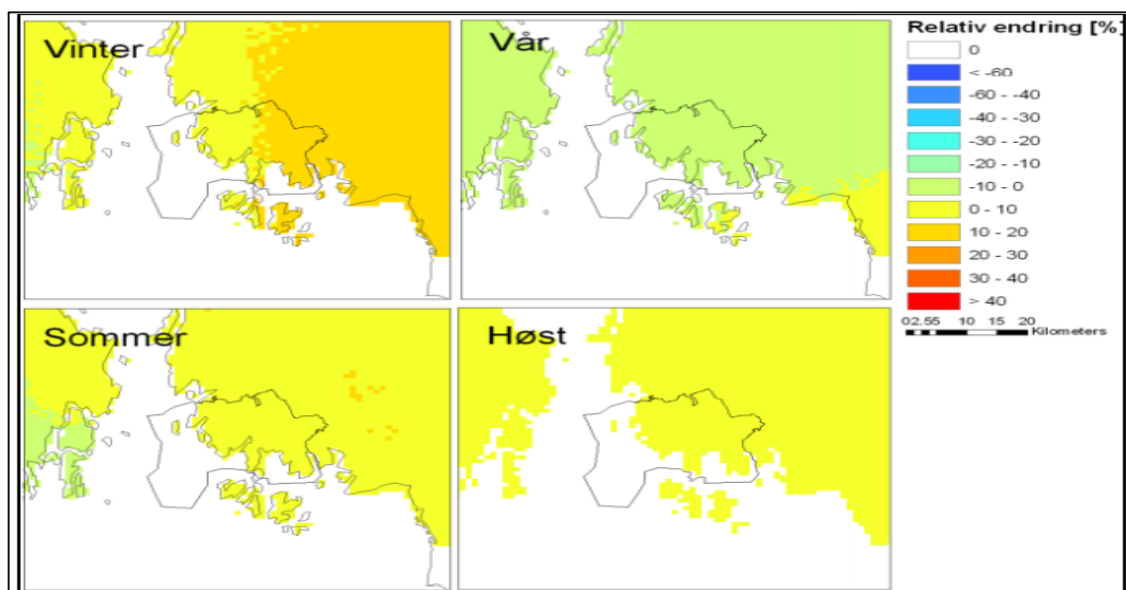
3.1.2 Klimaendringer i Fredrikstad

Vestlandsforskning har utarbeidet en klimatilpasningsrapport for Fredrikstad som viser forventede endringer fram mot 2050. Tallene er basert på nedskaleringer som er gjort av Meteorologisk Institutt (Vestlandsforskning 2010). Rapporten viser at det må forventes størst prosentvis temperaturøkning vinterstid frem mot 2050, med opp til 2,5 grader i de nordøstligste delen av kommunen. Totalt vil det være færre dager med temperatur under null grader og dermed hyppigere mildværsperioder vinterstid, mens for resten av året er det forventet en noe mindre temperaturøkning.



Figur 3.2: Forventet endring i middeltemperatur fra 1981-2010 til 2021-50 for Fredrikstad kommune (Vestlansforskning).

Generelt vil nedbørmengden øke for et helt år med en økt variasjon gjennom hele året. Prognosene viser en nedgang på 10 prosent om våren og 10-20 prosent økning for resten av året. Det blir færre dager med oppholdsdager om høsten, vinteren og våren, mens det kan bli flere dager uten nedbør om sommeren. Prognosene viser også at det blir færre nedbørsdager med temperatur under 0 grader og flere med temperatur godt over 0 grader. Dette betyr at mindre nedbør vil falle som snø og mer som regn.



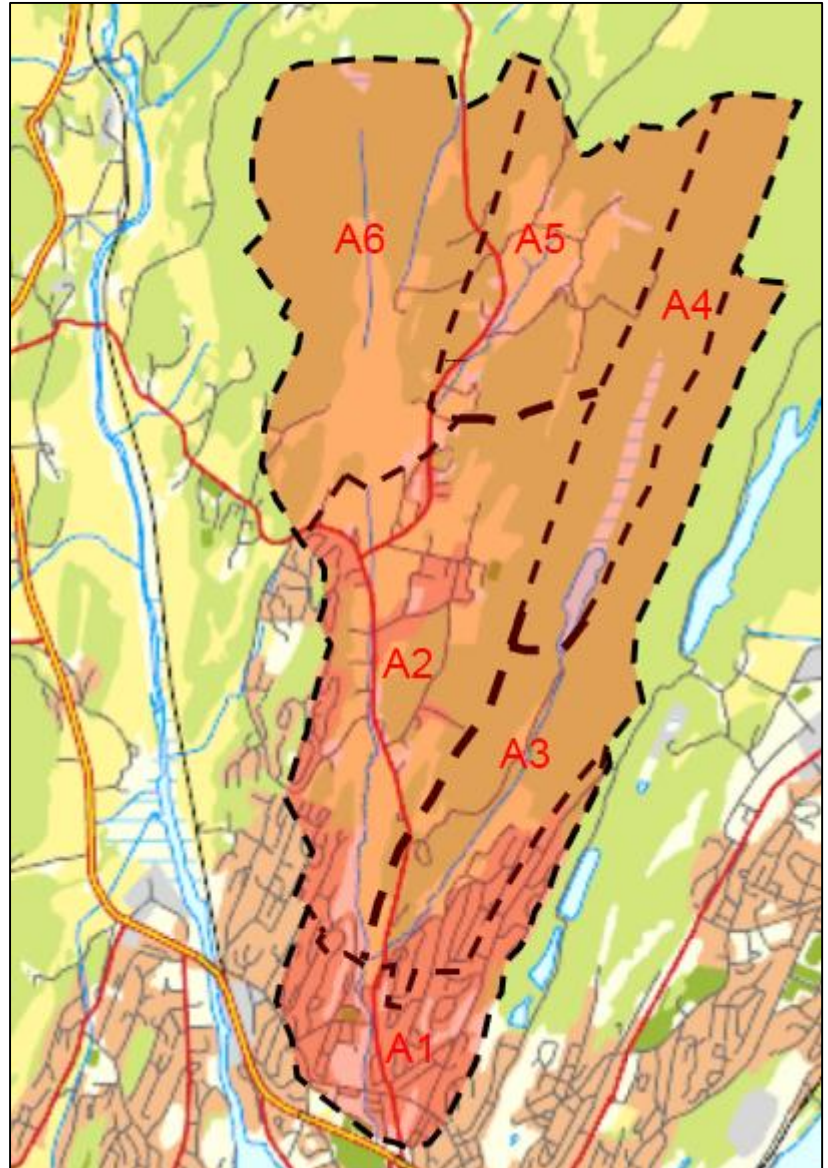
Figur 3.3: Endring i nedbør fra 1981-2010 til 2021-50 for Fredrikstad kommune (Vestlansforskning).

3.2 Nedslagsfeltet

3.2.1 Avgrensning av hovednedslagsfeltet

Veumbekken har et nedbørsfelt som dekker et areal på ca. 12 km² og går delvis i åpenkanal og delvis i rør. Bekkeløpet begynner nord for Vesterfjellet og går i rør fra jernbanelinjen ved Frydenberg videregående skole og ut til Glomma ved Evje. Nedbørsfeltet strekker seg ca. i 7 km fra sør til nord og har en bredde på forholdsvis 3 til 1,2 km fra sør til nord. Utgangspunktet for nedbørsfeltet begynner fra jernbanelinjen hvor Veumbekken går i rør. Nedbørsfeltet til Veumbekken dekker et stort areal og er preget av varierende landskap og topografi. Sør i nedbørsfeltet har vi områder med mye bebyggelse og mot nord i feltet ser man gradvis forandring i landskapet til dyrkamark, skog, fjell, dam og myr områder.

For å avgrense hoved nedbørsfeltet til Veumbekken har vi tatt i bruk flere metoder for å ha mest nøyaktig avgrensning av nedbørsfeltet. Norges Vassdrags og Energi direktoratet har utarbeidet et flomkartet som automatisk genererer nedbørsfeltet ved å ta utgangspunkt i et punkt i terrenget. Vi har brukt dette kartverktøyet for å skaffe oversikt over nedbørsfeltet ved å ta utgangspunktet i fra jernbanelinjen. Vi har fått avgrenset nedslagsfeltet og generert feltparametere og vannføringsindekser. NVE anbefaler at man skal helst kvalitetssikre resultatene da de er automatisk genererte og kan inneholde feil. Derfor har vi valgt å bruke dette kartet kun som oversiktskart.

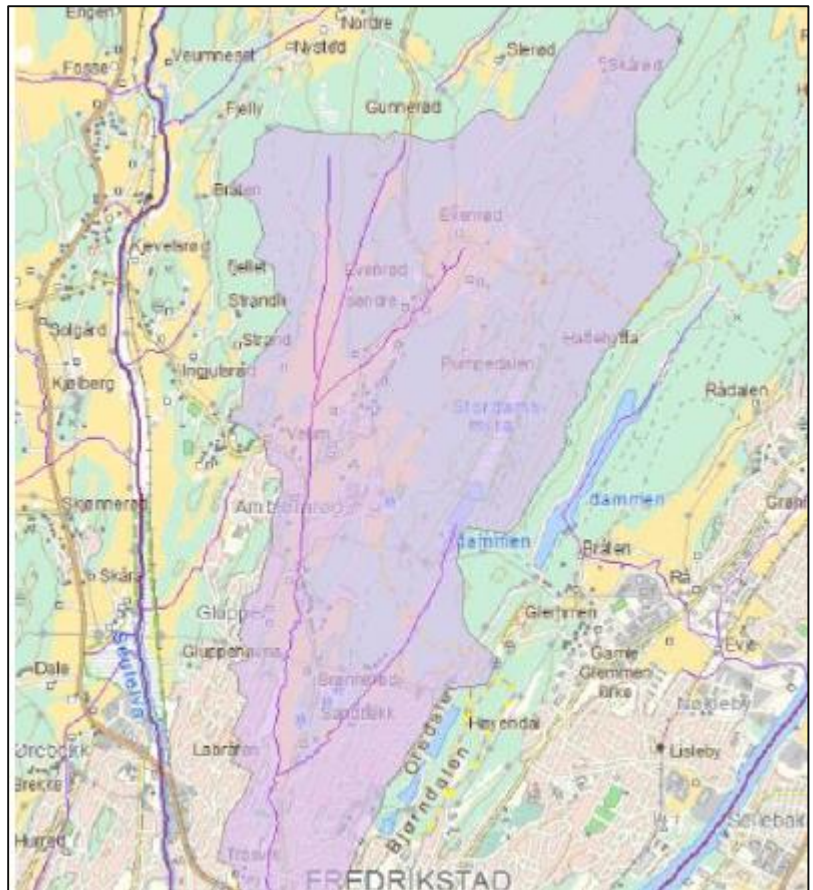


Figur 3.4: Hovednedslagsfeltet (Kartet er korrigert med oversikts kart fra COWI).

NVE sitt automatiske kart generator ga et avgrenset område på 1200 hektar mens den manuelle metoden ga 1233,6 hektar. Avviket mellom den manuelle og den automatiske metoden er ganske lite i forhold til den totale arealet, men det er noe forskjell i de geografiske avgrensningene. Vi velger derfor å legge den manuelle metoden til grunn for videre i analysearbeidet, da dette er en kvalitetssikring av resultatene for den automatiske metoden.

Videre har vi brukt en mer manuell metode ved å se på kommune kartet med kotehøyder.

Metoden baserer seg på at man ser på topografien rundt bekken og finner de høyeste fjellryggene for å bestemme vannskillet. Topografien bestemmer avrenningsmønsteret og er derfor et viktig parameter når man skal avgrense nedbørsfeltet. Utgangspunktet vårt begynner fra jernbanelinjen, der Veumbekken går i rør, videre har vi kartlagt topografien rundt bekken fra sør til nord. Området er avgrenset ved å trekke linjer fra høyest punkt til høyest punkt og på denne måten har vi avgrenset hele nedbørsfeltet.



Figur 3.5: NVE sitt automatiske nedbørsfelt generator. (Kilde NVE)

3.2.2 Inndeling av nedslagsfeltet

Hoved nedbørsfeltet dekker et stort areal med varierende landskap og topografi og alt vann vil dreneres til mindre bekker og grøfter mot Veumbekken. Basert på type landskap, topografi variasjoner og forgreninger av Veumbekken har vi valgt å dele nedbørsfeltet i 6 mindre områder. Hver del-areal kan betraktes som eget nedbørsfelt med utgangspunkt i Veumbekken. Dette betyr at Veumbekken er hovedveien for overvann for hele nedbørsfeltet og alle andre mindre bekker og forgreninger har utløpet sitt i Veumbekken.

Oredalen/Trosvik (A1)

Dette området dekker et areal på ca. 118,5 hektar og landskapet er for det meste preget av bebyggelse og tette flater. Fra øst er A1 avgrenset ved fjellryggen mellom Oredalsåsen og Bjørndalsdammene og dekker nesten hele Oredalen. På vestsiden ser vi at A1 dekker store deler av Trosvik området og avgrensningen skjer ved Søndre -og Nordre skrellen. Utgangspunktet for hovednedbørsfeltet ligger i A1 og avrenningen akkumulert fra de øvre liggende del-områdene renner i A1. Del-områdene A2 og A3 har direkte avrenning i A1 og de øvre liggende del-områdene har indirekte avrenning til A1 gjennom A2 og A3. A1 er et utsatt område pga. de store mengdene overvann som akkumuleres fra de øvre liggende områdene og renner gjennom A1.

Gluppe-Ambjørnerød/Veum-Krabberød (A2)

Landskapet i A2 består for det meste av dyrket mark, skog og noe bebyggelse, og det dekker et areal på ca. 303 hektar. I sør har A2 grenser med A1 og A3 ved Trosvik området, og i nord har A2 grenser med A6 og A5. Ser man på vest siden av A2 går vannskillet tvers gjennom Labråten, Ambjørnerød og Krabberød. A6 har direkte avrenning i A2 og A5 har indirekte avrenning gjennom A6.

Hjørnerød/Brønnerød (A3)

A3 har et areal på ca. 186,8 hektar og landskapet er for det meste preget av skog, dyrket mark og noe bebyggelse sør i feltet. På vestsiden av A3 går to fjellrygger ved Hjørnerød og Stordammene som danner vannskillet mellom A3 og A2. I øst har A3 grenser med A1 og Bjørndalen ved fjellryggen mellom de to områdene. A4 har direkte avrenning i A3 i nord, hvor all overvann fra Stordammen renner i bekkeløpet som går gjennom A3 og møter Veumbekken i A1 sør i feltet.

Stordammen-Stordammsmyra (A4)

A4 har en areal på ca. 107,8 hektar og landskapet består av skog, dam, myr og noe fjell. Sør i A4 har vi en dam og et stor myr område, hvor det samles mye vann. Dette er karakteristisk for A4 og man kan betrakte dette feltet som en magasin hvor all vann i dette området samles i

myra og dammen. Fra vest har A4 grenser med A2 og A5 og fra øst har feltet vannskille på fjellryggen som går mellom Borredalsdammen og Stordammen. A4 er en av de øvre liggende del-områdene som har grenser med andre eksterne nedbørsfelt i nord.

Veum-Pumpedalen/Evenrød-Skårød (A5)

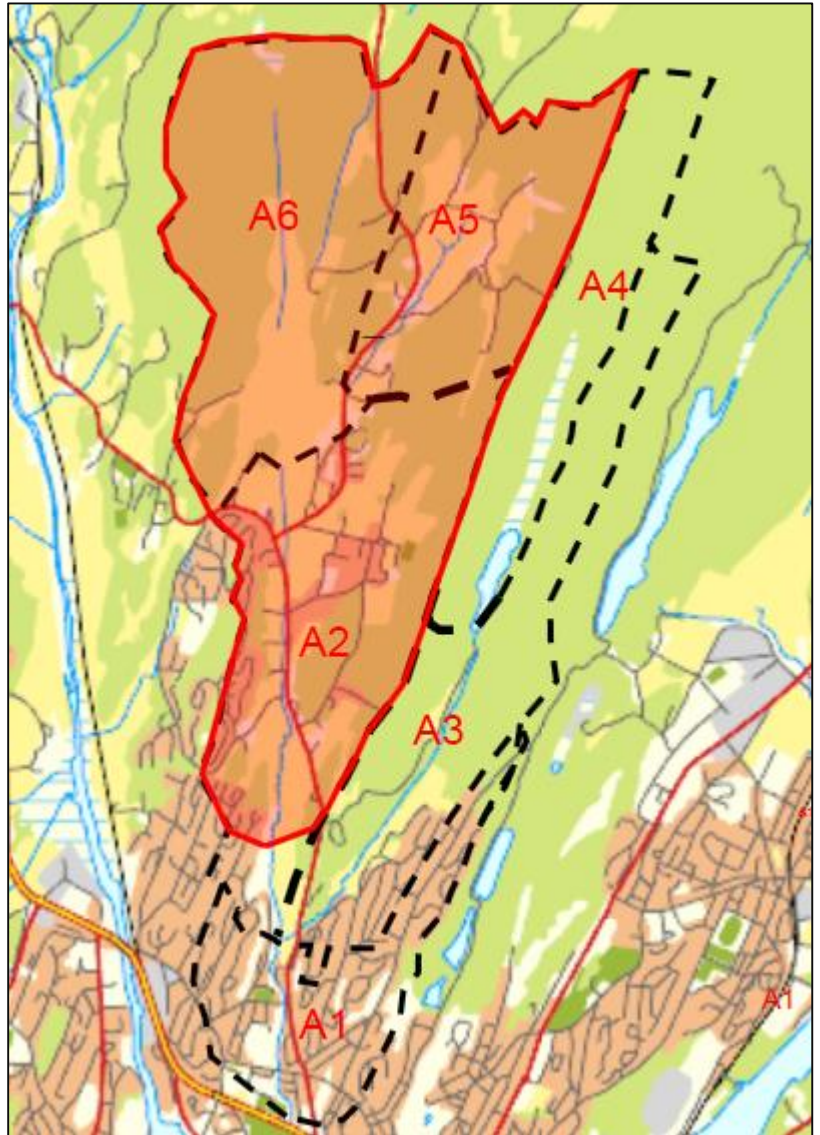
A5 dekker et areal på ca. 178 hektar og landskapet består av skog og dyrket mark. I sør har A5 grenser med A2. I øst har A5 grenser med A4 og i vest har dette del-arealt grenser med A6. A5 har direkte avrenning i A6. Store områder med skog og vegetasjon kombinert med varierende topografi i terrenget øker sjansen for magasinering og infiltrasjon av vann. Ved å se på kartet ser man at A5 er preget av varierende topografi og mye skog, og i nedre del av A5 finner man bekker og grøfter som er stand til å magasinere vann.

Krabberød-Vesterfjellet/Veummyra (A6)

A6 dekker et areal på ca. 274 hektar, og er den nest største del-areale i hoved nedbørsfeltet. Landskapet er dekket med store arealer av skog og dyrket mark, det er også deler av området som kan betraktes som myr område nord i feltet. A6 har direkte avrenning i A2 og all overvann transporteres til Veumbekken gjennom mindre bekker og grøfter. På vestsiden har A6 grenselinje med andre nedbørsfelt som har avrenning i Seutelva, og på østsiden har A6 grenser med A5. Dette området kan sies å ha samme magasinering og infiltrasjons karakteristikk som A5 pga. landskaps bilde og topografien i terrenget.

3.2.3 Avgrensning av nedslagsfeltet med utgangspunkt i overvannstunnelen

Overvannstunnelen skal avlaste Veumbekken for overvann for å unngå oppstiving og kjeller oversvømmelser i den nedre delen av Veumdalen. Dette betyr at en god del vann blir ledet bort fra systemet og nedslagsfeltet endrer karakter. Nedslagsfeltet kan deles i to separate felt, siden vi får to utløpspunkter, en ved jernbanelinjen og en ved overvannstunnelen. Slik som kartet viser vil nedslagsfeltet bli delt i to. Nedslagsfeltet med utgangspunkt i overvannstunnelen er avgrenset med rødt og har et areal på ca. 700 hektar. Slik som kartet viser består nedslagsfeltet av A6, A5 og store deler av A2 frem til innløpet til overvannstunnelen.



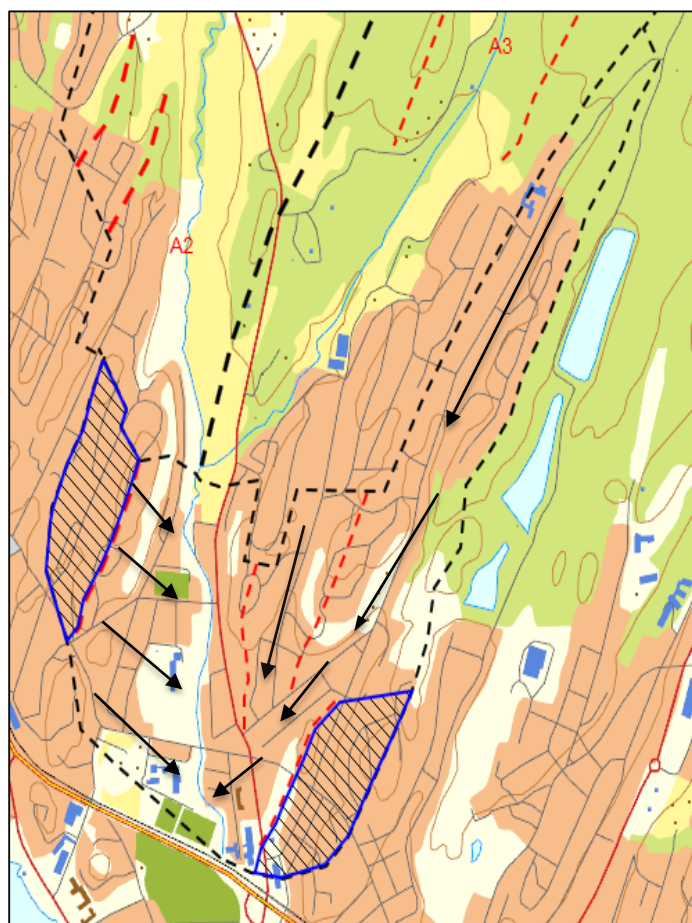
Figur 3.6: Avgrenset nedslagsfelt for overvannstunnelen.

3.3 Vannskille analyser

Avløpsprogrammet SWMM er et «rainfall-runoff» dataprogrammet som krever at brukeren deler opp nedslagsfeltet i mindre deler slik at vi får riktig resultat. Programmet krever inputdata på parameter som areal, bredde, hellning, grad av ugjennomtrengelighet, infiltrasjons egenskaper osv. Bruker av programmet må derfor utføre vannskille analyser og skaffe seg frem til riktige data. Videre i vårt arebeid har vi prøvet å ta i bruk andre dataverktøy som AutoCAD Civil 3D og brukt hjelpe verktøyet «Watershed Analysis». Pga. fil størrelse var ikke datamaksinen i stand til å utføre jobben og vi har derfor brukt kart med kotehøyder og analysert vannkillene for hver del-areal.

3.3.1 Vannskille analyse A1

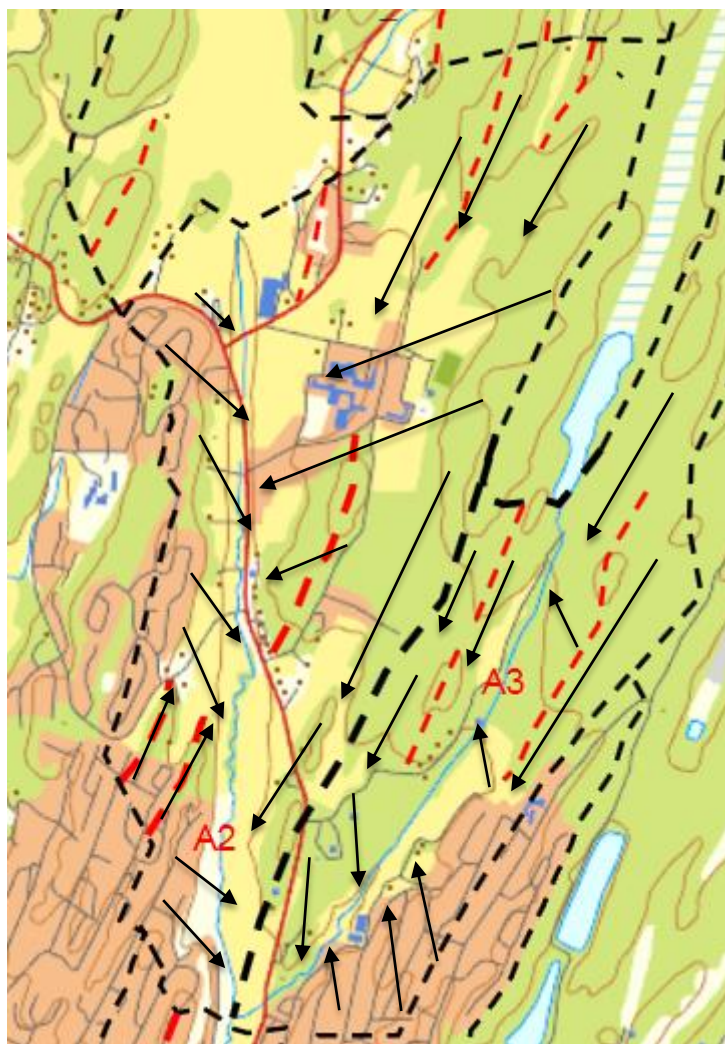
Landskapet i A1 er preget av bebyggelse og det meste av overvannet renner i avløpssystemet. Avløpssystemet i dette området består for det meste av fellesavløpssystemet og noe er separat systemet. De røde linjene på kartet representerer vannskillene og de svarte pilene viser hvordan vannet beveger seg mot avløpsystemet og Veumbekken. De to områdene som er avgrenset med blått har ikke avrenning til Veumbekken. Avrenningen i de to områdene renner i fellesavløp, og går ut av systemet. Området som er avgrenset med blå i vest har et areal på 10,2 hektar og området i sør-øst har et areal på 11,3 hektar.



Figur 3.7: Vannskille analyse A1.

3.3.2 Vannskille analyse A2 og A3

Landskapet i A2 består for det meste av skog og dyrket mark. Nord i A2 har vi områder med skog som ligger forholdsvis høyt i forhold til Veumbekken. I A2 har vi kun separat systemt, hvor spillvann renner i spillvannsledning og overvann renner i Veumbekken slik som de svarte pilne viser på kartet. I den sørlige delen av A3 er landskapet preget av bebyggelse. Overvann fra de bebygde områdene renner ifellesavløpsledninger og renner videre nedstrøm i A1. Resten av området er preget av jordbruk, skog og fjell. A2 og A3 har områder hvor terrenget har lav hellning og det gjør at vannet står stille. Vannet i disse områdene vil infiltrere i bakken.

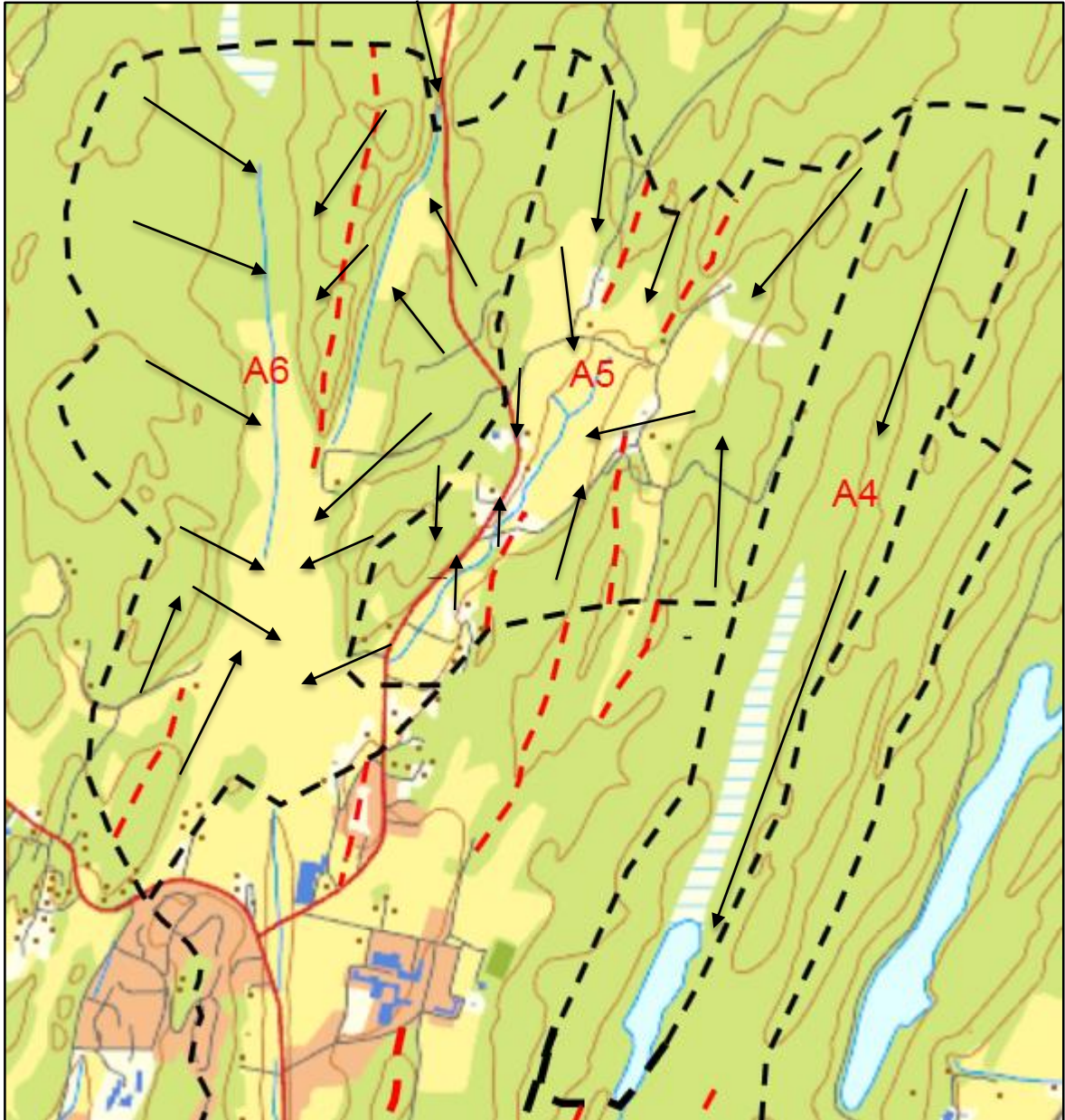


Figur 3.8. Vannskille analyse A2 og A3.

3.3.3 Vannskille analyse A4, A5 og A6

Landskapet i A4 består av skog, myr og dam. Underlaget under skogen består av fjell og det gjør at vi får noe større avrenning. Stordammyra i A4 fungerer som en fordrøyningsbasseng hvor vannet blitt holdt igjen og renner videre til dammen. Dammen slipper fra seg vann når vannvolumet i dammen overskrides ved nedbør eller ved høy grunnvannstand. A5 har 6 vannskiller slik som vi ser på figuren under. Vannet fra de seks områdene vil renne til Veumbekken. Landskapet i A5 består av skog og jordbruk noe som gir høy infiltrasjons- og fordrøyningssevne. A6 har samme landskapskarakterer som A5 og har høy infiltrasjons og

fordrøyningseven. Veummyra er plassert i den nordlige delen av A6 hvor vannet fordrøyes.

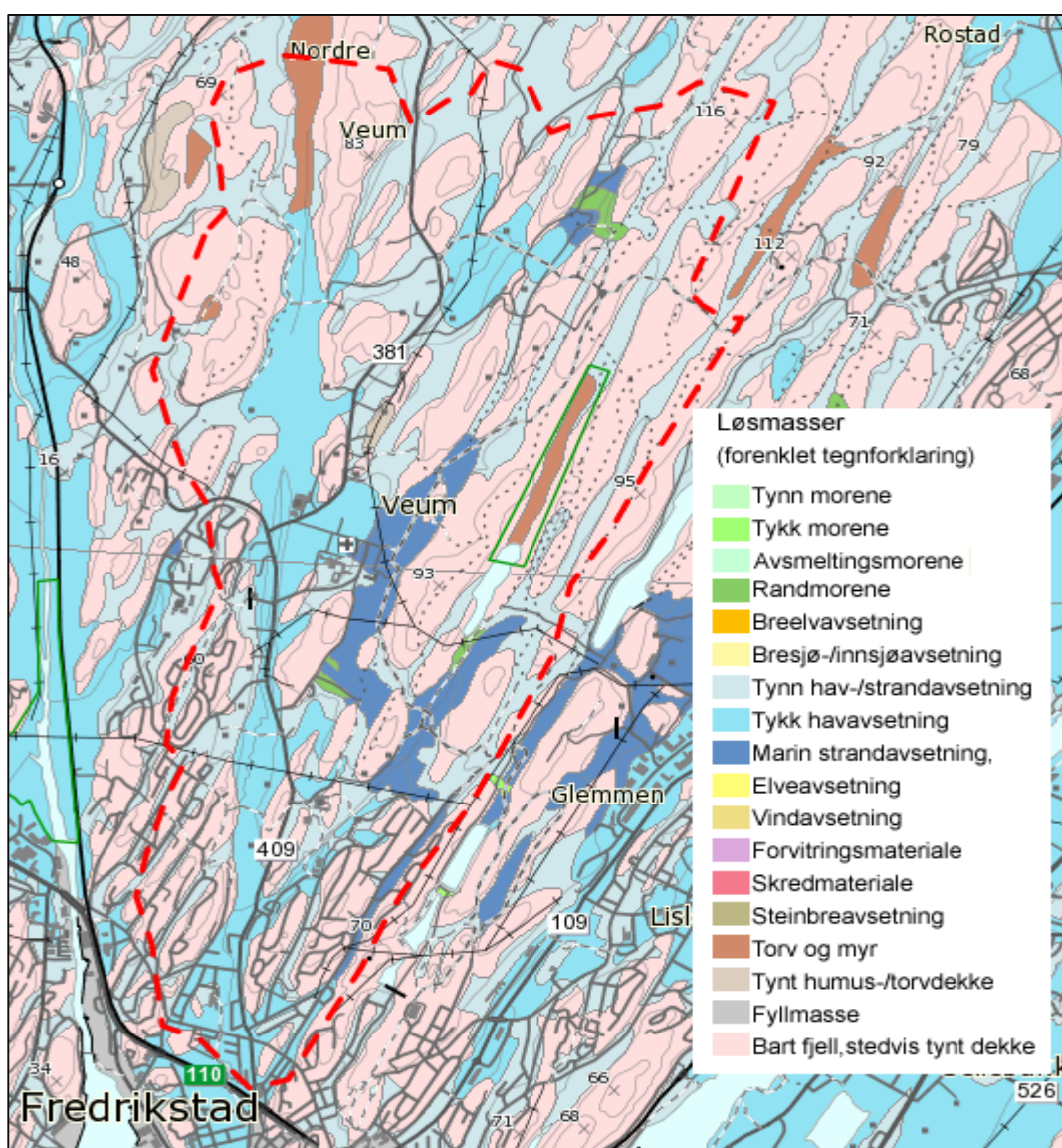


Figur 3.9: Vannskille analyse A4, A5 og A6.

3.4 Grunnforhold

Kvartærgeologi

Isen trakk seg tilbake for ca. 10 000 år siden og den gangen lå hele kommunen under havoverfalten. I dag er maringrense er ca. 200 meter over havet. Smeltevann førte meg seg slam og kom ut under iskappen og førte til store avsetninger av leire på det som den gang var havbunn. Landmassene hevet seg og de marine avsetningen ble vasket ned fra høydedragene etter hvert som isen trakk seg tilbake (Wergeland krog 1997). I dag er lansket preget av skrinne, avrundene åskammer og frodig dalbunner med mye marine hav- og fjordavsetninger.



Figur 3.10: Oversikts kart over marinavsetning. (Kilde NGU)

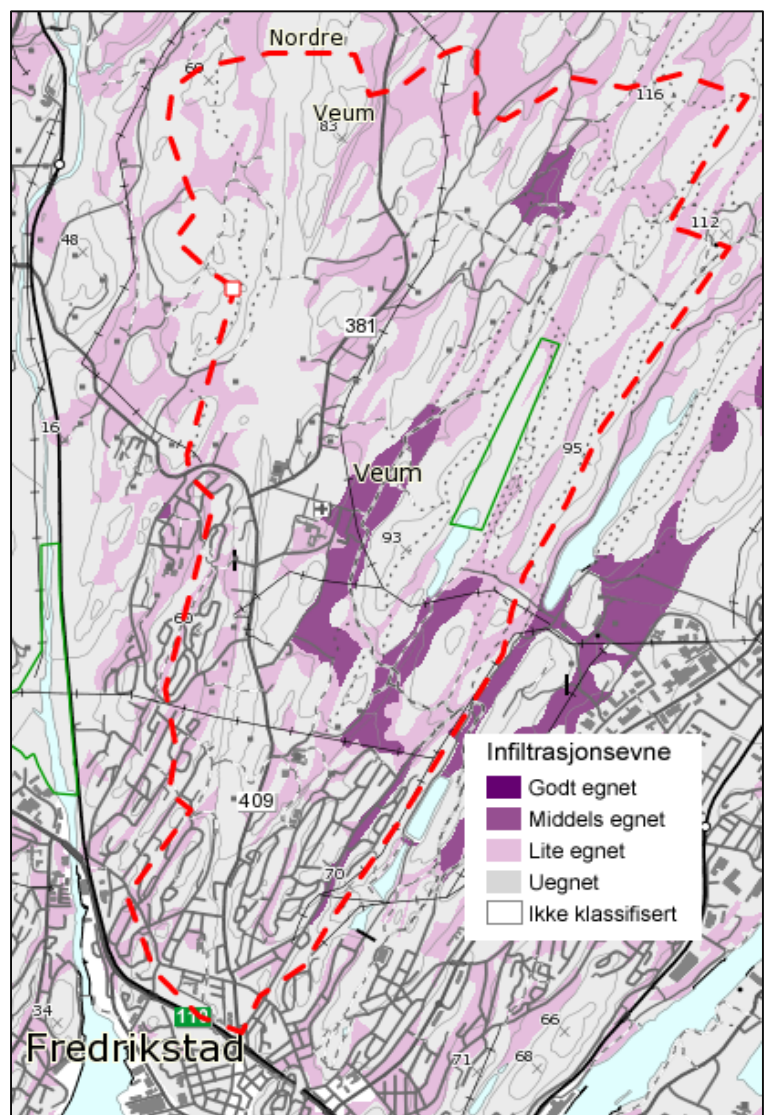
Slik som figuren over viser består grunnen i nedslagsfeltet av:

- Bart fjell
- Hav og fjordavsetninger
- Marine strandavsetninger
- Hav- og fjordavsetninger, strandavsetninger, tynt dekke
- Tor og myr
- Randmorene



I områder hvor det er markert som bart fjell består terrenget av koller som fremstår som bart fjell. I disse områdene er infiltrasjonsevnen dårlig da grunnfjellet er av massiv granitt. I dalbunnen finnes det stort sett hav- og fjordavsetninger. Disse er finkornete leire- og siltforekomster som kan ha en tykkelse fra 0,5 til flere titalls meter. Den høye andelen av finstoff i massene gjør dem meget tette og kompakte og infiltrasjonsevnen i disse områdene er også lavt. Avrenningen i disse områdene foregår på overflaten og vannet graver seg lett ned i massene og danner bekker og raviner.

På kartet kan vi se at det er noen steder hvor det er forekomster av marine strandavsetninger. Disse massene består av sand og grus over høytstående grunnvannsnivå og de finnes i begrenset volum. Infiltrasjonskapasiteten i disse områdene kan sies å være bra. I de tilfellene hvor massene er en blanding av hav- og fjordavsetninger er forholdene lite egnet for infiltrasjon.



Figur 3.11: Kart over infiltrasjonsevnen i nedslagsfeltet. Kilde Norges geologiske undersøkelse.

Myr og torv er organiske materiale som ikke er egnet til infiltrasjon men de holder igjen vannet og slipper den over lenger tid. Randmorene er løsmasser som er middels egnet til infiltrasjon og finnes i svært begrensede mengder i Veumdalen.

Grunnen i nedslagsfeltet består for det meste av leire og bart fjell. Disse massene har svært lav infiltrasjonsevne og det gjør at avrenning i disse områdene skjer på overflaten. Figur ... viser oversikt over infiltrasjonsevnen i nedslagsfeltet.

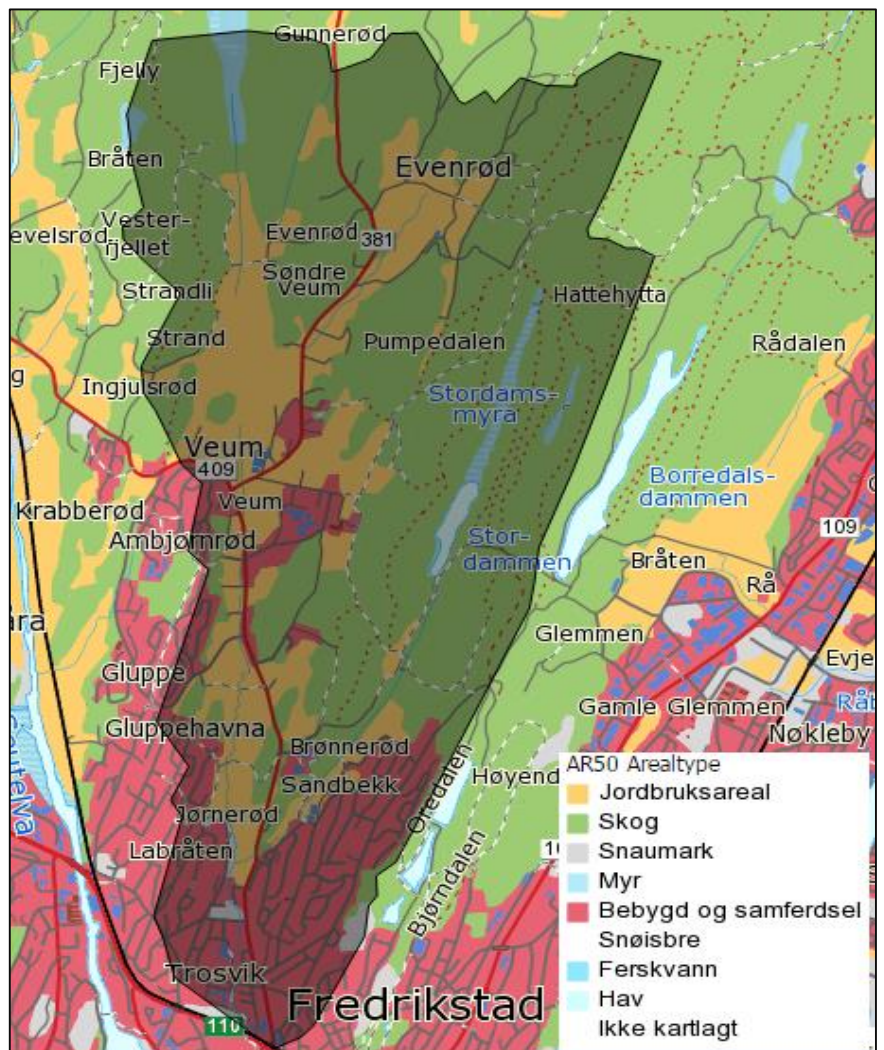
3.5 Grønnstruktur

URBANE OMRÅDER ■

Sør i feltet er området preget av småhusbebyggelse. Bebyggelsen består av småhus og villahager som generelt kan beskrives som kultiverte områder med et tynt tresjikt og stor andel gressareal. Enkelte steder mellom bebyggelser finnes det usammenhengende naturområder hvor det finnes et tett tresjikt. Disse er restarealer og er gjerne bratte.

JORDBRUK ■

På kartet kan vi se at på de rike marine avsetningen nedover dalføret er arealene brukt til



Figur 3.12: Kart over arealtyper. (Kilde Skog og landskap)

jordbruk. Det øverste laget på jordbruksarealene består av matjord. Dette laget har middels god infiltrasjonsevne, men det kan gi stor avrenning om vinteren da de enten er frosset eller ligger under snø. Om sommeren kan de også tilbakeholde mye regnvann pga. dyrking av korn o.l.

SKOG

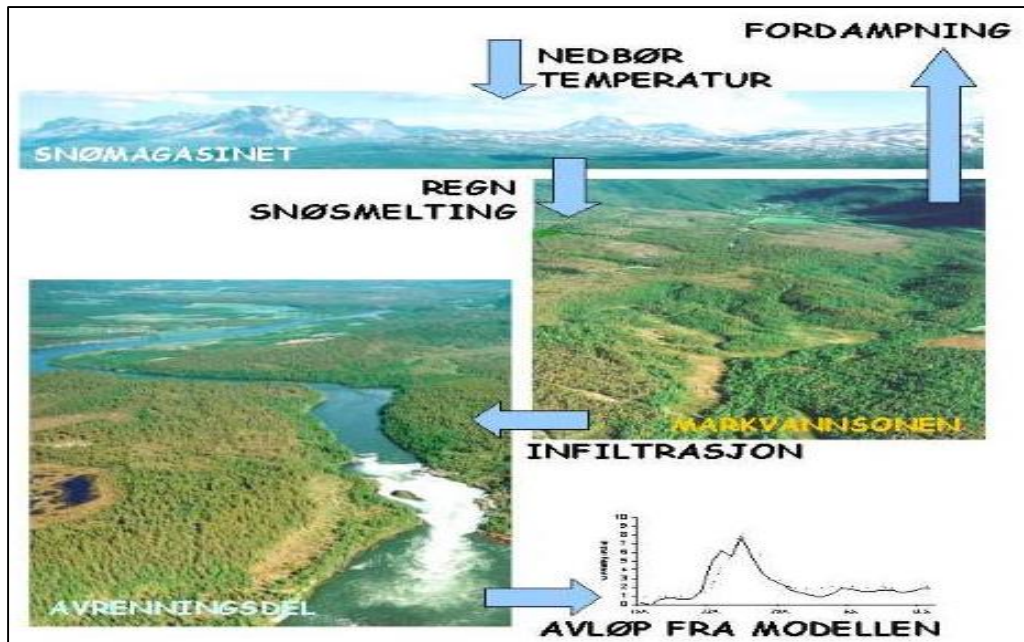


På kartet kan vi se at skogen brer rundt Veummyra og områdene rundt Stordammen. Dette området fremstår som et stort sammenhengende areal som dekker ca. 60-70 % av nedslagsfeltet. I dalbunnen der det er mye marin avsetning vokser det stort sett gra. På de skrinne kollene med tynne løsmassedekker og fjell i grunnen dominerer furu. Langs Veumbekken finner vi løvtrær som følger bekkeløpet sørover. Skogen i disse områdene har vokset på fjell og løsmassedekker. Fjell områder gir store avrenninger og betraktes som ugjennomtrengelige flater. Skogen har stått i mange år og har etter lat seg et tykk lag av vegetasjon- og plante rester på skogbunnen som øker infiltrasjons- og fordrøyningsevnen i området. Trær og vegetasjon tar opp vann og det fører til at skogen i helhet har høy fordrøynings- og infiltrasjonskapasitet.

4. Modul 2 Modelling i SWMM

4.1 Prinsipper for overflateavrenning i SWMM

Først skal vi gi en kort innføring i hva SWMM er og hvordan den fungerer. Storm Water Management Model (SWMM) er en dynamisk «rainfall-runoff» simuleringsmodell som brukes til å simulere enkelte eller langsiktige(kontinuerlig) hendelser av avrenningens kvantitet og kvalitet fra primært urbane områder. Avrenningsprosessen i SWMM skjer gjennom en rekke komponenter i programmet. En samling av arealer får nedbør og generer avrenning og forurensning. Rutings-komponenten i SWMM sørger for transport av avrenning gjennom et system av rør, kanaler, lagring/behandlings enheter, pumper og regulatorer. Programmet sporer vannmengden- og vannkvaliteten på avrenningen som genereres av hvert areal. SWMM beregner strømningshastigheten og vann kvaliteten i hvert rør og kanal. Hver simulering skjer under en periode bestående av flere tidssteg(SWMM 2010).



Figur 4.1: Modell illustrasjon i SWMM. (Kilde NVE)

SWMM er basert på en rekke fysiske prosesser som omhandler:

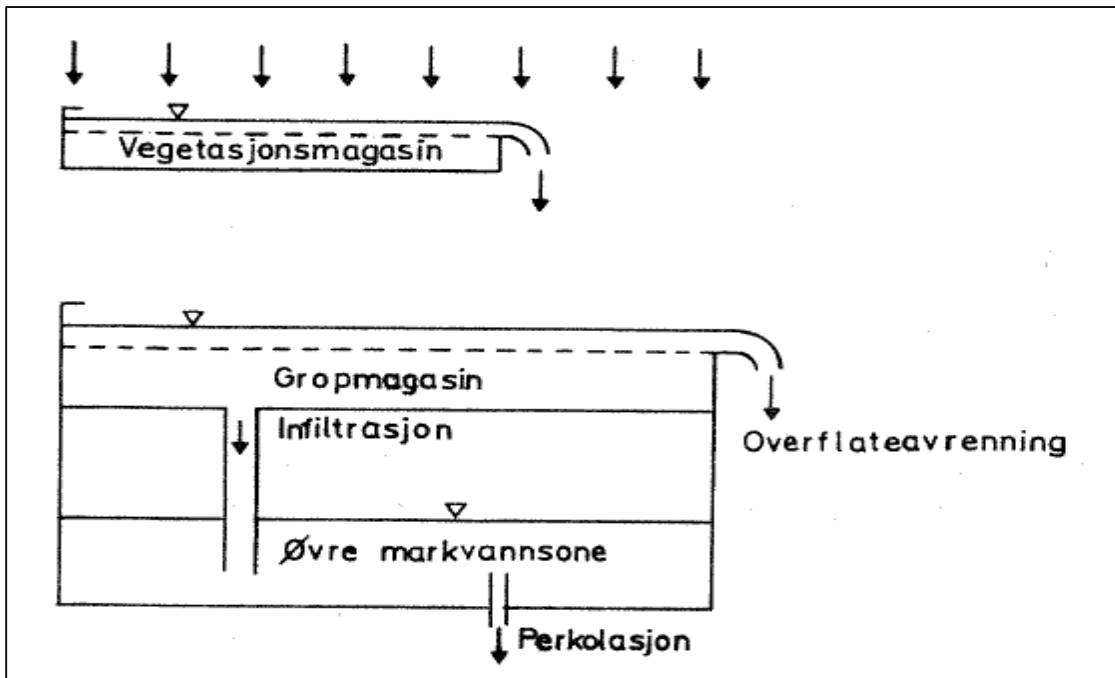
- Overflateavrenning
- Infiltrasjon
- Strømningsberegning
- Oversvømmelse ut av kum/oppstuvning
- Grunnvann
- Snøsmelting
- Temperatur
- Vannkvalitet

4.1.1 Forklaring av de fysiske prosessene

Overflateavrenning:

Jordoverflaten består vanligvis av vegetasjon, og når det regner fanges nedbøren av denne. Etter hvert som dette magasinet fylles vil regnvannet infiltrerer i jorda. Denne prosessen fortsetter til jordas infiltrasjonsevne overskrider. I dette øyeblikket vil vannet bli lageret på overflaten. Etter hvert som forsenkninger og ujevnheter i terrenget som kalles gropmagasinet (typisk størrelse 5 mm) blir fullt, vil vannet renne av på overflaten. Infiltrasjonen vil fortsette så lenge det er vann i gropmagasinet.

Figuren under viser hvordan SWMM matematisk simulerer overflateavrenningen. Figuren er en forenklet «kar» framstilling av nedbør til overflateavrenning og infiltrasjon.



Figur 4.2: Forenklet «kar» framstilling av nedbør til overflateavrenning og infiltrasjon.

Avrenningen blir beregnet med Mannings formel, der dybden av vann over delarealet blir oppdatert i programmet.

Manning formel:

$$Q = \frac{1000 * A * R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

- Q = Vannmengde (l/s)
- A = Areal (ha)
- R = Hydraulisk radius
- S = Fall på ledning (%)
- n = Mannings ruhetskoeffisient

Infiltrasjon:

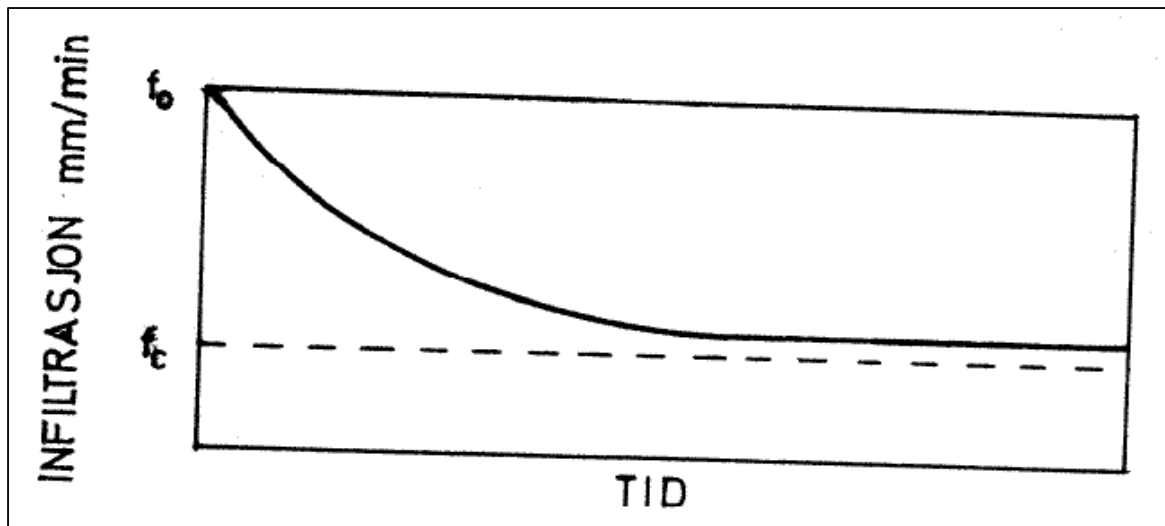
Infiltrasjon er et begrep som beskriver prosessen der vannet trenger ned i grunnen. Vannet trenger ned i den umettet sonen og beveger seg ned til grunnvannssonen. SWMM bruker Hortons ligningen for å beregne infiltrasjonsprosessen:

Hortons ligningen:

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

- $f(t)$ = infiltrasjon, mm/min
- f_0 = infiltrasjon ved regnværets begynnelse, mm/min
- f_c = konstant minset infiltrasjon, mm/min
- k = infiltrasjonskoeffisient, min^{-1}
- t = tiden etter start regnvær.

Denne ligningen kan beskrives av figuren under. Infiltrasjonen starter med en høy verdi, f_0 , ved regnværets begynnelse, og faller eksponensielt mot f_c . k verdien angir hvor raskt dette skjer.



Figur 4.3: Infiltrasjon som funksjon av tid etter regnværets start.

Hvor fort infiltrasjonsevnen reduseres er avhengig av mengde porer og sprekker i jordlagene. Jordlagene under oss har ulik porøsitet og dermed ulik infiltrasjonskapasitet. Sand har størst infiltrasjonskapasitet pga. korn størrelse. Store korn størrelser lager store hulrom og det gjør at vannet kan let trenge gjennom massene. Silt har mindre korn størrelser og dermed mindre infiltrasjonskapasitet. Leire har en tettpakket struktur som gir en lav infiltrasjonskapasitet.

SWMM krever infiltrasjonsparameteren:

- Maks infiltrasjons rate (f_0)
- Minimum infiltrasjons rate (f_c)
- Reduksjon konstanten k
- Tiden det tar for jorden å bli tørr i dager

Strømningsberegninger:

I SWMM er simuleringsmodell er basert på en rekke fysiske hendelser som skjer over et tidsintervall. Programmet benytter bevaring av masse, energi og moment til å løse St. Venants ligningen numerisk. Ligningen kan brukes til å konstruere en dynamisk modell som er tids avhengig:

St. Venants ligningen: (kontinuitetsligningen)

$$\frac{\partial V}{\partial t} + D_h \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial y}{\partial x} = 0$$

St.Venants ligningen: (momentligningen)

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = g(S_0 + S_f)$$

- V : Vannhastighet
- D_h : Hydraulisk dybde
- S_0 : Bunnen av rør
- S_t : Helning til energilinjen
- x : lengden til rør
- t : tiden
- g : gravitasjonskonstanten

SWMM beregner strømming etter tre kategorier ut i fra hvor mye St.Venants ligningen blir forenklet:

- 1) Stabil strømming: Brukes til å beregne den enkleste formen. SWMM antar at volumstrømmen er stabil og uniform for hvert beregningssteg.
- 2) Kinematisk strømming: SWMM benytter kontinuitetsligningen til å beregne volumstrømmen, sammen med en forenklet form av moment ligningen for hver ledning.
- 3) Dynamisk strømming: Programmet løser både moment- og kontinuitetsligningen i en dimensjon som teoretisk sett gir den beste resultatet. I motsetning til de to enklere utgavene klarer dynamisk strømming å beregne kanal lagring, tap ved innløp og utløp, strømningsendring og strømming under trykk. Denne egenskapen gjør at dynamisk

strømning egner seg best til modellering av store felt som har lange og komplekse vanntransports veier. Spesielt når modellen skal kjøres over en lengre tidsintervall.

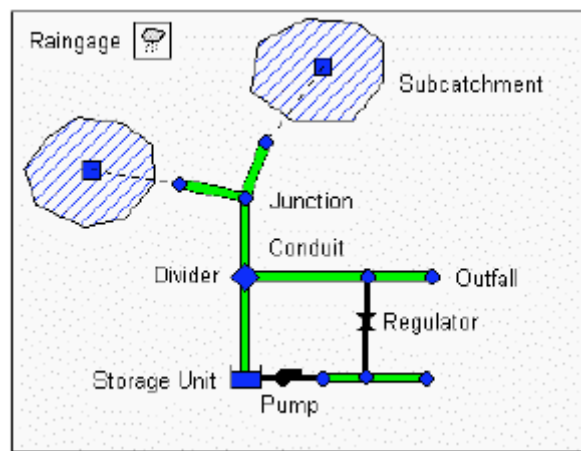
I vår modell har vi brukt dynamisk strømning til å bergene strømmingen, da vi har et stort felt med lange og komplekse kanaler og overvanns ledninger.

Oversvømmelse ut av kum/ oppstuvning:

SWMM overvåker vannivået i kummene og sammenligner det med volumstrømmingen i ledningen. Hvis volumstrømmingen overgår kapasiteten til ledningen og kummen(ene) blir oversvømt, vil det ekstra volumet enten forsvinne fra systemet eller bli lagret til systemet har kapasitet til å transportere det videre.

4.2 Modelloppbygning

Avrenningsprosessen i SWMM skjer gjennom en rekke objekter som man setter sammen etter å ha kartlagt og analysert nedslagsfeltet. Figuren under viser hvordan en typisk modell kan se ut.



Figur 4.4: Modell eksempel hentet fra SWMM manualen.

SWMM benytter disse objektene til å simulere hydrologi- og hydrauliske prosesser i en modell. Disse objektene representerer fysiske objekter som arealer, kanaler, bekkeløp, avløpssystemer, nedbør, temperatur osv. SWMM krever en rekke parameter som må tilordnes hvert enkelt objekt. En stor del av arbeidet med modellbyggingen har vært å finne disse parameteren og tilordne dem til objektene.

Objektene kan deles i 4 forskjellige kategorier:

- 1) Atmosfærisk: SWMM bruker objektet «Rain Gage» til å simulere nedbør.
- 2) Land overflater: denne delen av modellen representerer land overflatene på nedslagsfeltet. SWMM bruker objektet «Subcatchment» til å modellere land overflatene. Dette objektet mottar nedbør i form av regn eller snø og gir fra seg vannet i form av infiltrasjon eller overflateavrenning. Infiltrert vann sendes til grunnvann og overflateavrenningen sendes til transport objektene.
- 3) Grunnvann: dette objektet mottar infiltrert vann fra land overflatene og gir en del av dette til transport objektene. SWMM bruker Aquifer objektet til å modellere denne prosessen.
- 4) Transportsystem: SWMM brukere denne modulen til å simulere vannveien gjennom et nettverk av transporterings objekter. Disse objektene består av kanaler, rør, pumper, regulatorer og lagrings enheter som transporterer vannet til et resipient eller en rensesanlegg. Innstrømning til denne modulen kan komme fra overflateavrenning, grunnvann, spillvann eller hydrografer som er spesielt definert av brukeren av programmet.

4.2.1 Modellering av arealer (Subcatchments)

Arealer i SWMM modellers som et oppsamlingsobjekt hvor hver areal har et utløpspunkt. Nedslagsfeltet vårt har et stort areal og vannet beveger seg i forskjellige retninger avhengig av topografi. Arealet kan deles i permeable og impermeableflater. Det er muligheter for å simulere infiltrasjon, snøsmelting, gropmagasinering og fordrøyning for hvert areal.

For å simulere arealer i modellen må man ha parameter for:

- Areal (hektar)
- Bredd (bredden på vannveien i meter)
- Helning i %
- % impermeabilitet

- Mannings tall n for permeable- og impermeable flater.
- Overflatelagring (mm)
- Infiltrasjonsegenskaper
- Tilordnet nedbør
- Utløpspunkt

I modellen vår har vi delt hele nedslagsfeltet i 122 del-arealer og har gitt hvert del-areal eget navn og egenskaper. Vi har brukt kartlegging og vannanalyse kartet i kapittel 3 for å dele hele nedslagsfeltet i mindre del-arealer, da det kreves at arealene har riktig utløpspunkt. Hele nedslagsfeltet er delt i 6 del-områder og vi har brukt det samme navnsettingsmønsteret i inndelingene.

Arealinndelingen er delt som følgende:

- A1 er delt i 24 del-arealer
- A2 er delt i 37 del-arealer
- A3 er delt i 19 del-arealer
- A4 er delt i 3 del-arealer
- A5 er delt i 16 del-arealer
- A6 er delt i 23 del-arealer

Etter å ha delt nedslagsfeltet i mindre del-arealer har vi målt arealene og kartlagt arealenes permeabilitet og impermeabilitet. Arealene er kategorisert etter tetthet og type overflate. Mannings tall er hentet fra SWMM sin manual i vedlegg A tabell A.6 til A.8. Overflaten på arealene består av forskjellige type overflater som asfalt, tett gress, skog, vegetasjon, fjell og dyrket mark. Vi har laget tabeller for Mannings tall og beregnet gjennomsnittlige tall for hver overflate (Vedlegg B).

Arealene har forskjellige fasong og dermed forskjellige bredde, lengde og topografi. Vi har tatt gjennomsnittlige mål på bredde, lengde og høyde, og deretter beregnet helningen og bredden på arealene. Til dette har vi brukt grunnlagsdata som er hentet hos COWI og kommunens eget nettkart som finnes på hjemme siden til Fredrikstad kommune. Verdiene av disse parameterne for hver del-areal er i oppgitt i Vedlegg A.

Property	Value
Name	SA13
X-Coordinate	7216.405
Y-Coordinate	7678.883
Description	
Tag	
Rain Gage	Nedbør
Outlet	JFA-17
Area	2.44
Width	104
% Slope	2
% Imperv	80
N-Imperv	0.012
N-Perv	0.09
Dstore-Imperv	1.3
Dstore-Perv	5.1
%Zero-Imperv	0
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100
Infiltration	HORTON
Groundwater	NO
Snow Pack	
LID Controls	0
Land Uses	0
Initial Buildup	NONE

Figur 4.5: Egenskaper for del-arealene. (Utklipp fra SWMM)

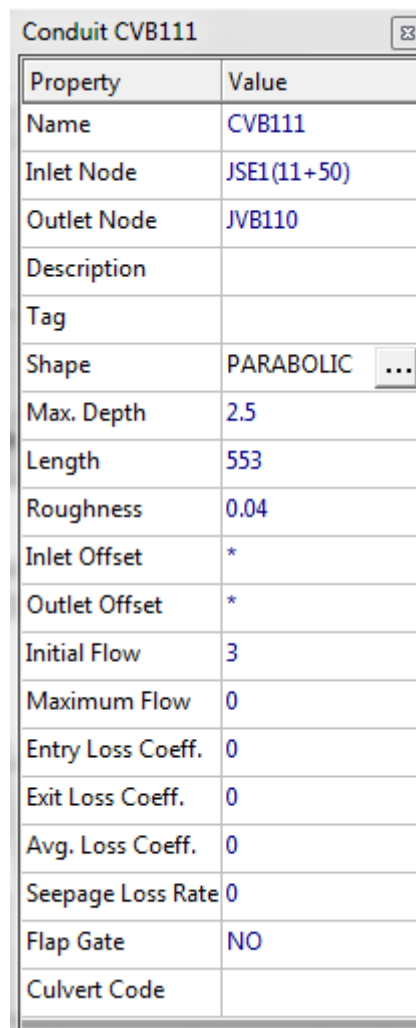
4.2.2 Modellering av kanaler og rørsystemer

I SWMM modelleres kanaler og rørsystemer med objektet «Conduit». Her kan man velge type rør eller kanal og bestemme ruhet og dimensjoner.

Vi har brukt ledningskartet over nedslagsfeltet som er hentet hos COWI og brukt data fra dette kartet til å modellere ledningsnett i SWMM. Kanal eller rørsystemet kobles til hverandre med et objekt som kalles «junction». Disse kan representere en kum eller et punkt i systemet. Man må oppgi høyden på hver koblingspunkt slik at kanalene eller rørsystemet henger sammen

Siden hver del-areal skal ha sitt utløpspunkt har vi delt Veumbekken i mindre del-strekninger med jevne mellomrom. Deretter har vi koblet hver del-areal til koblingspunktet mellom del-strekningen.

Spillvannsmengder er også modellert i ledningsnett med «Dry Weather Flow» som simulerer en mengde vann gjennom spillvannsledningene. Vi har simulert spillvannsmengder kun for å se dette i sammenheng med overvannsmengder og det er ikke tatt noen kvalitets kontroll av spillvannsmengder.

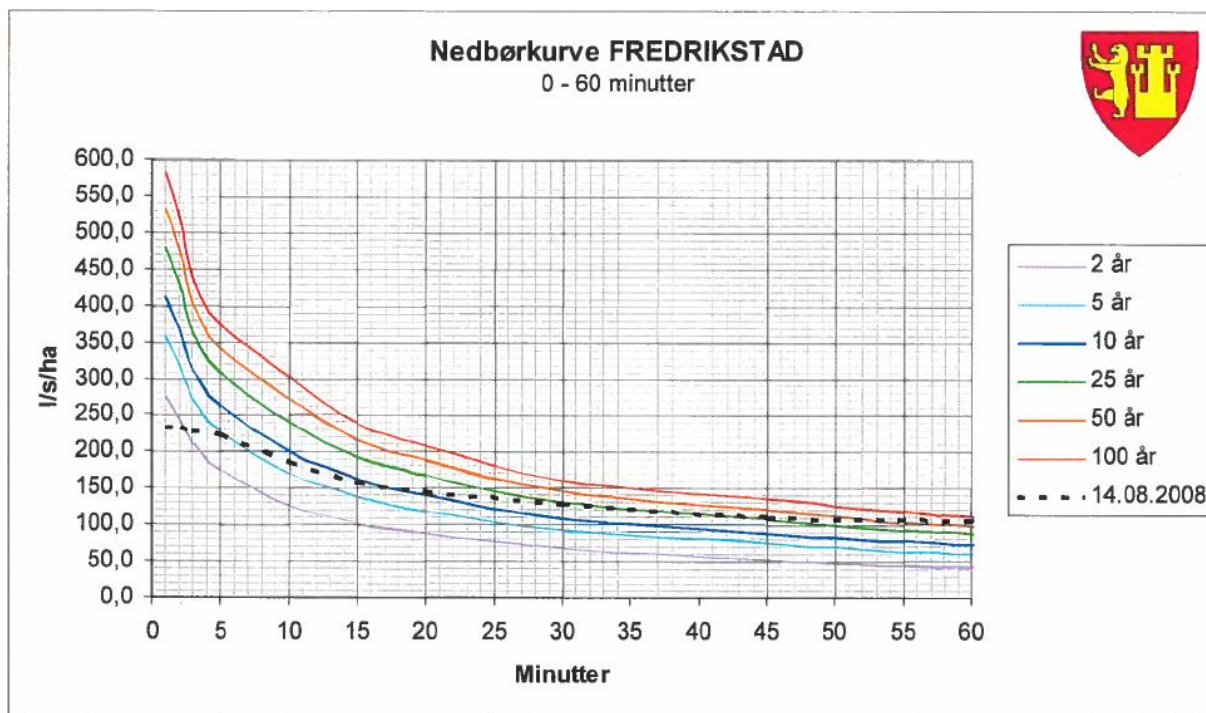


Property	Value
Name	CVB111
Inlet Node	JSE1(11+50)
Outlet Node	JVB110
Description	
Tag	
Shape	PARABOLIC ...
Max. Depth	2.5
Length	553
Roughness	0.04
Inlet Offset	*
Outlet Offset	*
Initial Flow	3
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	

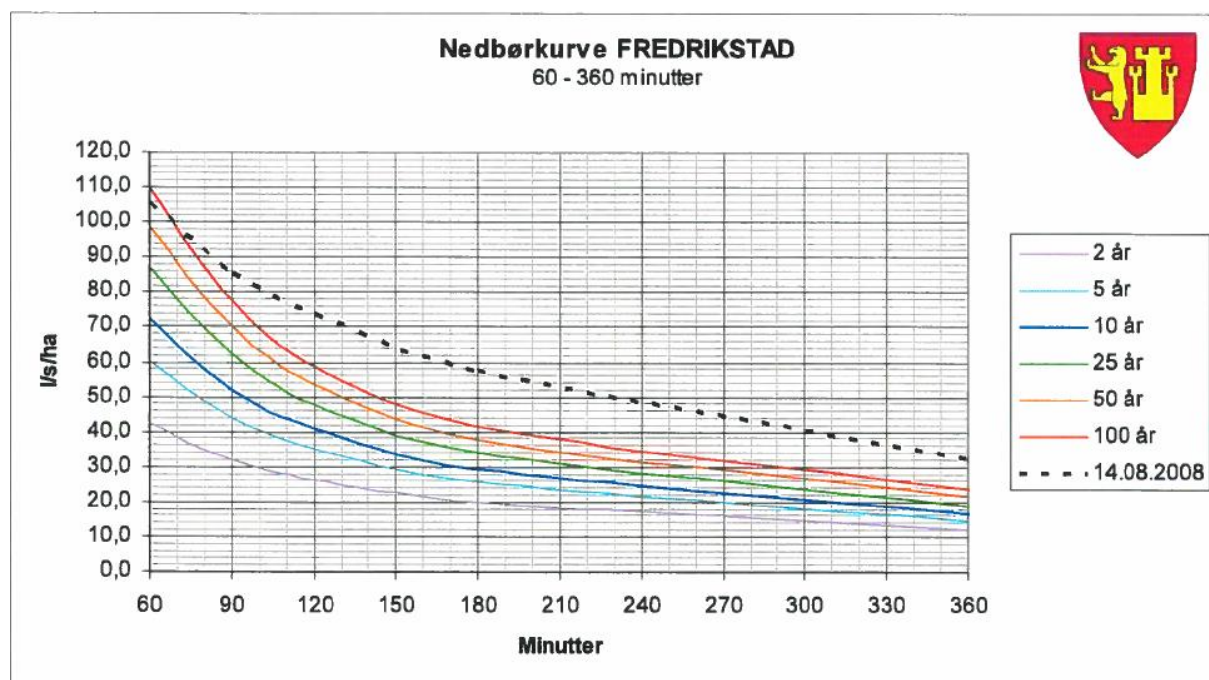
Figur 4.6: Egenskaper for kanaler eller rør. (Utklipp fra SWMM)

4.2.3 Modellering av nedbør

SWMM bruker objektet «Rain Gage» til å simulere nedbør. For å simulere nedbøren må man tilordne objektet «Rain Gage» en regnhyetogram. I SWMM bruker man objektet «Time Series» for å lage regnhyetogrammene. Vi har modellert regn konstruert fra IVF-kurven for regnintensiteter som tilsvarer 25, 50, 100 års regn samt 14.08.2008 regnet. Regnhyetogrammene finnes i vedlegg C.



Figur 4.7: IVF-kurve for Fredrikstad. (Kilde COWI)

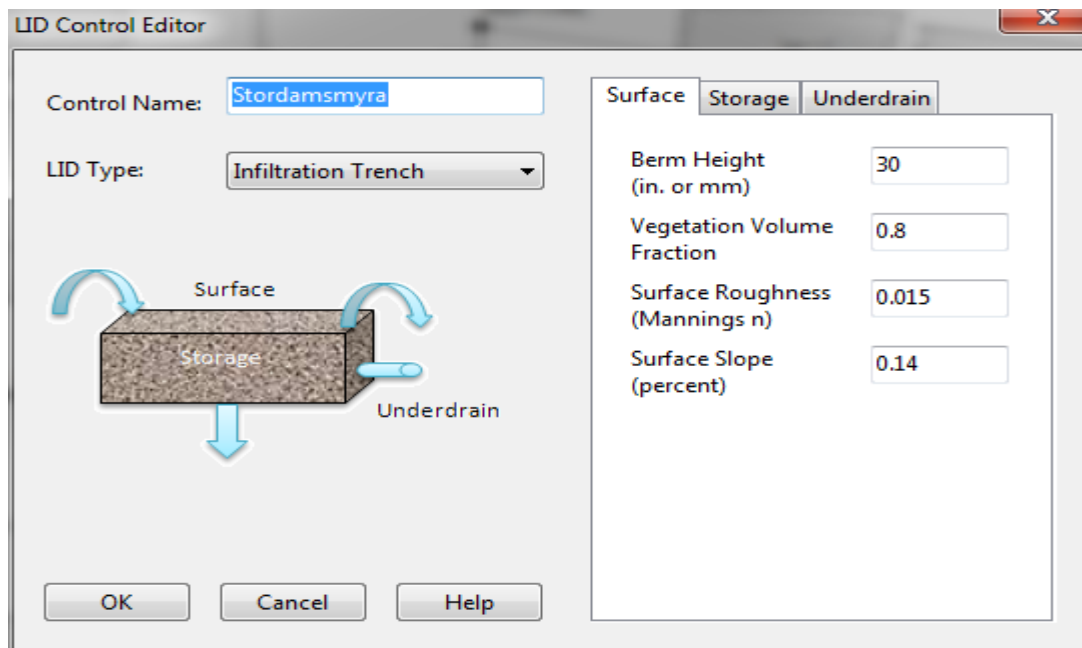


Figur 4.8: IVF-kurve for Fredrikstad. (Kilde COWI)

4.2.4 Modellering av dam og myr

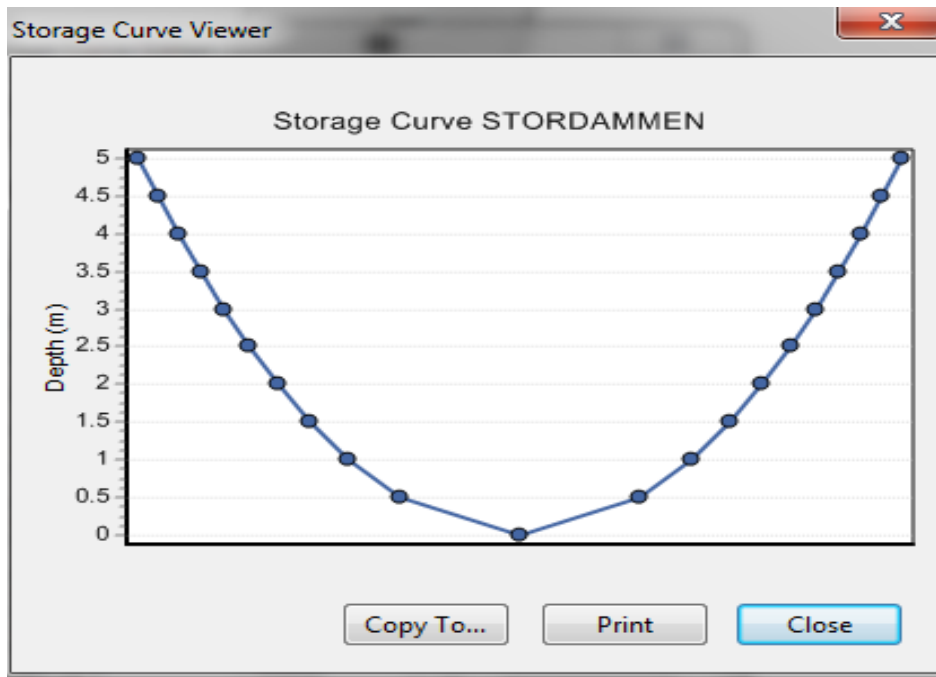
I nedslagsfeltet har vi dam og myr områder som magasinerer vann. I del-områdene A4 og A6 har vi myr områder som fordrøyer vannet. For å simulere dette har vi brukt objektet som heter «Low Impact Development» i SWMM og tilordnet dette til del-arealet som har myr områder i A4 og A6. For å simulere myr-områder må man oppgi parameter som:

- Dybde på myr
- Overflate ruhet, Mannings tall
- Overflate helning
- % vegetasjonsvolum



Figur 4.9: Simulering av Stordamsmyra og Veummyra. (Utklipp fra SWMM)

For å simulere Stordammen har vi brukt objektet «Storage node» hvor vi har bestemt volumet av Stordammen ved å lage en tabell som viser forholdet mellom dammens dybde og overflateareal slik som figuren under viser.



Figur 4.10: Simulering av Stordammen. (Utklipp fra SWMM)

4.3 Modell kalibrering

Kalibrering innebærer at man skal kunne sammenligne et instrument mot en referansemateriale for å kunne gjenspeile virkeligheten. I modell oppbyggingen for nedslagsfeltet er maksimal avrenning (Q_{maks}) den viktigste parameteren, da dette fører til oversvømmelser i nedslagsfeltet. I et slik tilfelle vil overvannstunnelen kunne ta unna store mengder vann ($8,5 \text{ m}^3/\text{s}$) og hindre en flomsituasjon i nedre del av nedslagsfeltet.

Til kalibrering av modellen vår har vi brukt manuelle beregner som er utført av COWI og data fra regn hendelsen som inntraff den 14.08.2008. COWI har jobbet med nedslagsfeltet i mange år, og har hatt ansvaret for prosjektering av blant annet utbyggingen av overvannstunnelen i Veumdalen. Disse manuelle beregningene av maks vannføring (Q_{maks}) i Veumdalen har blitt brukt som grunnlagsdata for tekniske rapporter og dermed kan man konkludere med at dataen har høy pålitelighetsnivå.

Den 14.08.2008 inntraff en kraftig nedbør som førte til at store deler av Veumdalen ble oversvømt. Kulverten ved jernbanelinjen hadde ikke nok kapasitet til å ta unna vannmengdene og det førte til oppstuvning av vann oppstrøms. Slik som figuren under viser ble store arealer oversvømt. Dette er et ekstrem situasjon som man kan bruke til kalibrering av modellen. COWI har tatt målinger fra denne datoen og rekonstruert en kurve i IVF-kurven for Fredrikstad datert den 14.08.2008. Vi har brukt denne kurven til å anslå maks vannføring (Q_{maks}) i Veumdalen som inntraff denne datoen.



Figur 4.11: Oversvømmelse under jernbanelinjene ved Frydenberg VGS.(Kilde Fredrikstad Blad)

4.3.1 Modell verifikasjon og etterprøving

Metoden baserer seg på at man sammenligner modell beregningene med målingen av den virkelige situasjon, og anslår hvor realistiske modell beregningen er. Modell parameterne blir så opp/ned justert for å gjenskape de samme resultatene som virkeligheten. Som tidligere nevnt skal vannføringsberegninger utført av COWI brukes som referanse data.

Referansedata:

- 1) Teknisk rapport utført av COWI for Fredrikstad kommune(Hesselberg 1989). Rapporten inneholder beregninger for sommer, høst og vinter avrenningen.

- Sommersituasjon:

$$Q_{10} = 4550 \text{ (l/s)}$$

- Høstsituasjon:

$$Q_{25} = 6100 \text{ (l/s)}$$

- Vintersituasjon (snøsmelting):

$$Q_{DIM} = 7300 \text{ (l/s)}$$

- 2) Rekonstruert IVF-kurve med vannmålinger fra 14.08.2008. I beregningene våre skal det brukes de samme parameter verdiene som i rapporten slik at resultatene kan sammenlignes.

Den rasjonelle formel:

$$Q = \varphi * A * I$$

Arealer: (egne målinger pga. nye boligfelt og forandringer i nedslagsfeltet)

$A_{\text{totalt}} = 1200$	(ha) (Nye måling)
$A_1 = 208,4$	(ha) (Bebyggelse)
$A_2 = 991,6$	(ha) (Skog eller dyrket mark)

Avrenningskoeffisienter: (hentet fra rapporten)

$\Phi_1 = 0,2$	(Bebyggelse)
$\Phi_2 = 0,1$	(Skog og dyrket mark)

$$\varphi_{mid} = \frac{0,2 * 208,4 + 0,1 * 991,6}{1200} = 0,117$$

Konsentrasjonstid (t_k): (hentet fra rapporten)

- Tilrenningstid (frem til bekken)

$$t_t = 10 \text{ min}$$

- Strømningstid ved en vannhastighet på 0,8 m/s.

$$t_s = 145 \text{ min}$$

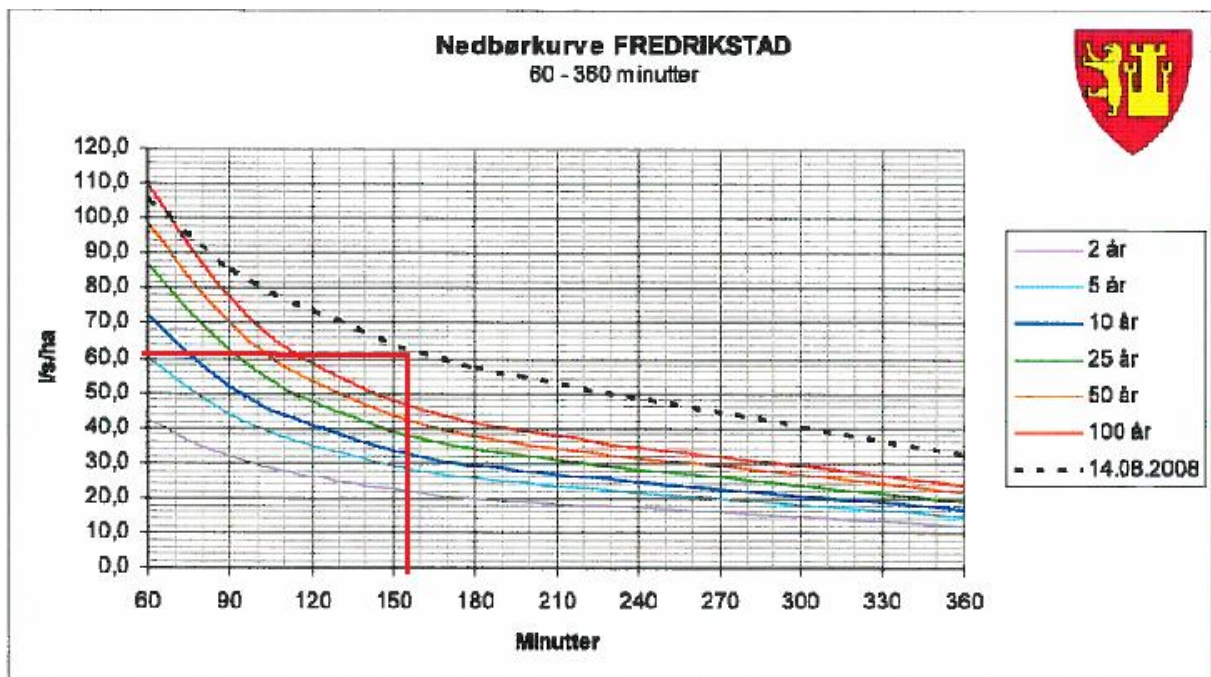
- Konsentrasjonstiden

$$t_k = t_t + t_s = 10 + 145 = 155 \text{ minutter}$$

Regnintensitet fra rekonstruert IVF-kurve den 14.08.2008:

Med en konsentrasjonstid på 155 minutter kan vi se fra IVF-kurven at vi får en regnintensitets:

$$I_{14.08.2008} = 60 \text{ (l/s*ha)}.$$



Figur 4.12 Rekonstruert IVF-kurve med målinger fra nedbøren som inntraff den 14.08.2008. (Kilde COWI)

Maks avrenning ($Q_{14.08.2008}$):

$$Q_{14.08.2008} = 0,117 * 1200 * 60 = 8450 \text{ (l/s)}$$

Modellberegninger:

Modellen ble kjørt med konstruerte regnhyetogrammer flere ganger for å avdekke kontinuitetsfeil. SWMM har eget funksjon som analyserer kontinuitetsfeil der kum eller rør blir oppgitt med en prosentfeil. Etter utbedring av disse feilene ble modellen kjørt med regnhyetogrammer og sammenlignet med manuelle beregninger. Dette for å være sikker på at modellen gir samme resultat.

Fra referansedata har vi valgt to referansedata:

- 1) Sommersituasjon som tilsvarer 10 års regn
- 2) Regn episode 14.08.2008

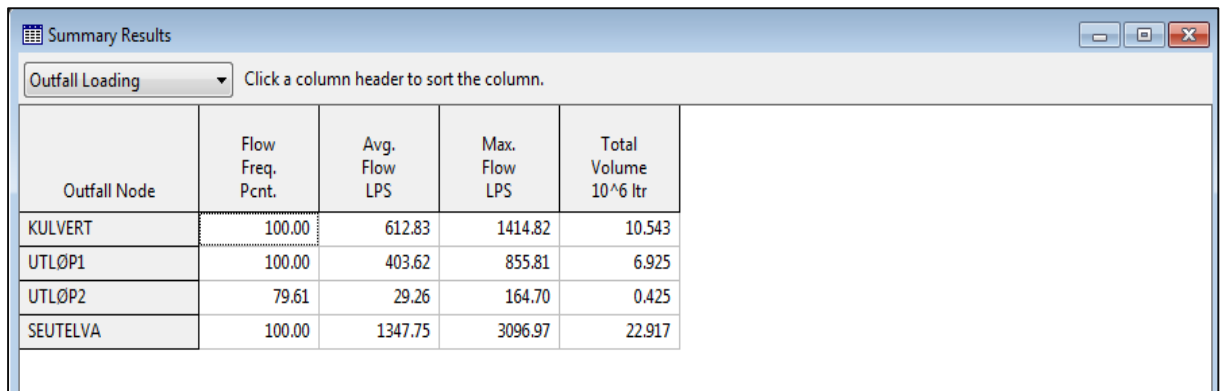
Den tekniske rapporten har brukt vannmålinger fra Fredrikstad for sommersituasjon, og snøsmelting- og vannmålinger fra Rygge hovedflystasjon. Derfor har vi valgt data som kun representerer nedbørsituasjonen i Fredrikstad. Regnhyetogrammer er konstruert for begge nedbørsituasjonene og modellen ble kjørt med begge hyetogrammene for sammenligning.

Resultatene er som følgende:

- 1) Før justering av modellparametere:
Modellen ble kjørt med de forhåndsbestemte parameterne

Tabell 4.1 Modellberegninger før justering av modellparameter

Regnhendels	Regnvarighet	Q_{Maks} (l/s)
10 år regn	300 min	5529
14.08.2008	300 min	9956



The screenshot shows a window titled "Summary Results" with a dropdown menu set to "Outfall Loading". Below the menu is a table with the following data:

Outfall Node	Flow Freq. Pcnt.	Avg. Flow LPS	Max. Flow LPS	Total Volume 10 ⁶ ltr
KULVERT	100.00	612.83	1414.82	10.543
UTLØP1	100.00	403.62	855.81	6.925
UTLØP2	79.61	29.26	164.70	0.425
SEUTELVA	100.00	1347.75	3096.97	22.917

Figur 4.13: Utklipp fra modellberegningene før justering for regnhendelse «10 års regn». (Utklipp fra SWMM)

Outfall Node	Flow Freq. Pcnt.	Avg. Flow LPS	Max. Flow LPS	Total Volume 10 ⁶ ltr
KULVERT	100.00	1157.48	2747.81	20.482
UTLØP1	100.00	605.13	968.81	10.706
UTLØP2	88.89	50.65	181.32	0.817
SEUTELVA	100.00	2754.98	6060.46	48.342

Figur 4.14: Utklipp fra modellberegningene før justering for regnhendelse «14.08.2008». (Utklipp fra SWMM)

- 2) Etter justering av modellparameter:
 Modellparameteren % impermeabilitet ble ned justert med 10 % for bebyggelses områder og 20% for skogs områder.

Tabell 4.2 Modellberegninger etter justering av modellparameter.

Regnhendels	Regnvarighet	Q_{Maks} (l/s)
10 år regn	300 min	4426
14.08.2008	300 min	8722

Outfall Node	Flow Freq. Pcnt.	Avg. Flow LPS	Max. Flow LPS	Total Volume 10 ⁶ ltr
KULVERT	100.00	494.57	1031.07	8.475
UTLØP1	100.00	332.24	683.38	5.683
UTLØP2	79.42	28.75	164.59	0.425
SEUTELVA	100.00	1134.90	2548.05	19.132

Figur 4.15 Modellberegninger etter justering for regnhendelse «10 års regn». (Utklipp fra SWMM)

Outfall Node	Flow Freq. Pcnt.	Avg. Flow LPS	Max. Flow LPS	Total Volume 10 ⁶ ltr
KULVERT	100.00	1001.28	2188.37	17.316
UTLØP1	100.00	580.00	948.31	10.029
UTLØP2	88.59	50.83	181.38	0.817
SEUTELVA	100.00	2545.02	5405.54	43.492

Figur 4.16: Modellberegninger etter justering for regnhendelse «14.08.2008». (utklipp fra SWMM)

Sammenligning av referansedata og modellberegningene:

Tabellen under viser oversikt over referansedata og modellberegningene før og etter justering av parametere. Fra resultatene kan vi se at modellen før justering har ca. 20% større avrenningsmengde sammenlignet med referansedataene. Større mengde avrenning forårsaket av samme nedbørsituasjon kan bety at overflatene har blitt tettere og dermed blir avrenningen større også. Derfor har vi nedjustert modellparameteren «% impermeabilitet» for bebyggelse fra 30% til 20% og for skog fra 30% til 10 %.

Slik som vi ser i tabellen har modellen gitt gode tall som kan sies å være nesten like som referansedataene. For 10 års regn kan vi se at modellresultatet har ca. 3% lavere verdi i forhold til referansedata og for regnhendelsen 14.08.2008 kan vi se at det er ca. 3% høyere verdi. Det kan være flere årsak til denne forskjellen, referansedataen er basert på den rasjonelle formel og tar ikke hensyn til infiltrasjon, magasinering av vann i feltet og regnvarighet. Denne forskjellen er allikevel så lite at den ikke har noe konsekvens for den totale vannføringen. Dermed kan vi si at denne modellen representerer den virkelige situasjonen.

Tabell 4.3 Resultater fra kalibreringen av modellen.

Regnhendelse	Q_{Maks} referansedata (l/s)	Q_{Maks} modellberegninger (l/s)	
		Før justering	Etter justering
10 års regn	4550	5529	4426
14.08.2008	8450	9956	8722

4.4 Resultater

Resultatene fra modellen kategoriseres i 3 scenarier hvor 3 forskjellige avrenningssituasjoner blir simulert. I simuleringene skal overvannstunnelen testes for kapasitet og nedslagsfeltet analyseres for hydrologiske forandringer. Det er tatt utgangspunkt i 3 flomsituasjoner:

- Sommersituasjon
- Høstsituasjon
- Vintersituasjon

Sommersituasjonen: er preget av kraftige byger på tørr og tett overflater. Regnintensitet er høy og avrenningskoeffisienten lav, terrenget er preget av vegetasjon og fordampingen er høy. Dette gjør at bare en liten del av nedbøren renner av på overflatene.

Høstsituasjonen: Denne perioden er preget av langvarig regn, noe som kan føre til at jorda blir nærmest mettet med vann. I et slik situasjon vil grunnvannstanden øke og en regn med lav intensitet kan gi stor avrenning.

Vintersituasjon: I vinterperioden er temperaturen under null og det fører til frossen mark. Avrenningskoeffisienten kan bli 1,0 og all avrenning skjer på overflaten. Mildvær med regn, vind, tåke kan inntreffe plutselig og føre til hurtig avsmelting av snø- og is.

For hver flomsituasjon tilpasses modellen slik at modellen kan representere virkeligheten. Modellen kjøres med konstruerte regnhyetogrammer for hver flomsituasjon og modellresultatene blir presentert i diagrammer og utklipp som er tatt fra modellberegninger i SWMM. For simulering av flomsituasjonen endres disse parameterne i SWMM:

Simuleringsparameter

- % impermeabilitet
- Infiltrasjonskapasitet
- Konstruert regnhyetogram

4.4.1 Sommersituasjon

Som nevnt tidligere er sommerperioden tørr og det er lav avrenningen fra overflatene pga. høyt infiltrasjonskapasitet i jorda.

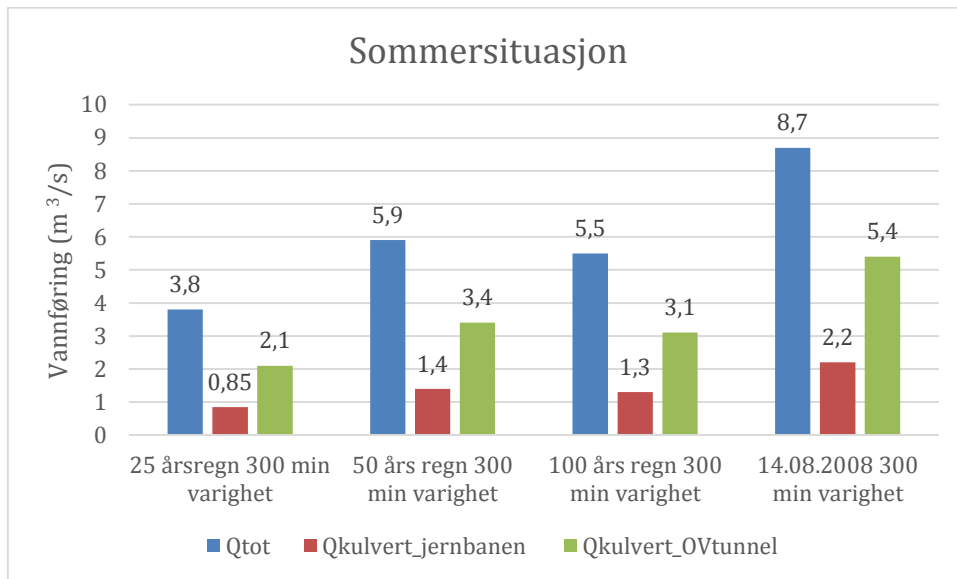
Simuleringsparameterne settes som følgende for alle del-arealene:

- % impermeabilitet, parameter verdier er utarbeidet etter kartlegging og analysering av feltet. (tabell... i vedlegg For sommersituasjon)

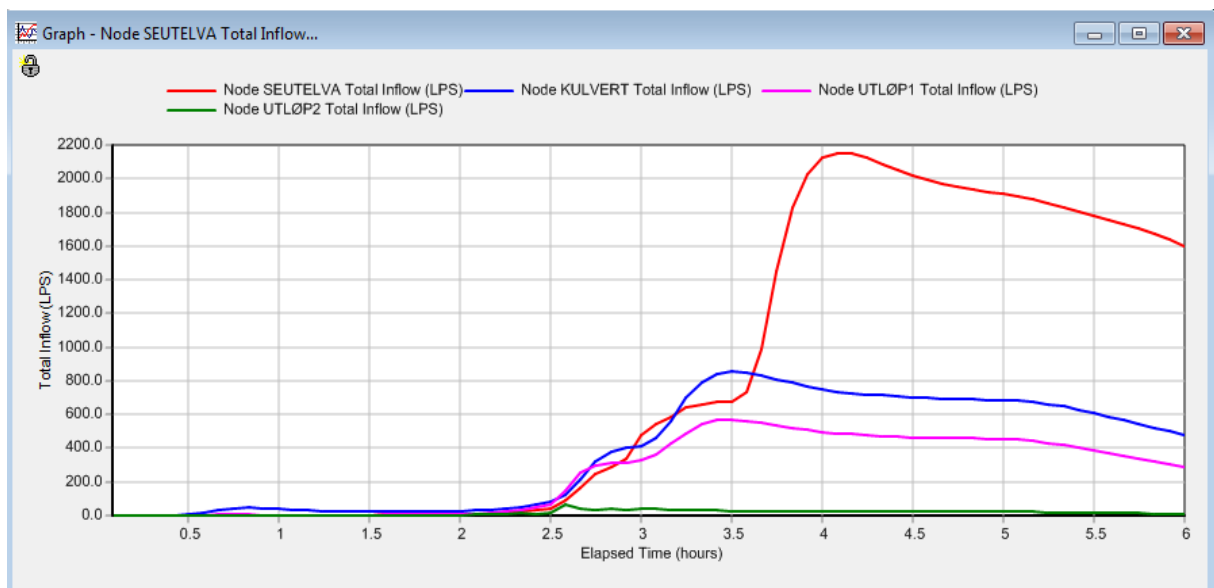
- Infiltrasjonskapasitet:
 - Maks infiltrasjons rate: 2,5 (mm/min)
 - Min infiltrasjons rate: 0,15 (mm/min)
 - Reduksjons konstant: 2 (1/time)
 - Tørke tid: 4 (dager)

- Konstruert regnhyetogram, vi har valgt 300 minutters varighet for å teste de mest ekstreme situasjonen.
 - 25 års regn, 300 minutters varighet
 - 50 års regn, 300 minutters varighet
 - 100 års regn, 300 minutters varighet
 - Regnhendelse 14.08.2008, 300 minutters regnvarighet

Resultatene er som følgende for sommersituasjonen:



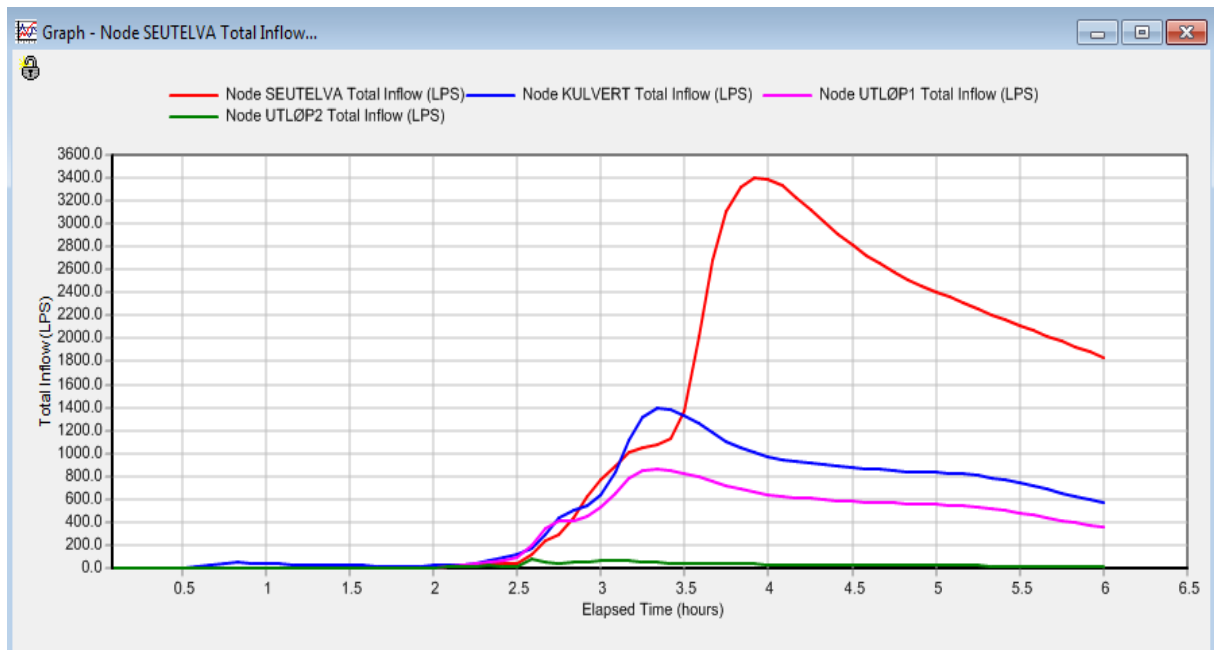
Figur 4.17: Total oversikt over vannføringsmengder med forskjellige regnhendelser for sommersituasjonen.¹⁰



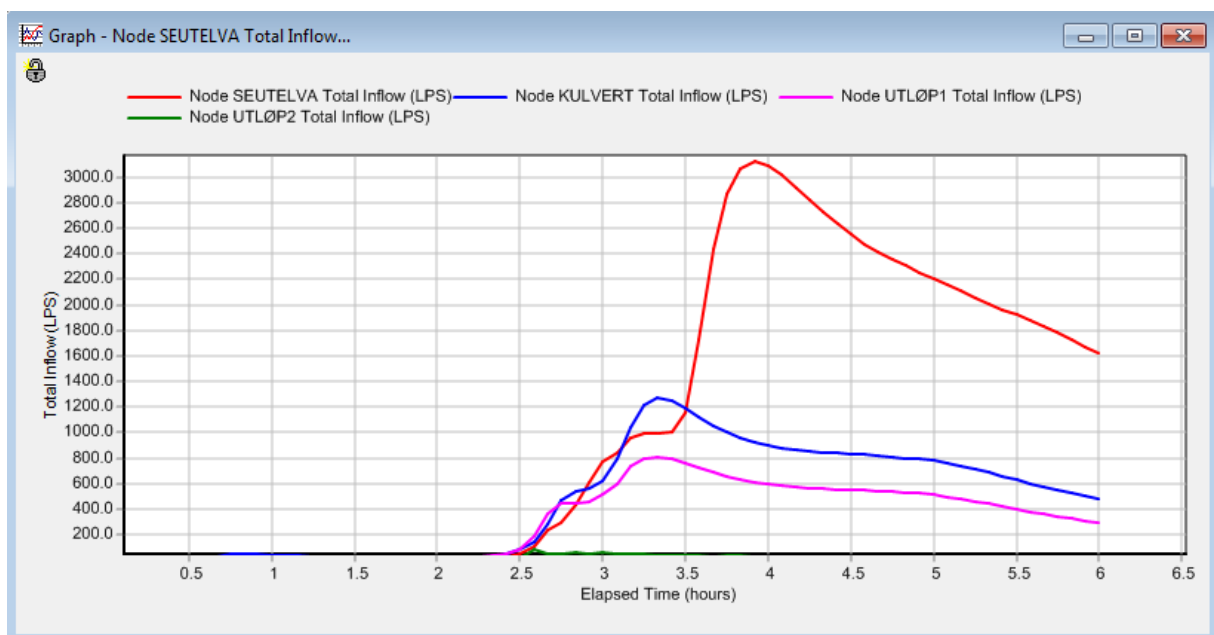
Figur 4.18 Total vannføring (l/s) for 25 års regn med 300 minutters regnvarighet. (Utklipp fra SWMM)

10

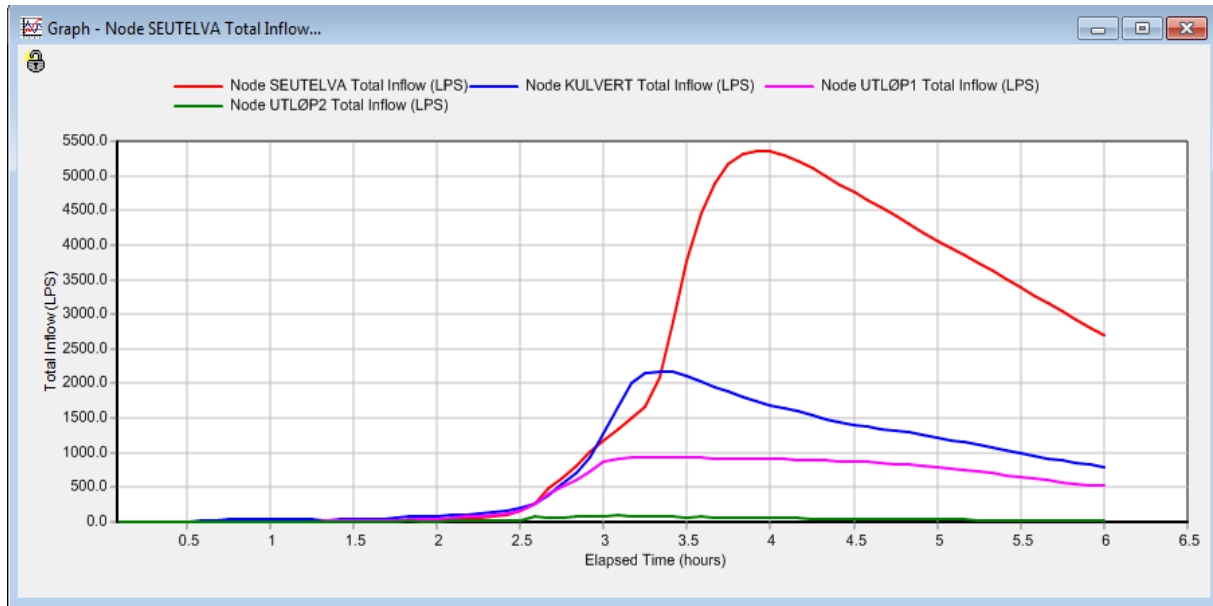
- Q_{tot} = Total vannføring for hele nedslagsfeltet
- $Q_{kulvert_jernbanen}$ = Maks vannføring ved innløpet til kulverten ved jernbanelinjen
- $Q_{kulvert_OVtunnel}$ = Maks vannføring ved innløpet til overvannstunnelen



Figur 4.19: Total vannføring (l/s) for 50 års regn med 300 minutters regnvarighet. (Utklipp fra SWMM)



Figur 4.20: Total vannføring (l/s) for 100 års regn med 300 minutters regnvarighet. (Utklipp fra SWMM)



Figur 4.21: Total vannføring (l/s) for regnhendelse den 14.08.2008 med 300 minutters regnvarighet. (Utklipp fra SWMM)

4.4.2 Høstsituasjon

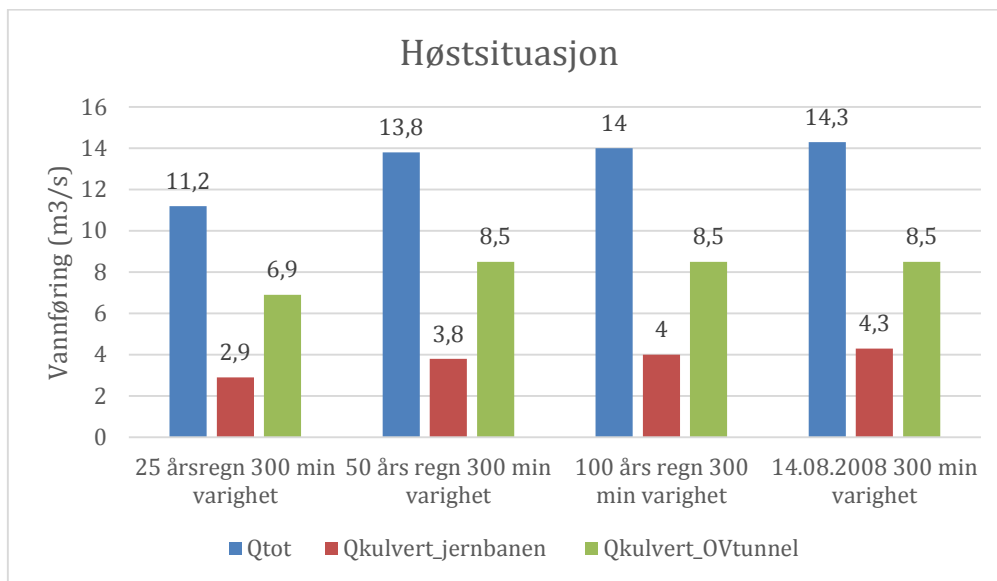
Høstperioden er preget av langvarig nedbør og jorda er nærmest mettet med vann. Dette betyr at permeable flater er mettet med vann og derfor får vi avrenning fra permeable flater også. Med andre ord får vi en økning av impermeabilitet i nedslagsfeltet. Grunnvannet simuleres ikke da bidraget fra grunnvann er uvesentlig gjennom regnperioden. Grunnvannet fungerer som en magasin og slipper vannet over lengere tid. Infiltrasjonskapasiteten i bakken er blitt redusert og det fører til at vi får en reduksjon av denne parameteren.

Simuleringsparameterne settes som følgende for alle del-arealen:

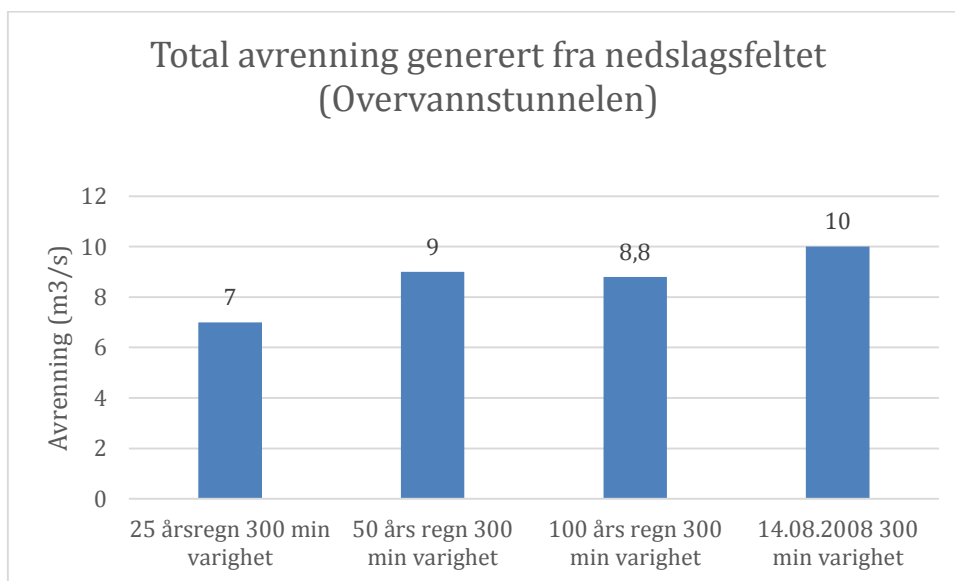
- % impermeabilitet. For å simulere høstsituasjonen reduseres permeabiliteten med 50% og denne reduksjonen adderes med % impermeabiliteten for sommersituasjonen. (tabell.... Vedlegg..... for høstsituasjon)
- Infiltrasjonskapasitet:
 - Maks infiltrasjons rate: 0 (mm/min)
 - Min infiltrasjons rate: 0 (mm/min)
 - Reduksjons konstant: 0 (1/time)
 - Tørke tid: 7 (Dager)

- Konstruert regnhyetogram:
 - 25 års regn-300 minutters varighet
 - 50 års regn-300 minutters varighet
 - 100 års regn – 300 minutters varighet
 - Regnhendelse 14.08.2008 – 300 minutters varighet

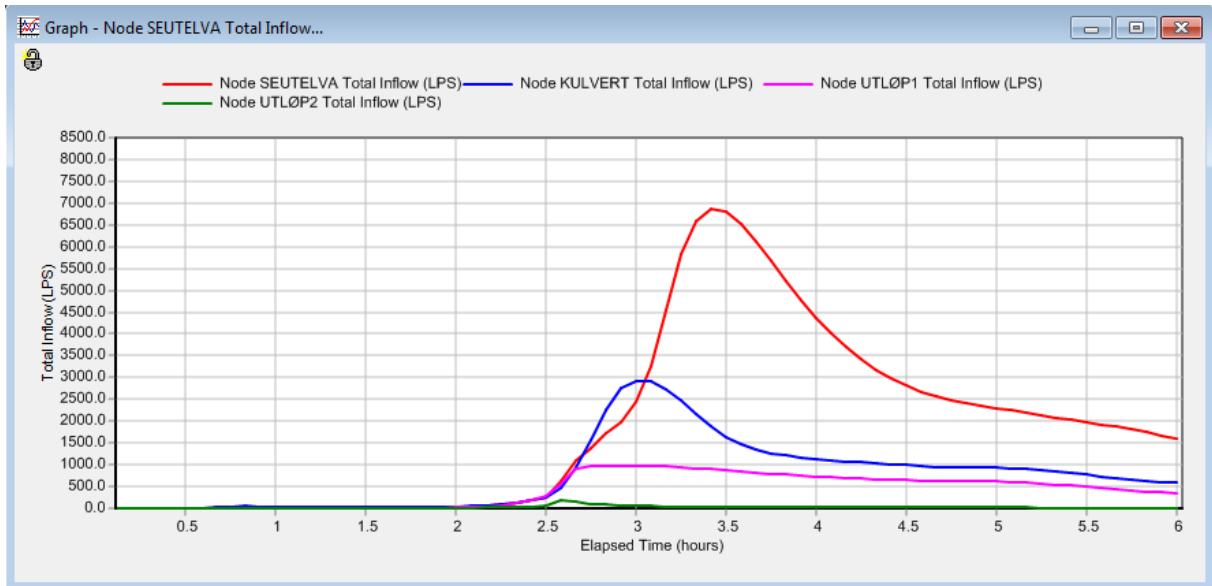
Resultatene er som følgende for høstsituasjonen:



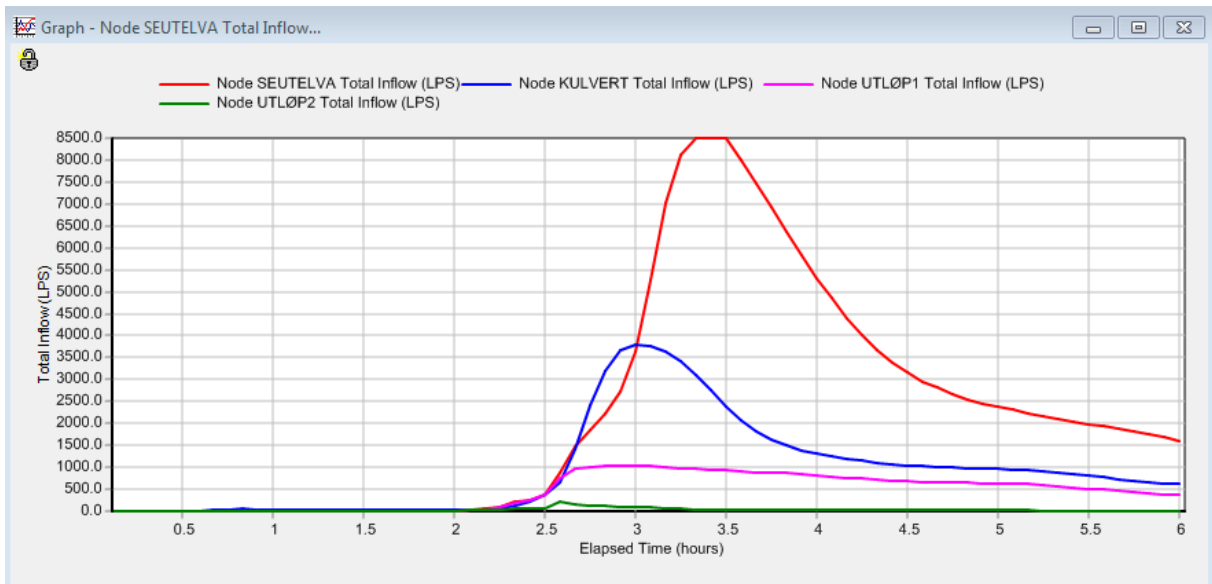
Figur 4.22: Total oversikt over vannføringsmengder ved forskjellige regnhendelser for høstsituasjon.



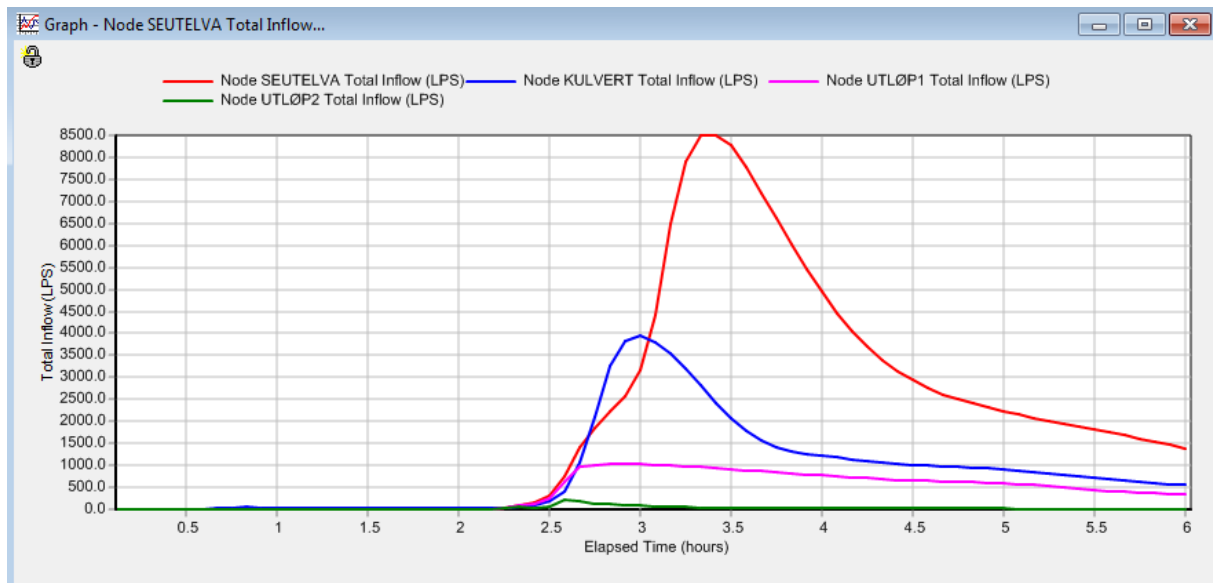
Figur 4.23: Totalt avrenning generert fra nedslagsfeltet for overvannstunnelen oppstrøms.



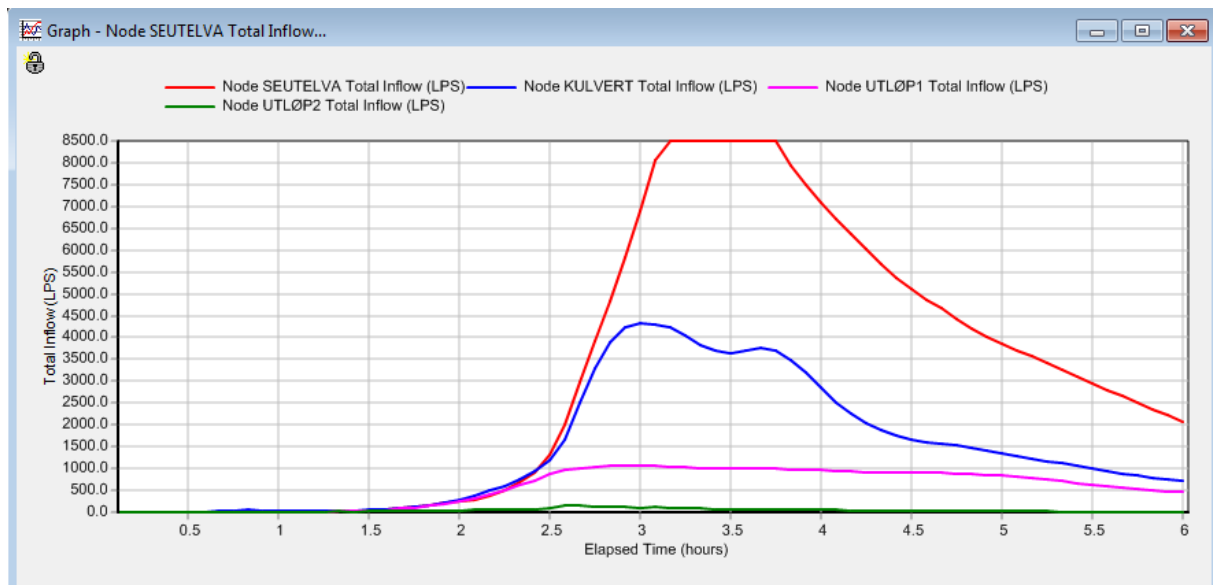
Figur 4.24: Total vannføring (l/s) for 25 års regn med 300 minutters regnvarighet. (Utklipp fra SWMM)



Figur 4.25: Total vannføring (l/s) for 50 års regn med 300 minutters regnvarighet. (Utklipp fra SWMM)



Figur 4.26: Total Vannføring (l/s) for 100 års regn med 300 minutters regnvarighet. (Utklipp fra SWMM)



Figur 4.27: Total vannføring (l/s) for regnhendelse 14.08.2008 med 300 minutters regnvarighet. (Utklipp fra SWMM)

4.4.3 Vintersituasjon

Vintersesongen er kald og det kan føre til tele i bakken som kan gi avrenningskoeffisient 1,0. Regn på snø og frossen mark gir stor avrenning og det kan føre til oversvømmelser.

Simuleringsparameterne settes som følgende for alle del-arealene:

- % impermeabilitet, for å simulere frossen mark i modellen simuleres vinter situasjonen med to forskjellige impermeabilitet. Modellen kjøres med 100- og 80 %

impermeabilitet. I virkeligheten får vi aldri 100 % frossen mark om vinteren hvis det er skog i nedslagsfeltet. Trærne tar opp mye vann i en nedbørsituasjon og i tillegg til dette er skogen generelt varmere pga. tetthet.

- Infiltrasjonskapasitet:

- Maks infiltrasjon rate: 0 (mm/min)
- Min infiltrasjons rate: 0 (mm/min)
- Reduksjons konstant: 0 (1/time)
- Tørke tid: 10 (Dager)

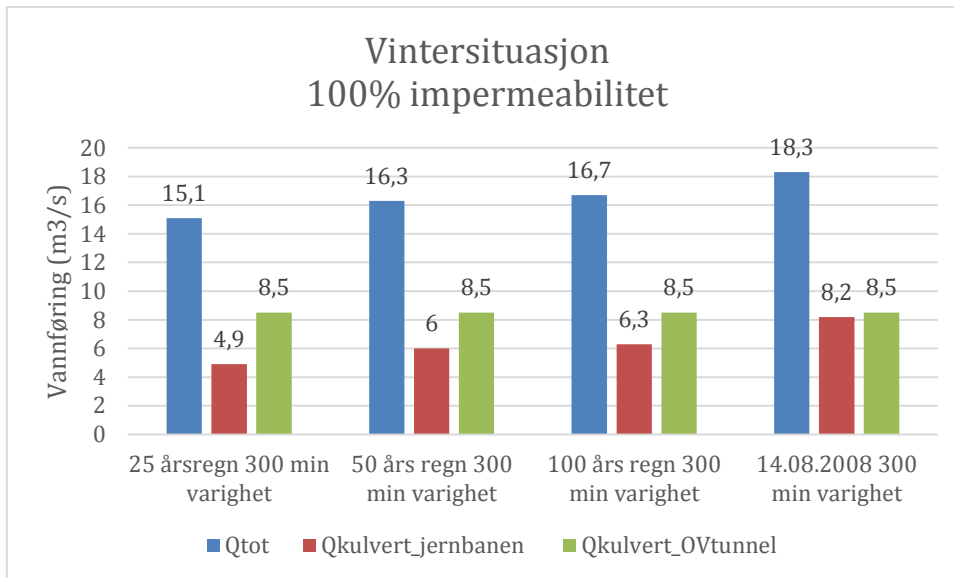
- Konstruert regnhyetogram. I vinterperioden kan snø og is smelte som følge av mildvær, regn og vind. Det er konstruert eget regnhyetogram for regn med snø- og issmeltings bidrag for simulering av nedbør for vintersituasjonen.

- 25 års regn, 300 minutters regnvarighet, snøsmelting 10 års returperiode for Oslo.
- 50 års regn, 300 minutters regnvarighet, snøsmelting 10 års returperiode for Oslo.
- 100 års regn, 300 minutters regnvarighet, snøsmelting 10 års returperiode for Oslo.
- Regnhendelse 14.08.2008, 300 minutters regnvarighet, snøsmelting 10 års returperiode for Oslo.

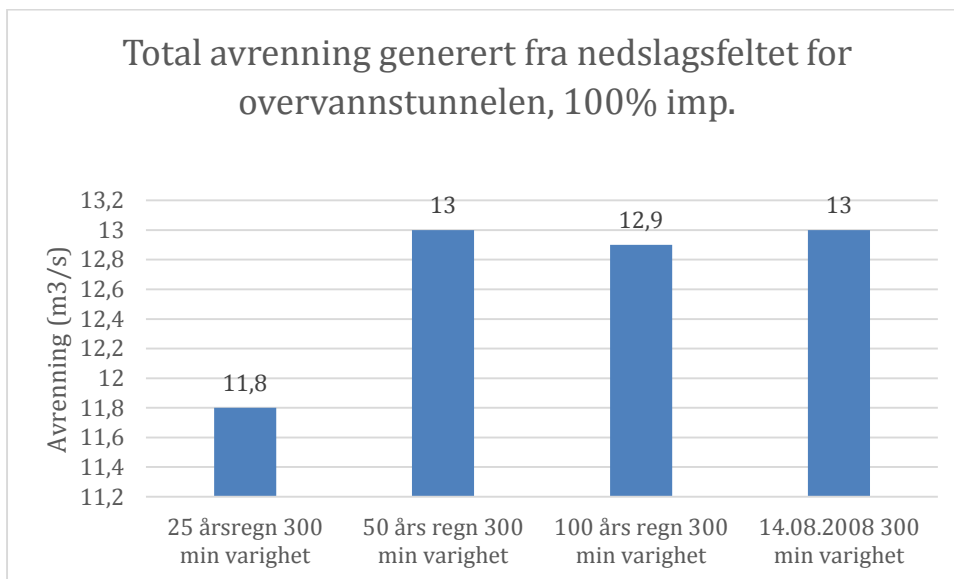
Resultatene er som følgende for vintersituasjonen:

Resultatene for vintersituasjonen presenteres i to deler, for 100 % impermeabilitet og 80 % impermeabilitet.

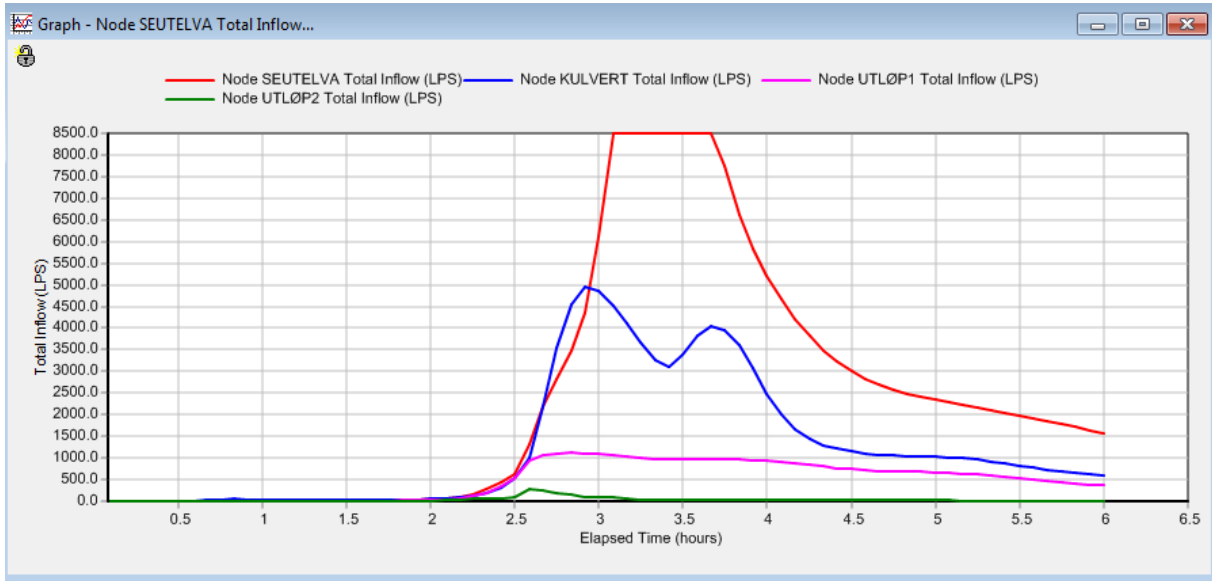
1) 100% impermeabilitet:



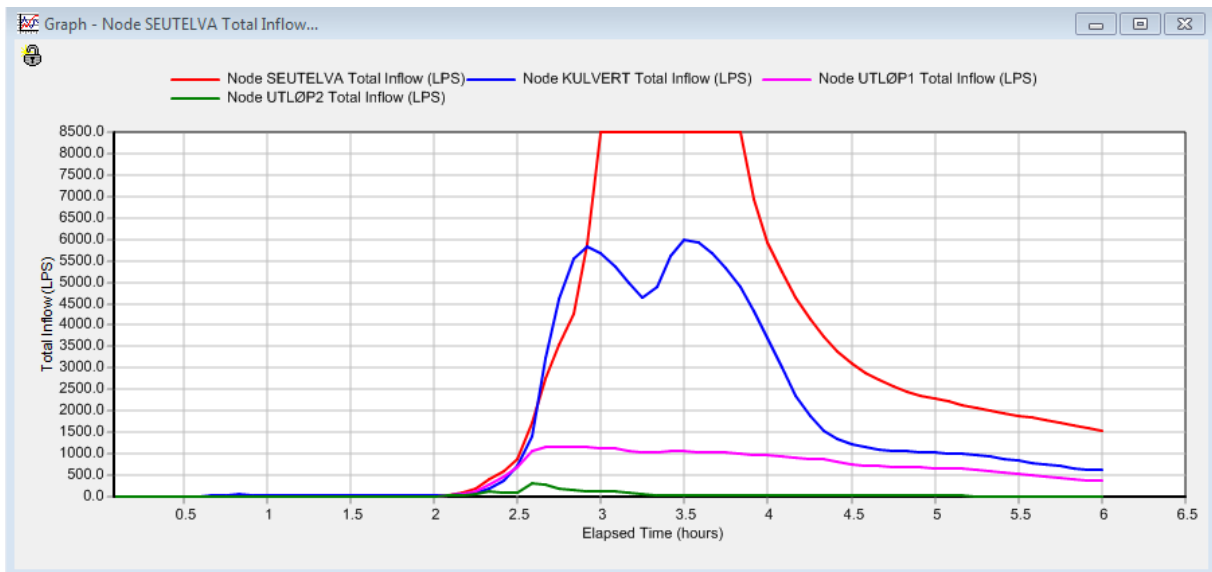
Figur 4.28: Total oversikt over vannføring (m³/s) ved forskjellige regnhendelser for vintersituasjon. (100 % impermeabilitet)



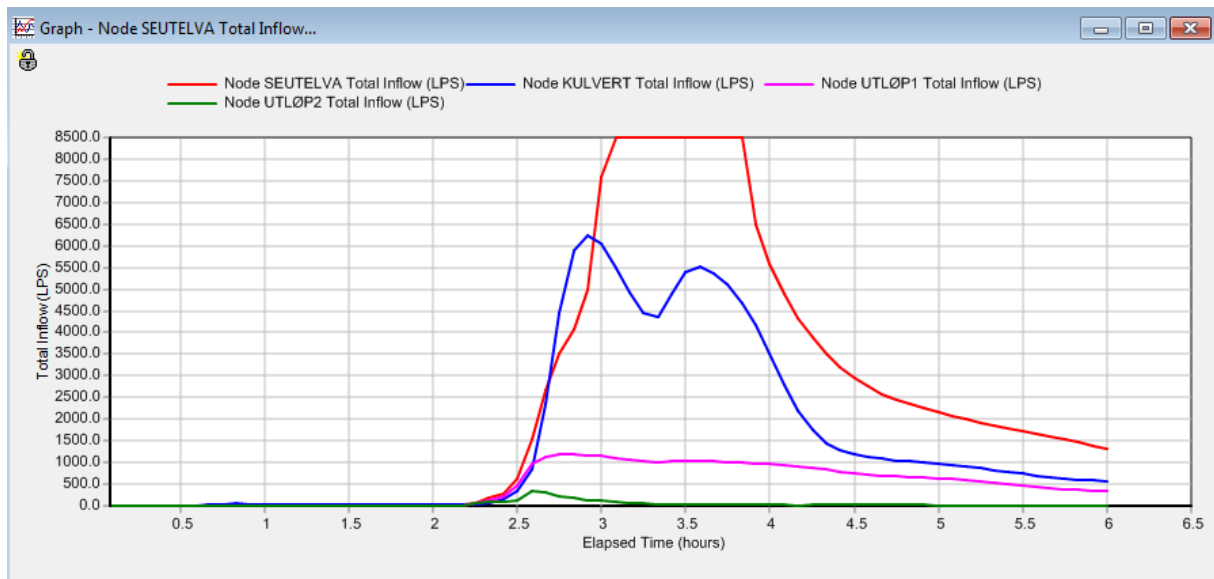
Figur 4.29: Totalt avrenning generert fra nedslagsfeltet for overvannstunnelen oppstrøms.



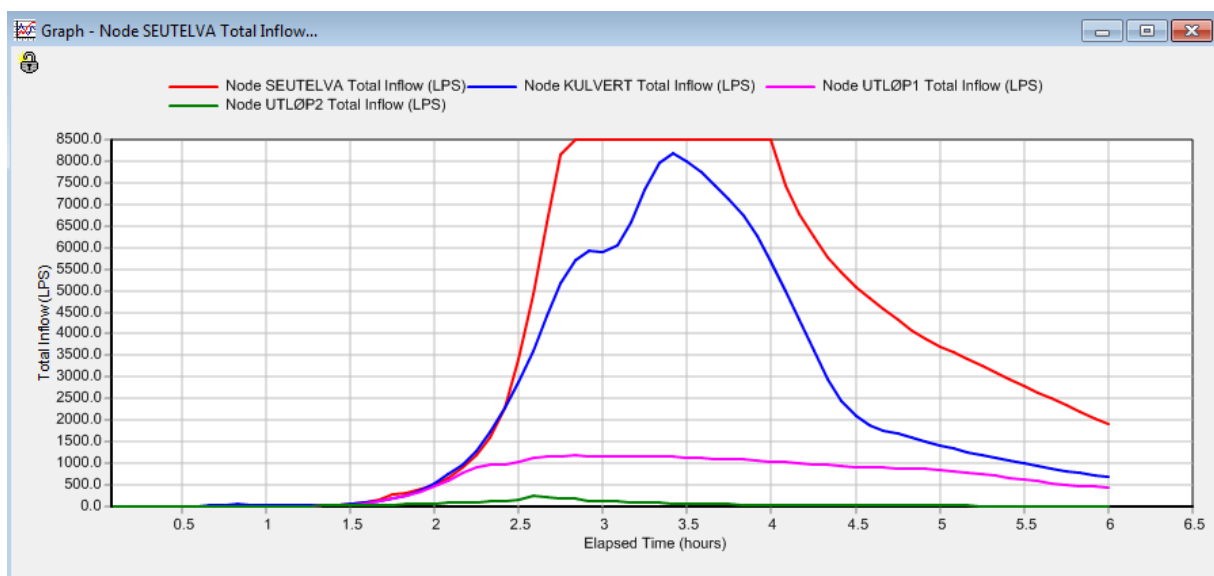
Figur 4.30: Total vannføring (l/s) for 25 års regn med 300 minutters regnvarighet. (Utklipp fra SWMM)



Figur 4.31: Total vannføring (l/s) for 50 års regn med 300 minutters regnvarighet. (Utklipp fra SWMM)

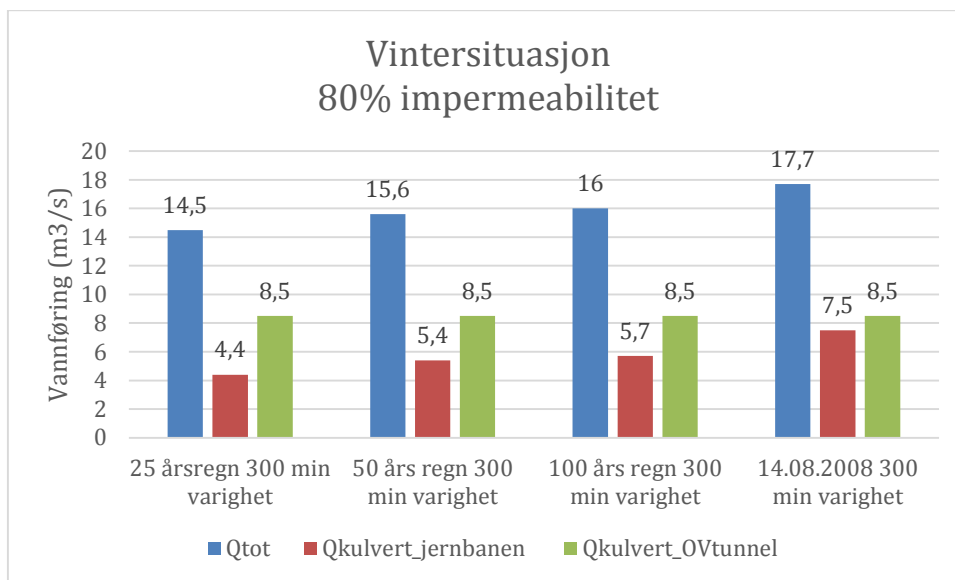


Figur 4.32: Total vannføring (l/s) for 100 års regn med 300 minutters regnvarighet. (Utklipp fra SWMM)

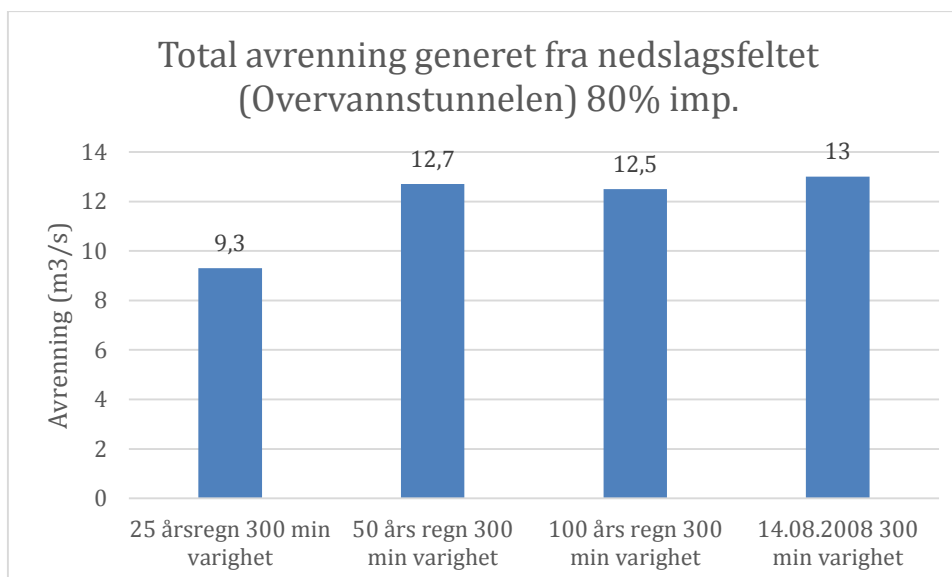


Figur 4.33: Total vannføring (l/s) for regnhendelse 14.08.2008 med 300 minutters regnvarighet. (Utklipp fra SWMM)

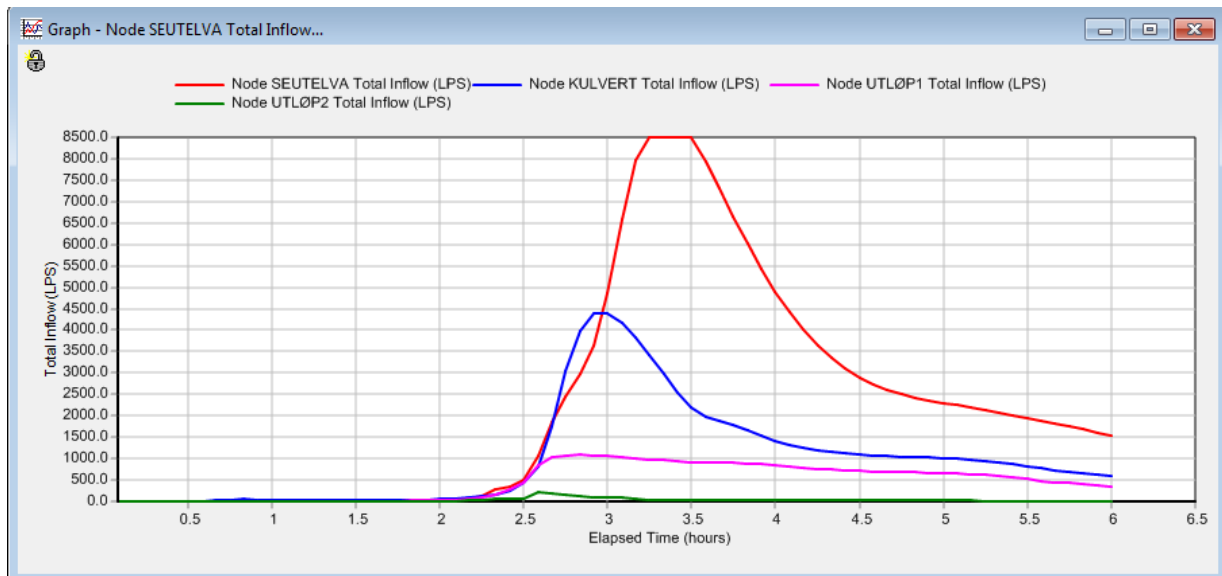
2) 80% impermeabilitet:



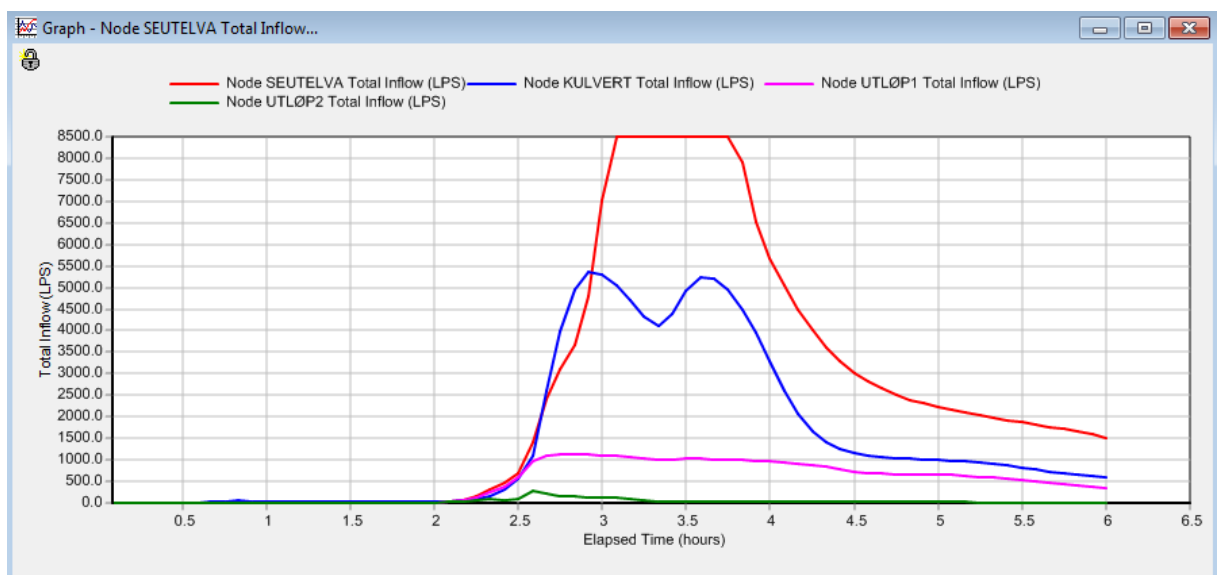
Figur 4.35: Total oversikt over vannføring (m³/s) ved forskjellige regnhendelser for vintersituasjon. (80 % impermeabilitet)



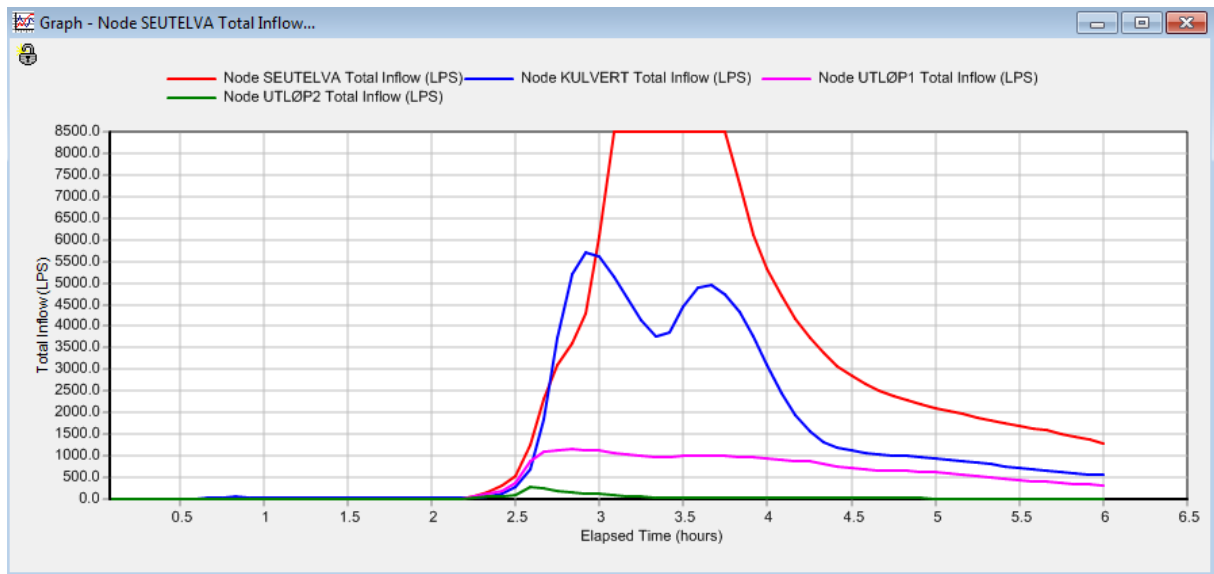
Figur 4.36: Totalt avrenning generert fra nedslagsfeltet for overvannstunnelen oppstrøms.



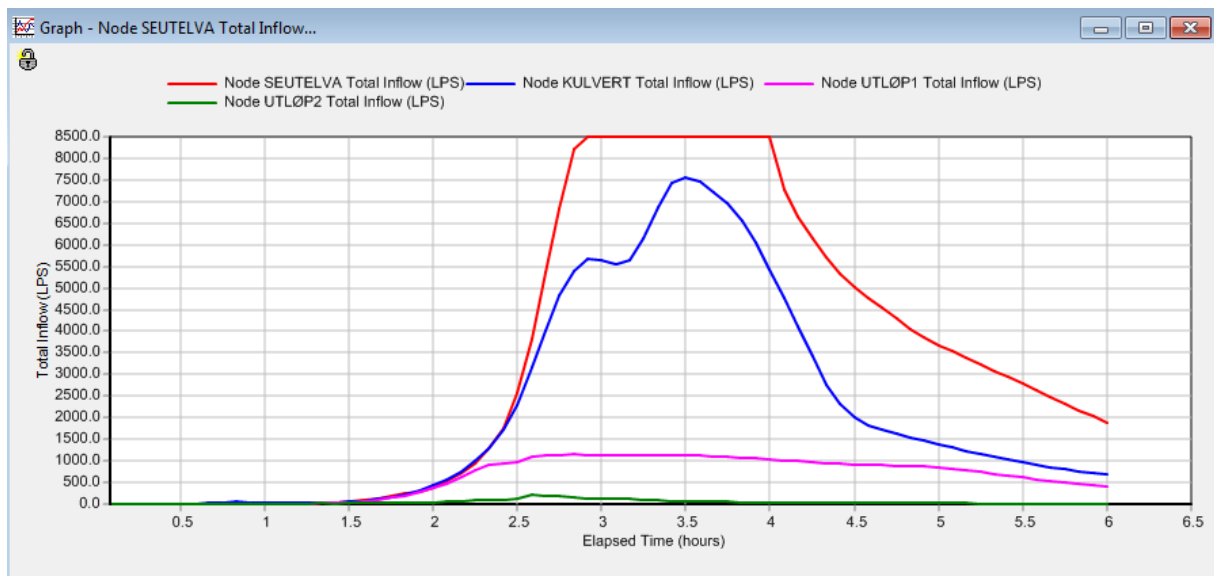
Figur 4.37: Total vannføring (l/s) for 25 års regn med 300 minutters regnvarighet. (Utklipp fra SWMM)



Figur 4.38: Total vannføring (l/s) for 50 års regn med 300 minutters regnvarighet. (Utklipp fra SWMM)



Figur 4.39: Total vannføring (l/s) for 100 års regn med 300 minutters regnvarighet. (Utklipp fra SWMM)



Figur 4.40: Total vannføring (l/s) for regnhendelse 14.08.2008 med 300 minutters regnvarighet. (Utklipp fra SWMM)

5. Modul 3. Drøfting og sammenligning av modellresultater

5.1 Kapasitet av eksisterende- og dimensjonert flomvei i Veumdalen

Overvannstunnelen har et kapasitet på 8,5 (m³/s) og har som hovedoppgave å avlaste Veumbekken for overvann. Det er bygget et kulvert med vingemur i Veumbekken som har en vertikal høyde på 2 m. Fra kulverten går to overvannsrør (Ø 1400 mm) frem til innløpet til overvannstunnelen. Kapasiteten for hvert rør er beregnet til å være 4,42 (m³/s) som totalt gir 8,84 (m³/s). Tunnelen har et kapasitet på 8,5 (m³/s) og i modelleringen vår har vi satt maks vannføring gjennom tunnelen til 8,5 (m³/s).

Ved å sette maks vannføring for tunnelen kan vi se hvordan tunnelen reagerer i de forskjellige nedbørsituasjonene. Samt hvilket mengde vann som blir ledet bort nedstrøms mot kulverten ved jernbanelinjen, og om det oppstår oppstuvning og oversvømmelser.

Som det fremgår i den tekniske rapporten som er utarbeidet av COWI (Østlandskonsult) i 1989, har kulverten et vannføringskapasitet på ca. 6,9 (m³/s). Dette betyr at enn vannføring over 6,9 (m³/s) vil føre til oppstuvning oppstrøms og dermed skape oversvømmelser.

5.2 Drøfting av modellresultater

I dette del-kapittelet skal resultatene fra hver flomsituasjon drøftes og sammenlignes med kapasitetsevnen til overvannstunnelen og hvordan dette vil fungere i et ekstremsituasjon.

5.2.1 Sommersituasjon

Resultatene fra sommersituasjonen viser at regnhendelser som tilsvarer 25, 50 og 100 års regn ikke vil føre til oversvømmelser. Kulverten ved jernbanen har en kapasitet på 6,9 (m³/s) noe som betyr at kulverten vil klare å ta unna den totale vannføringen uten noe problem. Resultatene for regnhendelsen i 14.08.2008 viser at den totalt maksimalt vannføringen blir 8,7 (m³/s) og det største bidraget genereres fra nedslagsfeltet for overvannstunnelen.

Den totale vannføringen vil forårsake oversvømmelser i nedre del av Veumdalen da kulverten ved jernbanen ikke har nok kapasitet til å ta unna denne

vannmengden. Vi kan også se at overvannstunnelen reduserer denne faren ved at den leder bort denne vannmengden til Seutelva.

Figurene 4.18-21 fra sommersituasjonen viser at det tar ca. 2,5 time før overflateavrenning oppstår, dette kan være forårsaket av nedslagsfeltets størrelse og infiltrasjonskapasitet. Vi kan også se at overflateavrenningen for den nedre delen av nedslagsfeltet (blå kurve) starter -og oppnår maks avrenning tidligere enn avrenningen for nedslagsfeltet for overvannstunnelen (rød kurve). Denne trenden gjentar seg for alle regnhendelsene slik som resultatene viser. Dette er forårsaket av at den nedre delen av nedslagsfeltet er mye tettere pga. bebyggelse. Dermed avrenningen oppstår og når maksnivå tidligere, mens den øvre delen av nedslagsfeltet består av skog noe som gjør at overflateavrenning oppstår senere og avtar med en lavere hastighet slik som kurvene viser (rød kurve).

Skogen består av mye vegetasjon og trær noe som gjør at vannet absorberes og avrenningen oppstår senere og avtar med lavere hastighet pga. lagring av vann. Dette egenskapet er gunstig da vi ønsker at vannet skal fordrøyes slik at vannføringen kommer i mindre mengder over en lengere periode.

5.2.2 Høstsituasjonen

Resultatene fra høstsituasjonen viser at regnhendelsene 50, 100 og 14.08.2008 års regnet vil generere stor avrenning. Dette gjør at overvannstunnelen når sitt maksimale kapasitet som er på 8,5 (m³/s) og resten av overvannet blir ledet nedstrøms gjennom Veumbekken og til kulverten ved jernbanen. Vi kan også se at vannmengden som ledes videre til kulverten nedstrøms er mindre en kulvertens maks kapasitet som er på 6,9 (m³/s). Disse regnhendelsene er kombinert med ekstreme forhold i nedslagsfeltet for å teste overvannstunnelen, og dette betyr at overvannstunnelen fungerer som den skal og reduserer faren for oversvømmelser nedstrøm i feltet.

Figurene 4.24-27 for høstsituasjonen viser at regnhendelsene som tilsvarer 25, 50 og 100 års regnet har samme trend som sommersituasjonen. Avrennings kurven (blå kurve) for den nedre delen av nedslagsfeltet viser at avrenningen oppstår og når sitt makspunkt tidligere enn avrenningskurven (rød kurve) for nedslagsfeltet for overvannstunnelen. Figurene viser også at overflateavrenningen oppstår etter ca. 2,5 time, samme som sommersituasjonen.

Figurene viser at avrenningen for begge nedslagsfeltene starter og avtar omtrent på samme tidspunkt. Avrenningen starter ca. halvtime tidligere i forhold til de andre regnhendelsen. Dette er et typisk ekstrem situasjon som kan føre til oversvømmelser og skape oppstuvingsproblemer nedstrøms i feltet. Et stabilt hydrologisk forhold er nødvendig for å redusere faren for oversvømmelser og vi kan se at overvannstunnelen sørger for at de hydrologiske forholdene ikke forandrer seg dramatisk.

5.2.3 Vintersituasjon

Vintersituasjonen er simulert med to forskjellige impermeabilitetsgrad, hvor vi har testet modellen forholdsvis med 100- og 80% frossen mark. Sannsynligheten for at vi får 100% frossen mark for et så stort nedslagsfelt er veldig lav, i tillegg til dette vil skogen absorbere en god mengde vann som gjør at vi ikke får 100% avrenning. 80% frossen mark er en mer realistisk scenario siden den tar hensyn til vannmagasinering i form av absorpsjon og gropmagasinering. Snø- og ismelting kan føre til store avrenninger om vinteren kombinert med mildvær og regn. Vi har valgt å testet modellen med begge scenariene med snø- og ismelting i tillegg.

Disse to scenariene er en kombinasjon av flere ekstreme situasjoner. Sannsynligheten for at ekstrem nedbørsituasjon, snø- og ismelting og frossen mark i hele nedslagsfelt inntreffer er veldig lav. Dette er «worst case scenario» som simulerer maksimal avrenning ved forskjellige regnhendelser. Dette vil danne et total bilde av hvilket mengde avrenning vi får i nedslagsfeltet og hvordan overvannstunnelen vil klare å stabilisere avrenningssituasjonen.

1) 100% impermeabilitet:

Resultatene for flomsituasjonen med 100% imp. viser at det genereres stor overflateavrenning fra alle regnhendelsene. Overvannstunnelen er i full drift i alle tilfellene og tar unna vann med full kapasitet. Til tross for store avrenninger vil ikke regnhendelsene som tilsvarer 25, 50 og 100 års regn føre til oversvømmelser da vannføringen til kulverten ved jernbanen er mindre en kulvertens kapasitets som er på 6,9 (m³/s). Fra figurene (4.30-4.31) kan vi se at hvis regnhendelsen i 14.08.2008 inntreffer vil vi få en vannføring på 8, 2 (m³/s), noe som er 1,3 (m³/s) større en kulvertens kapasitet. Dermed vil dette føre til oversvømmelser i nedre del av Veumdalen.

Kurvene viser samme trend som sommer- og høstsituasjonen, avrenningen starter tidligere for den nedre delen av nedslagsfeltet (blå kurve) og avrenningen for nedslagsfeltet for overvannstunnelen starter senere. Om vinteren kan dette være forårsaket av at tiden det tar til bekken er fullt med vann er lengere pga. større volumkapasitet. Veumbekken har ca. 2/3 av sitt

bekkeløp i nedslagsfeltet for overvannstunnelen, dermed har vi større volumkapasitet i denne delen av nedslagsfeltet også.

Fra kurvene kan vi også se at avrenningskurven (blå kurver) for den nedre delen av nedslagsfeltet har to topper før den avtar. Avrenningskurven (rød kurve) når sitt makspunkt etter 3 timer og varer ca. i 45 minutter for 25, 50 og 100 års regn. Mens regn tilfellet som tilsvare 14.08.2008 regnet har en varighet på ca. 1,5 time og når sitt makspunkt etter 2,5 timer. Når overvannstunnelen begynner å avlaste bekken med fullkapasitet vil også avrenningen i den nedre delen av nedslagsfeltet avta. Hvis overvannstunnelen går for fullt i over lenger tid slik som vi ser det her, vil avrenningen i feltet etter tunnelen øke igjen. Mye vann slippes gjennom kulverten ved overvannstunnelen og det fører til at vi får en økning av avrenning i feltet etter overvannstunnelen.

2) 80% impermeabilitet:

Resultatene for flomsituasjonen med 80% impermeabilitet viser at avrenningen blir mindre, mens avrenningssituasjonen har samme trend som for flomsituasjonen med 100% impermeabilitet. Nedbør som tilsvare 25, 50 og 100 års regnet vil ikke føre til oversvømmelser i den nedre delen av nedslagsfeltet, mens nedbør som tilsvare regntilfellet i 14.08.2008 vil føre til oversvømmelser i nedre del av nedslagsfeltet.

Avrenningskurvene følger samme trend som avrenningskurvene for slomsituasjonen med 100% impermeabilitet men med lavere avrenning.

6. Konklusjon og anbefalinger

6.1 Konklusjon

Resultatene fra simuleringene for sommer- og høstsituasjonen viser at det ikke vil oppstå oversvømmelser, og overvannstunnelen vil fungere som den er dimensjonert for. Overvannstunnelen vil bidra med å opprettholde en stabil hydrologiskforhold for hele nedslagsfeltet i sommer- og høstsituasjonen. Overvannstunnelen vil redusere flomtoppene effektivt for alle regnhendelsene og det vil føre til en stabil avrenning gjennom hele nedslagsfeltet.

Vinterperioden er simulert med to forskjellige avrenningssituasjoner, med forholdsvis 100- og 80% impermeabilitet. Resultatene fra simuleringene viser at i de fleste tilfellene vil det ikke oppstå oversvømmelser bortsett fra regntilfellet som tilsvarer regnhendelsen i 14.08.2008. Regnhyetogrammene for vinterperioden er konstruert med bidrag fra snøsmelting. Som tidligere nevnt er disse avrenningssituasjonene sammensatt av flere ekstreme situasjoner og de har lav sannsynlighet for å inntreffe på samme tidspunkt. I tillegg til dette er det lite sannsynlighet for at regnhendelsen i 14.08.2008 inntreffer i vinterperioden med en varighet på 300 minutter.

Selv om det er en økning i middeltemperaturen om vinteren vil ikke et slik regnhendelse inntreffe og føre til store avrenninger. En økning av middeltemperaturen betyr også at mindre frossen mark og dermed lavere avrenning også. Prognosene som er utarbeidet av Vestlandforskning viser at det blir mer nedbør i form av regn om vinteren med temperatur godt over null grader. Vi konkludere med at avrenningssituasjonen om vinteren er lavere enn modellberegningene og at overvannstunnelen vil klare å opprettholde stabil avrenning med god margin.

6.2 Anbefalinger

I modellen vår har vi kun sett på avrennings kvantiteten og hydrologiske forhold. Store arealer i nedslagsfeltet brukes som dyrket mark og har direkte avrenning til Veumbekken. Avrenningen fra disse arealene vanligvis blander seg med jordmassene og tar med seg næringsstoffer som finnes på overflaten. Den nedre delen av nedslagsfeltet (A1) består stort sett av bebyggelse hvor det finnes flere overløp som avlaster ledningssystemet til Veumbekken ved store avrenningssituasjoner og ledes bort til Glomma. Vannet som kommer fra overløpet er en blanding av overvann og spillvann som inneholder nærings- og forurensningsstoffer. Disse stoffene fører til eutrofiering og forurenser resipienten.

Det anbefales at situasjonen over avrennings kvaliteten kartlegges og mengde nærings- og forurensningsstoffer modelleres også.

Videre i arbeidet med kartlegging og analyse av nedslagsfeltet kan det anbefales at effekter av bekkeåpningen kartlegges og ses i sammenheng med overvannstunnelen for en helhetlig bilde av avrenningssituasjonen.

Litteraturliset:

Fatah, B. (2013). "Bruk av skadedata til utbedring av avløpsnett i Fredrikstad kommune." Masteroppgave.

Fredrikstad, k. and (2013). "Tunnel for ny vannledning fra Veumbekken til Ørebekk/Seut".

Hesselberg, E. (1989). "Veumbekken hydrologisk vurdering."

Norsk-Vann (2012). "Vann- og avløpsteknikk." (Kapittel 2): 60

Norsk-Vann (2012). "Vann- og avløpsteknikk." (Kapittel 2): s. 63-64.

Norsk-Vann (2012). "Vann- og avløpsteknikk." (Kapittel 2): s. 64-66.

Norsk-Vann (2012). "Vann og Avløpsteknikk " (Kapittel 2): 52.

Norsk-Vann (2012). "Vann og avløpsteknikk." (Kapittel 2): 59.

Norsk-Vann (2014). "Vann- og avløpsteknikk (2.utgave)." (Kapittel 2): 50-51.

Norsk-Vann (2014). "Vann- og avløpsteknikk (2.utgave)." (kapittel 12): s. 349-350.

Norsk-Vann (2014). "Vann. og avløpsteknikk (2.utgave)." (kapittel 12): s. 346-347.

Norsk-Vann (2014). "Vann- og avløpsteknikk (2.utgave)." (Kapittel 12): s.348.

Regclim (2002). "Mer variabelt vær om 50 år " Norsk Institutt for Luftforskning.

SWMM (2010). "SWMM Manual".

Vadum, E. A. (2011). "Overvannshåndtering i Veumdalen, Fredrikstad " (Del 1): 13.

Vadum, E. A. (2011). "Overvannshåndtering i Veumdalen, Fredrikstad." (Del 2): 16.

Vestlandsforskning (2010). "Klimatilpasnings i Fredrikstad".

Wikipedia (2014). "Hydrologi " (Vannbalanse).

Vedlegg A

Oversikt over areal parameter

A1

SA-ID	Areal (ha)	With (m)	Helning (%)	Impermeable		Permeable	
				%	N- verdi	%	N-verdi
SA11	32,5	189	3	60,0	0,012	83	0,04-0,09
SA12	5,12	139	1	52,4	0,012	71	0,1-0,2
SA13	2,44	104	2	60,2	0,012	84	0,045-0,09
SA14	4,46	156	3	65,6	0,012	89	0,1-0,2
SA15	4,24	92	5	46,0	0,012	64	0,045-0,09
SA16	7,12	150	7	51,5	0,012	69	0,1-0,2
SA17	9,57	250	3	60,0	0,012	81	0,1-0,2
SA18	5,51	274	5	53,7	0,012	74	0,045-0,09
SA19	2	148	6	59,4	0,012	79	0,1-0,2
SA110	2,31	217	13	58,8	0,012	81	0,1-0,2
SA111	2,35	200	14	57,7	0,012	86	0,04-0,09
SA112	2,25	150	6	53,0	0,012	89	0,04-0,09
SA113	1,46	226	6	54,8	0,012	96	0,03-0,08
SA114	2,34	180	2	50,2	0,012	76	0,04-0,09
SA115	4,06	195	6	59,3	0,012	82	0,1-0,2
SA116	2,88	195	7	53,6	0,012	86	0,04-0,08
SA117	4,2	165	3	61,9	0,012	82	0,1-0,2
SA118	0,84	165	9	50,0	0,012	32	0,053-0,13
SA119	1,53	99	4	50,0	0,012	85	0,053-0,13
SA120	4,88	440	20	57,0	0,012	85	0,04-0,8
SA121	4,2	440	7	60,5	0,012	82	0,1-0,2
SA122	8,7	654	3	60,5	0,012	81	0,1-0,2
SA123	2,31	156	5	60,5	0,012	81	0,1-0,2
SA124	1,43	80	5	57,5	0,012	77	0,1-0,2

A2

SA-ID	Areal (ha)	With (m)	Helning (%)	Impermeable		Permeable	
				%	N- verdi	%	N-verdi
SA21	2,22	272	23	61,5	0,012	87	0,03-0,08
SA22	4,43	145	6	15,4	0,012	81	0,05-0,1
SA23	4,68	437	7	10,7	0,012	83	0,04-0,08
SA24	7,27	650	4	17,0	0,012	81	0,05-0,1
SA25	5,37	150	1	20,1	0,012	80	0,1-0,2
SA26	3,96	290	20	11,3	0,012	89	0,04-0,09
SA27	4,61	286	11	2,5	0,012	98	0,06-0,17
SA28	8,4	362	7	13,2	0,012	85	0,04-0,1
SA29	3,67	389	9	20,4	0,012	82	0,1-0,2
SA210	3,65	264	21	3,1	0,012	96	0,03-0,08
SA211	2,11	93	18	11,5	0,012	88	0,05-0,11
SA212	4,5	211	16	7,1	0,012	87	0,03-0,08
SA213	3,73	215	14	6,4	0,012	94	0,03-0,09
SA214	7,1	218	5	18,4	0,012	77	0,1-0,2
SA215	6,54	330	6	0,8	0,012	99	0,06-0,17
SA216	1,76	344	10	0,0	0,012	100	0,06-0,17
SA217	4,44	250	7	0,0	0,012	100	0,06-0,17
SA218	9,48	410	1	16,2	0,012	79	0,1-0,2
SA219	30,52	326	3	0,0	0,012	99	0,03-0,09
SA220	12,3	250	5	20,0	0,012	80	0,1-0,2
SA221	7,45	420	6	0,0	0,012	101	0,06-0,17
SA222	7,62	200	11	14,6	0,012	75	0,04-0,09
SA223	61,38	1200	2	8,5	0,012	92	0,03-0,07
SA224	32,1	750	1	4,4	0,012	51	0,03-0,07
SA225	6,33	200	12	3,5	0,012	75	0,03-0,08
SA226	5,85	270	7	10,0	0,012	90	0,053-0,13
SA227	2,62	390	13	20,2	0,012	81	0,1-0,2
SA228	5,61	180	6	13,8	0,012	75	0,05-0,11
SA229	8,9	223	3	4,9	0,012	100	0,03-0,08
SA230	8,48	750	2	1,7	0,012	92	0,03-0,09
SA231	2	182	5	0,0	0,012	100	0,06-0,17
SA232	3,64	209	7	0,0	0,012	99	0,06-0,17
SA233	4,22	155	10	6,3	0,012	97	0,03-0,08
SA234	6,67	333	13	3,1	0,012	99	0,03-0,08
SA235	1,54	113	6	0,0	0,012	90	0,06-0,17
SA236	3,81	192	5	2,0	0,012	46	0,03-0,08
SA237	4,2	262	8	0,4	0,012	99	0,06-0,17

A3

SA-ID	Areal (ha)	With (m)	Helning (%)	Impermeable		Permeable	
				%	N- verdi	%	N-verdi
SA31	8,85	584	9	18	0,012	82	0,1-0,2
SA32	15,4	644	8	20	0,012	81	0,1-0,3
SA33	5,57	402	6	20	0,012	82	0,1-0,4
SA34	3,43	311	12	6	0,012	86	0,04-0,09
SA35	5,91	418	16	7	0,012	94	0,04-0,09
SA36	21,2	214	3	10	0,012	90	0,053-0,13
SA37	4,51	251	7	0	0,012	92	0,03-0,08
SA38	4,82	256	8	0	0,012	100	0,053-0,13
SA39	3,96	188	9	0	0,012	100	0,053-0,13
SA310	4,09	192	10	0	0,012	100	0,053-0,13
SA311	6,32	292	6	0	0,012	100	0,053-0,13
SA312	9	609	4	8	0,012	87	0,03-0,07
SA313	7,19	167	7	10	0,012	93	0,053-0,13
SA314	10	232	2	10	0,012	91	0,053-0,13
SA315	5,64	426	11	9	0,012	84	0,053-0,13
SA316	10,2	457	5	4	0,012	95	0,053-0,13
SA317	5,38	635	12	5	0,012	90	0,03-0,08
SA318	14,3	250	1	0	0,012	100	0,053-0,13
SA319	41	270	1	5	0,012	95	0,053-0,13

A4

SA-ID	Areal (ha)	With (m)	Helning (%)	Impermeable		Permeable	
				%	N- verdi	%	N-verdi
SA41	24,3	2000	17	52	0,012	86	0,053-0,13
SA42	26,4	1800	13	56	0,012	91	0,053-0,13
SA43	57,1	1500	7	54	0,012	93	0,053-0,13

A5

SA-ID	Areal (ha)	With (m)	Helning (%)	Impermeable		Permeable	
				%	N- verdi	%	N-verdi
SA51	6,94	350	16	3	0,012	88	0,03-0,08
SA52	2	317	30	1	0,012	100	0,03-0,08
SA53	4,79	335	2	0	0,012	95	0,06-0,17
SA54	9,87	348	7	0	0,012	100	0,06-0,17
SA55	14,7	735	6	1	0,012	100	0,053-0,13
SA56	13,7	703	9	7	0,012	95	0,03-0,09
SA57	16,1	673	9	5	0,012	96	0,053-0,13
SA58	12,4	298	11	4	0,012	94	0,03-0,07
SA59	11,8	715	12	10	0,012	90	0,053-0,13
SA510	19,6	688	19	4	0,012	99	0,053-0,13
SA511	10,1	414	21	4	0,012	94	0,03-0,07
SA512	29,3	1060	7	8	0,012	92	0,03-0,07
SA513	5,65	400	2	0	0,012	95	0,06-0,17
SA514	5,83	302	12	5	0,012	90	0,03-0,08
SA515	7,93	360	12	7	0,012	94	0,03-0,09
SA516	7,35	440	13	7	0,012	86	0,03-0,09

A6

SA-ID	Areal (ha)	With (m)	Helning (%)	Impermeable		Permeable	
				%	N- verdi	%	N-verdi
AS61	4,69	135	6	0	0,012	100	0,03-0,08
AS62	11,6	230	6	1	0,012	62	0,06-0,17
AS63	9,07	350	14	10	0,012	96	0,03-0,08
AS64	12,1	430	9	11	0,012	96	0,03-0,08
AS65	8	463	25	22	0,012	91	0,03-0,07
AS66	10,1	364	18	25	0,012	74	0,053-0,13
AS67	16,3	419	13	24	0,012	72	0,053-0,13
AS68	20	441	9	0	0,012	88	0,053-0,13
AS69	19,9	342	5	0	0,012	86	0,053-0,13
AS610	25	442	7	27	0,012	91	0,053-0,13
AS611	21,8	412	10	25	0,012	92	0,03-0,07
AS612	11,2	288	9	19	0,012	97	0,03-0,08
AS613	11,5	240	8	12	0,012	92	0,03-0,08
AS614	11,4	510	9	22	0,012	86	0,03-0,07
AS615	14,2	234	34	18	0,012	91	0,03-0,08
AS616	2,05	170	15	30	0,012	86	0,04-0,08
AS617	6,87	320	11	19	0,012	90	0,03-0,09
AS618	15,1	436	9	26	0,012	93	0,03-0,07
AS619	18,1	594	6	27	0,012	90	0,053-0,13
AS620	7,5	510	34	30	0,012	91	0,053-0,13
AS621	4,16	407	26	30	0,012	91	0,053-0,13
AS622	2,37	334	48	28	0,012	96	0,053-0,13
AS623	11,1	520	9	30	0,012	90	0,053-0,13

Vedlegg B

Mannings tall:

KG KORT GRESS
 G.V GLISSEN VEGETASJON
 G.G GLISSEN GRESS
 T.G TETT GRESS

N-verdier			Åker							
			20-80%		30-70%		40-60%		50-50%	
	max	min	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Åker	0,06	0,17								
KG	0,1	0,2	0,05	0,10	0,04	0,10	0,05	0,11	0,04	0,09
G.V	0,053	0,13	0,03	0,07	0,03	0,07	0,03	0,09	0,03	0,08
G.G	0,2		0,09	0,02	0,08	0,03	0,09	0,03	0,07	0,04
T.G	0,35		0,15	0,02	0,13	0,03	0,15	0,03	0,10	0,04

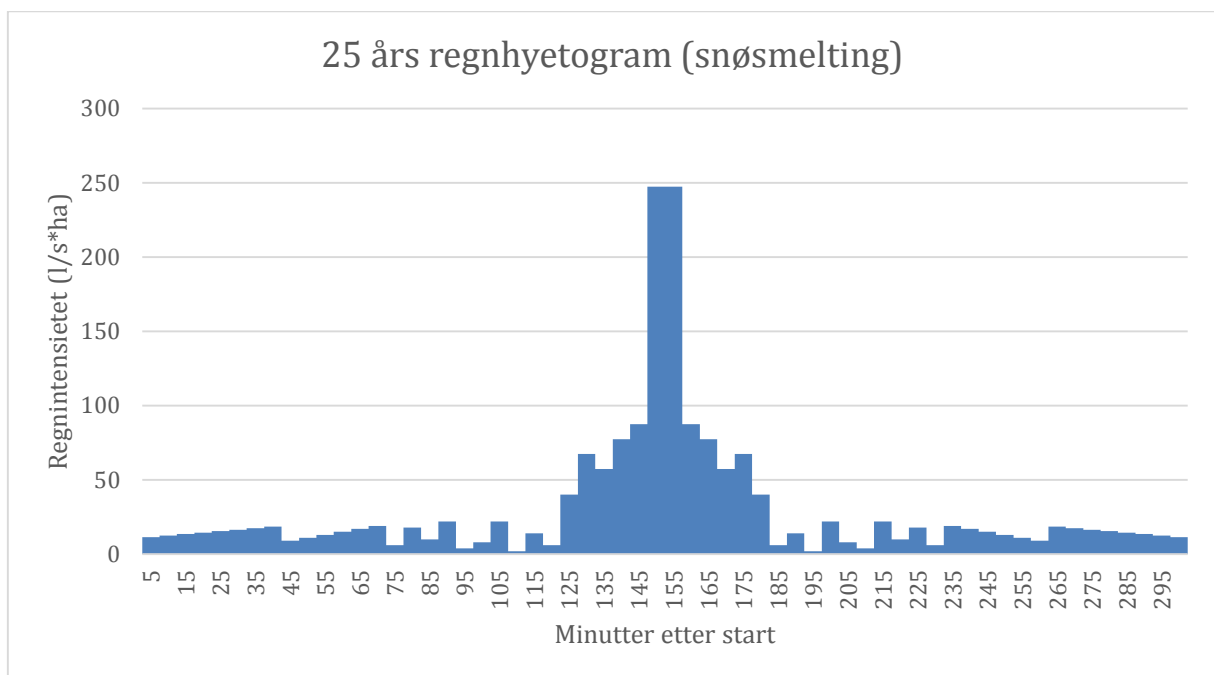
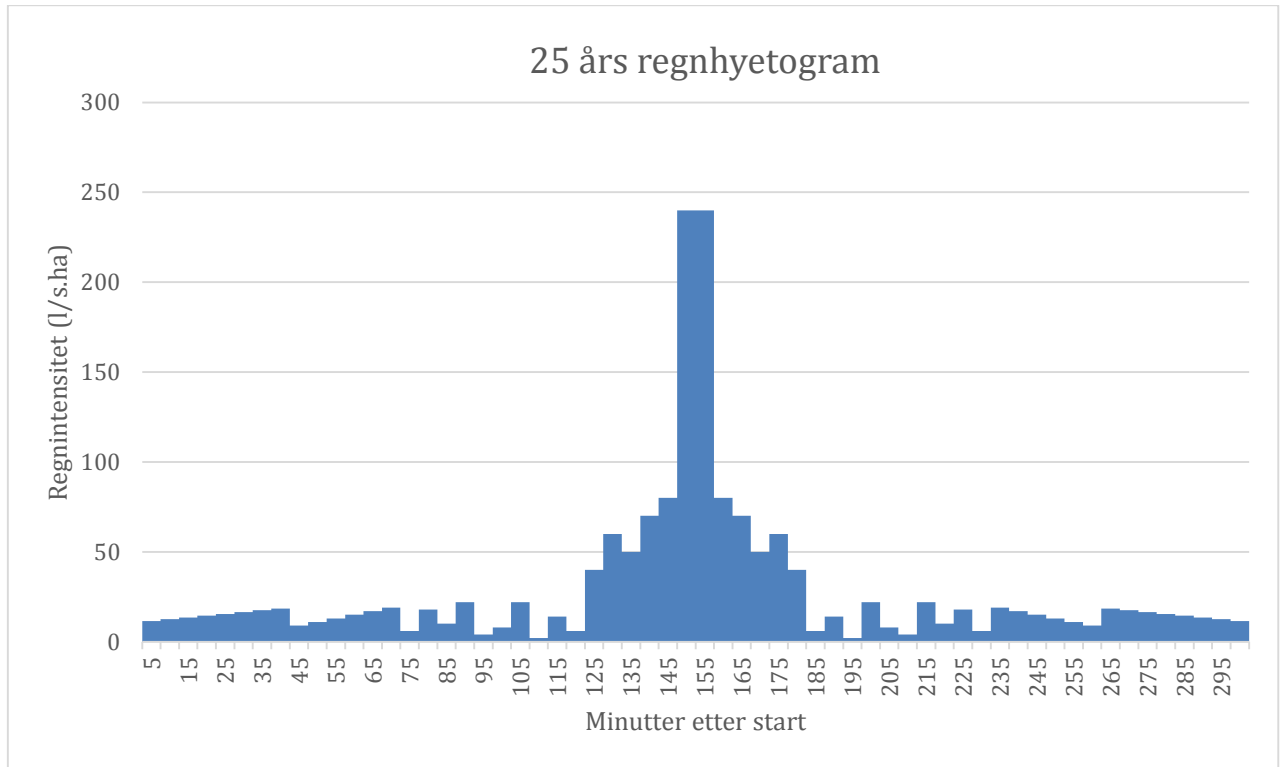
N-verdier			Kort gress							
			20-80%		30-70%		40-60%		50-50%	
	max	min	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Åker	0,06	0,17	0,03	0,09	0,04	0,09	0,04	0,09	0,04	0,09
KG	0,1	0,2								
G.V	0,053	0,13	0,03	0,07	0,03	0,08	0,04	0,08	0,04	0,08
G.G	0,2		0,09	0,02	0,09	0,03	0,08	0,04	0,08	0,05
T.G	0,35		0,15	0,02	0,14	0,03	0,13	0,04	0,11	0,05

N-verdier			G.V							
			20-80%		30-70%		40-60%		50-50%	
	max	min	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Åker	0,06	0,17	0,03	0,08	0,03	0,08	0,03	0,08	0,03	0,08
KG	0,1	0,2	0,05	0,09	0,04	0,09	0,04	0,09	0,04	0,08
G.V	0,053	0,13								
G.G	0,2		0,09		0,08	0,02	0,07	0,03	0,06	0,03
T.G	0,35		0,15		0,13	0,02	0,12	0,03	0,10	0,03

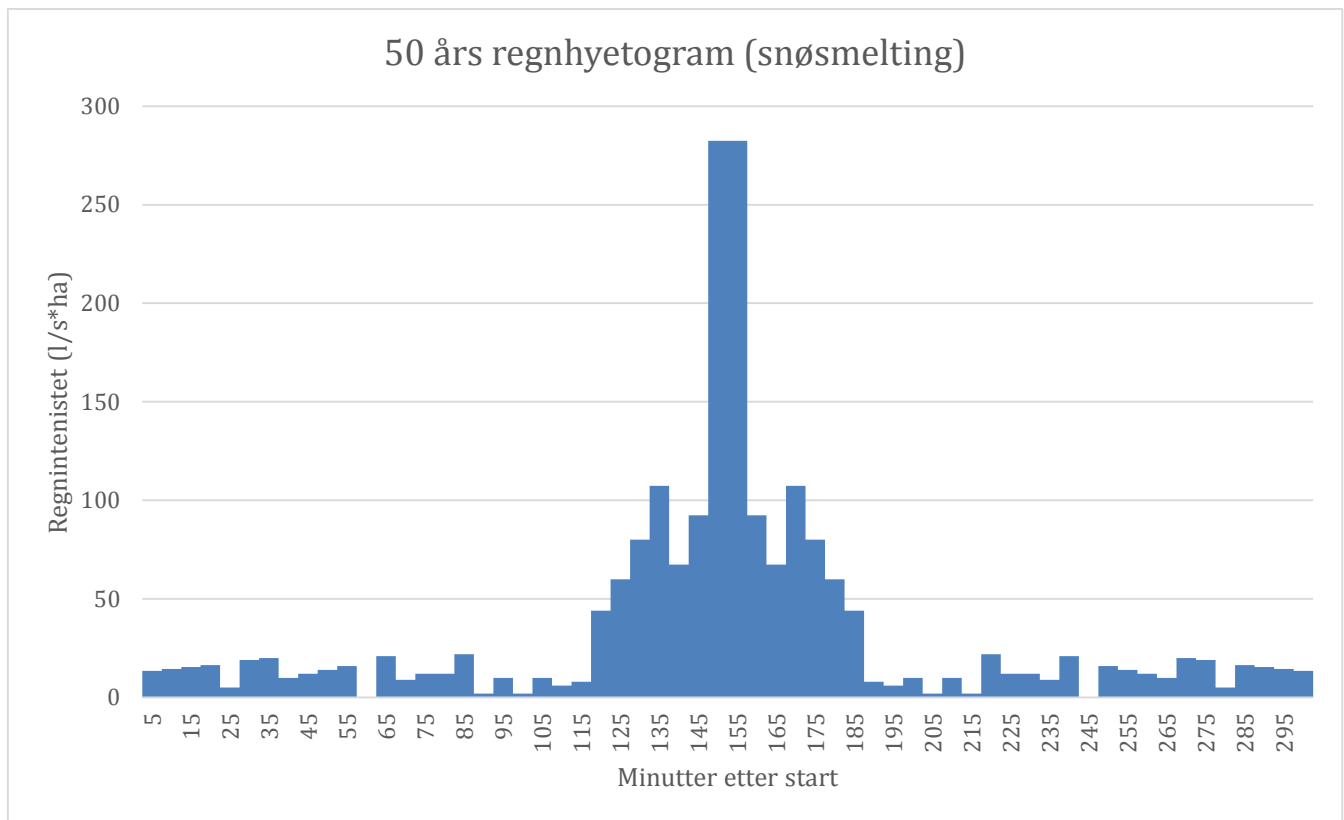
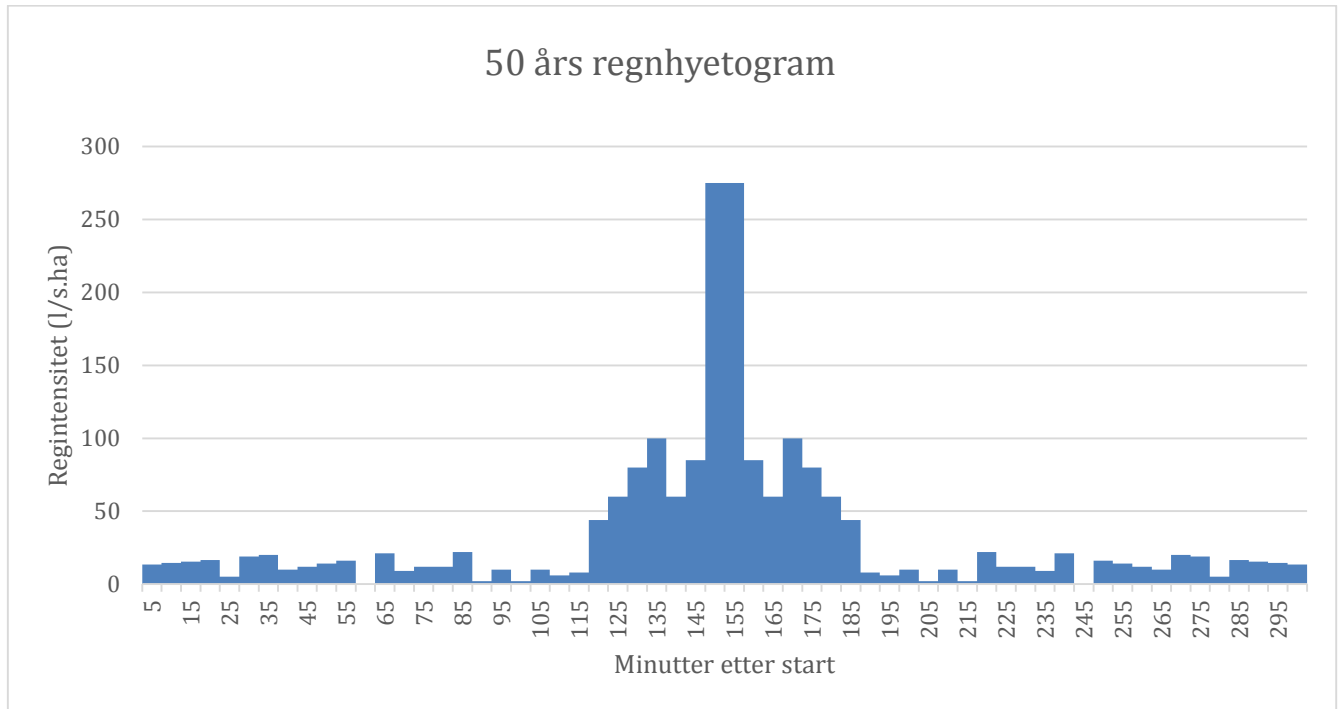
Vedlegg C

Regnhyetogrammer

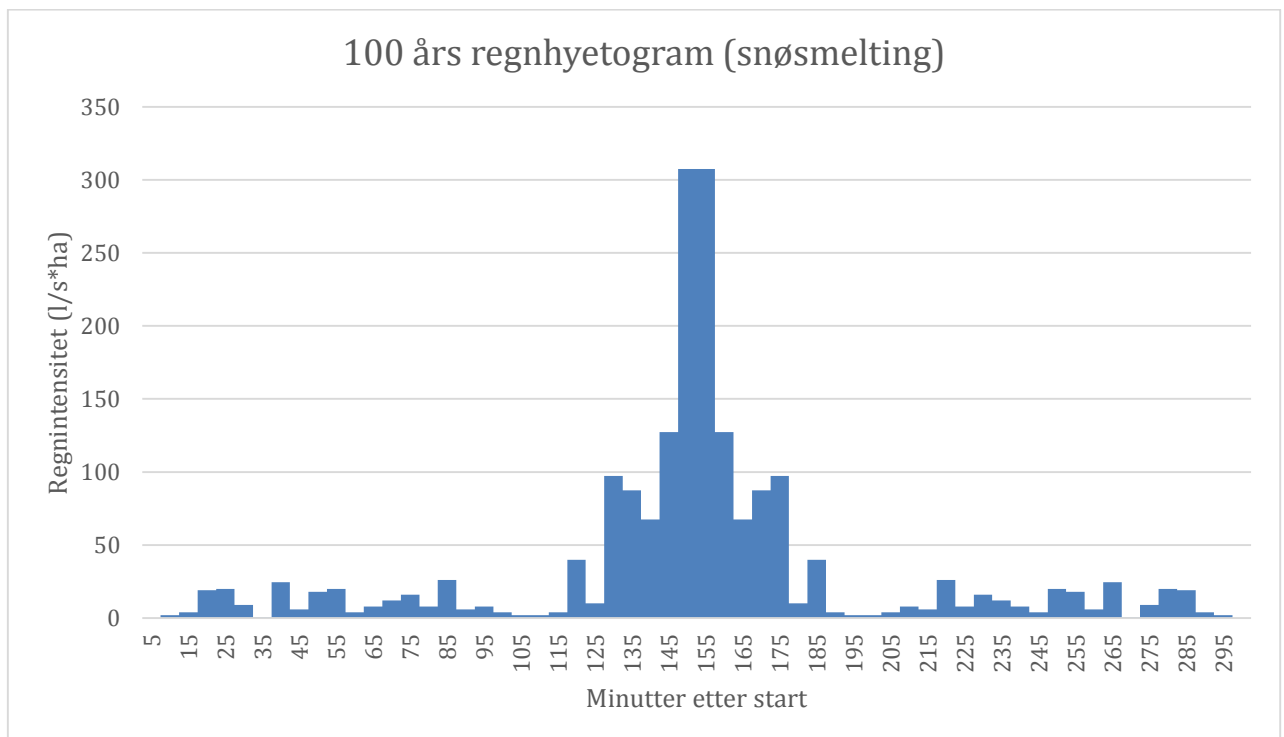
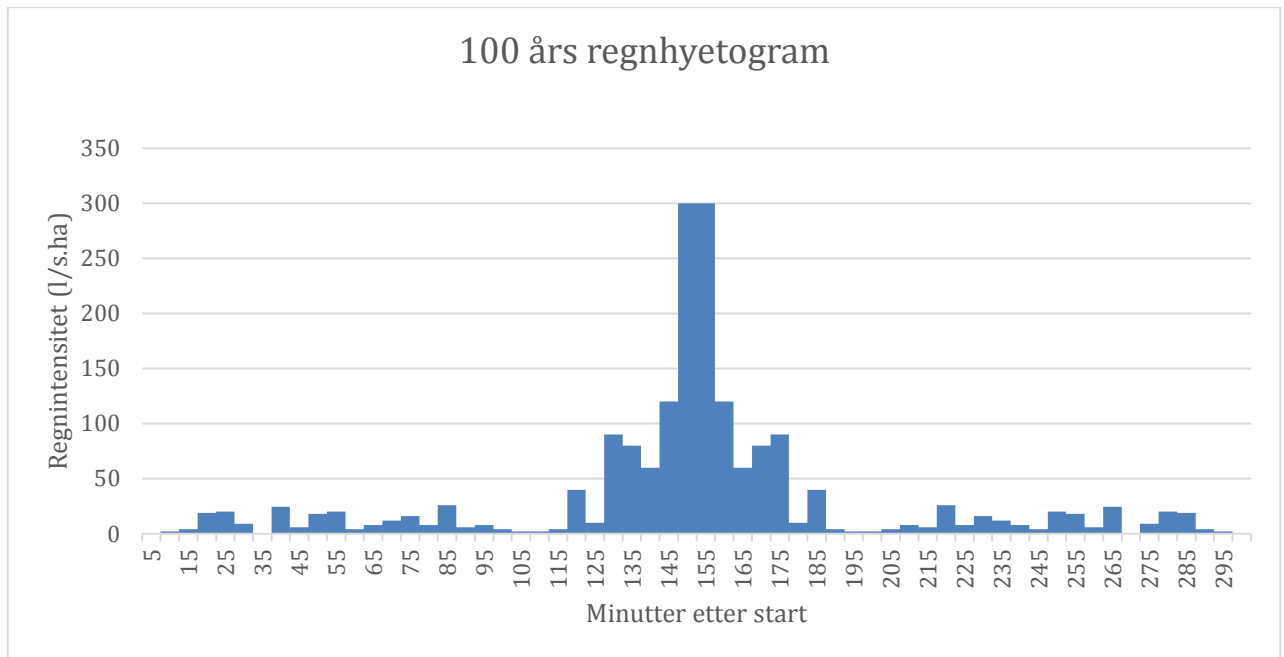
25 års regn, 300 minutters varighet



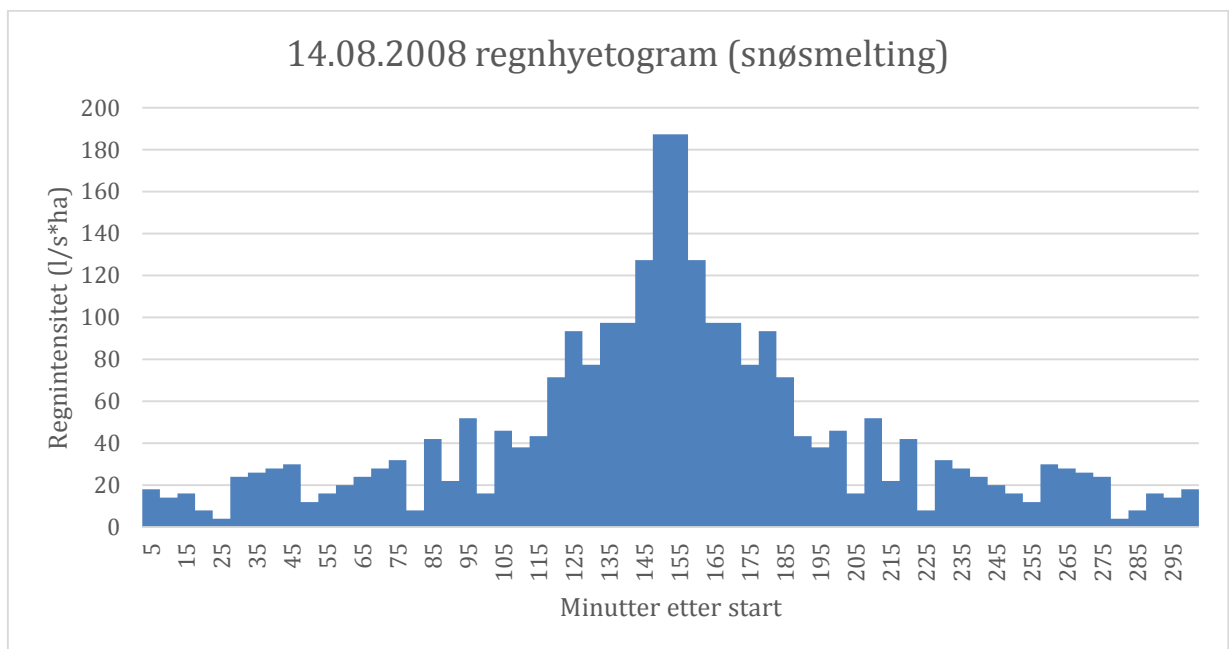
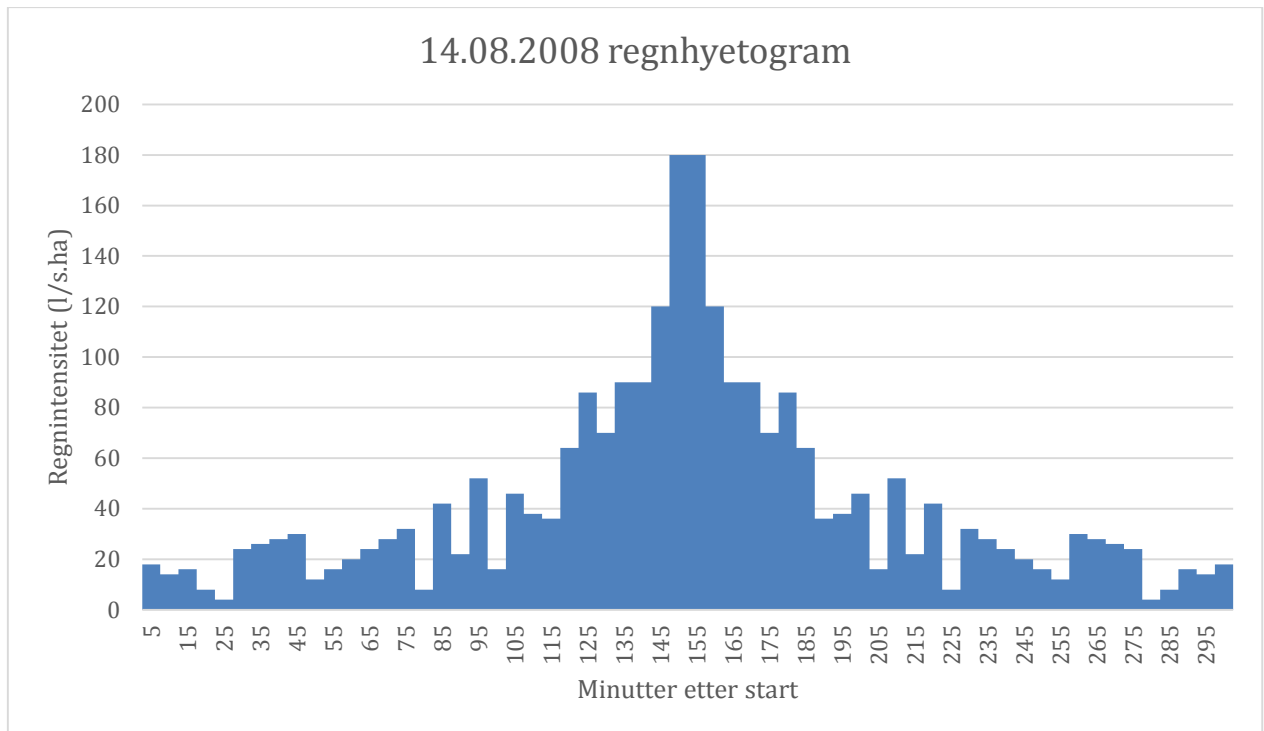
50 års regn, 300 minutters varighet



100 års regn, 300 minutters varighet



14.08.2008, 300 minutters varighet





Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

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