



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Fakultet for Realfag og Teknologi

Modellering av overvann og vurdering av tilførsler av tungmetaller fra Jessheim nedbørfelt til Nordbytjern

Modeling of stormwater and evaluation of heavy
metals discharges from Jessheim catchment to lake
Norbytjern

Hamdi Aburayya
Vann- og miljøteknikk

Forord

Denne oppgaven markerer slutten på et veldig spennende og givende to- års masterstudium i Vann- og miljøteknikk, ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU).

Oppgaven er skrevet ved Institutt for Matematiske Real FAG og Teknologi (IMT), våren 2017. Gjennomføring av oppgaven har vært tidkrevende, spennende og en meget lærerik prosess.

Oppgaven er skrevet i samarbeid med Ullensaker kommune og handler om beregning av kvantitet og kvalitet av overvann fra Jessheim nedbørfelt. Programmet SWMM er brukt for å analysere ulike avrenningssituasjoner og hvordan de situasjonene påvirker total mengde av overvann. Mengde av tungmetaller er beregnet manuelt.

Mange må takkes for at oppgaven til slutt ble en realitet. Jeg vil takke veilederen min Arve Heistad for støtte, god veiledning og tilstedeværelse når det har vært nødvendig.

Takk til biveileder Jon Arne Engan for uunnværlig hjelp med veiledning i SWMM programmet.

Jeg vil takke vennene mine for å ha gitt meg støtte og motivasjon undervis, og for å ha hjulpet meg med dataoverføringer og korrekturlesing.

En stor takk til foreldrene mine som har vært 100 % støttende gjennom oppgaven. Jeg vil også takke familien min og ikke minst «kjære kona mi» som har støttet meg hele tiden. Jeg vil ikke glemme barna mine «prins Yasser og prinsesse Yara» som har ventet tålmodig mens jeg har vært opptatt med oppgaven. Jeg setter stor pris på alt dette.

Ås 15.05.2017

Hamdi Aburayya

Sammendrag

Ullensaker kommune har gjennomført et langsiktig prosjekt for å skille overvann fra avløpsvann i separate systemer for å redusere utslippet til resipientene, samt bedre kontroll på overvann.

Nordbytjern i Jessheim er en resipient og en ressurs for estetiske opplevelser og rekreasjon. Som et forebyggende tiltak har kommunen etablert en rensepark rett ved Nordbytjern. Renseparken skal rense overvann før det går til Nordbytjern. Renseparken reduserer faren for forurensningsstoff som skulle slippes i Nordbytjern fra overvann. I den forbindelse ønsker kommunen at denne masteroppgaven skal finne ut maksimal mengde av overvann som tilføres i utløpet i forskjellige avrennings- og nedbørsituasjoner. Dessuten ønsker kommunen å finne ut mengde av noen farlige forurensningsstoffer (tungmetaller) fra overflatevann som slippes ut til renseparken og dermed til Nordbytjern.

For å finne total mengde av overvann er det brukt programmet SWMM. Det har blitt lagt en modell av nedbørsfeltet gjennom SWMM. For å bygge opp modellen ble nedbørsfeltet kartlagt og analysert. Modellen har blitt kalibrert mot manuelle beregninger som er beregnet gjennom den rasjonelle metoden. Deretter er modellen anvendt for å finne maksimal overvann i to situasjoner sommer- og vintersituasjon. For å oppnå dette har nedbør blitt simulert ved å konstruere regnhyetogrammer fra IVF-kurve i sommer- og vintersituasjonen for 10 og 100 års regn med og uten klimatillegg. Modellen er kjørt med 400 minutters regnvarighet for alle nedbørsituasjoner. I sommersituasjonen har infiltrasjonskapasiteten vært maksimal. Avrenning i vintersituasjon er simulert ved å øke modellens impermeabilitet med 80 %, og økt avrenningsintensitet på grunn av snøsmelting, noe som gir ekstrem avrenning. Resultater viser at de maksimale overvannavrenningene for sommersituasjon er mindre enn vintersituasjon. De totale mengdene av overvann i vintersituasjonen er nesten dobbelt så stor som de totale mengdene av overvann i sommersituasjonen for alle nedbørsituasjonene som er kjørt i modellen. Den totale mengden av overvann blir ca. 35 % og ca. 25 % høyere med klimatillegg enn uten klimatillegg for 10 års regn for henholdsvis sommer- og vintersituasjonen.

Årlig utslipp av tungmetaller fra overvannet er beregnet ved å multiplisere antall m³ avrent overvann per middelår med en middelkonsentrasjon for hele året av en komponent. Resultater viser at mesteparten av tungmetaller kommer fra tette flater. Mesteparten av tungmetaller kommer fra industriområde. De største utslippene av miljøgifter, blant annet tungmetaller er fra tette flater i industri og sentrumsområder.

Abstract

Municipality of Ullensaker has implemented a long-term project to separate stormwater from wastewater in separate systems to reduce the discharge to the recipients, in order to get better control of stormwater. Stormwater from Jessheim catchment flow through a constructed wetland, before discharged to Nordbytn. Nordbytn is a recipient and a resource for aesthetic and recreation. The wetland reduces the risk of pollutants that could be released into Nordbytn from runoff water. This thesis determines the total discharge of runoff which discharges to Nordbytn at different climatic conditions in winter and summer seasons. In addition, the municipality needs to determine the amount of some hazardous pollutants (heavy metals) from surface water which could be released to the wetland and after that to Nordbytn.

To determine the total amount of stormwater the SWMM software was used. SWMM was also used to create a model of a catchment area. To build the model, the catchment area was mapped and analyzed. The model has been calibrated against manual calculations which were calculated by the rational method. Then, the model is used to find the maximum stormwater in two periods, summer and winter. To achieve this, the precipitation has been simulated by constructing a model rain «Hyetogram» from IVF curves for summer and winter conditions for 10 and 100 years return periods of rain with and without climate change. The model is run with 400 minutes of rainfall for all precipitation situations. In summer, the infiltration capacity become maximized. The winter situation was simulated by increasing the model's impervious surfaces to 80 % which leads to an exaggerating situation in relation to reality. Results show that the total discharge of the runoff for the summer situation is less than the winter situation. The total discharge of runoff for the winter is more than double compared to total discharge of runoff for the summer situation for all the precipitation situations that have been run in the model. The total discharge of runoff is approximated to 35 % and 25 % higher with climate addition than without climate addition for 10 years return period of rain for summer and winter conditions respectively.

Annual discharge of heavy metals from stormwater are calculated by multiplying the amount of runoff (average m^3 per year) with a mean concentration for the whole year of each metal. Results show that most of the heavy metals come from impervious surfaces. The largest discharge of heavy metals in the runoff water are from impervious surfaces in industrial and downtown areas.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag.....	II
Abstract.....	III
Figurliste	IX
Tabelliste.....	X
Formelliste	XI
Liste over forkortelser	XI
1 Introduksjon	1
1.1 Innledning	1
1.2 Bakgrunn for oppgaven	2
1.3 Problemstilling	2
2 Bakgrunnsinformasjon.....	3
2.1 Avløpssystem i Ullensaker	3
2.2 Klima og klimaendringer i Norge	3
2.2.1 Klima og klimaendringer i Akershus	4
2.2.1.1 Temperatur.....	5
2.2.1.2 Nedbør	6
2.2.1.3 Vind	6
2.2.1.4 Snø	6
2.3 Nedbørsdata	6
2.3.1 IVF intensitet varighet frekvenskurver.....	7
2.3.2 Omdanning av IVF-kurver til en symmetrisk hyetogram	8
2.4 Avrenningsdata	9
2.4.1 Beregning av overvannsavrenning ved hjelp av den rasjonelle metoden.....	9
2.4.2 Summasjonskurvemetode for beregning av overvann mengde	13

2.4.3	Dimensjonerende nedbørmengder	13
2.5	Modellering	14
2.5.1	Hva er SWMM.....	15
2.5.2	Beregningsmetode i SWMM	15
2.5.2.1	Overflateavrenning	16
2.5.2.2	Infiltrasjon	17
2.5.2.3	Strømningsberegninger i Ledninger og kanaler.....	20
2.5.2.4	Oppstuvning i kummer.....	22
2.6	Oppbygging av modell	22
2.6.1	Oppbygging av nedbørmåler	23
2.6.2	Oppbygging av delarealer.....	25
2.6.3	Oppbygging av ledninger	26
2.6.4	Oppbygging av knutepunkter.....	27
2.6.5	Oppbygging av myr.....	28
2.6.6	Usikkerhet i modellen.....	29
2.6.7	Modellkalibrering, verifikasjon og etterprøving	29
2.7	Overvannskvalitet.....	29
2.7.1	Forurensningskilder i overvann	30
2.7.1.1	Atmosfærisk nedfall	30
2.7.1.2	Menneskelige aktiviteter på og ved urbane flater.....	31
2.7.1.3	Lekkasjer, ulykker og ulovlige utslipp.....	32
2.7.2	Forurensinger i overvann.....	32
2.7.3	Tungmetaller	32
2.7.3.1	kilder	33
2.7.3.2	Effekt av tungmetaller.....	34
2.7.3.3	Konsentrasjon av tungmetaller i overvannsavrenning	34
2.7.3.4	Beregning av tungmetaller i overvann.....	36

3	Prosjektområdet.....	38
3.1	Jessheim.....	38
3.2	Nedbør	39
3.3	Avrenning	39
4	Metoder.....	40
4.1	Valg av beregningsverktøy	40
4.2	Kartlegging og analyse av nedbørsfelt	40
4.2.1	Befolkningsvekst i Jessheim.....	40
4.2.2	Jessheims nedbørsfelt	41
4.2.2.1	Avgrensning av hoved nedbørsfeltet	41
4.2.2.2	Grunnforhold	44
4.2.2.3	Infiltrasjonsevne	45
4.2.2.4	Grunnvannspotensial	45
4.2.3	Delarealer.....	46
4.2.4	Arealbruk og vannskille.....	46
4.2.4.1	Skog og dyrket mark.....	46
4.2.4.2	Myr området:.....	49
4.2.4.3	Bebyggelse i området.....	49
4.3	Beregning av overvannmengde.....	50
4.4	Oppbygging av en symmetrisk hyetogram	54
4.5	Dagens situasjon.....	56
4.6	Oppbygging av modell	56
4.7	Modellkalibrering, verifikasjon og etterprøving	59
4.8	Sommer- og vinteravrenningssituasjon	62
4.8.1	Sommersituasjon	63
4.8.2	Vintersituasjon	63
4.9	Kvantifisering av tungmetaller i overvannsavrenning	64

4.9.1.1	Beregning av middelvannføring.....	65
4.9.1.2	Utslippsberegning av tungmetaller.....	66
5	Resultater og diskusjon.....	67
5.1	Overvannsmengder.....	67
5.1.1	Sommersituasjon.....	67
5.1.2	Vintersituasjon.....	68
5.1.3	Sammenligning mellom sommer- og vintersituasjon.....	69
5.2	Utslipp av tungmetaller.....	71
5.3	Kalibrering.....	73
5.3.1	Areal.....	73
5.3.2	Konsentrasjonstid.....	74
5.3.3	Avrenningskoeffisienter C.....	74
5.4	Oppbygging av modell.....	74
5.4.1	Oppbygging av kummer og kanaler.....	74
5.4.2	Impermeabilitet.....	74
5.4.3	Infiltrasjonskapasitet.....	74
5.4.4	Grunnvanns modellering.....	75
5.5	Konstruksjon av regnhyetogram.....	75
5.6	Dagens situasjon.....	75
5.7	Konsentrasjon av tungmetaller i overvann.....	75
6	Konklusjoner og anbefalinger.....	77
6.1	Konklusjon.....	77
6.2	Anbefaling videre arbeid.....	77
7	Referanser.....	79
	Vedlegg A.....	83
	Vedlegg B.....	87
	Vedlegg C.....	89

Vedlegg D.....	92
Vedlegg E.....	96
Vedlegg F.....	102

Figurliste

<i>Figur 1: Midlere nedbørsum (mm) for hele året i perioden 1985-2014 (Norsk klimaservicesenter 2017a).....</i>	<i>5</i>
<i>Figur 2: IVF-kurver for Jessheim i minutter.....</i>	<i>7</i>
<i>Figur 3: IVF-kurver for Jessheim i timer.....</i>	<i>8</i>
<i>Figur 4: Eksempel for å finne intensiteten.....</i>	<i>11</i>
<i>Figur 5: Konseptuell visning av overflateavrenning (Rossman, L. 2015).</i>	<i>16</i>
<i>Figur 6: Infiltrasjon som funksjon av tid etter regnværet start (Rossman, L. 2015).</i>	<i>18</i>
<i>Figur 7: Fysiske objekter som brukes til å modellere et overvannssystem (Rossman, L. A. 2015).....</i>	<i>23</i>
<i>Figur 8: Innskriving av nedbørsdata i SWMM.....</i>	<i>24</i>
<i>Figur 9: Inngangsparameterne Verdier for «Rain Gages» som er brukt i oppgaven (utklipp fra SWMM).</i>	<i>24</i>
<i>Figur 10: Typer av overflater på et delareal (Rossman, L. 2015).</i>	<i>25</i>
<i>Figur 11: Viktige parametere for et delareal (SA) (utklipp fra SWMM).....</i>	<i>26</i>
<i>Figur 12: Tverrsnitts form av kanaler og ledninger (utklipp fra SWMM).....</i>	<i>26</i>
<i>Figur 13: Kanaler eller ledningers egenskaper (utklipp fra SWMM).</i>	<i>27</i>
<i>Figur 14: Hovedinngangsparametere for et knutepunkt (utklipp fra SWMM).....</i>	<i>28</i>
<i>Figur 15: Et eksempel på simulering av myrområdet (utklipp fra S WMM).....</i>	<i>28</i>
<i>Figur 16: En skisse som viser rensepark og Norbytjern.</i>	<i>38</i>
<i>Figur 17: Befolkningsutviklingen i Ullensaker 1951 -2014 (Ullensaker kommune 2015b).....</i>	<i>41</i>
<i>Figur 18: NVE oversiktskart for nedbørsfelt (Norges Vassdrags og Energidirektoratet).</i>	<i>42</i>
<i>Figur 19: Nedbørsfeltets grense etter den manuelle metoden (utklipp fra Norgeskart).</i>	<i>43</i>
<i>Figur 20: Nedbørsfeltets grense etter den manuelle metoden (utklipp fra Norgeskart).</i>	<i>44</i>
<i>Figur 21: Type av løsmasser i området (Norges Geologiske Undersøkelse 2015).</i>	<i>44</i>
<i>Figur 22: Infiltrasjonsevne i området (Norges Geologiske Undersøkelse 2015).....</i>	<i>45</i>
<i>Figur 23: Grunnvannspotensial i området (Norges Geologiske Undersøkelse 2015).</i>	<i>46</i>
<i>Figur 24 :Kart over areal typer (GIS link).</i>	<i>47</i>
<i>Figur 25: Kotehøyder forklaring (utklipp fra AutoCad).....</i>	<i>48</i>
<i>Figur 26: Avrenning fra skog og bebygde områder (utklipp fra Norgeskart).....</i>	<i>48</i>
<i>Figur 27: Eksempel på en grøft som har infiltrasjons funksjon (utklipp fra googles maps).</i>	<i>49</i>
<i>Figur 28: Oversikt over deling av nedbørsfeltet til 3 felt (utklipp fra Norgeskart).</i>	<i>52</i>
<i>Figur 29: Summasjonskurve for de 3 feltene for 10 års gjentaksintervall.</i>	<i>52</i>
<i>Figur 30: Oversikt over skog felt med målepunkt (utklipp fra Norgeskart).</i>	<i>53</i>
<i>Figur 31: Symmetrisk regnhyetogram basert på 10-års gjentaksintervall for Jessheim.....</i>	<i>56</i>
<i>Figur 32: Eksempel på et delareal (SA) (Rossman, L. 2015).</i>	<i>58</i>
<i>Figur 33: Utforming av bekketverrsnitt (utklipp fra SWMM).....</i>	<i>59</i>
<i>Figur 34: Utklipp fra modellen etter justering for regnhendelse «10 års regn» (utklipp fra SWMM).</i>	<i>61</i>
<i>Figur 35: Utklipp fra modellen etter justering for regnhendelse «100 års regn» (utklipp fra SWMM).</i>	<i>62</i>

Figur 36: Oversikt over sommersituasjon med maksimale vannføringsmengder ved forskjellige regnhendelser fra simuleringer.....	67
Figur 37: Oversikt over vintersituasjonen med maksimale vannføringsmengder ved forskjellige regnhendelser fra simuleringer.....	69
Figur 38: Sammenligning mellom sommer- og vintersituasjon på den totale mengden av overvann fra simuleringer.....	70
Figur 39: Beregnet midlere årlige utslipp av tungmetaller for hele nedbørsfeltet.....	71
Figur 40: Beregnet konsentrasjon av tungmetaller i ($\mu\text{g/l}$ i forhold til middel vannføring) i utløpet.	72
Figur 41: Beregnet midlere årlige utslipp av tungmetaller parametere for ulike arealer.....	73

Tabelliste

Tabell 1: Års-verdier for temperatur og nedbør som kan forventes mot slutten av århundre (Norsk klimaservicesenter 2017b).....	5
Tabell 2: Nedbørintensitet som er hentet fra IVF-kurver i $\text{l/s} \cdot \text{ha}$	8
Tabell 3: Avrenningsfaktor for ulike bebyggelse typer(Roar A Grønlund Magnussen 2015).	10
Tabell 4: Avrenningsfaktor for ulike overflate typer(Tay & Afshar 2014).	10
Tabell 5: Avrenningsfaktor for ulike sammensatte flater(Ødegaard et al. 2014, s. 347).....	10
Tabell 6: Dimensjonerende gjentakintervall fra Norsk Standard NS-EN 752 1997 (Lindholm et al. 2008).....	14
Tabell 7: Dimensjonerende gjentakintervall fra Norsk Vann Rapport 162 (Ødegaard et al. 2014).	14
Tabell 8: Kilder til noen tungmetaller parametere i overvann (Halvor saunes 2014).	33
Tabell 9: Midlere konsentrasjoner i overflatevann på tungmetaller(Oddvar Lindholm 2015).....	35
Tabell 10: Konsentrasjoner i overflatevann på tungmetaller basert på type av overflate(Göbel et al. 2007). ..	35
Tabell 11: Inndeling av tungmetaller konsentrasjoner på overvann i ulike klasser (Lindholm 2004).....	36
Tabell 12: Resultat fra et 400 minutters regnhyetogram basert på 10-års gjentakintervall.....	55
Tabell 13: Modellberegning med forhåndsbestemte parameterne i SWMM og overvannsavrenning fra målepunktet før justering.....	60
Tabell 14: Modellberegning med forhåndsbestemte parameterne i SWMM og overvannsavrenning fra målepunktet etter justering.....	60
Tabell 15: Maksimale vannføring fra både SWMM og rasjonell formel.....	62
Tabell 16: Prosent av tette flater og andel deltagende tette flater(Oddvar Lindholm 2015).	65
Tabell 17: Oversikt av sommersituasjonen over maksimale vannføringsmengder og total volum for dagens- og framtidig situasjon med forskjellige regnhendelser fra simuleringer.....	68
Tabell 18: Oversikt av vintersituasjonen over maksimale vannføringsmengder og total volum for dagens- og framtidig situasjon med forskjellige regnhendelser, samt snøsmelting for 10 års returperiode for Oslo fra simuleringer.....	69
Tabell 19: Beregnet midlere årlige utslipp av tungmetaller i utløpet fra hele nedbørsfeltet.....	71
Tabell 20: Beregnet midlere årlige utslipp av tungmetaller fra ulike områder.	73
Tabell 21: Ruhet for permeable flater.....	87

Tabell 22: Grop-magasin i mm for permeable og tette flater.....	87
Tabell 23: Ruhet i rør.....	87
Tabell 24: Minimum infiltrasjon ved ulike jordstrukturer	88
Tabell 25: Maksimal infiltrasjonsrate ved ulike grad av fuktighet	88
Tabell 26: Tørketid for jord og avtakings konstant for Horton kurven.	88

Formelliste

Formel 1: Den rasjonelle formelen.	9
Formel 2: Mannings ligning for strømningshastighet.	12
Formel 3: Konsentrasjonstids formel for naturlige felt.....	12
Formel 4: Konsentrasjonstids formel for urbane område.....	13
Formel 5: Kontinuitetsligning for beregning av overfalteavrenning (Li et al. 2016).....	16
Formel 6: Mannings formel for beregning av overfaltestrømning (Li et al. 2016).	17
Formel 7: Hortons ligning (Governing Equation) for infiltrasjon.....	18
Formel 8: Kontinuitetsligningen til Saint Venant (Li et al. 2016).....	20
Formel 9: Momentbevaringsligningen til Saint Venant (Li et al. 2016).	20
Formel 10: Ligningen av friksjonshelning som utledet fra mannings ligning (Li et al. 2016).	20
Formel 11: Utslipp for en arealtype og for en komponent (kg/år).	36
Formel 12: Avrent volum over et middelår (m ³).	36

Liste over forkortelser

NVE Norges vassdrags- og energidirektorat

EPA The US Environmental Protection Agency

SWMM Storm water management model

NMBU Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

IVF Intensitet, varighet og frekvens

GIS Geografiske informasjonssystemer

RCP Representative Concentration Pathways

FN Forente Nasjoner

GPS Global Positioning System

TSS Suspenderte faste stoff

LOD Lokal overvann disponering

1 Introduksjon

1.1 Innledning

Forskning viser at jordkloden opplever betydelige endringer i klima. Da målinger av temperatur med instrumenter begynte, har global middeltemperatur økt med omtrent 0,8 °C siden slutten av 1800-tallet. Dette skyldes drivhusgasser i atmosfæren som er knyttet til menneskelig aktivitet. Dette kan medføre til flom, hetebølger med tørt vær, havstigning og kraftig nedbør med høyere intensitet og dermed økning i totale mengde av overvann (Store norske leksikon 2017).

Overvann er vann som renner på tette flater via lukende ledninger eller åpne kanaler og samler seg i bekker, elver, tjern og innsjøer. Overflatevann kommer fra både nedbør og snøsmelting. Det er stor sett tilgjengelig i hele Norge. Generelt har overvann mulighet til å infiltreres til grunnvann hvis jord eller bakken har nok god infiltrasjonsevne. Mens resten av det vil ledes til en resipient via kanaler, elver, bekker og overvannsledninger. Dette er avhengig av klimaendringer, urbanisering og fortetting i byer.

I flere steder i Norge betraktes overvann som en ressurs. Denne ressursen utnyttes i urbane områder som et viktig element for å lage rekreasjonssteder og gir området bedre levekvalitet. Flere overvanns resipienter er en del av et landskapsvernområde med turmuligheter og et utstrakt friluftsliv hele året. De resipientene kan inneholde badestrand med andre menneskelige aktiviteter. Resipientene er påvirket av økning i avrenning av overvann, som har blitt et kritisk problem, i tette byer på grunn av økt urbanisering og høyere nedbørintensitet som er et resultat av klimaendringer.

I følge Hanssen-Bauer (2015) vil Norge få økning i temperatur. Fram mot slutten av dette århundret kan Norge få ca. 4,5 °C økning på årstemperatur. Mens årsnedbør kan øke med ca. 18 %. Regneepisoder vil forekomme hyppigere og bli kraftigere. Regnflommer vil bli større og kommer oftere. Snøen vil bli nesten borte i områder som ligger lavt i mange år. Men på fjell kan det bli større snømengder i enkelte områder.

Overvann påvirkes av jord, berggrunn og menneskelig aktivitet. I urbane områder kan overvannkvaliteten varierer mye med nedbør og snøsmelting, og særlig i flomperioder og dermed transporteres forurensninger raskt til en resipient (Ødegaard et al. 2014, s. 41). Miljøgifter blant annet tungmetaller er en av de farligste stoffene som kan endre overvannkvalitet i vassedragere og innsjøer ved tid og ved mer urbanisering av naturlig terreng.

Nordbytjern i Jessheim betraktes som en ressurs for estetiske opplevelser, for lek og rekreasjon. Tjernen får overflatevann fra Jessheim by. Derfor vil overvannet bli brukt for å styrke bymiljøet siden at nedbør vil øke basert på det som forekommer i klimaendringer.

Mengde av overvann er uvisst. Men undersøkelser viser at miljøgifter, særlig tungmetaller, begynte å øke i resipienten. Så denne oppgaven er skrevet i samarbeid med Ullensaker kommune for å vurdere tilførsel av overvann fra Jessheim nedbørsfelt via å se nærmere på kvantitet og kvalitet av overvannet for å beholde Nordbytjern som et rekreasjonsområde.

1.2 Bakgrunn for oppgaven

Ullensaker kommune har etablert en rensesepark som tar imot overvann fra Jessheim sentrum og deretter ledes det bort til Nordbytjern og videre via Tveia til Leira. Renseseparken ble etablert i 2010 og tar imot overvann fra største del av Jessheim sentrum via Måsabekken. Parken har et sedimentasjonsbasseng etterfulgt av et våtmarksfilter. Måsabekken drenerer til Nordbytjern som har stor biologisk verdi og som kilde til rekreasjon. Renseseparken er lokalisert akkurat før utløpet til Nordbytjern. Nordbytjern ligger 188 meter over havet, ca. 1 km nord for Jessheim sentrum. Nordbytjern er en del av et landskapsvernområde med turmuligheter og et utstrakt friluftsliv hele året. Området har en badestrand i det sørøstlige hjørnet av tjernet. Jessheim er under stor utvikling som vil øke andel tetteflater, og sammen med forventet økt nedbør vil den hydrauliske belastningen og tilførselen av forurensing økes.

Så i den sammenhengen ønsker kommune å vite:

- Mengde av overvann i forskjellige avrenningssituasjoner, regnhendelser og økning av nedbør og tette flater.
- Renseeffekten av parken med tungmetaller og annen forurensing fra urbane områder.

1.3 Problemstilling

Problemstillingen for oppgaven er:

- Hvor stor mengde overvann tilføres i utløpet fra Jessheims nedbørsfelt i sommer- og vinteravrenningssituasjon for ulike nedbørsituasjoner (dagens- og framtidigsituasjon)?
- Hvor stor mengde tungmetaller slippes ut i renseseparken fra overvann fra Jessheims nedbørsfelt i utløpet?

2 Bakgrunnsinformasjon

2.1 Avløpssystemet i Ullensaker

Alle byer og tettsteder er dekket av det offentlige avløpssystemet i Ullensaker. For å få til en bedre renseseffekt, mindre utslipp til vassdragene samt bedre kontroll med nedbør og overvann, har kommunen gjennomført et langsiktig prosjekt for å skille overvann fra avløpsvann i separate systemer. Avløpssystemet består av pumper, overløper, overvannsledninger og spillvannsledninger osv. Kommunen har ansvar for alle overføringsledninger som er koblet til kommunens to avløpsrenseanlegg, Gardermoen og kløfta renseanlegg. I 2015 hadde Ullensaker kommune 280 km spillvannsledninger, 133 km overvannsledninger og mindre enn 1 km fellesledninger. Dette tyder på at ca. hele kommunen har et separat system for spillvann og overvann. I tillegg har kommunen totalt ca. 70 kommunale spillvannspumpestasjoner fordi kommunens terreng er relativt flat, og har mangel på høydeforskjeller. Dette fører til begrensninger for selvfallssystemer. Mens kommunen har 5 overvannspumpestasjoner på sitt overvannsnett. Dessuten er det 935 separate avløpsanlegg (minirensesanlegg) (Ullensaker kommune 2015a).

2.2 Klima og klimaendringer i Norge

Gjennomsnittlig vær over en lengre tidsperiode defineres som klima. Det kan være f.eks. 30 år. Norge ligger ikke på samme breddegrad og derfor er klimaet relativt mildt her i landet. Menneskelig aktivitet og naturlig variasjon har stor påvirkning på klima. FNs klimapanel¹ slår fast at økingen i globaltemperatur er mest sannsynlig forekommet på grunn av konsentrasjons økning av drivhusgasser fra menneskelig utslipp siden 1950 (Hanssen-Bauer 2015).

I Norge har årsnedbør økt i hele landet siden 1900. Økning av gjennomsnittlig årstemperatur er 4,5 °C, mens økning i årsnedbør ligger på 18 %. Det er beregnet midlere årsnedbør til 1600 mm. Den største økingen er om våren og den minste er om sommeren. I tillegg at det har vært en økning både i intensitet og hyppighet i de siste årene. Det vil si at nedbøren faller kraftig i løpet av kort tid (Hanssen-Bauer 2015).

¹ FNs klimapanel vurderer alle tilgjengelig forskning som handler om klimaendringer og hvilke miljømessige, sosiale og økonomiske konsekvenser disse forandringene kan ha.

I følge rapporten «Klima i Norge 2100» er det forventes det at nedbørmengden på dager med kraftig nedbør vil øke. Det beregnes også at årsnedbør skal ha en økning på 18 % mot slutten av århundret basert på utslippsscenarioet RCP 4.5². Det er imidlertid bevist at for kortere varigheter enn et døgn kan økning i intens nedbør bli større enn 30 %, for 3-timers nedbør med 5 års returperiode for utslippsscenarioet RCP 8.5³ (Hanssen-Bauer 2015).

I mai 2016 er utført en rapport på et fylke i den amerikanske delstaten som heter Cook County. Rapporten tilsier at resultater for 24-timer nedbørhendelse og for en seks forskjellige frekvenser mellom 2 og 100 års gjentakintervall viser kraftige regn når det blir sammenlignet med noen gamle data fra 1989 og 2006 (Markus et al. 2016).

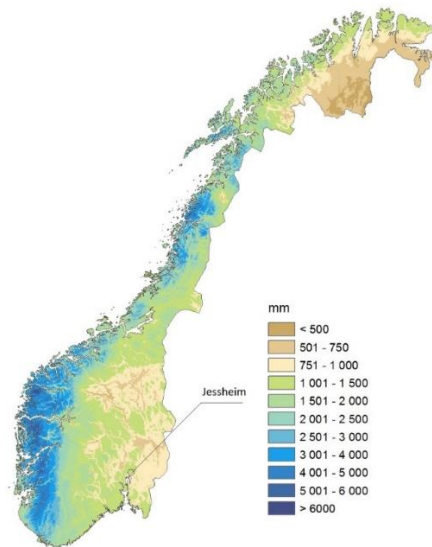
Klimatilpasningsutvalget påpeker at utfordringene med håndtering av overvann vil øke ved klimaendringer med mer total nedbør og mer intens nedbør. Nedbør og snøsmelting i byer og tettsteder med mange tette flater gir hurtig og stor avrenning som må håndteres på en trygg måte. Dersom avrenningen ikke håndteres kan det oppstå skadevirkninger på byggverk, helse og miljø (Norges offentlige utredninger 2015).

2.2.1 Klima og klimaendringer i Akershus

Jessheim ligger i Østlandet og årsnedbør i byen varierer fra rundt 700 mm til 1000 mm, se figur 1. Området har kortvarige og intense nedbørepisoder (Norsk klimaservicesenter 2017b). Gjennomsnittlige årstemperaturer har blitt variert fra 1 til 3 °C i de siste 16 årene, mens vintertemperaturer varierte fra -5 til -12 °C. Flere rapporter og undersøkelser viser at klimaelementene vil endres i fram tid. Ti-år fremover vil nedbør blir større og mer intens over hele Norge (Vann Norsk 2008).

² Utslippsscenarioer som innebærer at små utslippsendringer skal være fram til 2050 og deretter utslippskutt.

³ Utslippsscenarioer som innebærer at utslippene av klimagasser forsetter å øke helt fram til slutten av dette hundreåret.



Figur 1: Midlere nedbørsum (mm) for hele året i perioden 1985-2014 (Norsk klimaservicesenter 2017a).

2.2.1.1 Temperatur

De senere årene blir det registrert en økende temperatur både i luft og i vann i hele verden (Dvergsnes & Lindholm 2016).

I Akershus er temperaturøkning ca. 4,5 °C for vinter og vår, mens økning i sommertemperatur er beregnet med ca. 3,5 °C. Så gjennomsnittlig årstemperaturøkning blir beregnet med 4,0 °C i løpet av århundret sammenliknet med perioden 1971–2000. Endringer i temperaturer gir ikke store konsekvenser for kommunal planlegging, men de kan gi betydninger og påvirkninger i kombinasjon med andre klimaelementer endring, f.eks. nedbør. Det blir beregnet års-verdier for temperatur og nedbør som kan forventes mot slutten av århundre, tabell 1 (Norsk klimaservicesenter 2017b).

Tabell 1: Års-verdier for temperatur og nedbør som kan forventes mot slutten av århundre (Norsk klimaservicesenter 2017b).

Sted/ års-verdier	Temperatur (°C)	Nedbør (mm)
Gardemoen	4,3	825
Eidsvoll	4,3	785

2.2.1.2 *Nedbør*

Mengde av nedbør vil øke i hele Norge for et helt år med variasjon økning i sesong gjennom året mot slutten av århundret. I Akershus vil års nedbørmengden øke med 15% i løpet av århundret sammenliknet med perioden 1971–2000, og den fordeler seg slik: 30% for vinter, 25% for vår, 5% for sommer og 10% for høst (Norsk klimaservicesenter 2017b).

Økning både i intensitet og hyppighet er forventet. Dette fører til å få kraftig nedbør. Kraftig nedbørmengden forventes å øke med ca.20% for et døgn. I vinterstid forventes 30% økning i intensitet.

Korttidsnedbør øker mest

For kortere varigheter som er mindre enn ett døgn, er det indikasjoner på større økning enn for døgnnedbør. På regnskyll med kortere varighet enn 3 timer, foreslås det å øke nedbørmengden med ca. 40 % (Norsk klimaservicesenter 2017b). Så det er faktisk korttidsnedbøren som øker mest. I løpet av et år har timenedbøren økt med ca. 60 % på 50 år i Oslo. Økningen har vært betydelig på Østlandet i Sør-Norge fra 1968 fram til 2014. Mest av de største problemene, som overvann og flommer, oppstår når vi får intense nedbørshendelser på kort tidsrom. Derfor er det svært viktig å ta være på korttidsnedbør (Meteorologisk institutt 2017).

2.2.1.3 *Vind*

Basert på rapport som er publisert av norsk klimaservicesenter 2017 er det liten eller ingen forandring i midlere vindforhold i 100-års framtid. Men det er stor usikkerhet i framskrivningene for vind (Norsk klimaservicesenter 2017b).

2.2.1.4 *Snø*

Det er stor reduksjon i snømengdene og antall dager med snø. Som nevnt om økning i temperatur i vinterstid, vil dette føre til at flere smelteepisoder forekommer om vinteren (Norsk klimaservicesenter 2017b).

2.3 Nedbørsdata

Pålitelige nedbørsdata er viktig for å gjennomføre beregning og analyse arbeidet når man skal modellere overvann i et nedbørsfelt.

2.3.1 IVF intensitet varighet frekvenskurver

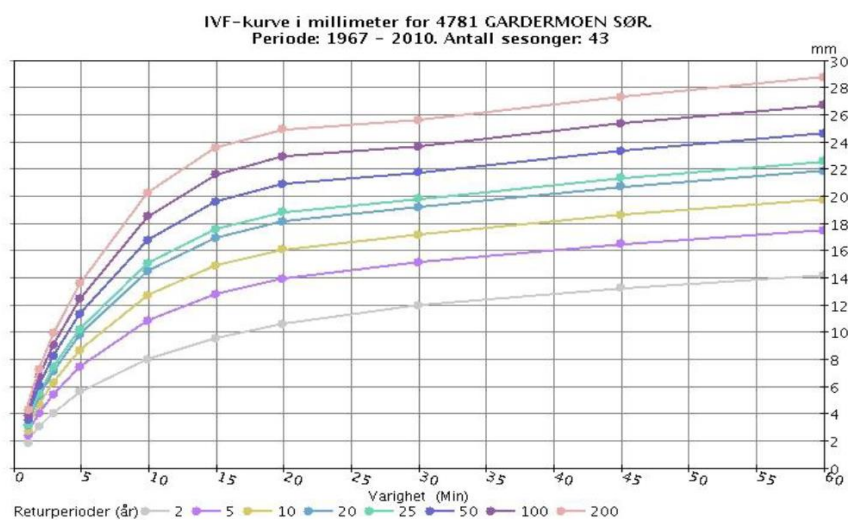
IVF-kurver er basert på målinger fra Gardemoen målestasjon. IVF-kurver gir informasjon om intensitet, varighet og frekvens. Intensitet er oppgitt på x-aksen, mens varighet er oppgitt på y-aksen og hver frekvens har sin graf som kalles returperioder eller gjentaksintervall.

IVF-kurer baserer seg på gjentaksintervaller. Et gjentaksintervall er et mål for hvor mange år det i gjennomsnitt er mellom hver gang en bestemt flomvannføring overskrides (Fergus et al. 2010).

En regnhendelse som har 10-års gjentaksintervall betyr at det forventes en slik hendelse hvert 10. år. Det betyr ikke at 10-års hendelse kan skje bare en gang i løpet av 10 år. Det er heller ikke at den 10-års hendelsen skal ha 100% i sannsynligheten for å skje. Det er faktisk bare 65 % sannsynlig at det kommer et 10-års regn i løpet av de neste 10 år (Lindholm et al. 2012).

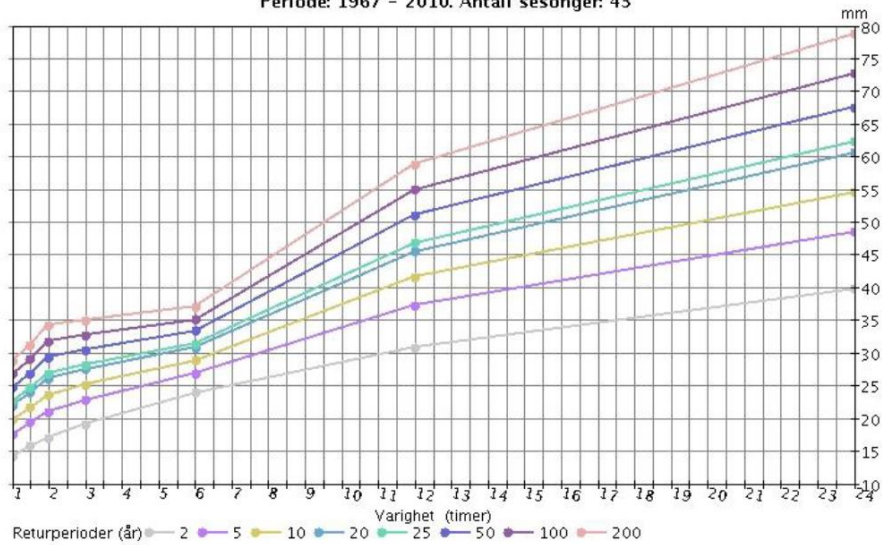
Intensitet er mengde av nedbør som faller i en bestemt tidsenhet og den framstilles i hyetogram. Enhet av intensitet kan være mm/år, mm/time, mm/min eller l/s*ha. 1 l/s*ha er lik 3153.6 mm/år. Varighet er et mål på hvor lang tid det tar for et visst regnskyll. Nedbør som har en bestemt intensitet og varighet, kan frekvensen fortelle hvor ofte den nedbøren inntreffer i en viss tidsperiode. Frekvensen er gitt ved gjentaksintervall eller returperiode (Lindholm et al. 2012).

Figur 2 viser IVF-kurver hvor intensitet er i mm, varighet i min og at det er totalt vist 8 ulike grafer for frekvensen. Frekvensen starter fra 2-års gjentaksintervall og slutter på 200-års gjentaksintervall. Mens figur 3 viser samme kurver men enhet av varighet er i timer. Tabell 2 viser verdier for nedbørintensitet som er hentet fra IVF-kurver hvor nedbørintensitet er i l/s*ha, varighet i min og returperiode i år.



Figur 2: IVF-kurver for Jessheim i minutter.

IVF-kurve i millimeter for 4781 GARDERMOEN SØR.
Periode: 1967 - 2010. Antall sesonger: 43



Figur 3: IVF-kurver for Jessheim i timer

Tabell 2: Nedbørintensitet som er hentet fra IVF-kurver i l/s*ha.

År	Varighet (minutter)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	180	360	720	1440
2	184	132,4	105,2	87,7	66,2	48,7	39,1	23,5	17,6	11	7,1	4,6
5	244,8	179,1	140,9	115,1	83,5	60,7	48,4	29	21	12,4	8,6	5,6
10	285,1	210	164,6	133,2	95	68,6	54,6	32,6	23,2	13,3	9,6	6,3
20	323,8	239,7	187,3	150,6	106	76,3	60,5	36,1	25,4	14,2	10,5	7
25	336	249,1	194,5	156,2	109,5	78,7	62,4	37,2	26	14,5	10,8	7,2
50	373,8	278,1	216,7	173,2	120,3	86,1	68,2	40,6	28,1	15,4	11,8	7,8
100	411,3	306,8	238,8	190,1	131	93,5	73,9	44	30,2	16,2	12,7	8,4
200	448,7	335,5	260,8	206,9	141,7	100,8	79,6	47,4	32,3	17,1	13,6	9,1

2.3.2 Omdanning av IVF-kurver til en symmetrisk hyetogram

En IVF-kurve kan omdannes til et symmetrisk regnhyetogram. Hvert regnskyll har sitt eget intensitet. Denne intensiteten er sjelden konstant. Tvert imot, et regn har ofte en meget høy toppintensitet. Denne metoden er anvendt i modell fordi den har mange fordeler. Nedenfor er det nevnt noen av de fordelene:

- Regnforløpet blir betydelig mer realistisk enn å bruke «Kasseregnet metode».
- Den metoden kan anvendes til alle ledningsnettstørrelser uansett konsentrasjonstid hvis området eller nedbørsfeltet har samme meteorologiske forhold.
- I en og samme beregning får man dimensjonerende vannføringer i alle deler av avløpsledningsnettet. Dette kan gjøres fordi regnhyetogrammet inneholder virkinger

av korte regn i sin mest intense del. Så det korte regnet blir dimensjonerende for øvre deler av nedbørsfeltet som har korte konsentrasjonstider, mens hele hyetogrammet vil virke dimensjonerende for de nedre deler av nettet som har lengre konsentrasjonstider (Lindholm et al. 2012).

2.4 Avrenningsdata

2.4.1 Beregning av overvannsavrenning ved hjelp av den rasjonelle metoden

Intensitet.

Rasjonell metode er en manuell metode som brukes for å beregne regnavrenning. Rasjonell Metode betraktes som den mest benyttede manuelle metoden (Lloyd-Davies et al. 1906). I denne oppgaven skal rasjonell metode brukes som referansedata siden vi ikke har noe referansedata i nedbørsfelt (ingen målepunkt for å måle overvannsavrenning).

$$Q = C * I * A * k_f$$

Formel 1: Den rasjonelle formelen.

Hvor:

Q: Regnvannsavrenning (l/s)

C: Midlere avrenningsfaktor

A: Areal (ha)

*I: Nedbørintensitet (l/s * ha)*

K_f: Klimafaktor (denne er lagt de siste årene)

Avrenningsfaktor C

Avrenningsfaktor C har stor påvirkning på beregning av regnvannsavrenning i den rasjonelle metoden. Det er flere faktorer som påvirker avrenningsfaktor blant annet permeabilitet, beskaffenhet, infiltrasjonsevne og fallforhold i terrenget. Så det er vanskelig å forklare hva som er inkludert eller inneholdt i avrenningsfaktor.

Tabell 3, tabell 4 og 5 viser avrenningsfaktors verdier for ulike areal typer.

Tabell 3: Avrenningsfaktor for ulike bebyggelse typer(Roar A Grønlund Magnussen 2015).

Bebyggelse type	Avrenningsfaktor	
	Flatt	Kupert
Tettbebyggelse, ingen vegetasjon	0,7	0,9
Tettbebyggelse med noen vegetasjon, industri og skoleområde	0,5	0,7
Åpne bebyggelse, flermansboliger	0,4	0,6
Rekkehus og kjedehus	0,4	0,6
Flat tettbevokst skog	0,0	0,1

Tabell 4: Avrenningsfaktor for ulike overflate typer(Tay & Afshar 2014).

Areal type	Avrenningsfaktor C
Enkelt familie områder	0.30 - 0.50
Multi-enhet frittstående	0.40 - 0.60
Forstadsområde	0.25 - 0.40
Tungt industriområde	0.60 - 0.90
Plener	
Sand løsemasse flatt, < 2%	0.05 - 0.10
Sand løsemasse , 2 - 7%	0.10 - 0.15
Sand løsemasse bratt, > 7%	0.15 - 0.20

Tabell 5: Avrenningsfaktor for ulike sammensatte flater(Ødegaard et al. 2014, s. 347).

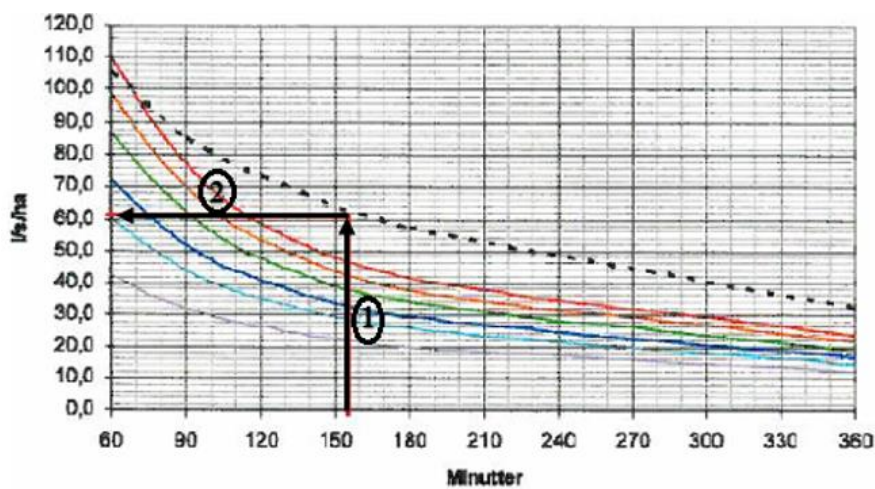
Type flater	Avrenningsfaktor C
Bysentrum	0,7-0,9
Blokkbebyggelse	0,4-0,6
Rekkehusområder	0,3-0,4
Åpne eneboligstrøk	0,2-0,3

Hvis man har flere typer av areal et nedbørsfelt, kan man finne midlere avrenningsfaktor via:

$$C_{midlere} = \frac{C_1 * A_1 + C_2 * A_2 + \dots + C_n * A_n}{A}$$

Intensitet og konsentrasjonstid

Når man vil anvende den rasjonelle metoden for å beregne overvannsføring, må man finne regnintensitet. Dette kan gjøres ved å bruke IVF-kurve. Først bør forskeren bestemme hvilket gjentaksintervall vil han finne avrenning for. Etterpå må konsentrasjonstid beregnes. Til slutt blir intensiteten lest eller funnet. Dette er forklart i figur 4.



Figur 4: Eksempel for å finne intensiteten.

Konsentrasjonstid for en dråpe er den tiden dråpen tar fra at den faller ned på terrenget til at den ankommer til utløpet av feltet. Ideen bak konsentrasjonstid er å finne den lengste strømningstiden fra ytterst i feltet til det punktet man skal beregne (utløp).

Konsentrasjonstiden består av tiden dråpen anvender på overflaten, t_t , og strømningstid, t_s , som dråpen bruker fra sluket eller kanal i rørsystemet eller bekken (Ødegaard et al. 2014, s. 346).

Derfor beskrives konsentrasjonstiden slik:

$$t_k = t_t + t_s$$

Strømningstiden i ledningene kan beregnes ved hjelp av denne ligningen:

$$t_s = \frac{L}{v}$$

Hvor:

t_s : er stømningstiden i sekunder.

L : Ledningslengde fram til utløpet (punktet) i meter.

V : Vannhastigheten i rørene i meter per sekund.

Basert på vann- og avløpsteknikk bok er vannhastigheten antatt å være 1.5 til 2 m/s i ledninger. Tilrenningstiden på overflaten anslås til å være 3-7 minutter i urbaniserte områder (Ødegaard et al. 2014).

Strømningstiden i kanaler kan beregnes ved hjelp av denne ligningen:

$$t_s = \frac{L}{v}$$

For å finne vannhastigheten i kanaler kan man bruke Mannings formel (Fergus et al. 2010, s. 119):

$$v = MR^{2/3}I^{1/2}$$

Formel 2: Mannings ligning for strømningshastighet.

Hvor:

M : Mannings tall

R : Hydraulisk radius hvor $R = A/p$

- A : Tverrsnitt vått areal
- P : Vått lengde periferien i tverrsnittet

I : Kanal fall (m/m) (antageligvis er den oppgitt i promille)

Konsentrasjonstiden t_k må være større enn tilrenningstiden t_t . Dette sies fordi i noen tilfeller kan det skjer at dimensjonerende regnvarighet blir kortere enn konsentrasjonstiden (Ødegaard et al. 2014).

Staten vegvesen i sin bok N200 har gitt to forskjellige ligninger for å beregne t_k .

Konsentrasjonstiden t_k for naturlige felt:

$$t_k = 0,6 L H^{-0,5} + 3000 A_{se}$$

Formel 3: Konsentrasjonstids formel for naturlige felt.

Mens konsentrasjonstiden t_k for urbane området:

$$t_k = 0,02L^{1,15}H^{-0.39}$$

Formel 4: Konsentrasjonstids formel for urbane område.

Hvor:

t_k : Konsentrasjonstiden i minutter

L: Lengde av feltet i meter

H: Høydeforskjellen i feltet i meter

A_{se} : Andel innsjø i feltet, forholdstall

Den rasjonelle formelen gir stor usikkerhet når den brukes ved felt større enn 10 km². Den kan brukes ved avrenningsfelt mindre enn 2-5 km² (Staten vegvesen 2014, s. 141). Men det er anbefalt å bruke den formelen i små urbane felt der arealet er mindre enn 0,2-0,5 km² (Ødegaard et al. 2014, s. 346).

2.4.2 Summasjonskurvemetode for beregning av overvann mengde

Dersom man vil ha frem betydning av ulike delfelters innvirkning på overvannsavrenningen fra et sammensatt avløpsfelt, kan man bruke den manuelle metoden. Forutsetninger i summasjonskurvemetode er:

- Ikke tidsvariable strømningshastigheter på overflater eller ledninger.
- Lineær superposisjon legges til grunn for de ulike delfeltbidragene.

Bakgrunn for summasjonskurvemetode er å holde orden på når hvert delfelt begynner med sitt overvannsbidrag i det sammensatte avløpsfelts utløpspunkt, når bidraget fra delfelt er fullt utviklet, når er reduksjon i bidraget starter og når bidraget er helt avsluttet fra delfeltet (Ødegaard et al. 2014, s. 351).

2.4.3 Dimensjonerende nedbørmengder

For dimensjonerende gjentaksintervall for de regn som man vil dimensjonere overvannssystemene for er det anbefalt å bruke de verdiene som er utarbeidet av norsk vann, se tabell 6 og 7. Den første tabellen er etablert siden 1997, men den andre blir oppdatert i 2008 i Norsk vann sin rapport om klimatilpassing overvannshåndtering (Lindholm et al. 2008).

Tabell 6: Dimensjonerende gjentakintervall fra Norsk Standard NS-EN 752 1997 (Lindholm et al. 2008).

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

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

**Oversvømmelsesnivået skal normalt regnes til marknivået eller kjellernivået.

Tabell 7: Dimensjonerende gjentakintervall fra Norsk Vann Rapport 162 (Ødegaard et al. 2014).

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

*Ledningsnettets skal bare fylles til topp rør ved dimensjonerende regnskyllhyppighet.

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

For å dimensjonere systemet slik at kapasiteten blir akkurat fylt brukes venstre kolonne i tabellene, mens høyere kolonne anvendes for å sjekke om når oversvømmelseskader opptrer.

2.5 Modellering

Målet for denne masteroppgaven er å finne mengde av overvann fra Jessheims nedbørfelt ved hjelp av SWMM. Ved å bruke en matematisk modell mener vi å beskrive fysiske prosesser best mulig i samsvar med det som er i virkeligheten. Så en matematisk modell er bare en tilnærming til den reelle verden. Teoretiske modeller bygger på noen matematiske

formuleringer som kan hjelpe i hovedoppgave ved å beregne eller fremstille ønskede parametere.

2.5.1 Hva er SWMM

SWMM betraktes som en av de mest kjente modelleringsverktøyet for overvann disponering i USA (Dvergsnes & Lindholm 2016). I 1970 hadde programmet den første utviklingen og deretter har fått forbedringer av EPA flere ganger. SWMM er et program som kan lastes ned fra EPAs hjemmeside gratis.

Den EPA storm water management model (SWMM) er en dynamisk nedbør-avrenning simuleringsmodell som kan brukes for enkeltregn eller lang sikt (kontinuerlig) simulering av avrenning kvantitet og kvalitet fra primært urbane områder. SWMM består av flere komponenter. Samling av delarealer er en komponent som mottar nedbør og deretter generer avrenning og forurensning. Transportering av avrenning gjennom et system av rør, kanaler, lagring/behandling enheter, pumper og regulatorer forekommer i rutings-komponent. SWMM sporer mengden og kvaliteten av avrenning som genereres innenfor hvert delareal og har mulighet til å beregne strømningshastighet, vanddybd og vannkvalitet i hvert rør og kanal. Hver simulering forekommer under en periode som består av flere tids steg (Rossman, L. A. 2015).

2.5.2 Beregningsmetode i SWMM

Beregning av overflateavrennings kan utføres på ulike manuelle metoder eller ved hjelp av programmer slik SWMM eller MOUSE.

SWMM har blitt brukt i tusenvis av spill- og overvann studier over hele verden. SWMM er et diskret-tid simuleringsmodell og baserer seg på flere fysiske prosesser. Programs prinsipp er basert på bevaring av masse, energi og momentum der det er hensiktsmessig (Rossman, L. A. 2015).

De fysiske prosessene som brukes til å modellere overvannavrenning er:

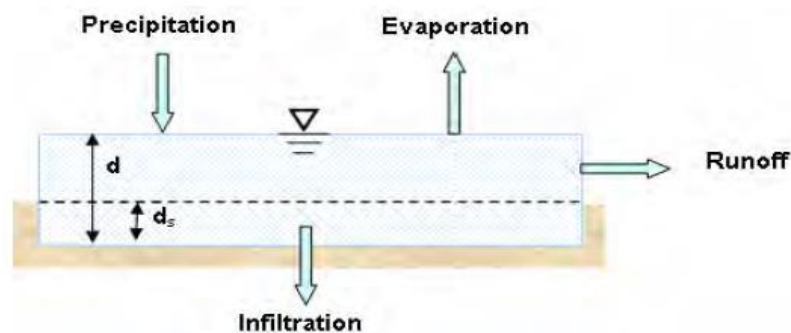
- Overflateavrenning
- Infiltrasjon
- Strømningsberegning
- Oversvømmelse ut av kum og oppstuvning
- Grunnvann

- Snøsmelting
- Vannkvalitet
- Temperatur

Nedenfor er det forklart noen av de prosessene:

2.5.2.1 Overflateavrenning

Figur 5 illustrerer Konseptuell visning av overflateavrenning som brukes via SWMM. Hvert nedbørsfelt som innkaller her i oppgaven delareal blir behandlet som et ulineært reservoar (gropmagasin). For hvert delareal kommer overvannet fra nedbør og noen utpekte oppstrøms delarealer. Utsliping av det overvannet forekommer via infiltrasjon, evaporasjon og overflateavrenning. Gropmagasin kapasitet er den maksimale overflate lagringen. Avrenning Q , som er overflateavrenning per arealenheter, forekommer bare når dybden av vannet i gropmagasin overskrider den maksimale overflate lagringen (d_p) (Rossman, L. A. 2015).



Figur 5: Konseptuell visning av overflateavrenning (Rossman, L. 2015).

Den ikke lineære reservoar avrennings modell brukes for beregning av overflateavrenning via å løse kontinuitetsligningen og manning ligningen (Li et al. 2016). Dybden av vann (d) over delarealet er kontinuerlig oppdatert med tid ved å løse en vannbalanse ligning over delarealet numerisk i programmet (Rossman, L. A. 2015). Mannings formel viser den relasjonen mellom avrenning Q , tverrsnittareal A , hydraulisk radius R og helling S i alle kanaler.

$$\frac{dV}{dt} = A \frac{dD}{dt} = A \cdot i - Q$$

Formel 5: Kontinuitetsligning for beregning av overflateavrenning (Li et al. 2016).

$$Q = W \frac{1.49}{n} * (D - D_p) * S^{\frac{1}{2}}$$

Formel 6: Mannings formel for beregning av overfaltestrømning (Li et al. 2016).

Hvor:

- Q = Overflate avrenning per enhetsareal
- V = Mengden av overflate ansamling (ponding) som er lik $A * D$
- t = tid (sek)
- D = Vanndybden over det delarealet
- D_p = Maksimale overflate lagringen
- A = Delarealet areal
- W = Delarealet bredd
- S = Terrengsfall (%)
- n = Mannings ruhetskoeffisient

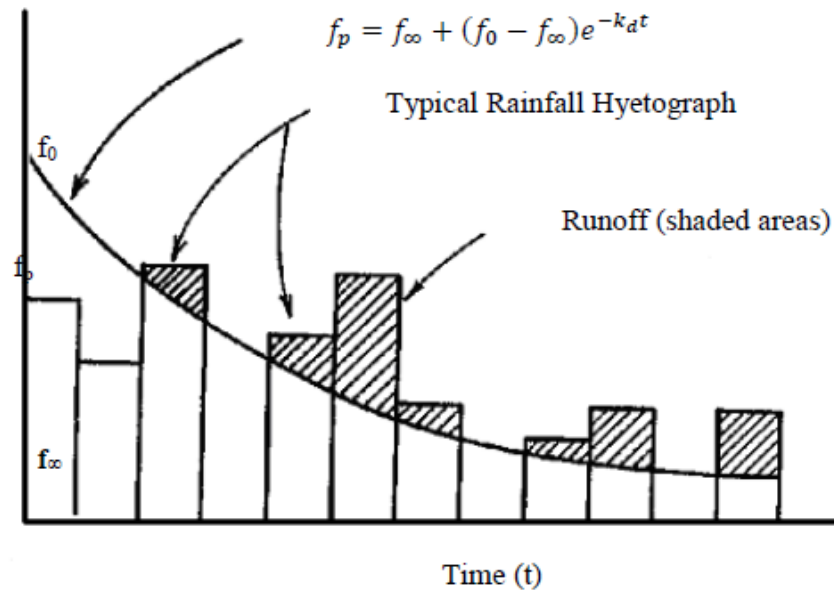
2.5.2.2 Infiltrasjon

Infiltrasjon er en prosess hvor nedbør trenger ned i jordoverflaten inn i den umettede sonen via de permeable delarealene. SWMM kan bruke en av fire valg for å modellere infiltrasjon blant annet:

- Hortons metode
- Modifiserte Hortons metode
- Green-Ampt metode
- Modifiserte Green-Ampt metode
- Kurve Nummer metode

2.5.2.2.1 Hortons metode

Denne metoden er basert på empiriske observasjoner som viser at infiltrasjon avtar eksponentielt fra en maksimal eller innledende verdi av f_p når t er lik 0 til noen visse minimale verdier over en lang nedbør. Denne metoden krever maksimums- og minimumsinfiltrasjon verdier, et forfall koeffisient som forklarer hvor raskt dette skjer over tid og den tiden det kreves for jorden slik at den fullmettede sonen blir helt tørr igjen. Alt dette blir vist i figur 6.



Figur 6: Infiltrasjon som funksjon av tid etter regnværet start (Rossman, L. 2015).

$$f_p = (f_0 - f_\infty)e^{-k_d t} + f_\infty$$

Formel 7: Hortons ligning (Governing Equation) for infiltrasjon.

Hvor:

- $f(t)$ = Infiltrasjon kapasitet, (mm/min)
- f_0 = Maksimal eller innledende verdi av f_p (at $t = 0$), mm/min
- f_∞ = Minimum eller likevektsverdi av f_p (at $t = \infty$), mm/min
- k = Infiltrasjonskoeffisient, min^{-1}
- t = Tiden etter regnvær start, min

Legg merke til at den aktuelle infiltrasjonen vil være lavest av den aktuelle nedbøren og infiltrasjonskapasiteten (Rossman, L. 2015, s. 90):

$$f(t) = \min[f_p(t), i(t)]$$

Hvor:

f = Aktuell infiltrasjon i løsmasse, mm/min

i = Nedbør intensitet, mm/min

Infiltrasjonsevne avhenger av den ledningsevnen som bestemmes av porene mellom kornene. Infiltrasjonsevne er forskjellig i jordlagene. Sand og grus som ikke er kohesive jordtyper har stor infiltrasjonskapasitet, mens silt og leire har mindre infiltrasjonskapasitet

pga. korn størrelse. Dessuten har kornsortering stor betydning for infiltrasjonsevnen. Dårlig sortert jord betyr at det er et stort sprang mellom den største og minste korndiameteren. Så infiltrasjonsevnen i dårlig sortert jord er lavere enn i godt sortert jord fordi hulrommene mellom de store partiklene fylles av de små partiklene. Dette fører til at effektiv av porøsitet blir liten (Jenssen et al. 2006).

2.5.2.2.2 Modifiserte Hortons metode

Dette er en modifisert versjon av den klassiske Horton metoden. Her brukes den kumulative infiltrasjonen som resulteres av den minimale infiltrasjonshastigheten. Den metoden brukes når det er små nedbør intensiteter fordi det blir mer nøyaktighet på infiltrasjons estimering. Den bruker de samme inndata parameterne som det er i den tradisjonelle Horton metoden (Rossman, L. A. 2015).

2.5.2.2.3 Green-Ampt metode

Denne metoden forutsetter at en styrkende fuktig front er tilgjengelig i jordsøylen som separerer fuktighetsinnholdet nedenfor fra den mettede sonen i jorden over. De krevende inputdata parameterne er det initiale underskuddet på fuktighet i jorden, den hydrauliske ledningsevne (k) til jorden og kapillærs evne til den våte fronten (Rossman, L. A. 2015).

2.5.2.2.4 Modifiserte Green-Ampt metode

Denne metoden endrer den opprinnelige Green-Ampt prosedyren ved å ikke tappe fuktighetsunderskudd i toppen av overflate laget av jord under innledende perioder som har lite nedbør slik det ble gjort i den opprinnelige Green-Ampt metoden. Denne endringen kan produsere mer realistisk infiltrasjon oppførsel for nedbør med lange innledende perioder hvor nedbørintensiteter er lavere enn den jordas mettede hydrauliske ledningsevnen (Rossman, L. A. 2015).

2.5.2.2.5 Kurve Nummer metode

Denne metoden har blitt adoptert fra NRCS (SES) kurve Nummer metode for å estimere avrenning. Den forutsettes at den totale infiltrasjonskapasitet av jord kan finnes fra jordas tabulerte kurve nummer. Inngangsparameterne for denne metoden er det kurve nummeret og den tiden det tar for jorden slik at den fullmettede sonen blir helt tørr igjen (Rossman, L. A. 2015).

2.5.2.3 Strømningsberegninger i Ledninger og kanaler

De Saint Venant ligningene blir anvendt for å styre strømnings ruting i ledninger og kanaler for gradvis variert, turbulent, ikke stasjonær strømnings i SWMM (Li et al. 2016). Følgende funksjoner beskriver bevaring av masse, energi og moment.

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial a}{\partial t} = 0$$

Formel 8: Kontinuitetsligningen til Saint Venant (Li et al. 2016).

$$\frac{\partial H}{\partial X} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} = (S_o - S_f)$$

Formel 9: Momentbevaringsligningen til Saint Venant (Li et al. 2016).

Hvor:

q : Vannføring i ledning eller kanal

H : Vannhøyde (water head)

a : Strømtverrsnitt

g : Gravitasjon

x : Rør lengde

t : Tid

v : Vannhastighet

S_o : Ledning eller kanal helning

S_{fe} : Energihelning eller friksjonshehning

Friksjonshelning er determinert via Mannings formel:

$$S_f = \frac{q^2}{\left(\frac{1}{n}\right)^2 \cdot a^2 \cdot R^{4/3}}$$

Formel 10: Ligningen av friksjonshelning som utledet fra Mannings ligning (Li et al. 2016).

Hvor:

R : Hydraulisk radius hvor $R = A/p$

- A : Tverrsnitt vått areal
- P : Vått lengde periferien i tverrsnittet

SWMM har 3 forskjellige valg for å løse de Saint Venant ligningene:

- Stasjonær strømning
- Kinetisk strømning
- Dynamisk strømning

(Rossman, L. A. 2015, s. 75)

2.5.2.3.1 Stasjonær strømning

På stasjonær strømning menes at vannstanden er konstant på et sted, og det er ikke forandring i strømbildet fra tid til annen (Fergus et al. 2010, s. 103). Stasjonære strømningen betraktes som enkleste formen i strømnings-modulering. Ved dette valget antas SWMM at strømning er uniform og stasjonær på hver beregningstidstrinn. Alle hydrologiske data fra innløpet til utløpet i ledninger er enkelt omformert uten at det forekommer noen forsinkelse eller endring i strømnings form. Dette valget kan ikke ta hensyn til kanal lagring, tilbakeslagsvann effekter, tap i inn- og utløpstep, motsatt strøm eller strømning under trykk. Denne formen av ruting er ufølsom for det tidssteget og er egnet for preliminær analyse ved anvendelse av langvarige kontinuerlige simuleringer (Rossman, L. A. 2015, s. 76).

2.5.2.3.2 Kinetiske strømning

I denne metoden blir kontinuitetslikningen løst på en forenklet form av den momentbevaringslikningen i hver ledning. Det er forutsatt at helningen av vannspeilet er lik helningen av ledningen og på denne måten blir endringer i energihøyden ikke tatt med. Den maksimale strømmingen som kan transporteres gjennom en ledning er den fulle normale strømningsverdien. All strømning som er over denne verdien vil enten bli borte fra modellen eller kan samles som en dam over innløps-noder (kummer) og bli ledet tilbake i systemet når ledninger har kapasitet. I denne metoden strømning og areal til å variere både i oppholdsrom og tid i en ledning. Dette kan føre til svekkede og forsinkede utløpsmengder på grunn av stigning som er forekommet gjennom kanalen. Denne metoden tar ikke hensyn til tilbakeslagsvann effekter, tap i inn- og utløpet, strømning som er under trykk og strømningsomvendt. Metoden kan brukes ved moderat lange tidsintervall 1-5 minutter. Kinetiske kan være et godt valg hvis de nevnte effektene ikke er forventet å være stor eller betydelig (Rossman, L. A. 2015, s. 76).

2.5.2.3.3 Dynamisk strømning

Basert på teori gir dynamisk strømning den mest riktige og nøyaktige løsningen fordi den løser både moment- og kontinuitetsligningen i en dimensjon. Tvert imot de to oppnevnte metodene kan dynamisk strømning konstituere og beregne tilbakeslagsvann effekter, tap i inn- og utløpet, strømning som er under trykk og strømningsomvendt (turbulent). Med denne type routing er det anbefalt å bruke små tidssteg i simulering for å oppnå en stabil modell. Om man er interessert å se på flom eller oppstuvning i kummer, må denne anvendes (Rossman, L. A. 2015, s. 77).

2.5.2.4 Oppstuvning i kummer

Oppstuvning inntreffer når vanddybden på en kum overskrider den maksimale dybden til kummen. Overskytende vannmengde blir enten tapt fra modellen eller lagret over kummen som en dam slik at de overskytende vannmengdene strømmer igjen i dreneringssystem når systemet ha kapasitet.

Metoden bak dette er at SWMM determinerer vannivået i kummene og sammenligner det med volumstrømningen i rørene. Hvis dette volmet overgår kapasiteten til rørene og kummene resulteres oppstuvning. Slik problem kan unngås ved å sette et areal på oppstuvning (ponding). Dette kalles «Ponded area» i SWMM (Rossman, L. A. 2015, s. 78).

2.6 Oppbygging av modell

SWMM modell består av flere visuelle objekter som kan bli arrangert sammen for å representere et overvannssystem. Visuelle objektene kan spesifiseres i fire klasser blant annet:

Atmosfærisk klasse

Atmosfærisk klasse genererer nedbør og forurensende stoff på jordoverflate. SWMM anvender «Rain Gage» objekt for å representere nedbør dataene til systemet.

Jordoverflate klasse

Jordoverflate kan representeres i en eller flere delarealer «subcatchment objekts» som mottar nedbøren fra atmosfærisk del og sender overvannet videre i form an infiltrasjon til grunnvannet og også som overflateavrenning og forurensende belastninger til transport objektene.

Grunnvannet klasse

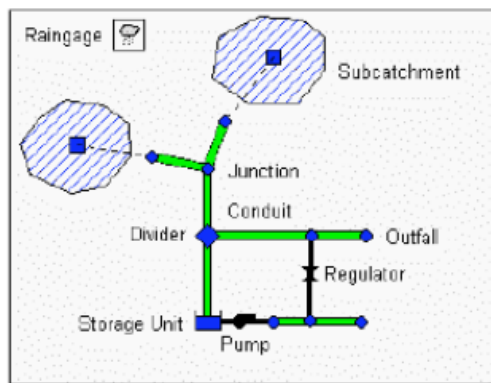
Grunnvannet mottar overvannet fra jordoverflaten og sender en del av dette til transport objektene. Dette kan modelleres via å bruke «Aquifer objects».

Transportsystem klasse

Transportsystem er et nettverk som består av kanaler, rør, pumper, regulatorer og lagring/behandlingsenheter. Alt sammen brukes for å transportere overvann til resipienten eller til rensenanlegg. Dette klasset kan få innstrømning fra overflateavrenning, grunnvann, spillvann eller fra hydrograf som er definert av SWMMs bruker.

(Rossman, L. A. 2015, s. 43).

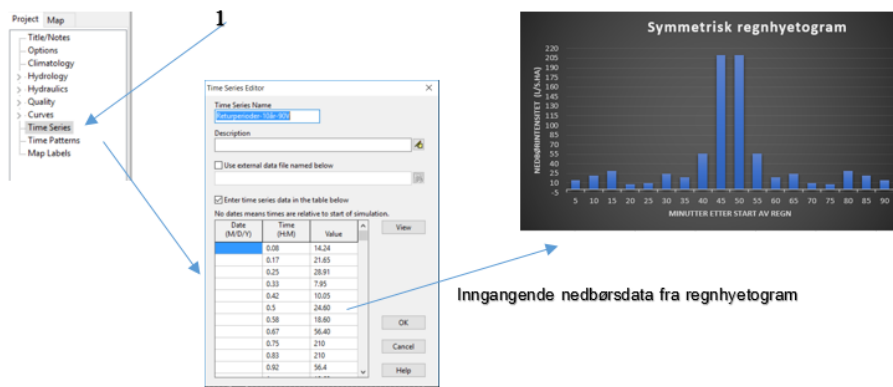
Figur 7 viser hvordan en samling av SWMMs visuelle objekter kan bli arrangert sammen for å representere et overvannssystem. Disse objektene kan vises på et kart i SWMM arbeidsområdet. I oppgaven skal det ha blitt forklart oppbygging av objekter som er brukt i modellen.



Figur 7: Fysiske objekter som brukes til å modellere et overvannssystem (Rossman, L. A. 2015).

2.6.1 Oppbygging av nedbørmåler

Nedbørsdata kan defineres for ett eller flere delarealer gjennom «Rain Gages» objekt. De nedbørsdataene kan bli definert enten manuelt eller via å importere en ekstern fil. Den manuelle metoden kan gjøres via å lage et regnhyetogram. Etterpå skrives nedbørsdataene fra regnhyetogrammet inn i SWMM via «Times series» objekt, se figur 8. Til slutt defineres dette i «Rain Gages» objekt. SWMM kan støtte flere forskjellige populære nedbørers filformater.



Figur 8: Innskriving av nedbørsdata i SWMM.

For å simulere nedbør, må noen inngangsparametere defineres i «Rain Gage»:

- Type av nedbørsdata (intensitet, volum eller kumulativt volum)
- Opptakstidsintervall (f.eks. hver 0,05 min eller time, ovs.)
- Nedbørsdata kilde (innputt nedbørsdataene fra regnhyetogrammet eller ekstern fil)
- Navn til nedbør datakilde

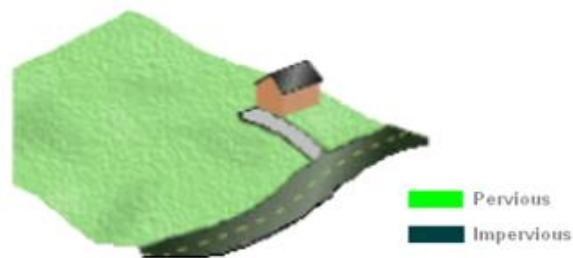
(Rossman, L. A. 2015, s. 47).

Property	Value
Name	Nedbør
X-Coordinate	50.360
Y-Coordinate	7597.122
Description	
Tag	
Rain Format	INTENSITY
Time Interval	0:01
Snow Catch Factor	1.0
Data Source	TIMESERIES
TIME SERIES:	
- Series Name	Returperioder-10år-90v
DATA FILE:	
- File Name	*
- Station ID	*
- Rain Units	IN

Figur 9: Inngangsparametere Verdier for «Rain Gages» som er brukt i oppgaven (utklipp fra SWMM).

2.6.2 Oppbygging av delarealer

Et delareal er et areal som har sine hydrologiske egenskaper. Overvannet beveger seg i ulike retninger basert på topografien. Hvert delareal må ha et utløps. Dette kan være f.eks. en kum eller et annet delareal. Forskeren er ansvarlig for å dele et nedbørsfelt til flere delarealer basert på topografien og overvannsledninger. Hvert delareal har to typer av overflate enten tetteflate (impermeable) slik f.eks. veier, tak eller parkeringsplasser eller gjennomtrengelig flate (permeable) slik f.eks. skoger, dyrkemark eller gress, se figur 10.



Figur 10: Typer av overflater på et delareal (Rossman, L. 2015).

For å simulere delarealene i SWMM, må man sette inn verdier til noen parametere slik:

- Nedbørmåler
- Utløpet
- Areal (ha)
- Bredd av delareal (m)
- Terrengfall på delareal (%)
- Impermeabilitet (%)
- Mannings tall n for både impermeable og permeable overflate
- Gropmagasinering eller overflatelagring (mm)
- Infiltrasjonsmetode (Horten)
- Lokalovervannsdiskonering LOD egenskaper.

SWMM har også mulighet for å simulere snøsmelting, dam og fordrøyning for hvert delareal.

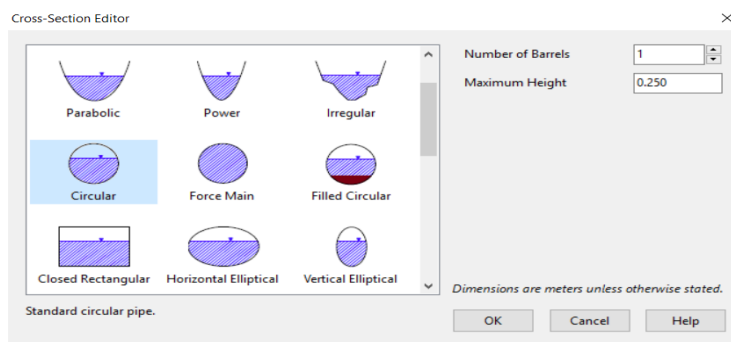
Property	Value
Name	SA22
X-Coordinate	761.832
Y-Coordinate	-2664.322
Description	
Tag	
Rain Gage	Nedbør
Outlet	j4167
Area	4.38
Width	415
% Slope	1.9
% Imperv	30
N-Imperv	0.011
N-Perv	0.15
Dstore-Imperv	1.3
Dstore-Perv	5
%Zero-Imperv	0
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100
Infiltration	HORTON
Groundwater	NO
Snow Pack	
LID Controls	0
Land Uses	0
Initial Buildup	NONE

Choice of internal routing between pervious and impervious sub-areas

Figur 11: Viktige parametere for et delareal (SA) (utklipp fra SWMM).

2.6.3 Oppbygging av ledninger

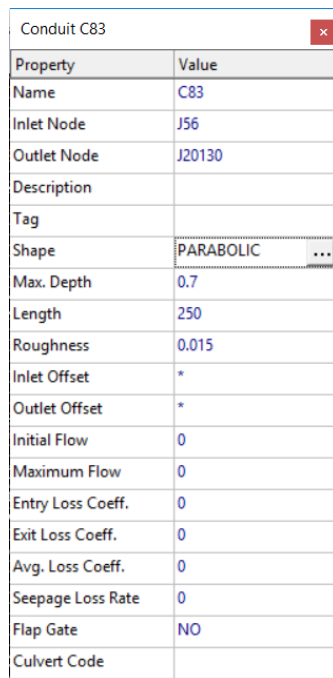
Forskeren kan modellere kanaler og rør med «Conduit» objekt. Ved dette objektet er det mulig å velge form av tverrsnitt på ledninger eller kanaler (sirkel, rektangulær, firkant eller parabolisk.. osv.), se figur 12.



Figur 12: Tverrsnitts form av kanaler og ledninger (utklipp fra SWMM).

Det er også flere parametere som må ha verdier for å kunne kjøre modellen. Nedenfor er det forklart de parametere:

- Maksimal dybde (dette kan være rørdiameter eller maksimal vanddybd på kanaler) (m)
- Lengde (m)
- Ruhet



Property	Value
Name	C83
Inlet Node	J56
Outlet Node	J20130
Description	
Tag	
Shape	PARABOLIC ...
Max. Depth	0.7
Length	250
Roughness	0.015
Inlet Offset	*
Outlet Offset	*
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	

Figur 13: Kanaler eller ledningers egenskaper (utklipp fra SWMM).

2.6.4 Oppbygging av knutepunkter

Kanaler eller ledninger er tilkoblet til hverandre via noder «Junction» objekt som kan representerer en kum eller et punkt i modellen.

Hovedinngangsparemetere for et knutepunkt er

- Bunnhøyde til kum (meter over havet)
- Høyde av kum
- «Ponded» areal (m²)

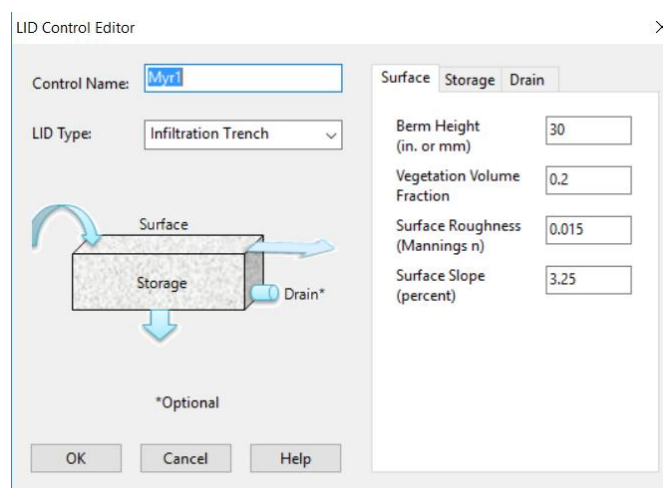
Property	Value
Name	J698
X-Coordinate	7211.982
Y-Coordinate	-1889.401
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	200.11
Max. Depth	3.84
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	50

Figur 14: Hovedinngangsparametere for et knutepunkt (utklipp fra SWMM).

2.6.5 Oppbygging av myr

Myrområder har mulighet til å førdroye vannet. Objekt «Low Impact Development» er brukt i modellen for å simulere de myrområdene. Hovedinngangsparametere for et knutepunkt er:

- Myrddybde (tykkelse) (mm)
- Mannings tall
- Terrengefall (%)
- Vegetasjonsvolum (%)



Figur 15: Et eksempel på simulering av myrområdet (utklipp fra S WMM).

2.6.6 Usikkerhet i modellen

Ved å bruke en matematisk modell mener vi å beskrive fysiske prosesser best mulig i samsvar med det som er i virkeligheten. Så en matematisk modell er bare en tilnærming til den reelle verden. Derfor har varsler, prognoser eller forutsigelser en iboende usikkerhet på slike modeller. Denne usikkerheten er knyttet til forståelse og kunnskap av de fysiske prosessene som har stor betydning for å simulere den virkeligheten vi ønsker å beskrive og vår evne til å gi denne forståelsen en korrekt matematiske formulering, og til slutt vår dyktighet til å løse de. Både de matematiske formuleringene tilnærminger som er i form av parametriseringer av en rekke enkeltprosesser og løsningsmetodene som består av diskretiseringen av den tidsmessige og romlige oppløsning gir opphav til usikkerheter. Dessuten kan usikkerheter oppstå når man gjør feil i observerte inngangsdata som anvendes i modellen og i beregning av parameterverdier. I tillegg at nøyaktigheten til regnemaskinkoden og de numeriske metodene som er brukt til å løse de ligningene gir usikkerheter i modellen. Alle disse forholdene må tas i betraktning når nøyaktigheten til en modell skal bli best mulig.

2.6.7 Modellkalibrering, verifikasjon og etterprøving

Alle de tre begrepene kalibrering, verifikasjon og etterprøving innebærer å korrigere modellen slik at vi får de beste resultatene som best mulig stemmer med virkeligheten. Dette kan skje ved å bruke riktige ligninger som kan representere virkeligheten. Også ved justering av fysiske parametere i modellen og feilretting generelt. En simuleringsmodell er et bilde av virkeligheten. Det er umulig å lage en modell som stemmer 100 % med observasjoner i realiteten. Men for å øke nøyaktighet, for å minisere usikkerhet og for å bevise at modellen tilnærmer seg til virkeligheten, bør modellen bli kalibrert og verifisert i den grad at det gir pålitelige resultater for de den er ment for (Systems Engineering Guide 2007).

2.7 Overvannskvalitet

Infrastrukturen (veier, fortau, kommersielle og boligområder) er bygget opp under utvikling og urbanisering prosess. Infrastrukturen er utformet og designet for å samle overflatevann og leder den til en resipient i nedbørsfelt ved hjelp av de eksisterende overvannskanaler (bekker og elver). Overflateavrenning i urbane områder inneholder forurensninger som kan påvirke kvaliteten av overflatevann. Tungmetaller, (f.eks. bly, sink, kobber, kadmium), polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH), mineralolje hydrokarboner (MOH) og lett oppløselige salter i avrenning er farlige for miljø og helse for mennesker. konsentrasjonen av disse

forurensningene avhenger av overflate egenskaper, og de tørre og fuktige atmosfæriske avsetninger (Göbel et al. 2007).

Dette innebærer at overvannet kan ha mye forurensende stoff, miljøgifter og tunge metaller som kan føres til resipienten og som kan endre vannkvalitet i vassedraget og innsjøer ved tid og ved mer urbanisering av naturlig terreng.

2.7.1 Forurensningskilder i overvann

2.7.1.1 Atmosfærisk nedfall

I atmosfæren finnes forurensinger som gasser, partikler assosiert med regndråper og tåke (aerosoler) og suspendert stoff (støv). Det er flere kilder til de forurensningene blant annet: trafikk, forbrenninger, industri og jorderosjon, men salter (klorider) fra havet kan være en kilde (Hvitved-Jacobsen et al. 2010, s. 37). Atmosfærisk nedfall kan både komme innenfra og utenfra nedbørfeltet. I tillegg finnes det sjablongverdier for atmosfærisk nedfall, oppgitt i $\mu\text{g/l}$ (Kroglund & Håvardstun 2011).

Atmosfærisk nedfall er en årsak som bidrar til en diffus tilførsel av miljøgifter. Det ble gjort en undersøkelse i Kristiansand og ble fant at de viktigste kildene til atmosfærisk nedfall av miljøavgifter er transport (eksos utslipp og bruk av piggdekk), oppvarming (spesielt vedfyring) og industri utslipp av miljøavgifter til luft (Kroglund & Håvardstun 2011). Takvann vil primært inneholde noen forurensende stoff fra atmosfæren. Takvann er mindre forurenset enn overvann fra gate (Grønvold & Thorolfsson 2015).

Ofte er de lokale kildene til atmosfærisk nedfall spiller stor rolle og dermed bidrar til et høyere forurensningsnivå i tettsteder sammenlignet med bygda områder og boligområder. Til en viss grad, tak avrenning vil primært inneholde forurensninger som stammer fra atmosfæren. Men atmosfærisk nedfall forurensning er i stort sett produsert i nærheten av vier og gater. Derfor er tak avrenning faktisk mindre forurenset sammenlignet med avrenning fra veiene (Hvitved-Jacobsen et al. 2010). (Chen et al. 2015) har undersøkt partikkelstørrelsesfordelinger av tungmetaller og næringsstoff i overflate støv. Partikler med kornstørrelse på $38\text{-}74 \mu\text{m}$ og $125\text{-}300 \mu\text{m}$ gir mest av forurensende belastning i veier. Mens partikler med mindre kornstørrelse $< 38 \mu\text{m}$ gir mest av forurensende belastning på tak og dette tilsvarer 23.46-41.71 %. Så dette tilsier at signifikant korrelasjon mellom totalt TSS i overflateavrenning og kornstørrelsesfraksjon i overflatestøv. Dette tyder på at grovere partikler $74\text{-}300 \mu\text{m}$ i vesentlig grad bidrar til fast «solid» forurensninger, mens finere

partikler $< 38 \mu\text{m}$ er i hovedsakelig ansvarlig for oppløste forurensninger på overfalteavrenning.

Tungmetaller avsetning er påvirket av atmosfærisk nedfall. Den utviklingen av tungmetall forurensning i sedimentene som er tatt fra Lake Chenghai, Kina, i de siste 60 årene har blitt undersøkt ved hjelp av Zhang et al. 2015. De tungmetallkonsentrasjonsprofilene foreslår at den historiske metallavsetningen på de sedimentene gjenspeiler den kjente historien av atmosfærisk avsetning av kr, Ni og Zn i Sør-kina i slutten av 1970-tallet og tidlig på 1990-tallet (Ahmad et al. 2016). Atmosfærisk nedfall er viktig for kadmium, kobber og bly (Davis et al. 2001).

2.7.1.2 Menneskelige aktiviteter på og ved urbane flater

De urbane flatene omfatter tak, veier, parkeringsplasser, gater og motorveier. De forurensende aktivitetene og prosessene som er knyttet til disse flatene er ofte identifisert med begrepet arealbruk «land use». Dette refererer til både urbane og industriell felt. Forurensninger stammer fra i denne sammenhengen fra trafikk, industri, korrosjonsprodukter, konstruksjoner og valgmaterialer osv (Hvitved-Jacobsen et al. 2010, s. 37).

Biltrafikk er en av de viktigste kildene til forurensning i overvann som kan samle seg på urbane flater. Kilder for trafikkrelaterte forurensninger er:

- Nedbrytningsprodukter fra bil dekk
- Nedbrytningsprodukter fra bremseklosslitasjen
- Korrosjons produkter fra kroppen til biler
- Lasttapene i transportering
- Drivstoff forbrenningsprodukter
- Forurensninger fra veibanen materialer (asfalt)
- Bruk av salt som avisingsmidler

Forurensninger fra biltrafikk er avhengig av trafikkvolum, kontroll på kjøretøy utslipp, vedlikehold nivå på både veier og kjøretøyer og type av materialer som brukes i veier (Hvitved-Jacobsen et al. 2010, s. 38).

2.7.1.3 Lekkasjer, ulykker og ulovlige utslipp

Ulovlige aktiviteter, utilsiktede utslipp og uhell kan føre til mye forurensende stoff tilførsel på overflate avrenning. En slik spesifikk tilførsel kan medføre til ekstrem forurensende belastning i resipienten. En økt og uforventet konsentrasjon av et begrenset antall av forurensingene kan forekomme på grunn av de ulovlige aktivitetene slik bilvask, industriell utslipp i vått vær strømming. Det er vanskelig å styre, ha kontroll og planlegge for håndtering på slike forurensinger siden de forekommer i ujevne mellomrom og er ikke som en normal forurensende tilførsel. Likevel man må ta hensyn til det og være klar over at de kan oppstå (Hvitved-Jacobsen et al. 2010, s. 37).

2.7.2 Forurensinger i overvann

Forurensningsstoff kan bestå av flere forskjellige stoff. Dette kan være organiske og uorganiske materialer. Nedenfor er det nevnt de viktigste seks kategoriene som er hentet fra (Hvitved-Jacobsen et al. 2010):

- Biologisk nedbrytbart organisk materialer
- Næringsstoff
- Tungmetaller
- Organiske miljøgifter
- Fast stoff (suspenderte fast stoff)
- Patogene mikroorganismer

2.7.3 Tungmetaller

Forskning har funnet betydelige nivåer av tungmetaller i overvann i urbane områder, noe som medfører skade på offentlig helse og miljø (Reddy et al. 2014).

Et stort tall av tungmetaller er i utgangspunktet relevant på grunn av sin utbredelse og toksisitet overfor vannlevende organismer og miljø (Brown & Peake 2006). De følgende fire tungmetaller blir vanligvis betraktet som de viktigste gruppene som fokusert på, innen urbant dreneringssystem:

- Kopper (Cu)
- Bly (Pb)
- Sink (Zn)

- Kadmium (Cd)

Videre er de følgende to tungmetallene som også ofte brukt for karakterisering:

- Nikkel (Ni)
- Krom (Cr)

Selv om jern (Fe) er et tungmetall, betraktes det ikke som et forurensende stoff i urban område (Hvitved-Jacobsen et al. 2010).

Tungmetaller er i stor grad knyttet med partikler og kan derfor bli akkumulert i sedimenter av overflatevann. Tungmetaller kan konsentrere seg i levende organismer via næringskjeden og dermed oppstår i langtidseffekter på økosystemet inkludert mennesker. Dessuten kan tungmetaller assosieres med overvann i så store konsentrasjoner slik at de kan ha akutte eller kumulative effekter på resipienten (Hvitved-Jacobsen et al. 2010).

2.7.3.1 Kilder av tungmetaller

Hoved kilde til tungmetaller er biltrafikk (Hvitved-Jacobsen et al. 2010). så de viktigste kildene til tungmetaller i overvannsavrenning i urbane området er dekk, bileksos, veiasfalt, drivstoff forbrenning, parkering støv, korrosjonen av takbelegg, oljelekkasje og forurensende stoff som avsettes på rekreasjonsland (Reddy et al. 2014) og (Davis et al. 2001).

Kobber kan kommer fra kobbertak. Jern og mangan skjer naturlig i en del vann. Mens sink og kobber kan forekomme i naturlig vann, men i vesentlig lave konsentrasjoner (Ødegaard et al. 2014).

Det er også undersøkt tilgjengelighet av tungmetaller fra forskjellige kilder i utviklede områder og er funnet at Pb har høye konsentrasjonsnivåer i overvannsavrenning fra malt struktur. Cu stammer fra kjøretøyets bremses, Zn fra dekkslitasje. Mens Pb, Cu, Cd, Zn er knyttet til avrenning som kommer fra konstruksjoner (Davis et al. 2001).

Tabell 8: Kilder til noen tungmetaller parametere i overvann (Halvor saunes 2014).

Forurensningsbidrag	Kilde	Typeareal
Pb	Forbrenningsmotorer, bildekk, smøreljer og slitasje på bildekk	Vei, sentrum og industri
Cu,Zn	Korrosjon og bremses på kjøretøy, samt bildekk	Veier
Cd	Drivstoff	Veier
Cu	Kobbertak og kobberinstallasjoner i bebygde områder	Boligarealer
Ni	Dieselolje og smøreljer. Diverse legeringer	Alle
Zn	Alle galvaniserte produkter (lysstolper, skilter, og rekkverk). slitasje på bildekk	Vei, sentrum og industri

Det er andre studie som sier at hoved kilde til Cd er gjødsel og trafikk som sammen utgjør 87 % av Cd. Zn og Cu er primært stammet fra industrielle og innenlandske (by og bolig området) kilder, og det representeres som 75 % av Cu og 67 % av Zn. Mens stor andel av Cr og Ni kommer fra natur kilder, 90,4 % av Cr og 79,2 av Ni. Studiet viser at Ordren av tungmetallkonsentrasjoner i disse tre bruksområdene er vann-nivå fluktuasjonssone «water-level fluctuation zone» > dyrkemark området > skog området (Wang et al. 2017).

2.7.3.2 Effekt av tungmetaller

Tungmetaller er generelt giftige. I et separat system hvor overvann ledes i egne ledninger har tungmetaller negative påvirkninger for biologisk liv i resipienten. I tillegg er de et problem for biomasse i biologiske renseanlegg for fellessystem (Ødegaard et al. 2014).

Dessuten er de et problem for slam. Det er vanskelig og kostbar å separere de fra slam. Men i allikevel må de fjernes fordi de forurensende slammene kan ha direkte giftvirkninger på vann-økosystem og gjennom bioakkumulering av giftige forurensninger i næringskjeden, noe som kan føre til en indirekte risiko til mennesker. Ofte er akkumulering og tilgjengelighet av tungmetaller er den begrensende faktoren for deponering og utnyttelse av slam (Devi & Saroha 2014).

Jordmikrober spiller viktige roller i resirkulering av plantenæringsstoffer, vedlikehold av jordstruktur, avgiftning av skadelige kjemikalier og kontroll av skadedyr på planter og plantevekst. Det er mange rapporter som har vist at løsmasser, som er utsatt til toksiske metaller, har fått reduksjon av mikrobiell diversitet og sine aktiviteter i jord (Wang et al. 2007).

Tungmetaller er veldig farlige for mennesker og årsaker flere forskjellige og alvorlige skader. Noen av de er kreftfremkallende. Her nevner vi noen av de skadene. Bly kan skade lever, nyrer, hjerte og hjerne. Kadmium kan gi lungeskader. Kobber kan gi irritasjoner i munn, nese og øyene. Krom kan føre til kromallergi og kreft i lunger. Sink kan gi magesmerter og oppkast (Oddvar Lindholm 2015).

2.7.3.3 Konsentrasjon av tungmetaller i overvannsavrenning

Konsentrasjoner av tungmetaller i overvann avrenning varierer sterkt fra sted til sted. Det finnes flere undersøkelser og rapporter som gir verdier til tungmetaller konsentrasjoner i overflatevann. konsentrasjonene er klassifisert etter flate type (tak, veier eller parkering osv.). Tabell 10 er et godt eksempel. Tabellen er hentet fra «Journal of Contaminant Hydrology 2007).

I tillegg har type av område stor betydning på konsentrasjoner av tungmetaller. Miljø blad rapport viser midlere konsentrasjoner basert på områdetype (industri, enebolig, rekkehus eller blokk), samt at rapporten har egne konsentrasjonsverdier på overflatevann som renner over veier som har stor trafikkbelastning (ÅDT > 5000), se tabell 9.

Tabell 9: Midlere konsentrasjoner i overflatevann på tungmetaller (Oddvar Lindholm 2015).

	Cu µg/l	Pb µg/l	Zn µg/l	Cd µg/l	Ni µg/l	Cr µg/l
30000 ÅDT	72	30	432	0.48	16	51
25000 ÅDT	64	26	365	0.45	14	18
15000 ÅDT	47	17	231	0.38	10	13
5000 ÅDT	30	8	97	0.31	6	9
Sentrumsområder	22	20	140	1	8.5	5
Industriområdet	45	30	270	1.5	16	14
Blokkområder	30	15	100	0.7	9	12
Rekkehusområder	25	12	85	0.6	7	6
Enebolig områder	20	10	80	0.5	6	4
Kontor	30	30	140	0.9	7	13

Tabell 10: Konsentrasjoner i overflatevann på tungmetaller basert på type av overflate (Göbel et al. 2007).

	(Gress, grøn n areal), Dyrkemark	Tak avrenning						Trafikk avrenning				
		Takk (Fliser, betong, fiber sement, bitumen, glass uten sink- takrenner nedbørørør	Takk (Fliser, betong, fiber sement, bitumen, glass med sink- takrenner nedbørørør	Grønn tak(intensiv eller lang)	Kobber tak	Aluminium tak	Zink tak	Gå og sykkel gata	Parekering	Kommunal veger	Riksveger	Motorveg
Cd µg/l	0.7	0.8	0.8	0.1	0.8	0.8	1	0.8	1.2	1.6	1.9	3.7
Zn µg/l	80	370	1851	468	370	370	6000	585	400	400	407	345
Cu µg/l	11	153	153	58	2600	153	153	23	80	86	97	65
Pb µg/l	9	69	69	6	69	69	69	107	137	137	170	224
Ni µg/l	2	4	4	3	4	4	4	n.a	n.a	14	11	27
Cr µg/l	3	4	4	3	4	4	4	n.a	n.a	10	11	13

n.a=no data	
No data	
< 5 data	
5-15 data	
> 15 data	

Konsentrasjoner av tungmetaller kan være lav eller høy. Jo mer høye konsentrasjoner har vi, jo mer farligere og alvorligere blir det på miljø og helse. Så konsentrasjoner av tungmetaller er klassifisert av Stockholm Stad 2001 til tre klasser lav-midlere- og høykonsentrasjon. Dette er vist i tabell 11.

Tabell 11: Inndeling av tungmetaller konsentrasjoner på overvann i ulike klasser (Lindholm 2004).

	Lave konsentrasjoner µg/l	Midlere konsentrasjoner µg/l	Høye konsentrasjoner µg/l
Bly (Pb)	< 3	3- 15	> 15
Kadmium (Cd)	< 0,3	0,3- 1,5	> 1,5
Kobber (Cu)	< 9	9- 45	> 45
Sink (Zn)	< 60	60- 300	> 300
Nikkel (Ni)	< 45	45- 225	> 225
Krom (Cr)	< 15	15- 75	> 75

2.7.3.4 Beregning av tungmetaller i overvann

Beregnings metode er hentet fra Miljø blad rapport nr. 114 (2015). Denne metoden gjennomføres manuelt. Bakgrunn for å beregne årlig utslipp av tungmetaller fra overvannet via denne metoden er å multiplisere antall m³ avrent overvann per middelår med en middelkonsentrasjon for hele året av en komponent. For å gjøre dette, bruker man formel 12. Mengde av utslipp av tungmetaller beregnes ved å bruke formel 11.

$$U = Q_{\text{år}} * C * 10^{-3}$$

Formel 11: Utslipp for en arealtype og for en komponent (kg/år).

Hvor:

$$Q_{\text{år}} = \text{Avrent mengde overvann per år (m}^3/\text{år)}$$

$$C_{\text{år}} = \text{Midlere konsentrasjon av en komponent for en bestemt arealtype (mg/l)}$$

Hvis man har flere typer av forskjellige arealer, så kan det beregnes utslipp fra hver arealtype og deretter samles alle utslippene. Så for en bestemt komponent f.eks. Cu:

$$U_{\text{resipient}} = U_{\text{arealtype 1}} + U_{\text{arealtype 2}} + U_{\text{arealtype n}}$$

Den følgende formelen viser hvordan (Q_{år}) beregnes fra tette flater:

$$Q_{\text{år}} = a * A * (P - b) * 10^{-3}$$

Formel 12: Avrent volum over et middelår (m³).

Hvor:

a = Andelen deltagende aktive tette flater som dreneres til overvannssystemet.

$A = \text{Totalareal tette flater i avrenningsområdet (m}^2\text{)}$

$P = \text{Total nedbør over et middelår (mm)}$

$b = \text{totalt tap av vann på grunn av fordampning fra tette flater (mm)}$

$b = \text{ca. 50 mm hvis helning } > 1,5 \% \text{ og 100 mm for flatere områder.}$

Dersom er det ønskelig å beregne utslipp for et bestemt gitt år, må brukes beregnet eller målt overløpsmengde og konsentrasjonen av komponenten for dette bestemte året (Oddvar Lindholm 2015).

3 Prosjektområdet

3.1 Jessheim

Jessheim er en by som ligger i Østlandsområde sentralt i Ullensaker kommune i Akershus. Byen er tettsted og ligger omtrent ni kilometer sørøst Gardermoen flyplass. Analyseområdet for modellen er alt nedbørsfelt som tilfører overvann via overvannsledninger og kanaler og deretter til et utløp så renseparken og tilslutt til Nordbytjern. I figuren er det en oversikt over utløpet og renseparken med Nordbytjern.



Figur 16: En skisse som viser rensepark og Norbytjern.

Skogen og dyrkemark opptar ca. 55,5 % av feltet. Så det er stor del av feltet består av skog. Resten av feltet er bebyggelse område som består av eneboliger, leiligheter, barnehager, skoler, dyrkemark og store butikker. Kommunen har hatt en relativ stor vekst i befolkningen og dermed blir det mer urbanisering som føre til at det blir mer tetteflater i terreng, se side 40. Nedbørsfeltet har et utløp rett før rensepark, se figur 16. Nedbørsfeltet har lik en rektangulær form. Gjennomsnitt til terrenghelling er ca. 0,15 promille. Dette tyder på at nedbørsfeltet har omtrent et flatt terreng og at avrenning vil ha blitt treg.

Avløpssystem i nedbørsfeltet er et separat system og dermed overvannet ledes i et eget rør mot resipienten og avløp fra husholdning og industri ledes i ett rør mot renseanlegget. Så overvannet fra nedbørsfeltet smaler seg basert på topografien i sine egne ledninger og deretter

fortsetter det med selvføll fram til at det ankommer til rensesparkeu og til slutt til Nordbyttjern. Det finnes en elv som renner i overvannssystem. Elva kommer fra skog fra øst til vest, se figur 16.

3.2 Nedbør

Nedbørsdata hentes ut fra Gardermoen målestasjon. Stasjonen ligger i Ullensaker kommune på 202 m o.h. Den er nærmeste offisielle målestasjon, 8,9 km fra punktet Jessheim. Stasjonen ble opprettet i mai 1940. Stasjonen måler nedbør, temperatur, snødybde og vind. Det kan mangle data i observasjonsperioden (Yr). Stasjonen er vippepluviometer hvor har 10-min som tidsopløsning, mens det finnes en annen type som heter vektpluviometer hvor har en time som tidsopløsning (Eirik Førland et al. 2015).

3.3 Avrenning

Avrenningen for området ble beregnet gjennom den rasjonelle metoden. Denne metoden er brukt som referansedata.

4 Metoder

I denne oppgaven skal det bli utgjort simulering til et nedbørsfelt i Jessheim via å lage en modell i SWMM program. Det skulle beregnes kvantitet av overvann og se på hvordan det endrer seg gjennom forskjellige avrenningssituasjoner med ulike regnhendelser. I tillegg skal det beregnes midlere årlige utslipp av tungmetaller ved hjelp av teoretiske formler. For å oppnå oppgavens mål, har vi gått gjennom flere steg blant annet:

4.1 Valg av beregningsverktøy

Før at man velger hvilket beregningsverktøy som skal brukes, bør man tenke på en rekke hensyn slik krav til nøyaktighet og feilmargin, hvor store datamengder som skal håndteres, kompleksitet, verktøyets krav til input-data og verktøyets resultater osv. Derfor er det viktig å velge et verktøy som kunne gjøre hydrologiske beregninger for avrenning.

Storm Water Management Model (SWMM) fra EPA har disse kapasitetene og ble derfor valgt for denne oppgaven. Det er imidlertid kun de hydrologiske simuleringene som er utført ved hjelp av SWMM.

4.2 Kartlegging og analyse av nedbørsfelt

For å modellere nedslagsfeltet i SWMM og deretter simuleres for de forskjellige nedbørsituasjonene i modellen, bør de lokale forholdene analyseres og kartlegges. Dette er også viktig for å forstå hvordan overvannet beveger seg i området.

4.2.1 Befolkningsvekst i Jessheim

I 2013 var økning i antall bosatte i norske tettsteder større enn landets totale befolkningsøkning. I løpet av 2015 var det største relativ befolkningsvekst i tettstedene i fylkene Oslo, Akershus og Hordaland, om lag 2 prosent (Statistisk sentralbyrå 2016).

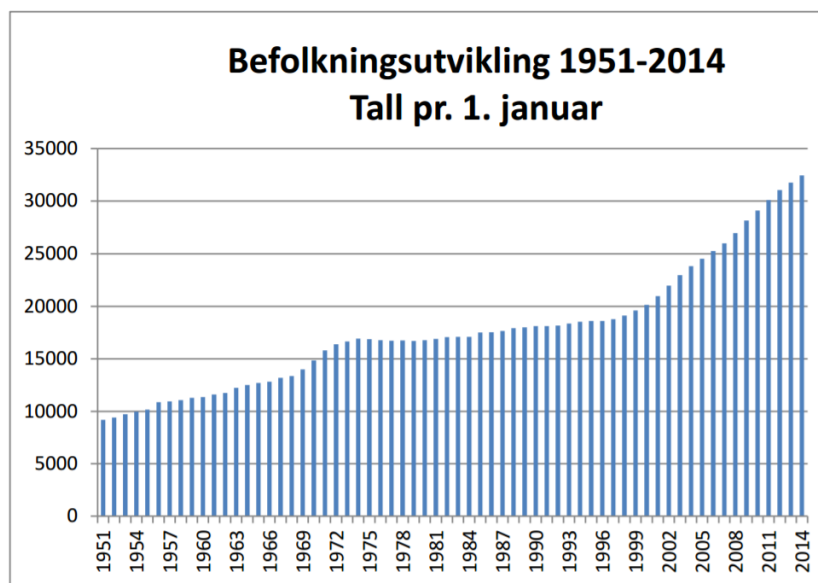
Per 1. januar 2016 bodde det i alt 4 230 000 personer i totalt 990 tettsteder i Norge. De utgjorde 81 prosent av Norges befolkning (Statistisk sentralbyrå 2016).

Dette tyder på at Norge opplever både økende urbanisering, er en del av vannets kretsløp som er knyttet til bebygde områder, og økende befolkning. Urbanisering betyr at folk bor tettere og andelen av tetteflater økes. Urbanisering har stor påvirkning på overflatevann. Det er bevist at ved urbanisering økes mengde av overvannet. Urbanisering påvirker overflatens permeabilitet slik at avrenningen skjer hurtigere.

Flere kommuner bygger ut omkringliggende områder for å gi plass til de voksende byene med det resultatet at andelen ugjennomtrengelig flater, det vil si flater der lite eller intet vann trenger gjennom, øker. Dette i sin tur påvirker hydrologien i urbane områder. Dette fører til at naturlig terreng og vegetasjon blir fjernet, tette flater blir etablert og naturlige vassedrager blir rett ut og dermed medfører at nedbørsfeltet endrer hydrologiske karakterer f.eks. blir det mindre infiltrasjon, raskere avrenning og økt erosjon i feltet. Derfor er analyse og kartlegging av vannsystemet i nedbørsfeltet nødvendig for overvannshåndtering i urbane områder.

I perioden 2010-2014 har Ullensaker kommune hatt en relativ stor vekst i befolkningen. Jessheim har vært blant de raskeste voksende i Norge og har utviklet seg fra en bygd til en by på kort tid (Ullensaker kommune 2015a) .

Befolkningen i Ullensaker kommune var 32 970 i 2014. befolkningsvekst var sterkt på slutten av 60- og begynnelsen av 70-tallet. Fra 2000 og fram til nå har kommunen hatt en sterk vekst med ca.13 000 nye innbyggere på 14 år, se figur 17 (Ullensaker kommune 2015b).



Figur 17: Befolkningsutviklingen i Ullensaker 1951 -2014 (Ullensaker kommune 2015b).

Dette betyr at byene i landet vokser, og antall bosatte i områder (tettsteder) øker. I tillegg til at tettstedsområder øker. Jessheim fikk bystatus i 2012 og har ca. 17 000 innbyggere i dag.

4.2.2 Jessheims nedbørsfelt

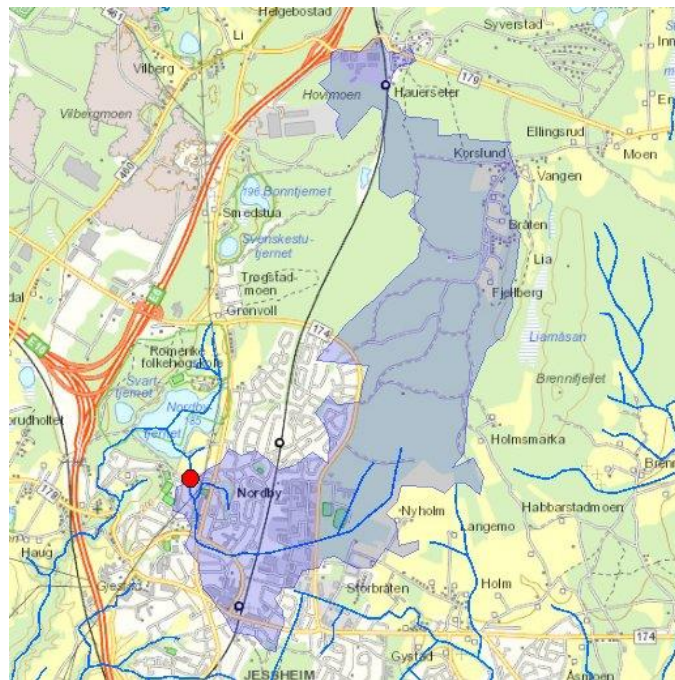
4.2.2.1 Avgrensning av hoved nedbørsfeltet

Topografien og Geografien i et nedbørsfelt har store betydning for å sette grense til det nedbørsfeltet. Dette kreves god kunnskap og forståelse på nedbørsfeltet. Avgrensningen av nedbørsfeltet har blitt gjennomført via å bruke flere metoder. Et automatisk kartverktøy har

blitt brukt for å avgrense nedbørsfeltet via å bruke Norges Vassdrags og Energidirektoratets kart. NVE har et gratis kartverktøy som kan brukes til å determinere grense til et nedbørsfelt gjennom å velge et punkt i et vassdrag og deretter blir nedbørsfeltet generert. Så i starten ble dette kartverktøyet brukt for å ha oversikt over vårt nedbørsfelt.

NVE sitt automatiske kartverktøy har generert et nedbørsfelt på 6.0 km² som tilsvarer 600 ha (Norges Vassdrags og Energidirektoratet). Figur 18 viser oversiktskart som ble generert av NVE. NVE sitt automatiske kartverktøy kan også beregne flere parametere slik areal, middelvannføring, årsnedbør og flomverdier osv. Dette er vist i vedlegg F.

Den avgrensningen har usikkerhet og kan inneholde feil. Derfor er det anbefalt å kvalitetssikre resultatene siden de er generert automatisk (Norges Vassdrags og Energidirektoratet).

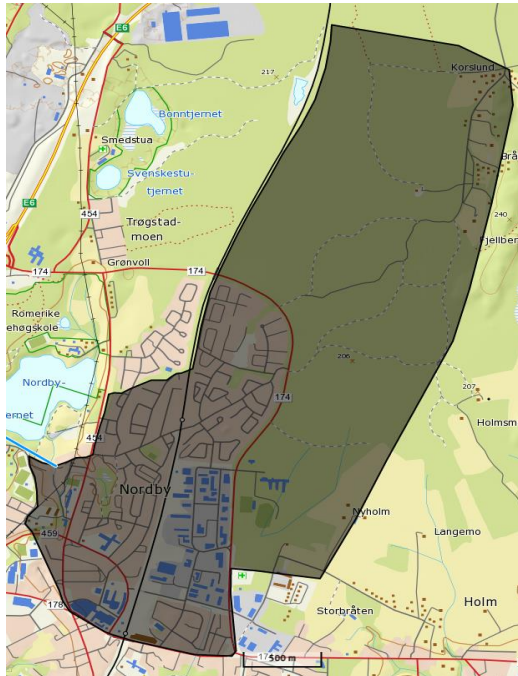


Figur 18: NVE oversiktskart for nedbørsfelt (Norges Vassdrags og Energidirektoratet).

Andre metode som er brukt for å finne nedbørsfelt avgrensning i Jessheim er manuell metode. Manuell metode er en metode hvor man undersøker topografi og geografi dypt for å kunne determinere grense til et nedbørsfelt. Dette er forekommet ved å se på kommunekartet med kotehøyder og overvannsledninger. Nedbørsfeltet er begrenset av det topografiske vannskillet. Vannet søker alltid enkleste vei slik at vannskillet er vinkelrett på høydekurvene på kartet (Fergus et al. 2010).

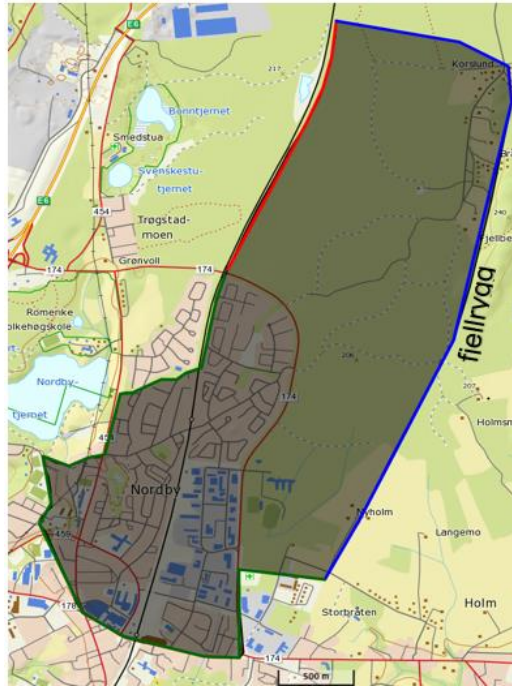
Den manuelle metoden ga et avgrenset område på 6.54 km² som tilsvarer 654 ha. Avviket i areal mellom den automatiske og manuelle metoden er ca.8 %. Det er også avvik i form av

nedbørsfelt mellom den automatiske og manuelle metoden se figur 19. Årsaken til at det er avvik i karts form som førte til avvik i areal kan være på grunn av urbanisering som skjer, og den endringen i terreng via oppbygging, samt mangel av oppdatering til det automatiske kartverket. Derfor er den manuelle metoden lagt til grunn for å gå videre i analysearbeidet.



Figur 19: Nedbørsfeltets grense etter den manuelle metoden (utklipp fra Norgeskart).

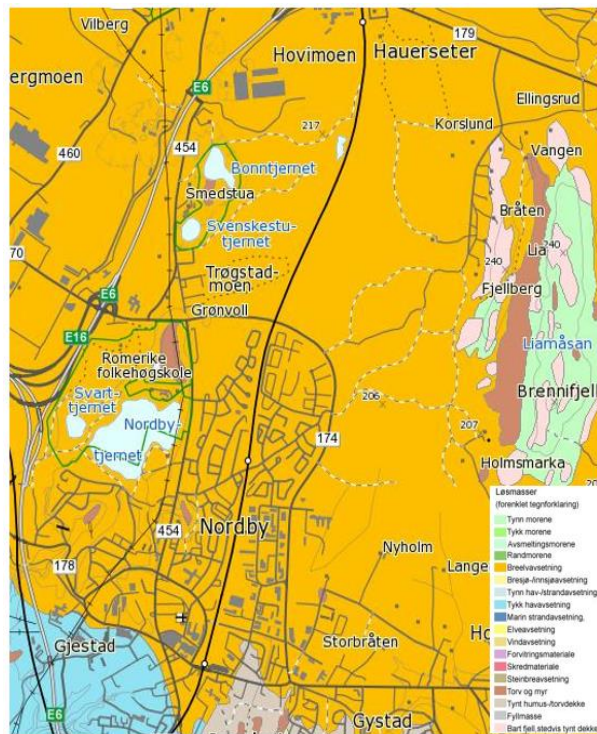
Venstre side til nedbørsfeltet er avgrenset av jernbane, den representeres via den røde linjen i kartet. Øst til nedbørsfeltet ligger en fjellrygg som begrenser nedbørsfeltet til cirka midten av den grønne linjen, mens resten av linjen ble avgrenset ved hjelp av kotehøyder hvor man ser på endringer i høyder gjennom dem. Til slutt ble den blå linjen avgrenset ved hjelp av overvannsledninger og kotehøyder samtidig, se figur 20.



Figur 20: Nedbørsfeltets grense etter den manuelle metoden (utklipp fra Norgeskart).

4.2.2.2 Grunnforhold

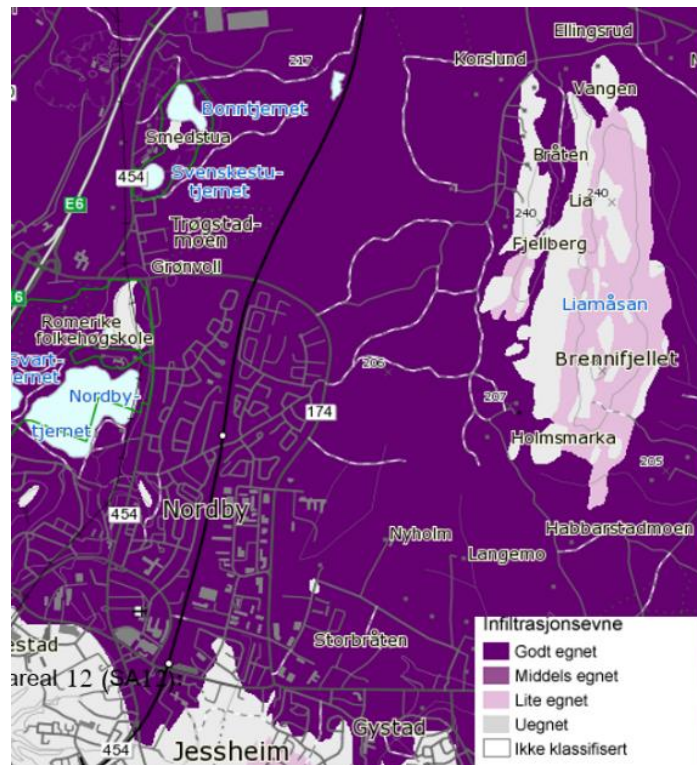
De fleste grusmaterialene i landet tar ut masse som er avsatt av smeltevannet ved slutten av istiden. Mesteparten av nedbørsfeltet har breelvavsetning som løsmasser. Breelvavsetning er lagdelte og dekket særlig av sand og grus (Miljolare), se figur 21.



Figur 21: Type av løsmasser i området (Norges Geologiske Undersøkelse 2015).

4.2.2.3 Infiltrasjonsevne

Figur 22 viser at infiltrasjonsevne i nedslagsfeltet er omtrent 100% godt egnet. Dette stemmer jo med løsmasser som består av sand og grus i området.

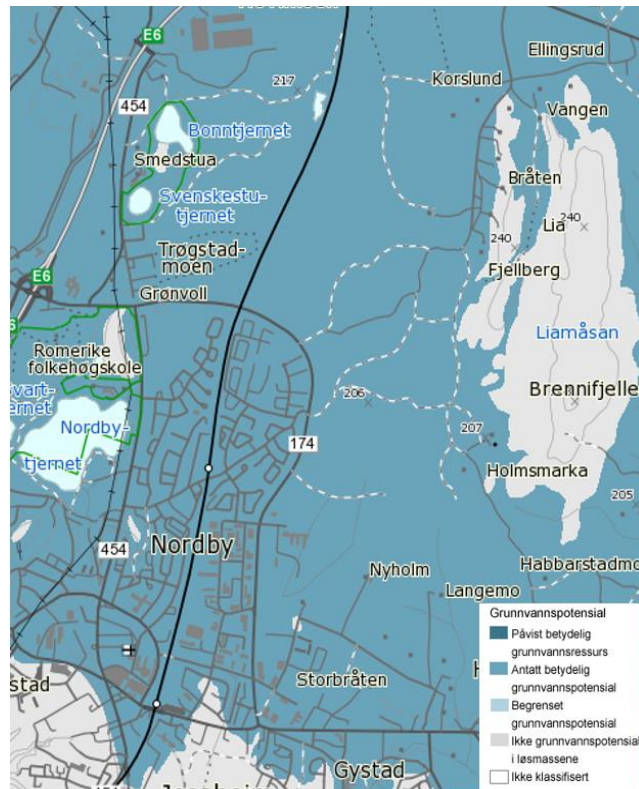


Figur 22: Infiltrasjonsevne i området (Norges Geologiske Undersøkelse 2015).

4.2.2.4 Grunnvannspotensial

Det er antatt at det er betydelig grunnvannspotensial i nedslagsfeltet, se figur 23. Dette omfatter at grunnvannet står i forbindelse med vassdrag/innsjø.

Drift avdeling i Ullensaker kommune sier at avstand mellom terreng og grunnvann er omtrent mer en to meter i umettede sone og den stiger i området mot nord. I oppgaven er det interessant å finne mengde av overflatevann som renner i utløp via overvannsystem. Derfor skal grunnvann ikke bli tatt med i modell.



Figur 23: Grunnvannspotensial i området (Norges Geologiske Undersøkelse 2015).

4.2.3 Delarealer

SWMM modell krever at nedbørsfeltet deles til mindre flere delarealer for å få bedre resultater i simulering. En svakhet av SWMM er at programmet ikke kan simulere et stort areal. Derfor er nedslagsfeltet delt til 66 delarealer basert på topografien, geografien og arealbruk. Som nevnt har nedbørsfeltet skog, dyrkemark og tettsted som kan inneholde bolig, skole og industri.

I delarealer arbeid er det tatt i bruk andre dataverktøy som AutoCAD Civil 3D og Geografiske informasjonssystemer GIS som anvendes i kommunen. Arealer er beskrevet nedenfor.

4.2.4 Arealbruk og vannskille

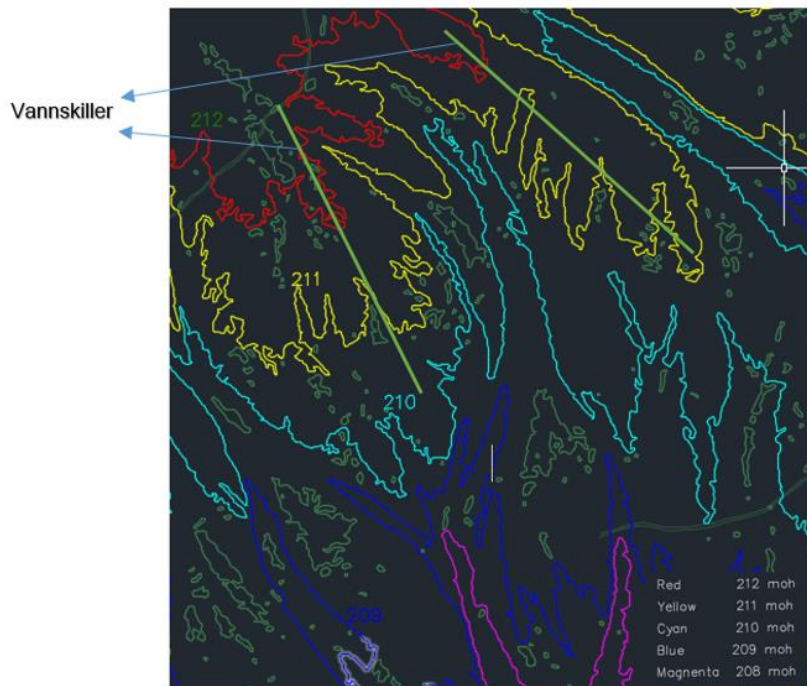
4.2.4.1 Skog og dyrket mark

Skog og dyrket mark har stor del av nedbørsfeltet ca. 50,5% og 5% i respektiv, se figur 24. Skog og dyrket mark areal er delt til 37 delarealer basert på topografien.



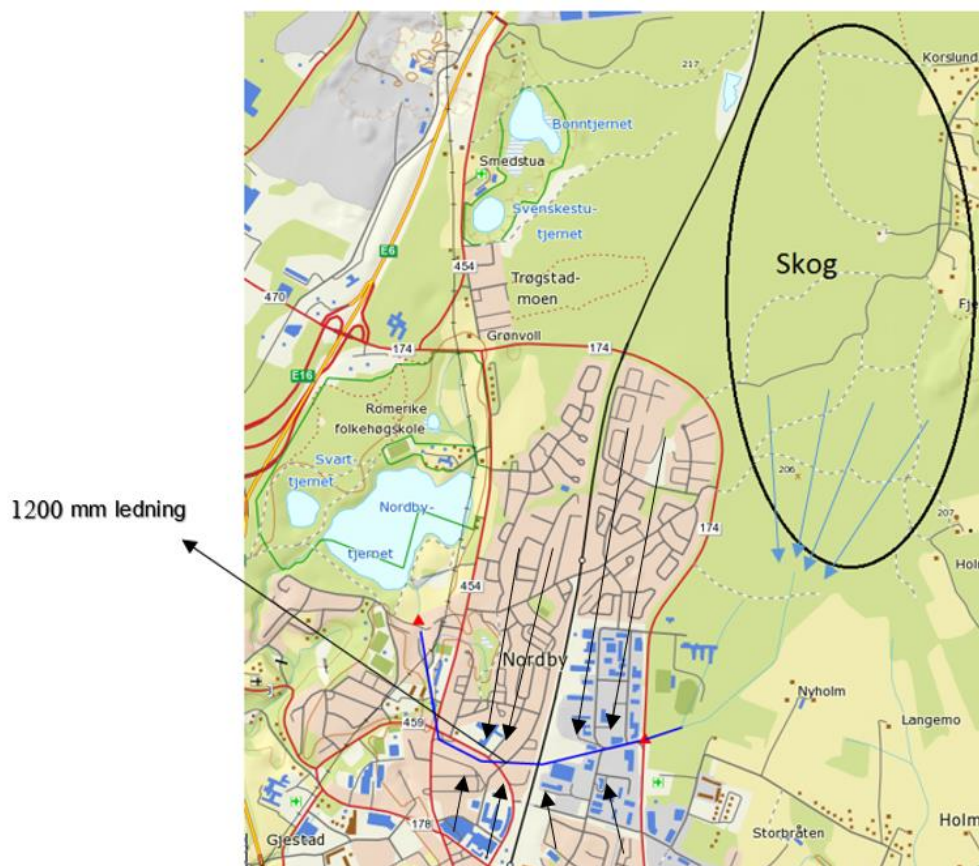
Figur 24 :Kart over arealtyper (GIS link).

Avrenningsmønsteret er bestemt via topografien. Derfor er topografien en viktig parameter for nedbørsfelts avgrensning. Deling av skog og dyrket mark til del arealer er gjennomført ved å lage vannskiller i kart. Metoden baserer seg på at man ser på topografien i området og finner de høyeste kotehøydene for å bestemme vannskillet. For å gjennomføre dette, burde man finne en metode fordi det er vanskelig og komplisert å se på kotehøyder og analyser dem. Av denne grunnen har jeg gitt en farge på hver forskjell kotehøyde som har egen høyde. På denne måten ble det lettere og enklere å se på kart og lager vannskillene. Dette er utført via AutoCAD Civil 3D verktøy, se figur 25. De to grønne linjene som er på figuren er eksempler på vannskiller.



Figur 25: Kotehøyder forklaring (utklipp fra AutoCad).

Avrenning i skog området skal bli samlet til elv som renner i en 1200 mm ledning og etterpå til renseparken og til slutt til Nordbytjern. Blå pilene viser avrennings direksjon, se figur 26.



Figur 26: Avrenning fra skog og bebygde områder (utklipp fra Norgeskart).

4.2.4.2 Myrområdet:

Myr defineres som et økolag som omdanner døde organiske, nedbrutt og torv materialer med en tykkelse. I modellen betraktes myrområdet som et magasin. Overvannet lagres i dette magasinet og deretter ledes videre til systemet. Myrområdet er representert i delareal 21, 53, 57, 59 og 61.

4.2.4.3 Bebyggelse i området

Mer enn tredjedel av nedbørsfeltet består av bebyggelse ca. 38%. Bebyggelse området består av boliger, skoler, barnehager, veg, parkeringsplasser hager, lekeplasser, små skoger og industri.

Avløpssystem i noen av delarealene består av bare spillvannsledninger og ikke noen overvannsledninger. Kommunen satser på at hele overvannet i slik soner skal infiltreres. Området har en god avstand mellom terreng og grunnvann speilet, samt god infiltrasjonsevne i lag. Derfor ble det dimensjonert grøfter ved siden av veger slik at overvannet infiltreres via de grøftene. Figur 27 viser et eksempel på de grøftene. Delareal 12 har en pumpestasjon som skal pumpe overvannet når det blir mye avrenning og samling av overvannet, men det har blitt vist at stasjonen ikke er i drift og derfor tok den ikke i modellen.



Figur 27: Eksempel på en grøft som har infiltrasjons funksjon (utklipp fra googles maps).

Delareal nr. 66 har dreneringslinjer. Overvannet skal samles og ledes til de dreneringsledningene. De dreneringsledningene er ikke koblet til overvannssystem. Så alt overvannet vil ha infiltrert.

Resten av delarealene har overvannsledninger. Alt overvannet fra tetteflater skal samles og ledes mot ledningene og til slutt til resipienten. Avrenning i overvannsledningene skal fra nord

og sør og renner i hoved ledningen 1200 mm. Svarte pilene i figur 26 viser direksjonen til avrenning i generelt.

4.3 Beregning av overvannmengde

Modellen skal kalibreres mot manuelle beregninger som baserer seg på den rasjonelle metoden. Nedbørsfeltet skal testes mot to forskjellige situasjoner: sommersituasjon og vintersituasjon for å vite mengde av overvannet i de to forskjellige situasjonene.

Nedbørsfelts areal er 654 ha som tilsvarer 6,54 km². Derfor blir nedbørsfeltet fordelt til 3 felt slik at vi unngår den store usikkerheten i store felt, se figur 28. Første feltet er bebyggelse området som mesteparten av dette består av eneboliger og rekkehus. Andre feltet består av skogen og bebyggelse området som består eneboliger, industri og frittliggende området. Mens tredje felt er bare skog området, se figur 28. Avrenningskoeffisienter er vist i tabellene øverst. Gjennomsnittet for tette flater i alle delarealene i bebyggelse område er målt. Dette var 24 % for felt 1, 39 % for felt 2. Vi valgte C på 2,5 % for skog området.

$$Q = C * I * A$$

➤ Målinger av arealer i Nedbørsfeltet:

$$A_T = 654 \text{ ha}$$

$$A_{felt,1} = 109 \text{ ha}$$

$$A_{felt,2} = 291 \text{ ha}$$

$$A_{felt,3} = 254 \text{ ha}$$

$$A_{felt,2,bebyggelse} = 142 \text{ ha}$$

$$A_{felt,2,skogen} = 149 \text{ ha}$$

➤ Avrenningskoeffisienter:

$$C = 0,2 \text{ for felt 1}$$

$$C = 0,4 \text{ for felt 2}$$

$$C = 0,025 \text{ for skogen}$$

$$C_{midlere\ felt,2} = \frac{142 * 0,4 + 149 * 0,025}{291} = 0,208$$

❖ For felt 1:

- Tilrenningstid

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

- Strømningstiden ved vannhastighet på 0,8 m/s

$$t_s = 36,31 \text{ minutter}$$

- Konsentrasjonstid

$$t_k = 10 + 36,31 = 46,31 \text{ minutter}$$

❖ For felt 2:

- Tilrenningstid

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

- Strømningstiden ved vannhastighet på 0,8 m/s

$$t_s = 72,38 \text{ minutter}$$

- Konsentrasjonstid

$$t_k = 10 + 72,38 = 82,38 \text{ minutter}$$

❖ For felt 3:

Vi har brukt formel som er hentet fra Vegbygning bok N200

- Konsentrasjonstid

$$t_k = 0,6 L H^{-0,5} + 3000 A_{se}$$

$$L = 1741 \text{ m}, H = 7 \text{ m}, \text{ og } A_{se} = 0$$

$$t_k = 395 \text{ minutter}$$

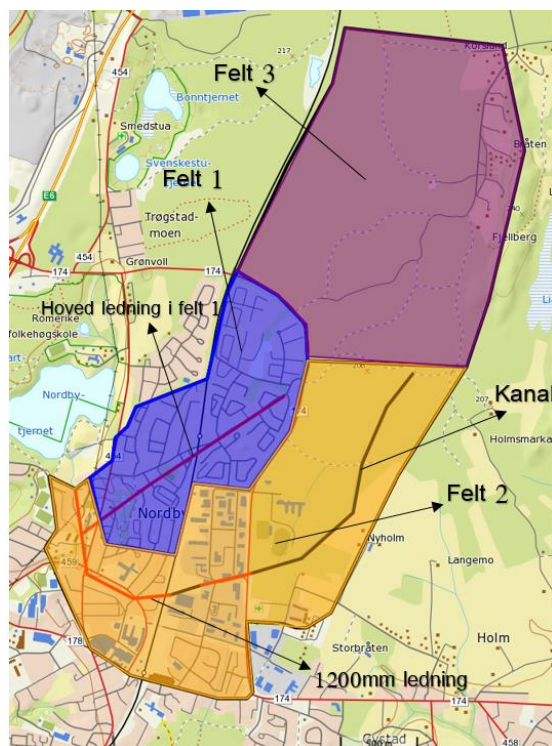
➤ Intensitet for 10-års gjentakintervall (hentet fra IVF-kurve i vedlegg A)

- For felt 1 som har t_k på 46,31 minutter er $i = 67.38 \text{ l/s*ha}$
- For felt 2 som har t_k på 82,38 minutter er $i = 43.63 \text{ l/s*ha}$
- For felt 3 som har t_k på 395 minutter er $i = 12.9 \text{ l/s*ha}$

➤ Maksimal avrenning Q:

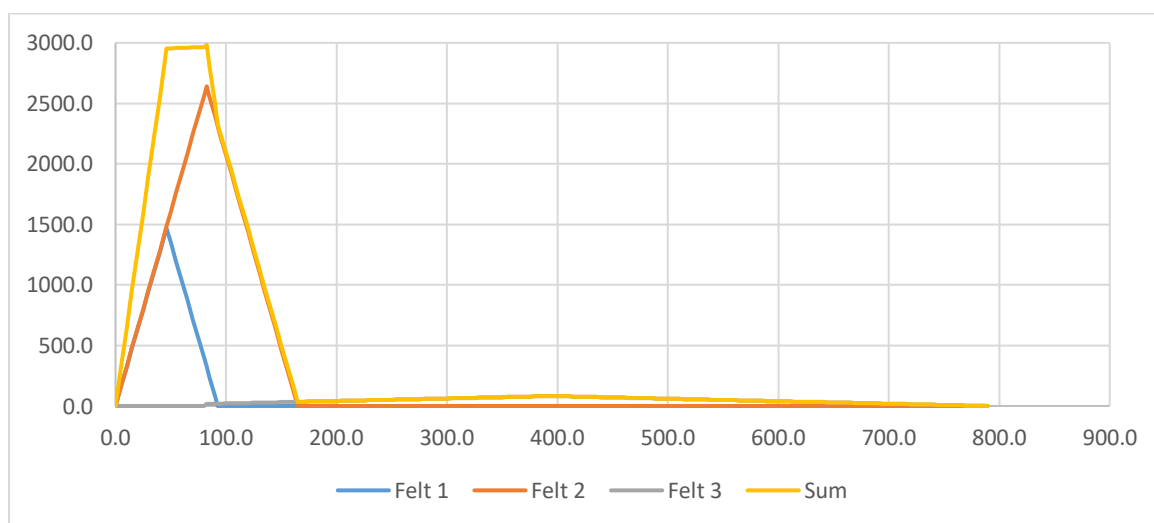
- For felt 1 $Q = 0,2 * 109 * 67,38 = 1469 \text{ l/s}$
- For felt 2 $Q = 0,208 * 291 * 43,63 = 2641 \text{ l/s}$
- For felt 3 $Q = 0,025 * 254 * 12,9 = 82 \text{ l/s}$

For å beregne totalt overvann mengde som slippes i utløpet fra de tre feltene, er det brukt summasjonskurvemetode.



Figur 28: Oversikt over deling av nedbørsfeltet til 3 felt (utklipp fra Norgeskart).

I vedlegg E er det lagt en tabell som viser overvannsavrenning i utløpet hver 5 minutter for hvert delfelt og summen av de tre feltene. Maksimal overvannsavrenning er 2983 l/s for hele nedbørsfeltet, se figur 29. Det er observert at felt 1 og 2, som ligger nærmest til utløpet, bidrar straks, mens bidraget fra felt 3 først når fram etter ca. 82 min. Jo lengre fra utløpet et felt er, jo senere vil avrenningen komme til utløpet og jo senere vil siste dråpe komme fram til utløpet fra et slikt felt.



Figur 29: Summasjonskurve for de 3 feltene for 10 års gjentakintervall.

Også vi har beregnet vannføring for 100-års gjentakintervall på samme måte. Maksimal vannføring var 4006 l/s.

Avrenningsvann mengde for skog



Figur 30: Oversikt over skog felt med målepunkt (utklipp fra Norgeskart).

I punktet som er markert i figuren øverst er det installert et målepunkt av COWI for å måle overvannavrenning. Dette har vært i ett år. Dette punktet får overvannavrenning fra tre områder:

- Felt 3, dette er skog område som består av mange delarealer. Arealet til alle sammen er ca. 254 ha.
- Felt 4 som består av mange delarealer. Arealet til de delarealene er på 144,5 ha.

Målepunktet registrerer dataene hvert femte minutt. Måling viser resultater fra 21.03.16 til 28.11.16. Men det er noe galt med målingene fra 6 september. Da begynner det å bli null i flere perioder. Derfor er det beregnet gjennomsnittlig vannføring for hele perioden. Den var 34 l/s, mens maksimal vannføring i perioden er registrert med 447 l/s.

På samme måten som er brukt i forrige seksjon, er det beregnet vannmengde for felt 3 og 4 for 10 års regn. Den var 569 l/s.

Det målepunktet viser at maksimal vannføring var 447 l/s i det samme punktet. Resultater viser at rasjonell metode gir overvannavrenning ved 27 % høyere enn det den registrert via målepunktet. Dette skyldes at den rasjonelle metoden ikke tar hensyn til infiltrasjon,

gropmagasiner og fordrøyning på flatt terreng. Den antar at all vann skal til utløpet samtidig. Dette avviker har ikke alvorlig påvirkning på total overvannavrenning i hoved utløpet. I allikevel tyder dette på at de forutsetningene, som er brukt for å beregne overvannavrenning fra skog, er riktige og normale.

4.4 Oppbygging av et symmetrisk hyetogram

Modellen skal kjøres med forskjellige regnhyetogrammer⁴. Til dette brukes nedbørsdata som er hentet fra eklima.no. Klimadata er basert på Gardermoen måle stasjon. Bakgrunnene bak konstruksjonen av et nedbørhyetogram er følgende:

- Det antas at hyetogrammet er symmetrisk om sin midtakse.
- Hyetogrammet skal baserer seg på en IVF-kurve.
- Hver side av midtlinjen skal ha X/2 minutter i hyetogrammet slik at regnvolumet innenfor de X mest intensive minuttene skal tilsvare regnvolumet i et «kasseregn» med X minutter som varighet.
- Beregningssteg som er på 1 minutt tilsvaret et kasseregn på 2 minuttet varighet og dette vil gi en svært høy spissintensitet. Derfor vil beregningssteg i de fleste tilfeller være på 5 minutter.
- Regnvarighet må være lik eller større enn den maksimale konsentrasjonstiden i feltet. I oppgaven er største konsentrasjonstid lik 400 minutter.

Verdier fra vedlegg A er brukt for å konstruere et hyetogram som har beregningssteg på 5 minutter. Returperiode er 10-års ved regnvarighet på 400 min.

$$I_{10} = \frac{V_{10}}{\Delta t} = 210 \frac{l}{s * ha} * 10 = 210 \frac{l}{s} * ha$$

$$I_{20} - I_{10} = \frac{V_{20} - V_{10}}{\Delta t} = \frac{133,2 * 20 - 210 * 10}{20 - 10} = 56,40 \frac{l}{s} * ha$$

$$I_{30} - I_{20} = \frac{V_{30} - V_{20}}{\Delta t} = \frac{95 * 30 - 133,2 * 20}{30 - 20} = 18,60 \frac{l}{s} * ha$$

$$I_{40} - I_{30} = \frac{V_{40} - V_{30}}{\Delta t} = \frac{77,4 * 40 - 95 * 30}{40 - 30} = 24,60 \frac{l}{s} * ha$$

$$I_{50} - I_{40} = \frac{V_{50} - V_{40}}{\Delta t} = \frac{63,93 * 50 - 77,4 * 40}{50 - 40} = 10,05 \frac{l}{s} * ha$$

⁴ En figur som framstiller mengde av vann som vi får i en bestemt tidsenhet.

$$I_{60} - I_{50} = \frac{V_{60} - V_{50}}{\Delta t} = \frac{54,60 * 60 - 63,93 * 50}{60 - 50} = 7,95 \frac{l}{s} * ha$$

$$I_{70} - I_{60} = \frac{V_{70} - V_{60}}{\Delta t} = \frac{50,93 * 70 - 54,60 * 60}{70 - 60} = 28,91 \frac{l}{s} * ha$$

$$I_{80} - I_{70} = \frac{V_{80} - V_{70}}{\Delta t} = \frac{47,27 * 80 - 50,93 * 70}{80 - 70} = 21,65 \frac{l}{s} * ha$$

$$I_{90} - I_{80} = \frac{V_{90} - V_{80}}{\Delta t} = \frac{43,60 * 90 - 47,27 * 80}{90 - 80} = 14,42 \frac{l}{s} * ha$$

De beregningene skal fortsettes på samme måte videre fram til at vi kommer til:

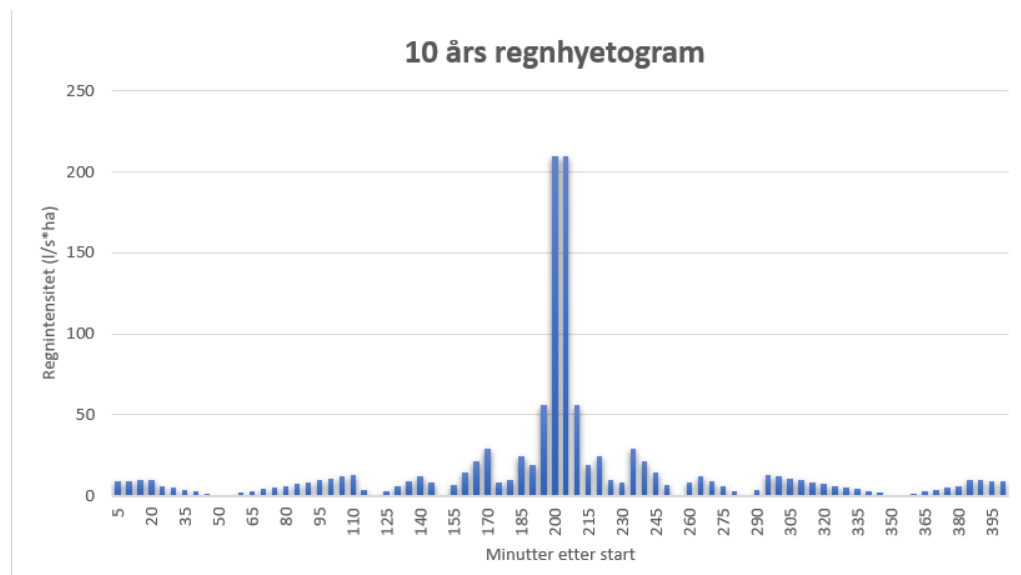
$$I_{400} - I_{390} = \frac{V_{400} - V_{390}}{\Delta t} = \frac{12,9 * 400 - 13 * 390}{400 - 390} = 9,0 \frac{l}{s} * ha$$

De konstruerte beregningsstegene er fordelt i følges av tidsforløpet, se på tabell 12 som viser resultater fra 400 minutters regnhyetogram basert på 10-års gjentaksintervall.

Tabell 12: Resultat fra et 400 minutters regnhyetogram basert på 10-års gjentaksintervall.

Tidsforløpet (min)	Intensitet (l/s*ha)		
5	9	210	56.4
10	9.2	215	18.6
15	9.4	220	24.6
20	9.6	225	10.05
25	5.95	230	7.95
30	4.85	235	28.91
35	3.75	240	21.65
40	2.65	245	14.24
45	1.55	250	6.9
50	0.45	255	0.33
55	0.65	260	7.77
60	1.75	265	12.19
65	2.85	270	9.19
70	3.95	275	5.92
75	5.05	280	2.78
80	6.15	285	0.19
85	7.25	290	3.49
90	8.35	295	12.75
95	9.45	300	11.65
100	10.55	305	10.55
105	11.65	310	9.45
110	12.75	315	8.35
115	3.49	320	7.25
120	0.19	325	6.15
125	2.78	330	5.05
130	5.92	335	3.95
135	9.19	340	2.85
140	12.19	345	1.75
145	7.77	350	0.65
150	0.33	355	0.45
155	6.9	360	1.55
160	14.24	365	2.65
165	21.65	370	3.75
170	28.91	375	4.85
175	7.95	380	5.95
180	10.05	385	9.6
185	24.6	390	9.4
190	18.6	395	9.2
195	56.4	400	9
200	210		
205	210		

Figur 31 viser symmetrisk regnhyetogram. Verdien er hentet fra tabell 12.



Figur 31: Symmetrisk regnhyetogram basert på 10-års gjentakintervall for Jessheim.

4.5 Dagens situasjon

I denne oppgaven er det tatt utgangspunktet at området Jessheim er definert som boligområdet, se side 14. Om dette er riktig er uklart siden området inneholder flere forskjellige typer av bygninger. Dette fører til dimensjonerende gjentakintervall blir 10 år og stort sett blir dette gjentakintervallet gyldig for dagens situasjon.

4.6 Oppbygging av modell

I denne oppgaven er det bestemt å velge dynamisk strømning routing i modellen. Fordi nedbørsfelts areal er svært stor 654 ha med lange, korte og komplekse kanaler og ledninger. Noen områder i nedbørsfeltet har små dimensjonerende ledninger etter store dimensjonerende ledninger og i stort sett har ikke nok kapasitet til å få hele overvannet samtidig i samsvar med nedbørintensiteten. Derfor er det stor sjanse at det oppstår oppstuvning i noen kummer. Derfor har vi innsatt 50 m² som pond area for alle kummene. For å modellere infiltrasjon skal vi bruke Hortons metode.

I modellen er det også valgt å bruke:

- Intensitet, som er bygget i forhold til regnhyetogrammer fra Gardermoen målestasjon, på type av nedbørsdata
- 0,01 minutter på opptakstidsintervall

Hyetogrammer finnes i vedlegg A.

I forbindelse til delarealer, nedbørsfeltet har blitt delt i 66 delarealer i modellen. Hvert delareal har fått sitt eget navn og sine egenskaper. I modellen er det også utført data samling og kartlegging for hver parameter i delarealene. Hoved ideen bak dette er at delarealene har forskjellige fasong. Derfor har det blitt tatt gjennomsnittlige mål på de målte dataparameterne slik bredd, lengde og høyde. Nedenfor er det forklart hvordan de parameterne er kartlagt. Mest av arbeidet er utført ved å bruke Auto CAD CIVIL 3D program.

Impermeabilitet og Areal parametere

Etter å ha delt nedbørsfeltet i små delarealer, har vi målt arealene. Det er beregnet prosenten av impermeable flater via å beregne arealet for hvert tak og for alle veger i hvert delareal. Dette vises i vedlegg C.

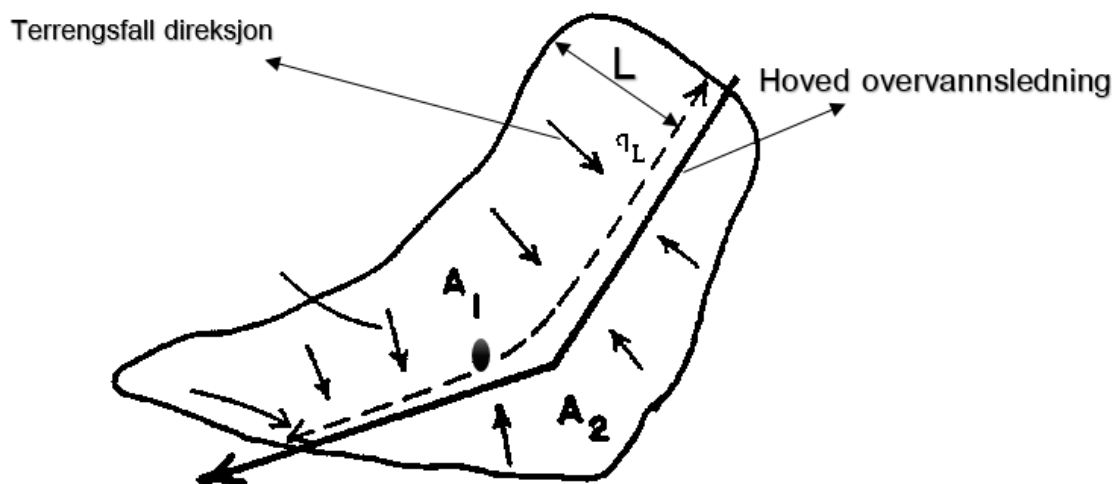
Bredd av delareal

Delareal bredd har stor påvirkning på resultater og derfor er denne parameteren valgt til å forklares detaljert i oppgaven (Rossman, L. 2015, s. 70). Det er flere metoder som finnes for å beregne bredden for delarealer. For å finne bredden for ei idealisert framstilling må man finne bredden ved å dele arealet på lengden.

I oppgaven har vi beregnet bredden ved:

- Å finne arealet for hvert delareal (ha)
- Å måle gjennomsnitt lengde av hvert delareal (m) hvor lengden av delarealet er i retning som er parallelt med terrengsfall.
- Så beregnes bredden ved å bruke ligningen $W = \frac{A}{L}$, se figur 28.

Bredden på delarealene finnes i vedlegg C.



Figur 32: Eksempel på et delareal (SA) (Rossman, L. 2015).

Terrengfall på delareal og gropmagasinering

Hellingen av det idealiserte delarealet er dette som er i retning perpendikulært retning på strømnings bredd (Rossman, L. 2015). Siden delarealene er irregulære, har vi tatt gjennomsnitt mål på høyden. Terrengfall på alle delarealene finnes i vedlegg C.

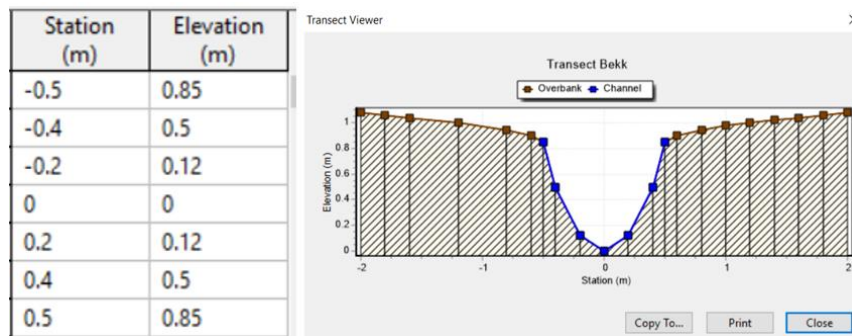
Gropmagasinerings typiske verdier er hentet fra SWMM brukerveiledning. De er 5 mm for permeable flater og 1,3 mm for impermeable flater.

Mannings tall (ruhet) på overflate

Delarealene har flere ulike overflate typer (asfalt, tett og kort gress, dyrket mark og myr). Mannings tall verdier er hentet fra SWMM brukerveiledning versjon 5.1 og de finnes i vedlegg B.

I forbindelse til transporterende elementer, overvannssystemet i nedbørsfeltet består av overvannsledninger og kanaler. Type av rørene er enten PVC eller betong. Mens kanaler er betraktet som utgravd eller mudret Jorden, svingete, ganske ensartet. Ruhet for ledninger og kanaler er hentet fra SWMMs brukerveiledning versjon 5.1 og finnes i vedlegg B. Mens lengde og kanaler bredd er målt ved hjelp av Auto CAD CIVIL 3D og GIS programmer. Maksimal dybde for ledninger betyr rørdiameter og dette er tatt ut fra de oppnevnte programmene. Mens maksimal dybde for elver er avhengig av vannføring, helning og mannings tall. Så det er vanskelig og komplisert å determinere maks. dybde i elver. Kommunen har ikke noe opplysning om dette. Derfor anslås at maks. dybde er 70 % av bredden og for bekker er det brukt irregulær kanal i skogen ved hjelp av «transect editor». Dette er fullført ved å sette inn verdier for dybde med lengde verdier for avstand fra midten av bekken. Bredden på bekken er lik 1 meter, se figur 33. Dette har modellert på den metoden i

bekken for å sørge for at hele vannet er tatt med i simulering når vannføring er større enn hoved dybde i bekken.



Figur 33: Utforming av bekketverrsnitt (utklipp fra SWMM).

Parametere for alle kummer er hentet fra GIS program som brukes i kommunen. «Ponded» areal var 50 m² i alle kummer fordi vi vil finne totale mengde av overvann. Det vil ikke at overvann forsvinner fra SWMM. Alle høyder på kummer med manglende høyder og dyder er justert i forhold til kotehøyder og de kum høydene som er rundt og nærmest i området.

Nedbørsfeltet har myrområdet i forskjellige steder som kan magasinere overvann.

Myrområdet ligger i delarealer 21, 57, 26, 61 og 59.

I oppgaven er det valgt at

- Myrddybde skal være 30 mm (hentet fra feltet)
- N skal være 0,015 (hentet fra SWMM manuell)
- Vegetasjonsvolum skal være 0,2 (hentet fra SWMM manuell)

4.7 Modellkalibrering, verifikasjon og etterprøving

Kalibrering av en modell innebærer å se på respons til modellen når man gjør endringer i modellens inngangsdata, parameterverdier og parameteriseringer og sammenligner det med en referansedata for å tilnærme seg til det som er i virkeligheten.

Verifikasjon av en modell innebærer at man sjekker at regnemaskinkoden beregner de oppsatte matematiske ligningene korrekt uavhengig av om dette likningssettet er korrekt.

Etterprøving innebærer at man bestemmer overensstemmelse eller enighet mellom modellens resultater og målte verdier (observasjoner).

Siden vi har bare et målepunkt for skog området og ikke noe for nedbørsfeltet, skal vi kalibrere vannmengde som kommer fra skog område. Mens skal kalibrering gå ut på å justere modellparametere for bebyggelse område for å få best mulig resultater. Verifikasjon og

etterprøving skal gjennomføres ved å sammenligne modell beregningene med rasjonell beregnings metode. Og til slutt anslår hvor realistisk modell beregningen er.

Modell verifikasjon og etterprøving for vannføring i det målepunktet

Vi valgte data fra målepunktet som referanse data for å kalibrere vannmengde i skog område.

Resultater før justering for skog område er som følgende:

Modellen er kjørt med de forhåndsbestemte parameterne.

Tabell 13: Modellberegning med forhåndsbestemte parameterne i SWMM og overvannsavrenning fra målepunktet før justering.

Regnhendelse	Regnvarighet	Qgjennomsnitt (l/s)	Qmaks (l/s)
10 års regn	400 min	61	734
Overvannsavrenning fra målepunktet		34	447

For å kalibrere modellen for skog området slik at vi tilnærmer oss til referanse data, må man justere noen av de parameterne i feltet som tilfører vann til det bestemte punktet. Den meste effektive parameteren som har stor påvirkning på overvannsavrenning i SWMM modell er «% impermeabilitet». Alle delarealene på skog område har 0 % på impermeabilitet. Delarealer nr. 28 og 26 er bare de to arealene som har tette flater og gir overvannsavrenning til det bestemte punktet (Dvergsnes & Lindholm 2016). Impermeabilitet er 66 og 6 % i respektive. Vi har nedsatt de verdiene til 40 og 3 % i respektive.

Resultater etter justering for skog område er som følgende:

Tabell 14: Modellberegning med forhåndsbestemte parameterne i SWMM og overvannsavrenning fra målepunktet etter justering.

Regnhendelse	Regnvarighet	Qgjennomsnitt (l/s)	Qmaks (l/s)
10 års regn	400 min	35	488
Overvannsavrenning fra målepunktet		34	447

Sammenligning av data fra målepunktet og modellberegning:

Tabeller 13 viser oversikt over vannføring fra målepunktet som referansedata og modellberegningene. Resultater viser at modellen har ca. 3 % høyere for gjennomsnitt vannføring og ca. 9 % for maksimal vannføring i forhold til referansedataene. Forskjellen i gjennomsnitt er så lite. Mens det er ok i maksimale vannføring. Dette betyr at modellen har gitt gode tall som kan sies å være nesten like som referansedataene for det målepunktet. Derfor kan vi si at modellen representerer den virkelige situasjonen i skogen og de to nevnte delarealene.

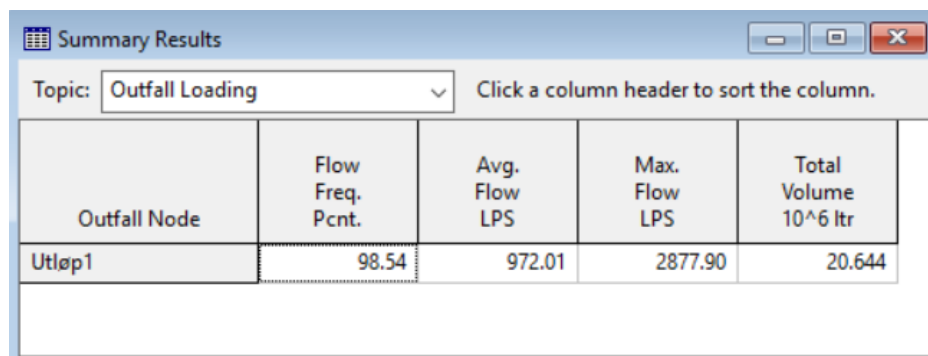
Modell verifikasjon og etterprøving for vannføring i det hoved utløpet

Hovedmålet for oppgaven er å finne overflatevannføring i det hoved utløpet. I dette utløpet er det ikke installert noen måleutstyr for å måle vannføring der. Derfor har vi valgt de to dataene som er beregnet via rasjonelle formel som referanse data i hoved utløpet. De er:

1. Regnavrenning som er beregnet for 10-års returperiode
2. Regnavrenning som er beregnet for 100-års returperiode

Modellen er kjørt med de forhåndsbestemte parameterne for bebyggelse området og de kalibrerte parameterne for skog felt.

Resultater er som følgende:



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
Utløp1	98.54	972.01	2877.90	20.644

Figur 34: Utklipp fra modellen 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
Utløp1	99.55	1104.36	4264.63	24.935

Figur 35: Utklipp fra modellen etter justering for regnhendelse «100 års regn» (utklipp fra SWMM).

Sammenligning av rasjonell formel data og modellberegning:

Nedenfor viser tabeller 15 oversikt over rasjonell formel beregning som referansedata og modellberegningene. Resultater viser at modellen har ca. 3,6 % lavere for 10 års regn og ca. 6,5 % høyere for 100 års regn i forhold til referansedataene. Forskjellen mellom referansedataene og modellberegning kan være på grunn av at referansedataene baserer seg på rasjonell metode som ikke tar hensyn til infiltrasjon, magasinering av vann i nedbørsfeltet og den fordrøyningen som forekommer i ledninger og kanaler.

Tabell 15: Maksimale vannføring fra både SWMM og rasjonell formel.

Regnhendelse	Vannføring fra rasjonell formel Q_{maks} (l/s)	Vannføring fra modellen Q_{maks} (l/s)
10 års regn	2983	2878
100 års regn	4006	4265

I allikevel er denne forskjellen så lite at den ikke har noe alvorlig konsekvenser for den totale mengden av overvann. Dette betyr at modellen har gitt gode tall som kan sies å være nesten like som referansedataene. Derfor kan vi si at modellen representerer den virkelige situasjonen og er klar for å simulere andre nedbørsituasjoner.

4.8 Sommer- og vinteravrenningssituasjon

Regnavrenning varierer fra sesong til sesong. Derfor skal to avrenningssituasjoner bli simulert i oppgaven. Overvannsavrenning skal finnes i nedbørsfeltets utløp og nedslagsfeltet skal analyseres for hydrologiske forandringer. Hver situasjon skal ha sine egne simuleringsparametere. Endringer i de simuleringsparameterne skal gjøres på 3 parametere:

- Andel tettestflater
- Infiltrasjonskapasitet
- Konstruert regnhyetogram

De to situasjonene er:

4.8.1 Sommersituasjon

Overflater er tørr om sommeren. Regnintensitet er høy, men avrenningskoeffisienten er lav. Det er tett og intens vegetasjon og fordampning er relativt høy. Dessuten er infiltrasjonsevne høy. Dette fører til at regnavrenning blir mindre (Ødegaard et al. 2014).

For å simulere dette tilfellet, har vi brukt

- ✓ Andel tettestflater: verdier til parameterne er valgt etter kartlegging og analysing av nedbørsfeltet, se på vedlegg C.
- ✓ Infiltrasjonskapasitet. For alle delarealene settes de simuleringsparameterne som følgende:
 - Maksimale infiltrasjons rate: 127 (mm/t)
 - Minimale infiltrasjons rate: 120.4 (mm/t)
 - Reduksjons konstant: 4 (1/time)
 - Tørke tid: 4 (dager)
- ✓ Konstruert regnhyetogram: det har blitt valgt 400 minutters varighet for å teste de følgende situasjonene:
 - 10 års regn (dagens situasjon), 400 minutters varighet
 - 10 års regn med 30 % økning i nedbør, 400 minutters varighet
 - 100 års regn, 400 minutters varighet
 - 100 års regn med 30 % økning i nedbør, 400 minutters varighet

4.8.2 Vintersituasjon

Regn på frossen mark fører til mye avrenning i feltet (Ødegaard et al. 2014). Det er bevist at i løpet av vinteren kan vi ha ekstrem avrenning forårsaket av frossen jord. Frossen av lag (løsmasser) som ligger i den mettede sonen og mettet av lag som ligger i den umettede sonen er forventet situasjon om vinteren (Øygarden 2003). Derfor kan langvarig regn og frossen av

undergrunn på grunn av telehiv som forårsaket av kapillært vann (Staten vegvesen 2014) medføre til økning i avrenning.

Så hvis snøsmelting kombineres med kraftig nedbør på mettete eller frosset mark, kan det føre til at avrenningskoeffisienten bli betydelig og flom oppstår i avløpssystemet.

For å simulere dette tilfellet, har vi

- ✓ Andel tettestflater er økt til 80 % i alle delarealene
- ✓ Nedsatt infiltrasjonskapasitet til 0 og tørke tid til 10 dager
 - Maksimale infiltrasjons rate: 0 (mm/t)
 - Minimale infiltrasjons rate: 0 (mm/t)
 - Reduksjons konstant: 0 (1/time)
 - Tørke tid: 10 (dager)
- ✓ Konstruert regnhyetogram for regn med snø- og ismelting. Det er brukt snøsmelteintensitet i Oslo, se vedlegg A.

Så blir modellen klar for å simulere de følgende situasjonene:

- 10 års regn (dagens situasjon), 400 minutters varighet, snøsmelting 10 år returperiode for Oslo.
- 10 års regn med 30 % økning i nedbør, 400 minutters varighet, snøsmelting 10 år returperiode for Oslo.
- 100 års regn, 400 minutters varighet, snøsmelting 10 år returperiode for Oslo.
- 100 års regn med 30 % økning i nedbør, 400 minutters varighet, snøsmelting 10 år returperiode for Oslo.

4.9 Kvantifisering av tungmetaller i overvannsavrenning

Jessheim har en relativ stor befolkningsvekst som fører til utvidelse i urbanisering og dermed mer tettestflater som fører til økning i miljøgifter blant annet tungmetaller. Tungmetaller er tilgjengelige og giftige med akutte eller kumulative (kroniske) effekter ved konsentrasjoner som er funnet i urban avrenning. Dessuten har tungmetaller, som finnes i overvann, giftige virkninger og offentlig helseisriko for mennesker. Det er ikke lett at tungmetaller brytes ned. Derfor har deres fjerning fra overvannsavrenning vært en hoved utbedringsstrategi i de siste årene.

I denne oppgaven er det bestemt å beregne midlere årlige utslipp av tungmetaller gjennom teoretiske ligninger.

Tabell 16: Prosent av tette flater og andel deltagende tette flater (Oddvar Lindholm 2015).

	Tette flater i % av totalt areal	Andelen deltagende aktive tette flater a
Villa/enebolig	20	0.55
Rekkehus	40	0.6
Blokk	60	0.7
Sentrumsområder	80	0.9
Veger	100	1

Som nevnt i side 37, bør man finne middelvannføring i år for å beregne utslipp av miljøgifter blant annet tungmetaller.

4.9.1.1 Beregning av middelvannføring

For å beregne middelvannføring må nedbørsfeltet kartlegges og analyseres. Da vi har delt nedbørsfeltet til flere delarealer, beregnet vi prosenten av andel tetteflater på hvert delareal. Ved å multiplisere andel tetteflater med andel deltagende aktive av de tetteflatene og middel nedbør i år, får vi middelvannføring i kubikk per år. På denne måten er middelvannføring beregnet for hvert delareal, se vedlegg D1.

Andel deltagende aktive tetteflater er vist i tabell 16, men tabellen viser ikke noen verdier til skog og dyrket mark områder. Så vi setter $a = 1$ for skog og dyrket mark områder fordi alle flatene bidrar til avrenning. Midlere årlige årsnedbør for periode 1985-2014 varierer mellom (751 – 1000) mm. I følge av NVE sin rapport for nedbørsfeltet, valgte vi midlere årsnedbør 780 mm (Norsk klimaservicesenter 2017a). Mens forskning som er undersøkt klima og klimaendringer i Oslo og Akershus sier at midlere årsnedbør er 825 mm. Vi er valgt at den skal være 825 mm i oppgaven. Parameterne for delarealene er vist i vedlegg D1. Den følgende eksempel viser beregnings metode for et delareal.

Delareal 10 (SA 10) er boligområdet, $P = 780$ mm og $b = 100$ mm så blir:

$$Q_{\text{år}} = a * A * (P - b) * 10^{-3}$$

$$a = \% \text{impermeabilitet} * \text{Andelen deltagende aktive tette flater} = 0,22 * 0,5 = 0,121$$

$$Q_{\text{år}} = 0,121 * 36641 * (825 - 100) * 10^{-3} = 3214 \text{ m}^3$$

4.9.1.2 Utslippsberegning av tungmetaller

Kartlegningen og analyseringen av de delarealene er også brukt for å finne årlig utslipp av tungmetaller i utløpet. Delarealene er sammensatt av eneboliger-, rekkehus-, blokk-, sentrum- og industriområde. Noen delarealer består bare av f.eks. sentrumsområde og noen andre består av flere områdetyper samtidig. Så for delarealer, som har flere områdetyper, er det brukt middel konsentrasjonstall mellom de områdetypene. Mens som konsentrasjonstall for vegareal, som hadde mellom 5000 og 15000 ÅDT, er det brukt middelet for 5000 ÅDT og 15000 ÅDT.

Legg merke til at det finnes et område som kalles industriområdet i nedbørsfeltet, men dette er faktisk ikke industriområde ettersom det ikke finnes noen industrier der. Området består av noen store butikker f.eks. Jula, og Biltema osv. Derfor er dette området tatt som sentrumsområde når det gjelder konsentrasjonstall. Midlere konsentrasjonsverdier er vist i tabell 9. Mens konsentrasjonstall for alle delarealene finnes i vedlegg D2.

Så etter at vi har beregnet middelvannføring for hvert delareal, har vi multiplisert det med konsentrasjon for hver komponent. Til slutt har vi samlet mengde av utslipp (U_1, U_2, \dots, U_n) fra alle delarealene for hver komponent og dermed fikk vi mengde av utslipp for de seks metallene i kg per år for hele nedbørsfeltet. Mengde av beregningsutslippene er vist i vedlegg D2.

F.eks. for samme delareal 10 blir utslipp av kadmium (Cd)

$$U = Q_{\text{år}} * C * 10^{-3} = 3214 * 0,0005 * 10^{-3} = 0,0016 \text{ kg/år}$$

5 Resultater og diskusjon

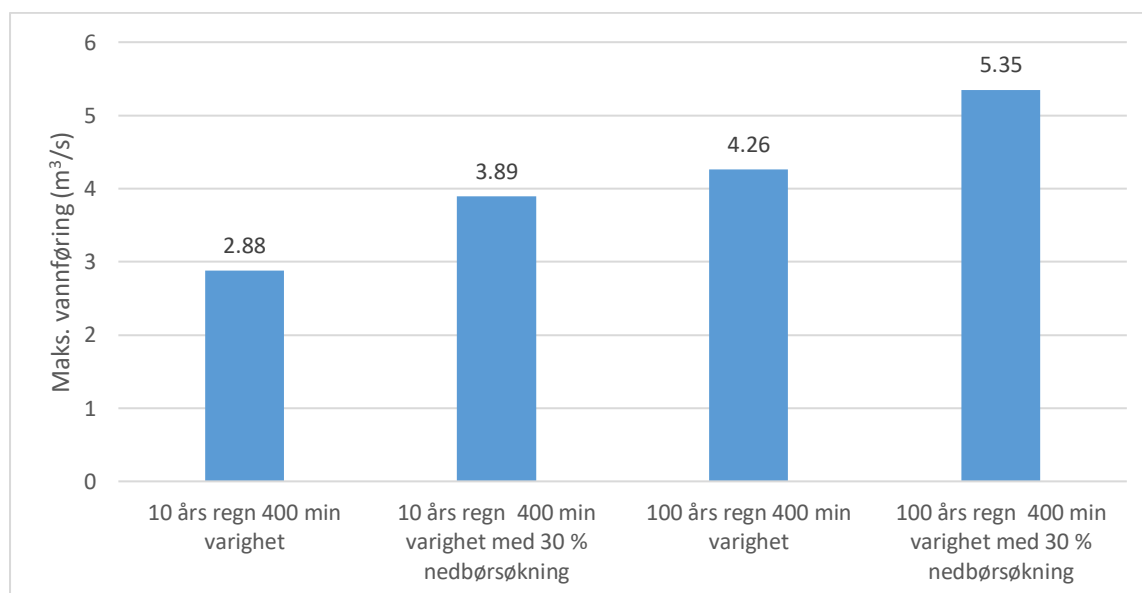
Fordi det er beregnet total mengde av overvann og midlere mengde av tungmetaller gjennom to forskjellige måter, er resultatene vist og diskutert i dette kapitlet i to deler; først med resultater for total mengde av overvann, så med resultater for midlere mengde av tungmetaller. Til slutt blir det diskutert noen av parametere som er brukt i oppgaven.

5.1 Overvannsmengder

5.1.1 Sommersituasjon

Figur 36 viser at den totale mengden av overvann er avhengig av flere faktorer, blant annet returperiode og klimaendringer. Resultatet for regnhendelse for 100 års regn er ca. 48 % høyere enn regnhendelse for 10 års regn uten klimatillegg. Mens med klimatillegg blir den totale mengden av overvann for 100 års regn ca. 38 % høyere enn 10 års regn. Dette skyldes at regnintensitet for 100 års regn er høyere enn regnintensitet for 10 års regn.

Regnintensiteten for 100 års regn uten klimatillegg er tilnærmet lik med regnintensiteten for 10 års regn med klimatillegg. Derfor er den totale mengden av overvann for 100 års regn uten klimatillegg høyere med bare ca. 9 % enn 10 års regn med klimatillegg.



Figur 36: Oversikt over sommersituasjon med maksimale vannføringsmengder ved forskjellige regnhendelser fra simuleringer.

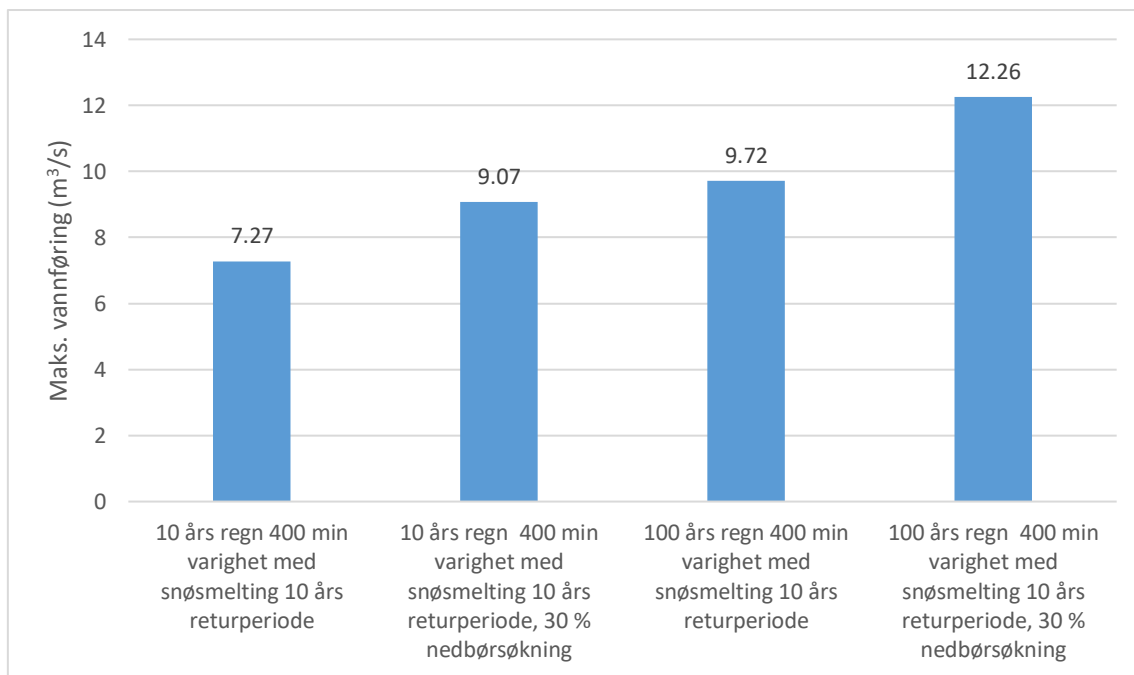
Tabell 17: Oversikt av sommersituasjonen over maksimale vannføringsmengder og total volum for dagens- og framtidig situasjon med forskjellige regnhendelser fra simuleringer.

Vannføringsmengde i utløpet	Maks. vannføring (l/s)	Total volum *10⁶ (l)
For 10 års regn med 400 minutters regnvarighet	2878	20.6
For 10 års regn med 400 minutters regnvarighet og 30 % klimatillegg	3886	24.3
For 100 års regn med 400 minutters regnvarighet	4265	25
For 100 års regn med 400 minutters regnvarighet og 30 % klimatillegg	5345	32.6

5.1.2 Vintersituasjon

Figur 37 viser at gjentakintervall, snøsmelting og frossen mark, samt klimaendringer, har stor påvirkning på den totale mengden av overvann som renner gjennom utløpet. Modellen er testet med 80 % frossen mark og ikke 100 %, fordi med 80 % frossen mark er det mer realistisk siden at den tar hensyn til vannmagasinering i form av absorpsjon og gropmagasinering. Resultatet for regnhendelse for 100 års regn er ca. 34 % høyere enn regnhendelse for 10 års regn med og uten klimatillegg. Dette skyldes at 100 års regn har høyere regnintensitet.

Regnintensiteten for 100 års regn uten klimatillegg er tilnærmet lik med regnintensiteten for 10 års regn med klimatillegg. Derfor er den totale mengden av overvann for 100 års regn uten klimatillegg høyere med bare ca. 7 % enn 10 års regn med klimatillegg.



Figur 37: Oversikt over vintersituasjonen med maksimale vannføringsmengder ved forskjellige regnhendelser fra simuleringer.

Tabell 18: Oversikt av vintersituasjonen over maksimale vannføringsmengder og total volum for dagens- og framtidig situasjon med forskjellige regnhendelser, samt snøsmelting for 10 års returperiode for Oslo fra simuleringer.

Vannføringsmengde i utløpet	Maks. vannføring (l/s)	Total volum *10 ⁶ (l)
For 10 års regn med 400 minutters regnvarighet	7265	130.7
For 10 års regn med 400 minutters regnvarighet og 30 % klimatillegg	9069	154.4
For 100 års regn med 400 minutters regnvarighet	9719	151
For 100 års regn med 400 minutters regnvarighet og 30 % klimatillegg	12255	178.6

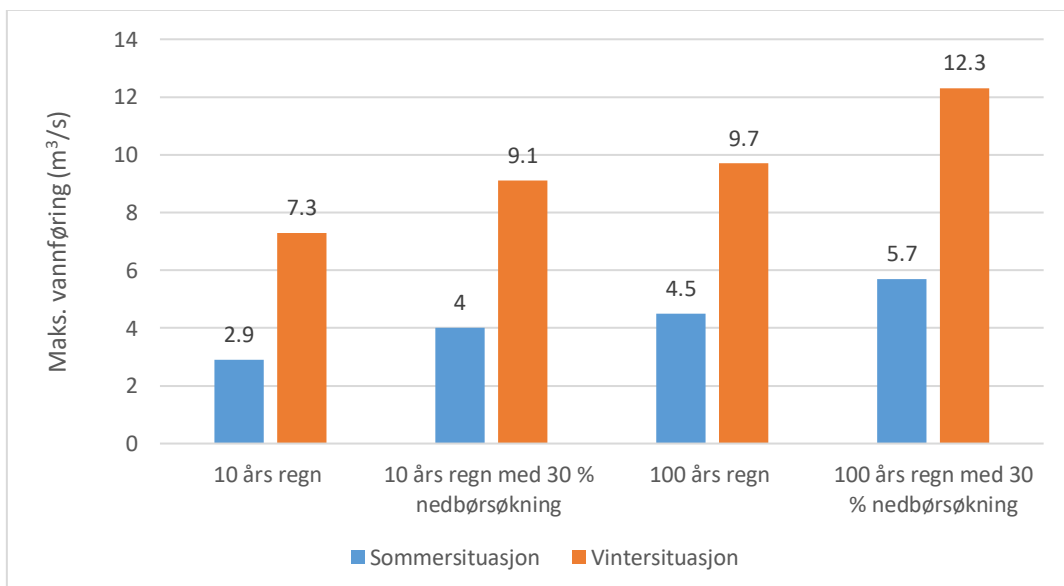
5.1.3 Sammenligning mellom sommer- og vintersituasjon

Figur 38 viser sammenligning mellom den maksimale mengden av overvann for sommer- og vintersituasjon. De totale overvannavrenningene for sommersituasjon er mindre enn vintersituasjon. For alle nedbørsituasjonene er den totale mengden av overvann omtrent mer

enn dobbelt så mye for vintersituasjon enn sommersituasjon. Dette er på grunn av flere faktorer, blant annet frossen mark, infiltrasjonskapasitet og snøsmelting som gir ekstra belastning. Grunnen i nedbørsfeltet består av sand og grus materialer. Dette fører til at infiltrasjonsevne økes til maksimal om sommeren. Tvert imot, om vinteren er infiltrasjonskapasitet er 0 siden løsmasser er frosset, se side 65.

At overvann mengde for sommer- og vintersituasjon for 100 års regn uten klimatillegg og 10 års regn med klimatillegg er tilnærmet lik, kan bli en stor utfordring for nedbørsfeltet spesielt på bebyggelse områder om forandringene i klima forsetter i samme retning med intensitet økning.

Det er observert at gjennomsnittet av den totale mengden av overvann for sommer- og vintersituasjon i utløpet er omtrent lik den totale mengden av overvann som er beregnet via NVE sitt automatiske kartverktøy for 100- og 10 års regn uten klimatillegg, se vedlegg F. For 10 års regn er gjennomsnittet av den totale mengden av overvann lavere med ca. 4 % enn det den er beregnet via NVE. Mens den er lavere med ca. 21 % for 100 års regn. Dette skyldes at NVEs kartverktøy tar hensyn til alle de hydrologiske faktorene. Det menes at NVE beregner all vann som ledes bort til utløpet uansett om vannet renner over eller under terreng overflate.



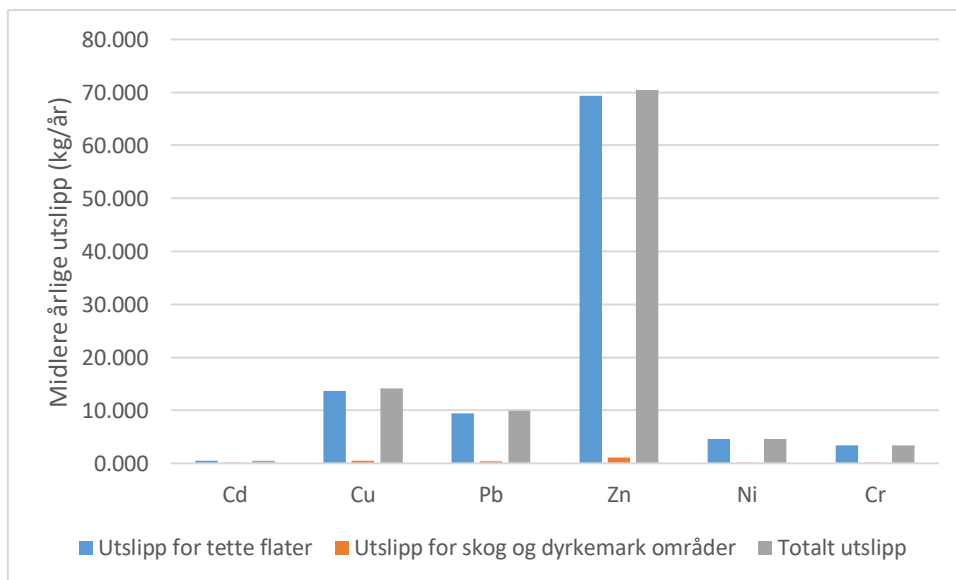
Figur 38: Sammenligning mellom sommer- og vintersituasjon på den totale mengden av overvann fra simuleringer.

5.2 Utslipp av tungmetaller

Tabell 19 viser at meste parten av tungmetaller kommer fra tette flater. Dette stemmer med alle forsknings resultater (Oddvar Lindholm 2015). Skog og dyrket mark bidrar til relativt lav utslipp av tungmetaller.

Tabell 19: Beregnet midlere årlige utslipp av tungmetaller i utløpet fra hele nedbørsfeltet.

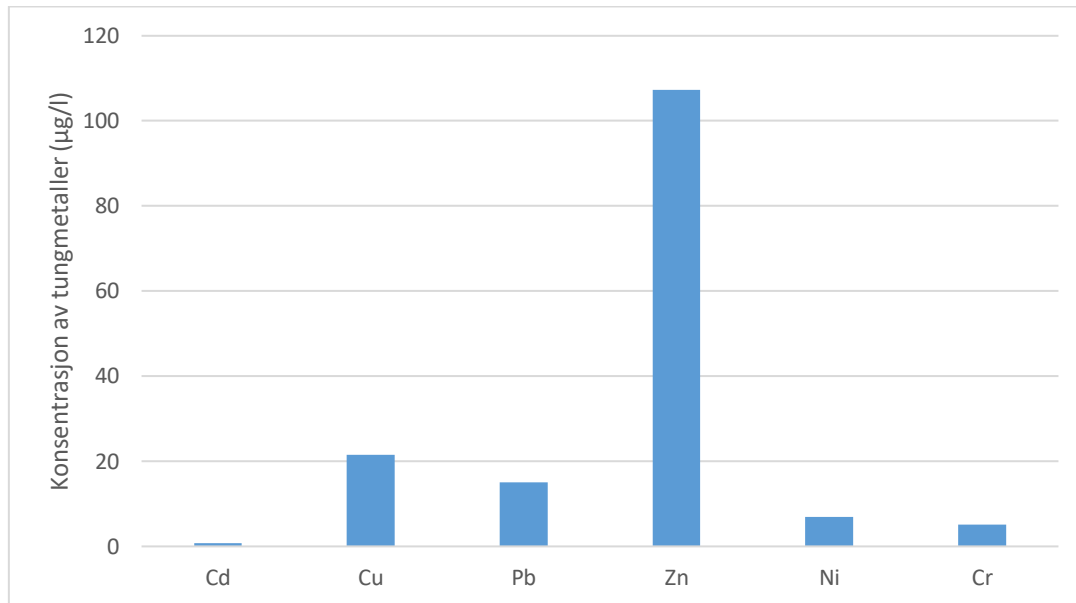
		Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr
Midlere årlige utslipp (kg/år)	For tette flater	0.461	13.68	9.431	69.33	4.557	3.357
	For skog og dyrket mark	0.013	0.492	0.430	1.058	0.034	0.038
	Totalt utslipp	0.474	14.171	9.862	70.391	4.591	3.394



Figur 39: Beregnet midlere årlige utslipp av tungmetaller for hele nedbørsfeltet.

Basert på klassifikasjon av konsentrasjoner av tungmetall som er gjort via Lindholm 2004 viser figuren 40 at konsentrasjonen av tungmetaller er lav for krom og nikkel og medium for Kobber, zink, bly og kadmium i utløpet. Funn fra studien til Wang (2017) viste at hovedkilden til krom og nikkel var naturen. Siden at naturen i nedbørsfeltet bidrar til en liten andel av tungmetall utslipp har krom og nikkel lav konsentrasjon i utløpet. Mens på samme studie er

det funnet at hovedkilde for resten av tungmetallene er tette flater (tak og veier). Derfor viser resultater at andel av konsentrasjoner for dem har økt til medium nivå i utløpet.



Figur 40: Beregnet konsentrasjon av tungmetaller i (µg/l i forhold til middel vannføring) i utløpet.

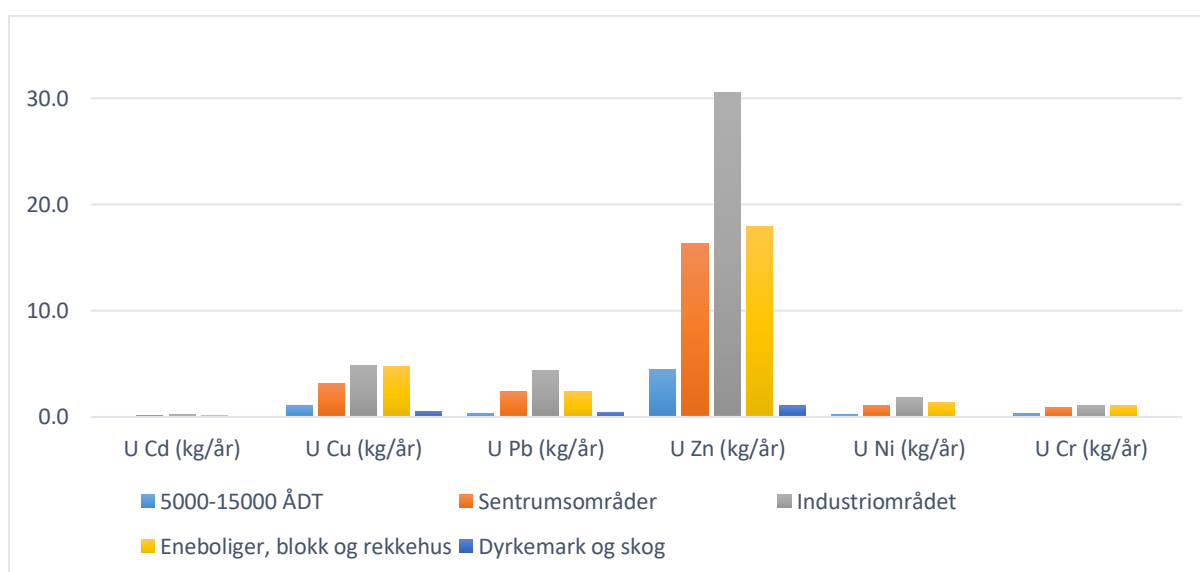
Utslippsberegninger basert på de ulike arealtypene er vist i tabell 20. Eneboliger, blokk og rekkehus har omtrent samme egenskaper, og utslipp fra de områdene kommer fra små veier og tak. Delarealene som er brukt i beregning hadde noen ganger de tre arealtypene samtidig i et delareal. Derfor er de arealtypene (eneboliger, blokk og rekkehus) samlet i et felt i tabell 20. Og derfor nærmer utslippsverdiene for dette feltet verdiene til sentrum- og industrifeltet i tabellen.

Hele nedbørsfeltet bidrar til utslipp av Zn ca. 70 kg/år, fordi dette metallet finnes i alle areal typer. Vi mener at den har flere forskjellige kilder (vei-, bolig-, industri- og sentrumsområder), se side 34.

Resultatene viser at utslippsberegningene er sterkt avhengig av den totale summen tette flater for utløpet. Det største utslippene av miljøgifter, blant annet tungmetaller i overvann fra tette flater i utløpet, er fra arealtypene industri og sentrumsområder.

Tabell 20: Beregnet midlere årlige utslipp av tungmetaller fra ulike områder.

	Utslipp for Cd (kg/år)	Utslipp for Cu (kg/år)	Utslipp for Pb (kg/år)	Utslipp for Zn (kg/år)	Utslipp for Ni (kg/år)	Utslipp for Cr (kg/år)
5000-15000 ÅDT	0.010	1.049	0.341	4.470	0.218	0.300
Sentrumsområder	0.116	3.107	2.352	16.371	1.101	0.876
Industriområdet	0.218	4.801	4.365	30.553	1.855	1.091
Eneboliger, blokk og rekkehus	0.117	4.722	2.374	17.938	1.383	1.090
Dyrket mark og skog	0.013	0.492	0.430	1.058	0.034	0.038
Totalt fra tette flater	0.474	14.171	9.862	70.391	4.591	3.394



Figur 41: Beregnet midlere årlige utslipp av tungmetaller parametere for ulike arealer.

5.3 Kalibrering

Det var stor utfordring å finne data som referanse for å kalibrere modellen ettersom kommunen ikke har noen data om overflateavrenning i utløpet til nedbørsfeltet. Derfor er det valgt data fra rasjonell metode som referanse data.

Nedenfor er det diskutert noen av rasjonell formels parametere.

5.3.1 Areal

Usikkerhet i den rasjonelle formelen kan ha oppstått fordi den rasjonelle formelen ikke bør anvendes på felt med et areal større enn 50 hektar ifølge Ødegaard (2014). Likevel kan den

brukes på felt med et areal som opptil 500 hektar ifølge Staten vegvesen (2014). Det er inndelt nedbørsfelts areal 654 ha til tre felt (109, 291 og 254 ha).

5.3.2 Konsentrasjonstid

Det var tre konsentrasjonstider etter at nedbørsfeltet ble inndelt til tre felt. Alle de konsentrasjonstidene baserer seg på strømningshastighet i rør og kanaler. Noen vil beregne strømningshastighet ved å benytte Colebrooks formel, men til det trenges blant annet Reynolds tall. Derfor ble det anvendt en strømningshastighet på 0,8 m/s. Dette er muligens noe lavt grunnet liten helning i nedbørsfeltet. Men i allikevel er den en vanlig verdi ifølge Ødegaard (2014). Det er benyttet tilrenningstid på 10 minutter, som er en normal verdi basert på Ødegaard (2014). Dette var kanskje noe høyt grunnet liten terrengfall i området. Siden felt 3, som er skog området, ikke har noen kanaler eller overvannsledninger, ble det benyttet formel 3 for å beregne konsentrasjonstid. Dette var eneste mulighet for å beregne den i felt 3.

5.3.3 Avrenningskoeffisienter C

Fastsettelse av avrenningskoeffisienter har stor usikkerhet. Det er valgt C på 2,5 % i skog området, 20 og 40 % på bebyggelse området. De verdiene er som representerer virkeligheten og de stemmer med verdiene i tabell 3. Avrenningskoeffisient for skog området var kanskje noe lavt, men dette på grunn av at avrenningsfaktoren ikke tar hensyn til infiltrasjonsevne, gropmagsinering og overflateruhet. I tillegg er terrengfall i nedbørsfeltet liten.

5.4 Oppbygging av modell

5.4.1 Oppbygging av kummer og kanaler

Alle høyder på kummer med manglende høyder og dybder burde vært målt med GPS for mer nøyaktighet på resultater. Kanaldybder burde også vært målt med GPS.

5.4.2 Impermeabilitet

Ullensaker kommune har stilt et krav til tilkobling av takvann i de siste årene. Man kobler ikke takvann på overvannsnett. Kommunen vet ikke prosenten av boliger og bygninger som er frakoblet av systemet. Det ble derfor benyttet hele tette flater, som er målt, som % impermeabilitet i modellen. Dette gir kanskje noe høyt resultater grunnet at det vil bli likestilt mellom modellen og referansedataen.

5.4.3 Infiltrasjonskapasitet

Infiltrasjonskapasitet er høy i nedbørsfeltet. Den maksimale verdien var på 127 mm/time og den minste verdien var på 120,4 mm/time ifølge SWMM Brukerveiledning Versjon 5.1. Det

burde vært gjort flere prøver i forskjellige områder i nedbørsfeltet for å vite hydraulisk ledningsevne, K for å nærme oss av virkelighets situasjon.

5.4.4 Grunnvanns modellering

Grunnvannet modelleres ikke i modellen. Det menes at bidraget fra grunnvann er uvesentlig gjennom regnperioden. Det vil si at grunnvannet virker som et magasin og slipper vannet over lengere tid.

5.5 Konstruksjon av regnhyetogram

Ifølge Ødegaard (2014) må regnvarighet være lik eller større enn konsentrasjonstid. Regnvarighet er valgt å være på 400 minutter. Dette tallet er større enn den maksimale konsentrasjonstiden i konsentrasjonstider som er brukt i de tre feltene. Grunnet til dette var at man vil sørge for at hele regnet har nok tid for å komme til utløpet. Dette handler om den tiden som en dråpe tar fra at den faller ned på terrenget til at den ankommer til utløpet av feltet. Da vi har kjørt modellen med 90- og 400 minutters regnvarighet, var den totale mengden av over vann med 90 minutters regnvarighet 215 l/s mindre enn det den var 400 minutters regnvarighet.

5.6 Dagens situasjon

I denne oppgaven er det tatt utgangspunktet at området, Jessheim, er definert som boligområdet, om dette er riktig er uklart, fordi området inneholder flere forskjellige typer av bygninger. Dette fører til dimensjonerende gjentakintervall blir 10 år og i stor sett blir dette gjentakintervallet gyldig for dagens situasjon.

5.7 Konsentrasjon av tungmetaller i overvann

I metoden, som er brukt for beregning av tungmetaller i oppgaven, er det brukt konsentrasjoner som er klassifisert etter arealtype, tabell 9. For mer nøyaktighet burde ha brukt konsentrasjoner som er klassifisert etter overflate type, tabell 10. Men dette krever svært detaljert analyse i området.

Det er brukt den teoretiske metoden for å beregne midlere årlige utslipp av tungmetaller gjennom å finne avrent mengde overvann per år (m^3/s). Fordi denne metoden avhenger av andel deltagende tette flater, som er andel av tette flater prosent av totalt areal. Om den hadde blitt benyttet mengde av overvann, som er funnet via modellen i utløpet, ville tungmetaller konsentrasjons redusert på grunn av stor fortykning som ville forekomme.

Mengde av tungmetaller avhenger av middel vannføring. Tungmetaller mengde er beregnet manuelt fordi modell som er bygget gir den totale mengden av overvann og ikke middel vannføring. Hvis det blir etablert et målepunkt i utløpet, kan modellen kalibreres for et bestemt år og dermed får vi middel vannføring for dette året i modellen.

6 Konklusjoner og anbefalinger

6.1 Konklusjon

Simulerings resultater for sommersituasjon viser at den maksimale mengden av overvann i utløpet er 2878 l/s i dagens situasjon uten klimatillegg og 3886 l/s med klimatillegg. Dette betyr at den totale mengden av overvann blir ca. 35 % høyere med klimaendringer.

Den totale mengden av overvann er lik 7265 l/s i dagens situasjon uten klimatillegg og 9069 l/s med klimatillegg for vintersituasjon. Dette betyr at den totale mengden av overvann blir ca. 25 % høyere med klimaendringer.

Resultater viser også at de totale mengdene av overvann for vintersituasjon er nesten dobbelt så stor som de totale mengdene av overvann for sommersituasjon for alle nedbørsituasjonene som er kjørt i modellen.

At snøsmelting, frossen mark og regn inntreffer om vinteren på samme tidspunkt har lav sannsynlighet. Middelttemperaturen vil øke og dermed blir det mindre frossen mark som fører til mindre overflateavrenning. Forskning i Oslo og Akershus viser at om vinteren vil nedbør komme i form av regn.

Resultater viser at mesteparten av tungmetaller kommer fra tette flater. Særlig fra veier og tak. Beregnet utslipp av tungmetaller fra nedbørsfeltet for Cd, Cu, Pb, Zn, Ni og Cr er henholdsvis 0.47, 14.2, 9.9, 70.4, 4.6 og 3.4 kg/år. De største utslippene av miljøgifter, blant annet tungmetaller er fra tette flater i industri og sentrumsområder.

6.2 Anbefaling videre arbeid

I oppgaven er det simulert maksimal vannføring i flere avrenningssituasjoner og regnhendelser gjennom modellen, og beregnet utslipp av tungmetaller manuelt.

Referansedata i oppgaven ble etablert ved hjelp av den rasjonelle metoden og dette medfører usikkerhet. Det anbefales å etablere et målepunkt i utløpet av feltet for å måle overvannsavrenning slik at modellen kan kalibreres i forhold til de målte dataene og sammenlignes med noen viktige regnhendelser for å nærme oss virkeligheten og dermed få både totale og midlere mengder av overvannsavrenning.

Med hensyn på mulighetene for å modellere forurensninger i overvannet i utløpet av modellen så vil dette målepunktet også medføre at dette da kan gjøres for både totale og midlere mengder av overvannsavrenning, samt konsentrasjoner av tungmetaller.

I den siste tiden har lokal overvannshåndtering vært et aktuelt tema for å redusere mengde av overvann som tilføres til resipienter. I denne oppgaven er det ikke sett på effekt av LOD løsning. Framtidig arbeid bør vurdere LOD- løsninger og kvantitative og kvalitative effekter.

7 Referanser

- Ahmad, Z. U., Sakib, S. & Gang, D. D. (2016). Nonpoint Source Pollution. *Water Environment Research*, 88 (10): 1594-1619.
- Brown, J. N. & Peake, B. M. (2006). Sources of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban stormwater runoff. *Science of the total environment*, 359 (1): 145-155.
- Chen, L., Gong, Y. & Shen, Z. (2015). A comprehensive evaluation of input data-induced uncertainty in nonpoint source pollution modeling. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 12: 11421-11447.
- Davis, A. P., Shokouhian, M. & Ni, S. B. (2001). Loading estimates of lead, copper, cadmium, and zinc in urban runoff from specific sources. *Chemosphere*, 44 (5): 997-1009.
- Devi, P. & Saroha, A. K. (2014). Risk analysis of pyrolyzed biochar made from paper mill effluent treatment plant sludge for bioavailability and eco-toxicity of heavy metals. *Bioresource technology*, 162: 308-315.
- Dvergsnes, E. & Lindholm, O. (2016). *Analyse av overvannsnett i Ås sentrum ved bruk av simuleringsprogrammet SWMM ; Analysis of the stormwater network in the center of Ås using the simulation program SWMM*: Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- Eirik Førland, Josein Mamen, Anita V.Dyrddal, Lars Grinde & Myrabø., S. (2015). Dimensjonerende korttidsnedbør. *Norges vassdrags- og energidirektorat*.
- Fergus, T., Hoseth, K. & Sæterbø, E. (2010). *Vassdragshåndboka: håndbok i vassdragsteknikk. Ny rev. utg. Trondheim: Tapir akademisk forl.*
- GIS link. *Geografiske informasjonssystemer – kart*. Tilgjengelig fra: <http://www.gislink.no/HTML5/> (lest 25.03.17).
- Grønvold, S. E. H. & Thorolfsson, S. T. (2015). *Forurensninger i overvann og datasimuleringer av first flush - Modellering av forurensningskonsentrasjoner i overvann gjennom en nedbørshendelse*: NTNU.
- Göbel, P., Dierkes, C. & Coldewey, W. (2007). Storm water runoff concentration matrix for urban areas. *Journal of contaminant hydrology*, 91 (1): 26-42.

- Halvor saunes, S. Å. (2014). Beregning av forurensning i overvann fra tette flater i Glomma vannregion: COWI.
- Hanssen-Bauer, I. (2015). *Klima i Norge 2100 : kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert 2015*, b. 2015:2. Oslo: Norsk klimaservicesenter.
- Hvitved-Jacobsen, T., Vollertsen, J. & Nielsen, A. H. (2010). Urban and highway stormwater pollution. *Taylor Francis Group, Boca Raton, USA*.
- Jensen, P. D., Jonasson, S. A. & Heistad, A. (2006). *Naturbasert rensing av avløpsvann*, b. Nr 2006-20. Stockholm: VA-Forsk, Svenskt Vatten AB.
- Kroglund, T. & Håvardstun, J. (2011). Forurensningsbudsjett for utvalgte forbindelser i Hannevika, Kristiansandsfjorden.
- Li, J., Li, Y. & Li, Y. (2016). SWMM-based evaluation of the effect of rain gardens on urbanized areas. *Environmental Earth Sciences*, 75 (1): 17.
- Lindholm, O. (2004). Miljøgifter i overvann fra tette flater.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S. & Jakobsen, G. (2008). *og Aaby L.(2008): Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*: Norsk Vann-rapport.
- Lindholm, O., Endresen, S., Smith, B. T. & Thorolfsson, S. (2012). Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem. *Norsk vann*, 193-2012: 126.
- Lloyd-Davies, D. E., Jones, A. & Travis, W. (1906). *The elimination of storm-water from sewerage systems*: Inst.[of Civil Eng.].
- Markus, M., Angel, J., Byard, G., Zhang, C., Zaloudek, Z. & McConkey, S. (2016). Communicating the Impacts of Potential Future Climate Change on the Expected Frequency of Extreme Rainfall Events in Cook County, Illinois.
- Meteorologisk institutt. (2017). *Vær og klima*. Tilgjengelig fra: <https://www.met.no/vaer-og-klima/det-blir-vatere> (lest 15.04.17).
- Miljolare. *Verktøy for opplæring i bærekraftig utvikling*. Tilgjengelig fra: <https://www.miljolare.no/tema/naturomrader/artikler/jordsmonntyper.php> (lest 31.03.2017).
- Norges Geologiske Undersøkelse. (2015). *Løsmasser: Nasjonal løsmassedatabase*. Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/> (lest 29.03.2017).
- Norges offentlige utredninger. (2015). Overvann i byer og tettsteder som problem og ressurs.

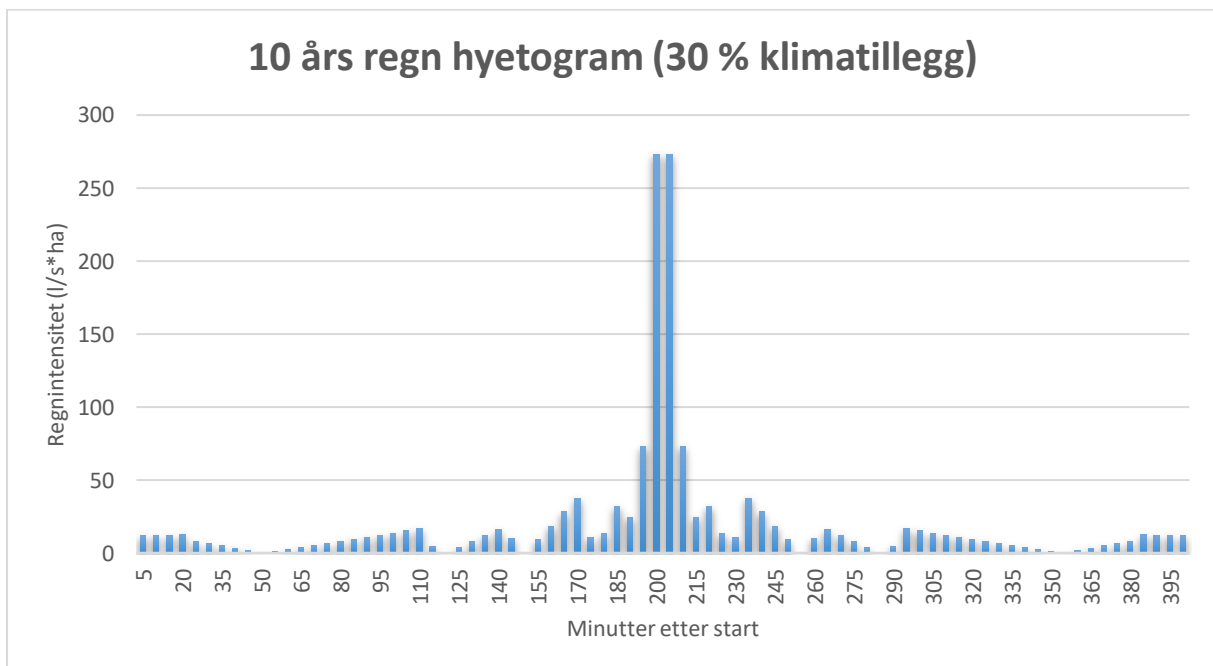
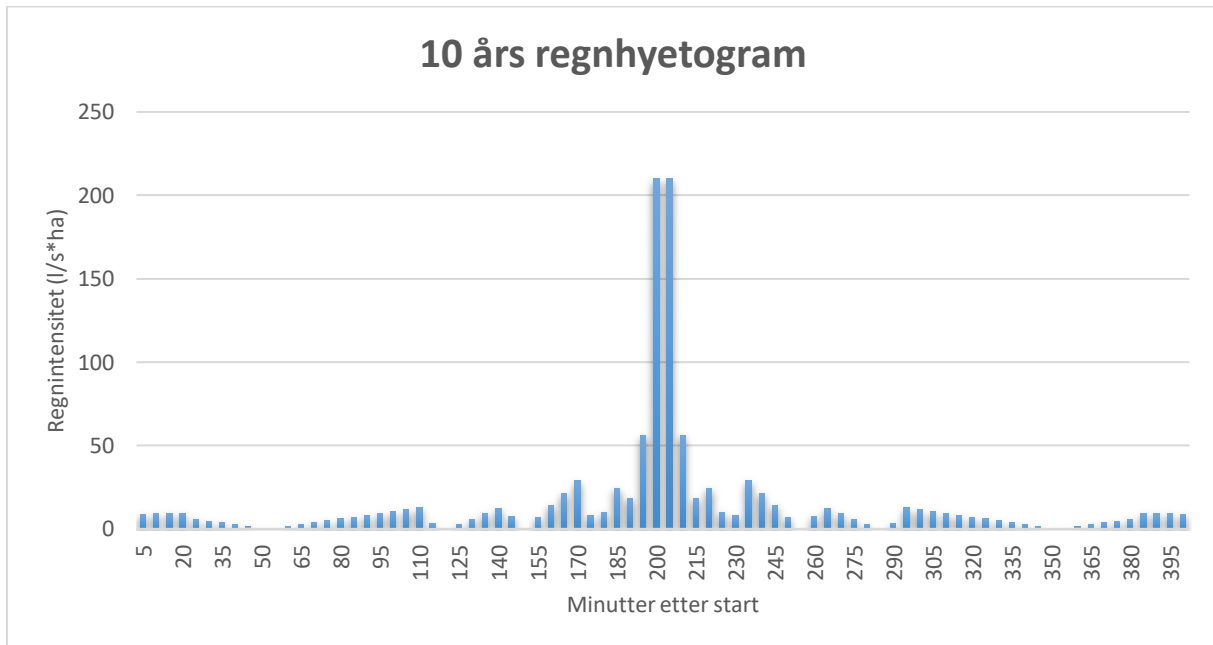
- Norges Vassdrags og Energidirektoratet. *NEVINA Nedbørfelt-Vannføring-INdeks-Analyse*.
Tilgjengelig fra: <http://nevina.nve.no/> (lest 01.03.17).
- Norsk klimaservicesenter. (2017a). Tilgjengelig fra:
[https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/article.xhtml?uri=klimaservicesenteret/Kli
manormaler](https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/article.xhtml?uri=klimaservicesenteret/Kli
manormaler), (lest 20.03.2017).
- Norsk klimaservicesenter. (2017b). Klimaprofil i Oslo og Akershus Et kunnskapsgrunnlag for
klimatilpasning. (25.03.17).
- Oddvar Lindholm. (2015). Beregning av utslipp av miljøgifter til vannforekomster. *Miljø
Blad*.
- Reddy, K. R., Xie, T. & Dastgheibi, S. (2014). Removal of heavy metals from urban
stormwater runoff using different filter materials. *Journal of Environmental Chemical
Engineering*, 2 (1): 282-292.
- Roar A Grønlund Magnussen. (2015). Gjennomgang av avrenningsfaktorer: COWI. 18 s.
- Rossman, L. (2015). Storm water management model reference manual: volume I–hydrology.
*US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National
Risk Management Laboratory, Cincinnati, OH, 45268*.
- Rossman, L. A. (2015). Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1. 353.
- Staten vegvesen. (2014). *Håndbok N200 Vegbygging*.
- Statistisk sentralbyrå. (2016). Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/befytt>. (lest 16.02.2017).
- Store norske leksikon. (2017). *klima og Klimaendringer*. Tilgjengelig fra:
<https://snl.no/klimaendringer> (lest 01.04.17).
- Systems Engineering Guide. (2007). *Verification and Validation of Simulation Models*.
Tilgjengelig fra: [https://www.mitre.org/publications/systems-engineering-guide/se-
lifecycle-building-blocks/other-se-lifecycle-building-blocks-articles/verification-and-
validation-of-simulation-models](https://www.mitre.org/publications/systems-engineering-guide/se-
lifecycle-building-blocks/other-se-lifecycle-building-blocks-articles/verification-and-
validation-of-simulation-models) (lest 01.04.2017).
- Tay, H. & Afshar, N. R. (2014). EVALUATION OF RUNOFF COEFFICIENT
(SAMARAHAN BASIN). *International Engineering Conference, Energy and
Environment (ENCON 2014)*.
- Ullensaker kommune. (2015a). Hovedplan for avløp og vannmiljø 2015 - 2025. 67.
- Ullensaker kommune. (2015b). Kommuneplan for Ullensaker 2015-2030. 27.

- Vann Norsk. (2008). Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. *Rapport*, 162.
- Wang, Y.-y., Wen, A.-b., Guo, J., Shi, Z.-l. & Yan, D.-c. (2017). Spatial distribution, sources and ecological risk assessment of heavy metals in Shenjia River watershed of the Three Gorges Reservoir Area. *Journal of Mountain Science*, 14 (2): 325-335.
- Wang, Y., Shi, J., Wang, H., Lin, Q., Chen, X. & Chen, Y. (2007). The influence of soil heavy metals pollution on soil microbial biomass, enzyme activity, and community composition near a copper smelter. *Ecotoxicology and environmental safety*, 67 (1): 75-81.
- Yr. *Meteorologisk institutt*. Norge. Tilgjengelig fra:
<https://www.yr.no/sted/Norge/Akershus/Ullensaker/Jessheim/almanakk.html> (lest 30.03.17).
- Ødegaard, H., Norheim, B. & Norsk Vann, B. A. (2014). *Vann- og avløpsteknikk*. 2. utg. utg. VA-teknikk. Hamar: Norsk vann.
- Øygarden, L. (2003). Rill and gully development during an extreme winter runoff event in Norway. *Catena*, 50 (2): 217-242.

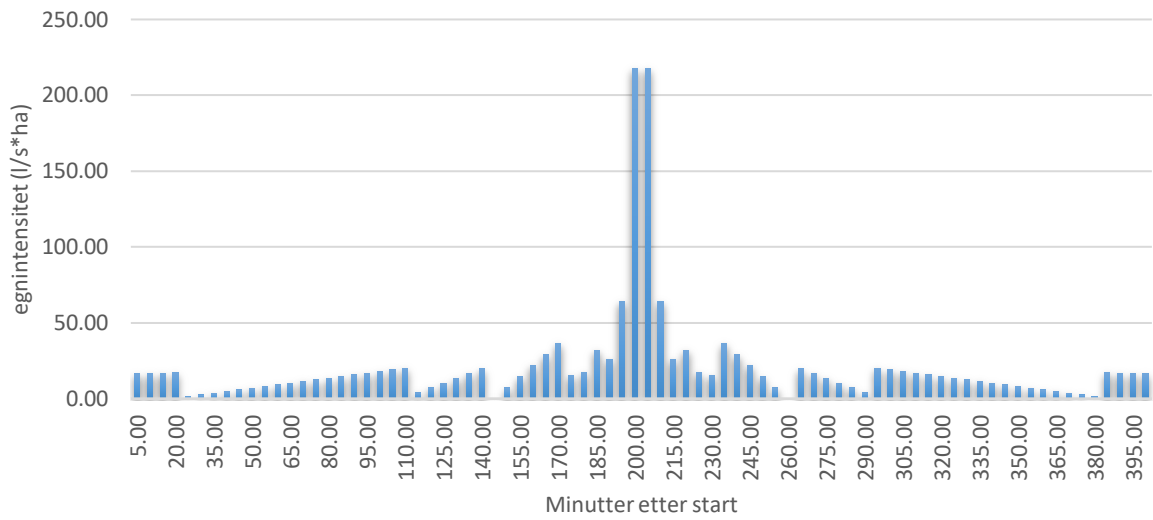
Vedlegg A

Symmetriske regnhyetogrammer

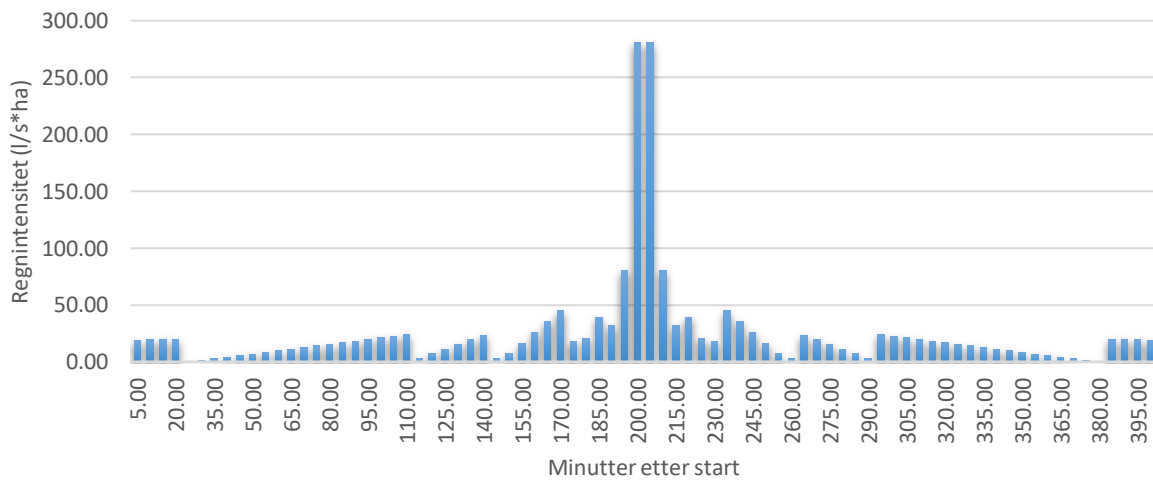
10 års regn, 400 minutters varighet



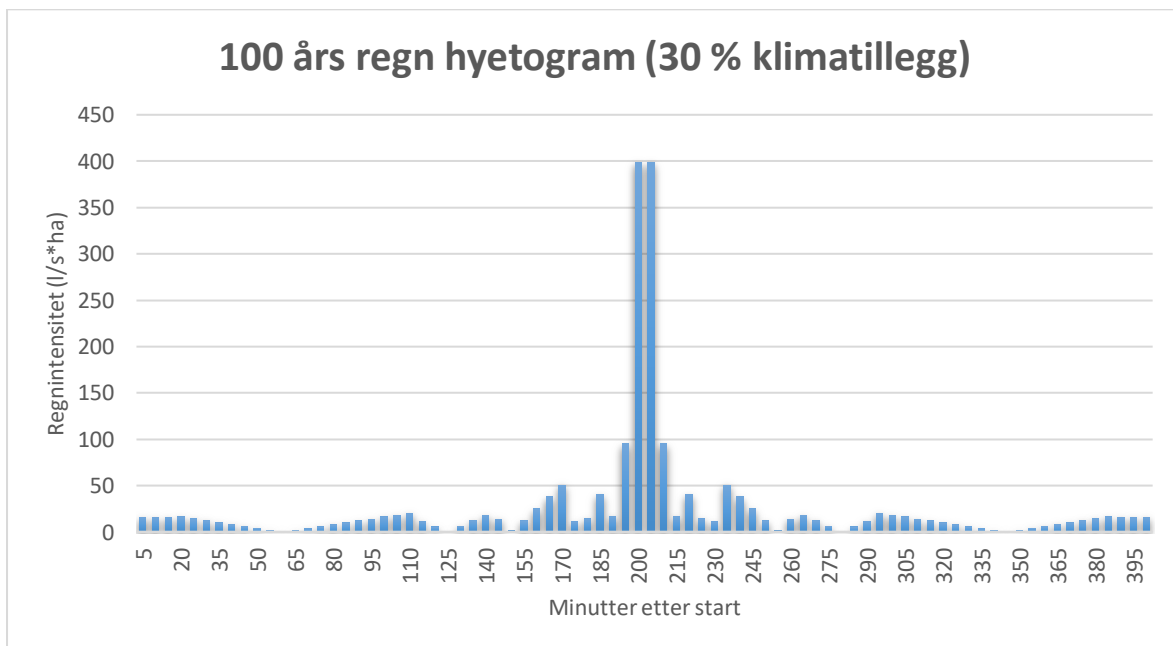
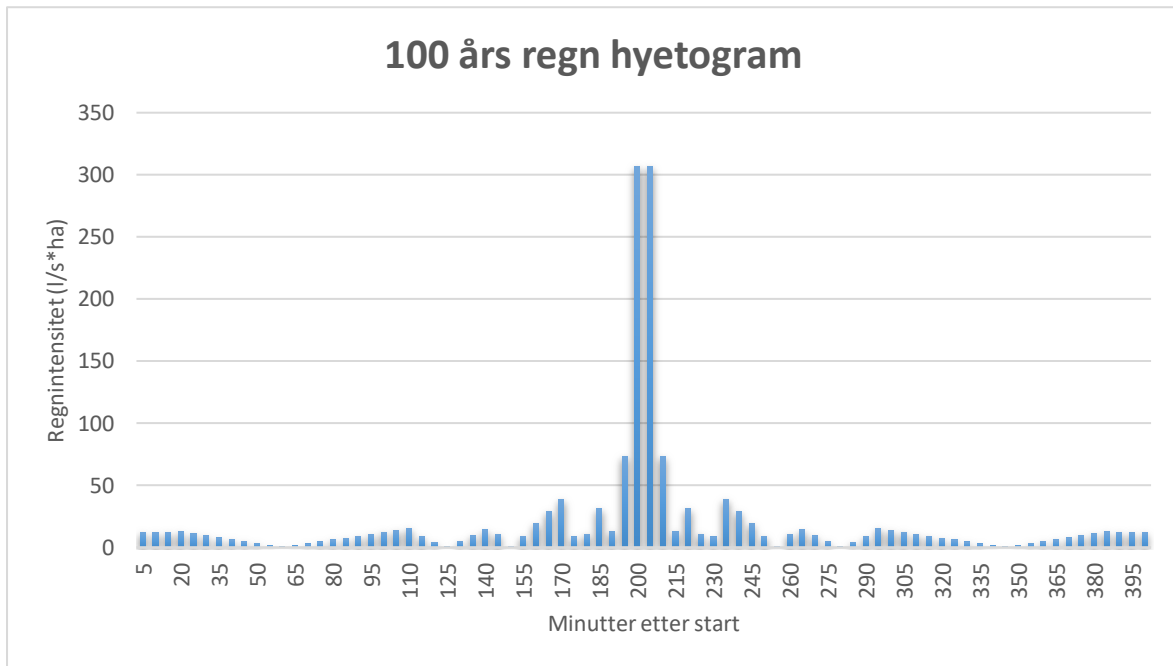
10 års hyetogram (snøsmelting)



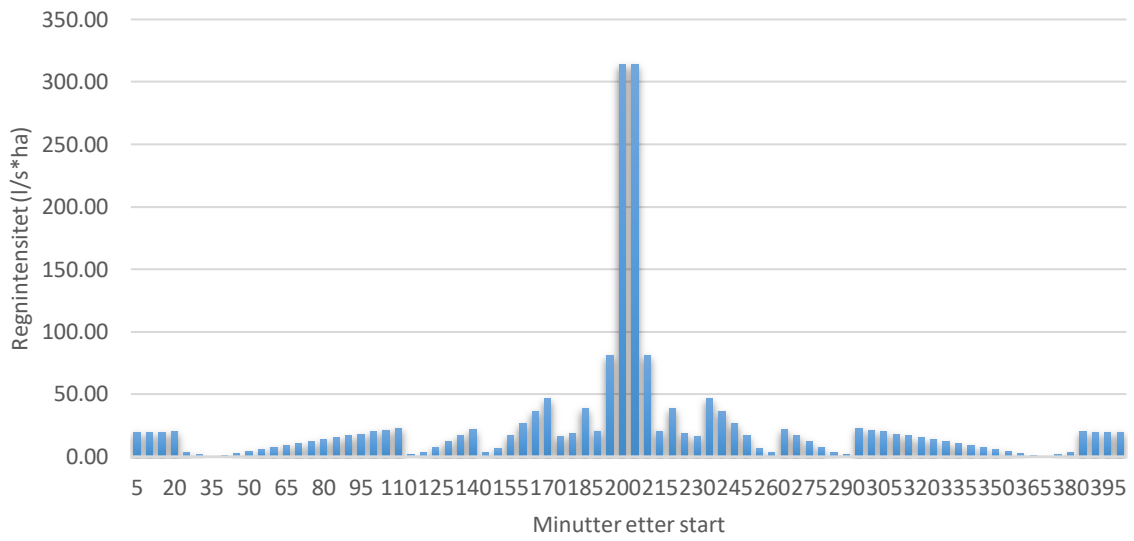
10 års regn hyetogram (30 % klimatillegg, snøsmelting)



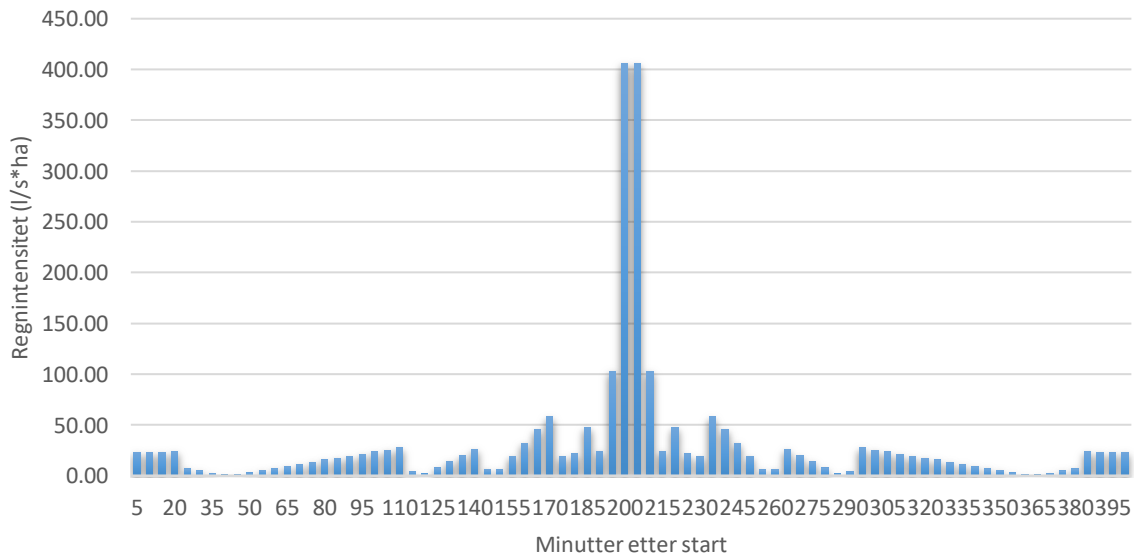
100 års regn, 400 minutters varighet



100 års regn hyetogram (snøsmelting)



100 års regn hyetogram (30 % klimatillegg, snøsmelting)



Vedlegg B

Tabell 21: Ruhet for permeable flater

Manning' s tall n for permeable og tette flater	
Overflate type	n
Kort gress	0.15
Tett gress	0.24
Tett buskas og skog søppel	0.40
Bermuda gress	0.41
Glatt asfalt	0.011
Glatt betong	0.012
Vanlig betong	0.013
Leire eller myr	0.015
Sement steinsprut overflaten	0.024
Dyrkede jord	(0.06-0.17)
Brakk jord	0.05
For åpne kanaler – Utgravd eller mudret Jorden, svingete, ganske ensartet	0.04

Tabell 22: Grop-magasin i mm for permeable og tette flater

Grop-magasin i mm for permeable og tette flater	
Tette flater	1.27 -2.54 mm
Plener	2.54 - 5.08 mm
Beitemark	5.08 mm
Skog	7.62 mm

Tabell 23: Ruhet i rør

Ruhet i rør	
Betong monolittisk	
- Glatt	0.012 - 0.014
- Ru	0.015 - 0.017
Betong rør	0.011 - 0.015

Asbestsement rør	0.011 - 0.015
Plastrør (glatt)	0.011 - 0.015

Tabell 24: Minimum infiltrasjon ved ulike jordstrukturer

Jordtype	Minimum infiltrasjonsrate [in/t] = Mettet hydraulisk ledningsevne, K	Minimum infiltrasjonsrate [mm/t] = Mettet hydraulisk ledningsevne, K
Sand	4.74	120.4
Siltig sand	1.18	30
Sandig leire	0.43	10.9
Lett leire	0.13	3.3
Sandig mellomleire	0.26	6.6
Mellomleire	0.06	1.5
Leire	0.01	0.25
Siltig leire	0.02	0.5
Sandig leire	0.02	0.5

Tabell 25: Maksimal infiltrasjonsrate ved ulike grad av fuktighet

	Maks. infiltrasjon						
	A	B	C. fuktig jord				
	Tørr jord (med lite eller ingen vegetasjon) mm/t	Tørr jord (med mye eller tett vegetasjon) mm/t	Fuktig jord der jorden har drenert men ikke tørket ut ved lite eller ingen vegetasjon mm/t	Fuktig jord der jorden har drenert men ikke tørket ut ved tett vegetasjon mm/t	Fuktig jord opp mot metning	Fuktig jord som nesten har tørket ut med lite eller ingen vegetasjon	Fuktig jord som nesten har tørket ut med lite eller ingen vegetasjon
Sandjord	127	254	42.33	84.67	Min infiltrasjon	TØRR løsmasse A /[1.5-2.5]	TØRR løsmasse B /[1.5-2.5]
Mellomleire	76.2	152.4	25.40	50.80	Min infiltrasjon	TØRR løsmasse A /[1.5-2.5]	TØRR løsmasse B /[1.5-2.5]
Leire	25.4	50.8	8.47	16.93	Min infiltrasjon	TØRR løsmasse A /[1.5-2.5]	TØRR løsmasse B /[1.5-2.5]

Tabell 26: Tørketid for jord og avtakings konstant for Horton kurven.

Tørketid (dager)	Avtakings konstant, c	Maksimalt infiltrasjonsvolum (mm)
2-14	2-7	0 hvis ikke brukt

(Rossman, L. A. 2015)

Vedlegg C

Oversikt over delarealer parametere

SA-ID		Areal (ha)	Width (m)	Helning	Impermeable		Permeable	
				(%)	%	N- verdi	%	N-verdi
SA1		0.78	31	2.3	93	0.011	7	0.15
SA2		2.77	278	4.0	94	0.011	6	0.15
SA3		2.27	232	4.1	100	0.011	0.00	0.15
SA4		5.09	449	3.5	42	0.011	58.37	0.15
SA5		13.66	1124	4.9	19	0.011	77.00	0.15
SA6		22.03	573	0.8	44	0.011	55.98	0.15
SA7		3.71	252	0.7	81	0.011	19	0.15
SA8		13.30	571	0.01	91	0.011	0.09	0.15
SA9		6.38	285	2.2	46	0.011	54.00	0.15
SA10		3.66	819	4.5	22	0.011	78.35	0.15
SA11		10.95	471	0.6	31	0.011	68.62	0.15
SA12		8.06	294	0.4	26	0.011	73.92	0.15
SA13		1.90	103	0.5	11	0.011	89.19	0.24
SA14		1.91	72	0.4	0	0.011	100.00	0.30
SA15		9.50	383	0.4	27	0.011	72.81	0.15
SA16		11.10	258	0.3	24	0.011	75.65	0.15
SA17		12.55	267	0.2	24	0.011	75.83	0.15
SA18		26.62	425	0.2	80	0.011	20.40	0.20
SA19		31.59	536	0.3	25	0.011	74.68	0.15
SA20		14.21	686	0.7	28	0.011	71.97	0.15
SA21		2.84	615	3.3	0	0.011	0.00	0.015
SA22		4.38	415	1.9	30	0.011	70.00	0.15
SA23		1.75	488	8.4	0	0.011	100.00	0.40
SA24		8.34	200	1.3	38	0.011	0.62	0.15
SA25		5.21	301	0.002	25	0.011	0.75	0.15
SA26		24.03	785	0.3	3	0.011	94.37	0.10
SA27		5.67	1315	4.5	0	0.011	100.00	0.24
SA28		17.53	482	0.3	40	0.011	33.48	0.15

SA29		12.23	624	0.6	0	0.011	100.00	0.24
SA30		13.53	360	0.3	0	0.011	100.00	0.24
SA31		14.08	761	0.4	0	0.011	100.00	0.24
SA32		7.36	278	0.3	39	0.012	61.11	0.15
SA33		19.91	410	0.2	0	0.011	100.00	0.24
SA34		17.62	476	0.3	0	0.011	100.00	0.40
SA35		21.35	544	0.5	0	0.011	100.00	0.24
SA36		14.90	352	0.3	0	0.011	100.00	0.24
SA37		20.20	420	0.3	0	0.011	100.00	0.24
SA38		12.04	286	0.1	0	0.011	100.00	0.40
SA39		20.01	361	0.4	0	0.011	100.00	0.40
SA40		12.19	254	0.3	0	0.011	100.00	0.40
SA41		13.40	274	0.3	0	0.011	100.00	0.40
SA42		15.10	314	0.3	0	0.011	100.00	0.40
SA43		24.75	295	0.4	0	0.011	100.00	0.10
SA44		9.79	223	0.5	0	0.011	100.00	0.24
SA45		16.28	1158	0.6	0	0.011	100.00	0.24
SA46		23.72	269	0.3	0	0.011	100.00	0.24
SA47		7.94	800	1.3	0	0.011	100.00	0.24
SA48		18.55	338	0.4	0	0.011	100.00	0.24
SA49		9.63	1116	1.7	0	0.011	100.00	0.24
SA50		8.70	296	0.3	0	0.011	100.00	0.24
SA51		1.39	139	2.0	30	0.011	69.99	0.15
SA52		1.13	134	3.6	20	0.011	79.80	0.15
SA53		0.66	66	0.6	0	0.011	0.00	0.015
SA54		3.33	431	1.9	0	0.011	100.00	0.40
SA55		1.11	108	1.0	0	0.011	100.00	0.40
SA56		3.77	552	5.1	0	0.011	100.00	0.40
SA57		1.20	468	7.8	0	0.011	100.00	0.02
SA58		2.06	617	7.5	0	0.011	100.00	0.40
SA59		2.33	223	1.0	0	0.011	100.00	0.015
SA60		1.72	106	0.6	0	0.011	100.00	0.40
SA61		1.80	142	0.8	1	0.011	100.00	0.015

SA62		1.45	264	2.3	0	0.011	100.00	0.40
SA63		12.25	346	0.2	0	0.011	100.00	0.24
SA64		7.79	741	0.6		0.011	100.00	0.24
SA65		0.41	25	2.4	85	0.011	75.00	0.15
SA66		6.24	255	0.2	30	0.011	70.00	0.15

Vedlegg D

D1: Oversikt over delarealene parametere for å beregne årlig utslipp til tungmetaller

Delarealer	Delaraltype	Areal (m ²)	% av tette flater	a	Nedbør mm	Tap i nedbør mm	Q (m ³ /år)	Cd µg/l	Cu µg/l	Pb µg/l	Zn µg/l	Ni µg/l	Cr µg/l
SA1	5000-15000 ÅDT	7800	100	1.00	780	100	5304	0.4	38.5	12.5	164	8.0	11
SA2	Sentrumsområde	27706	94	0.90	780	100	15939	1.0	22.0	20.0	140	8.5	5
SA3	Sentrumsområde	22741	95	0.90	780	100	13222	1.0	22.0	20.0	140	8.5	5
SA4	5000-15000 ÅDT	3924	100	1.00	780	100	2668	0.4	38.5	12.5	164	8.0	11
	Eneboliger og blokk	47013	42	0.60	780	100	8056	0.6	20.0	12.5	80	7.5	8
SA5	5000-15000 ÅDT	2613	100	1.00	780	100	1777	0.4	38.5	12.5	164	8.0	11
	Eneboliger og sentrumom.	133961	21	0.70	780	100	13391	0.8	21.0	15.0	110	7.3	4.5
SA6	Eneboliger, blokk og rekkehus	220283	44	0.60	780	100	39545	0.6	25.0	12.3	88	7.3	7.3
SA7	5000-15000 ÅDT	2707	100	1.00	780	100	1841	0.4	38.5	12.5	164	8.0	11
	Sentrumsområde	34431	74	0.90	780	100	15593	1.0	22.0	20.0	140	8.5	5
SA8	Industriområdet	132968	92	0.90	780	100	74459	1.5	45.0	30.0	270	16.0	14
SA9	Eneboliger og sentrumsområde	63802	46	0.70	780	100	13970	0.8	21.0	15.0	110	7.3	4.5
SA10	Eneboliger	36641	22	0.55	780	100	3015	0.5	20.0	10.0	80	6.0	4
SA11	5000-15000 ÅDT	6242	100	1.00	780	100	4245	0.4	38.5	12.5	164	8.0	11
	Eneboliger	103306	27	0.55	780	100	10432	0.5	21.0	10.0	80	6.0	4
SA12	Eneboliger	80578	26	0.55	780	100	7835	0.5	21.0	10.0	80	6.0	4
SA15	Eneboliger	94956	27	0.55	780	100	9589	0.5	21.0	10.0	80	6.0	4
SA16	Eneboliger	110969	24	0.55	780	100	9961	0.5	21.0	10.0	80	6.0	4
SA17	Eneboliger	125503	24	0.55	780	100	11265	0.5	21.0	10.0	80	6.0	4
SA18	Industriområdet	265995	80	0.90	780	100	130231	1.5	45.0	30.0	270	16.0	14
SA19	Eneboliger	315908	25	0.58	780	100	31149	0.5	21.0	10.0	80	6.0	4
SA20	Eneboliger og Rekkehus	142136	28	0.58	780	100	15696	0.6	22.5	11.0	83	6.0	5
SA22	Eneboliger og Rekkehus	43800	30	0.58	780	100	5182	0.6	22.5	11.0	83	6.5	5
SA24	5000-15000 ÅDT	10210	100	1.00	780	100	6943	0.4	38.5	12.5	164	8.0	11
	Eneboliger	73176	29	0.55	780	100	7937	0.5	21.0	10.0	80	6.0	4
SA25	Eneboliger	52149	25	0.55	780	100	4876	0.5	21.0	10.0	80	6.0	4
SA28	Sentrumsområde og blokk	175300	66	0.80	780	100	62940	0.9	26.0	17.5	120	8.8	8.5
SA32	Rekkehus	73613	39	0.60	780	100	11713	0.6	25.0	12.0	85	7.0	6
SA51	Eneboliger og rekkehus	13940	30	0.58	780	100	1649	0.6	22.5	11.0	83	6.5	5
SA52	Eneboliger	11300	20	0.55	780	100	845	0.5	21.0	10.0	80	6.0	4

SA65	5000-15000 ÅDT	4100	100	1.00	780	100	2788	0.4	38.5	12.5	164	8.0	11
SA66	Eneboliger og rekkehus	62400	30	0.58	780	100	7383	0.6	22.5	11.0	83	6.5	5
SA13	Skog	18954	2.5	1.00	780	100	322	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA14	Skog	19094	2.5	1.00	780	100	325	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA21	Myr og skog	28370	2.5	1.00	780	100	482	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA23	Skog	17500	2.5	1.00	780	100	298	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA26	Dyrket mark og skog	240297	2.5	1.00	780	100	4085	0.2	10.0	7.5	17	0.5	0.8
SA27	Skog	56695	2.5	1.00	780	100	964	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA29	Skog	122333	2.5	1.00	780	100	2080	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA30	Skog	135270	2.5	1.00	780	100	2300	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA31	Skog	140847	2.5	1.00	780	100	2394	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA33	Skog	199083	2.5	1.00	780	100	3384	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA34	Skog	176212	2.5	1.00	780	100	2996	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA35	Skog	213461	2.5	1.00	780	100	3629	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA36	Skog	148956	2.5	1.00	780	100	2532	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA37	Skog	202024	2.5	1.00	780	100	3434	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA38	Skog	120405	2.5	1.00	780	100	2047	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA39	Skog	200093	2.5	1.00	780	100	3402	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA40	Skog	121863	2.5	1.00	780	100	2072	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA41	Skog	133997	2.5	1.00	780	100	2278	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA42	Skog	151018	2.5	1.00	780	100	2567	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA43	Dyrket mark	247522	2.5	1.00	780	100	4208	0.1	14.0	9.0	20	0.5	1.0
SA44	Skog	97918	2.5	1.00	780	100	1665	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA45	Skog	162840	2.5	1.00	780	100	2768	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA46	Skog	237228	2.5	1.00	780	100	4033	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA47	Skog	79426	2.5	1.00	780	100	1350	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA48	Skog	185524	2.5	1.00	780	100	3154	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA49	Skog	96296	2.5	1.00	780	100	1637	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA50	Skog	86965	2.5	1.00	780	100	1478	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA53	Skog	6598	2.5	1.00	780	100	112	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA54	Skog	33306	2.5	1.00	780	100	566	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA55	Skog	11100	2.5	1.00	780	100	189	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA56	Skog	37700	2.5	1.00	780	100	641	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA57	Skog	12000	2.5	1.00	780	100	204	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA58	Skog	20600	2.5	1.00	780	100	350	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA59	Skog	23300	2.5	1.00	780	100	396	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA60	Skog	17200	2.5	1.00	780	100	292	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA61	Skog	18000	2.5	1.00	780	100	306	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA62	Skog	14500	2.5	1.00	780	100	247	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA63	Skog	122500	2.5	1.00	780	100	2083	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5
SA64	Skog	77900	2.5	1.00	780	100	1324	0.2	6.5	6.0	15	0.5	0.5

D2: Midlere årlige utslipp av tungmetaller fra alle delarealene.

Delarealer	Cd µg/l	U _{Cd} (kg/år)	Cu µg/l	U _{Cu} (kg/år)	Pb µg/l	U _{Pb} (kg/år)	Zn µg/l	U _{Zn} (kg/år)	Ni µg/l	U _{Ni} (kg/år)	Cr µg/l	U _{Cr} (kg/år)
SA1	0.4	0.0020	38.5	0.2177	12.5	0.071	164	0.927	8.0	0.0452	11	0.0622
SA2	1.0	0.0170	22.0	0.3739	20.0	0.340	140	2.379	8.5	0.1444	5	0.0850
SA3	1.0	0.0141	22.0	0.3101	20.0	0.282	140	1.974	8.5	0.1198	5	0.0705
SA4	0.4	0.0010	38.5	0.1095	12.5	0.036	164	0.467	8.0	0.0228	11	0.0313
	0.6	0.0052	20.0	0.1718	12.5	0.107	80	0.687	7.5	0.0644	8	0.0687
SA5	0.4	0.0007	38.5	0.0729	12.5	0.024	164	0.311	8.0	0.0152	11	0.0208
	0.8	0.0107	21.0	0.2998	15.0	0.214	110	1.570	7.3	0.1035	4.5	0.0642
SA6	0.6	0.0253	25.0	1.0541	12.3	0.519	88	3.723	7.3	0.3090	7.33	0.3090
SA7	0.4	0.0007	38.5	0.0756	12.5	0.025	164	0.322	8.0	0.0157	11	0.0216
	1.0	0.0166	22.0	0.3658	20.0	0.333	140	2.328	8.5	0.1413	5	0.0831
SA8	1.0	0.0794	22.0	1.7465	20.0	1.588	140	11.114	8.5	0.6748	5	0.3969
SA9	0.8	0.0112	21.0	0.3128	15.0	0.223	110	1.638	7.3	0.1080	4.5	0.0670
SA10	0.5	0.0016	20.0	0.0643	10.0	0.032	80	0.257	6.0	0.0193	4	0.0129
SA11	0.4	0.0016	38.5	0.1742	12.5	0.057	164	0.742	8.0	0.0362	11	0.0498
	0.5	0.0056	21.0	0.2336	10.0	0.111	80	0.890	6.0	0.0667	4	0.0445
SA12	0.5	0.0042	21.0	0.1754	10.0	0.084	80	0.668	6.0	0.0501	4	0.0334
SA15	0.5	0.0051	21.0	0.2147	10.0	0.102	80	0.818	6.0	0.0613	4	0.0409
SA16	0.5	0.0053	21.0	0.2230	10.0	0.106	80	0.850	6.0	0.0637	4	0.0425
SA17	0.5	0.0060	21.0	0.2522	10.0	0.120	80	0.961	6.0	0.0721	4	0.0480
SA18	1.0	0.1388	22.0	3.0547	20.0	2.777	140	19.439	8.5	1.1802	5	0.6942
SA19	0.5	0.0166	21.0	0.6974	10.0	0.332	80	2.657	6.0	0.1993	4	0.1328
SA20	0.6	0.0092	22.5	0.3765	11.0	0.184	83	1.381	6.0	0.1004	5	0.0837
SA22	0.6	0.0030	22.5	0.1243	11.0	0.061	83	0.456	6.5	0.0359	5	0.0276
SA24	0.4	0.0026	38.5	0.2850	12.5	0.093	164	1.214	8.0	0.0592	11	0.0814
	0.5	0.0042	21.0	0.1777	10.0	0.085	80	0.677	6.0	0.0508	4	0.0338
SA25	0.5	0.0026	21.0	0.1092	10.0	0.052	80	0.416	6.0	0.0312	4	0.0208
SA28	0.9	0.0570	26.0	1.7447	17.5	1.174	120	8.053	8.8	0.5872	8.5	0.5704
SA32	0.6	0.0075	25.0	0.3122	12.0	0.150	85	1.062	7.0	0.0874	6	0.0749
SA51	0.6	0.0010	22.5	0.0396	11.0	0.019	83	0.145	6.5	0.0114	5	0.0088
SA52	0.5	0.0005	21.0	0.0189	10.0	0.009	80	0.072	6.0	0.0054	4	0.0036

SA65	0.4	0.0010	38.5	0.1144	12.5	0.037	164	0.487	8.0	0.0238	11	0.0327
SA66	0.6	0.0043	22.5	0.1771	11.0	0.087	83	0.649	6.5	0.0512	5	0.0394
SA13	0.2	0.0001	6.5	0.0021	6.0	0.002	15	0.005	0.5	0.0002	0.5	0.0002
SA14	0.2	0.0001	6.5	0.0021	6.0	0.002	15	0.005	0.5	0.0002	0.5	0.0002
SA21	0.2	0.0001	6.5	0.0031	6.0	0.003	15	0.007	0.5	0.0002	0.5	0.0002
SA23	0.2	0.0001	6.5	0.0019	6.0	0.002	15	0.004	0.5	0.0001	0.5	0.0001
SA26	0.2	0.0006	10.0	0.0409	7.5	0.031	17	0.069	0.5	0.0020	0.8	0.0033
SA27	0.2	0.0002	6.5	0.0063	6.0	0.006	15	0.014	0.5	0.0005	0.5	0.0005
SA29	0.2	0.0004	6.5	0.0135	6.0	0.012	15	0.031	0.5	0.0010	0.5	0.0010
SA30	0.2	0.0005	6.5	0.0149	6.0	0.014	15	0.034	0.5	0.0011	0.5	0.0011
SA31	0.2	0.0005	6.5	0.0156	6.0	0.014	15	0.036	0.5	0.0012	0.5	0.0012
SA33	0.2	0.0007	6.5	0.0220	6.0	0.020	15	0.051	0.5	0.0017	0.5	0.0017
SA34	0.2	0.0006	6.5	0.0195	6.0	0.018	15	0.045	0.5	0.0015	0.5	0.0015
SA35	0.2	0.0007	6.5	0.0236	6.0	0.022	15	0.054	0.5	0.0018	0.5	0.0018
SA36	0.2	0.0005	6.5	0.0165	6.0	0.015	15	0.038	0.5	0.0013	0.5	0.0013
SA37	0.2	0.0007	6.5	0.0223	6.0	0.021	15	0.052	0.5	0.0017	0.5	0.0017
SA38	0.2	0.0004	6.5	0.0133	6.0	0.012	15	0.031	0.5	0.0010	0.5	0.0010
SA39	0.2	0.0007	6.5	0.0221	6.0	0.020	15	0.051	0.5	0.0017	0.5	0.0017
SA40	0.2	0.0004	6.5	0.0135	6.0	0.012	15	0.031	0.5	0.0010	0.5	0.0010
SA41	0.2	0.0005	6.5	0.0148	6.0	0.014	15	0.034	0.5	0.0011	0.5	0.0011
SA42	0.2	0.0005	6.5	0.0167	6.0	0.015	15	0.039	0.5	0.0013	0.5	0.0013
SA43	0.1	0.0004	14.0	0.0589	9.0	0.038	20	0.084	0.5	0.0021	1.0	0.0042
SA44	0.2	0.0003	6.5	0.0108	6.0	0.010	15	0.025	0.5	0.0008	0.5	0.0008
SA45	0.2	0.0006	6.5	0.0180	6.0	0.017	15	0.042	0.5	0.0014	0.5	0.0014
SA46	0.2	0.0008	6.5	0.0262	6.0	0.024	15	0.060	0.5	0.0020	0.5	0.0020
SA47	0.2	0.0003	6.5	0.0088	6.0	0.008	15	0.020	0.5	0.0007	0.5	0.0007
SA48	0.2	0.0006	6.5	0.0205	6.0	0.019	15	0.047	0.5	0.0016	0.5	0.0016
SA49	0.2	0.0003	6.5	0.0106	6.0	0.010	15	0.025	0.5	0.0008	0.5	0.0008
SA50	0.2	0.0003	6.5	0.0096	6.0	0.009	15	0.022	0.5	0.0007	0.5	0.0007
SA53	0.2	0.0000	6.5	0.0007	6.0	0.001	15	0.002	0.5	0.0001	0.5	0.0001
SA54	0.2	0.0001	6.5	0.0037	6.0	0.003	15	0.008	0.5	0.0003	0.5	0.0003
SA55	0.2	0.0000	6.5	0.0012	6.0	0.001	15	0.003	0.5	0.0001	0.5	0.0001
SA56	0.2	0.0001	6.5	0.0042	6.0	0.004	15	0.010	0.5	0.0003	0.5	0.0003
SA57	0.2	0.0000	6.5	0.0013	6.0	0.001	15	0.003	0.5	0.0001	0.5	0.0001
SA58	0.2	0.0001	6.5	0.0023	6.0	0.002	15	0.005	0.5	0.0002	0.5	0.0002
SA59	0.2	0.0001	6.5	0.0026	6.0	0.002	15	0.006	0.5	0.0002	0.5	0.0002
SA60	0.2	0.0001	6.5	0.0019	6.0	0.002	15	0.004	0.5	0.0001	0.5	0.0001
SA61	0.2	0.0001	6.5	0.0020	6.0	0.002	15	0.005	0.5	0.0002	0.5	0.0002
SA62	0.2	0.0000	6.5	0.0016	6.0	0.001	15	0.004	0.5	0.0001	0.5	0.0001
SA63	0.2	0.0004	6.5	0.0135	6.0	0.012	15	0.031	0.5	0.0010	0.5	0.0010
SA64	0.2	0.0003	6.5	0.0086	6.0	0.008	15	0.020	0.5	0.0007	0.5	0.0007

Total		0.47		14.17		9.86		70.39		4.59		3.39
-------	--	------	--	-------	--	------	--	-------	--	------	--	------

Vedlegg E

Tid (min)	Felt 1 Bidraget (l/s)	Felt 2 Bidraget (l/s)	Felt 3 Bidraget (l/s)	Sum Bidraget (l/s)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.0	158.6	160.3	0.0	318.9
10.0	317.2	320.6	0.0	637.8
15.0	475.8	480.8	0.0	956.6
20.0	634.4	641.1	0.0	1275.5
25.0	793.0	801.4	0.0	1594.4
30.0	951.6	961.7	0.0	1913.3
35.0	1110.2	1121.9	0.0	2232.2
40.0	1268.8	1282.2	0.0	2551.0
45.0	1427.4	1442.5	0.0	2869.9
46.3	1469.0	1484.5	0.0	2953.5
50.0	1351.9	1602.8	0.0	2954.7
55.0	1193.3	1763.0	0.0	2956.4
60.0	1034.7	1923.3	0.0	2958.1
65.0	876.1	2083.6	0.0	2959.7
70.0	717.5	2243.9	0.0	2961.4
75.0	558.9	2404.1	0.0	2963.1
80.0	400.3	2564.4	0.0	2964.7
82.4	324.8	2640.7	17.1	2982.6
85.0	241.7	2556.7	17.6	2816.1
90.0	83.1	2396.4	18.7	2498.2
92.6	0.0	2312.5	19.2	2331.7
95.0	0.0	2236.2	19.7	2255.9
100.0	0.0	2075.9	20.8	2096.6
105.0	0.0	1915.6	21.8	1937.4
110.0	0.0	1755.3	22.8	1778.2
115.0	0.0	1595.1	23.9	1618.9

120.0	0.0	1434.8	24.9	1459.7
125.0	0.0	1274.5	25.9	1300.5
130.0	0.0	1114.2	27.0	1141.2
135.0	0.0	954.0	28.0	982.0
140.0	0.0	793.7	29.1	822.7
145.0	0.0	633.4	30.1	663.5
150.0	0.0	473.1	31.1	504.3
155.0	0.0	312.9	32.2	345.0
160.0	0.0	152.6	33.2	185.8
164.8	0.0	0.0	34.2	34.2
165.0	0.0	0.0	34.2	34.2
170.0	0.0	0.0	35.3	35.3
175.0	0.0	0.0	36.3	36.3
180.0	0.0	0.0	37.4	37.4
185.0	0.0	0.0	38.4	38.4
190.0	0.0	0.0	39.4	39.4
195.0	0.0	0.0	40.5	40.5
200.0	0.0	0.0	41.5	41.5
205.0	0.0	0.0	42.5	42.5
210.0	0.0	0.0	43.6	43.6
215.0	0.0	0.0	44.6	44.6
220.0	0.0	0.0	45.7	45.7
225.0	0.0	0.0	46.7	46.7
230.0	0.0	0.0	47.7	47.7
235.0	0.0	0.0	48.8	48.8
240.0	0.0	0.0	49.8	49.8
245.0	0.0	0.0	50.8	50.8
250.0	0.0	0.0	51.9	51.9
255.0	0.0	0.0	52.9	52.9
260.0	0.0	0.0	54.0	54.0
265.0	0.0	0.0	55.0	55.0
270.0	0.0	0.0	56.0	56.0
275.0	0.0	0.0	57.1	57.1

280.0	0.0	0.0	58.1	58.1
285.0	0.0	0.0	59.1	59.1
290.0	0.0	0.0	60.2	60.2
295.0	0.0	0.0	61.2	61.2
300.0	0.0	0.0	62.3	62.3
305.0	0.0	0.0	63.3	63.3
310.0	0.0	0.0	64.3	64.3
315.0	0.0	0.0	65.4	65.4
320.0	0.0	0.0	66.4	66.4
325.0	0.0	0.0	67.4	67.4
330.0	0.0	0.0	68.5	68.5
335.0	0.0	0.0	69.5	69.5
340.0	0.0	0.0	70.6	70.6
345.0	0.0	0.0	71.6	71.6
350.0	0.0	0.0	72.6	72.6
355.0	0.0	0.0	73.7	73.7
360.0	0.0	0.0	74.7	74.7
365.0	0.0	0.0	75.7	75.7
370.0	0.0	0.0	76.8	76.8
375.0	0.0	0.0	77.8	77.8
380.0	0.0	0.0	78.9	78.9
385.0	0.0	0.0	79.9	79.9
390.0	0.0	0.0	80.9	80.9
394.8	0.0	0.0	81.9	81.9
395.0	0.0	0.0	81.9	81.9
400.0	0.0	0.0	80.8	80.8
405.0	0.0	0.0	79.8	79.8
410.0	0.0	0.0	78.8	78.8
415.0	0.0	0.0	77.7	77.7
420.0	0.0	0.0	76.7	76.7
425.0	0.0	0.0	75.6	75.6
430.0	0.0	0.0	74.6	74.6
435.0	0.0	0.0	73.6	73.6

440.0	0.0	0.0	72.5	72.5
445.0	0.0	0.0	71.5	71.5
450.0	0.0	0.0	70.5	70.5
455.0	0.0	0.0	69.4	69.4
460.0	0.0	0.0	68.4	68.4
465.0	0.0	0.0	67.3	67.3
470.0	0.0	0.0	66.3	66.3
475.0	0.0	0.0	65.3	65.3
480.0	0.0	0.0	64.2	64.2
485.0	0.0	0.0	63.2	63.2
490.0	0.0	0.0	62.2	62.2
495.0	0.0	0.0	61.1	61.1
500.0	0.0	0.0	60.1	60.1
505.0	0.0	0.0	59.0	59.0
510.0	0.0	0.0	58.0	58.0
515.0	0.0	0.0	57.0	57.0
520.0	0.0	0.0	55.9	55.9
525.0	0.0	0.0	54.9	54.9
530.0	0.0	0.0	53.9	53.9
535.0	0.0	0.0	52.8	52.8
540.0	0.0	0.0	51.8	51.8
545.0	0.0	0.0	50.7	50.7
550.0	0.0	0.0	49.7	49.7
555.0	0.0	0.0	48.7	48.7
560.0	0.0	0.0	47.6	47.6
565.0	0.0	0.0	46.6	46.6
570.0	0.0	0.0	45.6	45.6
575.0	0.0	0.0	44.5	44.5
580.0	0.0	0.0	43.5	43.5
585.0	0.0	0.0	42.4	42.4
590.0	0.0	0.0	41.4	41.4
595.0	0.0	0.0	40.4	40.4
600.0	0.0	0.0	39.3	39.3

605.0	0.0	0.0	38.3	38.3
610.0	0.0	0.0	37.3	37.3
615.0	0.0	0.0	36.2	36.2
620.0	0.0	0.0	35.2	35.2
625.0	0.0	0.0	34.1	34.1
630.0	0.0	0.0	33.1	33.1
635.0	0.0	0.0	32.1	32.1
640.0	0.0	0.0	31.0	31.0
645.0	0.0	0.0	30.0	30.0
650.0	0.0	0.0	28.9	28.9
655.0	0.0	0.0	27.9	27.9
660.0	0.0	0.0	26.9	26.9
665.0	0.0	0.0	25.8	25.8
670.0	0.0	0.0	24.8	24.8
675.0	0.0	0.0	23.8	23.8
680.0	0.0	0.0	22.7	22.7
685.0	0.0	0.0	21.7	21.7
690.0	0.0	0.0	20.6	20.6
695.0	0.0	0.0	19.6	19.6
700.0	0.0	0.0	18.6	18.6
705.0	0.0	0.0	17.5	17.5
710.0	0.0	0.0	16.5	16.5
715.0	0.0	0.0	15.5	15.5
720.0	0.0	0.0	14.4	14.4
725.0	0.0	0.0	13.4	13.4
730.0	0.0	0.0	12.3	12.3
735.0	0.0	0.0	11.3	11.3
740.0	0.0	0.0	10.3	10.3
745.0	0.0	0.0	9.2	9.2
750.0	0.0	0.0	8.2	8.2
755.0	0.0	0.0	7.2	7.2
760.0	0.0	0.0	6.1	6.1
765.0	0.0	0.0	5.1	5.1

770.0	0.0	0.0	4.0	4.0
775.0	0.0	0.0	3.0	3.0
780.0	0.0	0.0	2.0	2.0
785.0	0.0	0.0	0.9	0.9
789.5	0.0	0.0	0.0	0.0

Vedlegg F



Nedbørfeltgrenser, feltparametere og vannføringsindekser er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

Kartbakgrunn: Statens Kartverk
 Kartdatum: EUREF89 WGS84
 Prosjeksjon: UTM 33N

Lavvannskart

Vassdragsnr.: 002.CAB1
 Kommune: Ullensaker
 Fylke: Akershus
 Vassdrag: LEIRA

Vannføringsindeks, se merknader

Middelvannføring (61-90)	24.0 l/(s*km ²)
Alminnelig lavvannføring	1/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	1/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	1/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	1/(s*km ²)
Base flow	-999.0 l/(s*km ²)
BFI	

Klima

Klimaregion	Ost
Årsnedbør	780 mm
Sommernedbør	367 mm
Vinternedbør	413 mm
Årstemperatur	3.9 °C
Sommertemperatur	12.2 °C
Vintertemperatur	-2.0 °C
Temperatur Juli	14.8 °C
Temperatur August	13.9 °C

Feltparametere

Areal (A)	6.0 km ²
Effektiv sjo (S _{eff})	0.0 %
Elvelengde (E _L)	3.0 km
Elvegradient (E ₀)	3.8 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	3.6 m/km
Feltlengde(F _L)	4.3 km
H _{min}	191 moh.
H ₁₀	202 moh.
H ₂₀	203 moh.
H ₃₀	204 moh.
H ₄₀	205 moh.
H ₅₀	206 moh.
H ₆₀	208 moh.
H ₇₀	210 moh.
H ₈₀	213 moh.
H ₉₀	215 moh.
H _{max}	235 moh.
Bre	0.0 %
Dyrket mark	6.3 %
Myr	0.0 %
Sjø	0.0 %
Skog	64.4 %
Snau fjell	0.0 %
Urban	21.9 %

1) Verdien er editert

Det er generelt stor usikkerhet i beregninger av lavvannsindeks. Resultatene bør verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner.

I nedbørfelt med høy breprosent eller stor innsjøprosent vil tørrværsavrenning (baseflow) ha store bidrag fra disse lagringsmagasinene.

4/26/2017 5:14:11 PM © nevina.nve.no

Flomberegning

Vassdragsnr.: 002.CAB1
 Kommune: Ullensaker
 Fylke: Akershus
 Vassdrag: LEIRA

Flomverdiene viser størrelsen på kulminasjonsflommer for ulike gjentakintervall. De er beregnet ved bruk av et formelverk som er utarbeidet for nedbørfelt under ca 50 km². Feltparametere som inngår i formelverket er areal, effektiv sjøprosent og normalavrenning (l/s*km²). For mer utdypende beskrivelse av formelverket henvises det til NVE –Rapport 7/2015 «Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt». Det pågår fortsatt forskning for å utdypende beskrivelse av formelverket henvises det til NVE –Rapport 7/2015 «Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt». Det pågår fortsatt forskning for å bestemme klimapåslag for momentanflommer i små nedbørfelt. Frem til resultatene fra disse prosjektene foreligger anbefales et klimapåslag på 1.2 for døgnmiddelflom og 1.4 for kulminasjonsflom i små nedbørfelt.

LEIRA

Areal (km ²)	6.02
Klimafaktor	1.4

	Q ^M		Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀
	m ³ /s	l/(s*km ²)						
Flomfrekvensfaktorer	-	-	1.25	1.48	1.72	2.09	2.41	2.77
95% intervall øvre grense (m ³ /s)	6.3	1046.7	8.1	9.7	11.6	14.5	17.2	19.7
Flomverdier (m ³ /s)	3.6	591	4.5	5.3	6.1	7.4	8.6	9.9
95% intervall nedre grense (m ³ /s)	2.0	334	2.5	2.8	3.2	3.8	4.3	4.9
Flommer med klimapåslag (m ³ /s)	5.0	827.9	5.3	7.4	8.6	10.4	12.0	13.8

Beregningene er automatisk generert og kan inneholde feil. Det er generelt stor usikkerhet i denne typen beregninger. Resultatene må verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner. Resultatene er ikke gyldig som grunnlag til flomberegninger for klassifiserte dammer.



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway