

BACHELOROPPGAVE:

**OVERVANNSHÅNDTERING I LILLEHAMMER
SENTRUM**

FORFATTERE:

Stian Hofset
Sondre Ertshus

Dato:

18.mai 2016

Forord

Denne bacheloroppgaven er vårt avsluttende arbeid for utdanningen "Bachelor i Ingeniørfag - Bygg" ved NTNU i Gjøvik. Oppgaven er utført som gruppearbeid, der begge har bidratt like mye. Vi kom tidlig høsten 2015 over flere oppgaver som hadde overvann som tema, noe som virket interessant. Etter en samtale med Fred Johansen falt valget til slutt på en oppgave for Lillehammer kommune, med overvann som hovedtema. Det ble deretter organisert et møte med ansatte ved VA-etaten i Lillehammer kommune, og en muntlig avtale om bacheloroppgave ble inngått.

Vi vil rette en takk til vår veileder Fred Johansen, og også til Lillehammer kommune for god hjelp og oppfølging underveis.

Gjøvik, 13. Mai 2016

Sondre Ertshus

Sondre Ertshus

Stian Hofset

Stian Hofset

Sammendrag

Tittel:	<u>Overvannshåndtering i Lillehammer sentrum</u>	Dato : 18.05.16
<hr/> <hr/>		
Deltaker(e)/	<u>Sondre Ertshus</u>	
	<u>Stian Hofset</u>	
<hr/> <hr/>		
Veileder(e):	<u>Fred Johansen</u>	
<hr/> <hr/>		
Evt. oppdragsgiver:	<u>Lillehammer kommune</u>	
<hr/> <hr/>		
Stikkord/nøkkel ord (3-5 stk)	<u>Overvann, separering, spillvann, effekt</u>	
<hr/> <hr/>		
Antall sider/ord: 56, 9226	Antall vedlegg: 7	Publiseringsavtale inngått: ja
<hr/> <hr/>		
Kort beskrivelse av bacheloroppgaven:		
<p>Lillehammer kommune har utfordringer med store mengder overvann i fellesnettet. I denne oppgaven er det derfor sett på separering av fellesnettet i Lillehammer sentrum, og hvilke effekter det vil ha på Lillehammer renseanlegg.</p>		
<p>I Norge er det generelt store utfordringer knyttet til håndtering av overvann i byer og tettsteder. En stor andel fellesnett medfører kapasitetsproblemer både på nettet og selve renseanlegget. Nyere klimarapporter viser en endring i nedbørsmønster og intensitet, som vil gjøre overvannsproblemene enda større i framtida.</p>		
<p>Forfatterne av oppgaven har gjennomført en casestudie av vann- og avløpssystemet i Lillehammer sentrum, for å kartlegge det nåværende VA-nettet og hvilke utbedringer som må gjøres for å ferdigstille separeringen. Det ble så utført en empirisk studie for å kunne beregne hvilke effekter redusert mengde overvann vil ha på VA-nettet og Lillehammer renseanlegg.</p>		
<p>Opgaven viser at separering av overvann i sentrum vil ha både større og mindre effekt på Lillehammer renseanlegg. I forhold til mengde behandlet spillvann vil effekten være mindre siden mengden overvann som vil fjernes i løpet av et år utgjør en liten andel av den totale mengden behandlet spillvann. Men separeringen vil ha en større effekt på overløpshendelser og kapasiteten ved anlegget under regn. Mengden overvann som fjernes under regn vil være så betydelig at antall overløp vil reduseres og mengden vil utgjøre en større prosent av kapasiteten til renseanlegget.</p>		

Abstract

Title:	Stormwater management in Lillehammer city center	Date : 18.05.16
Participants/	Sondre Ertshus Stian Hofset	
Supervisor(s)	Fred Johansen	
Employer:	Lillehammer kommune	
Keywords (3-5)	Stormwater, Separation, wastewater, effect	
Number of pages/words: 56, 9226	Number of appendix: 7	Availability (open/confidential): yes
<p>Short description of the bachelor thesis:</p> <p>Lillehammer Municipality is facing challenges with large amounts of stormwater flowing into the sewer system. The present thesis is therefore evaluating the possibility of separating the stormwater from the public sewer pipe system in Lillehammer city center and what effects it will have on Lillehammer sewage purification plant.</p> <p>In general, Norway faces major challenges in managing stormwater in urban areas. A large share of public sewer pipe systems are collecting both sewage and stormwater which in turn creates capacity problems both on the sewer system and the purification plant. Recent climate reports show a change in both rain patterns and intensity, which will generate even greater challenges handling stormwater in the future.</p> <p>The authors of the present thesis have performed a case study of the sewer system in the city center of Lillehammer, in order to map the current sewer system and elaborate what changes or improvements are required to complete the water separation. An empirical study has been carried out in order to determine what effects the reduced amount of stormwater will have on the sewer system and Lillehammer purification plant.</p> <p>The thesis shows that separation of stormwater in the city center will have both greater and lesser effects on Lillehamer treatment plant. In relation to the amount of treated wastewater (the total amount of sewage and stormwater) the effect will be smaller, since the amount of stormwater that will be removed by separation in the course of a year constitute a small fraction of the total amount of treated wastewater. But the separation will have a greater effect on overflow events and the capacity of the treatment plant during the rainy periods. The amount of stormwater removed during such period is considered being so significant that the number of overflow events will be reduced and the amount will constitute a larger percentage of the capacity of the treatment plant.</p>		

Figurliste

Figur 1 Renseprosessene ved Lillehammer renseanlegg.	7
Figur 2 Oversikt over område.....	11
Figur 3 Oversikt over separerte ledninger	15
Figur 4 Areal med mer streng 1.....	24
Figur 5 Arealer med mer streng 2	25
Figur 6 Arealer med mer streng 3	26
Figur 7 Oversiktskart alle strenger	27
Figur 8 Avskjærende spillvannsledning langs Mjøsa.....	31

Tabelliste

Tabell 1 Oversikt over maksimale avrenningskoeffisienter for enkelte flater.....	12
Tabell 2 Tabell over returperioder	13
Tabell 3 Beregnet årlig overvannsmengde streng 1	25
Tabell 4 Beregnet overvannsmengde streng 2	25
Tabell 5 Beregnet overvannsmengde streng 3	26
Tabell 6 Årlig kostnad for separering av strengene	28
Tabell 7 avrent overvann fra nedslagsfelt.....	28
Tabell 8 Gjennomsnittlig månedlig nedbør Sæterengen målestasjon.....	29
Tabell 9 Avrent nedbør fra nedslagsfelt.....	30
Tabell 10 Gjennomsnittlig doseringsmengde av aluminiumklorid	30
Tabell 11 Beregnet mengde aluminiumklorid.....	31
Tabell 12 Beregnet mengde overvannføring fra utvalgte datoer	32
Tabell 13 Intensiteten av registrerte overløp	32

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	II
Abstract	III
Figurliste	IV
Tabelliste	V
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Begreper og forkortelser	1
1.3 Symboler og enheter	2
1.4 Disposisjon.....	3
1.5 Problemstilling.....	3
1.6 Presisering av oppgaven:.....	3
1.7 Avgrensninger	2
1.7.1 Geografisk avgrensning	2
1.7.2 Andre avgrensninger	2
1.8 Klimaendringer	2
1.9 Endret bosettingsmønster.....	3
1.10 Overvann	3
1.11 Overvannshåndtering i byer og tettsteder.....	4
1.12 Det norske VA-nettet - tilstand og utfordringer.....	4
1.13 Situasjonsrapport VA-system Lillehammer sentrum	5
1.14 Avskjærende rør	5
1.15 Mjøsa som resipient	6
1.16 Renseeffekter	7
1.17 Lillehammer renseanlegg	7
1.18 Renseprosesser ved Lillehammer renseanlegg.....	8
1.18.1 Forsedimentering ved bruk av fellingskjemikalier	8
1.18.2 Biologisk nitrogenfjerning	8
1.18.3 Kjemisk etterfelling	8
1.18.4 Tekniske data om Lillehammer renseanlegg.....	8
1.18.5 Kapasiteter ved LRA	9
1.19 Steinrør	9
2 Metode	9
2.1 Sammendrag	9

2.2	Nedslagsfelt	10
2.3	Den rasjonelle metoden	11
2.4	Separering av Lillehammer sentrum	14
2.4.1	Strenger	15
2.4.2	Knutepunkt.....	16
2.4.3	Lede overvann ut av sentrum	16
2.4.4	Oppdeling av nedslagsfelt	16
2.4.5	Beregnet mengde overvann fra nedslagsfelt	16
2.4.6	Avrenningskoeffisient for nedslagsfelt	17
2.4.7	Økonomisk overslag for separering av sentrum	17
2.4.8	Kostnad pr kubikkmeter avrent overvann	17
2.5	Beregnet besparelse - Kjemikalieforbruk.....	18
2.6	Metode for sammenligning av overløpshendelser	19
2.7	Darcy-Weisbachs ligning for beregning av falltap i rør	20
3	Resultater	21
3.1	Dimensjonerende avrenning fra feltet.....	21
3.1.1	Areal	21
3.1.2	Avrenningskoeffisient.....	21
3.1.3	Midlere avrenningskoeffisient	22
3.1.4	Dimensjonerende avrenning fra feltet:.....	22
3.2	Kapasitet steinrør	23
3.3	System for å lede overvann i sentrum	24
3.3.1	Separering av Lillehammer sentrum	24
3.3.2	Separering streng 1	24
3.3.3	Separering streng 2	25
3.3.4	Separering streng 3	26
3.3.5	Knutepunkt.....	27
3.3.6	Kostnad pr kubikkmeter avrent overvann	27
3.4	Lede overvann ut av sentrum	28
3.4.1	Løsning 1 - Vestover	28
3.4.2	Løsning 2 - Nordover	29
3.5	Kjemikalieforbruk og besparelser	29
3.6	Totale besparelser av aluminiumklorid.....	30
3.7	Overløp - effekter av separering	31
3.8	Andre effekter	33

4	Diskusjon	33
4.1	Grunnlag	33
4.2	Separering	33
4.2.1	Streng 1	33
4.2.2	Streng 2 og 3.....	34
4.3	Overvann ut av sentrum.....	34
4.4	Effekt fellingskemikalier	35
4.5	Overløpshyppighet	36
4.6	Andre effekter	37
4.7	Feilkilder	37
4.7.1	Overløpsmengder	37
4.7.2	Geografisk område	38
4.7.3	Avrenningskoeffisient.....	38
4.7.4	Forhold som påvirker avrenningen - Tele, frost og snø	39
4.7.5	Meteorologiske data:	39
4.8	Konklusjon	40
5	Referanser	42
6	Vedlegg	44
	Vedlegg 3:.....	45

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Vi har i denne bacheloroppgaven sett på håndtering av overvann i Lillehammer sentrum. Dette innebærer separering av fellesledninger samt å finne en løsning for å lede overvannet fra sentrum og ned til Mjøsa. Videre skal vi se på effekten mindre overvann inn på spillvannsnettets vil ha på Lillehammer renseanlegg. Resultatet har vist oss at det er flere fordeler med at spillvann og overvann renner i separate ledninger.

1.2 Begreper og forkortelser

LRA - Lillehammer renseanlegg

Separering - Separering av fellesledninger slik at overvann og spillvann renner i separate rør

Overvann - Vann som renner langs overflaten

Spillvann - Kloakk og gråvann fra boliger, butikker og offentlige bygninger

VA - Vann- og avløp

Streng - En streng er et lengre sammenhengende system med enkeltrør som er koblet sammen. Det brukes ofte for å beskrive et rørsystem som er koblet sammen og føres ned til et felles slutt punkt

Fellessystem - Rørsystem der både spillvann og overvann renner i samme rør

Separatsystem - Rørsystem der spillvann og overvann renner i separate rør

Ikke-permeable dekker - Dekker med liten eller ingen infiltrasjonsevne av vann (eks asfalt, betong)

Gjentakelsesintervall/ returperiode - Mål for hvor lenge det statistisk er mellom hver gang en hendelse gjentar seg. For eksempel vil en returperiode på 50 år for nedbørsintensitet fortelle oss at det statistisk sett vil gå 50 år mellom hver gang nedbørsintensiteten er så høy. Denne nedbørsintensiteten kan likevel opptre hyppigere enn hvert 50. år

Nedbørsintensitet - Mål for hvor intens nedbøren er over et gitt tidsrom ($l/s \cdot ha$)

IVF-kurve - Nedbørskurver som er basert på statistikk fra tidligere nedbørshendelser i et område. Kurvene viser forholdet mellom nedbørsintensitet og varighet, med en graf per returperiode

1.3 Symboler og enheter

Ha - hektar = 10 000 m²

mVs - meter Vannsøyle (10 mVs= 1 kg), benevnelse for vanntrykk

m² - Kvadratmeter

m³ - Kubikkmeter

RR_XX - Benevning for lengde på tidsmåling av nedbør. RR_01 betyr 10 min intervall, RR_1 betyr 1 time og RR_12 betyr målt over 12 timer.

l/s - liter per sekund

1.4 Disposisjon

Rapporten er delt inn i fire kapitler.

Kapittel 1 – Innledning	Her presenterer vi problemstillingen og forteller om bakgrunnen for oppgaven. Vi presenterer også relevante temaer som er med på å øke forståelsen for oppgaven og problemet.
Kapittel 2 - Metode	I dette temaet blir metodene forklart og vi går nærmere inn på hvilke forutsetninger som er brukt i beregningene.
Kapittel 3 – Resultat	Her blir resultatet presentert og kommentert.
Kapittel 4 - Diskusjon	Her vil vi diskutere metodevalget, utførelsen og resultatet og til slutt komme med en konklusjon.

1.5 Problemstilling

I hvilken grad kan mindre overvann fra Lillehammer sentrum påvirke Lillehammer renseanlegg?

1.6 Presisering av oppgaven:

I denne oppgaven ønsker vi å se på følgende punkter for å besvare problemstillingen

- Beregne mengde overvann innenfor det avgrensede området i Lillehammer sentrum ved gitte nedbørssituasjoner
- Lage et system for å lede overvann i Lillehammer sentrum
- Utforme alternativer for å lede overvann ut av Lillehammer sentrum og vurdere muligheten for bruk av eksisterende steinrør

- Beregne hvilken effekt separeringen vil ha på Lillehammer renseanlegg og på hyppigheten av registrerte overløp i Mjøsa

1.7 Avgrensninger

Vi har på grunn av temaets bredde og den tid vi har til disposisjon valgt å avgrense oppgaven på flere måter for å sikre at oppgaven blir av høy nok kvalitet.

1.7.1 Geografisk avgrensning

Kjerneområdet er Lillehammer sentrum, med avgrensning Mesnaelva i nord, Mathisensgate i sør, togstasjonen i vest og Mjeldes gate i øst.

1.7.2 Andre avgrensninger

I tillegg har følgende punkter blitt utelatt:

- Renseprosess- og effekt på detaljnivå. Det vil ikke bli gått inn på spillvannets sammensetning og kjemi.
- Effekten forurenset overvann har på Mjøsa på detaljnivå (Nevnes kun i et lite avsnitt)
- Det er gjort enkle antagelser i forhold til tele/frost. Det er ikke gått dypere inn på hvilken påvirkning disse faktorene eventuelt har på avrenningskoeffisienten i vintermånedene.

1.8 Klimaendringer

Klima defineres som værmønsteret for et bestemt sted, og er et resultat av observasjoner over lang tid (1). Ved å se på endringer i tendenser og meteorologiske data over flere år kan man slå fast at man har en endring i klimaet. Globalt har temperaturen økt 0,85 grader celsius fra 1880 til 2012, og stigningstendensen har vært høyere de siste 10-årene (2). Middelnedbøren for Norge samlet har økt med omtrent 20% siden år 1900, og stigningstendensen har også her vært høyere de siste 10-årene (2). Det anslås at

nedbørsmengdene vil øke med mellom 5 og 30% fram mot år 2100 (2). Man har også klart å fastslå at selve nedbørsintensiteten har økt betraktelig. Det påpekes fra flere hold at vi globalt står foran perioder med klimaendringer, som vil føre til hyppigere ekstremvær og høyere temperaturer (2). Det er derfor naturlig å anta at høyere vårtemperaturer og mer intense regnskylt sammen med snøsmelting vil skape en kombinert effekt som vil føre til større mengder overvann i urbane strøk enn man har sett tidligere.

1.9 Endret bosettingsmønster

En annen faktor som påvirker økt overvannsavrenning er det endrede bosettingsmønsteret. Helt siden industrialiseringen begynte på 1800-tallet har folk flyttet inn mot byene. På 1800-tallet bodde store deler av befolkningen på mindre tettsteder og i bygder mens mindretallet bodde i byer. Sentraliseringen inn mot byene fortsetter å øke, og per 2015 er hele 81% av Norges befolkning bosatt i byer eller større tettsteder (3). Likevel kan det antas at det er først etter 2. verdenskrig at overvannsproblemene i norske byer virkelig ble forverret. Da startet asfalteringen av norske bygater, noe som resulterte i større andel tette flater og mindre områder for vannet å infiltrere i (4).

1.10 Overvann

“Overvann defineres som overflateavrenning av regn eller smeltevann fra gårdsplasser, gater eller takflater som avledes på overflaten, i overvannsledning eller sammen med sanitært avløpsvann” (5). Dette kan være vann som renner på ikke-permeable overflater, som asfalt, samt vann som renner på vannmettede permeable dekker. I takt med klimaendringer og hyppigere ekstremnedbør ser man at Norge opplever større og større skader, særlig i byer og tettsteder der en stor andel av overflatene er ikke-permeable. Det vil si at vannet ikke infiltrerer i bakken, men at det vil renne langs overflaten i stedet. Vann som renner langs bakken har et stort skadepotensiale. Vannets voldsomme evne til å flytte masser kan for eksempel føre til store utgravninger av vegger og rundt grunnmurer.

1.11 Overvannshåndtering i byer og tettsteder

Norges kommuner bruker en rekke forskjellige løsninger for å behandle overvann. Løsningene vil være avhengig av en rekke faktorer som blant annet årlig nedbørsmønster, helning, tilgang til resipient og stedets utforming. For bysentrum og tettsteder kreves det større tiltak for overvann, da skadepotensialet og andelen tette flater er større. Å separere overvann og spillvannsledninger er også regnet som god overvannshåndtering, da man unngår alle ulempene et fellesnett medfører.

1.12 Det norske VA-nettet - tilstand og utfordringer

I Norge finnes det enorme mengder med VA-ledninger. En av hovedgrunnene er at vi bor i et langstrakt land, med mye spredt bebyggelse. Totalt finnes det 46000 km vannledninger og 40000 km avløpsledninger (6), der en stor andel av avløpsnettene er fellesnett. Kommunene jobber kontinuerlig med å separere overvann og spillvann, da overvann inn på spillvannsnettet er uheldig både økonomisk, i forhold til selve renseprosessen og kapasitetsmessig. Over 1/3 av ledningsnettene er fra før 1970 (6), og har flere utfordringer som slik alder fører med seg. Gamle vannledninger vil etter lang tid i jorden få skader som følge av erosjon og jordforskyvninger (7, kap13), noe som kan føre til lekkasjer både ut og inn av ledningsnettet. Statistikk viser at ca. 36% av alt rent drikkevann forsvinner som følge av lekkasjer på nettet (6). Endel av dette vannet renner vil renne inn i avløpsledningene, da de ofte ligger i samme grøft.

Avløpsledningene er i all hovedsak basert på selvfyll, og renner ikke i overtrykk. En konsekvens av det kan være at store mengder grunnvann siger inn i ledningen, tar opp kapasitet på renseanlegget, og bidrar til at rensingen blir mer kostbar og mindre miljøvennlig enn den kunne ha vært. Det brukes store beløp årlig for å ta igjen etterslepet som eksisterer innen bransjen. En rapport fra 2014 påpeker at det trengs investeringer opp mot 500 milliarder NOK fram mot 2030 for å innhente det stadig voksende etterslepet (8).

1.13 Situasjonsrapport VA-system Lillehammer sentrum

Lillehammer kommune har i likhet med andre kommuner i Norge store utfordringer med VA-nettet og håndteringen av økende mengder overvann. VA-nettene er gamle, og det jobbes kontinuerlig med fornying og kapasitetsøkelse på nettene. Flommen på ettersommeren 2014 viste at det er store behov for utbedringer.

I 1973 ble Mjøsaksjonen satt i gang og Lillehammer kommune fikk tilbud fra staten om subsidiering av VA-nettet. Kommunen valgte da å renovere gamle rør ved trekking av innvendig strømppe. På en slik måte ble rørene som nye, men med noe lavere kapasitet grunnet lavere indre diameter. I forbindelse med Mjøsaksjonen kom også behovet for et nytt renseanlegg som ble bygd i 1977. Oppfatningen til VA-etaten på den tiden var at overvann også skulle renses, noe som førte til at fellesnettet ikke ble separert den gang. Det har ført til at kapasiteten til renseanlegget ikke er tilstrekkelig for å ta unna mengden overvann som kommer under intense regnskyll. Senere ble oppfatningen endret: Overvann behøvde ikke å renses, og kommunen startet i den forbindelse jobben med å separere deler av sentrum på midten av 1980-tallet. Siden kommunen ikke har en egen pengepott for håndtering av overvann har separeringen blitt utført når enkelte strekninger av fellesnettet skal renoveres eller legges, og det har ført til at overvannssituasjonen ikke er vesentlig bedret. Flere gater er separert, men ved nærmeste veikryss der rørene møtes i kum, er overvannsrørene koblet inn på fellesnettet igjen. Konsekvensen er at store deler av overvannet fra sentrum blir renses ved Lillehammer renseanlegg. *Avsnittet er basert på muntlige kilder fra VA-etaten i Lillehammer kommune.*

1.14 Avskjærende rør

Det går et avskjærende rør langs bredden av Mjøsa hvor alt spillvann fra hele tettstedet Lillehammer samles opp. Dette røret kobler områder som Øyer, Fåberg og Vingnes til renseanlegget i tillegg til å frakte spillvann fra byen og områdene rundt. Det avskjærende røret frakter spillvannet ved at det er installert pumper ved forskjellige punkter langs røret hvor det er behov. Videre blir spillvannet pumpet opp ved hjelp av mekaniske skruer slik at spillvannet kan ledes ved hjelp av selvføll videre til neste pumpe. Det ligger overløpspunkt

ved hver pumpestasjon og i tillegg ligger det overløpspunkter hvor store strenger, som sentrum, kommer inn på røret. Overløpspunktene har til hensikt å forhindre at kapasiteten til det avskjærende røret blir sprengt. Ved regn og snøsmelting vil rørstrengen derfor gå i overløp ved overløpspunktet før det kommer inn på det avskjærende røret. *Avsnittet er basert på muntlige kilder fra VA-etaten i Lillehammer kommune.*

1.15 Mjøsa som resipient

Mjøsa er Norges største innsjø, med et areal på over 360 kvadratkilometer. Innsjøen er sentral som resipient for avløpsvann, er drikkevann til hele innlandsregionen og fungerer som flomdemper. På 1960-70-tallet var Mjøsa svært forurenset, noe som fikk følger både for drikkevannskvaliteten og det biologiske mangfoldet. I en periode var det så ille at Mjøsa var grønn av alger om sommeren, og vannet luktet stramt. Årsakene til den sterke forurensingen var voksende industri med store utslipp, samt at spillvann ble sluppet urensset ut i Mjøsa. Den sterkt voksende befolkningen rundt Mjøsa førte til at mengden spillvann økte mye. Som et tiltak ble Mjøsaksjonen satt i gang i 1973, og et av de største tiltakene var omfattende bygging av nye renseanlegg for spillvann i tettstedene rundt Mjøsa. Aksjonen førte til at utviklingen i innsjøen snudde, og vannkvaliteten ble vesentlig forbedret (9). Det er i dag strenge krav til rensing av avløpsvann i tettstedene rundt Mjøsa, slik at vannkvaliteten holder seg god. For å opprettholde denne kvaliteten er separering av spillvannsnett derfor viktig for å unngå overbelastning av renseanleggene, og påfølgende utslipp i Mjøsa.

Ved store og intense nedbørsmengder vil store overvannsmengder inn på spillvannsnettet føre til at kapasiteten på avskjærende ledning ved Mjøsas vannkant overskrides, med konsekvens at urensset spillvann og overvann går ut i Mjøsa. Dette er på flere måter problematisk. Store mengder spillvann i resipienten vil i større eller mindre grad føre til at vannet blir lokalt overgjødslet, lokalt forurenset og utseendemessig lite tiltalende. De ytterste konsekvensene er algeoppblomstring, sterke lukter og lokalt giftig vann. Det må påpekes at spillvannet som går i overløp vil på grunn av den store mengden overvann ha lav konsentrasjon av kloakk og svartvann.

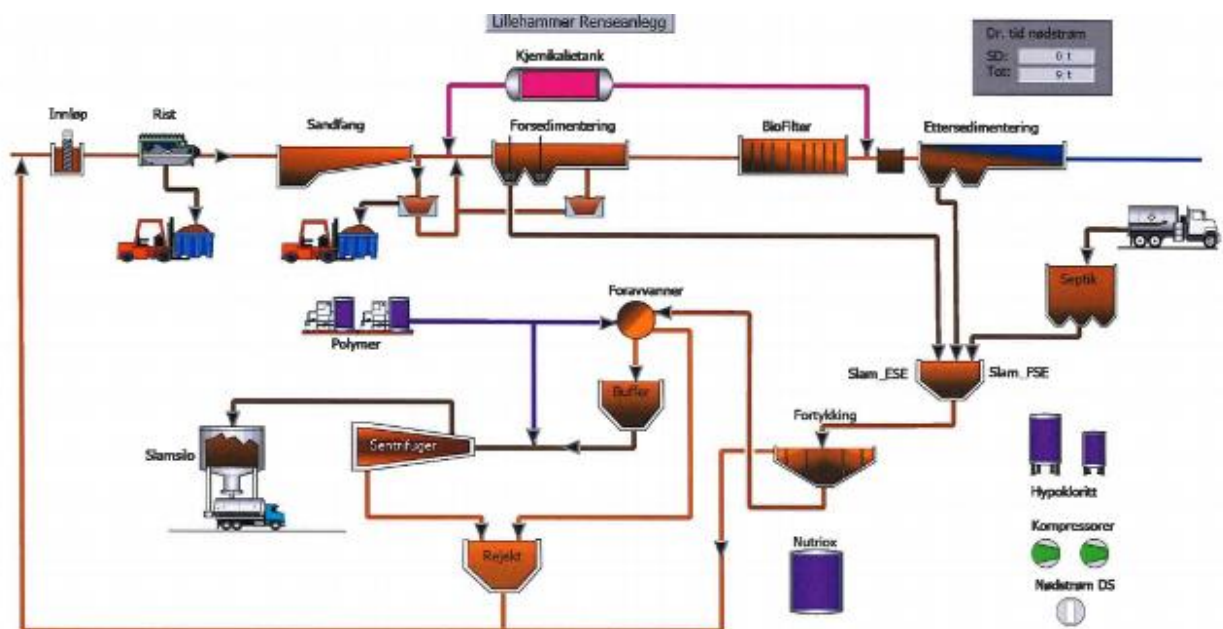
1.16 Renseeffekter

Spillvannets sammensetning og konsentrasjon er begge viktige faktorer som er avgjørende for hvilken renseseffekt som oppnås gjennom rensesprosessen. Ved kjemisk rensning, som det benyttes på Lillehammer, vil det være enklere å få høy renseseffekt ved relativt lav belastning. Det er også en stor fordel at tilrenningen av spillvann er så jevn som mulig. Mye overvann og innlekking på spillvannsnettet fører til svært varierende mengder inn på rensesanlegget, samt flomtopper som påvirker effekten av rensesprosessen i negativ retning. (10) Delvis muntlig kilde.

1.17 Lillehammer rensanlegg

Lillehammer kommune har en omfattende prosess for rensing av spillvann. Det stilles høye krav til kvaliteten på det rensede spillvannet for at det kan slippes ut i Mjøsa. Rensesprosessen starter med en forbehandling der grove partikler og fremmedlegemer siles ut, før forsedimenteringen starter.

Figur 1 Rensessessene ved Lillehammer rensanlegg.



Gjengitt med tillatelse av Lillehammer rensanlegg.

1.18 Renseprosesser ved Lillehammer renseanlegg

1.18.1 Forsedimentering ved bruk av fellingskjemikalier

Ved hjelp av fellingskjemikalier skilles partiklene ut. Fellingskjemikaliet vil da reagere med partiklene i vannet, og danne såkalte “fnokker”, som består av partikler som klumper seg sammen. Fnokkene vil så falle til bunnen av rensebassenget ved hjelp av tyngdekraften (7, kap.14). Ved Lillehammer renseanlegg benyttes aluminiumklorid som fellingskjemikalie.

1.18.2 Biologisk nitrogenfjerning

Lillehammer renseanlegg benytter et såkalt biofilter for fjerning av nitrogen og andre salter. Levende mikroorganismer vil da “spise” opp avfallsstoffer, og således rense spillvannet.

1.18.3 Kjemisk etterfelling

Siste prosess er kjemisk etterfelling. Her fjernes siste rest av avfallsstoffer, som sedimenterer ned til bunn av bassenget. I bunn av bassenget vil slammet bli tatt ut og behandlet videre.

1.18.4 Tekniske data om Lillehammer renseanlegg

Det er kun under ekstreme nedbørsintensiteter at man får vannmengder som gjør at man må rense uten det biologiske trinnet. Minutt og timenedbøren blir ofte dimensjonerende, da kraftige regnskyll sjelden varer over en time, men helst ned mot 10 minutter. Det er dermed ikke døgncapasiteten til renseanlegget som blir utfordret, men den øyeblikkelige kapasiteten mens et intensivt regnskyll pågår.

Gjennomsnittlig tørrværsbelastning i januar 2016 var 10800 m³/døgn, mens Q_{dim} er 28 800 m³/døgn. Renseanlegget har derfor veldig høy kapasitet og hovedårsaken er at store mengder overvann blir styrt inn på ledningsnett. Ideelt sett kunne renseanlegget blitt bygd med langt lavere kapasitet, dersom overvann og spillvann hadde gått i separate rør, samt at

det eksisterte et ledningsnett av nyere dato med liten grad av innlekking av grunnvann. Under regnskyll med nedbørsintensiteter på flere ti-års returperiode vil avløpsrensaneanlegget måtte kjøre urensset spillvann rett ut i resipienten. Slike returperioder kan man ikke dimensjonere for, siden det ville skapt investeringskostnader som ikke forsvarer det man får igjen. For oss vil det derfor være interessant å se om man kan begrense spillvann i overløp ved separering av AF-nettet i Lillehammer sentrum. *Kapitlet 1.19 bygger delvis på muntlige kilder fra VA-etaten i Lillehammer kommune.*

1.18.5 Kapasiteter ved LRA

$$Q_{\text{dim}} = 333 \text{ l/s} = 1200 \text{ m}^3/\text{h} = 28\,800 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{\text{max}} = 530 \text{ l/s} = 1900 \text{ m}^3/\text{h} = 45\,600 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{\text{max}} = 680 \text{ l/s} = 2450 \text{ m}^3/\text{h} = 58\,800 \text{ m}^3/\text{d} \text{ (Uten biologisk trinn)}$$

1.19 Steinrør

Lillehammer kommune har oppdaget et gammelt, håndmurt steinrør som går fra vannkanten av Mjøsa og opp til sentrum. For å kartlegge tilstanden på røret er det blitt brukt robot med kamera, og det ble funnet ut at det er i god stand, alderen tatt i betraktning. Kommunen ser mulig besparelse i å få tatt i bruk dette som overvannsrør som en del av prosjektet med separering av fellesnettet i sentrum.

2 Metode

2.1 Sammendrag

Vi har brukt en casestudie sammen med en empirisk studie for å løse oppgaven. Vi har gjennom en litteraturgjennomgang systematisk gått gjennom litteratur for å finne

bakgrunnsinformasjon om relevante temaer og lest oss opp på aktuelle beregningsmetoder vi skal bruke.

Gjennom en casestudie av vann- og avløpssystemet i sentrum kartla vi først området som vil være utgangspunktet for oppgaven. Videre utførte vi arbeidet med å kartlegge strekninger i sentrum som må separeres og finne mulige løsninger for å lede overvannet ut av sentrum. Til slutt utarbeidet vi et sammenligningsgrunnlag for å vurdere effektene de forskjellige strengene ville ha opp mot LRA. Det ble utført feltbefaring i sentrum for å verifisere eventuelle usikre opplysninger i Gemini.

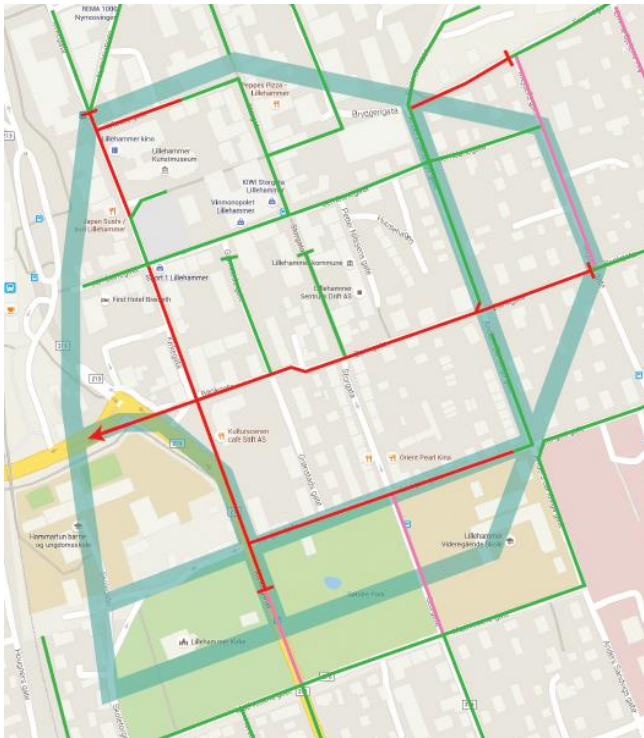
Vi utførte så en empirisk studie av nedbørsstatistikk fra meteorologisk institutt og måledata fra LRA. Deretter brukte vi dataene til å anslå mengden sparte fellingskemikalier, og til å anslå effekten redusert avrenning har på overløpsfrekvensen.

Til slutt så vi på eventuelle andre faktorer som kan ha en effekt på LRA.

2.2 Nedslagsfelt

Innenfor det valgte geografiske området ble det ved hjelp av Lillehammer kommune sin database i Gemini og feltbefaring i sentrum funnet ut hvilket område som bidrar med overvannsavrenning ved nedbør. Dette området tilsvarer arealet av nedslagsfeltet til de kvartalene/gatene der hvor overvannsledningene er koblet direkte til fellesnettet, med konsekvens av overvann inn på renseanlegget.

Figur 2 Oversikt over område



Lysegrønn, bred markør viser de ytre grensene for hele feltet som bidrar til økt belastning på fellesnettet, innenfor det avgrensede området.

2.3 Den rasjonelle metoden

Den rasjonelle metoden er en manuell metode for beregning av overvannsavrenning fra mindre nedbørfelter. For større og mere komplekse nedbørfelter blir metoden for omtrentlig, slik at det anbefales å bruke EDB-baserte avrenningsmodeller. Metoden bør ikke benyttes for nedbørfelter større enn 20-50 hektar og den passer aller best for urbane områder med en stor andel tette overflater (7, kap. 12). Formelen er som følger:

$$Q = \phi \times I \times A \times k_f$$

der,

Q = Avrent vannføring fra nedbørfeltet (l/s)

ϕ = Avrenningskoeffisienten

I = Nedbørsintensitet (l/s*ha)

A = Feltets areal (ha)

k_f = en klimafaktor

Avrenningskoeffisienten beskriver hvor mye av nedbøren som vil renne langs overflaten. Koeffisienten er et tall mellom 0 og 1. En avrenningskoeffisient på 0.6 vil for eksempel angi at 60% av nedbøren vil renne langs overflaten, mens de siste 40% vil infiltrere i grunnen. Vi finner anbefalte avrenningskoeffisienter for forskjellige flater i tabeller, som er utviklet ved hjelp av undersøkelser hvor målt avrenning fra flaten og nedbør på stedet er satt opp mot hverandre. For å få resultater med høy sikkerhet vil det være en fordel å benytte avrenningskoeffisienter i øvre sjikt av anbefalt verdi. Avrenningskoeffisientene er bestemt ut i fra tabell 1 (7, s. 347).

Tabell 1 Oversikt over maksimale avrenningskoeffisienter for enkelte flater

Maksimale avrenningskoeffisienter for noen flater (Mays, 2001)	
Type flater	Φ_{spiss}
Tak	0.8-0.9
Asfalterte veger og gater	0.7-0.8
Grusveger	0.4-0.6
Plen	0.05-0.1
<u>Sammensatte flater</u>	
Bysentrum	0.7-0.9
Blokkbebyggelse	0.4-0.6
Rekkehusområder	0.3-0.4
Åpne eneboligstrøk	0.2-0.3

Tabellen er hentet fra referanse nr. 7.

Nedbørsintensiteten bestemmes ut i fra ønsket returperiode og valgt regnvarighet (7). Norsk Vann har utviklet tabeller for anbefalte returperioder ved dimensjonering av overvannsmengder. Med nyere klimarapporter i bakhodet, bør det vurderes å dimensjonere for et høyere gjentakelsesintervall enn det som har vært normen før. 25 og 50 år er mye brukt i Norge. Ved hjelp av regnvarighet og returperiode finner man nedbørsintensiteten i IVF-tabeller for valgt målestasjon, som i dette tilfellet er Sæterengen målestasjon, Lillehammer. Den befinner seg omtrent 2.5 km sør for det avgrensede området, og det antas at observasjoner derfra er relevante for valgt område.

Tabell 2 Tabell over returperioder

Norsk Vanns anbefalte minimum dimensjonerende hyppigheter for ulike avløpssystem (Lindholm et al, 2008)		
Dimensjonerende regnskyllhyppighet	Type område	Dimensjonerende oversvømmelseshyppighet
1 gang i løpet av 5 år	Område med lavt skadepotensiale	1 gang i løpet av 10 år
1 gang i løpet av 10	Boligområder	1 gang i løpet av 20
1 gang i løpet av 20	Bysentrum/industriområder/forretningsstrøk	1 gang i løpet av 30
1 gang i løpet av 30	Underganger/områder med meget høyt skadepotensiale	1 gang i løpet av 50

Tabellen er hentet fra referanse nr. 7.

Arealet måles i horisontalplanet, med hektar som benevning. I denne rapporten er alle arealer beregnet via Google Maps sitt måleverktøy.

Klimafaktoren er en faktor som er blitt vanlig å benytte i de senere år. Den skal ta hensyn til fremtidig vekst i nedbørsintensitet. I rapporten “Klima i Norge 2100”, Hanssen-Bauer mfl. (2015) anslås det at nedbørsintensiteten vil øke med 19% i gjennomsnitt fram mot 2100 (11). I denne rapporten er klimafaktoren kf derfor satt til 1.2. Enkelte steder benyttes en klimafaktor på 1.5. Dette synes å være for høyt, med tanke på de ekstra kostnadene som det vil føre med seg.

10 minutters regnvarighet er valgt å bruke for å finne dimensjonerende avrenning. Lengre regnvarigheter gir lavere regnintensiteter, og er derfor uheldig å bruke for dimensjonering, hvor man søker maksimale verdier.

Den rasjonelle metoden har flere svakheter og forutsetninger som man må ta i betraktning for best mulig resultat.

- Den rasjonelle metoden forutsetter en nedbørsintensitet som er konstant. Dette vil si at nedbøren er jevnt fordelt utover hele feltet og konstant over det aktuelle tidsrommet. Dette vil ikke stemme 100% med virkeligheten, men det er likevel mulig å få gode overslagsberegninger.
- Den rasjonelle metoden sier at hele nedslagsfeltet vil bidra med lik avrenning. Det vil i praksis si at den rasjonelle metoden gir best resultat der vi har nedbørsfelter som faktisk gir noenlunde lik avrenning. Metoden fungerer derfor best i sentrumskjerner og tettsteder, der andelen tette overflater er svært høy. Beregninger i nedbørsfelt

der det er en stor andel permeable overflater skaper for mange usikre faktorer til at den rasjonelle metoden er særlig brukbar. For eksempel vil asfalt ha en relativt konstant avrenningskoeffisient, mens avrenningskoeffisienten til en gressflate vil være avhengig av en rekke faktorer som varierer mye fra sted til sted. Det påpekes i (Aarhaug, 1992) at jordas permeabilitet er avhengig av poreforhold, kornstørrelse, kornruhet, jordas metningsgrad og vannets viskositet (12). Her vil for eksempel ren grus ha størst infiltrasjonsevne mens leire vil ha minst.

- Den rasjonelle metoden bør benyttes "konservativt", slik at vi får dimensjonerende vannføringer som med stor sannsynlighet overstiger den faktiske vannføringen.
- Avrenningskoeffisienten er konstant gjennom hele nedbørsperioden. Det vil si at den rasjonelle metoden tar utgangspunkt i at alle flater i feltet har noenlunde like egenskaper når det kommer til infiltrasjon. Her kommer vi igjen inn på viktigheten av at feltet har overflater med mest mulig like egenskaper, for at beregningene skal bli mest mulig pålitelige.
- For best mulig resultat bør ikke metoden benyttes for felter større enn 20 hektar.
- For områder med flere delfelter med forskjellig avrenningskoeffisient kan en midlere koeffisient beregnes. Midlere avrenningskoeffisient beregnes slik:

$$\varphi_{\text{midlere}} = \frac{0.8 \times 12.55 + 0.3 \times 2.6 + 0.05 \times 2.55 + 0.3 \times 21.55}{12.55 + 2.6 + 2.55 + 1.55} = 0.59 = \mathbf{0.6}$$

2.4 Separering av Lillehammer sentrum

For å kunne se på effektene mindre overvann fra sentrum vil ha på LRA må det utarbeides et system for å separere og lede overvannet ut av sentrum utenfor fellessystemet.

Figur 3 Oversikt over separerte ledninger



Oversikt over allerede separerte ledninger merket blått.

2.4.1 Strenger

Ved hjelp av Gemini er de naturlige avrenningsretningene kartlagt i sentrum. I Lillehammer kommunes VA-kart er avrenningsretninger merket av på de fleste strekningene i sentrum og der avrenningsretning manglet ble retning avklart ved å se på topografien i sentrum og ved feltbefaring. Deretter ble informasjonen verifisert av VA-etaten i Lillehammer kommune. Det ble så kartlagt hvilke strekninger som er separert og hvilke strekninger som må separeres. Til slutt ble strekningene satt sammen til strenger som vil lede overvann fra områdene i sentrum.

2.4.2 Knutepunkt

For å lede overvannet ut av sentrum er det hensiktsmessig å finne ut hvor overvannet vil renne naturlig og prøve å samle det til ett eller flere knutepunkt. Knutepunktene vil danne grunnlaget for å vurdere forskjellige muligheter for å lede overvannet ut av sentrum.

2.4.3 Ledet overvann ut av sentrum

For at separeringen av fellesnett i sentrum skal kunne gi en effekt må overvannet kunne ledes ut av sentrum og ned til Mjøsa. Hittil har enkelte strenger som allerede er separert blitt ledet tilbake på fellesnett, da det ikke finnes alternativer til å føre det videre. Det er sett på forskjellige muligheter for å føre overvannet ut av sentrum med grunnlag i knutepunkter som er funnet.

2.4.4 Oppdeling av nedslagsfelt

For å få en oversikt over hvor stor del av nedslagsfeltet som vil bli ledet av hver streng er det valgt å dele opp nedslagsfeltet i mindre delfelt. Delfeltene blir avgrenset ut fra kvartaler og nedslagsfelt, og det forutsettes at overvann fra delfeltene renner i en retning. Lillehammer sentrum har bratt helning mot Mjøsa og stor fallhøyde i øst-vestlig retning mens det i nord-sørlig retning er flatere. I realiteten vil vannet kunne gå flere veier på hvert delfelt men det vil bli en for kompleks og tidkrevende jobb å kartlegge delfeltene så nøyaktig.

2.4.5 Beregnet mengde overvann fra nedslagsfelt

For å beregne mengde overvann fra hver streng er det beregnet mengde overvann fra hvert delfelt.

Formel $Q = \varphi \times N \times A$

der,

Q er vannmengde fra delfelt i kubikkmeter.

ϕ er avrenningskoeffisienten.

N er gjennomsnittlig nedbør pr. år for de siste seks år.

A er arealet til feltet i kvadratmeter.

2.4.6 Avrenningskoeffisient for nedslagsfelt

Det er valgt å beregne en midlere avrenningskoeffisient for nedslagsfeltet til hvert enkelt delfelt. Det ble beregnet en midlere avrenningskoeffisient for hele nedslagsfeltet tidlig i oppgaven men hvert delfelt vil ha større variasjon i avrenningskoeffisient. Delfelt som hører til samme streng er lagt sammen og ny midlere avrenningskoeffisient er beregnet for hver streng. Til dette er formelen for ϕ -midlere brukt.

2.4.7 Økonomisk overslag for separering av sentrum

VA-etaten ved Lillehammer kommune opplyser at de har erfaringsbaserte tall når det gjelder kostnader for separering av rør og tilhørende arbeid i sentrum. Erfaringene tilsier at separering koster omtrent 15 000 NOK per lengdemeter grøft inkludert alt arbeid. Ut fra det har vi laget en formel for å beregne kostnaden med å separere rør i sentrum. $M \times K = U$, hvor M er meter rør som må separeres, K er kostnad pr. meter rør og U er total utgift for å separere strekningen.

2.4.8 Kostnad pr kubikkmeter avrent overvann

For å best kunne sammenligne de forskjellige strengene har vi valgt å sette overvannsmengde opp mot kostnad. Dette gjøres for å få et mer helhetlig bilde av påvirkningsgraden hver streng vil ha på LRA. For å fordele kostnadene er det valgt å avskrive investeringene over 30 år. Levetid på nye VA-nett i dag skal minst være 100 år. Med tanke på at vedlikeholdskostnader vil påløpe lenge før 100 år har gått, virker det derfor ufornuftig å avskrive over så lang tid. Det forutsettes at kommunen dekker inn investeringen ved gebyrer og eget innskudd, slik at renter ikke er medberegnet i avskrivningen. Resultatet vil bli brukt for å vurdere effekt og lønnsomhet.

Formel: $U = \frac{K}{V}$

der,

U er kostnad pr kubikkmeter overvann.

K er investeringskostnad i NOK etter avskrivning.

V er antall kubikkmeter overvann årlig fra hver streng.

2.5 Beregnet besparelse - Kjemikalieforbruk

“Hovedregelen” er at forbruket av aluminiumklorid øker proporsjonalt med innløpsmengden. Likevel vil maksimal dosering inntre ved 320 l/s og oppover. Lillehammer renseanlegg tar flere ganger i året prøver av spillvann inn på anlegget. Prøvene blir så analysert, og doseringsmengden (ml/m³) blir tilpasset for å opprettholde aktuelle rensekraav. *Basert på muntlige kilder fra Lillehammer kommune.*

For å få ut representative verdier når det gjelder doseringsmengde av fellingskjemikalier, er det valgt å beregne gjennomsnittlige doseringsmengder for de fem siste årene. For å få med variasjonene gjennom året, vil gjennomsnittsverdiene regnes ut på månedlig basis. Dette for å kunne fange opp topper og bunner gjennom de forskjellige årstidene.

Ettersom det avgrensede området i Lillehammer sentrum stort sett utgjør tette overflater, antas det at gjennomsnittlig total nedbør i mm multiplisert med midlere avrenningskoeffisient og areal vil gi avrent vannmengde inn på LRA. Videre at teoretisk avrent vannmengde multiplisert med gjennomsnittlig doseringsmengde gir mengde besparte fellingskjemikalier. Det forutsettes også at nedbøren i vintermånedene, som kommer som snø, vil gi avrenning i form av smeltevann når våren kommer. Derfor er vintermånedene også tatt med i beregningene.

2.6 Metode for sammenligning av overløpshendelser

En reduksjon av mengden overvann inn på renseanlegget vil også kunne ha en effekt på mengden spillvann som renner i overløp ut i Mjøsa. Ved hjelp av nedbørsdata og statistikk fra aktuelle dager hvor spillvann har blitt kjørt i overløp det siste året, og overløpsstatistikk med tid og mengder, vil det kunne beregnes omtrent effekt en reduksjon av overvann vil ha.

For å kunne ha nytte av nedbørsstatistikk i denne sammenhengen må man ta i bruk en værstasjon som registrerer 10-minuttersnedbør. Dette for å se på nedbørsintensiteten akkurat i de tidspunktene hvor spillvann rant i overløp. Sæterengen målestasjon i Lillehammer registrerer ikke korttidsnedbør, men kun 12- og 24-timers nedbør. Hamar målestasjon registrerer 10-minutters nedbør. For å få dannet seg et bilde av nedbøren som kom ved gitte overløpshendelser blir det derfor nødvendig å bruke enkelte nedbørsdata fra Hamar. Vi vil derfor sammenligne nedbørsdata fra Lillehammer og Hamar, fra tilfelle til tilfelle, for å se i hvilken grad nedbørsstatistikk fra Hamar er relevant. Det antas da at nedbørsintensitet fra Hamar gir en god pekepinn på nedbørsintensiteten i Lillehammer ved samme tidspunkt. Det at både Lillehammer og Hamar ligger langs Mjøsa, og at det ikke ligger fjellpartier ol. som kan skape værskiller, styrker vår antagelse om at nedbørsdata fra Hamar kan brukes.

Etter en sammenligning av nedbørsdata per døgn for Hamar og Lillehammer i aktuelle tidsrom ble følgende resultat funnet:

- Døgnnedbør stemte godt overens. De dagene det regnet var regnmengden relativt lik.
- Dager hvor totalnedbøren for de to målestasjonene avviker mye blir ikke brukt.
- På dager hvor totalnedbør er relativt lik, antas det at 10-minutters-regn i Hamar er representativ for Lillehammer.

2.7 Darcy-Weisbachs ligning for beregning av falltap i rør

Darcy-Weisbachs ligning er en ligning som brukes til å beregne falltap i rør på grunn av friksjon.

$$h_f = f_D \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\bar{V}^2}{2g}$$

der,

h_f = falltap på grunn av friksjon (mVs)

f_d = en friksjonskoeffisient, dimensjonsløs

L = ledningens lengde (meter)

D = ledningens innvendige diameter (meter)

v = vannets hastighet (m/s)

g = gravitasjonskonstanten, tilsvarende 9.81 m/s²

Dette innebærer at vi må ha kjennskap til friksjonskoeffisienten f. Rørprodusentene oppgir ikke denne friksjonskoeffisienten, men oppgir i stedet rørruheten k. Ved hjelp av rørruheten k finnes det flere veier fram til friksjonskoeffisienten. Den enkleste måten er å anta fullt utviklet turbulens i røret, for så å finne friksjonskoeffisienten f ved hjelp av Moodys diagram (7, kap. 3).

Denne ligningen gir oss kun falltapet i mVs. I denne oppgaven er steinrørets diameter og tilgjengelig trykktap kjent, mens vannhastigheten v er ukjent. Ved å sette v som ukjent får man følgende uttrykk:

$$h_f = \frac{f \times L \times v^2}{D \times 2 \times g} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{h_f \times D \times 2 \times g}{f \times L}}$$

Kapasiteten til steinrøret kan nå beregnes ved hjelp av kontinuitetsligningen $Q = A \times v$, der,

Q = Beregnet kapasitet (l/s)

A = Rørets areal (m²)

V = vannets hastighet (m/s)

3 Resultater

3.1 Dimensjonerende avrenning fra feltet

3.1.1 Areal

Området er totalt cirka 19.2 hektar, hvor delområdene utgjør følgende:

- Bysentrum: 12.5 ha
- Rekkehusområder: 2.6 ha
- Parkområder: 2.5 ha
- Skoleområdet: 1.6 ha

3.1.2 Avrenningskoeffisient

For dette området i Lillehammer sentrum er det valgt verdier som ligger i øvre sjikt av anbefalt avrenningskoeffisient, da sentrum har stort fall, noe som vil bidra til at en mindre del av nedbøren vil infiltrere. For å unngå at resultatene blir overvurdert er det likevel ikke valgt maksimalverdier.

Sentrum: 0.8

Eneboligstrøk: 0.3

Park/kirkegård: 0.05

Skoleområde: 0.3

Avrenningskoeffisientene er valgt etter følgende vurderinger:

- Sentrum består hovedsakelig av asfalterte gater og takflater. Et par strekninger med grusvei og noe grøntareal. Helningen er generelt bratt.

- Eneboligstrøk og skoleområde antas å ha omtrent samme avrenningsforhold. Skoleområdet har noe større andel asfalterte flater enn eneboligstrøket. Rekkehusområdet består av eneboliger med plen rundt. Stikkveiene er stort sett asfalterte. I følge kommunen skal vann fra taknedløpet på private eneboliger infiltreres på egen tomt, og ikke være koblet til det kommunale VA-nettet.
- Parken og kirkegården har blitt vurdert til å ha lav avrenning ved nedbør. Grunnen til dette er lavere helningsforhold og store grøntarealer. Parken har også en dam i nedre halvdel, som kan fungere som fordrøyning, og dermed redusere avrenningen.

3.1.3 Midlere avrenningskoeffisient

Midlere avrenningskoeffisient for hele feltet

$$\varphi_{\text{midlere}} = \frac{0.8 \times 12.55 + 0.3 \times 2.6 + 0.05 \times 2.55 + 0.3 \times 21.55}{12.55 + 2.6 + 2.55 + 1.55} = 0.59 = \mathbf{0.6}$$

Avrundet opp til 0.6, da det ikke anbefales å regne med lavere avrenningskoeffisient enn dette.

3.1.4 Dimensjonerende avrenning fra feltet:

$$10\text{-års returperiode: } Q_{\text{dim}} = 0.6 \times 19.2 \text{ ha} \times 119.4 \text{ l/s} * \text{ ha} \times 1.2 = \mathbf{1650.6 \text{ l/s}}$$

$$25\text{-års returperiode: } Q_{\text{dim}} = 0.6 \times 19.2 \text{ ha} \times 131.7 \text{ l/s} * \text{ ha} \times 1.2 = \mathbf{1820.6 \text{ l/s}}$$

$$50\text{-års returperiode: } Q_{\text{dim}} = 0.6 \times 19.2 \text{ ha} \times 140.8 \text{ l/s} * \text{ ha} \times 1.2 = \mathbf{1946.4 \text{ l/s}}$$

3.2 Kapasitet steinrør

Forutsetninger:

- Mål: kvadratisk, 600x600 mm.
- Det antas fullt utviklet turbulens, mao. blir det ikke tatt hensyn til Reynolds tall.
- Røret er gammelt og håndmurt. Endel ujevnheter innvendig må dermed påberegnes, og som fører til større friksjonstap. Lillehammer kommune har opplyst at røret vil bli rehabilitert dersom det blir aktuelt å ta i bruk. Røret får da noe mindre indre mål. For å være på den sikre siden reduseres derfor innvendige mål i beregningen til 550x550mm.

Rørruheten k settes til 2.0 mm $\Rightarrow \frac{k}{D_h} = 0.0033$ noe som ved hjelp av Moody's diagram gir

friksjonskoeffisient $f = 0.028$.

Steinrørets lengde er omtrent 320 meter, og høydeforskjellen mellom topp og utløp (ved Mjøsa) er 45 meter. Ønsket trykk ved Mjøsa settes til 10 mVs slik at tilgjengelig trykktap blir 35 mVs.

$$V = \sqrt{\frac{35mVs \times 0.55meter \times 2 \times 9.81m/s^2}{0.028 \times 320meter}} = 6.5 \text{ m/s}$$

Ved hjelp av kontinuitetslikningen kan nå rørets kapasitet beregnes:

$$Q = 6.5m/s \times 0.55meter \times 0.55meter = 1.96 \text{ m}^3/s \Rightarrow \mathbf{1960 \text{ l/s}}$$

3.3 System for å lede overvann i sentrum

3.3.1 Separering av Lillehammer sentrum

Kartleggingen viser at det vil kunne lages tre strenger som leder overvann i sentrum. De navngis som streng 1, streng 2 og streng 3. Strengene er basert på naturlig avrenning av overvann. To områder som omfatter kirken og Hamartun barne- og ungdomskole er utelatt her. Disse områdene ligger under knutepunktet og i dag går det en fellesledning ut fra området og blir ledet ut av sentrum lenger ned. Området er på to hektar og vil ha en såpass lav avrenningskoeffisient at det ikke anses fornuftig å vurdere separering fra de områdene med mindre fellesnett utsett skal utbedres.

3.3.2 Separering streng 1

Figur 4 Areal med mer streng 1



Arealer, lengde og retning på avrenning til streng 3.

Tabell 3 Beregnet årlig overvannsmengde streng 1

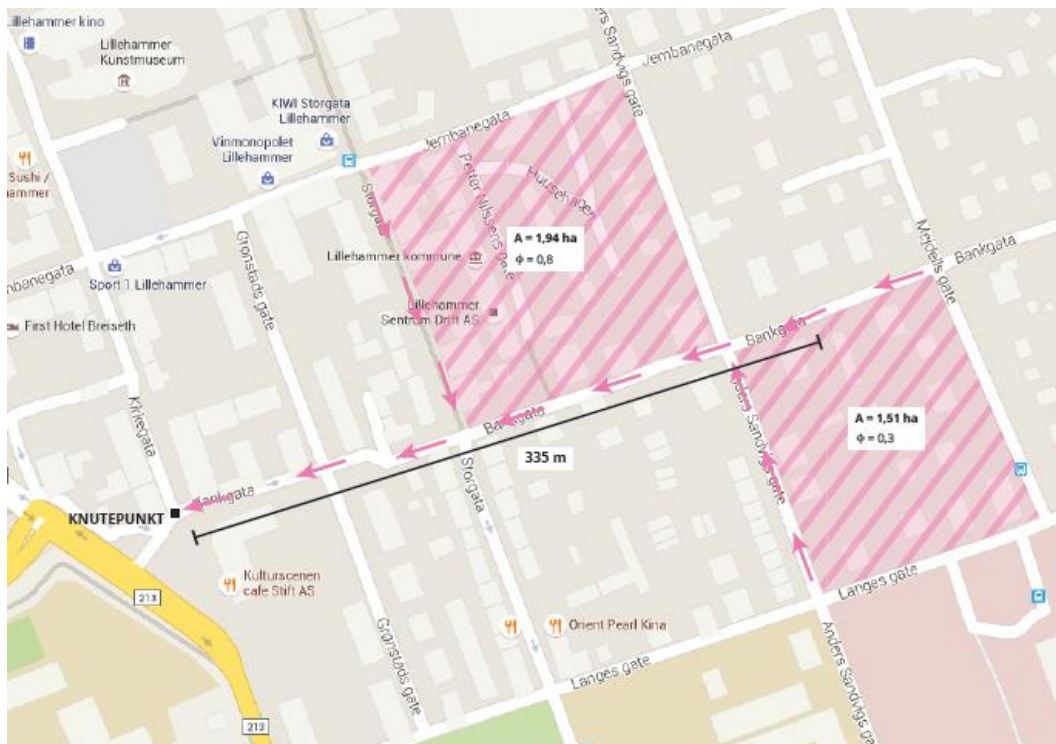
	Areal	Koeffisient	nedbør mm	Kubikkmeter
Streng 1	77700 m ²	0.63	758	37104

Viser beregnet årlig overvannsmengde

Streng 1 vil i hovedsak bestå i å separere kirkegata fra krysset Wieses gate bort til krysset i bankgata (figur 4). Nedslagsfeltet til strengen omfatter 7.77 ha som føres ned til knutepunkt. Strekningen vil være på ca 280 meter, og får en estimert kostnad på 4.2 millioner kr. Beregnet årlig overvannsmengde fra strengen er 37104 kubikkmeter.

3.3.3 Separering streng 2

Figur 5 Arealer med mer streng 2



Arealer, lengde og retning på avrenning til streng 2.

Tabell 4 Beregnet overvannsmengde streng 2

	Areal	Koeffisient	nedbør mm	Kubikkmeter
Streng 2	34500 m ²	0.58	758	15167

Viser beregnet årlig overvannsmengde streng 2

Streng 2 vil i hovedsak bestå i å separere bankgata ned til knutepunktet i krysset Kirkegata-Bankgata (figur 5). Nedslagsfeltet til strengen omfatter er 3.45 ha som føres ned til knutepunkt. Strekningen vil være på ca. 335 meter, og får en estimert kostnad på 5.0 millioner kr. Beregnet årlig mengde overvann fra strengen er 15167 kubikkmeter.

3.3.4 Separering streng 3

Figur 6 Arealer med mer streng 3



Arealer, lengde og avrenningsretninger til streng 3

Tabell 5 Beregnet overvannsmengde streng 3

	Areal	Koeffisient	nedbør mm	Kubikkmeter
Streng 3	58700 m ²	0.59	758	26251

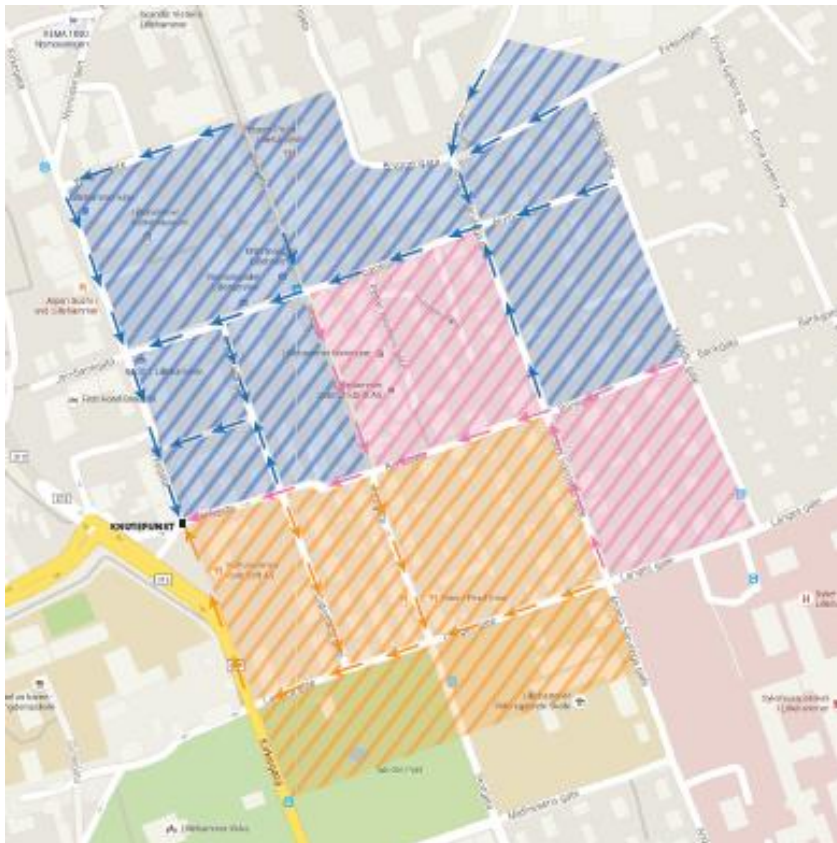
Viser beregnet årlig overvannsmengde streng 3

Streng 3 vil i hovedsak bestå i å separere Langes gate fra krysset Anders Sandvigs gate og ned til krysset Kirkegata (figur 6). Nedslagsfeltet til strengen omfatter ca. 5.87 ha som føres ned til knutepunktet. Strekningen vil være på ca. 425 meter, og får en estimert kostnad på 6.37 millioner kr. Beregnet årlig mengde overvann fra strengen er 26251 kubikkmeter.

3.3.5 Knutepunkt

Etter å ha kartlagt retningene på strengene ender de tre strengene opp i ett felles knutepunkt som ligger i krysset Bankgata - Kirkegata. Det vil være hensiktsmessig å bruke dette felles knutepunktet videre da alternative muligheter for plassering av knutepunkter ikke fanger opp like mye av overvannet. Basert på mulige løsninger vil det ikke være hensiktsmessig å ha knutepunktene spredt rundt.

Figur 7 Oversiktskart alle strenger



Oversikt over alle strenger med tilhørende delfelt som ender i et felles knutepunkt.

3.3.6 Kostnad pr kubikkmeter avrent overvann

Investeringskostnaden er beregnet med grunnlag i antall lengdemeter pr. streng og anslått kostnad pr. lengdemeter.

Tabell 6 Årlig kostnad for separering av strengene

	Investeringskostnad (kr)		Avskrivning 30 år		Årlig kostnad (kr)
Streng 1	4 200 000	/	30	=	140000
Streng 2	5 000 000	/	30	=	166667
Streng 3	6 375 000	/	30	=	212500

Årlig kostnad for separering av strengene.

Tabell 7 avrent overvann fra nedslagsfelt

	Årlig kostnad (kr)		Avrent overvann (m ³)		Kostnad pr m ³ overvann (kr)
Streng 1	140000	/	37104	=	3,77
Streng 2	166667	/	15167	=	10,99
Streng 3	212500	/	26251	=	8,09

Kostnad pr m³ avrent overvann fra nedslagsfeltet som tilhører hver enkelt streng.

3.4 Ledet overvann ut av sentrum

Etter en vurdering står det igjen to reelle muligheter for å lede overvannet ut av sentrum. På grunn av helningsretning utelukkes alternativet med å lede overvannet østover, mens alternativet sørover er utelukket etter innspill fra kommunen.

3.4.1 Løsning 1 - Vestover

Overvannet ledes ut mellom togstasjonen og Hamartun barne- og ungdomsskole. Her ligger det allerede et fellesnett som leder spillvann ut av sentrum. Det har ikke blitt oppgitt en helt nøyaktig posisjon på steinrøret som ligger vest og nedenfor dette punktet, men det har blitt oppgitt en ca. lokasjon og en lengde mellom knutepunkt og steinrør på ca. 240 meter.

Overvannet vil da kunne bli ført videre ned til Mjøsa via steinrøret. Steinrøret har en beregnet kapasitet på 1960 l/s mens dimensjonerende vannføring fra feltet ved 50 års returperiode er 1946 l/s. Steinrøret vil med bakgrunn i beregningene være stort nok til å ta unna overvannet fra Lillehammer sentrum. Utfordringen ved å lede overvannet i vestlig retning vil, ifølge Lillehammer kommune, være å få lagt overvannsrør på strekningen mellom

knutepunktet og steinrøret. Strekingen er en av Lillehammers mest trafikkerte, og stort sett all trafikk opp til sentrum går her. Hamartun skole på sørsiden har også installert varmebrønner som vanskeliggjør arbeidet enda mer.

3.4.2 Løsning 2 - Nordover

Overvannet blir ledet nordover fra knutepunktet langs Kirkegata og videre ut i Mesna. Lillehammer kommune opplyser at det er svært få kapasitetsproblemer tilknyttet Mesna, slik at ekstra overvann fra Lillehammer sentrum ikke vil være noe problem. utfordringen er at helningsvinkelen heller sørover bort fra Mesna og ned mot knutepunktet. Overvannet må da pumpes eller på annen måte ledes ut i Mesnaelven.

3.5 Kjemikalieforbruk og besparelser

Tabell 8 Gjennomsnittlig månedlig nedbør Sæterengen målestasjon

År	Jan	Feb	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept	Okt	Nov	Des
2010	16,7	20,3	34,4	45,6	38,3	75	67,3	143,6	83,2	60,9	14,4	13,5
2011	46,6	37,1	10	28,5	59,3	128,1	136,5	156,5	109	51,7	14,8	64,9
2012	42,5	11,5	18,9	64,1	50,7	46,3	131,5	124,6	34,3	70	126,4	46,6
2013	28,4	19,6	2,8	32,1	136,8	118,6	6,9	93	51,5	59	37,9	88,3
2014	57	105,8	38,9	30,8	76,6	36,4	118,8	142,3	23,8	140	93,7	23,2
2015	87,2	18,5	40,8	15,6	119,1	52,5	103,5	100,3	116,7	6,2	51,3	50,3
Gjennomsnitt(mm)	46,4	35,5	24,3	36,1	80,1	76,2	94,1	126,7	69,8	64,6	56,4	47,8

Gjennomsnittlig månedlig nedbør for Sæterengen målestasjon, Lillehammer siste seks år. Nedbørsdata er hentet fra eklima.met.no

Antall mm nedbør vil tilsvare antall liter per kvadratmeter.

Avrent nedbør fra feltet i en gjennomsnittsmåned blir da:

Tabell 9 Avrent nedbør fra nedslagsfelt

	ϕ	*	Areal (m ²)	*	Nedbør (l/m ²)	=	Avrent nedbør (m ³)
Januar	0.6	*	192000	*	46.4	=	5345.3
Februar	0.6	*	192000	*	35.5	=	4089.6
Mars	0.6	*	192000	*	24.3	=	2799.4
April	0.6	*	192000	*	36.1	=	4158.7
Mai	0.6	*	192000	*	80.1	=	9227.5
Juni	0.6	*	192000	*	76.2	=	8778.2
Juli	0.6	*	192000	*	94.1	=	10840.3
August	0.6	*	192000	*	126.7	=	14595.8
September	0.6	*	192000	*	69.8	=	8041.0
Oktober	0.6	*	192000	*	64.6	=	7442.0
November	0.6	*	192000	*	56.4	=	6597.3
Desember	0.6	*	192000	*	47.8	=	5506.6

Viser avrent nedbør fra nedslagsfeltet i Lillehammer sentrum i en gjennomsnittsmåned. Nedbørsdata er hentet fra eklima.met.no

Tabell 10 Gjennomsnittlig doseringsmengde av aluminiumklorid

	Gjennomsnittlig dosering (ml/m ³)
Januar	146.7
Februar	153.2
Mars	138.0
April	120.6
Mai	105.8
Juni	103.7
Juli	105.7
August	106.4
September	99.1
Oktober	108.7
November	98.5
Desember	124.2

Viser gjennomsnittlige doseringsmengder av aluminiumklorid. Doseringsmengdene er basert på månedlig forbruk de siste fem årene. Statistikk er hentet fra LRA.

3.6 Totale besparelser av aluminiumklorid

Lillehammer renseanlegg benytter aluminiumklorid i både forfelling og etterfelling. Beregningene er basert på teoretisk beregnet avrent nedbør og gjennomsnittlig beregnet kjemikaliedosering.

Tabell 11 Beregnet mengde aluminiumklorid

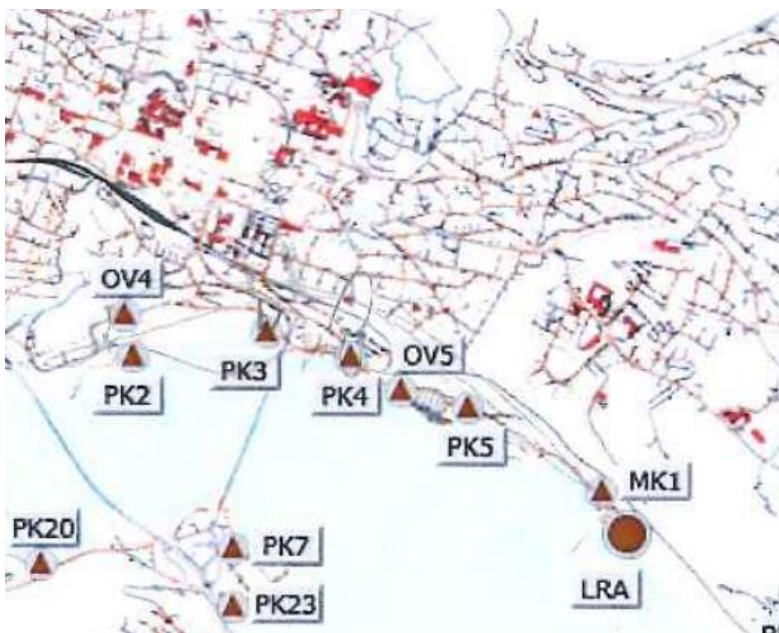
Besparelser aluminiumklorid			
	Spillvann inn (m ³)	Kjemikaliedosering (ml/m ³)	Mengde Aluminiumklorid spart (ml)
Januar	5345 *	146.7	= 784112
Februar	4090 *	153.2	= 626588
Mars	2799 *	138.0	= 386262
April	4159 *	120.6	= 501575
Mai	9228 *	105.8	= 976322
Juni	8778 *	103.7	= 910279
Juli	10840 *	105.7	= 1145788
August	14596 *	106.4	= 1553014
September	8041 *	99.1	= 796863
Oktober	7442 *	108.7	= 808728
November	6497 *	98.5	= 639955
Desember	5507 *	124.2	= 683969
			TOTALT 9713455 =
			9713.5 liter

Viser beregnet mengde aluminiumklorid som LRA kan spare ved redusert overvannstilførsel fra Lillehammer sentrum.

Som tabell 5 viser vil et normalt nedbørsår resultere i omtrent 10 000 liter i redusert forbruk av aluminiumklorid. Her er det viktig å påpeke at med "normalt nedbørsår" menes ikke "normalperioden", som er definisjonen til meteorologisk institutt, som er et gjennomsnitt av vær-situasjonen fra 1961-1990. Her er det i stedet brukt gjennomsnitt av siste seks år.

3.7 Overløp - effekter av separering

Figur 8 Avskjærende spillvannsledning langs Mjøsa



Viser avskjærende spillvannsledning langs Mjøsa med inntegnedde pumpestasjoner og overløpsstasjoner. Gjengitt med tillatelse fra LRA.

Avskjærende ledning som spillvannet fra Lillehammer sentrum renner inn på har flere pumpestasjoner og overløpsstasjoner. Strekningen fra overløpet merket OV5 og sørover mot LRA blir mest relevant for Lillehammer sentrum, da store deler av eksisterende fellesnett kommer ned i OV5.

Ved å sammenligne nedbørsstatistikk og overløpsstatistikk med hverandre er det funnet ut at tiden fra nedbøren falt til den ble registrert i overløp ligger i området 1.5-2.5 timer. For å simulere overløpshendelser mest mulig realistisk er nedbørsvarigheten satt lik tiden det rant i overløp.

Tabell 12 Beregnet mengde overvannføring fra utvalgte datoer

	Φ		Areal (ha)		Nedbørsintensitet (l/s*ha)		Beregnet overvannføring (l/s)	Nedbørsperiode
23/7/2015	0.6	*	19.2	*	5.0	=	57.6	16:00-16:10
25/8/2015	0.6	*	19.2	*	56.7	=	653.0	18:20-19:10
27/8/2015	0.6	*	19.2	*	93.3	=	1074.8	05:40-06:00 og 19:20-19:40
17/9/2015	0.6	*	19.2	*	13.3	=	153.2	06:40-09:10

Viser beregnet overvannføring fra feltet i Lillehammer sentrum ved utvalgte datoer i 2015. Nedbørsperioden angir hvilket klokkeslett nedbøren falt. Nedbørsdata er hentet fra eklime.met.no

Tabell 13 Intensiteten av registrerte overløp

Dato	Registrert overløpsføring (l/s)
23/7	669.4
25/8	252.9
27/8	223.5
17/9	172.9

Viser intensiteten av registrerte overløp for utvalgte datoer i 2015. Dette er overløp registrert i PK4, PK5 og OV5 til sammen.

Tabell 7 viser summen av registrerte overløpsvannføringer for PK4, PK5 og OV5 mens tabell 6 viser teoretisk beregnet vannføring fra Lillehammer sentrum i samme tidspunkt. Ved å sammenligne dato for dato får man en indikasjon på antall overløp som kunne vært unngått eller begrenset ved valgt dag, dersom overvannet hadde vært separert fra spillvannet.

3.8 Andre effekter

Lillehammer kommune opplyser at det medfølger relativt store mengder grus og sandpartikler inn på renseanlegget. Mye av dette kommer fra sentrum. En av grunnene til dette er at det blir brukt store mengder strøsand/grus på vinterstid. Gruspartiklene vil renne langs asfalten og ned i nærmeste kum, og har ikke mulighet til å bli filtrert bort, som hvis vannet rant på vegetasjonskledde flater. Det blir også opplyst at grus/sandpartikler fører til ekstra belastning på grus/sandfang som er plassert rundt om på ledningsnettene. Disse skal forhindre at alt kommer inn på selve renseanlegget. Likevel viser det seg at VA-nettene ikke viser særlig tegn til slitasje på grunn av slik belastning. En såkalt vippetest av avløpsrør i plast utført av Dansk teknologisk institutt påviste at rørene var svært motstandsdyktige mot sand og gruspartikler over tid. Vippetesten var ment å illustrere transport av sand/grus gjennom 200 år, og resultatet viste at slitasjen knapt var målbar (13).

4 Diskusjon

4.1 Grunnlag

Basert på resultatene vil mulighetene for å separere og lede overvannet ut av sentrum bli diskutert først. Dette danner grunnlaget for den videre diskusjonen med å sammenligne effektene som mindre overvann fra sentrum vil ha på LRA. Til slutt vil det bli utarbeidet en konklusjon.

4.2 Separering

4.2.1 Streng 1

På streng 1 må en strekning på 240 meter separeres. Det er den korteste strengen å separere, og vil være det billigste alternativet. Kostnaden blir 4.2 millioner kr. Samtidig viser resultatene at det er denne strengen som vil tilføre mest overvann til fellesnettet med en

beregnet årlig mengde på 37104 m². Dette gir en beregnet kostnad pr. m³ på 3.77 kr som er mye lavere enn streng 2 og 3. Det er derfor naturlig at denne strengen prioriteres først ved separering.

4.2.2 Streng 2 og 3

På streng 2 og 3 må henholdsvis 335 og 425 meter separeres. Det gir en kostnad på 5.0 millioner kr for streng 2 og 6.37 millioner kr for streng 3. Isolert sett på kostnader vil streng 2 være naturlig å prioritere først. Sett på mengde overvann vil streng 3 tilføre 26251 m³ mens streng 2 kun tilfører 15167 m³. Til slutt viser kostnaden pr. m² overvann at streng 3 vil være den mest kostnadseffektive å separere i lengden. Den koster 8.09 kr pr. m³ overvann, mens streng 2 koster 10.99 kr pr. m³ overvann. For å vurdere lønnsomheten vil kostnad pr. m³ overvann være den beste indikatoren.

4.3 Overvann ut av sentrum

Det står igjen to mulige løsninger for å lede overvannet ut av sentrum. Å lede overvannet vestover gjennom passasjen og ned til steinrøret eller lede overvannet nordover langs Kirkegata og ut i Mesna.

Det vil i utgangspunktet være enklest å føre vannet vestover gjennom passasjen og ned til steinrøret. Denne løsningen beror på naturlig selvføll. Et slikt system uten store tekniske installasjoner vil være enklere å drifte og vedlikeholde. utfordringen her er likevel den høyt trafikkerte passasjen mellom knutepunktet og steinrøret. Styrte boring kan derfor være et godt alternativ. På denne måten får man lagt overvannsrøret uten store inngrep over veg, jernbane ol. Styrte boring er kort sagt en metode for legging av rør uten graving.

Entreprenøren Olimb opplyser at det kan bores opp til 1000 meter i lengderetning, med rørdiameter helt opp til 1200mm (14). Denne strekningen på 240 meter vil derfor være innenfor.

Utfordringen med å lede overvannet gjennom passasjen gjør muligheten for å lede overvannet nordover ut i Mesna ved hjelp av pumpe aktuell. Likevel vil det kreve unødig stor

pumpekapasitet å lede 1.95 kubikkmeter overvann i sekundet med tanke på at denne kapasiteten statistisk sett bare blir utnyttet en gang på 50 år.

Både Mesna og steinrøret vil ha nok kapasitet til å ta unna overvannet. Mesnaelven er regulert og vil ifølge kommunen ha stor nok restkapasitet til å ta imot overvannet. I tallene for dimensjonerende avrenning er også klimafaktoren på 1.2 inkludert, for å ta hensyn til fremtiden. Sannsynligvis vil kapasiteten til VA-nettene i sentrum være en begrensende faktor før steinrøret eller Mesnaelven sin kapasitet er oversteget.

4.4 Effekt fellingskjemikalier

Resultatene viser at det er mulig å spare ca. 9800 liter fellingskjemikalier pr år. Likevel er det overraskende at mengden bespart aluminiumklorid ikke er større, sammenlignet med totalforbruket til LRA gjennom et år. Dette bekrefter bare at LRA renser store mengder overvann i løpet av et år. Anslagsvis utgjør ren tørrværsbelastning 4 millioner m³ pr år, mens faktisk rensede mengde er 6 millioner m³. Med andre ord utgjør dette grovt regnet 2 millioner m³ overvann og innlekket grunnvann. Lillehammer renseanlegg brukte i 2015 691 000 liter aluminiumklorid. Ved redusert overvannsbelastning fra sentrum utgjør 9800 liter en besparelse på omtrent 1.4 %. Tatt i betraktning at sentrum er det området med høyest andel tette flater og at det renses anslagsvis 2 millioner m³ overvann årlig, antyder dette at det er andre årsaker til den store mengden overvann. Det opplyses fra Lillehammer kommune at alderen på store deler av ledningsnettets er høy, og det er derfor rimelig å anta at store deler stammer fra innlekking på nettet.

Beregningen for besparte fellingskjemikalier har tatt utgangspunkt i at alt avrent overvann fra Lillehammer sentrum kommer inn på LRA. Dette vil ikke stemme helt. Ved ekstreme regnskyll vil noe av overvannet gå i overløp ut i Mjøsa. Sett i perspektiv gjennom et helt år utgjør dette etter vår vurdering bare en liten brøkdel av totalen. I vintermånedene er det antatt at all nedbør vil komme som smeltevann når våren kommer. Dette stemmer heller ikke helt. Store deler av snøen i sentrum blir kjørt bort, og vil derfor ikke bidra til avrenning når våren kommer.

I klimarapporter anbefales det å ta med en klimafaktor, som skal ta hensyn til fremtidige økninger i nedbørsintensitet. I et scenario der årsnedbøren vil øke 20% kan det i “beste fall” spares opptil 12 000 liter fellingskjemikalium per år.

Det påpekes at feilmarginene i disse utregningene er vesentlige, da beregningene inneholder faktorer som er svært vanskelig å bestemme, samt at man ikke kan forutse fremtidig vær og nedbør 100%.

4.5 Overløpshyppighet

Ved å sammenligne registrerte overløpsvannføringer fra PK4, PK5 og OV5 med teoretisk beregnet overvannføring fra Lillehammer sentrum får man en indikasjon på hvilken virkning separering vil ha på overløpshendelsene. Det ble altså prøvd å simulere nedbøren som var grunnen til overløpshendelsen. Sammenligner man tabell 6 med tabell 7 ser man at tendensen er at beregnet overvann inn på spillvannsnettet er høyere eller nokså lik registrert overløpsvannføring. Dette antyder at ved å fjerne overvann fra sentrum vil man kunne unngå at spillvann renner i overløp ved PK4, PK5 og OV5. Det at beregnet vannføring er større enn registrert kan tyde på at flere overløpsledninger ikke registrerer mengde. Det er verdt å nevne at teoretisk avrenning er basert på 10-minutters nedbør, mens overløpsvannføring er basert på en gjennomsnittlig vannføring gjennom hele hendelsen. Etersom alle de fire overløpshendelsene varte lengre enn 10 minutter er det rimelig å anta at det finnes topper som er større enn den gjennomsnittlige overvannføringen.

Det ble funnet flere overraskende store avvik under arbeidet med overløpsregistreringer fra området rundt sentrum. Beregnet vannføring ved to av tilfellene er mye større enn det som faktisk er registrert. Den 23. Juli 2015 var beregnet vannføring mye mindre enn det som faktisk ble registrert. Total nedbør dette døgnet var 0.5 mm, og det er derfor vanskelig å forstå grunnen til de store mengdene som ble registrert. Det er også stilt spørsmålsteget når beregnet mengde overvann fra sentrum under regn overstiger kapasiteten til renseanlegget mens kun mindre mengde overløp er registrert i samme periode. Det var forventet en mer

forutsigbar registrering av overløp enn det som er faktisk er registrert. Under nedbør varierer mengde og hvilke punkter som går i overløp veldig og tendenser ble vanskelig å finne. Dette gjorde arbeidet med å beregne effekten av overløp vanskeligere. Det er ikke gått mer inn på årsaken til disse avvikene i denne oppgaven, men det kan tyde på at det ligger større avvik i mengderegistreringene.

Grunnen til at det ikke foreligger sammenligninger av flere datoer er at overløpsregistreringene i mengde var svært få.

4.6 Andre effekter

Lillehammer renseanlegg merker at store mengder grus og sandpartikler finner veien ned i fellesledningene. Ved å separere de gjenværende strengene i sentrum unngår man i stor grad dette. Overvannet inkludert grus/sandpartikler vil da renne direkte ut i Mjøsa uten å skape problemer. Lillehammer renseanlegg vil ha en fordel med dette ved at belastningen på sand/grusfang blir mindre, og at vedlikeholdsarbeidet vil bli redusert noe. Man vil også kunne redusere mengden grus/sand som må kjøres bort fra renseanlegget. Totalt sett vil det være vanskelig å anslå nøyaktig effekt av dette, men den er helt klart positiv.

4.7 Feilkilder

4.7.1 Overløpsmengder

Beregningene og sammenligningene for overløp har en feilkilde som kan være signifikant. Overløpsmengdene i seg selv, oppgitt i kubikkmeter, trenger ikke å stemme 100% da sensoren i overløpsrennen bare måler vannstand i overløpsrennen. På bakgrunn av vannstand i bassenget/rennen og vannets hastighet blir overløpsmengdene automatisk beregnet. Ved overløpsrennen er det plassert en sil som har som hensikt å sile ut de største partiklene, gjerne grus og sand. Problemet oppstår når denne silen blir delvis tett i bunn, og vannstanden stiger som følge av dette. Følgene er da at a) det blir registrert for høy vannstand og b) det skapes en forsinkelse når vannstanden er på tur ned. Overløpsmengden vil da beregnes som om silen var helt åpen. Med andre ord blir det registrert for store

overløpsmengder og for lang overløpstid. Sånn sett kan man si at sensorens plassering er dårlig, med tanke på pålitelige målinger av overløpsmengder. LRA opplyser at beregnet overløpsmengde har størst nøyaktighet ved relativt korte tidsintervaller.

4.7.2 Geografisk område

Arealet som bidrar til overflateavrenning, og som bidrar til overvann inn på fellesnett innenfor det valgte geografiske området er funnet ved hjelp av Gemini. I Gemini ligger Lillehammer kommunes VA-nett inne, og denne kartdatabasen er dermed brukt som grunnlag for innhenting av kartdata og informasjon om ledningsnett. Her ligger også informasjon om helninger, høyde på kummer og retning på selvfallsledninger. Lillehammer kommune opplyser at det kan finnes enkelte feil i denne kartdatabasen, som for eksempel feil retning på enkelte selvfallsledninger. Dette kan da i verste fall føre til at arealet av nedslagsfeltet som bidrar til økt avrenning blir enten for høyt eller for lavt. Det er i løpet av vinteren foretatt en befaring i Lillehammer sentrum for å verifisere informasjonen som ligger i Gemini. Det viste seg at informasjonen om ledningsnett i Gemini stemte relativt bra, og vi anser derfor sjansen for store feil i beregnet areal som liten.

4.7.3 Avrenningskoeffisient

Avrenningskoeffisienten er sentral i beregningen av avrent nedbør fra feltet.

Avrenningskoeffisientene fra forskjellige dekker og overflater er, som nevnt før, beregnet ut i fra målinger av de ulike dekkenes evne til å infiltrere vann. Avrenningskoeffisienten som er beregnet i denne oppgaven er et resultat av midlere koeffisient, da det valgte området i Lillehammer sentrum inneholder flere delfelter med forskjellig infiltrasjonsevne. De enkelte verdiene er anbefalte brukte koeffisienter basert på retningslinjer for overvannsdimensjonering. Cirka 90% av området består av asfalt og takflater, noe som minsker risikoen for feil, da infiltrasjonsevnen for tette overflater er lett å måle og relativt konstant. For slike tette flater vil oppgitte avrenningskoeffisienter være reliable. For delfeltene som inneholder småhusbebyggelse og gressdekker vil usikkerheten være mye større. For slike dekker, som tar opp relativt store mengder vann, vil det være en rekke faktorer som påvirker

infiltrasjonsevnen. Disse faktorene kan være hvor mett jord er fra før, frost/tele-forhold, jordtype/jordsmonn, vegetasjon, grunnvannsforhold og helning. For eksempel vil leirgrunn infiltrere mye mindre vann enn sandig grunn. Alle disse faktorene, som vil være forskjellig fra sted til sted, gjør som sagt at usikkerheten blir atskillig større enn for tette dekker. Den mest nøyaktige avrenningskoeffisienten for permeable dekker ville man fått ved å måle avrenning fra dekket og så sammenligne opp mot nedbør i samme tidspunkt. Slike målinger er omfattende og det kreves mye måleutstyr. Dette er noe vi ikke har mulighet til å gjennomføre. Likevel er det avgrensede geografiske område relativt homogent, med klar overvekt av ikke-permeable dekker, slik at det forventes at midlere avrenningskoeffisient gjenspeiler de faktiske avrenningsforholdene relativt godt.

4.7.4 Forhold som påvirker avrenningen - Tele, frost og snø

Om vinteren er det flere faktorer som vil forsinke eller forverre avrenningen fra et område. Kort sagt kan store snømengder og kulde føre til lav avrenning om vinteren, mens tele i bakken kan føre til at avrenningskoeffisientene i praksis blir atskillig høyere når vannet ikke har mulighet til å infiltrere i bakken. Regn om våren, kombinert med smeltevann og tele i bakken vil forverre situasjonen atskillig. Sånn sett er april/mai den mest kritiske perioden av året.

4.7.5 Meteorologiske data:

De meteorologiske dataene som er hentet ut vil kunne ha en feilprosent. Nedbøren kan være lokal og nedbørsmengde og intensitet vil kunne avvike mye over korte avstander og fra område til område. Det er nå satt opp en stasjon i sentrum som ble satt i drift like før jul. Den vil i motsetning til værstasjonen 12260 sætherengen måle RR_01. Pr nå ligger Sætherengen litt utenfor og måler kun RR_12 og RR_24. For å kunne beregne nedbørsintensitet ble det derfor brukt nedbørsdata fra Hamar istede. Avstanden og plassering innebærer at det vil kunne være både større og mindre avvik i mengde regnvann og intensitet. I noen tilfeller vil dataene kunne være ganske presise mellom stedene, mens i andre tilfeller vil det kunne avvike stort. Det virker gjennomgående fra data som er hentet ut

at regnfall i Lillehammer sentrum er høyere en regnfall i Hamar uten at vi har gått nærmere inn på dette.

4.8 Konklusjon

Gjennom arbeidet med oppgaven er det funnet flere effekter som vil påvirke Lillehammer renseanlegg ved separering av fellesnettet i sentrum.

- Med bakgrunn i siste års nedbør vil LRA anslagsvis spare 10 000 liter aluminiumklorid årlig. Ved økt regnintensitet i fremtiden vil dette tallet øke enda mere.
- Overløpsmengdene ved PK4, PK5 og OV5 vil bli betydelig redusert eller fjernet. Dette vil kunne ha en positiv effekt på det pågående arbeidet med å holde Mjøsa ren.
- Kapasitet ved renseanlegget blir frigjort. Ved tørrværsbelastning har renseanlegget god kapasitet og det er under belastning ved regn at kapasiteten sprenges. Ved å fjerne overvannet som kommer fra sentrum vil kapasiteten under regn øke betydelig. Dette fører til at tørrværsbelastningen kan økes i stedet for å bygge ut selve renseanlegget. Separering av fellesnettet i sentrum kan derfor sees på som et godt virkemiddel ved befolkningsøkning.
- Innholdet av sand/gruspartikler vil bli redusert. Dette fører til mindre vedlikehold, mindre slitasje og mindre bortkjøring av sand/grus fra renseanlegget.
- I tillegg kommer mindre effekter som det ikke er sett nærmere på. Dette vil være redusert forbruk av elektrisitet tilknyttet pumper og i forbindelse med selve renseprosessen. LRA bruker også etanol i biotrinnet av renseprosessen. Her er det ikke funnet noen sammenheng mellom forbruk og innløpsmengde. LRA bekrefter likevel at de merker forskjeller på etanolforbruket ved varierende innløpsmengder.

Ser vi på effektene over en lengre periode vil innsparing i bruk av kjemikalier og andre effekter som strøm og etanolforbruk gi en økonomisk gevinst for LRA. Men påvirkningen på kapasiteten vil ikke bli veldig stor. Det er som nevnt en innsparing på 1.4% av totalt forbruk av kjemikalier, og LRA har stor kapasitet til å behandle spillvann sett over ett år. Ser vi på effektene under kortere perioder med regn vil effektene påvirke kapasiteten og overløp betraktelig. Separeringen av sentrum vil derfor ha en effekt både for en kortere og lengre

periode. Ved å prioritere streng 1 ved separering av sentrum viser resultatet at denne strengen vil ha størst effekt på LRA i form av redusert mengde overvann.

Vi konkluderer til slutt derfor med at redusert overvannsmengde fra Lillehammer sentrum vil kunne ha stor effekt på LRA.

5 Referanser

1. Dannevig P., Harstveit K.E. Klima. Sted: SNL; 12.06.2015; 02.05.2016. Tilgjengelig fra:
<https://snl.no/klima>
2. St. meld. nr 33 (2012-2013). Klimatilpasning i Norge. Tilgjengelig fra:
<https://www.regjeringen.no/contentassets/e5e7872303544ae38bdbdc82aa0446d8/no/pdfs/stm201220130033000dddpdfs.pdf>
3. Statistisk sentralbyrå. (2015). Befolkning og areal i tettsteder. Tilgjengelig fra:
<http://www.ssb.no/befolkning/statistikker/beftett/aar/2015-12-11>
4. Lemminkainen. Asfalt og bitumen som historisk byggemateriale. Sted: Lemminkainen; 20.04.2016. Tilgjengelig fra:
<http://www.lemminkainen.no/Vaare-tjenester/forskning-og-utvikling/asfalt-og-bitumen-som-historisk-byggemateriale/>
5. Norges offentlige utredninger. (2015). Overvann i byer og tettsteder. Tilgjengelig fra:
<https://www.regjeringen.no/contentassets/e6db8ef3623e4b41bcb81fb23393092b/no/pdfs/nou201520150016000dddpdfs.pdf>
6. Norsk Vann. (2015). Ofte stilte spørsmål om avløp - Ledningsnett. Tilgjengelig fra:
<http://www.norsk vann.no/index.php/avlop/ofte-stilte-sporsmal-om-avlop/94-ledningsnett>
7. Ødegaard H. Vann- og avløpsteknikk. 2. Utg. Hamar: Ide trykk; 2014.
8. NRK. Milliarder for å sikre drikkevannet. Sted: NRK; 03/7/2014; 15/5/2016. Tilgjengelig fra:
<http://www.nrk.no/norge/milliard-er-for-a-sikre-drikkevannet-1.11811958>
9. Thorsnæs G., Vøllestad A. Mjøsa. Sted: SNL; 4/12/15; 16/5/16. Tilgjengelig fra:
<https://snl.no/Mj%C3%B8sa>

10. Vråle L. NIVA. Silgrainsyre som fellingsmiddel av avløpsvann.(1981). Tilgjengelig fra:
http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/203063/1348_72dpi.pdf?sequence=1

11. Hanssen-Bauer mfl. Klima i Norge 2100. Oslo: Norsk klimaservicesenter; 2015.
Tilgjengelig fra: <https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/rapporter-og-publikasjoner/attachment/6616?ts=14ff3d4eeb8>

12. Aarhaug O.R. Geoteknikk. 1. Utgave. Oslo: NKI Forlaget AS; 1992.

13. NPG Norge. Overvannsbehandling. Sted: NPGNorge; 16/5/2016. Tilgjengelig fra:
<http://npgnorge.no/Kunnskapsarkiv/Laerebok/Overvannsbehandling>

14. Olimb. Dette er styrt boring. Sted: Olimb; 16/5/16. Tilgjengelig fra:
<http://olimb.no/boring/styrt-boring/>

6 Vedlegg

Vedlegg 1:

Tabell over IVF kurve i tabellform

Returperioder(år); Nedbørintensitet i liter pr. sekund pr. hektar(10 000m²) (l/s*ha)
 12670 LILLEHAMMER
 Periode: 1969 - 1991
 Antall sesonger: 23

År	1 min.	2 min.	3 min.	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	30 min.	45 min.	60 min.	90 min.	180 min.	360 min.
2	211,8	180,3	155,5	130,6	95	74,8	61,6	46,8	36,2	28,7	21,7	14,3	9,5
5	258,3	220,4	190,1	160,5	109,7	86,2	70,4	53,6	43,5	35	25,6	16,9	11,8
10	289,2	247	213	180,4	119,4	93,8	76,2	58,1	48,3	39,1	28,1	18,6	13,4
20	318,7	272,5	235	199,4	128,8	101	81,8	62,4	53	43,1	30,6	20,3	14,8
25	328,1	280,6	242	205,5	131,7	103,3	83,5	63,8	54,5	44,4	31,4	20,9	15,3
50	357	305,5	263,5	224,1	140,8	110,4	89	68	59	48,3	33,7	22,5	16,7
100	385,7	330,2	284,8	242,6	149,9	117,5	94,4	72,2	63,5	52,2	36,1	24,1	18,2
200	427,9	363,9	309,5	260,1	157,9	123	99,6	78,2	67,6	56,6	38,9	25,8	19,6

Vedlegg 2:

Beregnet gjennomsnittlig dosering aluminiumsklorid

	Innløpsmengde Kjemikalier	Kjemikalier	TOT KJEM		
	m ³	Forfelling (l)	Etterfelling (l)		
januar					
2011	342913	12436	36000	48436	
2012	393160	26640	37880	64520	
2013	407090	36743	21340	58083	
2014	545945	36900	38039	74939	
2015	346828	30360	22484	52844	
februar					Gjennomsnittlig dosering Januar
2011	329455	21728	29429	51157	146,7
2012	369103	24953	34882	59635	
2013	373458	39624	18323	57947	
2014	559979	38106	40544	78650	
2015	324227	25472	26626	52098	
mars					Gjennomsnittlig dosering Februar
2011	406445	19853	44693	64546	153,2
2012	641490	10275	61200	71475	
2013	419747	35492	27264	62756	
2014	744387	43041	62624	105865	
2015	562672	34558	43628	78186	
april					Gjennomsnittlig dosering Mars
2011	675707	0	74251	74251	138,0
2012	607180	33	56959	56992	
2013	612702	42369	51586	93955	
2014	585673	35224	33688	68912	
2015	561013	38819	34871	73690	
mai					Gjennomsnittlig dosering April
2011	454179	0	59517	59517	120,6
2012	557221	240	52702	52942	
2013	765572	10926	60932	71858	
2014	487226	17831	32230	50061	
2015	553872	35778	28102	63880	
juni					Gjennomsnittlig dosering Mai
2011	678333	0	70939	70939	105,8
2012	428970	445	40560	41005	
2013	703190	14835	51921	66756	
2014	390301	12815	30241	43056	
2015	497123	23082	34739	57821	
juli					Gjennomsnittlig dosering Juni
2011	623996	0	53911	53911	103,7
2012	548534	576	48157	48733	
2013	482794	24469	27307	51776	
2014	475726	23618	27342	50960	
2015	406197	27962	34906	62868	
august					Gjennomsnittlig dosering Juli
2011	687429	0	55882	55882	105,7
2012	625822	30962	42244	73226	
2013	DATA MANGLER				
2014	495956	21132	28288	49420	
2015	456999	28553	34136	62689	
september					Gjennomsnittlig dosering August
2011	767903	0	54457	54457	106,4
2012	465326	26842	21863	48705	
2013	434564	24383	23614	47997	
2014	375191	20395	27531	47926	
2015	563501	31269	28048	59317	
oktober					Gjennomsnittlig dosering Sept
2011	443582	0	40923	40923	99,1
2012	514246	33339	14262	47601	
2013	421543	25365	24658	50023	
2014	639673	32736	47405	80141	
2015	376602	21838	20097	41935	
november					Gjennomsnittlig dosering Okt
2011	405733	410	36166	36576	108,7
2012	763821	47776	16974	64750	
2013	446452	27939	24739	52678	
2014	608038	34010	26912	60922	
2015	354180	19796	19453	39249	
desember					Gjennomsnittlig dosering Nov
2011	430279	24994	40486	65480	98,5
2012	460890	30230	17991	48221	
2013	DATA MANGLER				
2014	403754	28004	22999	51003	
2015	407197	24664	22000	46664	
					Gjennomsnittlig dosering Des
					124,2

Vedlegg 3:

Beregnet midlere koeffisient streng 1

Streng 1	Sone 1	Sone 2	Sone 3	Sone 4	Sone 5	Totalt
Koeffisient	0.8	0.8	0.8	0.3	0.3	
Areal	1.92 ha	1.9 ha	1.28 ha	1.13 ha	1.54 ha	7.77 ha
KxA	1.536	1.520	1.024	0.339	0.462	4.881
sum (k)						0.63

Vedlegg 4:

Beregnet midlere koeffisient streng 2

Streng 2	Sone 1	Sone 2	Totalt
Koeffisient	0.8	0.3	
Areal	1.94 ha	1.51 ha	3.45 ha
KxA	1.552	0.453	2.005
Sum (k)			0.58

Vedlegg 5:

Beregnet midlere koeffisienr streng 3

Streng 3	Sone 1	Sone 2	Sone 3	Sone 4	Totalt
Koeffisient	0.8	0.8	0.3	0.05	
Areal	2.08 ha	1.79 ha	1.00 ha	1.00 ha	5.87 ha
KxA	1.664	1.432	0.3	0.05	3.446
Sum (k)					0.59

Vedlegg 6:

Kart over fellessystemet

