

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på min mastergrad innenfor Vann- og Miljøteknikk ved Universitetet for Miljø- og Biovitenskap (UMB). Oppgaven har et omfang på 30 studiepoeng og er skrevet våren 2013 på Institutt for matematiske realfag og teknologi, IMT.

COWI AS har initiert oppgaven og bistått med faglig veileder. Oppgaven har sett på muligheten for å benytte trykkavløp ved transport av spillvann i urbane områder, og er løst ved å prosjektere og gjøre en økonomisk sammenligning av et trykkavløpssystem og et konvensjonelt gravitasjonssystem i en avløpssone i Lillestrøm. Oppgaven har hatt en fin praktisk vinkling med mye prosjekteringsarbeid. Fremdriften med oppgaven har vært ganske jevn, men jeg har stått godt fast ved enkelte tidspunkt. Spesielt i prosjekteringen av trykkavløpsanlegget er det lagt ned mye svette og tårer som kanskje ikke er representative i form av antall sider og ord.

Først vil jeg takke min hovedveileder Oddvar Lindholm for gode råd når det har trengtes, faglig innspill og tilbakemeldinger underveis i arbeidet med oppgaven. Videre vil jeg takke Odd Ivar Opheimsbakken i Skedsmo kommune for å stille studieområde, kartgrunnlag og tid til disposisjon.

En stor takk går til Tom Arild Karlsen i COWI AS som har vært en veldig dyktig veileder for meg i denne oppgaven. Det har vært veldig bra å kunne støtte seg på en som er erfaren og faglig flink når jeg har stått fast. Takk for utfyllende og motiverende tilbakemeldinger.

Takk til alle på fløy V og alle andre venner på Vann- og miljø for et bra miljø og kjekke lunsjpauser, og ikke minst ispausene i solveggen på Sørhellinga. En ekstra takk til Eirik Olav for korrekturlesing av oppgaven.

Den siste og største takken går til min kjære samboer Tirill som har holdt ut med et halvt års babbler om trykkavløp, grøfter og alt mulig annet jeg har vært innom i masteren. I tillegg skal hun ha takk for å ha bidratt med gode råd, faglig input, korrekturlesing og all støtte gjennom hele masterperioden.

Ås, 13. mai 2013

Øystein Jørgen Arctander Pettersen

Sammendrag

I 2010 kom RIF (Rådgivende Ingeniørers Forening) ut med "State of the Nation", en rapport som omhandler rikets tilstand på norsk infrastruktur. I rapporten er avløpsanlegg vurdert som at de er i en så dårlig forfatning at funksjonaliteten er truet (RIF, 2010). Samtidig vet vi at fremmedvannsmengdene i avløpsnett i Norge er blant de høyeste i Europa. Dette blir bekreftet gjennom en rapport i tidsskriftet VANN 01-2012 hvor det ble funnet en gjennomsnittlig middelværdi for fremmedvann på 68 % ved 15 store norske renseanlegg (Lindholm et al., 2012a). "State of the Nation" og den store fremmedvannsmengden må regnes som en indikator på at dagens transportsystemer for avløpsvann ikke fungerer slik de er tiltenkt å gjøre. VA-bransjen betraktes som konservativ med lite innslag av nyskaping og gamle løsninger er fortsatt dominerende ved sanering og installasjon av nye avløpsanlegg.

I denne masteroppgaven er det forsøkt å tenke nytt i en mer kreativ retning, og i den sammenhengen er det sett på om trykkavløpssystem med kvernpumper kan være en alternativ løsning for transport av spillvann i urbane områder.

Trykkavløpssystemet er sammenlignet med et konvensjonelt gravitasjonssystem gjennom nåverdiregninger av energikostnader og kostnader knyttet til installasjon av anleggene i en urban avløpsone med flatt terreng i Lillestrøm. Anleggene er prosjektert og dimensjonert i avløpssonen for å løse oppgaven med å frakte alt spillvannet fra sonen til en interkommunal hovedledning som fører spillvannet videre til renseanlegget. Anleggene er dimensjonert for fremtidig situasjon og avløpsmengdene er beregnet ut fra spesifikk vannmengde (Q_s) og folketallsutvikling i avløpssonen (PE 2050). Q_s er i oppgaven satt til $130 \text{ l/PE} \cdot \text{d}$ og PE 2050 for avløpssonen er i oppgaven beregnet til 6021.

Trykkavløp med kvernpumper er en velprøvd avløpsløsning i privat regi i forbindelse med hytteområder, men er ikke benyttet i Norge til VA løsninger i urbane strøk. Et trykkavløpssystem består av pumpestasjoner med kvernpumper som pumper spillvannet inn på et felles trykksatt ledningssystem som fører spillvannet til et trykkutløsende punkt. I denne oppgaven ble det valgt en løsning med 1-2 pumpestasjoner per kvartal i avløpssonen. Løsningen resulterte i totalt 77 pumpestasjoner fordelt på 5 forskjellige trykkavløpssystem, ca. 7000 meter grøfter (alle grøftene med en dybde < 2 meter) og en energikostnad på ca. 36 000 kr/år. Totale kostnader knyttet til trykkavløpssystemet i avløpssonen over en periode på 40 år omgjort til netto nåverdi (NNV_{40}) er beregnet til 60,7 millioner norske kroner. 80 % av de totale kostnadene stammer fra ledningsanlegget, mens bare 1 % er energikostnader. Resten av kostnadene er knyttet til pumpestasjonene.

Det konvensjonelle selvfallssystemet ble prosjektert som et spillvannssystem med utgangspunkt i det eksisterende fellesavløpssystemet i avløpssonen. En løsning med 3 overføringsledninger ble valgt. Ledningene er lagt med tilstrekkelig fall slik at det oppnås selvrensing. Totalt består den konvensjonelle løsningen av ca 11 000 meter med grøfter hvor 6200 meter av grøftene er fra 2 til 3 meter dype, 2000 meter av grøftene er fra 3-4 meter

dype og 2800 meter av grøftene er over 4 meter dype. Totale kostnader for det konvensjonelle anlegget i avløpssonen er beregnet til å være på 205,4 millioner kroner i NNV₄₀. Ca. 50 % av kostnadene er knyttet til grøfter med en dybde over 4 meter, mens grøfter med dybde 2-3 meter og dybde 3-4 meter utgjør ca. ¼ av kostnadene hver.

Grøftedybdene er avgjørende for at trykkavløpssystemet kommer gunstig ut økonomisk i denne oppgaven. Ved å inkludere overvann- og vannledninger i regnestykket, vil den kostnadmessige fordelene ved trykkavløpssystemet reduseres med ca. 50 millioner. Implementering av et trykkavløpssystem vil allikevel kunne gi en samfunnsmessig besparelse på ca. 40 % sammenlignet med et gravitasjonssystem i avløpssonen i Lillestrøm.

Trykkavløpssystem med kvernpumper burde ut fra et økonomisk aspekt vurderes som et alternativ ved sanering av gamle anlegg eller ved bygging av nye anlegg i urbane områder med flatt terreng.

Abstract

In 2010, RIF (Association of Consulting Engineers) published "State of the Nation", a report on the condition of Norwegian infrastructure. According to the report the national wastewater collection system is in such a poor present state that it threatens its functionality (RIF, 2010). We also know that the amount of RDII in the sewer systems in Norway is among the highest in Europe. This is confirmed by a report in the journal VANN 01-2012, where an average mean of 68 % RDII was found at 15 major Norwegian treatment plants (Lindholm et al., 2012a). "State of the Nation" and the large amount of RDII must be considered as an indicator that the current transport systems for wastewater does not work as they are intended to. The industry of water & sewerage is considered conservative with little touches of innovation. Old solutions are still dominating the rehabilitation and installation of new wastewater transport systems.

In this thesis it is tried to innovate in a more creative direction. In that context pressure sewer system with grinder pumps (GP) are considered as an alternative solution for the transport of sewage in urban areas.

GP systems is compared with a conventional gravity system through present value calculations of energy costs and costs related to the installation of the facilities in an urban drainage zone with flat terrain in Lillestrøm. The plants are designed and dimensioned to solve the task of transporting the sewage from the drainage zone to an inter-municipal main pipe, which is leading the sewage to the treatment plant. The systems are designed for the future situation and sewage volumes are calculated from specific flow (Q_s) and population development in the drainage zone (PE 2050). Q_s is set to 130 liters/PE*day and the PE 2050 is calculated to be 6021 for the whole drainage zone.

GP systems are a proven transport method in relation to private cabin areas. GP systems consist of pump stations with grinder pumps that pump the sewage into a common pressurized pipe system, leading the sewage to a pressure trigger point. In this thesis a solution with 1-2 pump stations per quarter was chosen. The solution resulted in a total of 77 pump stations in 5 different GP systems, approx. 7000 meters ditches (the depth of the trenches does not exceeds a depth of 2 meters) and an energy cost of about 36 000 NOK/year. Total cost related to the pressure sewer with grinder pumps for the drainage zone over a period of 40 years converted into net present value, is estimated to 60.7 million Norwegian kroner. 80 % of the total cost originates from the pipeline installations, while only 1 % is energy costs. The rest of the costs are related to the pump stations.

The conventional gravity system was designed as a sewage system on the basis of the existing combined sewer systems in the drainage zone. A solution with 3 “main pipes” was selected. The pipes are placed with sufficient slope so as to achieve self-cleansing. Total, the conventional solution consists of a total of approx. 11 000 meters of trenches in which 6200 meters of the trenches are of 2-3 meters depth. 2000 meters of the trenches are from 3-4 meters deep and 2800 meters of trenches are over 4 meters deep. Total cost of the conventional plant for the drainage zone is estimated to be 205.4 million Norwegian kroner in net present value over a period of 40 years. Approx. 50 % of the costs are linked to trenches deeper than 4 meters, while the trenches with a depth of 2-3 meters and 3-4 meters account for about ¼ of the cost each.

The depth of the trenches is an essential factor why the pressure sewer system is financially beneficial in this thesis. By including storm water- and water pipes into the calculation, the cost-related benefits of pressure sewer system is reduced by approx. 50 million NOK. Implementation of a pressure sewer system will still be able to provide a social savings of approx. 40 % compared with a conventional gravity system in the drainage zone in Lillestrøm.

Pressure sewer system with grinder pumps should from a financial aspect be considered as an alternative solution for modernization of old pipes or when building new sewer facilities in urban areas where the terrain is flat.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
Figurliste	ix
Tabelliste	xi
Formelliste.....	xii
Del 1: Introduksjon.....	1
1 Innledning.....	2
1.1. Avløpsnettets tilstand i Norge	2
1.1.1. Løsninger på dagens situasjon	2
1.2. Offentlig anskaffelse	3
1.3. Problemstilling og oppgavens utforming	4
Del 2: Teori.....	5
2 Teori.....	6
2.1. Konvensjonelle avløpssystem	6
2.1.1. Fellessystem	6
2.1.2. Separatsystem.....	7
2.1.3. Ledninger i konvensjonelt avløpssystem	7
2.1.4. Prosjektering og dimensjonering av konvensjonelt anlegg.....	8
2.2. Trykkavløpssystem.....	12
2.2.1. Innledning	12
2.2.2. Systembeskrivelse.....	12
2.3. Dimensjoneringsgrunnlag.....	18
2.3.1. Spesifikt vannforbruk (Q_s).....	18
2.3.2. Beregning av p_e	19
2.3.3. Variasjon i spillvannsavrenning.....	20
2.3.4. Infiltrasjons- og innlekkingsvann (Q_{inf})	22
2.4. Anleggsmetoder og spesielle hensyn.	23

2.4.1. Aktuelle avløpsledninger	23
2.4.2. Frostfri dybde	23
2.4.3. Grøfter	24
2.5. Økonomisk analyse	27
2.5.1. Nåverdimetoden	27
Del 3: Prosjektering og analysering	28
3 Studieområde	29
3.1. Skedsmo kommune	29
3.2. Lillestrøm og avløpssone 1.5.	29
3.2.1. Eksisterende anlegg	30
3.2.2. Inndeling av områder i sone 1.5.	32
3.2.3. Grunnforhold	32
4. Dimensjoneringsgrunnlag	34
4.1. Folketallsutvikling og tilknytning	34
4.1.1. Sanering av Vestbygata	34
4.1.2. Kommuneplan for Skedsmo kommune	35
4.1.3. PE 2050 for avløpssone 1.5.	38
4.2. Spesifikk vannmengde, Q_s	38
4.3. Frostfri dybde	38
5. Implementering av konvensjonelt anlegg	40
5.1. Overføringsledningenes trase	40
5.2. Soneinndeling og oppsamlingsnett	41
5.2.1. Ledninger. Konvensjonelt anlegg	42
5.2.2. PE. Konvensjonelt anlegg	42
5.2.3. Dimensjonerende vannmengder. Konvensjonelt anlegg	43
5.3. Dimensjonering overføringsledninger	44
5.3.1. O-1: Storgata – Skedsmogata	45
5.3.2. O-2: Romeriksgata – OK2	46
5.3.3. O-3: Nittedalsgata – OK2	47
5.4. Kvantitativ systembeskrivelse. Konvensjonelt anlegg	49
6. Implementering av trykkavløp	50

6.1. Kvartaler	50
6.2. Pumper, tilknytting og vannmengder.....	51
6.2.1. PE. Tilknytting til pumpestasjon.	51
6.2.2. Vannmengder	52
6.2.3. Pumpeløsning	53
6.3. Hovedledningstraseer og soneinndeling.....	53
6.3.1. Hovedledningenes trase	53
6.3.2. Soneinndeling	54
6.4. Ledningsdimensjonering.....	55
6.4.1 Optimalisering av ledningsdiametre.....	56
6.5. Kvantitativ systembeskrivelse. Trykkavløpssystem.....	62
7. Økonomisk analyse.....	63
7.1. Grunnlag	63
7.1.1. Periode	63
7.1.2. Diskonteringsrente.....	63
7.1.3. Kostnadstall.....	63
7.2. Kostnader.....	65
7.3 Resultater.....	67
7.3.1. NNV_{40} , sammenstilling	67
7.3.2. Kostnadsfordeling	67
Del 4: Diskusjon og konklusjon.....	69
8 Diskusjon	70
8.1. Resultater.....	70
8.1.1. Usikkerhet	70
8.2. Samfunnsøkonomisk aspekt.....	73
8.3. Trykkavløpssystem i urban sammenheng	74
8.3.1. Pumpeløsninger	74
8.3.2. Deling av sone B.1 og B.2	75
8.3.3. Fordeler og ulemper	75
9 Konklusjon	77
10. Forslag til videre arbeid.....	77

Litteraturliste:.....	78
Vedlegg.....	81

Figurliste

Figur 1: Skisse fellessystem (Holmstrand and Lindvall, 1979)	6
Figur 2: Skisse separatsystem (Holmstrand and Lindvall, 1979).....	7
Figur 3: Ledningsoppbygging konvensjonelt anlegg.	7
Figur 4: Figuren er hentet fra VA-Miljøblad Nr.79 (Lindholm, 2007). Benyttes til å finne fyllingshøyde h/D.	11
Figur 5: Skisse av trykkavløpssystem med komponenter.	12
Figur 6: Oppsamling. Transport av spillvann fra hus til oppsamlingspunkt (Revidert tegning fra (Bowne et al., 1991)).....	13
Figur 7: Transport av spillvann fra pumpestasjon til hovedledning (revidert tegning fra (Bowne et al., 1991))	13
Figur 8: Eksempler på pumpestasjon med utjevningstank og pumpestasjon for enkelthus. Illustrasjonene er hentet fra VA-Miljøblad nr. 66 (Fjeldberg, 2007).	15
Figur 9: "LPS Extrem" kvernpumpe fra Skandinavisk Kommunalteknikk AS. Kvern hjulet er montert ved inntaket til pumpen (Skandinavisk Kommunalteknikk AS).	15
Figur 10: Bratte pumpekurver (ITT Flygt).....	16
Figur 11: Eksempler på tilkobling av oppsamlingsledning til hovedledning med T- og Y-kobling (bilder hentet fra presentasjon av trykkavløp (SULZER, 2012)).....	16
Figur 12: k-verdi leses ut fra y-akse. Verdiene på x-aksen er fra ledningenes helning α (Karlsen, 2002)	17
Figur 13: Til venstre: Grøft med rør i isolerte kasser (Skandinavisk Kommunalteknikk AS, 2012). Til høyre: Isolert rør med varmekabel (Opplandske Rørsystemer AS, 2011)	18
Figur 14: Maksimal timevariasjon spillvannsmengde, k_{maks} . (Ødegaard et al., 2009).....	21
Figur 15: Soneinndeling i et grøftetverrsnitt. Figuren er en gjengiving av figur fra VA-Miljøblad nr. 5 (Interconsult AS, 1997a).	25
Figur 16: Grøft med spunting og avstivning i topp (Stangeland maskin, 2013).....	26
Figur 17: Oversikt Skedsmo kommune (Skedsmo kommune, 2013)	29
Figur 18: Soneinndeling avløp, Lillestrøm. Den røde linjen symboliserer den interkommunale hovedledningen (Revidert bilde fra (Hjellnes Consult as, 2010)).	30
Figur 19: Eksisterende anlegg avløpssone 1.5.	31
Figur 20: Avløpsnettets gjennomsnittsalder, etter soneinndeling (Hjellnes Consult as, 2010)	31
Figur 21: Avløpssone 1.5. Inndeling av sonen etter eksisterende anlegg.....	32
Figur 22: Kartutsnitt over Lillestrøm. Viser grunnforhold med løsmasser (Kart fra nasjonal løsmassedatabase http://geo.ngu.no/kart/losmasse/).....	33
Figur 23: Sanering av Vestbygata	35
Figur 24: Oversikt Lillestrøm fra forslag til kommuneplan 2011-2022 arealdel.	36
Figur 25: Avløpssone 1.5. Utsnitt fra forslag til kommuneplan 2011-2022 arealdel.....	37
Figur 26: Overføringsledningenes trase. Konvensjonelt anlegg	41
Figur 27: Oppsamlingsnett og soneinndeling avløpssone 1.5. Konvensjonelt anlegg.....	42

Figur 28: Lengdeprofil Storgata – Skedsmogata. Eksisterende ledning (stiplet rød) og prosjektert spillvannsledning (grønn).	46
Figur 29: Lengdeprofil Romeriksgata – OK2. Eksisterende ledning (stiplet rød) og prosjektert spillvannsledning (grønn).	47
Figur 30: Trase oppsamlingsledning <i>Vollaparken – Nittedalsgata</i>	48
Figur 31: Lengdeprofil Nittedalsgata – OK2. Eksisterende ledning (stiplet rød) og prosjektert ledning (grønn).	48
Figur 32: Inndeling av kvartalpumper for avløpssone 1.5..	51
Figur 33 Soneinndeling trykkavløpssystem.	54
Figur 34: Endelig soneinndeling med ledningstraseer for trykkavløpssystem	55
Figur 35: Oversikt sone B.1.1.....	57
Figur 36: Oversikt sone B.1.2.....	58
Figur 37: Oversikt sone B.2.1.....	59
Figur 38: Oversikt sone B.2.2.....	60
Figur 39: Oversikt sone B.3.....	61
Figur 40: Investeringstidspunkt for kostnadene tilknyttet avløpssystemene.....	66
Figur 41: Kostnadsfordeling konvensjonelt anlegg	67
Figur 42: Kostnadsfordeling trykkavløpssystem	68
Figur 43: Følsomhetsanalyse konvensjonelt anlegg. Øking av dimensjoner ved prosentvis øking av beregnet Q_{dim}	71
Figur 44: Utdrag fra Figur 18 i kapittel 3.2. <i>Lillestrøm og avløpssone 1.5</i>	73

Tabelliste

Tabell 1: Minimumsfall på spillvannsførende ledninger og overvannsledninger (Svenskt Vatten, 2004).....	9
Tabell 2: Noen eksempler på rørruheter (k -verdi). (Tabellen er hentet fra (Ødegaard, 2012))	9
Tabell 3: Tabell fra NS 9426 over spesifikke verdier for mengde BOF5-bidrag per døgn per enhet.	19
Tabell 4: Omregningsfaktorer PE for forskjellige virksomheter.....	20
Tabell 5: Maksimale døgn- og timefaktorer (Ødegaard, 2012)	21
Tabell 6: Frostdybdefaktoren K_F for ulike jordarter (Statens vegvesen, 2009).....	23
Tabell 7: Utdrag fra "Kommunetabell – Årsmiddeltemperatur og frostmengder" (Statens vegvesen, 2011).....	24
Tabell 8: Nødvendig plassbehov/grøftebredde for forskjellige rørdimensjoner (Interconsult AS, 1997b).	25
Tabell 9: Sanering av Vestbygata. Beregning av PE.	34
Tabell 10: Feltinndeling avløpssone 1.5. Oversikt over arealreserver og ønsket prosentvis fordeling mellom lovlige arealformål.....	37
Tabell 11: Beregning av fremtidige PE for områder satt av til sentrumsformål.....	38
Tabell 12: Beregning PE avløpssone 1.5 (2050)	38
Tabell 13: Overføringsledninger konvensjonelt anlegg	41
Tabell 14: Oversikt type og meter ledning. Prosjektering konvensjonelt anlegg.....	42
Tabell 15: PE 2050 for soner konvensjonelt anlegg.....	43
Tabell 16: Avløpsmengder etter soneinndeling konvensjonelt anlegg.....	44
Tabell 17: Dimensjonering av overføringsledninger	44
Tabell 18: Beregning av selvrensing for hovedledningene i konvensjonelt anlegg.....	45
Tabell 19: Kvantitativ systembeskrivelse konvensjonelt anlegg.....	49
Tabell 20: Fordeling av PE i kvartaler satt av til fremtidige sentrumsformål.....	52
Tabell 21: Oversikt soneinndeling trykkavløp	54
Tabell 22: Selvrensningshastigheter og nødvendig pumpekapasitet for aktuelle rørdiametre	56
Tabell 23: Optimalisering av ledningsdimensjoner sone B.1.1	57
Tabell 24: Optimalisering av ledningsdimensjoner sone B.1.2	58
Tabell 25: Optimalisering av ledningsdimensjoner sone B.2.1	59
Tabell 26: Optimalisering av ledningsdimensjoner sone B.2.2	60
Tabell 27: Optimalisering av ledningsdimensjoner sone B.3	61
Tabell 28: Kvantitativ systembeskrivelse trykkavløpssystem, del 1.	62
Tabell 29: Kvantitativ systembeskrivelse trykkavløpssystem, del 2.	62
Tabell 30: Oppsummering kostnadstall.	64
Tabell 31: Kostnader for konvensjonelt anlegg. Mnok = 1 million Norske kroner.	65
Tabell 32: Kostnader for trykkavløpssystem. Mnok = 1 million Norske kroner.....	66
Tabell 33: Samlet nåverdianalyse av avløpssystemene.	67

Formelliste

Formel 1: Darcy-Weisbachs ligning for friksjonstap.	8
Formel 2: Kontinuitetsligningen.....	8
Formel 3: Darcy-Weisbachs ligning for rørdiameter.....	8
Formel 4: Prandtls formel. Halvempirisk formel for å finne friksjonskoeffisienten f	9
Formel 5: Beregning av skjærspenning langs rørveggen i sirkulært fylt ledning.....	10
Formel 6: Beregning av maks skjærspenning.....	10
Formel 7: Beregning av minimal vannhastighet for å oppnå selvrensning i trykkavløpsledninger.....	17
Formel 8: Beregning av k_{maks} fra TA-525 (Harr et al.).....	21
Formel 9: Frostfritt dyp	23
Formel 10: Netto nåverdi (Finansdepartementet, 1997)	27
Formel 11: Energiforbruk ved pumping av spillvann.	56

Del 1

Introduksjon

1 Innledning

1.1. Avløpsnettets tilstand i Norge

Norge består av til sammen 51 000 kilometer med kommunale avløpsledninger (ikke medregnet private stikkledninger). De kommunale avløpsledningene kan deles inn i tre systemer:

1. Felles avløpsledninger for spillvann og overvann
2. Separate spillvannsledninger
3. Separate overvannsledninger

Av avløpsledningene i Norge er 15 % fellessystem, 55 % separate spillvannsledninger og 30 % separate overvannsledninger (SSB, 2011). I en undersøkelse av andel fremmedvann¹ ved 15 store norske rensanlegg ble det funnet en gjennomsnittlig middelværdi for fremmedvann for disse anleggene på 68 % (Lindholt et al., 2012a).

I 2010 kom RIF (Rådgivende Ingeniørers Forening) ut med "State of the Nation", en rapport som omhandler rikets tilstand på norsk infrastruktur og bygg. Rapporten gir et helhetlig bilde av situasjonen i Norge, og er ment for å gi svar på hvor egnet bygg og anlegg er til å oppfylle nåværende og fremtidige krav og behov. RIF har i rapporten sett på 11 forskjellige områder innenfor infrastruktur i Norge og gitt en vurdering med karakter på en skala fra 1 til 5. Karakteren 5 er best og er definert som om at anlegget er som nytt. Avløpsanlegg og jernbane har blitt vurdert med karakteren 2, noe som gjør at de kommer dårligst ut av samtlige vurderte områder. Karakteren 2 er i rapporten definert som at anleggene er i en så dårlig forfatning at funksjonaliteten er truet.

Under området avløpsanlegg i rapporten er flere deler vurdert, her gjengitt med karaktervurdering i parentes. Overholdelse av gjeldene renskrav (2), tilknytningsgraden til rensanlegg med godkjent prosess (2,5), kvaliteten og bruken av slam fra rensanlegg (5), dokumentasjon av overløpsdrift på nettet i større tettbebyggelser (1,5) og ledningsnett (2). Rapporten foreslår til slutt 5 viktige satsningsområder for avløpssektoren, hvor den første er: "Økt ledningsfornyelse både som erstatning av dårlige eksisterende nett og for økt kapasitet for klimaendringer" (RIF, 2010).

Rapporten, sammen med den store andelen fremmedvann må regnes som en indikator på at dagens transportsystemer for avløpsvann ikke fungerer slik det er tiltenkt å gjøre.

1.1.1. Løsninger på dagens situasjon

I Norge i dag har man som målsetting å separere overvann og spillvann i alle kommuner der det er mulig. I de store byene som for eksempel Oslo har man valgt å beholde fellessystemet

¹ Med fremmedvann menes alt annet enn vann fra drikkevannsnettet forbrukt i husholdningene eller av andre vannforbrukere.

av praktiske årsaker i sentrum, men også med begrunnelse om at overvannet er forurenset. Dette er også vanlig i store byer ute i Europa. I Skedsmo kommune, som denne oppgaven skal omhandle, er dagens situasjon med ledningsnett slik at det regnes som et gjennomsnitt at avløpsmengden dobles som en følge av fremmedvannet (Hjellnes Consult as, 2010). Skedsmo kommune har vedtatt å separere alle fellessystemene i kommunen og i løpet av 50 år er målsettingen at fremmedvannsmengden i avløpsnett skal reduseres med 60 % sammenlignet med dagens nivå (Karlsen, 2013).

VA-bransjen betraktes som konservativ med lite innslag av nyskaping og gamle løsninger er fortsatt dominerende. I denne frustrasjonen over at våre VA løsninger ikke er bærekraftige, må man forsøke å tenke nytt i en mer kreativ retning.

I denne sammenhengen er det interessant å se på transport av avløpsvann i urbane strøk ved bruk av trykkavløp og kvernpumper. Teknikken er velprøvd i privat regi i forbindelse med hytteområder, men er ikke benyttet i Norge til VA løsninger i urbane strøk.

1.2. Offentlig anskaffelse

Forskriften om offentlige anskaffelser (FAD (Fornyings- administrasjons og kirke departementet), 2006) er gjeldende når bygge- og anleggskontrakter og tilhørende tjenestekontrakter tildeles av statlige, kommunale, fylkeskommunale myndigheter og offentligrettslige organer og sammenslutninger dannet av en eller flere av disse.

I § 1-1. *Formål* står følgende:

”Forskriften skal bidra til økt verdiskapning i samfunnet ved å sikre mest mulig effektiv ressursbruk ved offentlige anskaffelser basert på forretningsmessighet og likebehandling. Forskriften skal også bidra til at det offentlige opptrer med stor integritet, slik at allmennheten har tillit til at offentlige anskaffelser skjer på en samfunnstjenlig måte”.

Oppdragsgiver kan velge mellom to framgangsmåter ved tildeling av kontrakter i følge § 13-2. *kriterier for valg av tilbud.*

- 1) Tildelingen kan skje på basis av hvilket tilbud som er det mest økonomisk fordelaktige
- 2) Tildelingen kan skje utelukkende ut fra hvilket tilbud som har den laveste prisen

Hvis tildelingen av kontrakten skjer på grunnlag av alternativ 1, skal det benyttes kriterier som har tilknytning til kontraktsgjenstanden. Kvalitet, pris, teknisk verdi, estetiske og funksjonsmessige egenskaper, miljøegenskaper, driftsomkostninger, rentabilitet, kundeservice, teknisk bistand, eller tid for levering eller ferdigstilling er alle eksempler på slike kriterier. I konkurransegrunnlaget eller kunngjøringen skal alle kriterier som vil bli lagt til grunn oppgis. Kriteriene kan vektlegges ulikt og der oppdragsgiver har bestemt seg for prioriteringen på forhånd skal dette angis i konkurransegrunnlaget (FAD (Fornyings- administrasjons og kirke departementet), 2006).

1.3. Problemstilling og oppgavens utforming

Ut fra oppgavens bakgrunn er følgende problemstilling utformet:

Kan trykkavløpssystem være en alternativ løsning for transport av spillvann i urbane områder?

Fremgangsmåte

For å finne svar på problemstillingen er det i denne masteroppgaven valgt å sammenligne oppsamling og transport av spillvann ved trykkavløpssystem med en tradisjonell, konvensjonell løsning med spillvannstransport ved gravitasjon. Kriterier og fremgangsmåte for dimensjonering av de ulike avløpssystemene skal studeres og dokumenteres og begge anleggene skal prosjekteres for en urban avløpssone i Skedsmo kommune.

Økonomi er ofte en faktor som velges som tildelingskriterium ved offentlig anskaffelser, og en viktig del av denne masteroppgaven blir derfor kartlegging og sammenligning av kostnadene knyttet til de ulike avløpsanleggene.

Overvann er ikke en del av denne oppgaven, selv om man i en reell situasjon vil planlegge løsninger for både overvann og drikkevann samtidig som løsninger for spillvann prosjekteres.

Oppbyggingen av oppgaven

Oppgaven er delt inn i 4 deler:

Del 1: Introduksjon

- Bakgrunn og motivasjon for oppgaven, samt problemstilling og struktur.

Del 2: Teori

- Presentasjon av relevant teori som er benyttet for å løse oppgaven på en tilfreds måte.

Del 3: Prosjektering og analysering

- Innledes med redegjørelse av studieområdet og beregning av dimensjoneringsgrunnlag. Videre følger hoveddelen av oppgaven; Implementering av avløpsanleggene. Til slutt en sammenstilling av resultatene og en økonomisk analyse.

Del 4: Diskusjon og konklusjon

- Redegjørelse av oppgavens rammer og begrensninger, og hvordan disse påvirker resultatet i oppgaven. Konklusjon og forslag til videre arbeid innenfor oppgavens tema.

Del 2

Teori

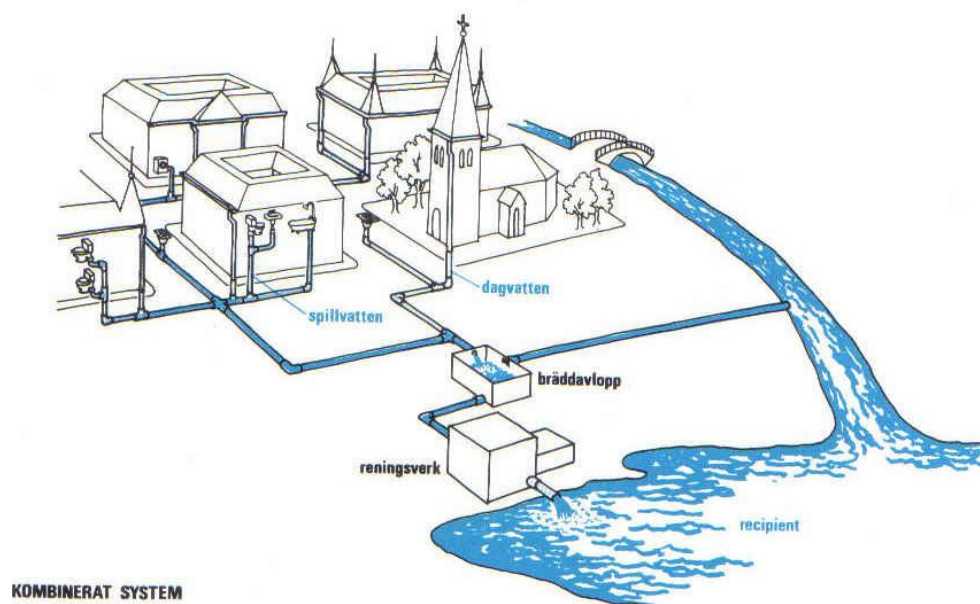
2 Teori

2.1. Konvensjonelle avløpssystem

Den konvensjonelle metoden for oppsamling av avløpsvann er å transportere avløpsvann fra husstandene til rensanleggene ved hjelp av gravitasjon gjennom nedgravde rør. Dette er en kjent metode i fagmiljøet og er i utgangspunktet ikke energikrevende. Kravene som stilles til rørene i dette systemet er at de skal ha stor nok kapasitet og de må være selvrensende minst en gang hver dag (Ødegaard, 2012). For å oppnå dette kravet kan grøftene hvor rørene legges bli dype. Dette gjelder spesielt ved flatt terreng hvor det ikke er tilstrekkelig fall. I enkelte traseer må avløpsvannet pumpes til høyereliggende områder. Pumpestasjoner er gjerne en kostbar installasjon i et konvensjonelt system. En annen kostbar installasjon som må regnes med i konvensjonelt system er kummer. I kommunene er det gjerne krav til nedstigbar kum² ca hver 100 meter, og ellers installeres det kum ved retningsforandring, ved tilkobling av sideledninger og ved endringer i rørdimensjoner. Det konvensjonelle systemet utføres enten som felles- eller separatsystem.

2.1.1. Fellessystem

I et fellessystem blir spillvannet fra husstandene ført i rør sammen med overvannet som kommer fra regnvann via hustak, gatesluk, drenering rundt bygninger og fra bekker. Avløpsrørene er dimensjonert for en vannføring som er tilpasset kapasiteten til rensanlegget. Når vannføringen overstiger kapasiteten på rørene vil det overfløydige vannet gå i regnvannsoverløp. Regnvannsoverløp er en viktig installasjon på fellessystemet som har som oppgave å videreføre mest mulig av forurensingene og gi god hydraulisk kontroll.

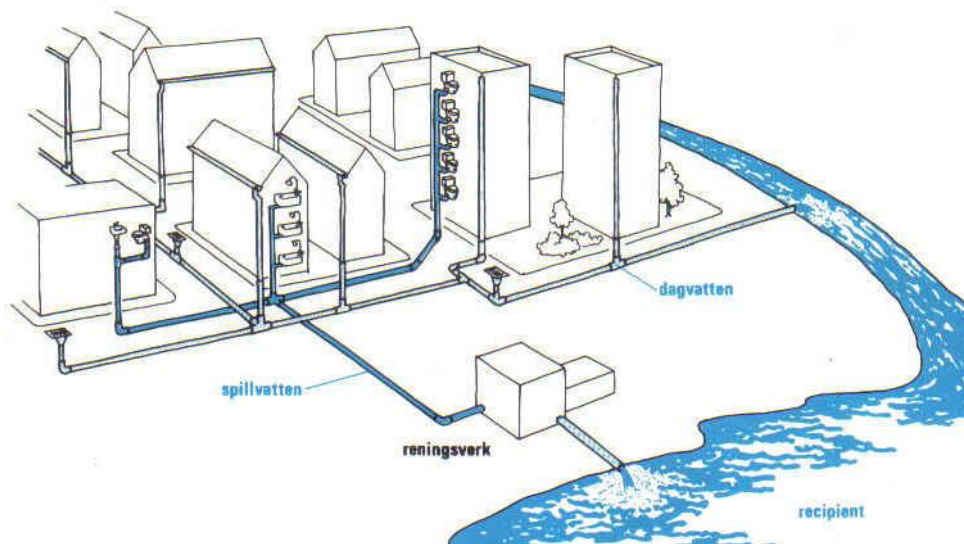


Figur 1: Skisse fellessystem (Holmstrand and Lindvall, 1979)

² Nedstigbar kum er definert som en kum med diameter på minimum 1000mm

2.1.2. Separatsystem

I avløpsnett som er bygd opp som separatsystem vil det være en ledning for spillvann og en ledning for overvann. Spillvannet føres til rensesanlegg, mens overvannet ledes til nærmeste bekk eller vassdrag (Figur 2).



Figur 2: Skisse separatsystem (Holmstrand and Lindvall, 1979)

2.1.3. Ledninger i konvensjonelt avløpssystem

Når et avløpssystem skal planlegges kan det være lurt å skille mellom forskjellige ledninger etter funksjon. *Stikkledninger* er de ledningene som går mellom husene og det kommunale avløpsnettet. *Oppsamlingsledninger* har som funksjon å samle avløpsvannet fra stikkledninger og føre dette til *overføringsledninger*. *Overføringsledninger* er avskjærende ledninger som gjerne er sentrale ledninger innenfor en avløpssone. Oppgaven til slike ledninger er gjerne å føre alt avløpsvannet fra en avløpssone til *hovedledningen*. Dette er den siste ledningen på nettet, og fører avløpsvannet helt til rensesanlegget (Figur 3).



Figur 3: Ledningsoppbygging konvensjonelt anlegg.

2.1.4. Prosjektering og dimensjonering av konvensjonelt anlegg

For den konvensjonelle metoden dimensjoneres rørene ulikt for hvorvidt det er selvfalls- eller pumpeledninger det er snakk om. Siden det konvensjonelle systemet i denne oppgaven skal dimensjoneres som selvfallssystem er dimensjonering av pumpeledninger utelatt i denne delen av oppgaven.

Dimensjoneringen av en selvfallsledning handler om å bestemme nødvendig diameter på ledningen slik at den har stor nok kapasitet, samtidig som den er selvrensende for en gitt dimensjonerende vannmengde. På grunn av risiko for gjentetting skal ikke stikkledninger ha mindre diameter enn 100 mm og oppsamlingsnettet ikke mindre enn 150 mm (Lindholm et al., 2012b).

Kapasitet

For å finne tilstrekkelig kapasitet benyttes først en kombinasjon av Darcy-Weisbachs ligning og kontinuitetsligningen for å finne tilstrekkelig indre rørdiameter (Formel 3). Svaret rundes opp til nærmeste aktuelle diameter:

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

Formel 1: Darcy-Weisbachs ligning for friksjonstap.

$$Q = v \times A$$

Formel 2: Kontinuitetsligningen.

$$D^5 = \frac{f \times L \times Q^2 \times 8}{g \times \pi^2 \times h_f}$$

Formel 3: Darcy-Weisbachs ligning for rørdiameter.

D	innvendig diameter i ledningen [m]
f	friksjonskoeffisienten [dimensjonsløs]
L	lengden på ledningen [m]
Q	dimensjonerende vannføring [m ³ /s]
h _f	falltap over ledningen [m]
g	tyngdeakselerasjonen, 9,81 [m/s ²]

Hvis ikke ledningens fall er gitt ved terrengets utforming kan h_f være vanskelig å bestemme. Det kan være snakk om små forskjeller i høyden fra start til slutt på ledningen. Ved å benytte Tabell 1 over minimumsfall på spillvannsførende ledninger fra Svenskt Vattens veileder P90 (Svenskt Vatten, 2004) kan h_f beregnes. Hvis man tar utgangspunkt i 5 ‰ fall vil h_f = 0,005×L.

Tabell 1: Minimumsfall på spillvannsførende ledninger og overvannsledninger (Svenskt Vatten, 2004)

Innvendig diameter [mm]	150	200	300	400	500	600	800	mer enn 800
Minimumsfall [‰]	5,0	4,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	1,0

Friksjonskoeffisienten f er forskjellig for ulike rør. Fra leverandører eller hydrauliske håndbøker kan rørruheten k innhentes. Hvis rørruheten er kjent kan friksjonskoeffisienten beregnes ut fra halvempiriske formler som Colebrooks formel, Prandtls formel eller lignende (Ødegaard, 2012). Nedenfor er Prandtls formel vist.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \times \log \left(3,71 \times \frac{D}{k} \right)$$

Formel 4: Prandtls formel. Halvempirisk formel for å finne friksjonskoeffisienten f .

- f friksjonskoeffisient
- D innvendig rørdiameter [mm]
- k rørruhet [mm]

Det er vanskelig å finne hvilke rørruheter som er korrekte å bruke til de forskjellige rørene siden det er mange ulike faktorer som påvirker de hydrauliske tapene. Det er ikke anbefalt å bruke en ruhet lavere enn 0,5 mm uansett ledningsnett (Ødegaard, 2012). Rørene dimensjoneres for fremtidig situasjon, og rørene vil sannsynligvis få en større hydraulisk motstand jo eldre de blir.

Tabell 2: Noen eksempler på rørruheter (k -verdi). (Tabellen er hentet fra (Ødegaard, 2012))

Ledningsmateriale	Teoretisk ruhet [mm]	Ruheter brukt i praksis [mm]
Plastrør (PVC, PE, etc.)	0,002-0,007	0,1-0,4
Betongrør	0,3-1,0	1,0
Nye støpejernsrør m/betongføring	0,3	0,5
Eldre støpejernsrør	0,8-1,5	1,0-1,5
Gamle rustne støpejernsrør	1,5-2,5	1,5-2,5

Selvrensing

Spillvannet inneholder partikler som kan sedimentere og akkumuleres på bunnen av en spillvannsledning. Hvis dette skjer kan den hydrauliske kapasiteten minke ved at den indre diameteren på røret blir redusert. En spillvannsledning skal være selvrensende minst en gang om dagen. Det som ligger i begrepet er at vannføringen i ledningen skal ta med seg alt av partikler minst en gang om dagen alle dager i året.

I VA-Miljøblad nr. 79. "Dimensjonering av avløpsledninger. Selvrensing" (Lindholm, 2007) står det at i ledninger med fall mindre enn 10 ‰ skal det dokumenteres selvrensing via skjærkraftberegninger. Det er oppgitt en beregningsveileder som er gjengitt nedenfor:

- 1) Velg et krav til skjærspenningen (τ_{min}) for den aktuelle avløpsledningen. Miljøbladet anbefaler minimumsverdier for fellesavløpsledninger og overvannsledninger: 3-4 N/m² både for plast og betongrør. For spillvannsledninger anbefales 2 N/m² som minimum skjærspenning både for plast og betongrør.
- 2) Beregn vannføringen Q_{fylt} i avløpsledningen ved fylt rør. Det forutsetter at friksjonskoeffisienten, diameter og fall på ledningen er kjent. Darcy-Weisbachs formel benyttes.
- 3) Beregn dimensjonerende vannføring for selvrengingsberegningen ($Q_{selvrens}$). Her benyttes en empirisk formel som skal sikre en vannføring som varer minst 10 % av døgnet i alle døgn i året. $Q_{selvrens} = \alpha * PE * Q_s * f_{min}$. der $\alpha = 1 + 23/\sqrt{PE}$ for $PE < 3000$ og $\alpha = 1,43$ for $PE > 3000$.
- 4) Beregn delfyllingen (h) i avløpsledningen ved $Q_{selvrens}$. Deretter finner man forholdet mellom $Q_{selvrens}$ og Q_{fylt} , og går inn med $Q_{selvrens}/Q_{fylt}$ på x-aksen i Figur 4, opp til øvre kurve, så finnes relativ fyllingshøyde h/D på y-aksen.
- 5) Beregn skjærspenning ved fylt ledning (τ_{fylt}). Skjærspenningen (N/m²) langs rørveggen i en sirkulært fylt ledning er:

$$\tau_{fylt} = \gamma * R * I$$

Formel 5: Beregning av skjærspenning langs rørveggen i sirkulært fylt ledning.

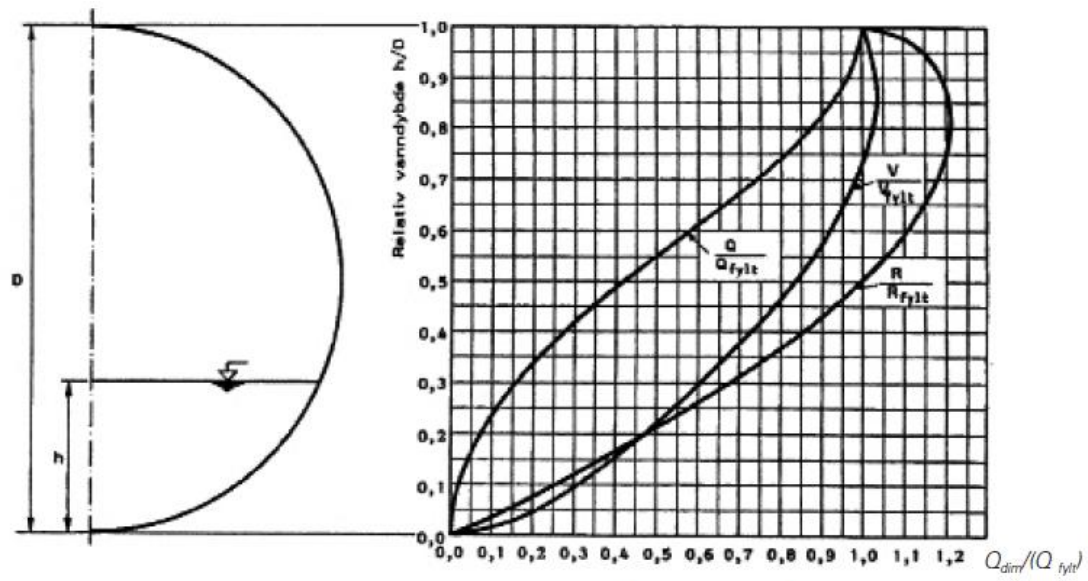
- γ vannets spesifikke vekt som kan settes til 10000 N/m³.
- R hydraulisk radius (m) = vått tverrsnittsareal/den våte omkrets
- I fall på ledningen i m/m [‰], dvs. at 10 ‰ blir 0,01.

- 6) Beregn maksimal skjærspenning (τ_{maks}) i bunnen av ledningen ved $Q_{selvrens}$. Det er normalt ikke fylte ledninger i den kritiske situasjonen, men en mindre delfylling i ledningen. Skjærspenningen er da null i vannoverflaten på rørveggen og økende til en maksimal verdi (τ_{maks}) i bunnen av ledningen. For en delfylling opp til $h/D = 0,25$ er følgende formel oppgitt:

$$T_{maks} = T_{fylt} * 4 * (h/D) * (1 - h/D)$$

Formel 6: Beregning av maks skjærspenning

- 7) Sjekk om ledningen er selvrengende ved at τ_{maks} er større enn τ_{min} . Her brukes Formel 6.



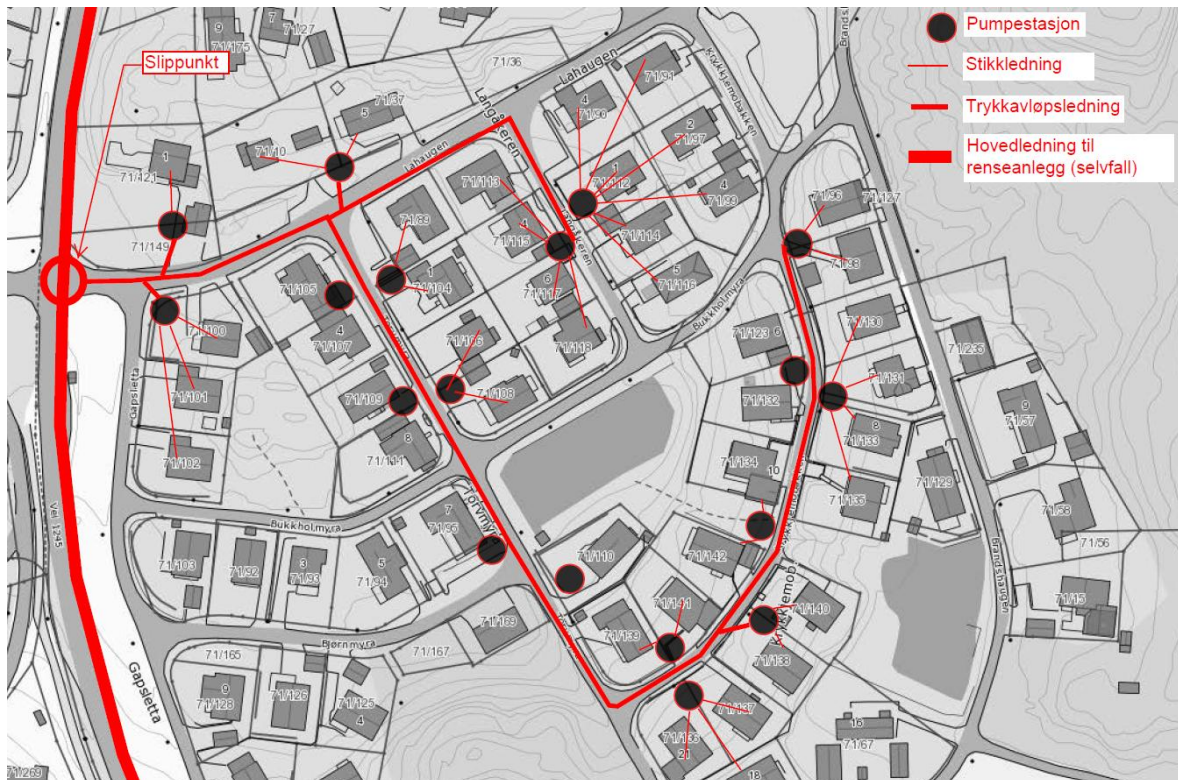
Figur 4: Figuren er hentet fra VA-Miljøblad Nr.79 (Lindholm, 2007). Benyttes til å finne fyllingshøyde h/D .

2.2. Trykkavløpssystem

2.2.1. Innledning

Trykkavløpssystem er et system av pumper som kverner spillvannet og sender det på et nett av trykksatte rør med små dimensjoner. Samtlige pumpestasjoner er automatisert og arbeider sammen og uavhengig av hverandre med å frakte spillvannet til et trykkutløsende punkt, slippunkt (kum/pumpesump/overløp/reanseanlegg). Dette fører til at trykk og spillvannsmengde er under kontinuerlig forandring, men vannet føres i en definert retning mot slippunktet.

Ett eller flere hus er tilknyttet hver kvernpumpe. Spillvannet blir ledet fra husene til pumpesumpen, for så å bli pumpet inn på en trykkavløpsledning som ender i et slippunkt (Figur 5).



Figur 5: Skisse av trykkavløpssystem med komponenter.

2.2.2. Systembeskrivelse

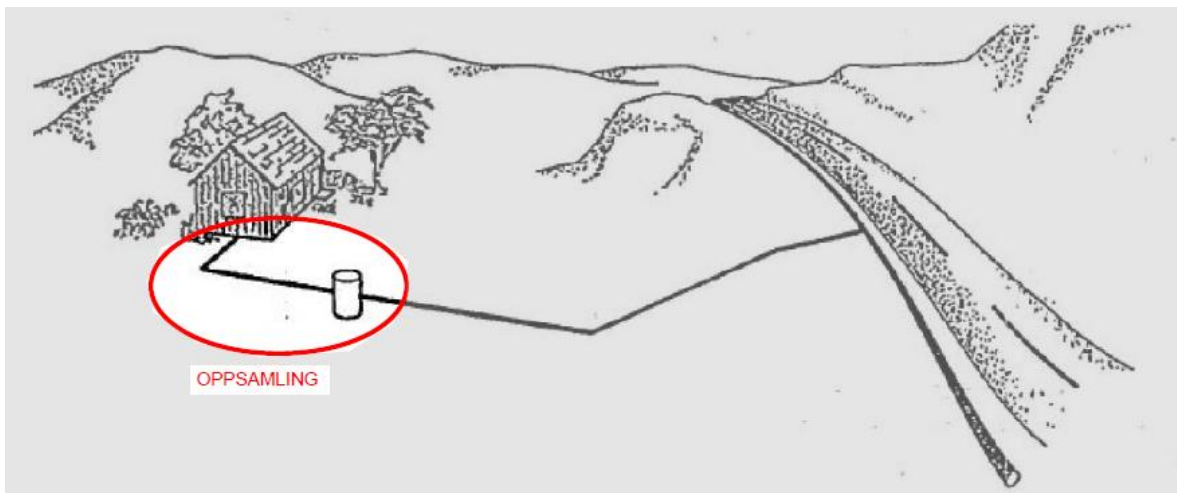
Et trykkavløpssystem består av følgende komponenter:

- Oppsamlingspunkt (pumpesump)
- Kvernpumper
- Rørledninger
- Ledningskoplinger
- Ventiler
- Trykkutløsningspunkt/Slippunkt

Oppsamling av spillvann fra bolig

Spillvann fraktes ut av husene til pumpeumpen som fungerer som et oppsamlingspunkt (Figur 6). Oppsamlingen av spillvannet fra husene kan skje enten ved gravitasjon eller vakuum. For oppsamling ved hjelp av vakuum kreves det at vakuumsystem er installert i husene. Et vakuumsystem i en bolig består av vakuumtoalett, eget rørsystem og vakuumpumpe. En installasjon av vakuumsystem i et eksisterende bygg i denne oppgaven er regnet som for kostbart til at det er realistisk.

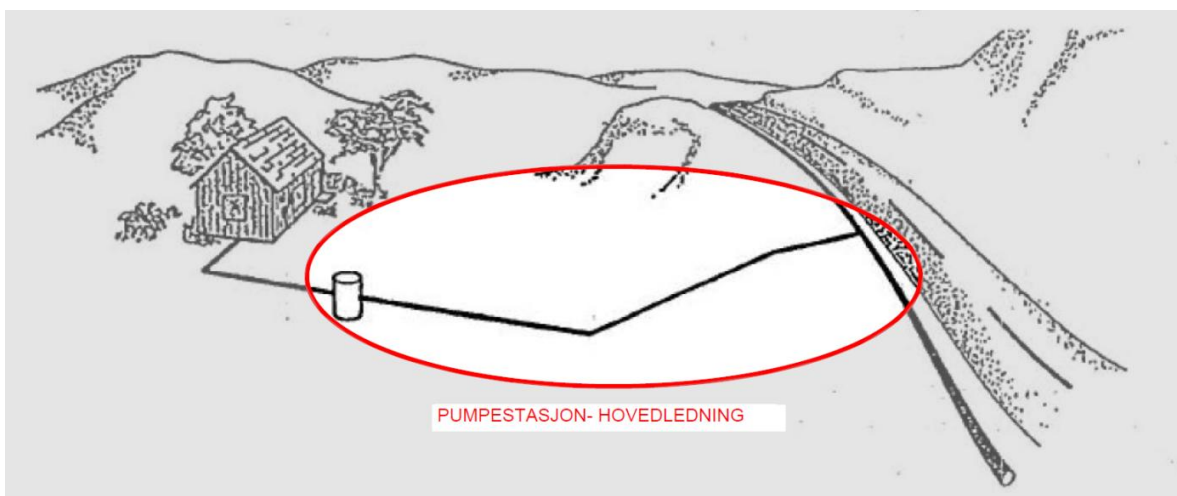
Ved oppsamling fra flere hus til en pumpeump vil rørene krysse eiendomsgrenser. Det må derfor tinglyses grunneieravtaler som tillater anleggene og senere drift og vedlikehold av disse.



Figur 6: Oppsamling. Transport av spillvann fra hus til oppsamlingspunkt (Revidert tegning fra (Bowne et al., 1991))

Pumpestasjon til hovedledning

Neste del av systemet omhandler fra spillvannet er samlet opp i pumpeumpen og videre inn på hovedledningen (Figur 7). I denne delen ligger mye av utfordringen med dette systemet og da i form av dimensjonering av pumpestasjonen.

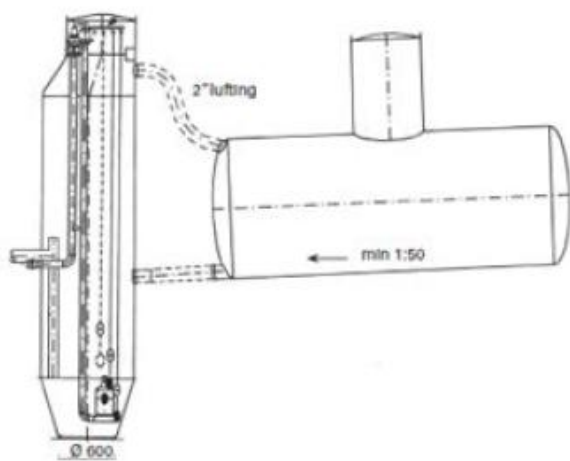


Figur 7: Transport av spillvann fra pumpestasjon til hovedledning (revidert tegning fra (Bowne et al., 1991))

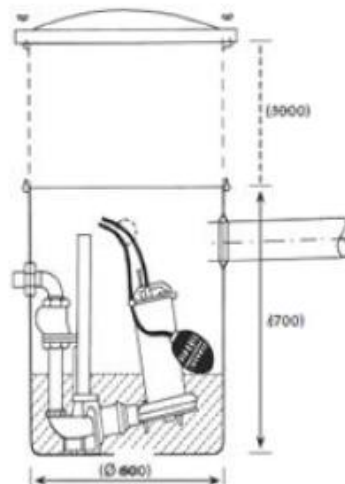
Prefabrikkert pumpestasjon med kvernpumpe installert i bunnen av pumpeumpen er en mye brukt løsning for trykkavløpssystem. Slike pumpestasjoner er det flere aktører som leverer i Norge i dag. *Skandinavisk kommunalteknikk AS, Xylem og Sulzer Pumps Wastewater Norway AS* er eksempler på leverandører. Pumpestasjonen bør være laget av et materiale med glatt innvendig overflate og bunnflaten må tilpasses pumpen og være minst mulig. I følge VA-Miljøblad nr. 66 (Fjeldberg, 2007) bør ikke bunnseksjonen ha større diameter enn 600 mm, og utformes slik at det ikke blir dødsoner hvor avløp sedimenterer. Ved behov for større volum bør dybden på stasjonen økes fremfor diameteren og utformingen bør være slik at ventiler kan betjenes og vedlikeholdes fra bakkenivå.

Pumpestasjonene, om de er for enkelthus eller flere husstander, bør installeres utendørs nedgravd i terreng eller i en betongkum. Stasjonene monteres slik at de sikres mot oppdrift ved høy grunnvannstand. Ved plassering i betongkum må kumløkket være utformet slik at topplokket til pumpestasjonen kan tas helt opp. Pumpestasjonens topplokk har gjerne $d=600$ mm, $d=800$ mm på kumløkket vil da muliggjøre dette. I pumpestasjonen installeres gjerne to pumper som begge har tilstrekkelig kapasitet til å være uavhengige av hverandre ved en normal driftssituasjon. Pumpene går gjerne vekselvis og hvis det blir feil på den ene pumpen fungerer fortsatt pumpestasjonen slik at den får transportert bort spillvannet. Utformingen skal være slik at pumpene enkelt kan skiftes ut med en reservepumpe i stedet for lengre feilsøkingsprosedyrer på stedet. I et anlegg bør reservepumper være tilgjengelig ved behov. Frostisolasjon mellom pumpestasjon og kumløkk vil også kunne gjennomføres ved behov og kuleventil for avstengning utenfor stasjonen bør monteres (Fjeldberg, 2007).

Nødoverløp tillates vanligvis ikke fra slike pumpestasjoner. Derfor burde det tilstrebes så stort reservevolum som mulig, spesielt i områder hvor man risikerer utslipp til sårbare resipienter eller områder med ustabil strømtilførsel. For stasjoner med mer enn 10-12 enheter tilknyttet bør det være et reservevolum som kan brukes til utjevning ved feil eller strømstans tilknyttet pumpestasjonen (Figur 8). Dimensjonering av pumpeumpen må ses i sammenheng med hele anlegget.



Pumpe med utjevningstank



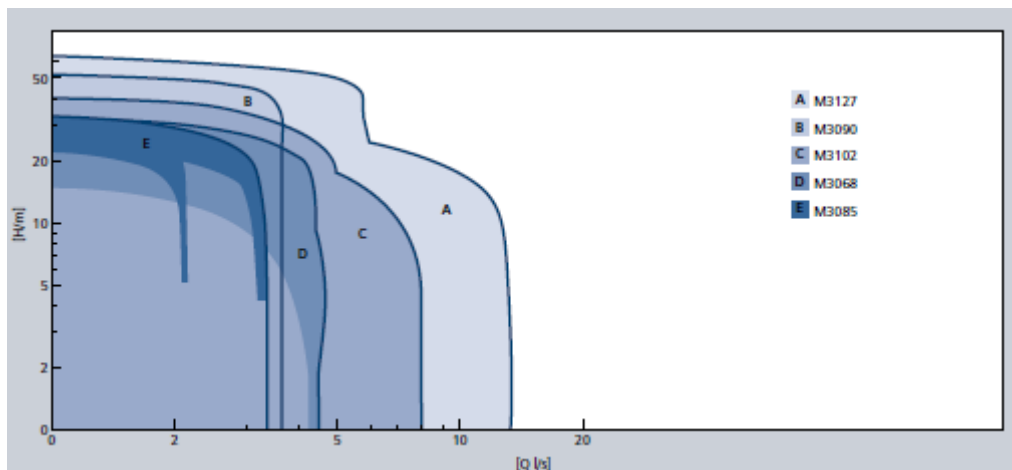
Pumpestasjon for enkelthus

Figur 8: Eksempler på pumpestasjon med utjevningstank og pumpestasjon for enkelthus. Illustrasjonene er hentet fra VA-Miljøblad nr. 66 (Fjeldberg, 2007).

Pumpene som benyttes i trykkavløpssystem er av typen kvernpumpe. Prinsippet bak disse er at de kverner alt spillvannet ned til små partikler ved hjelp av et kvernhjul som er montert ved inntaket (Figur 9). Deretter pumpes spillvannet videre til utløpet. Pumpekurven til kvernpumpene er bratte, noe som betyr relativt lik løftehøyde for ulik vannmengde (Figur 10). Hvilken løftehøyde som kreves av pumpen er avhengig av vannmengde, slippkummens høyde og friksjonstapet i ledningene.



Figur 9: "LPS Extrem" kvernpumpe fra Skandinavisk Kommunalteknikk AS. Kvernhjulet er montert ved inntaket til pumpen (Skandinavisk Kommunalteknikk AS).



Figur 10: Bratte pumpekurver (ITT Flygt).

Oppsamlingsledningene fører spillvannet fra pumpestasjonene og inn på hovedledningen. Tilkoblingen mellom oppsamlings- og hovedledning utføres ved T- eller Y-kobling. Y-kobling gir noe mindre friksjonstap enn T-kobling, men det er større risiko for feilkobling hvis rørlegger ikke vet strømningsretningen i hovedledningen. I tillegg er en Y-kobling dyrere enn T-kobling, og det kreves lengre oppsamlingsledning fordi ledningen ikke kan monteres vinkelrett på hovedledningen.



Figur 11: Eksempler på tilkobling av oppsamlingsledning til hovedledning med T- og Y-kobling (bilder hentet fra presentasjon av trykkavløp (SULZER, 2012))

Hovedledning til slippunkt

Siden spillvannet blir kvernet vil rørene i et trykkavløpssystem kunne ha liten dimensjon uten å risikere kloakkstopp pga. gjentetting. Ledningsdimensjonen må ses i sammenheng med valgt pumpekapasitet. PE100 og PE80 er vanlige rørmateriale; "PE80 PN10 er et hensiktsmessig rørmateriale for trykkavløp, da man får et fleksibelt rør som lett kan tilpasses topografien" (Fjeldberg, 2007).

I følge NS-EN 1671 "Utvendige trykkavløpssystemer" (Norsk Standard, 1997) må ledningene være selvrensende minst en gang hver 24. time og oppholdstiden ikke overstige 8 timer for å begrense gassdannelse i systemet. Rørene regnes som selvrensende hvis en skjærspenning $> 2,3 \text{ N/m}^2$ oppnås. Det anbefales å oppnå minimum vannhastighet på $0,7 \text{ m/s}$ daglig som

selvrensing, men lavere hastigheter kan tillates så lenge kravet om selvrensing oppfylles. Ved hastighet over 0,7 m/s i rør med diameter under 90 mm vil luft og gasser ikke akkumuleres i ledningene, men bli transportert sammen med vannet (Fjeldberg, 2007).

I følge Pipelife Norges "Technical Catalogue for Submarine Installations of Polyethylene Pipes" oppfylles kravet om selvrensing ved minimum vannhastighet beregnet ut fra Formel 7 (Karlsen, 2002):

$$V_{selvrens} = k \times \sqrt{(g \times d_i)}$$

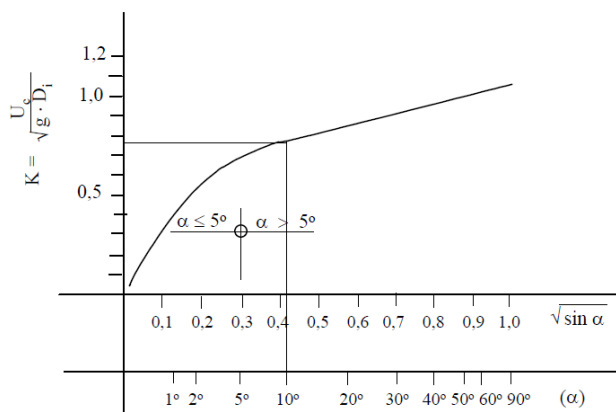
Formel 7: Beregning av minimal vannhastighet for å oppnå selvrensing i trykkavløpsledninger.

Hvor:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

d_i = Indre rørdiameter

k beregnes ut fra ledningenes helning α som vist i Figur 12 under.



Figur 12: k-verdi leses ut fra y-akse. Verdiene på x-aksen er fra ledningenes helning α (Karlsen, 2002)

I likhet med konvensjonelle anlegg må ledningene i trykkavløpssystem legges på frostfri dybde. Grunnforholdene kan være slik at det ikke er gjennomførbart å legge ledningene frostfritt, eller det kan lønne seg med grunne grøfter i forhold til gravekostnader. Legges ledningene over frostfri grense kreves det en form for frostbeskyttelse. Isolerte rør med og uten varmekabel eller isolerte kasser kan benyttes som frostbeskyttelse for trykkavløpssystem (Figur 13). Varmekabel kan også legges sammen med rørene i den isolerte kassen.



Figur 13: Til venstre: Grøft med rør i isolerte kasser (Skandinavisk Kommunalteknikk AS, 2012). Til høyre: Isolert rør med varmekabel (Opplandske Rørsystemer AS, 2011)

Til slutt ender hovedledningen i et slippunkt. Slippunktet er en installasjon hvor spillvannet fra hovedledningen har utløp i et fritt vannspeil, og dermed får atmosfærisk trykk. Trykkutløsende installasjonen kan for eksempel være en kum, et overløp, en pumpestasjon eller et renseanlegg.

2.3. Dimensjoneringsgrunnlag

Nye avløpsanlegg planlegges for fremtidig situasjon. Byer er under utvikling, og det er lite bærekraftig å bygge et anlegg med tanke på dagens situasjon, hvis det om 20 eller 50 år ikke har tilstrekkelig kapasitet.

Når avløpsledninger skal dimensjoneres må man kjenne til ledningens trasé og avløpsmengden ledningen skal føre. Det finnes to måter å estimere avløpsmengder på; Den første, og mest nøyaktige, er ved å måle faktiske avløpsmengder. Dette må gjøres over lengre tid for å få nøyaktige måleserier som kan benyttes til dimensjoneringsformål. Den andre metoden er å beregne avløpsmengder ut fra spesifikt vannforbruk (Q_s) og antall tilknyttede personenheter (PE^3). Avgjørende for resultatet vil være at riktig antall PE beregnes og hvilken mengde som brukes som spesifikt vannforbruk. I denne masteroppgaven blir den siste metoden brukt, og den er derfor gjennomgått mer nøyaktig under.

2.3.1. Spesifikt vannforbruk (Q_s)

Det er direkte sammenheng mellom forbruksmønstret av drikkevann og vannmengder i avløpssystemet. I Norge går nesten alt vannet som tappes fra drikkevannsnett til en bolig videre til avløpsnett. Det eneste vannforbruket som ikke direkte finnes igjen i avløpssystemet vil være vann brukt til utenomhuslige formål som vanning av plen og vasking av bil. Det vannforbruket som én person bruker i løpet av en dag regnes som spesifikt vannforbruk.

³ Personenheter (PE) = p (bosatt befolkning) + pe (personekvivalent)

Norsk Vann rapport "Veiledning for dimensjonering av avløpsrensplanlegg" (Ødegaard et al., 2009) sier at målinger av vannforbruk som er gjort i områder der vannmåler er installert, indikerer at vannforbruket normalt ligger i området 130-150 liter per personenheter i døgnet (l/PE*d). Videre sier den at når man ikke har målinger som tilsier noe annet, anbefales det at den spesifikke spillvannsmengde for husholdninger ikke settes lavere enn 200 l/PE*d.

I artikkelen "Spesifikt vannforbruk i Sydslogen – Røyken 1981 og 2010" (Vråle and Dupont, 2012) presenteres resultater fra en undersøkelse for å kontrollere gjennomsnittlig forurensingsproduksjon i avløpsvann fra husholdninger. Undersøkelsen ble utført ved et boligfelt på Sydslogen i Røyken kommune, og prøvene består av et helt år med ukeblandprøver med dokumentasjon på vannforbruk, avløpsvannmengder og forurensingskonsentrasjoner i ufortynnet avløpsvann. I 1980/81 var vannforbruket 130 l/PE*d og i 2010 ble det målt et vannforbruk på 118 l/PE*d. Artikkelen sier også at det er god overensstemmelse mellom vannforbruk inn i boligene og spillvannsmengden ut av boligene.

2.3.2. Beregning av pe

En personekvivalent (pe) er i følge forurensingsforskriften definert som:

"Den mengde organisk stoff som brytes ned biologisk med et biokjemisk oksygenforbruk målt over fem døgn, BOF₅, på 60 g. oksygen per døgn".

I NS 9426 "Bestemmelse av personekvivalenter (pe) i forbindelse med utslippstillatelse for avløpsvann" (Norsk Standard, 2006) er det oppgitt en tabell som inneholder spesifikke verdier for mengde BOF₅-bidrag per døgn per enhet for forskjellige virksomheter (Tabell 3).

Tabell 3: Tabell fra NS 9426 over spesifikke verdier for mengde BOF₅-bidrag per døgn per enhet.

Type virksomhet	Enhet	Antall gram BOF ₅ per døgn per enhet
Fastboende	1 person	60
Skoler	1 elev*	18
Arbeidsplasser	1 yrkesaktiv	24
Sykehus, pleiehjem, gamle hjem og andre helseinstitusjoner		
a) med eget vaskeri	1 utnyttet sengeplass*	72
b) uten eget vaskeri	1 utnyttet sengeplass*	60
Restauranter, kafeer	1 stol*	15
Forsamlingslokaler	1 sitteplass*	2
Hytter		
a) med vannklosett og full sanitærteknisk standard	1 brukerdøgn**	60
b) med innlagt vann, men uten vannklosett	1 brukerdøgn**	18
c) Uten innlagt vann	1 brukerdøgn**	6
Campingplasser		
a) med vannklosett	1 gjestedøgn	30
b) uten vannklosett	1 gjestedøgn	6

* De ansatte tas med under arbeidsplasser

** 1 brukerdøgn = 1 person i 1 døgn

Siden 1 person (fastboende) produserer 60 gram BOF₅ i løpet av ett døgn, er en person i følge forurensingsforskriften lik en pe. Videre kan Tabell 3 brukes til å finne omregningsfaktorer for pe i andre virksomheter slik som i Tabell 4.

Tabell 4: Omregningsfaktorer PE for forskjellige virksomheter

Type virksomhet	Enhet	Antall gram BOF ₅ per døgn per enhet	pe
Fastboende	1 person	60	1,00
Skoler	1 elev*	18	0,30
Arbeidsplasser	1 yrkesaktiv	24	0,40
Sykehus, pleiehjem, gamle hjem og andre helseinstitusjoner			
a) med eget vaskeri	1 utnyttet sengeplass*	72	1,20
b) uten eget vaskeri	1 utnyttet sengeplass*	60	1
Restauranter, kafeer	1 stol*	15	0,25
Forsamlingslokaler	1 sitteplass*	2	0,03
Hytter			
a) med vannklosett og full sanitærteknisk standard	1 brukerdøgn**	60	1
b) med innlagt vann, men uten vannklosett	1 brukerdøgn**	18	0,3
c) Uten innlagt vann	1 brukerdøgn**	6	0,1
Campingplasser			
a) med vannklosett	1 gjestedøgn	30	0,5
b) uten vannklosett	1 gjestedøgn	6	0,1

* De ansatte tas med under arbeidsplasser

** 1 brukerdøgn = 1 person i 1 døgn

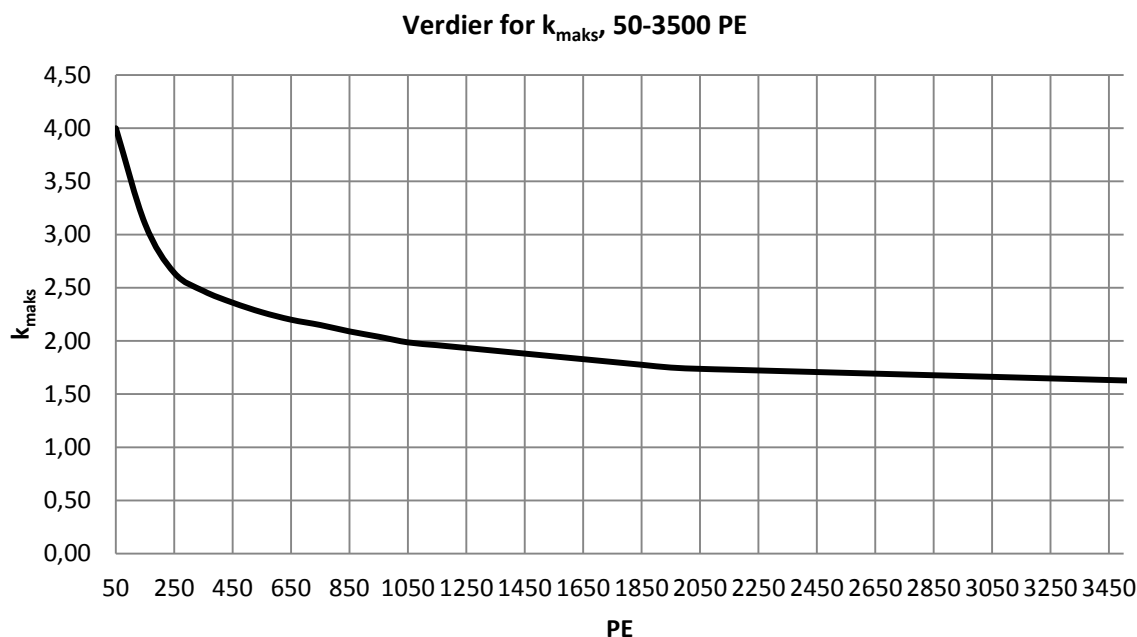
For å kunne beregne PE i et område må det i tillegg undersøkes hvor mange personer som svarer til de forskjellige kategoriene. Hvor mange fastboende som er innenfor et område kan anslås ved å bruke kart på internett til å finne ut hvor mange boliger som finnes, for så å bruke erfaringstall fra for eksempel SSB. I "Folke- og bolig tellingen. Boliger, 19.november 2011" (SSB, 2013b) er snittet på bosatte per bolig i Norge oppgitt for forskjellige boligtyper.

2.3.3. Variasjon i spillvannsavrenning

Spillvannsavrenning fra en husholdning varierer mye gjennom døgnet. Om natten er det liten eller ingen avrenning, så kommer det en topp når det er tid for morgenstellet i huset. Utover dagen flater avrenningen ut, mens det kommer en ny topp når arbeidsdagen er slutt og det blir middagstid. Så er avrenningen jevn i løpet av ettermiddagen frem til en ny topp når folk holder på å gå til sengs. Det er selvfølgelig ikke slik i alle husholdninger innenfor en avløps sone, og jo flere husholdninger jo mindre utslagsgivende blir variasjonen i løpet av dagen (Figur 14). Denne variasjonen er også avhengig av type bebyggelse, om det er industrier (kan ha stor påvirkning), skoler, kontorer eller annet. Den maksimale timevariasjonen er i avløpsteknikken angitt som konstanten k_{maks} .

I "Veiledning for dimensjonering av avløpsrensaneanlegg" (Ødegaard et al., 2009) er beregningen av k_{maks} fremstilt grafisk. En graf viser k_{maks} for intervallet 50-2000 og en annen fra 2000-20 000. Disse grafene er sammenstilt i Figur 14, som viser k_{maks} for 50-3500 PE.

Denne veilederen er en revisjon av SFT⁴ sin rapport "TA-525" fra 1978 (Harr et al.). I TA-525 er det oppgitt en formel for beregning av k_{maks} som gjelder for alle PE (Formel 8).



Figur 14: Maksimal timevariasjon spillvannsmengde, k_{maks} . (Ødegaard et al., 2009)

$$k_{maks} = 1 + \left(\frac{31,5}{\sqrt{PE}} \right)$$

Formel 8: Beregning av k_{maks} fra TA-525 (Harr et al.)

Variasjon i spillvannsavrenningen over året uttrykkes ved en konstant for døgnfaktor, f . Etersom døgnfaktoren varierer mye avhengig av avløpsfeltets topografi og bebyggelse kan det være vanskelig å fastsette f_{maks} . Den generelle oppfattelsen er at desto større området er, desto mer nærmer f_{maks} seg 1. For større byer (over 10 000 innbyggere) regnes normalt $f_{maks} = 1,3-1,8$. Minimumsverdien kan også være interessant i forbindelse med beregning av selvrensing. Den ligger normalt på 0,5-0,9. (Ødegaard, 2012).

Tabell 5: Maksimale døgn- og timefaktorer (Ødegaard, 2012)

Type bebyggelse	Døgnfaktor f_{maks}	Timefaktor k_{maks}
Fritidsområder (campingplasser, fritidshus og lignende)	2,0-4,0	2,0-4,0
Spredt eller samlet bebyggelse med overveiende landbruksvirksomhet	2,0-3,0	2,0-3,0
Mindre samlet bebyggelse med overveiende byvirksomhet	1,5-2,0	1,5-2,5
Større samlet bebyggelse med differensiert byvirksomhet	1,3-1,5	1,5-1,7

⁴ Statens forurensingstilsyn. Nå bedre kjent som Klima- og forurensningsdirektoratet (KLIF).

2.3.4. Infiltrasjons- og innlekkingsvann (Q_{inf})

Som nevnt tidligere er det store mengder fremmedvann i Norske avløpsledninger. Dette må også tas hensyn til når avløpsmengder beregnes. Det kan skilles mellom to typer innlekking:

Infiltrasjonsvann er vann som infiltreres inn på ledninger via skjøter og utette rørvegger. Vannet kommer fra grunnvann og lekkasjer fra drikkevannsledningene som gjerne ligger i samme grøft. Infiltrasjonsmengder angis normalt som vannmengde per km ledningslengde, og er avhengig av lokale forhold som for eksempel rørtype, grunnvannstand, skjøtemetode, rørdimensjon, jordart og alderen og tilstanden på rørene. For nye ledninger bør det ikke forutsettes lavere infiltrasjonsvannmengde enn 0,2 l/s per km ledningslengde dersom det ikke foreligger målinger som viser at infiltrasjonen er mindre. Ved eldre ledningsnett varierer mengden mye, og det er ikke uvanlig at den kan komme opp i 1 l/s per km ledningslengde. Det anbefales ikke å velge verdier under 0,4 l/s per km ledningslengde hvis det ikke er tilgjengelig måledata på gamle ledninger (Ødegaard et al., 2009).

Nedbøravhengig innlekking er vann som ledes inn på ledningene på grunn av feilkobling av sluk, taknedløp, drenering og overvann fra utette kummer. Det er ikke mulig å beregne denne innlekkingen, den må måles. Kan være i størrelsesordenen 3-30 ganger spillvannsmengden. (Ødegaard et al., 2009)

2.4. Anleggsmetoder og spesielle hensyn.

2.4.1. Aktuelle avløpsledninger

I Norge er det for spillvann selvfallsledninger med dimensjoner mellom 110-400 mm mest vanlig å bruke ledninger med materiale PVC SN8 (Nordiske Plastrørgruppen Norge, 2011).

For trykkavløp benyttes i hovedsak PE100 (Karlsen, 2013), men PE80 er også et godt egnet materiale (Fjeldberg, 2007). Skjøting av PE rør utføres med speilsveising eller elektromuffesveising som ved korrekt utførelse gir god tetthet (Norsk Rørsenter AS, 2007).

2.4.2. Frostfri dybde

Frost kan føre til store skader på vann- og avløpsledninger som ligger i grunnen. Når ledninger prosjekteres skal de legges på frostfri dybde. Hvor grensen for frostfri dybde går, vil variere etter klimaet og hvilke masser som ligger i grunnen. Leire holder vanligvis på mer vann enn sand. Vannet gir fra seg mye varme under frysing. Steinfylling kan være så åpne at kaldluft trenger gjennom porene i massen, og frosten kan dermed nå dypere i grunnen (Statens vegvesen, 2009).

Frostfritt dyp på snøfri mark kan anslås fra formelen:

$$Z_F = K_F \times \sqrt{F}$$

Formel 9: Frostfritt dyp

der:

Z_F frostfritt dyp i cm

K_F frostdybdefaktor avhengig av jordart, se Tabell 6.

F frostmengde i h°C

Tabell 6: Frostdybdefaktoren K_F for ulike jordarter (Statens vegvesen, 2009).

Materialbetegnelse	Frostdybdefaktor - K_F
Stein (pukk, steinfylling, steinig grus)	1,4
Sand og grus (Sandig grus, steinig morene)	1,0
Silt (siltig morene, sandig silt)	0,85
Leire og blandingsjord (leirholdige morenearter)	0,7
Torv	0,3

Kommunetabell

Det er utarbeidet en kommunetabell med frostmengder og årsmiddeltemperatur for alle kommuner i Norge. Tabellen er hentet fra Statens vegvesens håndbok 018. "Det klimatiske grunnlaget for kommunetabellen er den statistiske undersøkelsen av frostmengder ved 69

værstasjoner, og årsmiddeltemperatur og normal frostmengde ved 260 værstasjoner i perioden 1931-1960” (Statens vegvesen, 2011).

Tabell 7: Utdrag fra ”Kommunetabell – Årsmiddeltemperatur og frostmengder” (Statens vegvesen, 2011)

Kommune	TEMP	FROSTMENGDE			
	1 m	F ₂	F ₅	F ₁₀	F ₁₀₀
	°C	h°C			
0227 Fet	5,0	11000	18000	24000	28000
0228 Rælingen	4,5	11000	18000	24000	28000
0229 Enebakk	4,5	11000	18000	24000	28000
0230 Lørenskog	4,5	11000	18000	24000	28000
0231 Skedsmo	4,5	12000	19000	25000	29000

Begrepene for å beskrive frostmengde i Tabell 7 er:

TEMP *Årsmiddeltemperatur*

F₂ *Frostmengden overskrides statistisk sett 1 gang i løpet av en 2-års periode*

F₅ *Frostmengden overskrides statistisk sett 1 gang i løpet av en 5-års periode*

F₁₀ *Frostmengden overskrides statistisk sett 1 gang i løpet av en 10-års periode*

F₁₀₀ *Frostmengden overskrides statistisk sett 1 gang i løpet av en 100-års periode*

2.4.3. Grøfter

Når et avløpsrør legges i grunnen er det ment å ligge der i 100 år. Utførelsen av grøften er en av de viktigste faktorene for at dette skal oppfylles.

Oppbygging

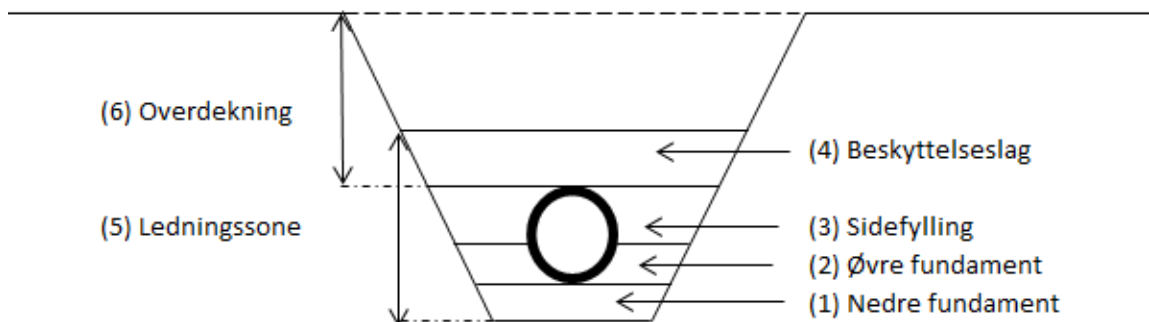
En grøft kan deles inn i forskjellige soner etter funksjon (Figur 15). Dårlig utførelse av fundamentet ((1) og (2), Figur 15) er grunnen til de fleste rørskader (Interconsult AS, 1997a). Nedre fundament (1) skal ha en tykkelse på minimum 150 mm, det er krav til maksimal tillatt nominell kornstørrelse og fundamentet skal komprimeres i henhold til gjeldende standarder (NS 3420-FS3.1 og NS 3458). Ledningen ligger direkte på fundamentet og dermed blir utførelsen av fundamentet avgjørende for ledningsplasseringen. Entreprenører har toleransekrav de må holde seg innenfor når det kommer til plassering av ledninger:

Vertikalt: ± 30 mm

Horisontalt: ± 100 mm

Tillatt avvik for ledningsfall mindre enn 10 promille: ± 2 promille

Tillatt avvik for ledningsfall større enn 10 promille: ± 3 promille



Figur 15: Soneinndeling i et grøftetverrsnitt. Figuren er en gjengiving av figur fra VA-Miljøblad nr. 5 (Interconsult AS, 1997a).

Plassbehov og grøftebredde

I en grøft må det også tas hensyn til nødvendig plass for påkobling av stikkledninger og krav til fri avstand mellom rør (Interconsult AS, 1997a). Dimensjonen på rørene er avgjørende for hvilket plassbehov og grøftebredde som er nødvendig. Nedenfor er en oversikt hentet fra VA-Miljøblad nr. 6 (Interconsult AS, 1997b).

Tabell 8: Nødvendig plassbehov/grøftebredde for forskjellige rørdimensjoner (Interconsult AS, 1997b).

Rørdiameter [mm]	Minste avstand	
	til grøfteside [mm]	mellom rør [mm]
DN ≤ 225	200	200
225 < DN ≤ 350	250	200
350 < DN ≤ 700	350	250
700 < DN ≤ 1200	425	400
1200 < DN	500	500

Dybde

Når grøfter dypere enn 2 meter skal anlegges må det utarbeides planer som skal vise lengdeprofil med beskrivelse av jordarter, plassering av gravemasser og arbeidsinstruks som dekker alle arbeidsoperasjonene (Interconsult AS, 1997a). Grøfter kan graves med vinkel på graveskråningen, men i urbane områder er det gjerne begrenset med plass slik at gravingen bør være så vertikal som mulig (Holand, 2013).

Grøfter i området ned til 2 meter graves uten avstivning, i området 2 til 3 meter benyttes grøftekasser for avstivning og ved graving av grøfter dypere enn 3 meter benyttes avstivning ved hjelp av spunting (Figur 16). Grensen for hvor spunting benyttes er ikke nødvendigvis nøyaktig 3 meter, den er avhengig av grunnforholdene og må utredes på forhånd. For å gjøre en praktisk tilnærming i denne masteroppgaven er grensen satt til 3 meter. Glissen spunt og

stålplater benyttes fra 3 til 4 meter og for grøfter over 4 meter benyttes spunt slått i lås og avstivet (Karlsen, 2013).



Figur 16: Grøft med spunting og avstivning i topp (Stangeland maskin, 2013)

2.5. Økonomisk analyse

Kommunene i Norge benytter seg av offentlige ressurser. Disse er begrensede, og det er mange prosjekter som konkurrerer om midlene. Ved å prioritere ressurser til et prosjekt kan muligheten for å få ett eller flere andre prosjekter gjennomført bli redusert. Derfor er det viktig for kommunene å skaffe seg mest mulig oversikt over hvor mye ressurser de ulike prosjektene antas å legge beslag på (Finansdepartementet, 1997).

Innenfor ulike prosjekt vil dette ha påvirkning i form av at kostnadene for forskjellige alternativer til gjennomføring må utredes. De forskjellige alternativene vil medføre både investerings- og driftskostnader, og kostnadene oppstår gjerne på forskjellig tidspunkt. Derfor er det behov for en metode som kan sammenlikne og summere kostnadene, målt i kroner, som påløper i ulike år.

2.5.1. Nåverdimetoden

Den vanligste metoden for en slik sammenligning er nåverdimetoden (Finansdepartementet, 1997). Metoden går ut på å omregne de årlige nytte- og kostnadselementene til nåverdi. Netto nåverdi (NNV) er verdien i dag av de samlede nytteeffekter og kostnader som påløper i ulike perioder. Begrepet forutsetter at penger mottatt i dag er mer verdt enn samme beløp mottatt på et fremtidig tidspunkt.

$$NNV = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{U_t}{(1+k)^t}$$

Formel 10: Netto nåverdi (Finansdepartementet, 1997)

NNV = Netto nåverdi

I_0 = Investeringsutgift som påløper i år 0

U_t = Nytteoverskudd i år t

k = Diskonteringsrenten

Diskonteringsrenten

Diskonteringsrenten er den rentesatsen som brukes for å neddiskontere fremtidige investeringer til investeringstidspunktet, dvs. å gjøre et beløp om til nåverdi. Valg av rentesats er avgjørende for resultatet av en analyse ved nåverdimetoden. Med en høy diskonteringsrente vil nåverdien av en fremtidig investering bli lavere enn ved en lav rente. Jo lengre frem i tid en investering blir gjort, jo mindre utslag vil den ha på nåverdien (Finansdepartementet, 1997).

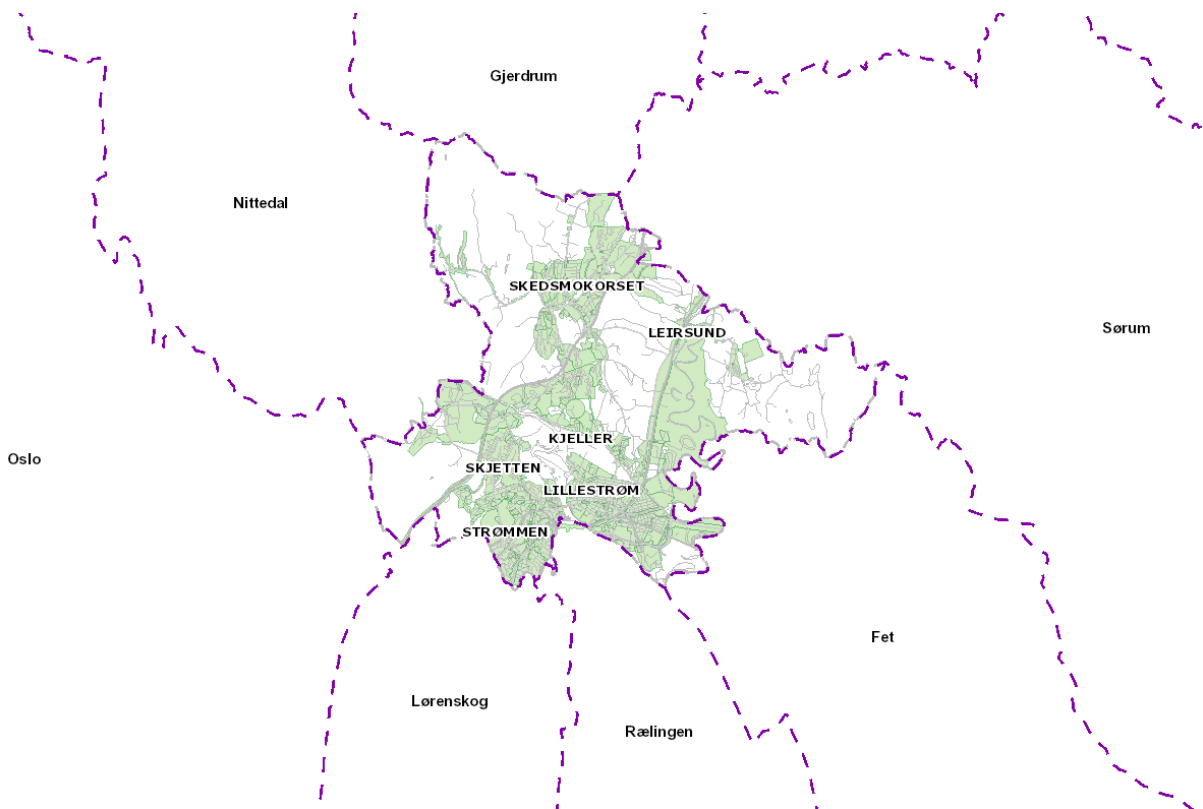
Del 3

Prosjektering og analysering

3 Studieområde

3.1. Skedsmo kommune

Skedsmo kommune ligger i Akershus fylke, og er med sine 49 698 innbyggere per 1.1.2012 (SSB, 2013a) den tredje største kommunen i fylket etter Asker og Bærum. Kommunen er delt inn i 6 avløpsdistrikt og ligger mellom 7 kommuner som vist i Figur 17. Spillvannet til Skedsmo blir renset ved det interkommunale renseanlegget Nedre Romerriktet Avløpsanlegg (NRA), som Skedsmo eier sammen med Rælingen og Lørenskog. Skedsmo har de siste årene hatt en befolkningsvekst på ca 2 %, noe som også er forventet vekst de neste 10 årene (Leiro, 2011).



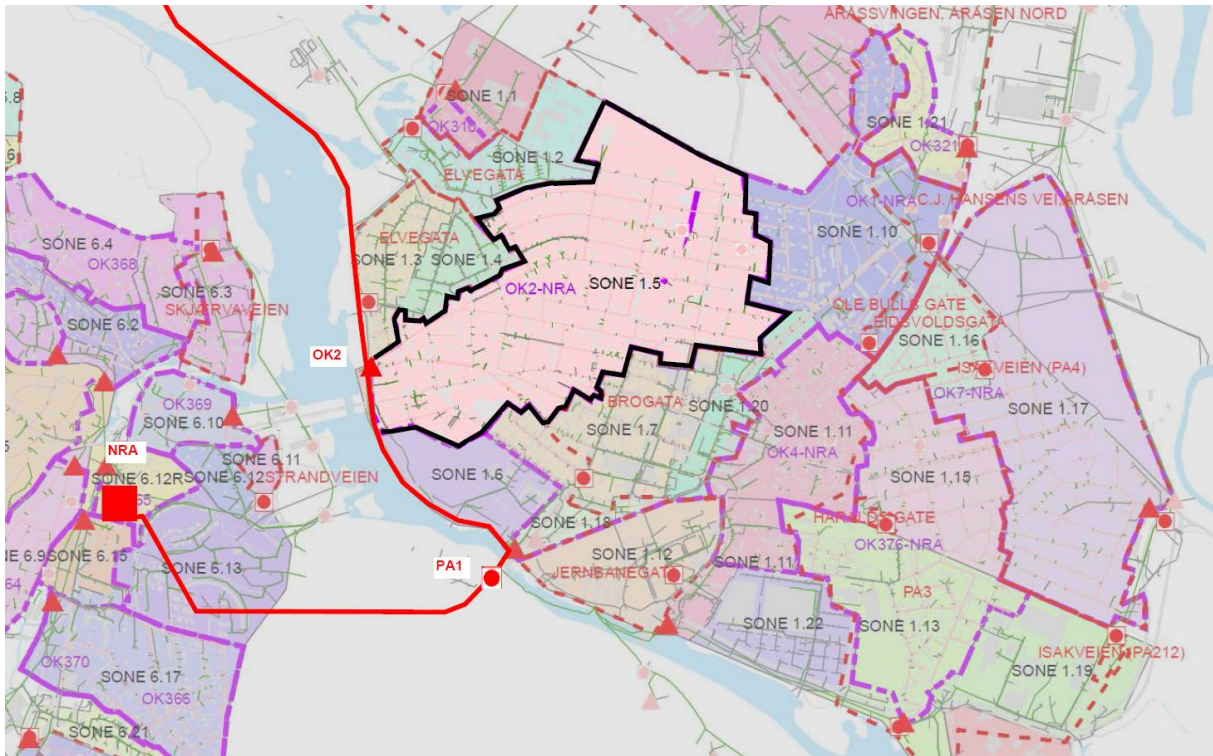
Figur 17: Oversikt Skedsmo kommune (Skedsmo kommune, 2013)

3.2. Lillestrøm og avløpssone 1.5.

Lillestrøm er bysentrum i Skedsmo kommune og er en by med ca 16 000 innbyggere. Lillestrøm er delt inn i forskjellige avløpssoner som vist i Figur 18. Avløpssone 1.5 er sonen som ble valgt som studieområdet for denne oppgaven. Sonen er i et urbant område og det er flatt terreng med lite tilgjengelig fall. Arealet er ca 70 ha og antall PE i sonen er 3406.

I Skedsmo kommune går det en interkommunal avløpsledning langs Nitelva som frakter avløpsvannet til renseanlegget (NRA). Avløpsvannet fra sone 1.5 føres til et overløp (OK2) på

den interkommunale hovedledningen. Videre fraktes avløpsvannet med selvfall til en pumpestasjon (PA1) som løfter avløpsvannet opp til NRA. Oppgaven til anleggene som implementeres i denne oppgaven vil være å føre alt spillvannet fra avløpszone 1.5 til overløpet OK2 (Figur 18).

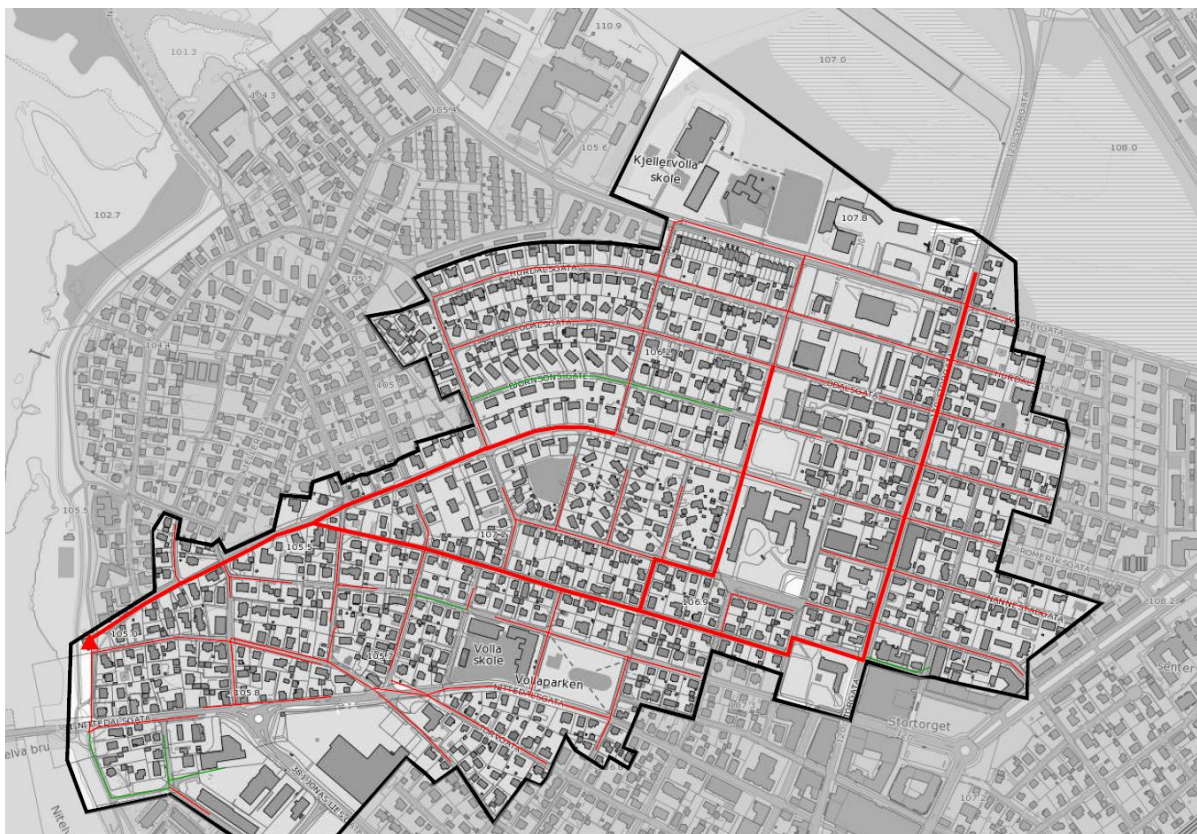


Figur 18: Soneinndeling avløp, Lillestrøm. Den røde linjen symboliserer den interkommunale hovedledningen (Revidert bilde fra (Hjellnes Consult as, 2010)).

3.2.1. Eksisterende anlegg

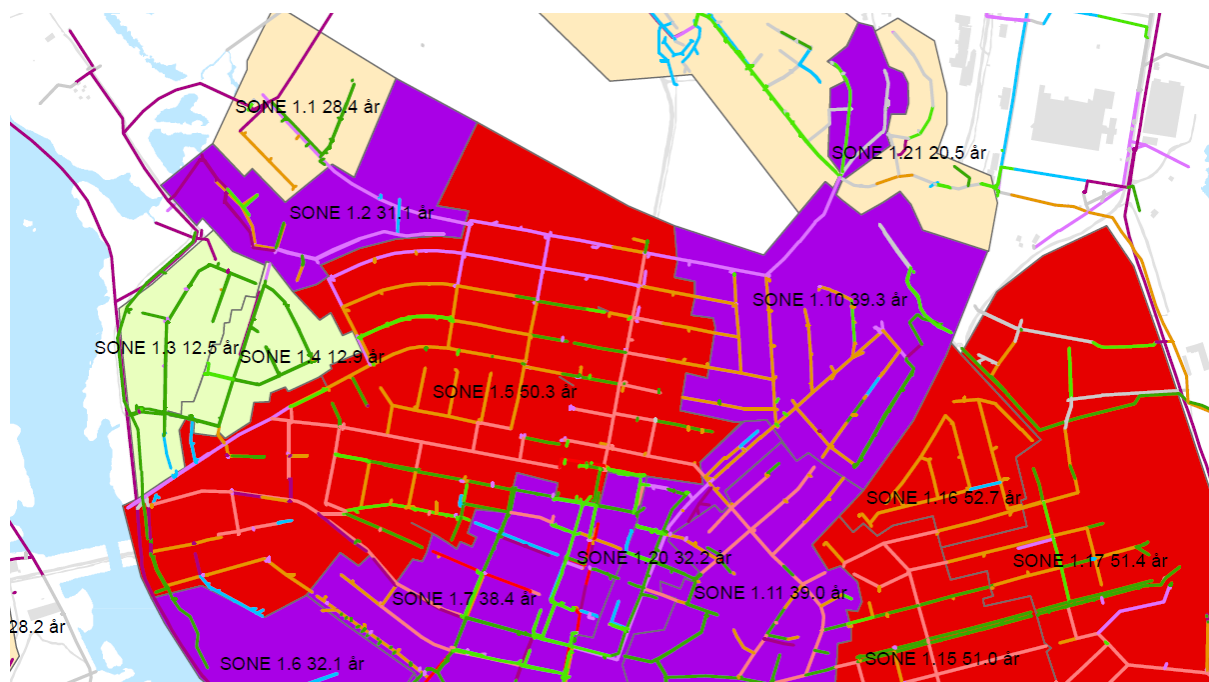
Eksisterende avløpssystem i sone 1.5 er nesten utelukkende fellessystem. Alle rørene er selvfallsrør og i Figur 19 er det eksisterende avløpsnettet tegnet opp. Informasjonen er hentet fra Gemini VA sin kartdatabase over Skedsmo kommune. I figuren symboliserer strekene rørene. Røde streker symboliserer fellessystem og grønne symboliserer separatsystem. Tykkelsen på strekene viser dimensjonene; $\varnothing 125$ - $\varnothing 525$ mm er tynn strek og $\varnothing 600$ - $\varnothing 1200$ mm er gitt ved tykk strek.

I dette systemet fungerer traseene der ledningene har diameter over 600 mm som overføringsledninger, mens de resterende ledningene er oppsamlingssystemet. Stikkledninger er ikke tegnet inn på figuren. Oppsamlingssystemet har som oppgave å frakte avløpsvannet fra boligene frem til overføringsledningene som transporterer avløpsvannet frem til OK2.



Figur 19: Eksisterende anlegg avløpssone 1.5. Grønn = separatsystem. Rød = fellesavløpssystem (Tykke streker symboliserer rør med diameter over 600 mm, tynne streker = diameter 125-525 mm).

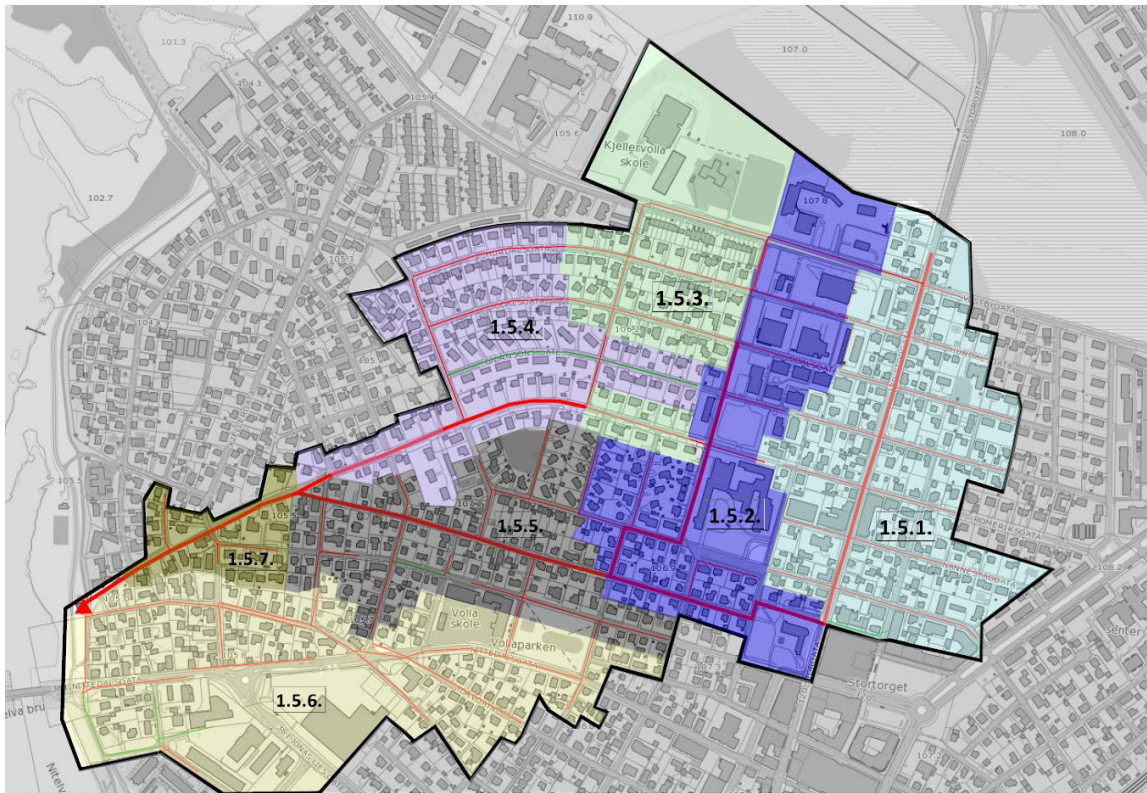
Gjennomsnittlig alder på nettet i avløpssone 1.5 er over 50 år (Figur 20).



Figur 20: Avløpsnettets gjennomsnittsalder, etter soneinndeling. (Hjellnes Consult as, 2010)

3.2.2. Inndeling av områder i sone 1.5.

For å finne ut hvor avløpsvannet fra hver husstand kommer inn på oppsamlingsledningene er det brukt datagrunnlag fra Gemini VA som viser eksisterende ledninger og deres helningsretning. Slik er avløpszone 1.5 delt inn i 7 mindre soner etter hvor avløpsvannet kommer inn på oppsamlingsledningene (Figur 21).



Figur 21: Avløpszone 1.5. Inndeling av sonen etter eksisterende anlegg.

3.2.3. Grunnforhold

Grunnforholdene i Lillestrøm kan være vanskelige på grunn av innslag av silt i leira og mulige lommer med kvikkleire. Når det gjelder grunnvannstanden, antas det at den følger vannstanden i Nitelva (som ligger vest for byen) med en liten gradient innover i byen. Middelvannstanden for Nitelva ligger på ca kote 102, noe som gjør at grunnvannstanden kan antas å være på ca 102,5 i avløpszone 1.5 (Karlsen, 2013).

Lillestrøm er en by der grunnforholdene er påvirket av menneskers aktivitet. Grunnforholdene i avløpszone 1.5 består av fyllmasse i følge NGU⁵. Fyllmasse er definert som løsmasser tilført eller sterkt påvirket av menneskers aktivitet (Figur 22).

⁵ Norges geologiske undersøkelse



Figur 22: Kartutsnitt over Lillestrøm. Viser grunnforhold med løsmasser (Kart fra nasjonal løsmassedatabase <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>).

4. Dimensjoneringsgrunnlag

4.1. Folketallsutvikling og tilknytning

Ved investeringer i teknisk infrastruktur slik som avløp bør det legges til grunn en forventet levetid for investeringer på 20-100 år. Hvor lang levetid man skal dimensjonere anleggene for vil avhenge av type anlegg. For ledningsnett er det normalt å regne en levetid på 100 år, mens maskiner og annet utstyr gjerne har en levetid på 10-30 år. I denne oppgaven er det valgt å legge estimert folketall i 2050 til grunn ved dimensjonering av anleggene.

Med tanke på befolkningsvekst har Skedsmo kommune siden år 2000 vært blant landets mest hurtigvoksende kommuner. I følge befolkningsprognoser fra Statistisk Sentralbyrå peker befolkningsveksten i samme retning i årene som kommer. Ved samme vekst som de siste årene vil folketallet øke fra 50 000 i 2013 til 70 000 i år 2030 (Leiro, 2011). Siden det i denne oppgaven bare blir sett på én avløpssone er det valgt å se bort fra estimater for hele kommunen, og heller se på byutviklingen lokalt i avløpssonen.

4.1.1. Sanering av Vestbygata

Vestbygata, lengst nord i avløpssone 1.5 skal saneres (gata er markert med grønn strek i Figur 23). Det skal legges ny separat spillvannsledning som leder spillvannet fra markert område i Figur 23 til avløpssone 1.2, som ligger vest for avløpssone 1.5. (Opheimsbakken, 2013). Når antall fremtidige PE skal beregnes må dette tas høyde for. Innenfor området som skal saneres ligger det 18 rekkehus, en barnehage, en ungdomsskole og ett næringsbygg med diverse bedrifter. Barnehagen har 24 ansatte og ca 80 barn, skolen har 330 elever og 34 ansatte og næringsbygget er anslått til å inneholde ca 100 arbeidsplasser. Videre er det brukt omregningsfaktor fra Tabell 3 fra *kapittel 2.3.2. Beregning av pe til å beregne hvor mange PE som skal trekkes fra avløpssone 1.5. for saneringen av Vestbygata. Oversikten er presentert i Tabell 9 under.*

Tabell 9: Sanering av Vestbygata. Beregning av PE.

Bidrag	Personer	Omregningsfaktor	PE
Skole/barnehage (barn)	410	0,3	123
Skole/barnehage (ansatte)	58	0,4	23
Næringsbygg	100	0,4	40
Rekkehus*	38	1,0	38
Totalt			224

* Bosatte per bolig i rekkehus = 2,1 (SSB, 2013b)

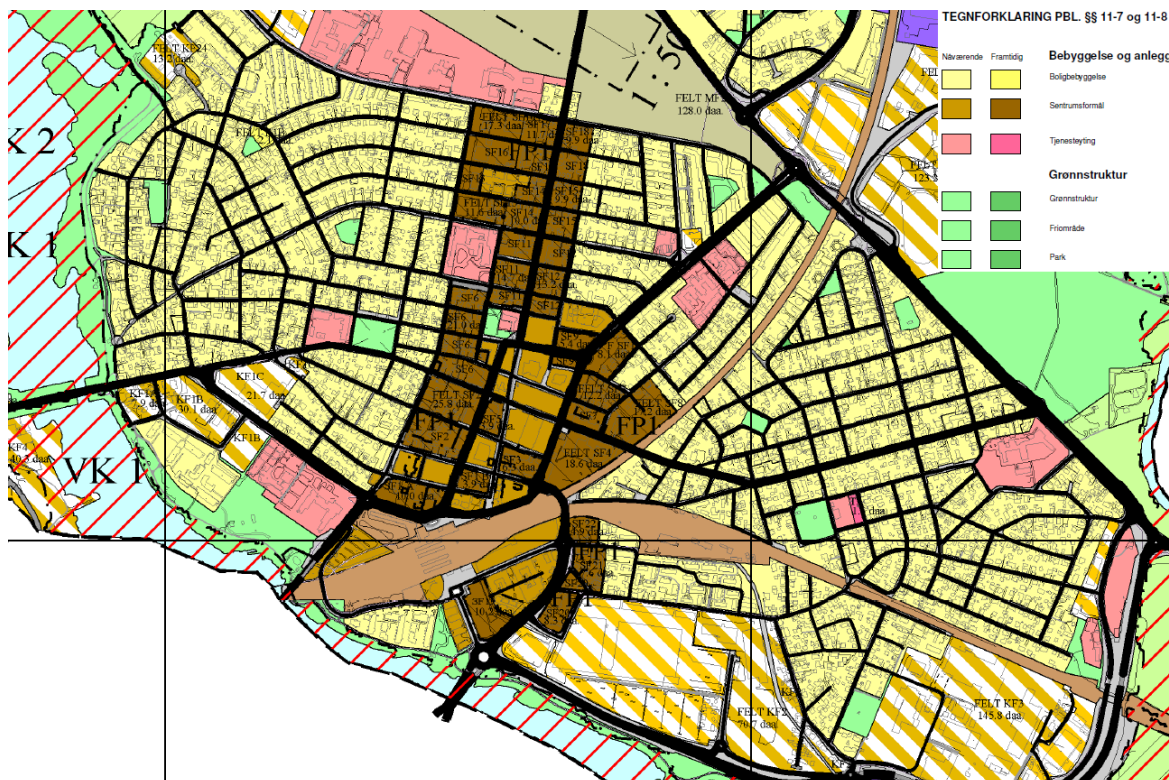


Figur 23: Sanering av Vestbygata

4.1.2. Kommuneplan for Skedsmo kommune

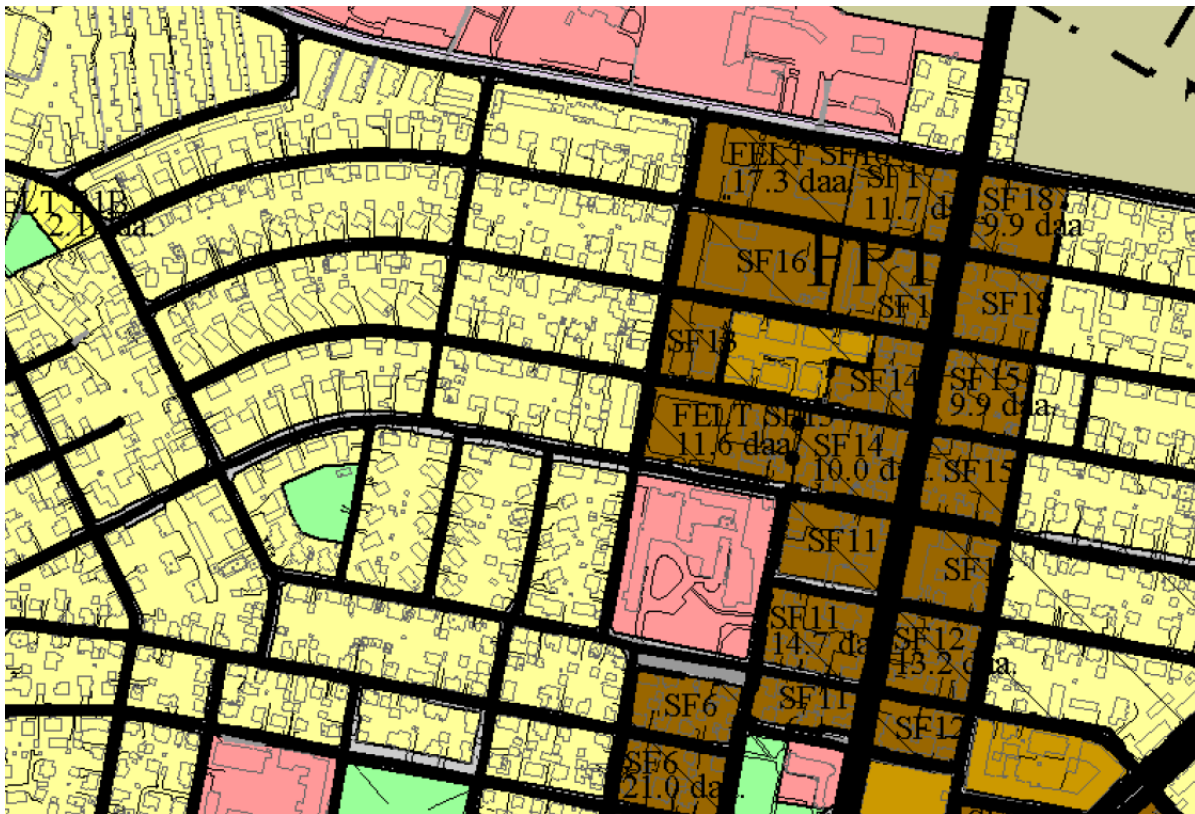
Sentralt i byutviklingen av Lillestrøm er å sikre fortsatt byvekst ved å sette av nok sentrumsnære areal til bebyggelse og anleggsformål. Det er ønskelig at veksten styres slik at sentrum utvikles innenfra og utover. For å sikre Lillestrøm som næringslivssentrum og byens attraktivitet som bosted er dette viktige tiltak som kommunen prioriterer (Leiro, 2010).

I "forslag til kommuneplanens arealdel 2011-2022" (Leiro, 2010) er kvartalene gitt forskjellige arealformål (Figur 24). Totalt er det 22 felter i Lillestrøm som er gitt arealformål "framtidige sentrumsformål". Dette er kvartal som i all hovedsak ikke er ferdig utbygd enda, eller har fått en forsvarlig planstatus i tråd med byutviklingsstrategien.



Figur 24: Oversikt Lillestrøm fra forslag til kommuneplan 2011-2022 arealdel.

I avløpssone 1.5. er det i følge Skedsmo kommunes "hovedplan avløp fra 2011-2014" (Hjellnes Consult as, 2010), registrert 3406 PE. 9 av 22 felt med arealformål "fremtidige sentrumsformål" ligger innenfor avløpssone 1.5 (Figur 25). I dag består disse feltene hovedsaklig av eneboligtomter, og det må derfor beregnes en befolkningsvekst i dette området som samsvarer med planlagt utvikling. Tabell 10 viser en oversikt over beregnet arealreserve og ønsket prosentvis fordeling mellom lovlige arealformål for de aktuelle områdene (Leiro, 2010).



Figur 25: Avløpssone 1.5. Utsnitt fra forslag til kommuneplan 2011-2022 arealdel

Tabell 10: Feltinndeling avløpssone 1.5. Oversikt over arealreserver og ønsket prosentvis fordeling mellom lovlig arealformål.

Feltnavn	Feltareal [m ²]	Totalt antall m ² BRA	Etasjer	%-vis forhold mellom arealformål
Felt SF18	9900	37125	5	FKTB**: max 70 %, Bolig: max 50 %
Felt SF17	11700	43875	5	FKTB**: max 70 %, Bolig: max 30 %
Felt SF16	17300	25950	3	FKTB**: max 70 %, Bolig: max 30 %
Felt SF15	9900	37125	5	FKTB**: max 70 %, Bolig: max 50 %
Felt SF14	10000	37500	5	FKTB**: max 70 %, Bolig: max 30 %
Felt SF13	11600	17400	3	FKTB**: max 70 %, Bolig: max 30 %
Felt SF12	13200	49500	5	FKTB**: max 70 %, Bolig: max 30 %
Felt SF11	14700	14700	5	FKTB**: max 70 %, Bolig: max 30 %
Felt SF06*	5250	15750	5	FKTB**: max 50 %, Bolig: max 50 %
Totalt	103550	278925		

*25 % av Felt SF06 ligger innenfor avløpssone 1.5 Dette er tatt høyde for i beregningene

**FKTB = Forretning/Kontor/Tjenesteyting/Beverting

I beregningene av fremtidige PE for områder satt av til sentrumsformål (Tabell 11) er det tatt utgangspunkt i "totalt antall m² BRA" fra Tabell 10. Det er forutsatt at det blir bygget maksimalt tillatt boliger i hvert felt, noe som tilsvarer et totalt antall BRA med boliger på ca 100 000 m². For beregning av PE er det tatt utgangspunkt i et gjennomsnittlig boligareal per person på 54m² (Andersen, 2005). Et totalt antall BRA på ca 180 000 m² er igjen til

forretninger/kontor/tjenesteyting/bevertning (FKTB). Denne delen er vanskeligere å beregne PE for, da det er avhengig av hva som bygges. Det er derfor gjort et grovt overslag og satt at arealene som er satt av til FKTB vil tilføre 1500 PE til avløpssone 1.5.

Tabell 11: Beregning av fremtidige PE for områder satt av til sentrumsformål

Arealformål	Totalt antall m ² BRA	Gjennomsnittlig areal	Total PE
Bolig	101678	54 m ² /person	1883
FKTB	177248		1500
Total PE 2050			3383

FKTB = Forretning/Kontor/Tjenesteyting/Bevertning

4.1.3. PE 2050 for avløpssone 1.5

I avløpssone 1.5 er det flere ulike boligtyper. Rekkehus, eneboliger, 4-mannsboliger og noen boligblokker. I tillegg er det to skoler og noen næringsbygg. I denne masteroppgaven er det gjort en forenkling for beregning av PE 2050 ved ikke å skille mellom boligtypene og dermed anta at det er likt antall PE per bolig.

Etter saneringen av Vestbygata er det totalt 3182 PE fordelt på 667 boliger i avløpssone 1.5. Dette gir 4,77 PE per bolig.

Tabell 12: Beregning PE avløpssone 1.5 (2050)

nr	Bidrag	Hus	PE	
			+	-
1	PE avløpssone 1.5 (2010)		3406	
2	Sanering Vestbygata			224
3	Fremtidige sentrumsformål (2010)	114		544
4	Fremtidige sentrumsformål (2050)		3383	
	Totalt PE 2050			6021

4.2. Spesifikk vannmengde, Q_s

Vanlig praksis innenfor VA-bransjen er å benytte en spesifikk vannmengde på 200 l/PE*d (Ødegaard et al., 2009). Når det faktiske forbruket viser seg å ligge rundt 130 l/PE*d (Vråle and Dupont, 2012), velges den anbefalte vannmengden på 200 l/PE*d bort og spesifikk vannmengde (Q_s) er satt til 130 l/PE*d for denne masteroppgaven.

4.3. Frostfri dybde

Beregning av frostfri dybde (Z_F) utføres i henhold til kapittel 2.4.2. *Frostfri dybde*. Rørene dimensjoneres for å kunne holde i 100 år, derfor er frostmengden F_{100} for Skedsmo

⁶ F_{100} – Frostmengder som statistisk sett overskrides 1 gang i løpet av en periode på 100 år.

kommune valgt (Tabell 7). Grunnforholdene er satt til å være sand og grus med frostdybdefaktor (K_F) 1 (Tabell 6 fra kapittel 2.4.2. Frostfri dybde).

$$Z_F = 1 \times \sqrt{29000} = 170 \text{ cm}$$

Dette betyr at alle ledningene må legges med topp av rør minimum 170 cm under terrengets overflate for å legges på frostfri dybde.

5. Implementering av konvensjonelt anlegg

Eksisterende anlegg i avløpssone 1.5 er bakgrunnen for det konvensjonelle systemet som skal prosjekteres under denne delen av oppgaven. Overføringsledningene skal dimensjoneres og traseen til ledningene blir presentert ved lengdeprofiler som viser ledningenes trase i forhold til topografien. Lengdeprofilene lages i Excel ved å finne høyder i terrenget ut fra kartdata presentert i AutoCAD⁷, sammen med avstander hentet fra Kartverkets åpne og gratis kartløsning på nett, www.norgeskart.no.

Etter at traseen for overføringsledningene er bestemt vil oppgaven være å dele opp avløpssone 1.5 i mindre soner og prosjektere oppsamlingsnettene videre på en slik måte at spillvannet fra sonene blir ledet inn på overføringsledningene. Også her vil det bli tatt utgangspunkt i eksisterende anlegg. Ledningene som skal tilsluttes overføringsledningene kan ikke ha en ledningstrase som ender lavere enn overføringsledningenes trase. Disse ledningene kan derfor bli bestemmende for overføringsledningenes trase.

Alle ledningene er prosjektert etter følgende bestemmelser:

- 1) Alle ledninger skal legges på frostfri dybde (170 cm)
- 2) Spillvannsledningene skal være selvrensende og legges med tilstrekkelig fall for å oppnå dette
- 3) Alle avløpsledninger skal ligge minimum 150 mm over grøftebunn og minimum 200 mm fra grøftekant
- 4) Maks avstand mellom kummer settes til 80 meter i henhold til VA-normen for Skedsmo kommune (Skedsmo kommune, 2012).

5.1. Overføringsledningenes trase

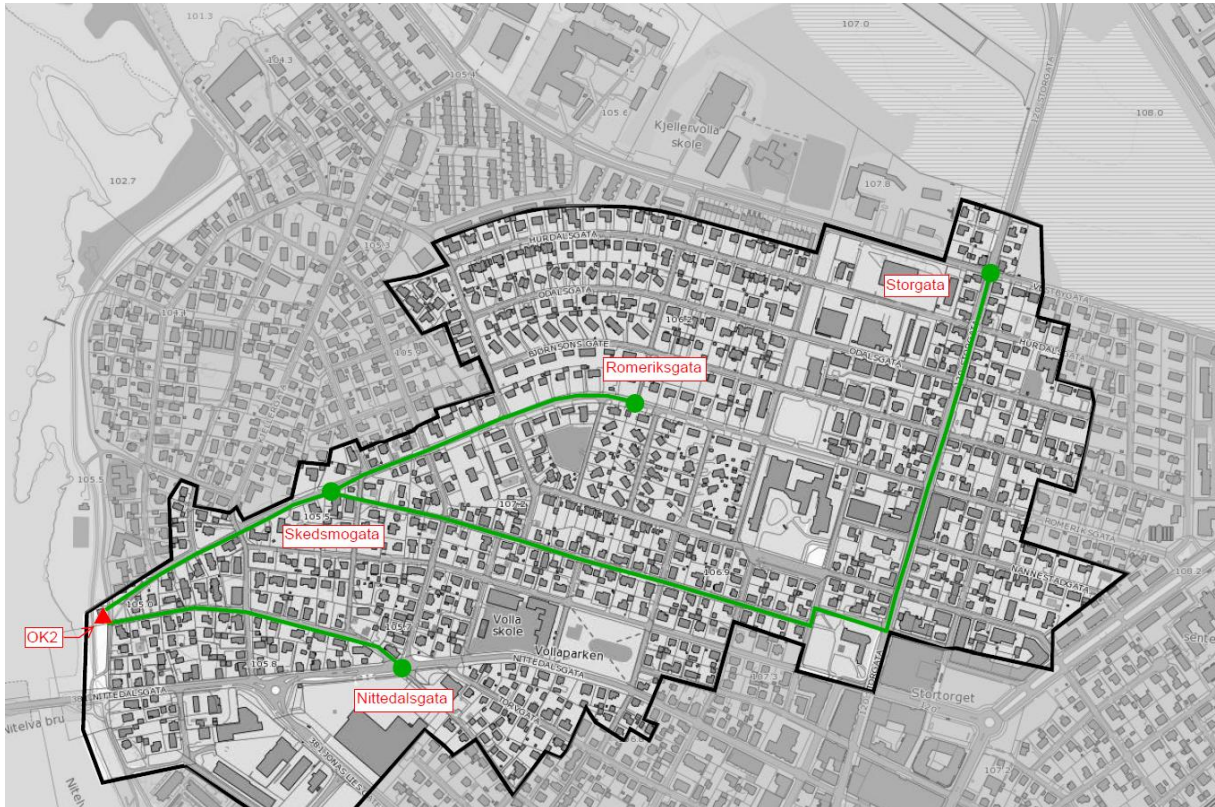
Lillestrøm er som nevnt tidligere en by med flatt terreng og liten høydevariasjon. Det er derfor ingen traseer for overføringsledningene som egner seg vesentlig bedre enn andre med tanke på tilgjengelig fall. Overføringsledningenes trase for konvensjonelt anlegg er derfor valgt ut fra eksisterende anlegg og er presentert under i Figur 26.

Det er prosjektert tre forskjellige overføringsledninger. Disse er videre i oppgaven referert til som O-1, O-2 og O-3. Traseen for O-1 går fra punktet som er kalt *Storgata* til punktet som er kalt *Skedsmogata*. O-2 går fra *Romeriksgata* og får spillvannet fra O-1 tilført i *Skedsmogata* for så å gå videre til OK2. O-3 er ledningen som går fra *Nittedalsgata* til OK2. Ledningene er spillvannsførende selvfølgelig og lengden er beregnet ut fra www.norgeskart.no.

⁷ AutoCAD er en programvare for dataassistert konstruksjon (DAK), utviklet av Autodesk. DAK = CAD (computer-aided design).

Tabell 13: Overføringsledninger konvensjonelt anlegg

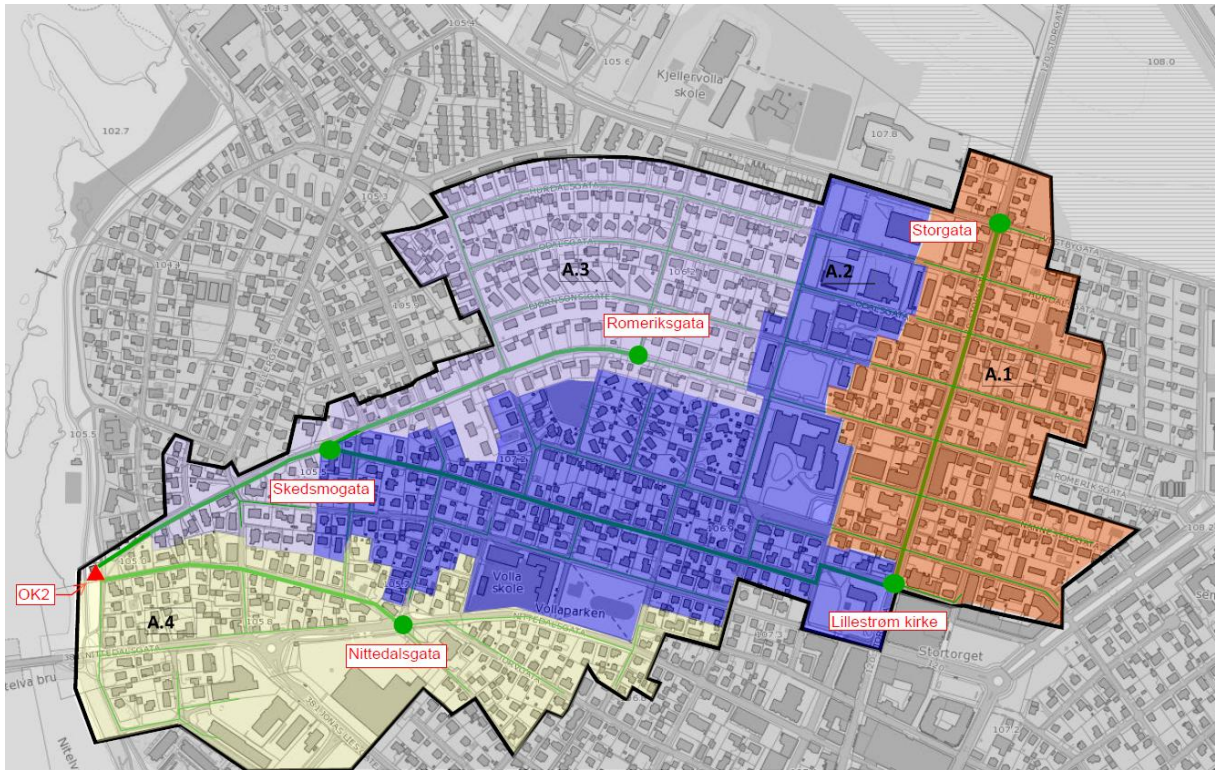
Overføringsledning	Strekning	Lengde [m]
O-1	Storgata - Skedsmogata	1311
O-2	Romeriksgata - OK2	792
O-3	Nittedalsgata - OK2	445



Figur 26: Overføringsledningenes trase. Konvensjonelt anlegg

5.2. Soneinndeling og oppsamlingsnett

Oppsamlingsnettets er prosjektert med utgangspunkt i eksisterende nett. Felles avløpsledninger er byttet ut med separate spillvannsledninger. Avløpssone 1.5 er delt inn i 4 mindre soner. Hvilken overføringsledning spillvannet føres til er avgjørende for hvilken sone en husstand tilhører. Siden O-1 er en lang ledning med store deler av husstandene tilknyttet, er ledningen delt i to med to tilhørende soner. Sone A.1 består av alle husstandene som fører spillvannet inn på O-1a i strekket *Storgata - Lillestrøm kirke*, og sone A.2 er husstander som fører spillvannet inn på O-1b mellom *Lillestrøm kirke* og *Skedsmogata* (Figur 27).



Figur 27: Oppamlingsnett og soneinndeling avløpssone 1.5. Konvensjonelt anlegg

5.2.1. Ledninger. Konvensjonelt anlegg

Det er gjort målinger av lengden på oppamlingsnettet på samme måte som for overføringsledningene. Stikkledningene er ikke målt, men estimert til å være 25 meter per bygg (Ødegård et al., 2013).

Tabell 14: Oversikt type og meter ledning. Prosjektering konvensjonelt anlegg.

Avløpssone	Antall bygg	Ledninger [m]			
		Overføring	Oppsamling	Stikk	Total (sone)
A.1	59	502	1867	1475	3844
A.2	169	809	2380	4225	7414
A.3	202	792	2226	5050	8068
A.4	123	445	1882	3075	5402

5.2.2. PE. Konvensjonelt anlegg

Ant. PE er beregnet med bakgrunn fra kapittel 4.1. *Folketallsutvikling og tilknytning*. Avløpsanlegg prosjekteres med hensyn på fremtidig situasjon og PE år 2050 er brukt som grunnlag for beregningen av PE, konvensjonelt anlegg. Det er skilt mellom arealer i sonene etter om de har eksisterende bygg eller om de er satt av til fremtidige sentrumsformål.

PE 2050 er beregnet til 3383 for områder som er regulert til fremtidige sentrumsformål i "forslag til kommuneplan 2011-2022" for Skedsmo kommune. For å fordele PE til de rette

sonene blir det gjort en antagelse om at det er likt antall PE per areal som er satt av til fremtidige sentrumsformål. Antall PE blir dermed fordelt etter andel fremtidige sentrumsformål som befinner seg innenfor de forskjellige sonene.

Resten av arealene i avløpssone 1.5 er antatt å bestå av eksisterende bygg ved slutten av planperioden slik at det ikke vil bli noen endring i folketallsutviklingen i disse sonene. Den planlagte byutviklingen i "forslaget til kommuneplan 2011-2022" er grunnlaget for beregning av PE 2050 og derfor antas det at resten av avløpssone 1.5 i 2050 består av eksisterende boliger. Innenfor disse områdene er det gjort en forenkling om at det er likt antall PE per bolig. 2638 PE fordelt på 553 boliger gir 4,77 PE per bolig.

Tabell 15: PE 2050 for soner konvensjonelt anlegg.

Sone	Eksisterende		Fremtidige sentrumsformål			PE 2050
	Hus	PE	[ha]	%	PE2	
A.1	59	281	7,2	70	2368	2650
A.2	169	806	3,1	30	1015	1821
A.3	202	964	0,0	0	0	964
A.4	123	587	0,0	0	0	587
Totalt	553	2638	10,3	100	3383	6021

5.2.3. Dimensjonerende vannmengder. Konvensjonelt anlegg

Beregningene av vannmengder er basert på antall tilknyttede PE som forklart i kapittel 2.3. *Dimensjoneringsgrunnlag*. $130 \text{ l/PE} \cdot d$ benyttes som spesifikk vannmengde, Q_s .

Infiltrasjonsvann er vann som infiltreres inn på ledninger via skjøter og utette rørvegger. "Veiledning for dimensjonering av avløpsrensaneanlegg" anbefaler ikke å velge verdier under $0,2 \text{ l/s}$ per km. ledning med nytt anlegg. Den *nedbøravhengige innlekkingen* er vann som ledes inn på ledningene på grunn av feilkobling av sluk, taknedløp og lignende. Siden det er et helt nytt anlegg som er prosjektert, antas det ingen feilkoblinger i denne oppgaven. Q_{inf} er derfor satt til $0,2 \text{ l/s}$ per km ledning.

Variasjonen i spillvannsmengden innenfor de ulike avløpssonene er vist i Tabell 16 under. f_{maks}/f_{min} er satt til $2,0/0,5$ for alle avløpssonene, k_{maks} er beregnet ut fra $k_{maks} = 1 + (31,5/VPE)$.

Tabell 16: Avløpsmengder etter soneinndeling konvensjonelt anlegg.

Avløpssone	PE 2050	$f_{maks/min}$	k_{maks}	Q_{mid} [l/s]	Q_{dim} [l/s]	$Q_{selvrens}$ [l/s]
A.1	2650	2,0/0,5	1,6	4,8	13,6	2,9
A.2	1821	2,0/0,5	1,7	4,2	11,0	2,1
A.3	964	2,0/0,5	2,0	3,1	7,5	1,3
A.4	587	2,0/0,5	2,3	2,0	5,1	0,9

Q_{mid} Middelvanntilføringen. Den maksimale timetilrenning som overskrides i 50 % av årets døgn (medianverdi). $Q_{mid} = Q_s * PE + Q_{inf}$

Q_{dim} Dimensjonerende vannføring. Den største timetilrenningen som opptrer i maks døgn og maks time. $Q_{dim} = Q_s * PE * f_{maks} * k_{maks} + Q_{inf}$

$Q_{selvrens}$ Selvrensende vannføring. Vannføringen som opptrer minimum en gang om dagen gjennom hele året. $Q_{selvrens} = \alpha * PE * Q_s * f_{min}$, der $\alpha = 1 + 23/VPE$ for $PE < 3000$ og $\alpha = 1,43$ for $PE > 3000$.

5.3. Dimensjonering overføringsledninger

Ledningene er dimensjonert etter kapittel 2.1.4. Prosjektering og dimensjonering av konvensjonelt anlegg. Ruhet (k) på 1 mm er valgt. Siden det er små dimensjoner det er snakk om for overføringsledningene i denne oppgaven er minimum krav til selvrensing satt til 5 ‰. Det er tatt utgangspunkt i Pipelife Norge⁸ sitt assortiment, og ledningene rundes opp til nærmeste tilgjengelige diameter. Friksjonsfaktoren er beregnet med Prandtl's formel (Formel 4: Prandtl's formel. Halvempirisk formel for å finne friksjonskoeffisienten f . fra kapittel 2.1.4. Prosjektering og dimensjonering av konvensjonelt anlegg)

Tabell 17: Dimensjonering av overføringsledninger

	Ledningsstrek	Q_{dim} [l/s]	Lengde [m]	Fall [‰]	f	h_f [m]	Diameter	
							Beregnet [mm]	Valgt [mm]
O-1a	Storgata - Lillestrøm kirke	14	502	5	0,030	2,51	156	200
O-1b	Lillestrøm kirke - Skedsmogata	25	809	5	0,028	4,05	195	250
O-2a	Romeriksgata - Skedsmogata	7	450	5	0,033	2,25	124	160
O-2b	Skedsmogata - OK2	32	342	5	0,028	1,71	217	250
O-3	Nittedalsgata - OK2	5	445	5	0,033	2,23	107	160

⁸ Pipelife Norge er en Norsk produsent og leverandør av rørsystemer i plast.

Selvrensing

Det er beregnet om overføringsledningene er selvreisende etter beregningsveilederen i VA-Miljøblad nr. 79 (Lindholm, 2007). Veilederen er gjengitt i detalj i kapittel 2.1.4. . Siden det er spillvannsledninger som sjekkes er τ_{\min} valgt til 2 N/m^2 , i henhold til anbefalinger fra beregningsveilederen. Det er tatt utgangspunkt i et fall på 5 ‰ for alle ledningene.

For at en spillvannsledning skal være selvreisende må $\tau_{\max} > \tau_{\min}$. I Tabell 18 er det tre ledningstrekk som ikke oppfyller kravet om selvreisning. O-1a fra Storgata – Lillestrøm kirke, O-2 fra Romeriksgata – Skedsmogata og O-3 fra Nittedalsgata – OK2. Disse ledningstrekkene kan legges med høyere ‰ fall for å oppnå selvreisning.

Tabell 18: Beregning av selvreisning for hovedledningene i konvensjonelt anlegg.

Ledningsstrekk	d_i [mm]	v_{mid} [m/s]	Q_{fylt} [l/s]	Q_{selvrens} [l/s]	Delfylling		Skjærspenning		
					$Q_{\text{selvrens}}/Q_{\text{fylt}}$	h/D	τ_{fylt} [N/m ²]	τ_{maks} [N/m ²]	τ_{min} [N/m ²]
O-1a Storgata - Lillestrøm kirke	188,2	0,78	21,7	2,9	0,13	0,26	2,35	1,81	2,00
O-1b Lillestrøm kirke - Skedsmogata	235,3	0,90	39,2	5,0	0,13	0,26	2,94	2,26	2,00
O-2a Romeriksgata - Skedsmogata	150,6	0,67	12,0	1,3	0,11	0,24	1,88	1,37	2,00
O-2b Skedsmogata - OK2	235,3	0,90	39,2	6,3	0,16	0,31	2,94	2,52	2,00
O-3 Nittedalsgata - OK2	150,6	0,67	12,0	0,9	0,07	0,2	1,88	1,20	2,00

5.3.1. O-1: Storgata – Skedsmogata

O-1 er 1311 meter lang og starter på frostfri dybde med topp av rør 1,7 meter under bakken øverst i Storgata (bunn av rør starter 1,9 meter under bakkenivå). Etter 500 meter, ved Lillestrøm kirke, endrer diameteren på røret seg fra 200 til 250 mm. Dette for å ha nok kapasitet til spillvannet fra sone 1.5.2.

5 ‰ fall er ikke tilstrekkelig for å oppnå selvreisning på O-1. Problemstrekningen er på ledning O-1a fra Storgata – Lillestrøm kirke, hvor $\tau_{\max} < \tau_{\min}$. Ved å øke fallet på ledningen for dette strekket vil τ_{\max} endre seg slik at røret blir selvreisende når fallet er over 5,5 ‰. Når entreprenøren i tillegg har et tillatt avvik på ± 2 ‰ må ledningstrekket Storgata – Lillestrøm kirke justeres til 7,5 ‰ fall. Strekningen fra Lillestrøm kirke – Skedsmogata er selvreisende med 4,5 ‰ fall, og justeres til 6,5 ‰. Lengdeprofiler er fremstilt i Figur 28, med eksisterende ledning (stiplet rød) og prosjektert spillvannsledning (grønn). Terrenget er fremstilt ved den svarte linjen.

Oppsamlingsnett

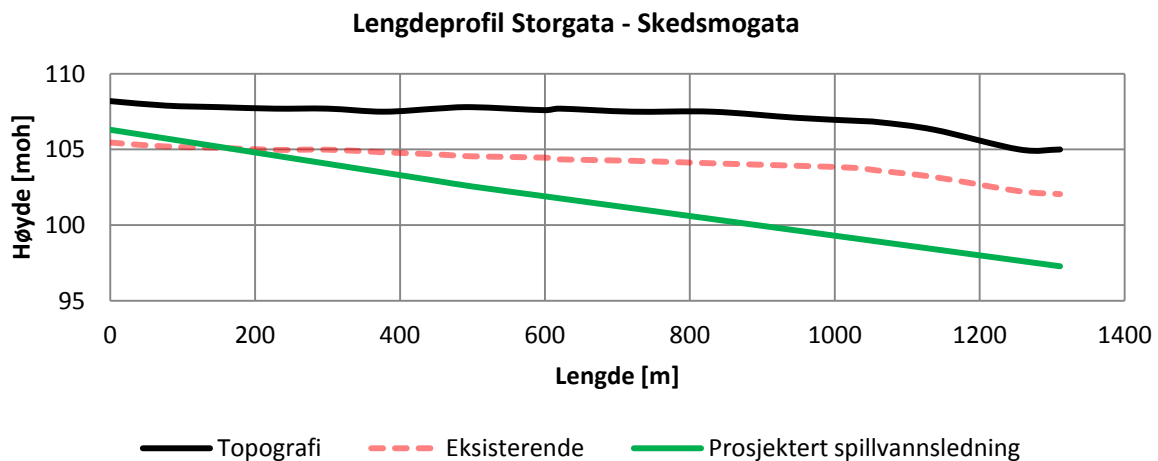
Oppsamlingsledningene som tilfaller O-1 legges alle på frostfritt dyp med 7 ‰ fall (korrigert for ± 2 ‰ avvik fra entreprenøren). Siden ingen av disse ledningene ligger lavere enn O-1 i tilkoblingspunktet, vil de ikke være bestemmende for leggedybden til O-1. Alle oppsamlingsledningene har rørmateriale PVC SN8 med dimensjon $\varnothing 160$.

Systembeskrivelse

Ved legging av O-1 vil 193 meter med grøft være mellom 2 og 3 meter dyp, 163 meter av grøften vil være mellom 3 og 4 meter dyp og 958 meter av grøftene vil være dypere enn 4 meter.

Oppsamlingsledningene i sone A.1. og A.2 er til sammen 4247 meter. Alle oppsamlingsledninger starter med en grøftedybde på 2,1 meter (frostfri dybde (1,7 m) + diameter rør (0,16 m) + fundament (0,15 m)). Det er forutsatt flatt terreng og at ledningene legges med 7 ‰ fall. Dermed vil grøften til en oppsamlingsledning bli dypere enn 3 meter 130 meter etter startpunktet og dypere enn 4 meter etter 270 meter.

Til sammen er 700 meter av grøftene i oppsamlingsnettet 3-4 meter dype og 400 meter er dypere enn 4 meter. Resten (3147 meter) har grøftedybde 2-3 meter.



Figur 28: Lengdeprofil Storgata – Skedsmogata. Eksisterende ledning (stiplet rød) og prosjektert spillvannsledning (grønn).

5.3.2. O-2: Romeriksgata – OK2

Overføringsledningen O-2 har en økning i Q_{dim} ved Skedsmogata fra 7 l/s til 32 l/s (Tabell 17). I strekningen *Romeriksgata - Skedsmogata* er det ikke tilstrekkelig med 5 ‰ for å oppnå selvrensing. Ledningen oppnår selvrensing ved fall > 8 ‰. Fallet blir derfor satt til 10 ‰ på dette strekket. Fra *Skedsmogata – OK2* er det tilstrekkelig med 4 ‰ fall for å oppnå selvrensing. Fallet blir derfor satt til 6 ‰ på denne strekningen.

Bunn av rør, O-1 ved Skedsmogata er 97,3 moh. For at ledningen fra Romeriksgata ikke skal treffe lavere enn O-1 er det tatt utgangspunkt i at bunn av rør er 97,3 moh ved Skedsmogata for O-2. Lengdeprofiler er fremstilt i Figur 29, eksisterende ledning (stiplet rød) og prosjektert spillvannsledning (grønn).

Oppsamlingsnettet

Oppsamlingsnettet som tilfaller O-2 legges alle på frostfritt dyp med 7 ‰ fall (korrigert for ± 2 ‰ avvik fra entreprenøren). Ingen av oppsamlingsledningene ligger lavere enn O-2 i

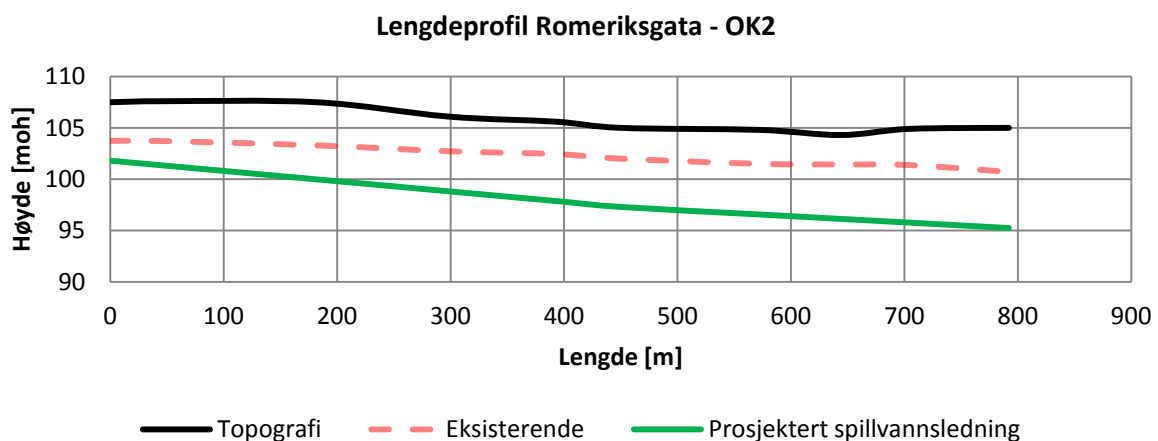
tilkoblingspunktet. Rørmateriale for oppsamlingsledningene er PVC SN8 med dimensjon Ø160.

Systembeskrivelse

O-2 er 792 meter og hele ledningen legges i grøfter som er dypere enn 4 meter.

Oppsamlingsledningene i sone A.3. har en total lengde på 2226 meter. Alle oppsamlingsledninger starter med en grøftedybde på 2,1 meter (frostfri dybde (1,7 m) + diameter rør (0,16 m) + fundament (0,15 m)). Det er forutsatt flatt terreng og at ledningene legges med 7 ‰ fall. Dermed vil grøften til en oppsamlingsledning bli dypere enn 3 meter 130 meter etter startpunktet og dypere enn 4 meter etter 270 meter.

Til sammen er 385 meter av grøftene i oppsamlingsnettet 3-4 meter dype og 250 meter er dypere enn 4 meter. Resten (1591 meter) har grøftedybde 2-3 meter.

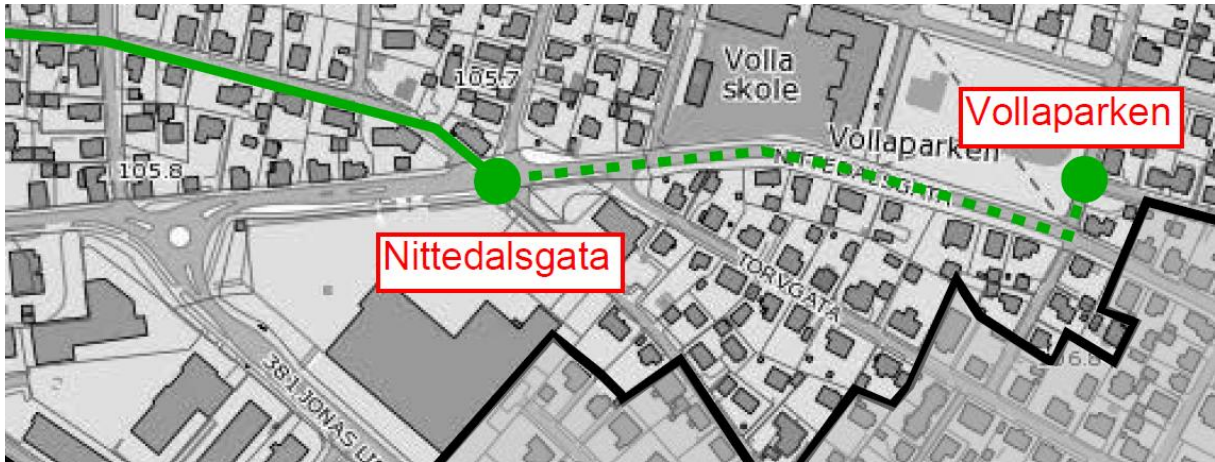


Figur 29: Lengdeprofil Romeriksgata – OK2. Eksisterende ledning (stiplet rød) og prosjektert spillvannsledning (grønn).

5.3.3. O-3: Nittedalsgata – OK2

5 ‰ fall er ikke tilstrekkelig for å oppnå selvrensing for ledningen O-3. Ledningen er selvrensende ved 8,5 promille fall og er prosjektert med 10,5 ‰ fall. Lengdeprofiler for eksisterende ledning (stiplet rød) og prosjektert spillvannsledning (grønn) er fremstilt i Figur 31.

For O-3 vil det være en av oppsamlingsledningene som er avgjørende for hvilken dybde ledningen legges på. Ledningen går fra *Vollaparken* og tilfaller O-3 på startpunktet i Nittedalsgata (stiplet linje i Figur 30). Det er forutsatt 7 ‰ fall. Ledningen er 370 meter lang, bunn av rør starter på frostfri dybde 105, 41 moh og ender i Nittedalsgata på 102,82 moh.



Figur 30: Trase oppsamlingsledning Volla parken – Nittedalsgata.

Oppsamlingsnettet

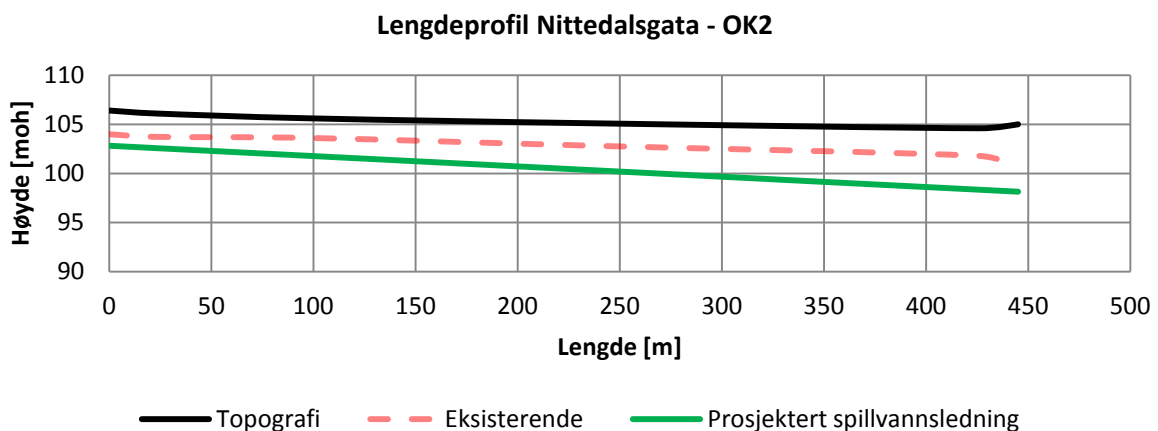
Oppsamlingsnettet som tilfaller O-3 legges alle på frostfritt dyp med 7 ‰ fall (korrigert for ± 2 ‰ avvik fra entreprenøren). Rørmateriale for oppsamlingsledningene er PVC SN8 med dimensjon $\varnothing 160$.

Systembeskrivelse

O-3 er 445 meter og hele ledningen legges i grøfter som er dypere enn 3 meter, hvorav 155 meter av grøften er dypere enn 4 meter.

Oppsamlingsledningene i sone A.3. har en total lengde på 1882 meter. Alle oppsamlingsledninger starter med en grøftedybde på 2,1 meter (frostfri dybde (1,7 m) + diameter rør (0,16 m) + fundament (0,15 m)). Det er forutsatt flatt terreng og at ledningene legges med 7 ‰ fall. Dermed vil grøften til en oppsamlingsledning bli dypere enn 3 meter 130 meter etter startpunktet og dypere enn 4 meter etter 270 meter.

Til sammen er 425 meter av grøftene i oppsamlingsnettet 3-4 meter dype og 200 meter er dypere enn 4 meter. Resten (1257 meter) har grøftedybde 2-3 meter.



Figur 31: Lengdeprofil Nittedalsgata – OK2. Eksisterende ledning (stiplet rød) og prosjektert ledning (grønn).

5.4. Kvantitativ systembeskrivelse. Konvensjonelt anlegg.

Til slutt er det gjort en sammenstilling av hva det konvensjonelle anlegget er bygd opp av. Dette gjøres for å standardisere komponentene i anlegget slik at det konvensjonelle anlegget kan sammenlignes med trykkavløpssystemet i den økonomiske analysen. Oversikten vises i Tabell 19 under.

Tabell 19: Kvantitativ systembeskrivelse konvensjonelt anlegg

Ledninger	Lengde grøfter [m] forskjellige grøftedybder				Lengde rørdiameter [m]		
	< 2 m	2 til 3 m	3 til 4 m	> 4 m	160 mm	200 mm	250 mm
Overføring:							
O-1	0	193	163	958	0	502	809
O-2	0	0	0	792	450	0	342
O-3	0	0	290	155	445	0	0
Oppsamling:							
A.1.	0	1607	260	0	1867	0	0
A.2.	0	1546	435	399	2380	0	0
A.3.	0	1591	385	250	2226	0	0
A.4.	0	1257	425	200	1882	0	0
Totalt	0	6194	1958	2754	9250	502	1151

6. Implementering av trykkavløp

Hver hovedledning i trykkavløpssystemet er et eget system hvor alle pumpene og ledningene som er tilknyttet må ses i sammenheng. Det skal være en sammenheng mellom vannmengder, pumpekapasiteter og rørdimensjoner. Hver pumpe innenfor et system skal klare å frakte spillvannet fra husene som er tilknyttet pumpestasjonen til slippunktet. Pumpene innenfor hvert system må ha tilstrekkelig kapasitet til å pumpe bort hele avløpsmengden som produseres i løpet av et døgn. Ledningene i systemet blir lagt med prinsippet om kortest mulig avstand til slippunktet.

For implementeringen av trykkavløpssystemet i avløpszone 1.5 er det utviklet et regneark som inneholder en systembeskrivelse av hver pumpestasjon. Dette regnearket ligger som vedlegg 2 til masteroppgaven.

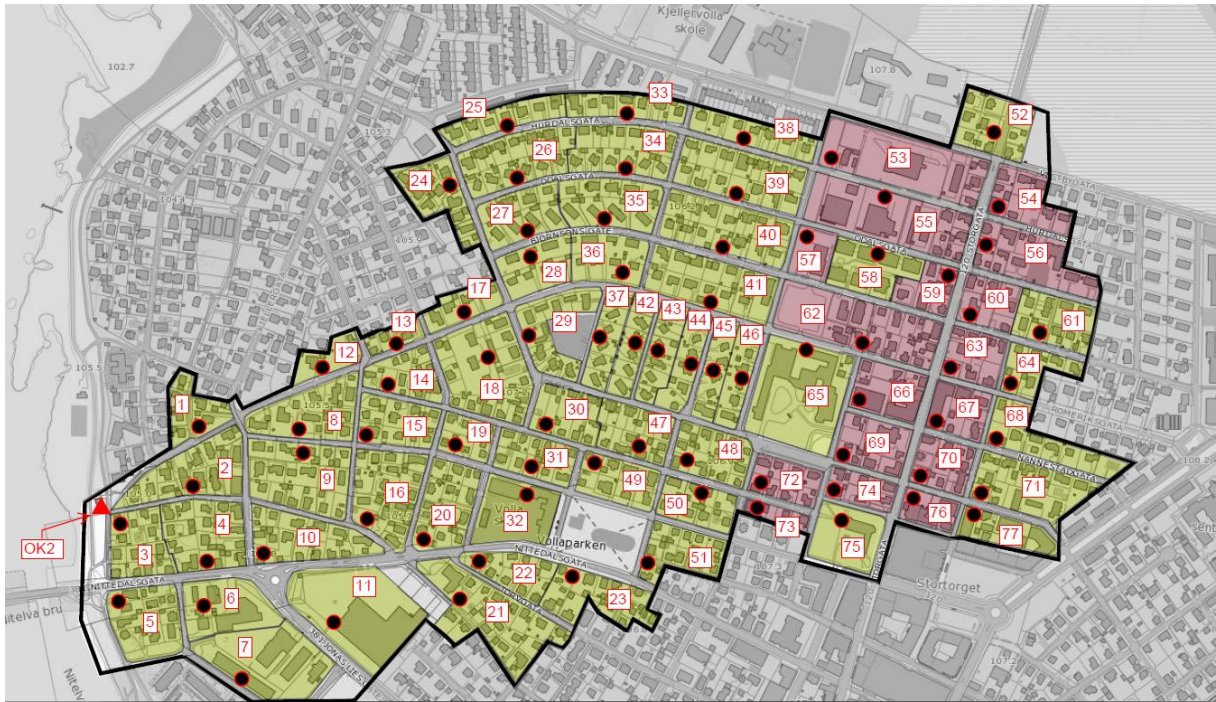
Frostfri dybde

Frostfri dybde er beregnet til 170 cm. Ledningene i trykkavløpssystemet følger topografien til terrenget og derfor legges ledningene med topp av rør 170 cm under overflaten. For beregning vises det til *kapittel 4.3. Frostfri dybde*.

6.1. Kvartaler

For implementering av trykkavløpssystemet i avløpszone 1.5 er det valgt en løsning som i denne masteroppgaven er kalt "kvartalpumper". Prinsippet bak denne løsningen er at det er tenkt kvartalsvis oppsamling av spillvann til hver pumpestasjon. De fleste kvartaler har en pumpestasjon, mens noen få kvartaler er delt i to og har da to pumpestasjoner. En oversikt over inndelingen er vist i Figur 32. Hvert kvartal er nummerert og pumpestasjonens plassering er markert.

Oppsamling og transport av spillvann fra boligene til pumpen vil skje ved selvføll for kvartaler med eksisterende boliger. For kvartaler som er satt av til fremtidige sentrumsformål vil det bygges nye boliger og dermed vil oppsamlingen av spillvannet kunne skje ved vakuumtransport. Dette forutsetter at vakuumsystem installeres i nybygg.



Figur 32: Inndeling av kvartalpumper for avløpssone 1.5. Svart sirkel med rød kant markerer pumpenes plassering i hvert kvartal. Kvartaler med areal som er satt av til fremtidige sentrumsformål er markert med brun farge.

6.2. Pumper, tilknytting og vannmengder

6.2.1. PE. Tilknytting til pumpestasjon.

Om kvartalene har eksisterende bygg eller er satt av til fremtidige sentrumsformål er avgjørende for utførelsen av beregningen av tilknyttingen til hver pumpestasjon.

Kvartaler med eksisterende boliger

For pumpestasjoner der eksisterende boliger er tilknyttet regnes det 4,77 PE per bolig. Dette er samme metode som for konvensjonelt anlegg.

Kvartaler satt av til fremtidige sentrumsformål

Folketallsutviklingen innenfor avløpssone 1.5 frem til 2050 vil bestå av en økning i områdene som er satt av til fremtidig sentrumsformål (markert med brun farge i Figur 32 fra forrige avsnitt). Det er estimert totalt 3383 PE innenfor disse områdene i 2050. For å kunne anslå hvor mange PE det er i hvert kvartal er det gjort en antagelse om at det er likt antall PE per areal innenfor arealene som er satt av til fremtidige sentrumsformål. Slik er kvartalenes areal utslagsgivende for antall PE. I Tabell 20 er en oversikt over antall PE for de forskjellige kvartalene.

Tabell 20: Fordeling av PE i kvartaler satt av til fremtidige sentrumsformål

Fremtidige sentrumsformål		
Kvartal nr	Areal [ha]	PE
53	1,48	486
54	0,48	158
55	1,29	424
56	0,48	158
57	0,33	108
59	0,39	128
60	0,48	158
62	1,38	453
63	0,48	158
66	0,60	197
67	0,48	158
69	0,59	194
70	0,48	158
72	0,46	151
73	0,21	69
74	0,39	128
76	0,30	99
Totalt	10,3	3383

6.2.2. Vannmengder

Vannmengdene er beregnet ut fra antall PE og spesifikk vannmengde, Q_s . Spesifikk vannmengde er satt til 130 l/PE*d. Maks døgn (f_{maks}) er satt til 2,0 og maks time (k_{maks}) er beregnet ut fra $k=1+(31,5/\sqrt{PE})$.

Når kapasiteten på pumpestasjonene skal velges må maksimal tilrenning (Q_{maks}) til pumpestasjonen basert på k_{maks} og f_{maks} beregnes. Kapasiteten på pumpestasjonene må være større eller lik Q_{maks} .

$$Q_{maks}=PE*Q_s*K_{maks}*f_{maks}$$

I kvartaler hvor oppsamlingen skjer ved selvføll legges det til lekkasjevann på 0,2 l/s per km stikkledning og det beregnes 25 meter stikkledning per hus (Ødegaard et al., 2009).

Valget av pumpekapasitet må også ses i sammenheng med resten av pumpene innenfor samme system. Alle pumpene innenfor hvert system skal ha en samlet driftstid som ikke overstiger 24 timer. Driftstiden beregnes ut fra middeltilrenningen (Q_{mid}) basert på maks dag (f_{maks}).

$$Q_{midmaks}=PE*Q_s*f_{maks}$$

Når energikostnader skal beregnes er de avhengig av pumpenes løftehøyde og mengden spillvann som pumpes. Det beregnes årlige energikostnader og det er middeltilrenningen som benyttes til utregningen.

$$Q_{\text{mid}} = PE * Q_s$$

6.2.3. Pumpeløsning

Pumpene skal ha større kapasitet enn maksimal tilrenning (Q_{maks}). I tillegg må kapasiteten tilpasses slik at driftstiden for alle pumpene i ett system ikke overstiger 24 timer. I et trykkavløpssystem vil valg av pumpekapasitet for hver enkelt pumpe kunne justeres når nøyaktige avløpsmengder foreligger.

For pumpestasjonene i denne oppgaven er det valgt en pumpekapasitet på 5 l/s for alle pumpene. Det installeres to pumper i hver pumpestasjon. Ved store pumpesumper hvor spillvannet kan ha lengre enn 8 timer oppholdstid vil det kunne dannes hydrogensulfid (Norsk Standard, 1997). Dette kan løses ved lufting av pumpesumpen eller via avtrekk gjennom kullfilter.

6.3. Hovedledningstraseer og soneinndeling

Det er utarbeidet et prosjekteringsverktøy til denne masteroppgaven som ser på friksjonstapet (h_f) over de aktuelle ledningsdimensjonene gitt en viss avløpsmengde (Q) og lengde (L). Denne ligger som vedlegg 3 til oppgaven og er brukt i en tidlig fase av planleggingen for å finne et samsvar mellom hovedledningens lengde og hvilke pumpekapasiteter som skulle velges.

Friksjonstapet er beregnet ut fra Darcy-Weisbachs ligning (Formel 1 fra *kapittel 2.1.4.*). For å finne friksjonsfaktoren (f_d) er Prandtl's formel benyttet (Formel 4 fra *kapittel 2.1.4.*). Rørruheten (k) er satt til 1 mm.

Det er tatt utgangspunkt i at en typisk kvernpumpe i et trykkavløpssystem leverer en løftehøyde på 30-50 mvs, og dermed er alle friksjonstap over 50 mvs markert med rødt i tabellene som utgjør prosjekteringsverktøyet (vedlegg 3).

6.3.1. Hovedledningenes trase

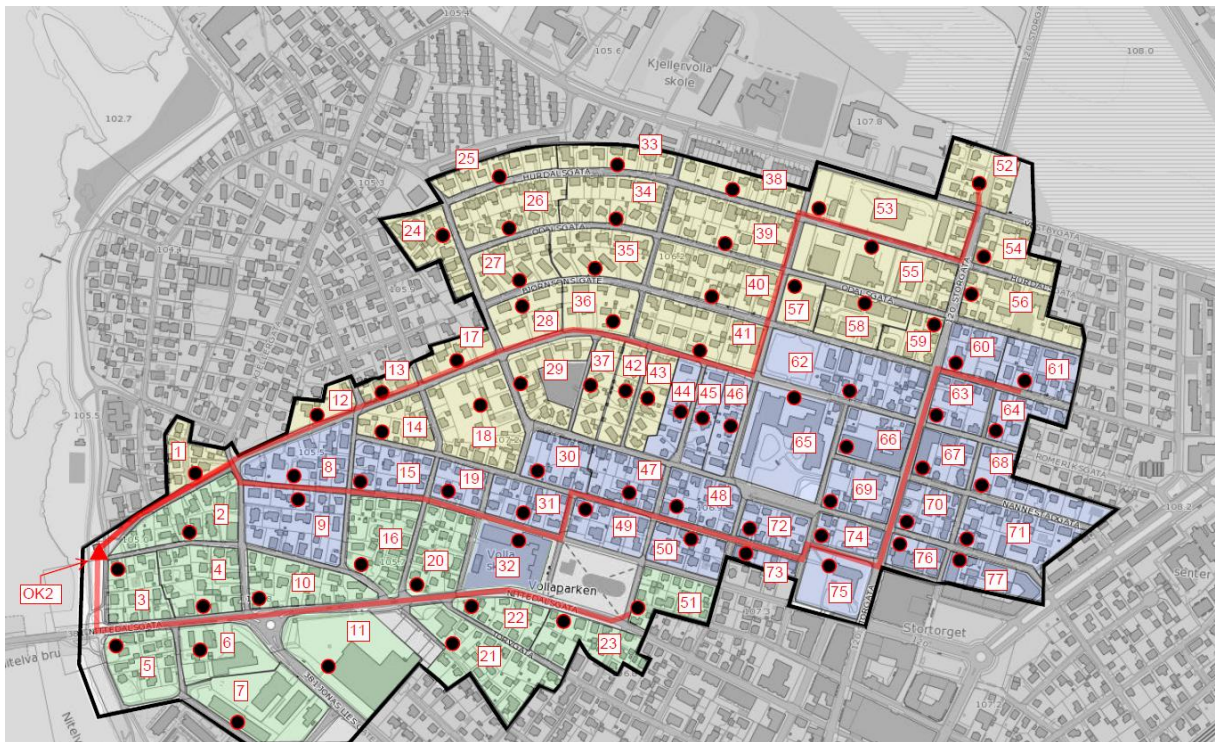
Økt vannmengde gir økt friksjonstap for en gitt diameter, og jo lavere diameter røret har, jo høyere blir friksjonstapet. Disse tapene øker proporsjonalt med lengden. Hovedledningene er ledningene med størst dimensjon i et trykkavløpssystem og traseene er derfor planlagt med tanke på å minimere avstanden mellom pumpeenheter og hovedledninger.

Startpunktet for hovedledningene er en pumpestasjon som sikrer selvrensing i ledningen. Her må antall PE som tilknyttes pumpestasjonen ses i sammenheng med ønsket diameter og pumpekapasitet. Ved å anlegge hovedledninger med diameter på 110 mm, må

pumpestasjonen i startpunktet ha en pumpekapasitet > 4,18 l/s for at ledningen skal være selvrensende (Tabell 22).

6.3.2. Soneinndeling

Avløpssone 1.5. er delt inn i mindre avløpssoner og inndelingen er valgt etter planlagte hovedledningstraseer (Figur 33). Sone B.1 har 2587 PE fordelt på 31 pumpestasjoner, sone B.2 har 2719 PE fordelt på 32 stasjoner og i sone B.3 er det 716 PE og 14 pumpestasjoner.



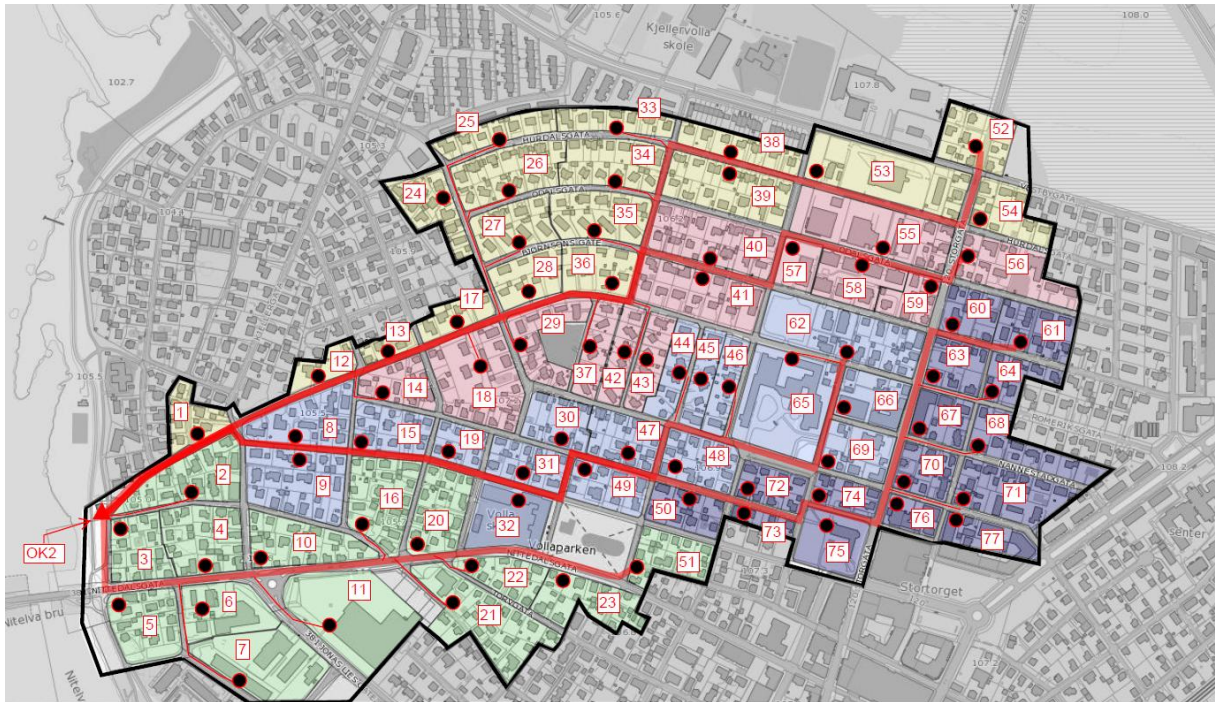
Figur 33 Soneinndeling trykkavløpssystem. Sone B.1 er markert med gult, B.2 med blått og B.3 med grønt.

Den samlede driftstiden til pumpene i sone B.1 og B.2 overstiger 24 timer og det er valgt en løsning med å dele disse systemene i to ved å anlegge en ekstra ledning for hver av disse to sonene. Ledningene går parallelt i samme grøft store deler av avstanden til OK2. I tillegg er det gjort små justeringer på den opprinnelige ledningens trase for å optimalisere avstanden mellom pumpestasjonene og hovedledningen (Figur 34).

Tabell 21: Oversikt soneinndeling trykkavløp

Sone	Ant. boliger	PE			Pumpestasjoner
		Bolig	f.s*	total 2050	
B.1.1	144	687	644	1331	18
B.1.2	92	439	817	1256	13
B.2.1	117	558	844	1402	17
B.2.2	50	239	1078	1317	15
B.3	150	716	0	716	14
Totalt	553	2639	3383	6021	77

* f.s Areal satt av til fremtidige sentrumsformål



Figur 34: Endelig soneinndeling med ledningstraseer for trykkavløpssystem. Sone B.1.1 er markert med gult, B.1.2 med rødt, B.2.1 med lys blå, B.2.2 med mørk blå og B.3 med grønt.

6.4. Ledningsdimensjonering

PE100 SDR11 er rørmateriale som er valgt for alle rørene i trykkavløpssystemet. Materialet er mye brukt i trykkavløpssystem, det er lett tilgjengelig fra leverandører og har trykkklasse PN12,5 som er tilstrekkelig slik at ikke trethetsbrudd ikke vil oppstå (Fjeldberg, 2007).

Når et trykkavløpssystem skal prosjekteres er det ønskelig å oppnå et samspill mellom rørdimensjoner og pumpekapasitet som gjør ledningene selvrensende. Ledningene skal være selvrensende for både sedimenter og for luft/gass. I Tabell 22 er det tatt for seg aktuelle rørdiametre for PE100 SDR11 for å beregne $V_{selvrens}$ og finne nødvendig pumpekapasitet for å oppnå denne hastigheten. Ved større dimensjoner (d_i) enn 90 mm og ved motfall (over 20 grader helning) skal hastigheten i rørene kontrolleres slik at kravet om selvrensning oppfylles. I avløpssone 1.5 er det på grunn av det flate terrenget ingen ledningsstrek som har over 20 grader helning eller større dimensjoner (d_i) enn 90 mm. $V_{selvrens}$ beregnes ut fra Formel 7 fra kapittel 2.2.2. *Systembeskrivelse*, og ved beregning av k -verdien er det lagt til en sikkerhetsmargin slik at $k = 0,7$.

Nødvendig pumpekapasitet for å oppnå $V_{selvrens}$ i hvert av de forskjellige rørene er funnet ut fra kontinuitetsligningen ved å multiplisere $V_{selvrens}$ med tverrsnittsarealet av røret.

Tabell 22: Selvrensningshastigheter og nødvendig pumpekapasitet for aktuelle rørdiametre

Ytre diameter (d _v)	Godstykkelse [mm]	Indre diameter (d _i)	V _{selvrens} [m/s]	Nødvendig pumpekapasitet [l/s]
50	4,6	40,8	0,44	0,58
63	5,8	51,4	0,50	1,03
75	6,8	61,4	0,54	1,61
90	8,2	73,6	0,59	2,53
110	10,0	90,0	0,66	4,18

Når en pumpekapasitet på 5 l/s er valgt for alle pumpene vil alle ledningene være selvrensende ut fra Tabell 22. Friksjonstapet i ledningene må sjekkes. Tapet skal ikke overstige 50 mvs.

6.4.1 Optimalisering av ledningsdiametre

Det er utviklet et regneark i Excel som fungerer som optimaliseringsverktøy for ledningsdimensjonen til rørene i trykkavløpssystemene. Regnearket optimaliserer med bakgrunn i at en reduksjon i ledningsdiameter vil gi lavere materialkostnader og økte energiutgifter ved pumping. Det er tatt med i beregningen at hver pumpestasjon skal pumpe spillvannet helt til OK2, og at pumpens løftehøyde ikke skal overstige 50 mvs. Energikostnadene for en periode på 40 år er neddiskontert til nåverdi (se kapittel 2.5.1. *Nåverdimetoden*).

Materialkostnadene er beregnet ut fra at et rør av plast koster 40 kr/kg. Disse kostnadene inkluderer levering, sveising, legging og tilkoplinger (Karlsen, 2013). Vekten til de aktuelle rørdimensjonene er hentet fra hallingplast sin produktkatalog for rør av materiale PE100 (Hallingplast A.S, 2009).

Energiutgiftene er beregnet på følgende måte:

$$E = \frac{\rho \times g \times Q_v \times H_{tot}}{\eta_a \times 3,6MJ}$$

Formel 11: Energiforbruk ved pumping av spillvann.

E	energiforbruket [kWh]
ρ	spillvannets tetthet [kg/m ³]
g	gravitasjonskonstant, 9,81 [m/s ²]
Q _v	vannmengde [m ³]
η _a	pumpens virkningsgrad
H _{tot}	total løftehøyde

Hvor H_{tot} er friksjonstapet i rørene (pga det flate terrenget er den fysiske høydeforskjellen mellom pumpestasjonen og slippunktet sett bort fra i beregning av H_{tot}). Q_v er

middelvannføringen ($PE \cdot Q_s$). Spillvannets tetthet er satt til 1000 kg/m^3 og det er antatt en virkningsgrad på 50 % for pumpen. I tillegg er det fastsatt en kilowattpris på 1 kr.

Det er forutsatt en pumpekapasitet på 5 l/s for alle pumpene i de forskjellige systemene.

Trykkavløpssystem sone B.1.1

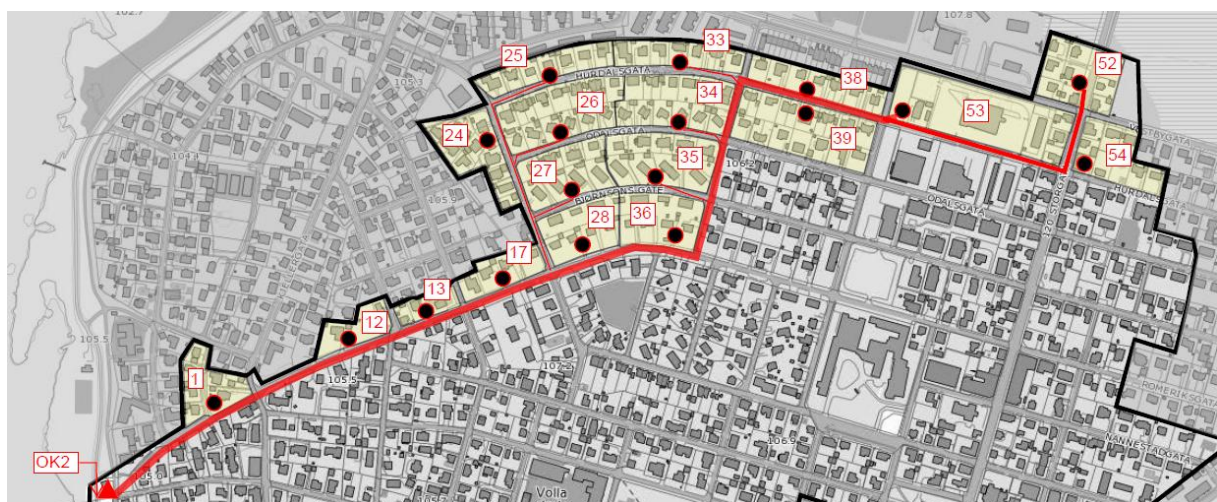
Optimalisering av ledningsdiametre for ledningsstrekningene i sone B.1.1 er presentert i Tabell 23 under. Tabellen leses sammen med Figur 35. Kvartaler som ikke er tatt med i oversikten har under 20 meter avstand fra pumpestasjon til en av ledningene som er oppført under.

Ledningsnumrene er ikke vist i Figur 35. Ledning "I" går fra kvartal nr 53 til OK2. For de ledningene som går fra en kvartalpumpe til "I" er tilkoplingspunktet der ledningene møtes i figuren.

Samlet daglig energiforbruk for pumpene i sone B.1.1 er beregnet til 23,5 kWh (Vedlegg 2).

Tabell 23: Optimalisering av ledningsdimensjoner sone B.1.1

Ledning nr	strekning	Lengde [m]	Diameter [mm]
I	53 - OK2	1200	110
II	52 - I	555	90
III	33 - I	80	75
IV	34 - I	80	75
V	35 - I	80	75
VI	25 - I	305	75
VII	26 - VI	70	63
VIII	27 - VI	60	63



Figur 35: Oversikt sone B.1.1

Trykkavløpssystem sone B.1.2

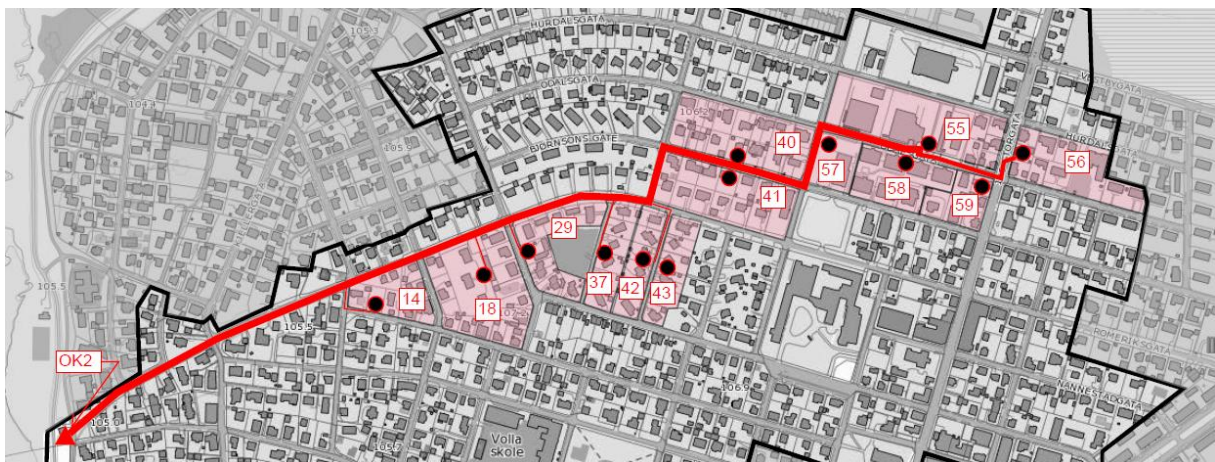
Optimalisering av ledningsdiametre for ledningsstrekke i sone B.1.2 er presentert i Tabell 24 under. Tabellen leses sammen med Figur 36. Kvartaler som ikke er tatt med i oversikten har under 20 meter avstand fra pumpestasjon til en av ledningene som er oppført under.

Ledningsnumrene er ikke vist i Figur 36. Ledning "IX" starter fra pumpen i kvartal 55 og ender i OK2. De resterende ledningene har tilkoplingspunkt til "IX" der ledningene møtes i figuren.

Samlet daglig energiforbruk for pumpene i sone B.1.2 er beregnet til 17,6 kWh (Vedlegg 2).

Tabell 24: Optimalisering av ledningsdimensjoner sone B.1.2

Ledning nr	strekning	Lengde [m]	Diameter [mm]
IX	55 - OK2	1260	110
X	56 - IX	140	90
XI	42 - IX	100	75
XII	37 - IX	70	75
XIII	29 - IX	45	75
XIV	18 - IX	55	75
XV	14 - IX	65	63



Figur 36: Oversikt sone B.1.2

Trykkavløpssystem sone B.2.1

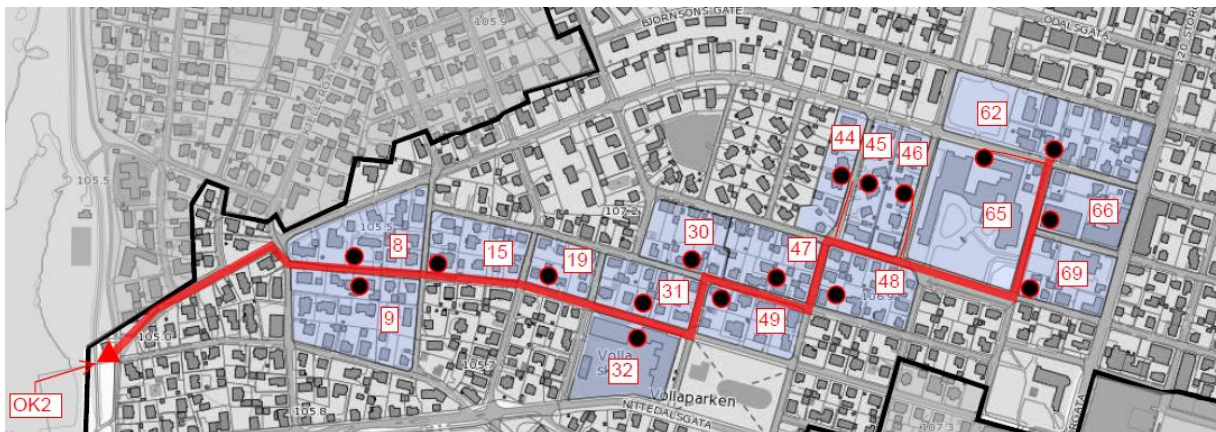
Optimalisering av ledningsdiametre for ledningsstrekke i sone B.1.2 er presentert i Tabell 25 under. Tabellen leses sammen med Figur 37. Kvartaler som ikke er tatt med i oversikten har under 20 meter avstand fra pumpestasjon til en av ledningene som er oppført under.

Ledningsnumrene er ikke vist i Figur 36. Ledning "XVI" starter fra pumpen i kvartal 62 og ender i OK2. De resterende ledningene har tilkoplingspunkt til "XVI" der ledningene møtes i figuren.

Samlet daglig energiforbruk for pumpene i sone B.1.2 er beregnet til 15,8 kWh (Vedlegg 2).

Tabell 25: Optimalisering av ledningsdimensjoner sone B.2.1

Ledning nr	strekning	Lengde [m]	Diameter [mm]
XVI	62 - OK2	1300	110
XVII	65 - XVI	70	63
XVIII	46 - XVI	70	75
XIX	44 - XVI	75	75



Figur 37: Oversikt sone B.2.1

Trykkavløpssystem sone B.2.2

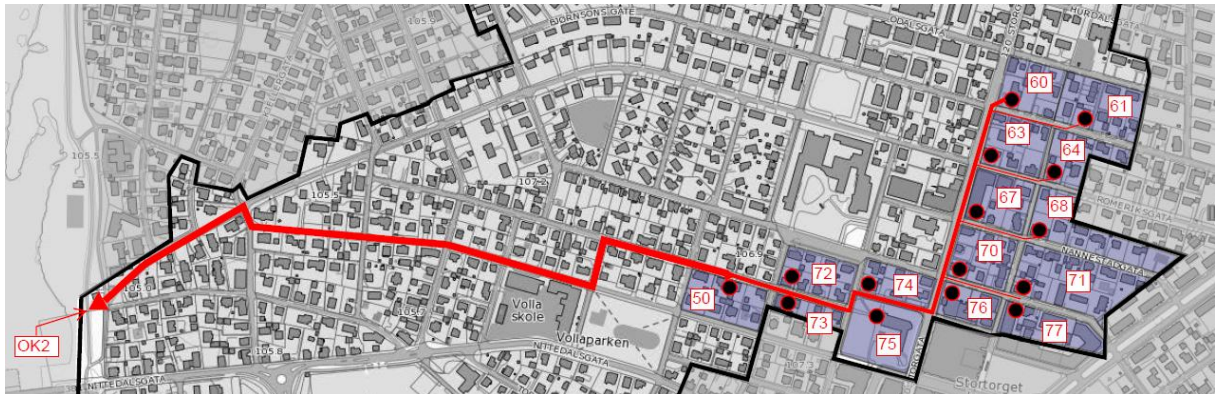
Optimalisering av ledningsdiametre for ledningsstrekke i sone B.1.2 er presentert i Tabell 26 under. Tabellen leses sammen med Figur 36. Kvartaler som ikke er tatt med i oversikten har under 20 meter avstand fra pumpestasjon til en av ledningene som er oppført under.

Ledningsnumrene er ikke vist i Figur 38. Ledning "XX" starter fra pumpen i kvartal 50 og ender i OK2. Ledning "XXI" starter fra pumpen i kvartal 60 og tilkobles ledning "XX" ved pumpen i kvartal 50. De resterende ledningene har tilkoplingspunkt til "XXI" der ledningene møtes i figuren

Samlet daglig energiforbruk for pumpene i sone B.1.2 er beregnet til 28 kWh (Vedlegg 2).

Tabell 26: Optimalisering av ledningsdimensjoner sone B.2.2

Ledning nr	strekning	Lengde [m]	Diameter [mm]
XX	50 - OK2	920	110
XXI	60 - XX	595	90
XXII	61 - XXI	100	75
XXIII	64 - XXI	100	75
XXIV	68 - XXI	100	75
XXV	71 - XXI	100	75



Figur 38: Oversikt sone B.2.2

Trykkavløpssystem sone B.3

Optimalisering av ledningsdiametre for ledningsstrekke i sone B.1.2 er presentert i Tabell 27 under. Tabellen leses sammen med Figur 39. Kvartaler som ikke er tatt med i oversikten har under 20 meter avstand fra pumpestasjon til en av ledningene som er oppført under.

Ledningsnumrene er ikke vist i Figur 39. Ledning "XXVI" starter fra pumpen i kvartal 23 og ender i OK2. De resterende ledningene har tilkoplingspunkt til "XXVI" der ledningene møtes i figuren. Ledningen "XXXIII" starter fra pumpen i kvartal 2 og ender direkte i OK2. Denne ledningen kan sees på som et eget system siden den ikke er tilknyttet noen annen ledning.

Samlet daglig energiforbruk for pumpene i sone B.1.2 er beregnet til 13,9 kWh (Vedlegg 2).

Tabell 27: Optimalisering av ledningsdimensjoner sone B.3

Ledning nr	strekning	Lengde [m]	Diameter [mm]
XXVI	23 - OK2	730	90
XXVII	51 - XXVI	130	75
XXVIII	22 - XXVI	40	75
XXIX	21 - XXVI	100	75
XXX	16 - XXVI	40	75
XXXI	11 - XXVI	135	63
XXXII	7 - XXVI	170	75
XXXIII	2 - OK2	140	75



Figur 39: Oversikt sone B.3

6.5. Kvantitativ systembeskrivelse. Trykkavløpssystem

Til slutt er det gjort en sammenstilling over hva trykkavløpssystemet er bygd opp av. Dette gjøres for å standardisere komponentene i anlegget slik at trykkavløpssystemet kan sammenlignes med det konvensjonelle anlegget i den økonomiske analysen. Oversikt over ledninger, pumpestasjoner og energiforbruk finnes i Tabell 28.

Tabell 28: Kvantitativ systembeskrivelse trykkavløpssystem, del 1.

Sone	Lengde [m] forskjellige rørdimensjoner [mm]				Antall pumpestasjoner	E _{tot} [kWh/år]
	63	75	90	110		
B.1.1	130	545	555	1200	18	8577
B.1.2	65	270	140	1260	13	6424
B.2.1	70	145		1300	17	5767
B.2.2		400	595	920	15	10220
B.3	135	620	730		14	5073
Totalt	400	1980	2020	4680	77	36062

Siden det ble valgt en løsning med å anlegge en ekstra ledning i sone B.1 og B.2, vil deler av traseene inneholde parallelle rør i samme grøft. En oversikt over grøftenes lengde og antall rør er vist i Tabell 29. Alle grøftene i trykkavløpssystem har en dybde som er mindre enn 2 meter.

Tabell 29: Kvantitativ systembeskrivelse trykkavløpssystem, del 2.

Sone	Lengde grøft [m] med antall rør		
	1 rør	2 rør	4 rør
B.1	2195	645	
B.2	1785	640	225
B.3	1485		
Totalt	5465	1285	225

7. Økonomisk analyse

Nåverdimetoden er benyttet for å sammenligne kostnadene knyttet til de to ulike avløpsanleggene som er implementert i avløpssone 1.5. Kostnadene oppstår på ulike tidspunkter for de forskjellige systemene. Ved det konvensjonelle anlegget ligger alle kostnadene ved investeringstidspunktet, mens for trykkavløpssystemet vil det løpe driftskostnader knyttet til pumpingen av spillvannet i tillegg til investeringskostnader.

Det er sett bort fra kostnader knyttet til vedlikehold av anleggene.

7.1. Grunnlag

Etter å ha prosjektert og dimensjonert de ulike anleggene er det utarbeidet en kvantitativ systembeskrivelse for hvert av anleggene som er lagt til grunn for analysen.

7.1.1. Periode

Kostnader ved avløpssystemene over en periode på 40 år frem i tid er tatt med i denne analysen. Jo lengre frem i tid en kostnad påløper, jo mindre utslag vil den ha på nåverdien. Investeringer som blir gjort mer enn 40 år etter basisåret (utgangspunktet) har liten eller ingen påvirkning på nåverdien (Lindholm, 2013).

7.1.2. Diskonteringsrente

En diskonteringsrente på 4 % er valgt i analysen på bakgrunn av dagens rentenivå, med et tillegg grunnet dagens lave renter. Styringsrenten til Norges bank er per 14.03.2013 på 1,5 % (Norges Bank, 2013).

7.1.3. Kostnadstall

COWI AS står for kostnadstallene som er benyttet i denne masteroppgaven (Karlsen, 2013).

Pumpestasjoner

Prisene for pumpestasjonene gjelder for den største kapasiteten, men grensene må sees på som diffuse. Prisen er avhengig av om det benyttes prefabrikkerte stasjoner eller plasstøpte, om pumpene er nedsenkede eller tørroppstilte. Omfanget av elektronikk og styring er også avgjørende. Kostnadstallene er inkludert anleggskostnader og strømtilførsel.

1 – 5 l/s	kr 50 000,- til kr 100 000,-
5 – 10 l/s	kr 100 000,- til kr 200 000,-
10 – 20 l/s	kr 500 000,-

Kvern pumpene utgjør ca. halvparten av de totale kostnadene knyttet til en pumpestasjon.

Grøfter

Grøfter inntil 2 meter dype graves uten avstivning, for grøfter på 2 til 3 meter benyttes grøftkasser og ved anlegging av grøfter dypere enn 3 meter benyttes spunting. Fra 3 til 4

meter benyttes glissen spunt og stålplater uten avstivning, mens spunt slått i lås og avstivet benyttes fra 4 meter dybde. Disse grensene er avhengige av grunnforholdene, men for å få en praktisk tilnærming i denne oppgaven er faste grenser satt. Spunt er avgjørende for kostnadene ved anlegging av grøft. Hver m² med spunt koster fra 2000-2500 kr, og spuntnålene som slås ned i bakken er gjerne 8-9 meter dype.

Komplette grøftepriser (per meter grøft) vil være avhengig av rørdiametrene, men styres i hovedsak av dybde, overflate, spunt, trafikkavvikling og annen infrastruktur i grunnen.

< 2 meter dybde	kr 7 000,-
2 – 3 meter dybde	kr 9 000,-
3 – 4 meter dybde	kr 25 000,-
4 meter dybde	kr 41 000,-

Rør

I trykkavløpssystemet ligger det flere rør i samme grøft. For å beregne merkostnadene ved en slik løsning er det tatt utgangspunkt i priser for grøfter, med tillegg for ekstra rør.

Prisen for de ekstra rørene er funnet ut fra antall kg rør per meter multiplisert med 40 kr. Dette inkluderer levering, sveising, legging og tilkoplinger. Vekten av aktuelle rørdimensjoner er funnet i produktkatalog hos leverandør (Hallingplast A.S, 2009)

Strømpris

Gjennomsnittlig strømpris, utenom avgifter og nettleie, for husholdninger i Norge var 29,1 øre/kWh i 2012. Nettleie i 4. kvartal 2012 var 26,4 øre/kWh og avgifter 26,3 øre/kWh (SSB, 2012). Til sammen 81,8 øre/kWh.

For denne masteroppgaven er strømprisen rundet opp, og det er benyttet 1 kr/kWh.

Tabell 30: Oppsummering kostnadstall.

Forklaring	Forkortelse	Kostnadstall [Kr]	Benevning
Pumpestasjoner			
Liten pumpestasjon [1-5 l/s]	LP	100 000	per stk
Medium pumpestasjon [5-10 l/s]	MP	200 000	per stk
Stor pumpestasjon [10-20 l/s]	SP	500 000	per stk
Liten kvernpumpe	LK	50 000	per stk
Medium kvernpumpe	MK	100 000	per stk
Stor kvernpumpe	SK	250 000	per stk
Grøfter			
Grøftedybde < 2 meter	G2	7 000	per meter grøftelengde
Grøftedybde 2-3 meter	G2-3	9 000	per meter grøftelengde
Grøftedybde 3-4 meter	G3-4	25 000	per meter grøftelengde
Grøftedybde > 4 meter	G4	41 000	per meter grøftelengde
Rørdimensjoner			
PE100 SDR11 Ø75	Ø75	59	per meter
PE100 SDR11 Ø90	Ø90	86	per meter
PE100 SDR11 Ø110	Ø110	127	per meter

7.2. Kostnader

I løpet av analyseperioden på 40 år tilløper ulike kostnader for de forskjellige systemene. For å kunne sammenligne systemene ved hjelp av nåverdimetoden må kostnadenes størrelse og tidspunkt kartlegges.

Kostnadenes størrelse er kartlagt med de kvantitative systembeskrivelsene fra hvert system som grunnlag. Energikostnader regnes som konstante for hvert år, og er ikke tatt med i oversikten i Tabell 31 og Tabell 32.

Tidspunktet for investeringene er avhengige av komponentenes estimerte levetid og anleggstid.

Anleggstiden er i stor grad avhengig av tidsbruk i forhold til grøfter og tidsbruken ved anlegging av grøfter er igjen avhengig av mange faktorer. Grøftens dybde er den klareste forskjellen mellom grøftene i denne oppgaven. Etter å ha presentert anleggene for entreprenør (Veidekke) er det valgt deres anbefalinger for fremdrift som utgangspunkt for et overslag over anleggstid (Kristensen, 2013):

- Grøfter < 2 meter dype: 12 meter grøft per dag
- Grøfter > 2 meter dype: 4 meter grøft per dag

Grøftelengdene gjelder for ferdigstilt grøft per graveteam. Flere graveteam kan jobbe på samme prosjekt, og overslagene er brukt for å differensiere anleggstiden mellom trykkavløpssystem og det konvensjonelle anlegget.

Konvensjonelt anlegg

Det konvensjonelle anlegget har en estimert levetid på 100 år, noe som gjør at kostnadene tilløper ved investeringstidspunktet. Anleggstiden er satt til 4 år for hele det konvensjonelle anlegget (Figur 40).

Tabell 31: Kostnader for konvensjonelt anlegg. Mnok = 1 million Norske kroner.

Bidrag	Type	Lengde [m]	Enhetspris [kr]	Total [Mnok]
Grøfter 2-3 m dype	G2-3	6194	9 000	55,7
Grøfter 3-4 m dype	G3-4	1958	25 000	49,0
Grøfter > 4 m dype	G4	2754	41 000	112,9
Totalt				217,6

Trykkavløpssystem

Trykkavløpssystemet har faste energikostnader beregnet til 36 000 kr per år.

Ledningssystemene og grøftene har lik levetid som for det konvensjonelle systemet.

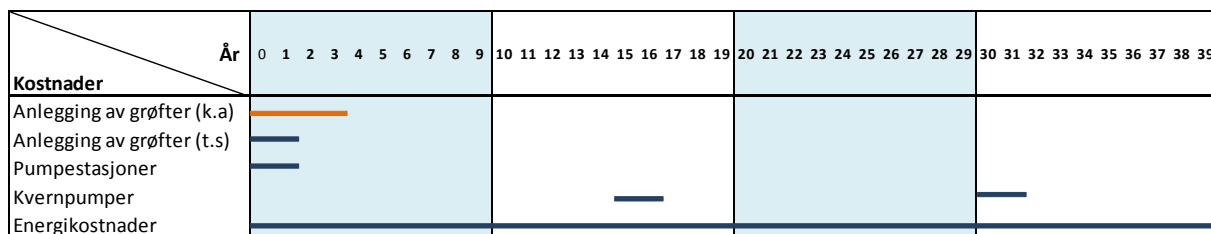
Trykkavløpssystemet har grunne grøfter som kan anlegges på kortere tid enn det konvensjonelle systemet, og anleggstiden er derfor satt til 2 år (Figur 40). Pumpestasjonene

anlegges samtidig som ledningssystemet. Kvernpumpene har en estimert levetid på 15 år (Hansen, 2013).

For bidraget "Grøfter m/2 rør" er det beregnet et tillegg for et ekstra Ø110 rør i 1285 meter grøft. For bidraget "Grøfter m/4 rør" er det beregnet tillegg for 3x225 meter Ø110 rør.

Tabell 32: Kostnader for trykkavløpssystem. Mnok = 1 million Norske kroner.

Bidrag	Type	Mengde	Enhetspris [kr]	Type	Mengde	Enhetspris [kr]	Total [Mnok]
Grøfter m/1 rør	G2	5465	7 000			0	38,3
Grøfter m/2 rør	G2	1285	7 000	Ø110	1285	127	9,2
Grøfter m/4 rør	G2	225	7 000	Ø110	675	127	1,7
Liten pumpestasjon	LP	77	100 000			0	7,7
Liten kvernpumpe	LK	77	50 000			0	3,9
Totalt							60,6



Figur 40: Investeringsstidspunkt for kostnadene tilknyttet avløpssystemene. Kostnader konvensjonelt anlegg er symbolisert med oransje søyle, trykkavløpssystem med blå søyle.

7.3 Resultater

7.3.1. NNV_{40} , sammenstilling

I Tabell 33 er kostnader knyttet til konvensjonelt anlegg og trykkavløpssystem neddiskontert til netto nåverdi over en periode på 40 år (NNV_{40}) med en diskonteringsrente på 4 %.

Tabell 33: Samlet nåverdianalyse av avløpssystemene.

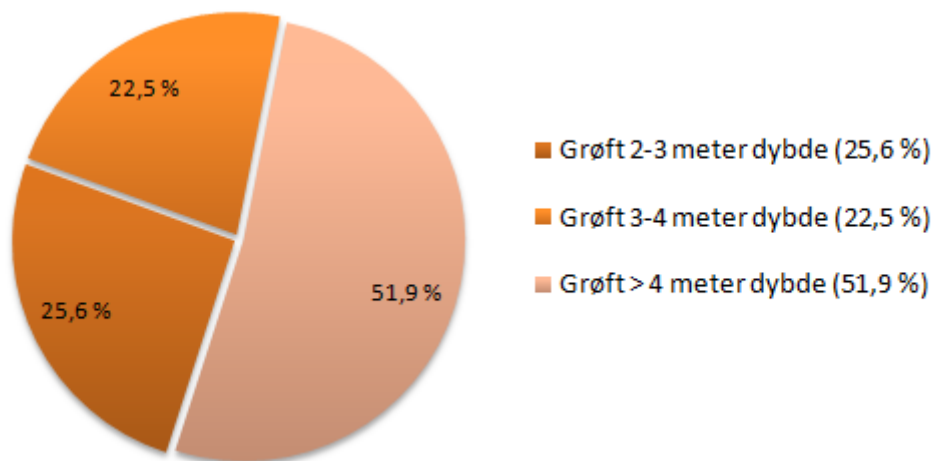
Bidrag	NNV_{40} [Mnok]	
	Konvensjonelt anlegg	Trykkavløpssystem
Anlegging av grøfter med rør	205,4	49,1
Pumpestasjoner		10,8
Energikostnader		0,7
Total NNV_{40} [Mnok]	205,4	60,7

7.3.2. Kostnadsfordeling

Kostnadene knyttet til avløpsanleggene over en periode på 40 år er neddiskontert til nåverdi. Figur 41 og Figur 42 viser den prosentvise fordelingen over hvilke deler av systemene som bidrar til kostnadene.

Konvensjonelt anlegg

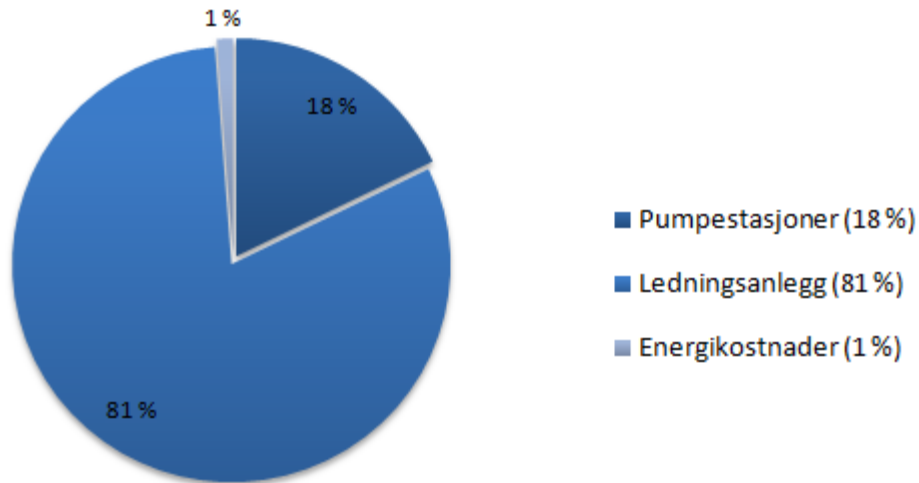
Grøfter med en dybde over 4 meter utgjør ca 50 % av kostnadene knyttet til det konvensjonelle anlegget, mens grøfter med en dybde mellom 2 og 3 meter og grøfter med dybde mellom 3 og 4 meter bidrar med ca ¼ av de totale kostnadene hver.



Figur 41: Kostnadsfordeling konvensjonelt anlegg

Trykkavløpssystem

For trykkavløpssystemet viser Figur 42 at ledningsanlegget utgjør ca 80 % av kostnadene, mens pumpestasjonene bidrar med 18 %. Energikostnadene utgjør bare 1 % av de totale kostnadene.



Figur 42: Kostnadsfordeling trykkavløpssystem

Del 4

Diskusjon og konklusjon

8 Diskusjon

8.1. Resultater

I den økonomiske sammenligningen mellom de to avløpssystemene for transport av spillvann er de totale kostnadene over en periode på 40 år omgjort til netto nåverdi (NNV₄₀). De totale kostnadene i NNV₄₀ for trykkavløpssystemet er 60,7 millioner kroner, og for det konvensjonelle anlegget er totale kostnader i NNV₄₀ 205,4 millioner kroner. Summene inkluderer kommunens kostnader knyttet til strømavgifter og installasjon av anleggene. Driftskostnader i form av vedlikehold av anleggene er utelatt i denne masteroppgaven. Resultatene er gjeldende for den prosjekteringen av avløpsanleggene som er gjort i avløpssone 1.5 i Lillestrøm sentrum i denne masteroppgaven, med de forutsetningene og begrensningene som er lagt til grunn.

Kostnadene knyttet til anleggingen av ledningssystemet er de dominerende kostnadmessige bidragene totalt for både det konvensjonelle anlegget (100 % av kostnadene) og trykkavløpssystemet (80 % av kostnadene). Videre er grøftedybden, og alt den fører med seg av grøftekasser og spunting, den viktigste faktoren for hvor store kostnadene knyttet til ledningssystemet blir. For det konvensjonelle anlegget kommer ca. 50 % av kostnadene fra grøfter som er dypere enn 4 meter.

For trykkavløpssystemet utgjør energikostnadene i forbindelse med pumping av spillvannet 1 % av de totale kostnadene. Avløpssone 1.5 har flatt terreng som resulterer i lave løftehøyder for pumpene. Trykksatte ledninger hindrer lekkasje inn på nettet. Slik er fremmedvannsmengden lik null (med unntak av lekkasjer som kommer inn på stikkledninger), og spillvannet er det eneste som pumpes i et trykkavløpssystem. De lave spillvannsmengdene og løftehøydene er de mest utslagsgivende faktorene for de lave energiomkostningene.

8.1.1. Usikkerhet

Prosjektering og dimensjonering av avløpssystemene

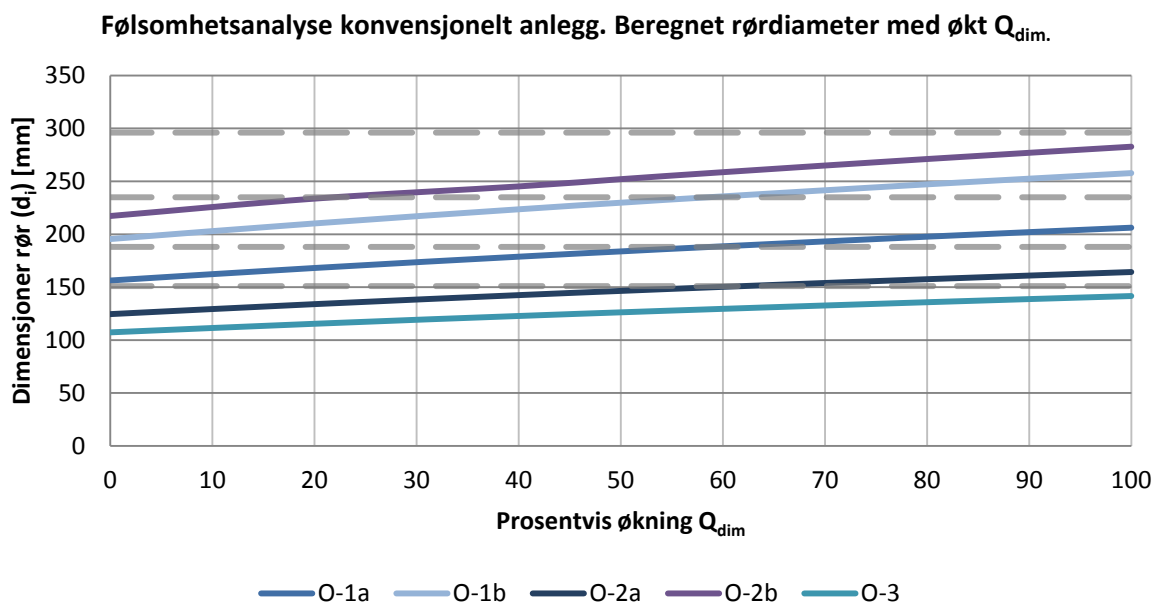
En stor del av denne masteroppgaven har gått ut på å prosjektere/dimensjonere de to avløpssystemene i avløpssone 1.5. i Lillestrøm sentrum. Den økonomiske sammenligningen er gjort på bakgrunn av de kvantitative systembeskrivelsene som er et direkte resultat av løsningene som er valgt for de forskjellige systemene. Prosjekteringene er gjort med utgangspunkt i tilgjengelig litteratur som ulike veiledere og VA-Miljøblad. Løsningene er utarbeidet etter beste skjønn med de forutsetningene og begrensningene som ble gjort underveis. Det er ingen garanti for at de løsningene som er utarbeidet i denne masteroppgaven er de optimale løsningene. Skulle andre løsninger for avløpssystemene være bedre, vil det påvirke den kvantitative systembeskrivelsen, som igjen vil være utslagsgivende for resultatet.

Dimensjoneringsgrunnlag

Spillvannsmengdene som er grunnlaget for dimensjoneringen av systemene er beregnet ut fra tilknytningen (antall PE) og spesifikk vannmengde. Dimensjonene på rørene i det konvensjonelle systemet og energikostnadene til pumpingen av spillvannet i trykkavløpssystemet er direkte avhengig av avløpsmengdene. Energifkostnadene utgjør bare 1 % av de totale kostnadene knyttet til trykkavløpssystemet og er dermed ingen avgjørende faktor for resultatene. Avløpsmengden og dimensjonene på rørene i det konvensjonelle systemet påvirker hvilket fall ledningene må legges med for å oppnå selvrensing (Tabell 1 fra *kapittel 2.1.4. Prosjektering og dimensjonering av konvensjonelt anlegg*). Tabellen viser at ved økt avløpsmengde som resulterer i økt diameter vil minimumsfallet for å oppnå selvrensing minke med 0,5 ‰ per dimensjonsøkning.

Figur 43 viser hvor stor økning i Q_{dim} som må til for å øke diameterne i det konvensjonelle anlegget. De grå stiplede linjene i figuren viser indre diameter for rørene med dimensjoner $\varnothing 160$, $\varnothing 200$, $\varnothing 250$ og $\varnothing 315$. De fem overføringsledningene i det konvensjonelle anlegget er representert med hver sin linje. I det en av linjene krysser en stiplet linje økes diameteren på rørene.

Ved ca 20 % økning i Q_{dim} øker O-2b fra $\varnothing 250$ til $\varnothing 315$. Ved 50 % økning er det ingen av de andre rørene som må dimensjoneres opp. Ingen av rørene øker med mer enn en størrelse ved 100 % øking i Q_{dim} .



Figur 43: Følsomhetsanalyse konvensjonelt anlegg. Øking av dimensjoner ved prosentvis øking av beregnet Q_{dim} . Grå stiplede linjer viser indre dimensjoner for ledninger med dimensjoner $\varnothing 160$, $\varnothing 200$, $\varnothing 250$ og $\varnothing 315$.

Nøyaktige beregninger av PE er vanskelig og tidkrevende, og det er gjort antagelser ved beregningen av PE i denne oppgaven som medfører en viss usikkerhet. Dette medfører igjen direkte usikkerheter til beregnet spillvannsmengde. 100 % økning av den beregnede dimensjonerende spillvannsmengden resulterer i økte dimensjoner for de fleste

overføringsledningene (med én størrelse), noe som har et utslag på 0,5 ‰ mindre fall ved anlegging av ledningene. 0,5 ‰ utgjør 0,5 meter dybde over en lengde på 1000 meter. 0,5 meter forskjell i dybde over 1000 meter utgjør liten forskjell på resultatene og konsekvensene av usikkerheten ved beregningen av PE regnes derfor som ikke betydelige for resultatene i denne oppgaven.

Driftskostnader knyttet til vedlikehold

Driftskostnadene knyttet til vedlikehold av avløpsanleggene er utelatt i denne masteroppgaven. Det er ikke funnet noe litteratur på området, slik at det er vanskelig å kommentere hvordan driftskostnadene vil fordele seg på de ulike anleggene.

Avgrensninger i oppgavebeskrivelsen

Alt spillvannet fra avløpssone 1.5 skal føres til den interkommunale ledningen i punktet OK2. Dette var oppgaven de to avløpssystemene skulle prosjekteres for å utføre. Ved isolert sett å finne en løsning for avløpssone 1.5 ble masteroppgaven konkretisert og avløpssystemene kunne sammenlignes med de samme premisene lagt til grunn. Avløpssone 1.5 er en del av Lillestrøm sentrum og i en reell situasjon vil det være naturlig å se sonen i sammenheng med områdene rundt. Følgene av denne begrensningen er at de valgte løsningene for avløpssystemene ikke nødvendigvis er de samme som ville blitt valgt i en reell situasjon. For eksempel kan det være en bedre løsning å overføre deler av avløpssone 1.5 til andre avløpssoner med ledig kapasitet. Ettersom denne begrensningen har konsekvenser for begge avløpssystemene er det vanskelig å anslå hvordan sammenligningen mellom de to avløpssystemene i denne masteroppgaven påvirkes.

Etter OK2 ledes spillvannet gjennom den interkommunale hovedledningen som ligger langs Nitelva. Fra OK2 til pumpestasjonen (PA1) går vannet med selvfall. PA1 pumper spillvannet opp til renseanlegget (NRA). Hvor stor spillvannsmengde som tilføres den interkommunale hovedledningen, og konsekvensene av dette er ikke utredet. Som en følge av innlekking vil den totale spillvannsmengden fra det konvensjonelle anlegget være større enn den totale spillvannsmengden fra trykkavløpssystemet. Videre vil pumpekostnadene i PA1 bli større for det konvensjonelle anlegget. Det er antatt at disse summene er så lave at det ikke har noen innvirkning på resultatet.



Figur 44: Utdrag fra Figur 18 i kapittel 3.2. Lillestrøm og avløpssone 1.5. Etter OK2 går spillvannet med selvfall til PA1 for så å bli pumpet opp til renseanlegget (NRA).

Det konvensjonelle anlegget skal utformes som et selvfallssystem med utgangspunkt i eksisterende anlegg. Denne forutsetningen ble gjort for å forenkle oppgaven med utformingen av det konvensjonelle anlegget. I en reell situasjon vil ikke slike forutsetninger bli satt, fordi det utelukker muligheten til å utrede flere alternative løsninger. Det eksisterende avløpssystemet i avløpssone 1.5 er et fellesavløpssystem som transporterer avløpsvannet ved selvfall. Ved å separere avløpet vil dimensjonene for de spillvannsførende ledningene reduseres i forhold til eksisterende anlegg. For å oppnå selvrensing må de spillvannsførende ledningene derfor legges med større fall enn de eksisterende avløpsledningene, noe som igjen fører til dypere og dyrere grøfter. Konvensjonelle løsninger med pumping av spillvann eller frostsikring av ledninger for å redusere grøftedybden kan være bedre løsninger enn den som er valgt, men er ikke utredet i denne masteroppgaven.

8.2. Samfunnsøkonomisk aspekt

I en reell situasjon vil løsninger for overvann og vannforsyning inkluderes i planleggingen for å få en optimal samfunnsmessig løsning. For den konvensjonelle løsningen i denne oppgaven vil overvannsledninger legges i samme grøft som spillvannet. Merkostnaden i dette tilfellet ville blitt ledningskostnadene og grøfteutvidelse med ekstra fundament og utfylling. Som eksempel vil et $\varnothing 300$ mm (antatt midlere dimensjon for alle traseer i oppgaven) overvannsrør komplett i felles grøft gi en ekstra kostnad på ca. 1000 kr. per meter grøft. For trykkavløpssystemet vil en naturlig overvannsløsning være å omgjøre de eksisterende fellesavløpsledningene til overvann med no-dig teknikk, enten ved strømpføring eller ved utblokking (hvis det er behov for å øke kapasiteten). Disse metodene er mer kostbare enn løsningen for konvensjonell metode. En kostnad på ca. 4000 kr. per meter kan antas. Følgelig vil den økonomiske gevinsten for trykkavløpssystemet reduseres, når den samlede samfunnsmessige avløpsløsningen betraktes. I denne oppgaven er det ca. 11 000 meter med ledningstraseer, og den økonomiske gevinsten for trykkavløpssystem vil reduseres med $(4000-1000) \cdot 11\ 000 = 33$ Mnok.

En tilsvarende gevinst kan oppnås hvis vannledningene trekkes inn i regnestykket. For den konvensjonelle metoden kan det beregnes en marginalkostnad på samme måte som for overvannsledningene. For trykkavløpssystemet vil en naturlig løsning være en no-dig løsning med utblokking eller U-liner. No-dig løsningen vil være noe dyrere enn marginalkostnaden ved å benytte en allerede opparbeidet grøft. Siden vannledningene er mindre i dimensjon enn overvannsledningene, blir ikke kostnadsdifferansen så stor som for overvannet. Det antas kr. 1500,- per meter i differanse og 16,5 Mnok for 11 000 meter med ledningstrase (Karlsen, 2013).

Overslaget med overvann- og vannledninger reduserer den kostnadsmessige fordelene ved trykkavløpssystem med ca. 50 millioner kroner i følge dette overslaget. Totalt ender det konvensjonelle anlegget med en kostnad på ca 230 Mnok. Trykkavløpssystemet ender på ca 130Mnok totalt. Fra et samfunnsmessig aspekt er det knyttet ca. 40 % mindre kostnader til trykkavløpssystemet enn til det konvensjonelle anlegget i avløpssone 1.5 i Lillestrøm.

8.3. Trykkavløpssystem i urban sammenheng

Prosjekteringen av trykkavløpssystemet i avløpssone 1.5 har vist seg å være mer omfattende og krevende enn prosjekteringen av det konvensjonelle anlegget i den samme sonen. Kriteriet for prosjekteringen av det konvensjonelle systemet var at det skulle være et selvføllsystem, noe som forenklet prosjekteringsarbeidet. Teorien bak trykkavløpssystem er mer "upløyd mark" og det er ikke funnet litteratur om urbane trykkavløpssystem med kvernpumper. Forenklingen med det konvensjonelle systemet og utfordringene i forhold til bakgrunnsstoff for trykkavløpssystemet kan være en grunn til at vanskelighetsgraden for prosjekteringen av de to anleggene ble oppfattet forskjellig.

8.3.1. Pumpløsninger

Løsningen med kvartalpumper ble på et tidlig stadium av prosjekteringen vurdert opp mot en "hyttemodell" med lavere pumpekapasitet og en til to husstander per pumpestasjon. For trykkavløpssystem i private hyttefelt er dette en vanlig løsning (derav "hyttemodell"). Viktige faktorer som eierforhold, kapasitet og investeringskostnad knyttet til pumpestasjonene var avgjørende for at valget falt på en løsning med kvartalpumper.

En forutsetning for at trykkavløpssystem skal kunne implementeres i urbane områder er vurdert til å være at kommunene eier og drifter pumpestasjonene. Det er sett på som urealistisk å pålegge huseiere merarbeid i forhold til installasjon og drift av avløpsanlegget i boligen. For en kommune vil det være det være færre driftspunkt for løsningen med kvartalpumper, enn for en hyttemodell. Utfordringer med en løsning der flere husstander er tilkoblet en felles pumpestasjon vil være skyldfordelingsproblemet ved pumpestopp som en følge av fremmedlegemer⁹ i avløpet.

⁹ Fremmedlegemer i avløpet er for eksempel bind, tamponger, Q-tips, våtservietter og lignende.

Den totale avløpsmengden er en av faktorene som var avgjørende for valgt pumpekapasitet for kvernpumpene. Avløpsmengden for avløpssone 1.5 er den samme selv om en løsning med flere pumper hadde blitt valgt. Ved å velge "hyttemodellen" ville det ha vært nødvendig å installere 4-6 ganger så mange pumpestasjoner med en tilnærmet lik kostnad per pumpestasjon som for løsningen med kvartalpumper (pumpestasjonene for "hyttemodellen" ville hatt reduserte kostnader som en følge av at det ikke ville vært nødvendig å bygge utjevningvolum for denne løsningen).

8.3.2. Deling av sone B.1 og B.2

Avløpssone 1.5 ble først delt inn i tre soner (B.1, B.2 og B.3). Den samlede driftstiden til pumpene i sone B.1 og B.2 ble beregnet til over 24 timer slik at pumpene ikke hadde tilstrekkelig kapasitet til å frakte bort den daglige avløpsmengden.

Det ble valgt en løsning med å dele sonene ved å legge en ekstra ledning. Før denne løsningen ble valgt ble muligheten for en løsning med økt pumpekapasitet undersøkt. Når pumpekapasiteten ble økt slik at den totale driftstiden ble under 24 timer steg friksjonstapet til over 50 mvs for de mest ugunstigste pumpene. Denne løsningen ble derfor forkastet.

8.3.3. Fordeler og ulemper

Når fordeler og ulemper for trykkavløpssystem blir vurdert er det i denne oppgaven sammenlignet med et konvensjonelt selvfallssystem. Erfaringer fra oppgaven og litteratur som er studert i forbindelse med oppgaven ligger til grunn for betraktningene.

Fordeler

Den mest umiddelbare fordelen med trykkavløpssystem er den *reduserte grøftedybden*. Grunne grøfter er kostnadsbesparende både ved installering av anlegget og ved vedlikehold som krever oppgraving.

Økonomisk fordelaktig. Først og fremst på grunn av reduserte kostnader til grøfter, men lave energikostnader bidrar også til at det totale regnestykket kommer gunstig ut økonomisk.

Ledningene følger terrenget og topografien er avgjørende for ledningstraseene. Dette gjør trykkavløpssystemet til en *gunstig løsning ved vanskelige grunnforhold, eller områder med lite tilgjengelig fall i terrenget* slik som i denne oppgaven.

Reduserte rørdiametre uten risiko for tilstopping som en følge av kvernpumpe i pumpestasjonene.

Redusert forurensningsutslipp. Trykkavløpets sveiste PE 100 eller PE 80 rør vil gi tette rør som hindrer lekkasje og infiltrasjon av avløpsvann i grunnen.

Ulemper

Kunnskapskrevende å planlegge i forhold til et gravitasjonssystem som er mer "rett frem" når det kommer til prosjekteringen.

Systemet består av *flere komponenter* hvor det er muligheter for feil (flere driftspunkt). Dette krever *utvidet driftsinnsats* fra kommunen.

Avhengig av stabil elektrisitetsforsyning for å unngå ufrivillig pumpestopp.

Luktproblemer. Ved oppholdstid over 8 timer kan gassdannelse i systemet bli et problem.

9 Konklusjon

Sammenlignet med et konvensjonelt selvføllssystem vil et trykkavløpssystem kunne være meget økonomisk gunstig i urbane områder med flatt terreng.

For avløpssone 1.5 i Lillestrøm vil implementering av et trykkavløpssystem kunne gi en samfunnsmessig besparelse på ca. 40 % sammenlignet med et gravitasjonssystem.

Trykkavløpssystem med kvernpumper burde ut fra et økonomisk aspekt vurderes som et alternativ ved sanering av gamle anlegg eller ved bygging av nye anlegg i urbane områder med flatt terreng.

10. Forslag til videre arbeid

Den økonomiske analysen har i denne masteroppgaven vært viktig for resultatene og sammenligningen mellom trykkavløpssystemet og det konvensjonelle gravitasjonssystemet. Ved å kartlegge flere av kostnadene knyttet til systemene kunne usikkerheten knyttet til resultatene blitt redusert. Eksempler på områder som kan undersøkes:

- Ressursbruk knyttet til vedlikehold og drift av avløpsanleggene.
- Kostnader knyttet til oppsamlingen av spillvannet. Vakuumentransport.
- Gjøre grundigere undersøkelser for kostnader knyttet til overvann og vannledninger.

Videre kan det være interessant å gjøre en lignende type oppgave som denne, bare for en annen avløpssone. Det ville vært interessant å sammenligne resultater fra denne oppgaven med liknende prosjekt.

Andre aspekter enn økonomi kan også undersøkes. For eksempel kan trykkavløpssystemet sammenlignes med andre løsninger ved hjelp av en bærekraftighetsanalyse eller LCA¹⁰. Med det økte klimafokuset vi opplever nå vil dette være en interessant vinkling å se nærmere på.

¹⁰ LCA – Life-cycle assessment.

Litteraturliste:

- ANDERSEN, A. 2005. *Enda romsligere for dem som bodde romslig fra før* [Online]. <http://www.ssb.no/ssp/utg/200504/10/>: SSB.
- BOWNE, W. C., NARET, R. C. & OTIS, R. J. 1991. Manual Alternative Wastewater Collection Systems. *In*: AGENCY, U. S. E. P. (ed.).
- FAD (FORNYINGS- AMINISTRASJONS OG KIRKEDEPARTEMENTET) 2006. Forskrift om offentlige anskaffelser. *In*: LOVDATA (ed.). <http://www.lovdatab.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20060407-0402.html>.
- FINANSDEPARTEMENTET. 1997. *Nåverdimetoden. NOU 1997:27 Nytte-kostnadsanalyser*. [Online]. <http://www.regjeringen.no/nb/dep/fin/dok/nouer/1997/nou-1997-27/3/6.html?id=347210>.
- FJELDBERG, F. P. 2007. Trykkavløp. Dimensjonering og utforming. *VA-Miljøblad Nr. 66*.
- HALLINGPLAST A.S 2009. PE 100 RØR vann/avløp.
- HANSEN, A. 2013. *RE: Personlig meddelelse*
- HARR, C., JOHANSEN, O., ØDEGAARD, H., GRINI, O. M. & FARESTVEIT, T. Retningslinjer for dimensjonering av avløpsrensaneanlegg (TA-525). *In*: (SFT), S. F. (ed.).
- HJELLNES CONSULT AS 2010. Skedsmo kommune. Hoveplan Avløp 2011-2014. *In*: KOMMUNE, S. (ed.).
- HOLAND, H. 2013. *RE: Personlig meddelelse*
- HOLMSTRAND, O. & LINDVALL, P. 1979. Infiltrera dagvatten.
- INTERCONSULT AS 1997a. Grøfteutførelse fleksible rør. *VA-Miljøblad Nr. 5*.
- INTERCONSULT AS 1997b. Grøfteutførelse stive rør. *VA-Miljøblad Nr. 6*.
- ITT FLYGT Flygt centrifugal grinder pumps.
- KARLSEN, T. A. 2002. Technical Catalogue for Submarine Installations of Polyethylene Pipes. *In*: AS, P. N. (ed.).
- KARLSEN, T. A. 2013. *RE: Personlig meddelelse*.
- KRISTENSEN, T. 2013. *RE: Personlig meddelelse*
- LEIRO, T. 2010. Revisjon av kommuneplan. Forslag til kommuneplanens arealdel 2011-2022. *In*: KOMMUNE, S. (ed.). Skedsmo kommune.
- LEIRO, T. 2011. Samfunnsdelen Kommuneplan 2011-2022.

LINDHOLM, O. 2007. Dimensjonering av avløpsledninger. Selvrensing. *VA-Miljøblad Nr. 79*.

LINDHOLM, O. 2013. *RE: Personlig meddelelse*.

LINDHOLM, O., BJERKHOLT, J. T. & LIEN, O. 2012a. Fremmedvann i nordiske avløpsledningsnett. *VANN*, 01-2012, 39-48.

LINDHOLM, O., ENDRESEN, S., SMITH, B. T. & THOROLFSSON, S. 2012b. Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem. *Norsk Vann Rapport*. Hamar: Norsk Vann BA.

NORDISKE PLASTRØRGRUPPEN NORGE 2011. Rørhåndboka.

NORGES BANK. 2013. *Endringer i styringsrenten* [Online]. <http://www.norges-bank.no/no/prisstabilitet/rentemoter/styringsrenten/oversikt-endringer-i-styringsrenten/>.

NORSK RØRSENTER AS 2007. Kravspesifikasjon for rør av PE materiale. *VA-Miljøblad Nr. 11*.

NORSK STANDARD 1997. Utvendige trykkavløpssystemer. *NS-EN 1671*. Standard Norge.

NORSK STANDARD 2006. Bestemmelse av personekvivalenter (pe) i forbindelse med utslippstillatelse for avløpsvann. *NS 9426*. Standard Norge.

OPHEIMSBAKKEN, O. I. 2013. *RE: Personlig meddelelse*.

OPPLANDSKE RØRSYSTEMER AS 2011. VVSforum. <http://www.vvsforum.no/artikkel/3891.html>.

RIF 2010. State of the Nation.

SKANDINAVISK KOMMUNALTEKNIKK AS LPS trykkavløpssystem.

SKANDINAVISK KOMMUNALTEKNIKK AS 2012. Frostbeskyttelse av VA-ledninger. <http://www.kommunalteknik.se/dok/frostskydd-NO.pdf>.

SKEDSMO KOMMUNE 2012. Retningslinjer for vann- og avløpsanlegg i Lørenskog, Rælingen og Skedsmo kommuner.

SKEDSMO KOMMUNE. 2013. *Reguleringsplankart*. <http://kartportal.skedsmo.kommune.no/kartwebapp/Reguleringsplan.html>.

SSB. 2011. *KOSTRA: Kommunalt avløp, 2011* [Online]. http://www.ssb.no/emner/01/04/20/var_kostr/.

SSB. 2012. *Elektrisitetspriser, 4.kvartal 2012* [Online].

SSB. 2013a. *Befolkningsstatistikk Skedsmo kommune* [Online]. <http://www.ssb.no/emner/02/02/folkendrhist/tabeller/tab/0231.html>.

SSB. 2013b. *Folke- og boligtellingsen. Boliger, 19. november 2011* [Online].

<http://www.ssb.no/befolkning/statistikker/fobbolig>.

STANGELAND MASKIN. 2013. *Grøft med spunting og avstivning i topp* [Online].

<http://www.tsmaskin.no/event/dolink/famid/175524>.

STATENS VEGVESEN 2009. *Geoteknikk i vegbygging*, [Oslo], Vegdirektoratet.

STATENS VEGVESEN 2011. *Vegbygging*, [Oslo], Vegdirektoratet.

SULZER 2012. Info trykkavløp.

SVENSKT VATTEN 2004. Veiledning ved dimensionering av allmänna avloppsledningar.

VRÅLE, L. & DUPONT, R. A. 2012. Spesifikt vannforbruk i Sydsbogen - Røyken 1981 og 2010. *VANN*, 02-2012, 170-181.

ØDEGAARD, H. (ed.) 2012. *Vann- og avløpsteknikk*, Hamar: Norsk Vann.

ØDEGAARD, H., PAULSRUD, B., STORHAUG, R., RUSTEN, B. & LIEN, O. 2009. Veiledning for dimensjonering av avløpsrensaneanlegg. *Norsk Vann rapport* Hamar: Norsk Vann BA.

ØDEGÅRD, J., PERSSON, M. & BAADE-MATHIESEN, T. 2013. Investeringsbehov i vann- og avløpssektoren. *Norsk Vann rapport* Hamar: Norsk Vann BA.

Vedlegg

Vedlegg 1: Kontaktpersoner

- Tittel og firma for personer som har bidratt til oppgaven med personlige meddelelser.

Vedlegg 2: Systembeskrivelse trykkavløpssystem

- 5 tabeller med systembeskrivelse. 1 for hver avløpssone.

Vedlegg 3: Prosjekteringsverktøy for trykkavløpssystem

- 1 tabell per rørdiameter fra 50- 110 mm. Totalt 5 tabeller.

Vedlegg 1: Kontaktpersoner

Personer som har bidratt til masteroppgaven gjennom personlige meddelelser.

Etternavn	Fornavn	Stilling	Firma
Hansen	Anfinn	Serviceleder	Xylemwatersolutions
Holand	Henning	Trainee/Formann	Veidekke
Kristensen	Tore	Prosjektleder	Veidekke
Karlsen	Tom Arild	Sivil ingeniør	COWI AS
Lindholm	Oddvar	Professor	UMB
Opheimsbakken	Odd Ivar	Overingeniør	Skedsmo kommune

Vedlegg 2: Systembeskrivelse trykkavløpssystem

Kvartaler og pumpestasjoner for trykkavløpssystem sone B.1.1. (For tall under kolonnene "Transportavstander [m] for de forskjellige ledningsdiametere [mm]" er tall markert med rødt de faktiske ledningene som er installert i sonen).

Sone	Pumpe		Hus	PE (Hus/tot hus)	PE (sentrum)	k _{maks}	Q _{maks} [l/s]	Q _{mid} [m ³ /d]	Pumpeløsning			Avstand til OK2 [m]	Transportavstander [m] for de forskjellige ledningsdiametere [mm]					h _f [mvs]	Energiforbruk				
	Type	Kapasitet [l/s]							Driftstid [min/da]	50	63		75	90	110	Q _v [m ³ /da]	H _{tot} (h)		E _{tot} [kWh/da]				
B.1.1	S 1	6	29		6,89	0,6	10	S	5,0	33	165					165	2,3	5	2	0,1			
B.1.1	S 12	3	14		9,33	0,4	5	S	5,0	17	330					330	4,5	3	5	0,1			
B.1.1	S 13	3	14		9,33	0,4	5	S	5,0	17	450					450	6,2	3	6	0,1			
B.1.1	S 17	4	19		8,21	0,5	7	S	5,0	22	550					550	7,6	3	8	0,1			
B.1.1	S 24	12	57		5,16	0,9	20	S	5,0	67	295			165		130	19,4	10	19	1,1			
B.1.1	S 25	7	33		6,45	0,7	12	S	5,0	39	920			305		615	40,9	6	41	1,3			
B.1.1	S 26	17	81		4,50	1,2	28	S	5,0	95	830		70	155		605	44,2	14	44	3,4			
B.1.1	S 27	9	43		5,81	0,8	15	S	5,0	50	750		60	70		620	32,6	8	33	1,3			
B.1.1	S 28	6	29		6,89	0,6	10	S	5,0	33	650					650	8,9	5	9	0,2			
B.1.1	S 33	8	38		6,10	0,7	13	S	5,0	45	1105			80		1025	22,6	7	23	0,8			
B.1.1	S 34	16	76		4,61	1,1	27	S	5,0	89	1005			80		925	21,2	13	21	1,5			
B.1.1	S 35	9	43		5,81	0,8	15	S	5,0	50	950			80		870	20,5	8	20	0,8			
B.1.1	S 36	6	29		6,89	0,6	10	S	5,0	33	775					775	10,6	5	11	0,3			
B.1.1	S 38	9	43		5,81	0,8	15	S	5,0	50	1100					1100	15,1	8	15	0,6			
B.1.1	S 39	18	86		4,40	1,2	30	S	5,0	100	1100					1100	15,1	15	15	1,2			
B.1.1	S 52	9	43		5,81	0,8	15	S	5,0	50	1755				555	1200	38,8	8	39	1,6			
B.1.1	S 53	0	0	486	2,43	3,6	126	S	5,0	421	1200					1200	16,5	63	16	5,7			
B.1.1	S 54	2	10	158	3,43	1,7	44	S	5,0	148	1445				245	1200	26,3	22	26	3,2			
Totalt			144	687	644			408			1361					400	1980	2020	4680	353	204	353	23,5

Kvartaler og pumpestasjoner for trykkavløpssystem sone B.1.2. (For tall under kolonnene "Transportavstander [m] for de forskjellige ledningsdiametere [mm]" er tall markert med rødt de faktiske ledningene som er installert i sonen).

Sone	Pumpe	Kvartal	Hus	PE (Hus/tot hus)	PE (sentrum)	k _{maks}	Q _{maks} [l/s]	Q _{mid} [m ³ /d]	Pumpeløsning			Avstand til OK2 [m]	Transportavstander [m] for de forskjellige ledningsdiametere [mm]					h _f [mvs]	Energiforbruk		
									Type	Kapasitet [l/s]	Driftstid [min/da]		50	63	75	90	110		Q _v [m ³ /da]	H _{tot} (h _f)	E _{tot} [kWh/da]
B.1.2	S 14		7	33		6,45	0,7	12	S	5,0	39	470		65			405	23,6	6	24	0,8
B.1.2	S 18		17	81		4,50	1,2	28	S	5,0	95	675			55		620	14,4	14	14	1,1
B.1.2	S 29		11	52		5,35	0,9	18	S	5,0	61	655			45		610	13,2	9	13	0,7
B.1.2	S 37		6	29		6,89	0,6	10	S	5,0	33	820			70		750	17,8	5	18	0,5
B.1.2	S 40		16	76		4,61	1,1	27	S	5,0	89	960					960	13,2	13	13	1,0
B.1.2	S 41		13	62		5,00	1,0	22	S	5,0	72	960					960	13,2	11	13	0,8
B.1.2	S 42		6	29		6,89	0,6	10	S	5,0	33	910			100		810	21,8	5	22	0,6
B.1.2	S 43		6	29		6,89	0,6	10	S	5,0	33	910			100		810	21,8	5	22	0,6
B.1.2	S 55		0	0	423	2,53	3,2	110	S	5,0	367	1260					1260	17,3	55	17	5,2
B.1.2	S 56		3	14	158	3,40	1,8	46	S	5,0	154	1400				140	1260	22,9	23	23	2,9
B.1.2	S 57			0	108	4,03	1,3	28	S	5,0	94	1120					1120	15,4	14	15	1,2
B.1.2	S 58		7	33		6,45	0,7	12	S	5,0	39	1240					1240	17,0	6	17	0,5
B.1.2	S 59			0	128	3,78	1,5	33	S	5,0	111	1340				100	1240	21,1	17	21	1,9
Totalt			92	439	817			366			1221			400	1980	2020	4680	232	183	232	17,6

Kvartaler og pumpestasjoner for trykkavløpssystem sone B.2.1. (For tall under kolonnene "Transportavstander [m] for de forskjellige ledningsdiameterne [mm]" er tall markert med rødt de faktiske ledningene som er installert i sonen).

Sone	Pumpe	Kvartal	Hus	PE (Hus/tot hus)	PE (sentrum)	k _{maks}	Q _{maks} [l/s]	Q _{mid} [m ³ /d]	Pumpeløsning			Avstand til OK2 [m]	Transportavstander [m] for de forskjellige ledningsdiameterne [mm]					h _f [mvs]	Energiforbruk				
									Type	Kapasitet [l/s]	Driftstid [min/da]		50	63	75	90	110		Q _v [m ³ /dag]	H _{tot} (h _t)	E _{tot} [kWh/da]		
B.2.1	S 44		6	29		6,89	0,6	10	S	5,0	33	1015			75		940	20,9	5	21	0,6		
B.2.1	S 8		9	43		5,81	0,8	15	S	5,0	50	300					300	4,1	8	4	0,2		
B.2.1	S 9		19	91		4,31	1,3	32	S	5,0	106	300					300	4,1	16	4	0,4		
B.2.1	S 15		9	43		5,81	0,8	15	S	5,0	50	400					400	5,5	8	5	0,2		
B.2.1	S 19		6	29		6,89	0,6	10	S	5,0	33	550					550	7,6	5	8	0,2		
B.2.1	S 30		10	48		5,56	0,8	17	S	5,0	56	750					750	10,3	8	10	0,5		
B.2.1	S 31		11	52		5,35	0,9	18	S	5,0	61	630					630	8,7	9	9	0,4		
B.2.1	S 32		1	5		15,42	0,2	2	S	5,0	6	630					630	8,7	1	9	0,0		
B.2.1	S 45		6	29		6,89	0,6	10	S	5,0	33	1015			75		940	20,9	5	21	0,6		
B.2.1	S 46		6	29		6,89	0,6	10	S	5,0	33	1100			70		1030	21,6	5	22	0,6		
B.2.1	S 47		14	67		4,85	1,0	23	S	5,0	78	830					830	11,4	12	11	0,7		
B.2.1	S 48		11	52		5,35	0,9	18	S	5,0	61	865					865	11,9	9	12	0,6		
B.2.1	S 49		8	38		6,10	0,7	13	S	5,0	45	750					750	10,3	7	10	0,4		
B.2.1	S 62			0	453	2,48	3,4	118	S	5,0	393	1300					1300	17,9	59	18	5,7		
B.2.1	S 65		1	5		15,42	0,2	2	S	5,0	6	1370			70		1300	37,2	1	37	0,2		
B.2.1	S 66			0	197	3,24	1,9	51	S	5,0	171	1230					1230	16,9	26	17	2,4		
B.2.1	S 69			0	194	3,26	1,9	50	S	5,0	168	1150					1150	15,8	25	16	2,2		
Totalt			117	558	844			415			1384					400	1980	2020	4680	234	208	234	15,8

Kvartaler og pumpestasjoner for trykkavløpssystem sone B.2.2. (For tall under kolonnene "Transportavstander [m] for de forskjellige ledningsdiametere [mm]" er tall markert med rødt de faktiske ledningene som er installert i sonen).

Sone	Pumpe	Kvartal	Hus	PE (Hus/tot hus)	PE (sentrum)	k _{maks}	Q _{maks} [l/s]	Q _{mid} [m3/d]	Pumpeløsning			Avstand til OK2 [m]	Transportavstander [m] for de forskjellige ledningsdiametere [mm]					h _f [mvs]	Energiforbruk			
									Type	Kapasitet [l/s]	Driftstid [min/da]		50	63	75	90	110		Q _v [m3/da]	H _{tot} (h _t)	E _{tot} [kWh/da]	
B.2.2	S 50		8	38		6,10	0,7	13	S	5,0	45	920				920	12,6	7	13	0,5		
B.2.2	S 60			0	158	3,51	1,7	41	S	5,0	137	1515				595	920	36,6	21	37	4,1	
B.2.2	S 61	8		38		6,10	0,7	13	S	5,0	45	1615			100	595	920	47,3	7	47	1,7	
B.2.2	S 63			0	158	3,51	1,7	41	S	5,0	137	1400				480	920	32,0	21	32	3,6	
B.2.2	S 64	6		29		6,89	0,6	10	S	5,0	33	1500			100	480	920	42,6	5	43	1,2	
B.2.2	S 67			0	158	3,51	1,7	41	S	5,0	137	1330				410	920	29,2	21	29	3,3	
B.2.2	S 68	8		38		6,10	0,7	13	S	5,0	45	1430			100	410	920	39,8	7	40	1,5	
B.2.2	S 70			0	158	3,51	1,7	41	S	5,0	137	1245				325	920	25,7	21	26	2,9	
B.2.2	S 71	13		62		5,00	1,0	22	S	5,0	72	1345			100	325	920	36,4	11	36	2,2	
B.2.2	S 72			0	151	3,56	1,6	39	S	5,0	131	1000				80	920	15,9	20	16	1,7	
B.2.2	S 73			0	69	4,79	1,0	18	S	5,0	60	1000				80	920	15,9	9	16	0,8	
B.2.2	S 74			0	128	3,78	1,5	33	S	5,0	111	1120				200	920	20,7	17	21	1,9	
B.2.2	S 75	1		5		15,42	0,2	2	S	5,0	6	1120				200	920	20,7	1	21	0,1	
B.2.2	S 76			0	98	4,18	1,2	25	S	5,0	85	1245				325	920	25,7	13	26	1,8	
B.2.2	S 77	6		29		6,89	0,6	10	S	5,0	33	1345			100	325	920	36,4	5	36	1,0	
Totalt			50	239	1078			364			1213				400	1980	2020	4680	437	182	437	28,0

Kvartaler og pumpestasjoner for trykkavløpssystem sone B.3. (For tall under kolonnene "Transportavstander [m] for de forskjellige ledningsdiameterne [mm]" er tall markert med rødt de faktiske ledningene som er installert i sonen).

Sone	Pumpe	Kvartal	Hus	PE (Hus/tot hus)	PE (sentrum)	k _{maks}	Q _{maks} [l/s]	Q _{mid} [m3/d]	Pumpeløsning			Avstand til OK2 [m]	Transportavstander [m] for de forskjellige ledningsdiameterne [mm]					h _f [mvs]	Energiforbruk			
									Type	Kapasitet [l/s]	Driftstid [min/da]		50	63	75	90	110		Q _v [m3/dag]	H _{tot} (h _t)	E _{tot} [kWh/da]	
B.3	S 2		14	67		4,85	1,0	23	S	5,0	78	140			140			14,9	12	15	1,0	
B.3	S 3		12	57		5,16	0,9	20	S	5,0	67	20				20		0,8	10	1	0,0	
B.3	S 4		15	72		4,72	1,1	25	S	5,0	84	240				240		9,7	13	10	0,7	
B.3	S 5		10	48		5,56	0,8	17	S	5,0	56	125				125		5,0	8	5	0,2	
B.3	S 6		4	19		8,21	0,5	7	S	5,0	22	260			50	210		13,8	3	14	0,3	
B.3	S 7		4	19		8,21	0,5	7	S	5,0	22	380			170	210		26,6	3	27	0,5	
B.3	S 10		14	67		4,85	1,0	23	S	5,0	78	315				315		12,7	12	13	0,8	
B.3	S 11		1	5		15,42	0,2	2	S	5,0	6	450			135		315	50,1	1	50	0,2	
B.3	S 16		16	76		4,61	1,1	27	S	5,0	89	560			40	520		25,2	13	25	1,8	
B.3	S 20		12	57		5,16	0,9	20	S	5,0	67	530				530		21,4	10	21	1,2	
B.3	S 21		18	86		4,40	1,2	30	S	5,0	100	620			100	520		31,6	15	32	2,6	
B.3	S 22		8	38		6,10	0,7	13	S	5,0	45	620			40	580		27,6	7	28	1,0	
B.3	S 23		11	52		5,35	0,9	18	S	5,0	61	730				730		29,4	9	29	1,5	
B.3	S 51		11	52		5,35	0,9	18	S	5,0	61	860			130	730		43,3	9	43	2,2	
Totalt			150	716	0			251			836				400	1980	2020	4680	312	125	312	13,9

Vedlegg 3: Prosjekteringsverktøy for trykkavløpssystem

Tabellene viser samsvaret mellom avløpsmengde (Q), ledningens lengde (L) og friksjonstapet (h_f) for forskjellige rørdiametre. Friksjonstap over 50 mvs er markert med rødt.

Dimensjon: Ø 110
PE 100, SDR 11

Lengde [m]	Trykktap, h_f [meter vannsøyle, mvs]																								
	Q _[0,58]	Q _[1,00]	Q _[1,03]	Q _[1,61]	Q _[2,00]	Q _[2,53]	Q _[3,00]	Q _[4,00]	Q _[4,18]	Q _[5,00]	Q _[6,00]	Q _[7,00]	Q _[8,00]	Q _[9,00]	Q _[10,00]	Q _[11,00]	Q _[12,00]	Q _[13,00]	Q _[14,00]	Q _[15,00]	Q _[16,00]	Q _[17,00]	Q _[18,00]	Q _[19,00]	Q _[20,00]
100	0,02	0,05	0,06	0,14	0,22	0,35	0,49	0,88	0,96	1,37	1,98	2,69	3,52	4,45	5,49	6,65	7,91	9,28	10,77	12,36	14,06	15,87	17,80	19,83	21,97
200	0,04	0,11	0,12	0,28	0,44	0,70	0,99	1,76	1,92	2,75	3,95	5,38	7,03	8,90	10,99	13,29	15,82	18,57	21,53	24,72	28,12	31,75	35,59	39,66	43,94
300	0,06	0,16	0,18	0,43	0,66	1,06	1,48	2,64	2,89	4,12	5,93	8,07	10,55	13,35	16,48	19,94	23,73	27,85	32,30	37,08	42,19	47,62	53,39	59,49	65,91
400	0,07	0,22	0,23	0,57	0,88	1,41	1,98	3,52	3,85	5,49	7,91	10,77	14,06	17,80	21,97	26,59	31,64	37,13	43,06	49,44	56,25	63,50	71,19	79,32	87,89
500	0,09	0,27	0,29	0,71	1,10	1,76	2,47	4,39	4,81	6,87	9,89	13,46	17,58	22,25	27,46	33,23	39,55	46,42	53,83	61,80	70,31	79,37	88,99	99,15	109,86
600	0,11	0,33	0,35	0,85	1,32	2,11	2,97	5,27	5,77	8,24	11,86	16,15	21,09	26,70	32,96	39,88	47,46	55,70	64,60	74,15	84,37	95,25	106,78	118,98	131,83
700	0,13	0,38	0,41	0,99	1,54	2,46	3,46	6,15	6,73	9,61	13,84	18,84	24,61	31,14	38,45	46,52	55,37	64,98	75,36	86,51	98,43	111,12	124,58	138,81	153,80
800	0,15	0,44	0,47	1,14	1,76	2,81	3,95	7,03	7,69	10,99	15,82	21,53	28,12	35,59	43,94	53,17	63,28	74,26	86,13	98,87	112,49	127,00	142,38	158,64	175,77
900	0,17	0,49	0,53	1,28	1,98	3,17	4,45	7,91	8,66	12,36	17,80	24,22	31,64	40,04	49,44	59,82	71,19	83,55	96,89	111,23	126,56	142,87	160,17	178,46	197,74
1000	0,18	0,55	0,58	1,42	2,20	3,52	4,94	8,79	9,62	13,73	19,77	26,92	35,15	44,49	54,93	66,46	79,10	92,83	107,66	123,59	140,62	158,74	177,97	198,29	219,72
1100	0,20	0,60	0,64	1,56	2,42	3,87	5,44	9,67	10,58	15,11	21,75	29,61	38,67	48,94	60,42	73,11	87,01	102,11	118,43	135,95	154,68	174,62	195,77	218,12	241,69
1200	0,22	0,66	0,70	1,71	2,64	4,22	5,93	10,55	11,54	16,48	23,73	32,30	42,19	53,39	65,91	79,76	94,92	111,40	129,19	148,31	168,74	190,49	213,56	237,95	263,66
1300	0,24	0,71	0,76	1,85	2,86	4,57	6,43	11,43	12,50	17,85	25,71	34,99	45,70	57,84	71,41	86,40	102,83	120,68	139,96	160,67	182,80	206,37	231,36	257,78	285,63
1400	0,26	0,77	0,82	1,99	3,08	4,92	6,92	12,30	13,46	19,23	27,68	37,68	49,22	62,29	76,90	93,05	110,74	129,96	150,73	173,03	196,87	222,24	249,16	277,61	307,60
1500	0,28	0,82	0,88	2,13	3,30	5,28	7,42	13,18	14,43	20,60	29,66	40,37	52,73	66,74	82,39	99,70	118,65	139,25	161,49	185,39	210,93	238,12	266,96	297,44	329,57
1600	0,29	0,88	0,93	2,27	3,52	5,63	7,91	14,06	15,39	21,97	31,64	43,06	56,25	71,19	87,89	106,34	126,56	148,53	172,26	197,74	224,99	253,99	284,75	317,27	351,55
1700	0,31	0,93	0,99	2,42	3,74	5,98	8,40	14,94	16,35	23,34	33,62	45,76	59,76	75,64	93,38	112,99	134,47	157,81	183,02	210,10	239,05	269,87	302,55	337,10	373,52
1800	0,33	0,99	1,05	2,56	3,95	6,33	8,90	15,82	17,31	24,72	35,59	48,45	63,28	80,09	98,87	119,64	142,38	167,09	193,79	222,46	253,11	285,74	320,35	356,93	395,49
1900	0,35	1,04	1,11	2,70	4,17	6,68	9,39	16,70	18,27	26,09	37,57	51,14	66,79	84,54	104,37	126,28	150,29	176,38	204,56	234,82	267,17	301,62	338,14	376,76	417,46
2000	0,37	1,10	1,17	2,84	4,39	7,04	9,89	17,58	19,23	27,46	39,55	53,83	70,31	88,99	109,86	132,93	158,20	185,66	215,32	247,18	281,24	317,49	355,94	396,59	439,43
2100	0,39	1,15	1,23	2,98	4,61	7,39	10,38	18,46	20,20	28,84	41,53	56,52	73,82	93,43	115,35	139,57	166,11	194,94	226,09	259,54	295,30	333,36	373,74	416,42	461,40
2200	0,41	1,21	1,29	3,13	4,83	7,74	10,88	19,34	21,16	30,21	43,50	59,21	77,34	97,88	120,84	146,22	174,02	204,23	236,85	271,90	309,36	349,24	391,53	436,25	483,38
2300	0,42	1,26	1,34	3,27	5,05	8,09	11,37	20,21	22,12	31,58	45,48	61,91	80,86	102,33	126,34	152,87	181,92	213,51	247,62	284,26	323,42	365,11	409,33	456,08	505,35
2400	0,44	1,32	1,40	3,41	5,27	8,44	11,86	21,09	23,08	32,96	47,46	64,60	84,37	106,78	131,83	159,51	189,83	222,79	258,39	296,62	337,48	380,99	427,13	475,91	527,32
2500	0,46	1,37	1,46	3,55	5,49	8,79	12,36	21,97	24,04	34,33	49,44	67,29	87,89	111,23	137,32	166,16	197,74	232,08	269,15	308,98	351,55	396,86	444,93	495,73	549,29
2600	0,48	1,43	1,52	3,70	5,71	9,15	12,85	22,85	25,01	35,70	51,41	69,98	91,40	115,68	142,82	172,81	205,65	241,36	279,92	321,33	365,61	412,74	462,72	515,56	571,26
2700	0,50	1,48	1,58	3,84	5,93	9,50	13,35	23,73	25,97	37,08	53,39	72,67	94,92	120,13	148,31	179,45	213,56	250,64	290,68	333,69	379,67	428,61	480,52	535,39	593,23
2800	0,52	1,54	1,64	3,98	6,15	9,85	13,84	24,61	26,93	38,45	55,37	75,36	98,43	124,58	153,80	186,10	221,47	259,92	301,45	346,05	393,73	444,49	498,32	555,22	615,21
2900	0,53	1,59	1,69	4,12	6,37	10,20	14,34	25,49	27,89	39,82	57,35	78,05	101,95	129,03	159,29	192,75	229,38	269,21	312,22	358,41	407,79	460,36	516,11	575,05	637,18
3000	0,55	1,65	1,75	4,26	6,59	10,55	14,83	26,37	28,85	41,20	59,32	80,75	105,46	133,48	164,79	199,39	237,29	278,49	322,98	370,77	421,86	476,23	533,91	594,88	659,15

Dimensjon: Ø90

PE 100, SDR 11

Lengde [m]	Trykktap, h_f [meter vannsøyle, mvs]																								
	Q _[0,58]	Q _[1,00]	Q _[1,03]	Q _[1,61]	Q _[2,00]	Q _[2,53]	Q _[3,00]	Q _[4,00]	Q _[4,18]	Q _[5,00]	Q _[6,00]	Q _[7,00]	Q _[8,00]	Q _[9,00]	Q _[10,00]	Q _[11,00]	Q _[12,00]	Q _[13,00]	Q _[14,00]	Q _[15,00]	Q _[16,00]	Q _[17,00]	Q _[18,00]	Q _[19,00]	Q _[20,00]
100	0,05	0,16	0,17	0,42	0,64	1,03	1,45	2,57	2,81	4,02	5,79	7,88	10,29	13,02	16,07	19,45	23,14	27,16	31,50	36,16	41,15	46,45	52,07	58,02	64,29
200	0,11	0,32	0,34	0,83	1,29	2,06	2,89	5,14	5,63	8,04	11,57	15,75	20,57	26,04	32,14	38,90	46,29	54,32	63,00	72,33	82,29	92,90	104,15	116,04	128,58
300	0,16	0,48	0,51	1,25	1,93	3,09	4,34	7,71	8,44	12,05	17,36	23,63	30,86	39,06	48,22	58,34	69,43	81,49	94,51	108,49	123,44	139,35	156,22	174,06	192,87
400	0,22	0,64	0,68	1,66	2,57	4,12	5,79	10,29	11,26	16,07	23,14	31,50	41,15	52,07	64,29	77,79	92,58	108,65	126,01	144,65	164,58	185,80	208,30	232,08	257,16
500	0,27	0,80	0,85	2,08	3,21	5,15	7,23	12,86	14,07	20,09	28,93	39,38	51,43	65,09	80,36	97,24	115,72	135,81	157,51	180,81	205,73	232,25	260,37	290,11	321,45
600	0,32	0,96	1,03	2,50	3,86	6,18	8,68	15,43	16,88	24,11	34,72	47,25	61,72	78,11	96,43	116,69	138,86	162,97	189,01	216,98	246,87	278,69	312,45	348,13	385,74
700	0,38	1,13	1,20	2,91	4,50	7,20	10,13	18,00	19,70	28,13	40,50	55,13	72,00	91,13	112,51	136,13	162,01	190,14	220,51	253,14	288,02	325,14	364,52	406,15	450,03
800	0,43	1,29	1,37	3,33	5,14	8,23	11,57	20,57	22,51	32,14	46,29	63,00	82,29	104,15	128,58	155,58	185,15	217,30	252,01	289,30	329,16	371,59	416,59	464,17	514,31
900	0,48	1,45	1,54	3,74	5,79	9,26	13,02	23,14	25,33	36,16	52,07	70,88	92,58	117,17	144,65	175,03	208,30	244,46	283,52	325,46	370,31	418,04	468,67	522,19	578,60
1000	0,54	1,61	1,71	4,16	6,43	10,29	14,47	25,72	28,14	40,18	57,86	78,75	102,86	130,19	160,72	194,48	231,44	271,62	315,02	361,63	411,45	464,49	520,74	580,21	642,89
1100	0,59	1,77	1,88	4,57	7,07	11,32	15,91	28,29	30,95	44,20	63,65	86,63	113,15	143,20	176,80	213,92	254,59	298,78	346,52	397,79	452,60	510,94	572,82	638,23	707,18
1200	0,65	1,93	2,05	4,99	7,71	12,35	17,36	30,86	33,77	48,22	69,43	94,51	123,44	156,22	192,87	233,37	277,73	325,95	378,02	433,95	493,74	557,39	624,89	696,25	771,47
1300	0,70	2,09	2,22	5,41	8,36	13,38	18,80	33,43	36,58	52,24	75,22	102,38	133,72	169,24	208,94	252,82	300,87	353,11	409,52	470,12	534,89	603,84	676,97	754,27	835,76
1400	0,75	2,25	2,39	5,82	9,00	14,41	20,25	36,00	39,40	56,25	81,00	110,26	144,01	182,26	225,01	272,27	324,02	380,27	441,02	506,28	576,03	650,29	729,04	812,30	900,05
1500	0,81	2,41	2,56	6,24	9,64	15,44	21,70	38,57	42,21	60,27	86,79	118,13	154,29	195,28	241,08	291,71	347,16	407,43	472,53	542,44	617,18	696,74	781,12	870,32	964,34
1600	0,86	2,57	2,74	6,65	10,29	16,47	23,14	41,15	45,03	64,29	92,58	126,01	164,58	208,30	257,16	311,16	370,31	434,60	504,03	578,60	658,32	743,18	833,19	928,34	1028,63
1700	0,92	2,73	2,91	7,07	10,93	17,50	24,59	43,72	47,84	68,31	98,36	133,88	174,87	221,32	273,23	330,61	393,45	461,76	535,53	614,77	699,47	789,63	885,26	986,36	1092,92
1800	0,97	2,89	3,08	7,49	11,57	18,53	26,04	46,29	50,65	72,33	104,15	141,76	185,15	234,33	289,30	350,06	416,59	488,92	567,03	650,93	740,61	836,08	937,34	1044,38	1157,21
1900	1,02	3,05	3,25	7,90	12,21	19,56	27,48	48,86	53,47	76,34	109,93	149,63	195,44	247,35	305,37	369,50	439,74	516,08	598,53	687,09	781,76	882,53	989,41	1102,40	1221,50
2000	1,08	3,21	3,42	8,32	12,86	20,58	28,93	51,43	56,28	80,36	115,72	157,51	205,73	260,37	321,45	388,95	462,88	543,24	630,04	723,25	822,90	928,98	1041,49	1160,42	1285,79
2100	1,13	3,38	3,59	8,73	13,50	21,61	30,38	54,00	59,10	84,38	121,51	165,38	216,01	273,39	337,52	408,40	486,03	570,41	661,54	759,42	864,05	975,43	1093,56	1218,44	1350,08
2200	1,19	3,54	3,76	9,15	14,14	22,64	31,82	56,57	61,91	88,40	127,29	173,26	226,30	286,41	353,59	427,85	509,17	597,57	693,04	795,58	905,19	1021,88	1145,64	1276,46	1414,36
2300	1,24	3,70	3,93	9,57	14,79	23,67	33,27	59,15	64,72	92,42	133,08	181,14	236,58	299,43	369,66	447,29	532,32	624,73	724,54	831,74	946,34	1068,33	1197,71	1334,49	1478,65
2400	1,29	3,86	4,10	9,98	15,43	24,70	34,72	61,72	67,54	96,43	138,86	189,01	246,87	312,45	385,74	466,74	555,46	651,89	756,04	867,91	987,48	1114,78	1249,78	1392,51	1542,94
2500	1,35	4,02	4,27	10,40	16,07	25,73	36,16	64,29	70,35	100,45	144,65	196,89	257,16	325,46	401,81	486,19	578,60	679,06	787,54	904,07	1028,63	1161,23	1301,86	1450,53	1607,23
2600	1,40	4,18	4,45	10,81	16,72	26,76	37,61	66,86	73,17	104,47	150,44	204,76	267,44	338,48	417,88	505,64	601,75	706,22	819,05	940,23	1069,77	1207,67	1353,93	1508,55	1671,52
2700	1,45	4,34	4,62	11,23	17,36	27,79	39,06	69,43	75,98	108,49	156,22	212,64	277,73	351,50	433,95	525,08	624,89	733,38	850,55	976,39	1110,92	1254,12	1406,01	1566,57	1735,81
2800	1,51	4,50	4,79	11,64	18,00	28,82	40,50	72,00	78,79	112,51	162,01	220,51	288,02	364,52	450,03	544,53	648,04	760,54	882,05	1012,56	1152,06	1300,57	1458,08	1624,59	1800,10
2900	1,56	4,66	4,96	12,06	18,64	29,85	41,95	74,58	81,61	116,52	167,80	228,39	298,30	377,54	466,10	563,98	671,18	787,70	913,55	1048,72	1193,21	1347,02	1510,16	1682,61	1864,39
3000	1,62	4,82	5,13	12,48	19,29	30,88	43,40	77,15	84,42	120,54	173,58	236,26	308,59	390,56	482,17	583,43	694,32	814,87	945,05	1084,88	1234,35	1393,47	1562,23	1740,63	1928,68

Dimensjon: Ø 75

PE 100, SDR 11

Lengde [m]	Trykktap, h _f [meter vannsøyle, mvs]																								
	Q _[0,58]	Q _[1,00]	Q _[1,03]	Q _[1,61]	Q _[2,00]	Q _[2,53]	Q _[3,00]	Q _[4,00]	Q _[4,18]	Q _[5,00]	Q _[6,00]	Q _[7,00]	Q _[8,00]	Q _[9,00]	Q _[10,00]	Q _[11,00]	Q _[12,00]	Q _[13,00]	Q _[14,00]	Q _[15,00]	Q _[16,00]	Q _[17,00]	Q _[18,00]	Q _[19,00]	Q _[20,00]
100	0,14	0,43	0,45	1,11	1,71	2,74	3,85	6,84	7,48	10,68	15,38	20,94	27,34	34,61	42,72	51,70	61,52	72,21	83,74	96,13	109,38	123,48	138,43	154,24	170,90
200	0,29	0,85	0,91	2,21	3,42	5,47	7,69	13,67	14,96	21,36	30,76	41,87	54,69	69,21	85,45	103,39	123,05	144,41	167,48	192,26	218,75	246,95	276,86	308,47	341,80
300	0,43	1,28	1,36	3,32	5,13	8,21	11,54	20,51	22,44	32,04	46,14	62,81	82,03	103,82	128,17	155,09	184,57	216,62	251,22	288,39	328,13	370,43	415,29	462,71	512,70
400	0,57	1,71	1,82	4,42	6,84	10,94	15,38	27,34	29,92	42,72	61,52	83,74	109,38	138,43	170,90	206,79	246,10	288,82	334,96	384,52	437,50	493,90	553,72	616,95	683,60
500	0,72	2,14	2,27	5,53	8,54	13,68	19,23	34,18	37,40	53,41	76,90	104,68	136,72	173,04	213,62	258,49	307,62	361,03	418,70	480,66	546,88	617,38	692,14	771,19	854,50
600	0,86	2,56	2,73	6,63	10,25	16,42	23,07	41,02	44,88	64,09	92,29	125,61	164,06	207,64	256,35	310,18	369,14	433,23	502,45	576,79	656,26	740,85	830,57	925,42	1025,40
700	1,00	2,99	3,18	7,74	11,96	19,15	26,92	47,85	52,36	74,77	107,67	146,55	191,41	242,25	299,07	361,88	430,67	505,44	586,19	672,92	765,63	864,33	969,00	1079,66	1196,30
800	1,15	3,42	3,64	8,84	13,67	21,89	30,76	54,69	59,85	85,45	123,05	167,48	218,75	276,86	341,80	413,58	492,19	577,64	669,93	769,05	875,01	987,80	1107,43	1233,90	1367,20
900	1,29	3,85	4,09	9,95	15,38	24,62	34,61	61,52	67,33	96,13	138,43	188,42	246,10	311,46	384,52	465,27	553,72	649,85	753,67	865,18	984,38	1111,28	1245,86	1388,13	1538,10
1000	1,43	4,27	4,55	11,06	17,09	27,36	38,45	68,36	74,81	106,81	153,81	209,35	273,44	346,07	427,25	516,97	615,24	722,05	837,41	961,31	1093,76	1234,75	1384,29	1542,37	1709,00
1100	1,58	4,70	5,00	12,16	18,80	30,10	42,30	75,20	82,29	117,49	169,19	230,29	300,78	380,68	469,97	568,67	676,76	794,26	921,15	1057,44	1203,13	1358,23	1522,72	1696,61	1879,90
1200	1,72	5,13	5,45	13,27	20,51	32,83	46,14	82,03	89,77	128,17	184,57	251,22	328,13	415,29	512,70	620,37	738,29	866,46	1004,89	1153,57	1312,51	1481,70	1661,15	1850,85	2050,80
1300	1,86	5,55	5,91	14,37	22,22	35,57	49,99	88,87	97,25	138,86	199,95	272,16	355,47	449,89	555,42	672,06	799,81	938,67	1088,63	1249,70	1421,89	1605,18	1799,58	2005,08	2221,70
1400	2,01	5,98	6,36	15,48	23,93	38,30	53,83	95,70	104,73	149,54	215,33	293,09	382,82	484,50	598,15	723,76	861,34	1010,87	1172,37	1345,84	1531,26	1728,65	1938,00	2159,32	2392,60
1500	2,15	6,41	6,82	16,58	25,63	41,04	57,68	102,54	112,21	160,22	230,71	314,03	410,16	519,11	640,87	775,46	922,86	1083,08	1256,11	1441,97	1640,64	1852,13	2076,43	2313,56	2563,50
1600	2,29	6,84	7,27	17,69	27,34	43,78	61,52	109,38	119,69	170,90	246,10	334,96	437,50	553,72	683,60	827,16	984,38	1155,28	1339,85	1538,10	1750,01	1975,60	2214,86	2467,79	2734,40
1700	2,43	7,26	7,73	18,79	29,05	46,51	65,37	116,21	127,17	181,58	261,48	355,90	464,85	588,32	726,32	878,85	1045,91	1227,49	1423,60	1634,23	1859,39	2099,08	2353,29	2622,03	2905,30
1800	2,58	7,69	8,18	19,90	30,76	49,25	69,21	123,05	134,65	192,26	276,86	376,83	492,19	622,93	769,05	930,55	1107,43	1299,69	1507,34	1730,36	1968,77	2222,55	2491,72	2776,27	3076,20
1900	2,72	8,12	8,64	21,00	32,47	51,98	73,06	129,88	142,13	202,94	292,24	397,77	519,54	657,54	811,77	982,25	1168,95	1371,90	1591,08	1826,49	2078,14	2346,03	2630,15	2930,50	3247,10
2000	2,86	8,54	9,09	22,11	34,18	54,72	76,90	136,72	149,61	213,62	307,62	418,70	546,88	692,14	854,50	1033,94	1230,48	1444,10	1674,82	1922,62	2187,52	2469,50	2768,58	3084,74	3418,00
2100	3,01	8,97	9,54	23,22	35,89	57,46	80,75	143,56	157,09	224,31	323,00	439,64	574,22	726,75	897,22	1085,64	1292,00	1516,31	1758,56	2018,75	2296,89	2592,98	2907,01	3238,98	3588,90
2200	3,15	9,40	10,00	24,32	37,60	60,19	84,60	150,39	164,57	234,99	338,38	460,58	601,57	761,36	939,95	1137,34	1353,53	1588,51	1842,30	2114,89	2406,27	2716,45	3045,43	3393,22	3759,80
2300	3,29	9,83	10,45	25,43	39,31	62,93	88,44	157,23	172,05	245,67	353,76	481,51	628,91	795,97	982,67	1189,04	1415,05	1660,72	1926,04	2211,02	2515,65	2839,93	3183,86	3547,45	3930,70
2400	3,44	10,25	10,91	26,53	41,02	65,66	92,29	164,06	179,54	256,35	369,14	502,45	656,26	830,57	1025,40	1240,73	1476,57	1732,92	2009,78	2307,15	2625,02	2963,40	3322,29	3701,69	4101,60
2500	3,58	10,68	11,36	27,64	42,72	68,40	96,13	170,90	187,02	267,03	384,52	523,38	683,60	865,18	1068,12	1292,43	1538,10	1805,13	2093,52	2403,28	2734,40	3086,88	3460,72	3855,93	4272,50
2600	3,72	11,11	11,82	28,74	44,43	71,14	99,98	177,74	194,50	277,71	399,91	544,32	710,94	899,79	1110,85	1344,13	1599,62	1877,33	2177,26	2499,41	2843,77	3210,35	3599,15	4010,16	4443,40
2700	3,87	11,54	12,27	29,85	46,14	73,87	103,82	184,57	201,98	288,39	415,29	565,25	738,29	934,39	1153,57	1395,82	1661,15	1949,54	2261,00	2595,54	2953,15	3333,83	3737,58	4164,40	4614,30
2800	4,01	11,96	12,73	30,95	47,85	76,61	107,67	191,41	209,46	299,07	430,67	586,19	765,63	969,00	1196,30	1447,52	1722,67	2021,74	2344,75	2691,67	3062,52	3457,30	3876,01	4318,64	4785,20
2900	4,15	12,39	13,18	32,06	49,56	79,34	111,51	198,24	216,94	309,76	446,05	607,12	792,98	1003,61	1239,02	1499,22	1784,19	2093,95	2428,49	2787,80	3171,90	3580,78	4014,44	4472,88	4956,09
3000	4,30	12,82	13,64	33,17	51,27	82,08	115,36	205,08	224,42	320,44	461,43	628,06	820,32	1038,22	1281,75	1550,92	1845,72	2166,16	2512,23	2883,93	3281,28	3704,25	4152,87	4627,11	5126,99

Dimensjon: Ø 63

PE 100, SDR 11

Lengde [m]	Trykktap, h _f [meter vannsøyle, mvs]																								
	Q _[0,58]	Q _[1,00]	Q _[1,03]	Q _[1,61]	Q _[2,00]	Q _[2,53]	Q _[3,00]	Q _[4,00]	Q _[4,18]	Q _[5,00]	Q _[6,00]	Q _[7,00]	Q _[8,00]	Q _[9,00]	Q _[10,00]	Q _[11,00]	Q _[12,00]	Q _[13,00]	Q _[14,00]	Q _[15,00]	Q _[16,00]	Q _[17,00]	Q _[18,00]	Q _[19,00]	Q _[20,00]
100	0,37	1,09	1,16	2,82	4,36	6,98	9,81	17,45	19,09	27,26	39,26	53,44	69,79	88,33	109,05	131,96	157,04	184,30	213,75	245,37	279,18	315,17	353,34	393,69	436,22
200	0,73	2,18	2,32	5,64	8,72	13,97	19,63	34,90	38,19	54,53	78,52	106,87	139,59	176,67	218,11	263,91	314,08	368,60	427,49	490,75	558,36	630,34	706,67	787,37	872,44
300	1,10	3,27	3,48	8,47	13,09	20,95	29,44	52,35	57,28	81,79	117,78	160,31	209,38	265,00	327,16	395,87	471,12	552,91	641,24	736,12	837,54	945,50	1060,01	1181,06	1308,66
400	1,46	4,36	4,64	11,29	17,45	27,93	39,26	69,79	76,38	109,05	157,04	213,75	279,18	353,34	436,22	527,82	628,15	737,21	854,99	981,49	1116,72	1260,67	1413,35	1574,75	1744,87
500	1,83	5,45	5,80	14,11	21,81	34,92	49,07	87,24	95,47	136,32	196,30	267,18	348,97	441,67	545,27	659,78	785,19	921,51	1068,73	1226,86	1395,90	1575,84	1766,68	1968,44	2181,09
600	2,19	6,54	6,96	16,93	26,17	41,90	58,89	104,69	114,57	163,58	235,56	320,62	418,77	530,01	654,33	791,74	942,23	1105,81	1282,48	1472,24	1675,08	1891,01	2120,02	2362,12	2617,31
700	2,56	7,63	8,12	19,75	30,54	48,89	68,70	122,14	133,66	190,85	274,82	374,06	488,56	618,34	763,38	923,69	1099,27	1290,12	1496,23	1717,61	1954,26	2206,17	2473,36	2755,81	3053,53
800	2,92	8,72	9,28	22,57	34,90	55,87	78,52	139,59	152,75	218,11	314,08	427,49	558,36	706,67	872,44	1055,65	1256,31	1474,42	1709,98	1962,98	2233,44	2521,34	2826,70	3149,50	3489,75
900	3,29	9,81	10,44	25,40	39,26	62,85	88,33	157,04	171,85	245,37	353,34	480,93	628,15	795,01	981,49	1187,60	1413,35	1658,72	1923,72	2208,36	2512,62	2836,51	3180,03	3543,18	3925,97
1000	3,66	10,91	11,60	28,22	43,62	69,84	98,15	174,49	190,94	272,64	392,60	534,37	697,95	883,34	1090,55	1319,56	1570,39	1843,02	2137,47	2453,73	2791,80	3151,68	3533,37	3936,87	4362,18
1100	4,02	12,00	12,76	31,04	47,98	76,82	107,96	191,94	210,04	299,90	431,86	587,80	767,74	971,68	1199,60	1451,52	1727,42	2027,32	2351,22	2699,10	3070,98	3466,85	3886,71	4330,56	4798,40
1200	4,39	13,09	13,92	33,86	52,35	83,80	117,78	209,38	229,13	327,16	471,12	641,24	837,54	1060,01	1308,66	1583,47	1884,46	2211,63	2564,96	2944,47	3350,16	3782,01	4240,04	4724,24	5234,62
1300	4,75	14,18	15,08	36,68	56,71	90,79	127,59	226,83	248,22	354,43	510,38	694,68	907,33	1148,34	1417,71	1715,43	2041,50	2395,93	2778,71	3189,85	3629,34	4097,18	4593,38	5117,93	5670,84
1400	5,12	15,27	16,24	39,51	61,07	97,77	137,41	244,28	267,32	381,69	549,64	748,11	977,13	1236,68	1526,76	1847,38	2198,54	2580,23	2992,46	3435,22	3908,52	4412,35	4946,72	5511,62	6107,06
1500	5,48	16,36	17,40	42,33	65,43	104,75	147,22	261,73	286,41	408,95	588,89	801,55	1046,92	1325,01	1635,82	1979,34	2355,58	2764,53	3206,20	3680,59	4187,70	4727,52	5300,05	5905,31	6543,28
1600	5,85	17,45	18,56	45,15	69,79	111,74	157,04	279,18	305,51	436,22	628,15	854,99	1116,72	1413,35	1744,87	2111,30	2512,62	2948,84	3419,95	3925,97	4466,88	5042,68	5653,39	6298,99	6979,49
1700	6,21	18,54	19,72	47,97	74,16	118,72	166,85	296,63	324,60	463,48	667,41	908,42	1186,51	1501,68	1853,93	2243,25	2669,66	3133,14	3633,70	4171,34	4746,06	5357,85	6006,73	6692,68	7415,71
1800	6,58	19,63	20,88	50,79	78,52	125,70	176,67	314,08	343,70	490,75	706,67	961,86	1256,31	1590,02	1962,98	2375,21	2826,70	3317,44	3847,45	4416,71	5025,24	5673,02	6360,06	7086,37	7851,93
1900	6,95	20,72	22,04	53,61	82,88	132,69	186,48	331,53	362,79	518,01	745,93	1015,30	1326,10	1678,35	2072,04	2507,17	2983,73	3501,74	4061,19	4662,08	5304,42	5988,19	6713,40	7480,05	8288,15
2000	7,31	21,81	23,20	56,44	87,24	139,67	196,30	348,97	381,88	545,27	785,19	1068,73	1395,90	1766,68	2181,09	2639,12	3140,77	3686,05	4274,94	4907,46	5583,60	6303,36	7066,74	7873,74	8724,37
2100	7,68	22,90	24,36	59,26	91,61	146,66	206,11	366,42	400,98	572,54	824,45	1122,17	1465,69	1855,02	2290,15	2771,08	3297,81	3870,35	4488,69	5152,83	5862,77	6618,52	7420,07	8267,43	9160,59
2200	8,04	23,99	25,52	62,08	95,97	153,64	215,93	383,87	420,07	599,80	863,71	1175,61	1535,49	1943,35	2399,20	2903,03	3454,85	4054,65	4702,43	5398,20	6141,95	6933,69	7773,41	8661,12	9596,80
2300	8,41	25,08	26,68	64,90	100,33	160,62	225,74	401,32	439,17	627,06	902,97	1229,05	1605,28	2031,69	2508,26	3034,99	3611,89	4238,95	4916,18	5643,58	6421,13	7248,86	8126,75	9054,80	10033,02
2400	8,77	26,17	27,84	67,72	104,69	167,61	235,56	418,77	458,26	654,33	942,23	1282,48	1675,08	2120,02	2617,31	3166,95	3768,93	4423,25	5129,93	5888,95	6700,31	7564,03	8480,09	9448,49	10469,24
2500	9,14	27,26	29,00	70,55	109,05	174,59	245,37	436,22	477,35	681,59	981,49	1335,92	1744,87	2208,36	2726,36	3298,90	3925,97	4607,56	5343,67	6134,32	6979,49	7879,19	8833,42	9842,18	10905,46
2600	9,51	28,35	30,16	73,37	113,42	181,57	255,19	453,67	496,45	708,85	1020,75	1389,36	1814,67	2296,69	2835,42	3430,86	4083,00	4791,86	5557,42	6379,69	7258,67	8194,36	9186,76	10235,86	11341,68
2700	9,87	29,44	31,32	76,19	117,78	188,56	265,00	471,12	515,54	736,12	1060,01	1442,79	1884,46	2385,02	2944,47	3562,81	4240,04	4976,16	5771,17	6625,07	7537,85	8509,53	9540,10	10629,55	11777,90
2800	10,24	30,54	32,48	79,01	122,14	195,54	274,82	488,56	534,64	763,38	1099,27	1496,23	1954,26	2473,36	3053,53	3694,77	4397,08	5160,46	5984,92	6870,44	7817,03	8824,70	9893,43	11023,24	12214,11
2900	10,60	31,63	33,64	81,83	126,50	202,52	284,63	506,01	553,73	790,65	1138,53	1549,67	2024,05	2561,69	3162,58	3826,73	4554,12	5344,77	6198,66	7115,81	8096,21	9139,87	10246,77	11416,93	12650,33
3000	10,97	32,72	34,80	84,65	130,87	209,51	294,45	523,46	572,83	817,91	1177,79	1603,10	2093,85	2650,03	3271,64	3958,68	4711,16	5529,07	6412,41	7361,18	8375,39	9455,03	10600,11	11810,61	13086,55

Dimensjon: Ø 50

PE 100, SDR 11

Lengde [m]	Trykktap, h _f [meter vannsøyle, mvs]																								
	Q _[0,58]	Q _[1,00]	Q _[1,03]	Q _[1,61]	Q _[2,00]	Q _[2,53]	Q _[3,00]	Q _[4,00]	Q _[4,18]	Q _[5,00]	Q _[6,00]	Q _[7,00]	Q _[8,00]	Q _[9,00]	Q _[10,00]	Q _[11,00]	Q _[12,00]	Q _[13,00]	Q _[14,00]	Q _[15,00]	Q _[16,00]	Q _[17,00]	Q _[18,00]	Q _[19,00]	Q _[20,00]
100	1,27	3,79	4,03	9,81	15,16	24,27	34,10	60,63	66,35	94,74	136,42	185,68	242,52	306,94	378,94	458,52	545,68	640,41	742,73	852,62	970,09	1095,14	1227,77	1367,98	1515,77
200	2,54	7,58	8,06	19,61	30,32	48,53	68,21	121,26	132,70	189,47	272,84	371,36	485,05	613,89	757,89	917,04	1091,36	1280,83	1485,46	1705,24	1940,19	2190,29	2455,55	2735,97	3031,54
300	3,81	11,37	12,09	29,42	45,47	72,80	102,31	181,89	199,05	284,21	409,26	557,05	727,57	920,83	1136,83	1375,56	1637,03	1921,24	2228,18	2557,86	2910,28	3285,43	3683,32	4103,95	4547,31
400	5,08	15,16	16,12	39,22	60,63	97,07	136,42	242,52	265,39	378,94	545,68	742,73	970,09	1227,77	1515,77	1834,08	2182,71	2561,65	2970,91	3410,48	3880,37	4380,58	4911,10	5471,93	6063,08
500	6,35	18,95	20,16	49,03	75,79	121,33	170,52	303,15	331,74	473,68	682,10	928,41	1212,62	1534,72	1894,71	2292,60	2728,39	3202,07	3713,64	4263,11	4850,47	5475,72	6138,87	6839,92	7578,86
600	7,62	22,74	24,19	58,83	90,95	145,60	204,63	363,79	398,09	568,41	818,52	1114,09	1455,14	1841,66	2273,66	2751,12	3274,07	3842,48	4456,37	5115,73	5820,56	6570,87	7366,65	8207,90	9094,63
700	8,89	26,53	28,22	68,64	106,10	169,87	238,73	424,42	464,44	663,15	954,94	1299,77	1697,66	2148,61	2652,60	3209,65	3819,74	4482,89	5199,09	5968,35	6790,65	7666,01	8594,42	9575,88	10610,40
800	10,16	30,32	32,25	78,44	121,26	194,13	272,84	485,05	530,79	757,89	1091,36	1485,46	1940,19	2455,55	3031,54	3668,17	4365,42	5123,31	5941,82	6820,97	7760,75	8761,16	9822,20	10943,87	12126,17
900	11,43	34,10	36,28	88,25	136,42	218,40	306,94	545,68	597,14	852,62	1227,77	1671,14	2182,71	2762,49	3410,48	4126,69	4911,10	5763,72	6684,55	7673,59	8730,84	9856,30	11049,97	12311,85	13641,94
1000	12,70	37,89	40,31	98,05	151,58	242,67	341,05	606,31	663,48	947,36	1364,19	1856,82	2425,23	3069,44	3789,43	4585,21	5456,78	6404,13	7427,28	8526,21	9700,93	10951,45	12277,75	13679,83	15157,71
1100	13,97	41,68	44,34	107,86	166,73	266,93	375,15	666,94	729,83	1042,09	1500,61	2042,50	2667,76	3376,38	4168,37	5043,73	6002,45	7044,55	8170,01	9378,83	10671,03	12046,59	13505,52	15047,82	16673,48
1200	15,24	45,47	48,37	117,66	181,89	291,20	409,26	727,57	796,18	1136,83	1637,03	2228,18	2910,28	3683,32	4547,31	5502,25	6548,13	7684,96	8912,73	10231,45	11641,12	13141,73	14733,29	16415,80	18189,25
1300	16,51	49,26	52,41	127,47	197,05	315,46	443,36	788,20	862,53	1231,56	1773,45	2413,87	3152,80	3990,27	4926,26	5960,77	7093,81	8325,37	9655,46	11084,08	12611,22	14236,88	15961,07	17783,78	19705,02
1400	17,78	53,05	56,44	137,27	212,21	339,73	477,47	848,83	928,88	1326,30	1909,87	2599,55	3395,33	4297,21	5305,20	6419,29	7639,49	8965,79	10398,19	11936,70	13581,31	15332,02	17188,84	19151,77	21220,79
1500	19,06	56,84	60,47	147,08	227,37	364,00	511,57	909,46	995,23	1421,04	2046,29	2785,23	3637,85	4604,15	5684,14	6877,81	8185,16	9606,20	11140,92	12789,32	14551,40	16427,17	18416,62	20519,75	22736,57
1600	20,33	60,63	64,50	156,88	242,52	388,26	545,68	970,09	1061,58	1515,77	2182,71	2970,91	3880,37	4911,10	6063,08	7336,33	8730,84	10246,61	11883,64	13641,94	15521,50	17522,31	19644,39	21887,73	24252,34
1700	21,60	64,42	68,53	166,69	257,68	412,53	579,78	1030,72	1127,92	1610,51	2319,13	3156,59	4122,90	5218,04	6442,03	7794,85	9276,52	10887,03	12626,37	14494,56	16491,59	18617,46	20872,17	23255,72	25768,11
1800	22,87	68,21	72,56	176,50	272,84	436,80	613,89	1091,36	1194,27	1705,24	2455,55	3342,28	4365,42	5524,99	6820,97	8253,37	9822,20	11527,44	13369,10	15347,18	17461,68	19712,60	22099,94	24623,70	27283,88
1900	24,14	72,00	76,59	186,30	288,00	461,06	647,99	1151,99	1260,62	1799,98	2591,97	3527,96	4607,94	5831,93	7199,91	8711,89	10367,87	12167,85	14111,83	16199,80	18431,78	20807,75	23327,72	25991,68	28799,65
2000	25,41	75,79	80,62	196,11	303,15	485,33	682,10	1212,62	1326,97	1894,71	2728,39	3713,64	4850,47	6138,87	7578,86	9170,41	10913,55	12808,27	14854,56	17052,42	19401,87	21902,89	24555,49	27359,67	30315,42
2100	26,68	79,58	84,66	205,91	318,31	509,60	716,20	1273,25	1393,32	1989,45	2864,81	3899,32	5092,99	6445,82	7957,80	9628,94	11459,23	13448,68	15597,28	17905,05	20371,96	22998,04	25783,27	28727,65	31831,19
2200	27,95	83,37	88,69	215,72	333,47	533,86	750,31	1333,88	1459,67	2084,19	3001,23	4085,00	5335,51	6752,76	8336,74	10087,46	12004,91	14089,09	16340,01	18757,67	21342,06	24093,18	27011,04	30095,63	33346,96
2300	29,22	87,16	92,72	225,52	348,63	558,13	784,41	1394,51	1526,02	2178,92	3137,65	4270,68	5578,04	7059,70	8715,68	10545,98	12550,58	14729,51	17082,74	19610,29	22312,15	25188,33	28238,81	31463,62	34862,73
2400	30,49	90,95	96,75	235,33	363,79	582,40	818,52	1455,14	1592,36	2273,66	3274,07	4456,37	5820,56	7366,65	9094,63	11004,50	13096,26	15369,92	17825,47	20462,91	23282,24	26283,47	29466,59	32831,60	36378,51
2500	31,76	94,74	100,78	245,13	378,94	606,66	852,62	1515,77	1658,71	2368,39	3410,48	4642,05	6063,08	7673,59	9473,57	11463,02	13641,94	16010,33	18568,20	21315,53	24252,34	27378,61	30694,36	34199,58	37894,28
2600	33,03	98,53	104,81	254,94	394,10	630,93	886,73	1576,40	1725,06	2463,13	3546,90	4827,73	6305,61	7980,53	9852,51	11921,54	14187,62	16650,74	19310,92	22168,15	25222,43	28473,76	31922,14	35567,57	39410,05
2700	34,30	102,31	108,84	264,74	409,26	655,20	920,83	1637,03	1791,41	2557,86	3683,32	5013,41	6548,13	8287,48	10231,45	12380,06	14733,29	17291,16	20053,65	23020,77	26192,52	29568,90	33149,91	36935,55	40925,82
2800	35,57	106,10	112,87	274,55	424,42	679,46	954,94	1697,66	1857,76	2652,60	3819,74	5199,09	6790,65	8594,42	10610,40	12838,58	15278,97	17931,57	20796,38	23873,39	27162,62	30664,05	34377,69	38303,53	42441,59
2900	36,84	109,89	116,90	284,35	439,57	703,73	989,04	1758,29	1924,11	2747,34	3956,16	5384,78	7033,18	8901,37	10989,34	13297,10	15824,65	18571,98	21539,11	24726,02	28132,71	31759,19	35605,46	39671,52	43957,36
3000	38,11	113,68	120,94	294,16	454,73	728,00	1023,15	1818,93	1990,45	2842,07	4092,58	5570,46	7275,70	9208,31	11368,28	13755,62	16370,33	19212,40	22281,83	25578,64	29102,80	32854,34	36833,24	41039,50	45473,13