

Utvikling av et klimatilpasset avløpsnett i laveste sone – Eksempelområde Breivika Havn

Development of a Climate-adapted Sewerage Network in the Lowest Zone – Example Area Breivika Harbour

Trondheim Mai 2021

Navn studenter:

Katrine Gjestrum
Tiril Pettersen

Intern veileder:
Rolf Edvard Petersen

Ekstern veileder:
Rune Lejon
Fred Magne Johansen

Prosjektnr:
2021 -04

Rapporten er ÅPEN



Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Problemdefinering

Prosjektet finner en mulig løsning for sjøvannsproblematikken til avløpsnettets på Breivika Havn i Tromsø kommune. Avløpsrørene har ikke lenger god nok kvalitet og klarer derfor ikke å håndtere den konstante havnivåstigning som flo og fjære skaper. Klimaendringene vil føre til mer regn, høyere havnivå og mer stormflo.

Løsningen er funnet ved å sammenlikne flere ulike løsninger, for deretter å finne hvilken som passer best for Breivika Havn. Etter dette ble løsningen simulert og tegnet.

Det diskuteres hvordan mulig løsning skal gjennomføres mest effektivt. Den største utfordringen ved omlegging av et avløpsnett er abonnentene. Det er derfor utarbeidet flere løsninger for å få de med. Til slutt diskuteres det om løsningen er tilpasset framtidens klima.

Resultatmål

- Dimensjonere hovedledning og mest ugunstige pumpestasjon
- Tegne løsning
- Simulere løsning i EpaNet
- Diskutere hvordan få abonnenter til å koble seg på løsningen
- Diskutere om løsningen kan bli plassert andre steder
- Diskutere om løsning er klimatilpasset

Stikkord

Trykkavløp

Fremmedvann

Laveste sone

Havnivå

Klimatilpasning

Simulering

EpaNet

Tromsø kommune

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet av Katrine Gjestrum og Tiril Pettersen. Oppgaven markerer avslutningen på en bachelorgrad i byggingeniør ved Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet. Det siste året har vi gått retningen teknisk planlegging der begge viste stor interesse for VA-egnene.

Oppgaven ble gitt av Seksjon for vann og avløp i Tromsø kommune, som også ble våre eksterne veiledere. Vi valgte å kontakte dem høsten 2020, da Tiril hadde sommerjobb der i 2019. Fra oss var det et ønske å skrive om et avløpsnett. Dette ble innvilget, og vi fikk dermed en oppgave som var både spennende og utfordrende, da flere av avløpssystemene var nye for oss.

Vi ønsker å gi en stor takk til våre eksterne veiledere Fred Magne Johansen og Rune Lejon for gode tilbakemeldinger og god dialog fra start til slutt. Møter ble utført digitalt hver andre uke, og vi fikk også muligheten til å besøke eksempelområdet med en omvisning fra veiledere. Dette har vi satt veldig pris på, og det har hatt stor innflytelse på prosessen vår.

Vi ønsker også å takke resten av Seksjon for vann og avløp i Tromsø kommune for gode og raske svar.

Til slutt vil vi også takke vår interne veileder Rolf Edvard Petersen for gode råd og diskusjoner gjennom hele prosessen.



Katrine Gjestrum
20.05.2021



Tiril Pettersen
20.05.2021

Sammendrag

Eksempelområdet Breivika Havn ligger i Tromsø kommune, og har utfordringer med sjøvannsinnelekkage. Dette er en form for fremmedvann som medfører økt ressursbruk knyttet til rensing, samtidig som det hindrer muligheter til utnyttelse av ressurser. Med kommende klimaendringer forventes det havnivåstigning, hyppigere stormflo og mer intenst regn. Seksjon for vann og avløp i Tromsø kommune har derfor innført begrepet «laveste sone» som et verktøy for å håndtere problemet. Breivika Havn er definert til å ligge i laveste sone.

Målet med prosjektet er å finne et spillvannssystem som er tilpasset framtidens klima. Gjennom rapporten utarbeides det derfor fem ulike løsninger, som sammenliknes for å finne den mest gunstige løsningen. Den endelige løsningen er et trykkavløp plassert over eksisterende ledninger i Terminalgata med 28 tilhørende pumper. Til slutt blir endelig løsning tegnet og simulert, slik at den blir visualisert og kontrollert.

Det diskuteres ulike løsninger for hvordan man skal sikre at abonnentene kobler seg på det nye nettet, og det er derfor de har fått et stort fokus i dette prosjektet. Det er mest gunstig for prosjektet dersom abonnentene koordinerer med Seksjon for vann og avløp, og gjennomfører nødvendig arbeid samtidig. Dette krever god kommunikasjon og strategiplaner. Det ønskes å prioritere abonnentene, da systemet ikke blir tett før alle har koblet seg på.

Ettersom sjøvannsproblematikk er et nasjonalt problem undersøkes det om valgt løsning også kan plasseres andre steder enn eksempelområdet. Områder med mest utfordringer for utbygging til trykkavløp er sentrumsområder.

I prosjektet diskuteres det om trykkavløp er et klimavennlig avløpsnett. Det sammenliknes også trykkavløp i grunn grøft med FNs 17 bærekrafts mål, for å gi en antydning om avløpssystemet er tilpasset fremtidige klimaendringer. Løsningen krysser av på flere av FNs mål, da det hindrer innlekkasje av fremmedvann, samt utlekkasje av spillvann.

Abstract

The example area Breivika Harbour is located in Tromsø municipality and has challenges with seawater infiltration. This is a form of extraneous water that entails increased use of resources related to purification, at the same time as it prevents opportunities for utilization of resources. With future climate change and rising sea levels, more frequent storm surges and more intense rain are expected. The Section for Water and Sewage in Tromsø municipality has therefore introduced the concept of «lowest zone» as a tool for dealing with the problem. Breivika Harbour is defined as being in the lowest zone.

The goal of the project is to find a wastewater system that is adapted to the climate changes. The report therefore develops five different solutions, which are compared to find the most favourable solution. The final solution is a low-pressure sewer system located above existing pipes in Terminalgata with 28 associated pumps. In the end, the final solution is drawn and simulated, so that it is visualized and controlled.

Various solutions are discussed for how to ensure that subscribers connect to the new system, which is why they have received a great deal of focus in this project. It is most favourable for the project if the subscribers coordinate with the Section for Water and Sewerage and complete the necessary work at the same time. This requires good communication and strategy plans. It is desired to prioritize the subscribers, as the system will not be completed until everyone has connected.

As seawater problems are a national problem, it is being looked into whether the chosen solution can also be placed elsewhere than the example area. Areas with the most challenges for exchange to low-pressure sewer system are city centre areas.

The project discusses whether a low-pressure sewer system is a climate-friendly sewerage system. Low-pressure sewer system in a ground trench is also compared with the UN's 17 Sustainable Development Goals, to give an indication of whether the sewerage system is adapted to future climate change. The solution checked of several of the UN's goals, as it prevents leakage of extraneous water, as well as leakage of wastewater.

Sentrale begreper

Ord:	Forklaring:
Avløpsvann	Samlebetegnelse for spillvann, overvann og drensvann.
Spillvann	Sanitært og industrielt vann fra husholdning, næringsvirksomhet, og offentlig virksomhet (1 s. 4).
Overvann	«Overflateavrenning som følge av nedbør og/eller snøsmelting. Alt vann som renner av på overflaten av tak, vegger, og andre tette flater etter nedbør, stormflo eller smeltevann» (1 s. 4).
Drensvann	Vann i grunnen som ledes bort fra bygninger og andre konstruksjoner (2).
Gråvann	Avløp fra vanlig husholdning som stammer fra kjøkken, bad og vaskerom (3).
Svartvann	Avløp fra toalett (3).
Fremmedvann	<i>«alt vann som er tilført spillvannsnettet eller avløpsrenseanlegget som ikke er spillvann fra forbrukere eller næringsvirksomhet eller overvann tilført avløp fellessystem»</i> (1 s. 4)
Stikkledning	Privat ledning fra abonnent til hovedledning.
Hovedledning	Større offentlig ledning.
Fellessystem	Spillvann, overvann og drens går i en felles avløpsledning.
Separatsystem	Spillvann og overvann og drens går i to ulike ledninger. En spillvannsledning og en overvannsledning med overvann og drens.
Trykkrør	Rør som er helt fylt med væske og et overtrykk (4).
Trykkløse rør	Rør som fylt med væske og har atmosfærisk trykk.
PN	Nominelt trykk. Maksimale tillatte driftstrykk (5).
DN	Diameter nominell. DN brukes for å beskrive dimensjonen på et rør.
Pumpestasjon (PA)	«Anlegg for pumping av vann eller avløpsvann» (6).
Avløpsrenseanlegg (RA)	Anlegg for behandling av avløpsvann ved mekaniske, biologiske eller kjemiske metoder for fjerning av uønskede stoffer (6).
Frostfri dybde	Dybde under telens innvirkning (7).

Abonnet	Private virksomheter og boliger som har tilknytting til hovedledningen.
Seksjon for vann og avløp	En avdeling i Tromsø kommune som har ansvar for at avløpsvann blir håndtert på en miljømessig forsvarlig måte, samt ansvar for vann og overvann. (8)
NN 2000	Et vertikalt datum, offisielt høydesystem for Norge. (9)
Klimaprognoser	Antagelse, ut fra beregninger og forskning, om framtidig klima.
Kotehøyde	Ekvivalent med høydekurve. En linje på et kart som angir høyde over havet. (10)
l/s	Liter per sekund
l/pe*døgn	Liter per personekvivalent per døgn
m/s	Meter per sekund
m	Meter
mm	Millimeter
m ³	Kubikk
m ³ /s	Kubikkmeter per sekund
m ³ /d	Kubikkmeter per døgn
m ³ /år	Kubikkmeter per år
mvs	Meter vannsøyle
m/s ²	Meter per sekund per sekund
N/m ²	Newton per kvadratmeter
Moh	Meter over havet
Min	Minutt
Maks	Maksimal

Innholdsfortegnelse

Problemdefinering	I
Resultatmål	I
Stikkord	I
Forord.....	II
Sammendrag	III
Abstract.....	IV
Sentrale begreper	V
Figurliste.....	X
Tabelliste	XII
Formelliste	XIII
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling.....	1
2 Presentasjon av prosjektområdet	2
2.1 Området	2
2.2 Prosjektets avgrensing	3
2.2.1 Områdeavgrensing.....	3
2.2.2 Personekvivalenter	4
2.2.3 Overvann og vann	4
2.3 Eksisterende rørnett.....	4
2.4 Annet	6
3 VA-teori.....	7
3.1 Laveste sone	7
3.2 Fremmedvann	8
3.3 Vær og klima.....	9
3.3.1 Flo og fjære	9
3.3.2 Stormflo	10
3.4 Avløpssystemer	11
3.4.1 Selvfallsystem.....	12
3.4.2 Trykkavløp.....	12
3.4.3 Vakuumsystem.....	12
3.5 Pumper	13
3.5.1 Sentrifugalpumper	13

3.5.2	Fortrengerpumper	14
3.6	Dimensjoneringsgrunnlag	15
3.6.1	Spesifikk vannmengde	15
3.6.2	Beregning av personekvivalenter	15
3.6.3	Variasjoner i døgnet.....	16
3.6.4	Selvrens.....	17
3.6.5	Rørruhet.....	18
3.7	Materialer.....	18
3.7.1	Plast.....	19
3.7.2	Betong.....	20
3.7.3	Duktilt støpejern	21
3.8	Fornyng av rør	21
3.9	Grøfter.....	24
3.10	Isolasjon.....	24
3.11	Koblinger	25
4	Programvarer.....	26
4.1	Gemini Portal.....	26
4.2	EpaNet.....	26
4.3	Novapoint og AutoCAD	26
4.4	Focus VARDAK.....	27
4.5	Focus Anbud.....	27
5	Krav til løsninger	28
5.1	Ønsker fra Seksjon for vann og avløp	28
6	Løsninger	30
6.1	Løsning 1 – Trykkavløp over eksisterende rør	30
6.2	Løsning 2 – Trykkavløp vest for Terminalgata	31
6.3	Løsning 3 – Selvfallsystem.....	32
6.4	Løsning 4 – Fornye dagens spillvannsledninger.....	32
6.5	Løsning 5 – Vakuumsystem	33
7	Sammenlikning av løsninger.....	34
8	Dimensjonering.....	36
8.1	Beregning av personekvivalenter.....	37
8.2	Beregning av avløpsmengde	40
8.3	Valg av ledningsdimensjon og pumpe	43

8.4	Krav til abonnentene	50
8.5	Anbefalinger til abonnentene	51
8.6	Krav til Seksjon for vann og avløp	52
9	Resultater	53
9.1	Novapoint	53
9.2	Focus VARDAK	53
9.3	EpaNet	53
9.4	Focus Anbud	55
9.5	ROS-analyse	55
10	Diskusjon	56
10.1	Resultat	56
10.1.1	EpaNet	56
10.1.2	Focus Anbud	57
10.2	Løsningen	58
10.2.1	Circle K	59
10.3	Hvordan få abonnentene til å koble seg på	61
10.3.1	Eierforhold	63
10.4	Løsningen satt inn i andre områder	65
10.4.1	Boligområdet	65
10.4.2	Sentrumsområdet	66
10.5	Innføring av laveste sone	66
10.6	Trykkavløp og klimatilpasning	67
10.6.1	FNs bærekraftsmål	68
10.6.2	Klima etter år 2100	69
10.7	Strømkostnader	71
10.8	Innovasjon	71
10.9	Usikkerheter	74
10.9.1	Spillvannsmengde	74
10.9.2	Dimensjonering	74
10.9.3	Sannsynlighetsformel	74
10.9.4	Simulering i EpaNet	75
11	Konklusjon	76
12	Kilder	77
13	Vedleggsliste	85

Figurliste

Figur 1: Plassering av Breivika Havn	2
Figur 2: Oversikt over Breivika Havn og omliggende områder. Breivika Havn er markert i rødt. 2	2
Figur 3: Avgrensing av Breivika havn markert med rødt, inngjerda område markert som gul.	3
Figur 4: Skisse av eksisterende spillvann og pumpeledning. Rød linje er pumpeavløpsledningen, grønne linjer er spillvannsledninger.	4
Figur 5: Nivå abonnent - pumpestasjon for laveste sone (16)	7
Figur 6: Tidevann i Oslo og i Tromsø (98)	10
Figur 7 Prinsippskisse separatsystem (97)	11
Figur 8: Vakuumavløpssystem (6 s. 849)	13
Figur 9 Sentrifugalpumpe og skovlhjul (94) (43).....	14
Figur 10: Eksenterskruepumpe og pumpeaksel (36) (37).....	14
Figur 11: Eksempelpumpekurve for kvern- og eksenterskruepumpe (34) (redigert bilde)	15
Figur 12: Eksempel på forbrukervariasjonen over et døgn for et boligområde (6 s. 196)	17
Figur 13: Trykkrør av PE (85).....	19
Figur 14: PVC rør (86).....	19
Figur 15: PP rør (87)	19
Figur 16: GRP rør (84)	20
Figur 17: Betongrør (82).....	20
Figur 18: Rør av duktilt støpejern (83).....	21
Figur 19: Strøperenovering med lufttrykk (51).....	22
Figur 20: Utblokking (6 s. 542)	23
Figur 21: Utblokking krever plass til innføring av røret (53).....	23
Figur 22: Krefter som blir fordelt ned i ei grøft	24
Figur 23: Eksempel på preisolert rør og isolasjonskasse (58) (57)	25
Figur 24: Y-kobling (venstre, rød ledning)	25
Figur 25: Ledning langs Terminalgata	30
Figur 26: Ledning vest for terminalgata, for så å komme inn på terminalgata	31
Figur 27: Oversiktsbilde av soneinndelingen. Sone A er blå og sone B er grønn.	36
Figur 28: Oversiktsbilde med soneinndeling og husnummer.	36
Figur 29: Skisse av ny ledning med pumper (røde sikler) og pumpenummer.....	37
Figur 30: Eksempel pumpestasjon fra Skandinavisk kommunalteknikk (70).	45

Figur 31: Graf som viser sannsynligheten for at flere pumper er i drift samtidig	46
Figur 32: Pumpekurve til M3127 (71)	50
Figur 33: Eksempler på ulike pumpestasjoner ved trykkavløp ved ulike materialer.....	51
Figur 34: EpaNet tegning fra pumpe 1-15	53
Figur 35: EpaNet tegning fra pumpe 15-28	54
Figur 36: Trykklinje ved ingen pumper som går	57
Figur 37: Samlekum (Figur laget av Asplan Viak).....	58
Figur 38: Skisse av punkt 1, med to trykkavløpssystem. Røde sirkler er pumpestasjoner.	59
Figur 39: Skisse av punkt 2. Grønn ledning er nytt trykkavløp, gul ledning er strømperevert spillvannsledning og stikkledning.	60
Figur 40: Skisse av punkt 3 hvor Circle K har flere pumpestasjoner.	60
Figur 41: Eierforhold av stikkledninger i Stavanger kommune (89)	64
Figur 42: FNs bærekraftsmål (75)	68
Figur 43: Utviklingsbaner, RCP, for klima i framtiden (96)	70
Figur 44: Eksempelillustrasjon av varmepumpe i trykkavløp	72
Figur 45: Prinsippskisse av varmepumpe (79)	72

Tabelliste

Tabell 1: Ledningsinformasjon for eksisterende rør	5
Tabell 2: Omregningsfaktor for ulike virksamheter basert på BOF ₅ -mengde. (40).....	16
Tabell 3: Ruhet for ledningsmaterialer (6 s. 82)	18
Tabell 4: Sammenlikning av løsninger	34
Tabell 5: Utregning av differansen.....	38
Tabell 6: Sone A med antall pe, maks avlest verdi og antall ansatte.	39
Tabell 7: Sone B med antall pe, maksimal avlest verdi og antall ansatte.....	40
Tabell 8: Avløpsmengder i sone A.....	42
Tabell 9: Avløpsmengder i sone B.....	43
Tabell 10: Hastigheter ved forskjellige dimensjoner og pumpekapasitet	44
Tabell 11: Driftstid.....	45
Tabell 12; Kapasitetstid.....	47
Tabell 13: Friksjonstap for sone A. Ved dimensjon 63 mm er pumpekapasitet på 2 l/s brukt, og ved dimensjon 75 mm er pumpekapasitet på 3 l/s brukt.	48
Tabell 14: Friksjonstap for sone B. Ved dimensjon 63 mm er pumpekapasitet på 2 l/s brukt, og ved dimensjon 75 mm er pumpekapasitet på 3 l/s brukt.	49
Tabell 15: Sammenlikning av bærekraftmålene og trykkavløp	69

Formelliste

Formel 1: Beregning av pe	38
Formel 2: Beregning av midlere vannforbruk.....	41
Formel 3: Beregning av middels maksimum vannforbruk.....	41
Formel 4: Beregning av maksimum vannforbruk	41
Formel 5: Beregning av maksimal timefaktor.....	41
Formel 6: Beregning av selvrensende hastigheter	44
Formel 7: Sannsynlighet for at flere pumper er i drift samtidig	46
Formel 8: Kapasitetstid	46
Formel 9: Løftehøyde.....	47
Formel 10: Beregning av friksjonstap	47

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Klimaendringene har stor påvirkning på avløpsnett. I løpet av de neste 100 årene kan det forventes stigende havnivå og hyppigere stormflo. Samtidig sliter Norge med gamle og slitte rør. Dette fører til innlekking av fremmedvann, særlig i avløpsnett nært havet, som igjen fører til utilstrekkelig rensing av avløpsvannet. Flere steder langs kysten har, eller vil få, det samme problemet.

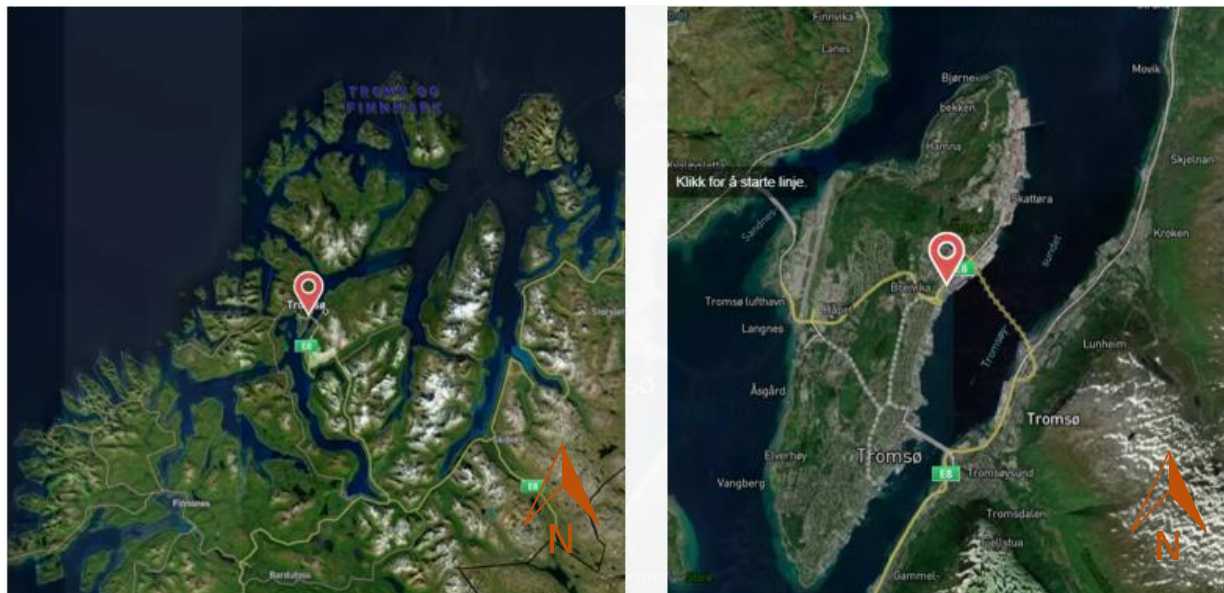
Denne rapporten tar for seg Breivika Havn i Tromsø kommune. Området ligger i laveste sone, og har flere gamle rør som sliter med slitasje og skader. I tillegg er det flere feilkoblinger. To ganger hvert døgn fylles avløpsnett med sjøvann på grunn av flo. Kommunen har som mål å gjøre Breivika Havn upåvirket av sjøvann innen 2030. Det er dermed et ønske å se nærmere på ulike løsninger for avløpssystemer som kan fjerne sjøvannsproblematikken, samt håndtere klimaendringene.

1.2 Problemstilling

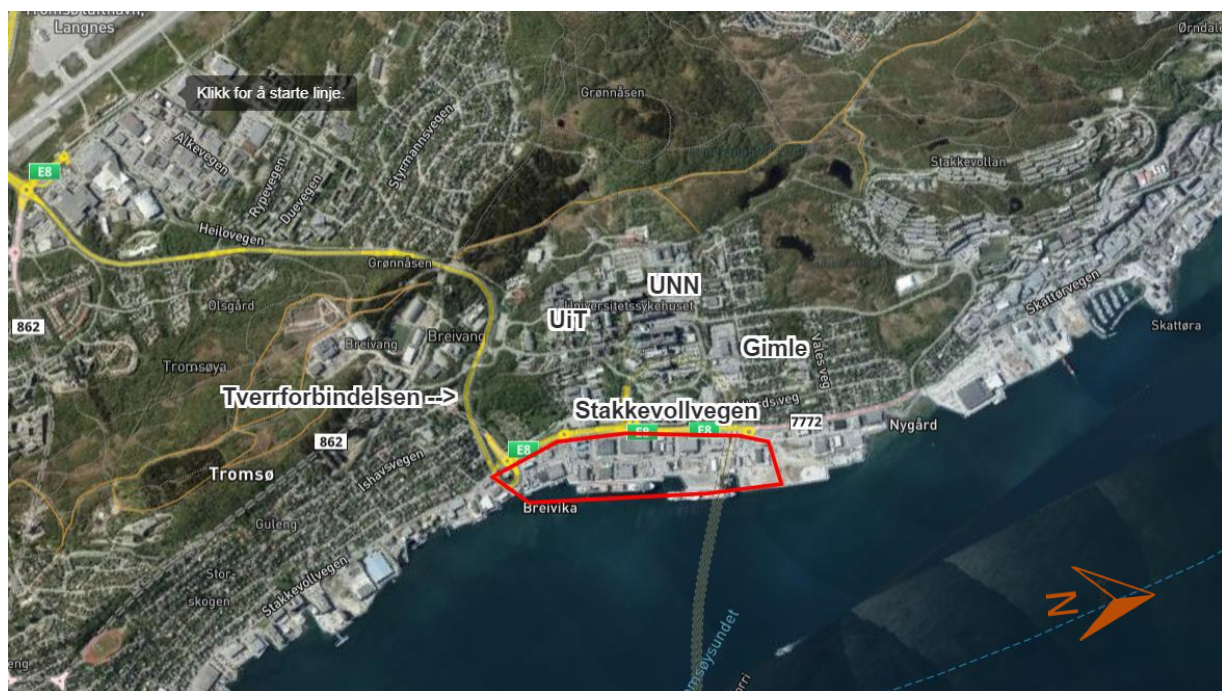
Prosjektet skal ta for seg utviklingen av et avløpsnett på Breivika Havn, også med hensyn på virkningen av klimaendringer. Det skal sammenlignes flere løsninger og valgt løsning skal dimensjoneres og simuleres. Videre skal den prosjekteres ut med tegninger og mengdebeskrivelse i henhold til NS3420. Prosjektet skal diskutere ulike muligheter for hvordan bedrifter kan koble seg på dette avløpsnett, om det er egnet å benytte løsningen andre steder, og hvor tilpasset den er framtidens klima.

2 Presentasjon av prosjektområdet

2.1 Området



Figur 1: Plassering av Breivika Havn



Figur 2: Oversikt over Breivika Havn og omliggende områder. Breivika Havn er markert i rødt.

Brevika Havn er en av tre hovedhavner i Tromsø, og er lokalisert nordøst på Tromsøya. Over området ligger Universitetssykehuset Nord-Norge (UNN) og Universitetet i Tromsø (UiT) Norges arktiske universitet. Brevika Havn er en service- og ventekai, og her kan lastefartøy, fiskefartøy, cruiseskip og offshorefartøy ta i land (11). Områder på havna er i dag inngjerdet, grunnet ønske om økt sikkerhet (12). Gjerdet er vist i figur 3.

Området er i dag også et industriområde, med blant annet store lagerhus.

Ifølge Seksjon for vann og avløp er det ikke andre planer for utbygging enn infrastruktur på det aktuelle område på Brevika Havn.

Sør på Brevika Havn ligger Brevika avløpsrenseanlegg. Det ble bygget i 2003, og er et kommunalt renseanlegg med mekanisk rensing (13 s. 64). Renseanlegget befinner seg i dag ved rundkjøringen hvor Erling Kjeldsens veg (Tverrforbindelsen) møter Brevika Havn. Det er hit avløpsvannet fra Brevika Havn går, samt fra ovenforliggende bebyggelse.

2.2 Prosjektets avgrensning

2.2.1 Områdeavgrensning

Prosjektet er begrenset til en del av Brevika Havn i Tromsø. I sør grenser området mot Tverrforbindelsen, og i nord grenser den med rundkjøringen ved Gimle. I vest grenser området med Stakkevollveien, og i øst med sjøen. Se figur 2 og figur 3. Videre i prosjektet refereres det avgrensa området som Brevika Havn.



Figur 3: Avgrensning av Brevika havn markert med rød, inngjerda område markert som gul.

2.2.2 Personekvivalenter

Det skal i dette prosjektet tas hensyn til personekvivalenter (pe) tilhørende det avgrensede området. Pe som kommer utenfra det avgrensede området skal ikke tas med i dimensjoneringen, da Seksjon for vann og avløp har en annen løsning for dette.

2.2.3 Overvann og vann

Tromsø kommune er fornøyd med dagens overvanns- og vannledninger. Prosjektet vil derfor ikke dimensjonere eller finne løsninger knyttet til overvanns- og vannledningene.

2.3 Eksisterende rørnett



Figur 4: Skisse av eksisterende spillvann og pumpeledning. Rød linje er pumpeavløpsledningen, grønne linjer er spillvannsledninger.

Eksisterende avløpsrør er skissert i figur 4 og rørinformasjon er gitt i tabell 1

Ledningsinformasjonen er hentet fra programmet Gemini VA, se kapittel 4.1.

Type	På figur 4	Posisjon	Material	Dimensjon
Felles pumpeavløpsledning	Rød linje AF1.1	Starter ved rundkjøring på Gimle, slutter ved PA81	Polyeten (PE) PN16	DN315
Felles pumpeavløpsledning	Rød linje AF1.2	Starter ved PA81, slutter i Breivika avløpsrenseanlegg (RA).	Polyeten (PE) PN16	DN355
Spillvannsledning	Grønn linje SP1	Sør i prosjektområdet til renseanlegget	Polyvinylklorid (PVC)	DN160
Spillvannsledning	Grønn linje SP2	Fra sør i prosjektområder til PA81	Polyvinylklorid (PVC)	DN160
Spillvannsledning	Grønn linje SP3	Fra vest i prosjektområder til PA81	Betong	DN300
Spillvannsledning	SP4	Fra nord i prosjektområder til PA81	Polyvinylklorid (PVC)	DN160

Tabell 1: Ledningsinformasjon for eksisterende rør

En felles pumpeavløpsledning går gjennom prosjektområdet med en overgang ved PA81. Inn på denne pumpeavløpsledning kommer det i dag avløp fra sykehuset og en del av universitetet, i tillegg til avløp og fremmedvann fra Breivika Havn. Denne ledningen er tett.

På prosjektområdet er det også fire spillvannsledninger med selvfall, som abonnentene kobler seg på. SP1 går alene sør på prosjektområdet til renseanlegget, mens lenger nord møtes de tre andre spillvannsledningene, SP2, SP3 og SP4, som går inn til avløpspumpen, PA 81. PA 81 pumper spillvannet til felles pumpeavløpsledning. Spillvannsrørene er ikke tette.

På prosjektområdene finnes det i tillegg private stikkledninger. Disse er også en kilde til sjøvannsinnekkning. Per dags dato har disse en alder fra 2 - 41 år. Stikkledningene er ikke tatt med på figur 4, da nøyaktig plassering ikke er relevant for prosjektet.

Vann- og overvannsledningene går hovedsakelig i samme grøft som pumpe- og spillvannsledningene.

I dette prosjektet blir ingen eksisterende rør fjernet.

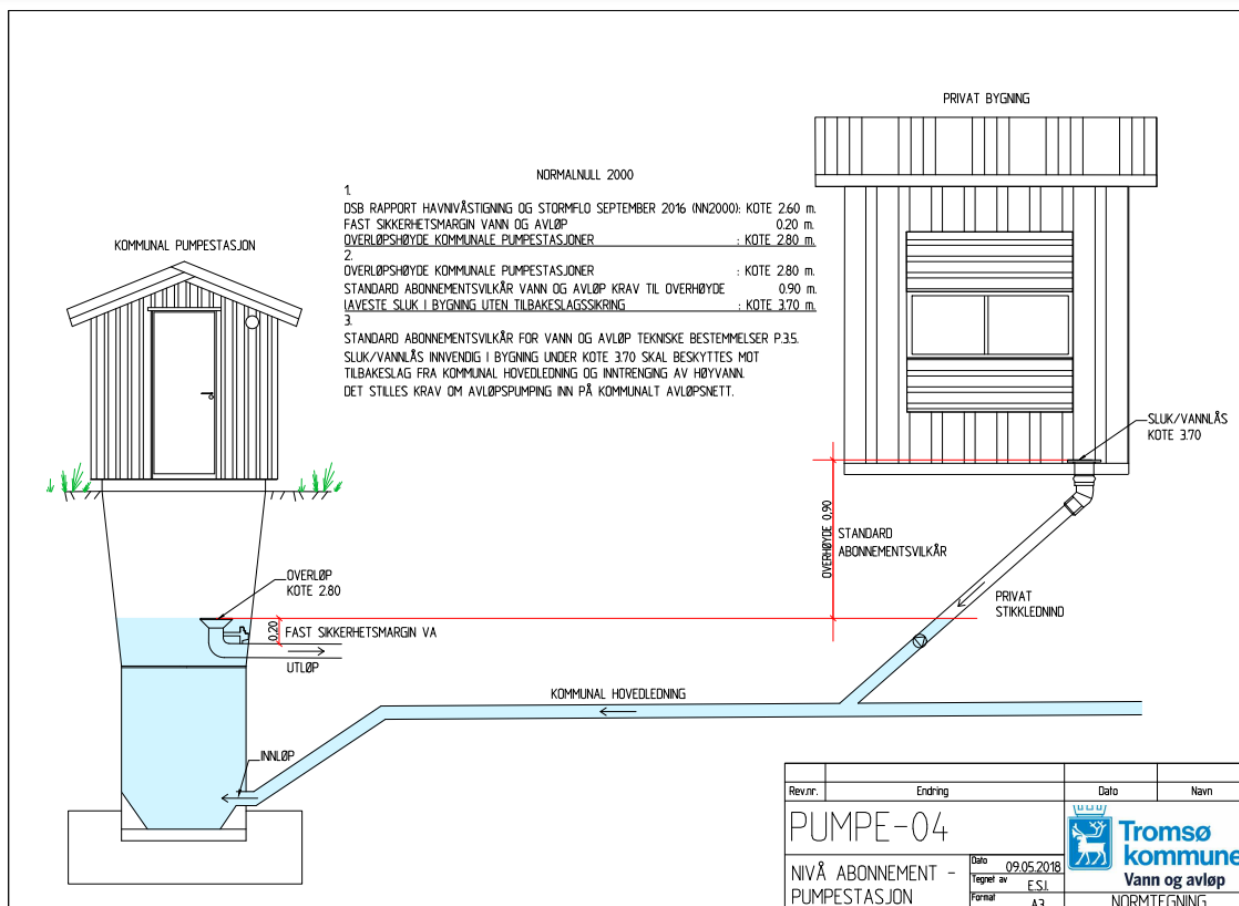
2.4 Annet

I en samtale med Seksjon for vann og avløp kommer det fram at bensinstasjonen, Circle K, skiller seg ut i forhold til spillvannsmengde. Årsaken til den store mengden stammer fra tilbudet om bilvask. Havna hotell har også en større spillvannsmengde enn resten av bedriftene på Breivika Havn. Forskjellen er at mengden ikke er like stor som Circle K sitt, og er i tillegg forventet verdi for et hotell.

3 VA-teori

3.1 Laveste sone

Laveste sone er en definert kotehøyde for å unngå vann inn i laveste etasje i bygg. Det er et begrep som har blitt innført av Tromsø kommune, på grunn av det økende havnivået. Innen år 2100 skal havnivået i Tromsø kommune stige fra 2,05 moh. til 2,60 moh. (NN2000) ifølge Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) (14). Dermed må overløpsledninger fra pumpestasjoner ha en kotehøyde på minimum 2,60 moh. Det er vanlig å legge på en sikkerhetsmargin på 0,20 m slik at kotehøyden da blir 2,80 moh. Standard abonnentkrav er 0,90 m overhøyde, og dermed bør laveste sluk i bygg være høyere enn 3,70 moh. Når bygg befinner seg under denne kotehøyden, ligger det i laveste sone. (15). Se figur 5.



Figur 5: Nivå abonnent - pumpestasjon for laveste sone (16)

Befinner et område seg i laveste sone stilles det særskilte krav. Tromsø kommune stiller blant annet disse kravene: (15) (17)

- Overløpshøyden i avløpspumpestasjoner må være 2,8 moh. (NN 2000) eller større og føre til sjø. Denne høyden inkluderer en sikkerhetsmargin på 0,2 m.
- Bygg med laveste sluk lik eller under 3,7 moh. må pumpe inn på kommunalt nett.
- Hvis overløpshøyden i avløpspumpestasjoner er lavere enn 2,6 moh. (NN 2000), skal spillvannet leveres til en fordrøyningstank, og ikke ut i sjøen.
- Ved å anlegge nye pumpestasjoner i laveste sone skal det utføres en risiko og sårbarhetsanalyse (ROS), for å redusere overløpsdrift.
- Trykkavløp er foretrukket system.

3.2 Fremmedvann

Tromsø kommune har definert fremmedvann som «*alt vann som er tilført spillvannsnettet eller avløpsrenseanlegget som ikke er spillvann fra forbrukere eller næringsvirksomhet eller overvann tilført avløp fellessystem*» (1 s. 4). Det er denne definisjonen prosjektet bruker. Eksempler på fremmedvann er sjøvann.

Norge har en stor andel fremmedvann i avløpsnettet i forhold til andre land, noe som er et kjent problem for mange norske kommuner. Med kommende klimaendringer er det viktig å lokalisere hvor fremmedvannet kommer fra, slik at det kan utføres tiltak for å frigjøre kapasitet i ledningsnettet, i pumpestasjoner og i avløpsrenseanlegg (18 s. 33).

Med fremmedvann i avløpsnettet er det utfordrende å rense avløpsvannet. Fremmedvannet fortynner avløpsvannet, og da blir det vanskeligere å fjerne partikler under rensing. I tillegg er salt utfordrende for avløpsrensing, da det fungerer som løsemiddel på alle fellingsreaksjoner. For en bedre renseseffekt, kreves det økte kostnader for oppdimensjonering og drift, samt å beskytte ledningsnettet for fremmedvann (19 s. 2). (20)

3.3 Vær og klima

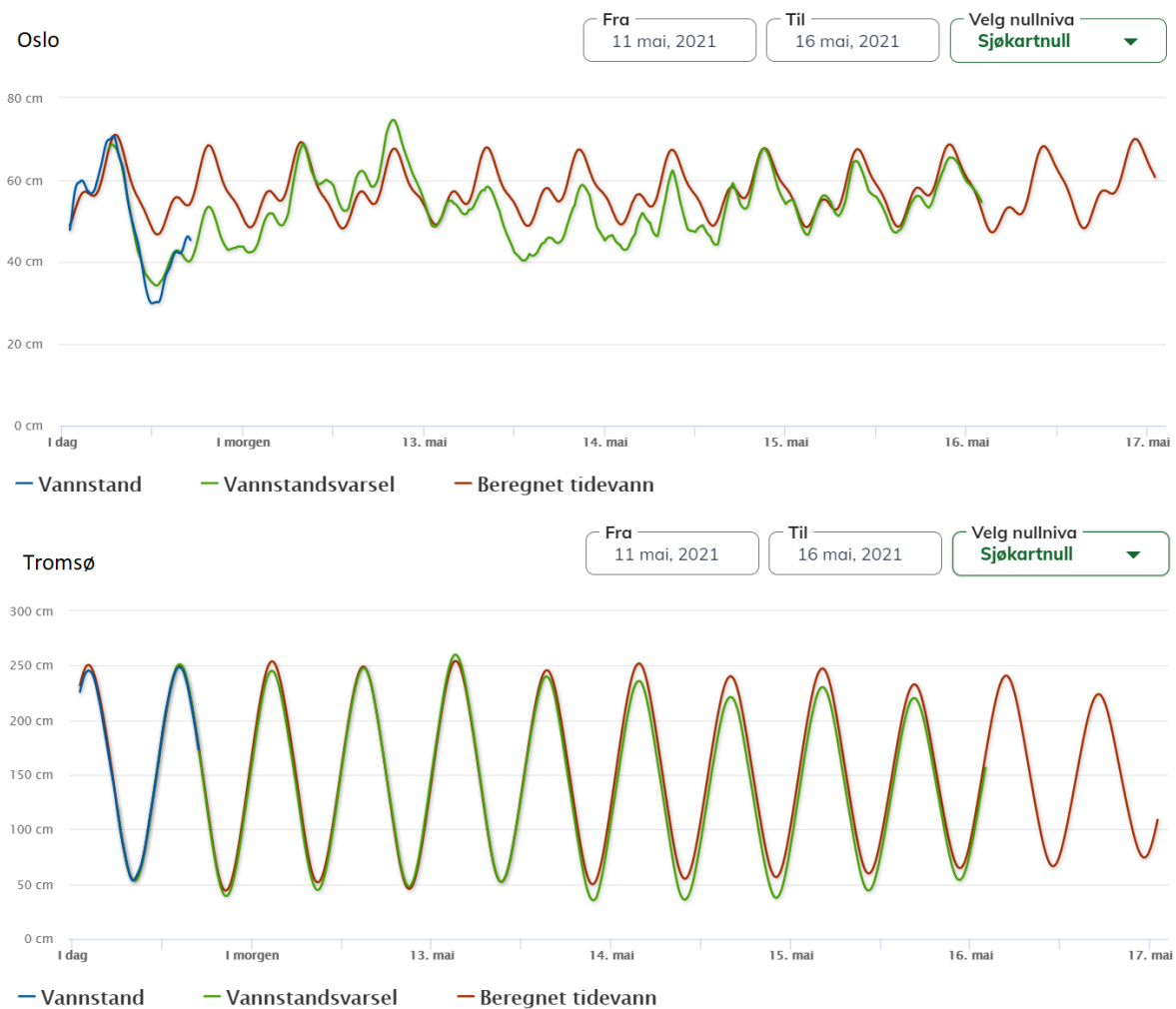
Dagens rørnettverk er avhengig av vær og klima. Rørmaterialene må tåle krefter og temperaturer, og overvannsledningene må være store nok til regnvann. Når det legges rør i dag, må de ha en levetid på minst hundre år (21 s. 1). Derfor er det viktig å vite hvordan været forandrer seg. Forskning innenfor dette er utført av Klimaservicesenter, som har rapporter for hvordan klima er i fylkene i 2100.

I dag kjennetegnes Troms sitt klima av en mild og nedbørrik kyst. I løpet av århundre forventes det at årstemperaturen økes med 5 grader. Konsekvensen av dette blir varmere vintre, som betyr mer regn og mindre snø. Det positive er at det blir mindre snøsmelting, i dag er det vanlig at den største flommen er snøsmelteflom. (22 s. 4)

Til tross for dette fører temperaturstigningen til mer negative konsekvenser enn positive. Økningen gir mer ekstremvær og framover vil regnet komme hyppigere og mer intenst. Problemet med dette oppstår når regnet treffer tette flater, som tak og asfalt, og deretter renner inn i avløpsfellesledninger. Dette betyr at renseanlegget må unødvendig rense regnvann. (22 s. 5)

3.3.1 Flo og fjære

Variasjon i vannstanden i havet kalles flo og fjære. Dette skyldes tidekrefter som skapes av månen og sola. Når vannstanden er på sitt høyeste er det flo, også kalt høyvann. Motsatt er fjære, eller lavvann. Flo og fjære forekommer to ganger om dagen. Differansen på vannavstanden forandrer seg gjennom året, men vi har målinger som kan gi en forventning til kommende vannavstand (23). Denne faktoren gjør det vanskeligere å dimensjonere og drifte rør ved kysten. I Tromsø kommune er differansen mellom flo og fjære ekstra stor, da kommunen er lokalisert langt nord i landet (24). Se figur 6.



Figur 6: Tidevann i Oslo og i Tromsø (95)

3.3.2 Stormflo

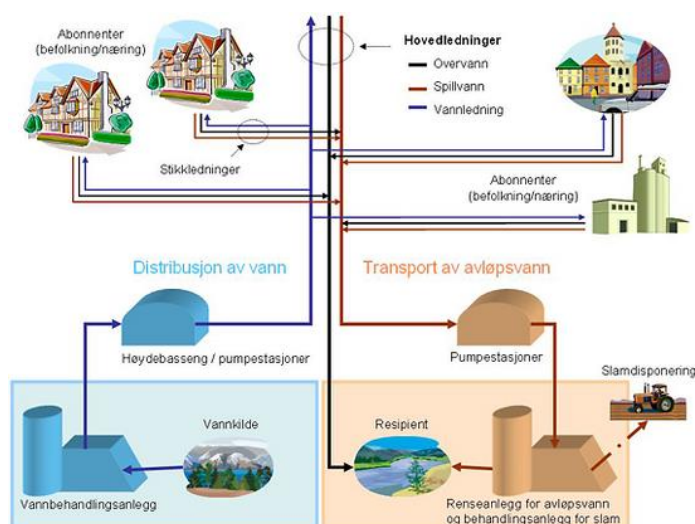
Stormflo skapes når vind og lavt lufttrykk gjør at vannstanden blir høyere enn ved vanlig flo. Dette kan gi store konsekvenser og påføre enorme kostnader (22 s. 5). Framover vil stormflo forekomme hyppigere og høyere. Dette er en konsekvens av det kommende ekstremværet og det stigende havnivået (25). Innen år 2100 antas det at havnivået i Tromsø kommune vil stige med 55cm (14 s. 34), og denne beregningen er tatt hensyn til havstigning og landheving. Høyere havnivå vil også gi høyere stormflo.

3.4 Avløpssystemer

Avløpssystemer skal sørge for trygg transport av avløpsvann fram til et renseanlegg eller annen godkjent behandling. Altså skal det forhindre at avløp renner ut i sjøområder, vassdrag, og stedlige masser, samt forhindre miljøskader. (8)

Avløpssystemer skilles først og fremst i separatsystem og fellessystem. Den vanligste er fellessystem, og vil si et system med en ledning som tar både overvann og spillvann. En utfordring med denne metoden er at overvann blir unødvendig renset. I tillegg gjør blandingen det vanskeligere å rense spillvann. I 2016 var det kun 55% av befolkningen som var tilknyttet et renseanlegg som oppfylte rensekravene. Det antas at en ombygging til separatsystem vil øke denne verdien (26). (27)

Separatsystem deler vannmengdene i to separate ledninger, se figur 7. Dermed sendes kun spillvannet til rensing og overvannet til direkte vannforekomst (27). Det er et mer krevende system enn fellessystemet da det setter krav til to ledninger, og alle rør fram til renseanlegget må være separert for å få ønsket effekt. Dette er et problem i dag, da mange separatsystem er koblet med fellessystem.



Figur 7 Prinsippkisse separatsystem (94)

3.4.1 Selvfallsystem

Et selvfallsystem er rør med fall, som enten ender i en pumpestasjon eller et renseanlegg. I dag er dette den vanligste metoden for å transportere spillvann i Norge. Det betyr at det er mye erfaringer og kunnskap med metoden. Utfordringene til metoden er store høydeforskjeller og fremmedvann. Hvis terrenget ikke er jevnt, brukes det ekstra kostnader på mellom- og overføringspumpestasjoner. Fremmedvann trenger lettere inn i selvfallsledninger, som setter større krav til dimensjoner for å håndtere økt volum. I tillegg kan grøftkostnadene til ledningstraseen bli svært høye da ledningene er avhengig av et stabilt fundament og frostfri dybde. (28 s. 3)

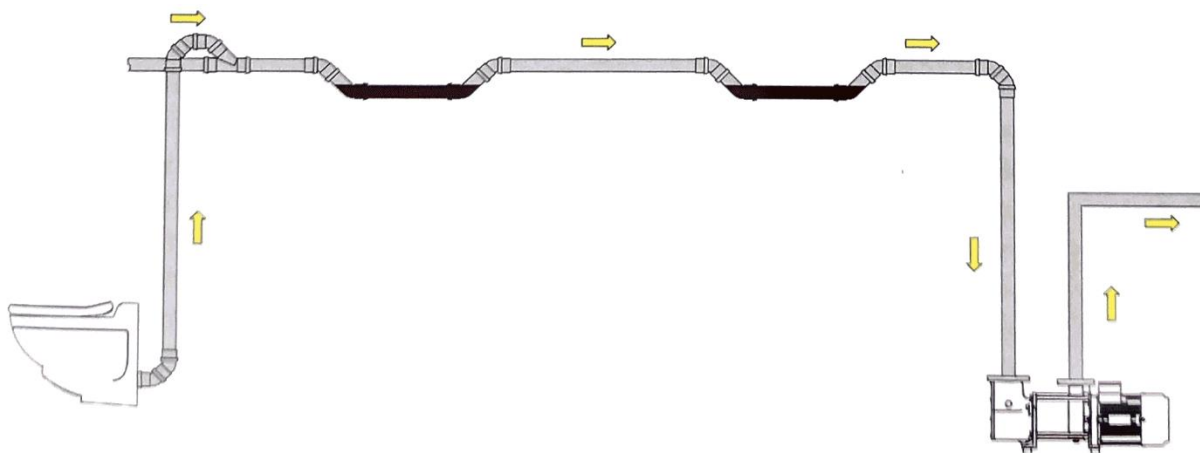
3.4.2 Trykkavløp

Ved trykkavløp har hver abonnent en egen pumpestasjon som kverner spillvann til mindre partikler. Videre pumpes spillvannet ut til ledningsnett, som kan ha mindre dimensjoner på grunn av kverningen. Når det er pumper på hver stikkledning bli det trykk i hele systemet, og dermed enklere å håndtere variasjon i terrenget. Trykket gjør også at sjøvann vanskeligere kommer inn i rørene, samtidig som spillvann ikke lekker ut (28 s. 5). I tillegg krever trykkavløp lite vedlikehold (29).

En stabil strømtilførsel er mer kritisk for et trykkavløpsystem enn et selvfallsystem, da et selvfallsystem har ingen eller færre pumper. Systemet har også ulemper ved luktproblematikk grunnet høyere sannsynlighet for lang oppholdstid. (28 s. 4)

3.4.3 Vakuumsystem

En tredje metode er vakuumsystemer. Dette benyttes vanligvis på skip, tog, og fly, men det har blitt mer populært å bruke systemet på land. Systemet bruker nivåforskjeller i lufttrykk enten ved bruk av pumpe eller rørkonstruksjonen som vist i figur 8. Vakuumsystemet benytter luft til å transportere i stedet for vann. Altså har systemet et mye lavere forbruk av vann og større muligheter for utnyttelse av avløp. (30)



Figur 8: Vakuumavløpssystem (6 s. 849)

For å installere et vakuumsystem må alle rør, samt installasjoner som do og vask, fornyes slik at det tilpasses vakkumsystemet. I tillegg er teknologien ny på land, og det er dermed mindre erfaring med metoden. Dette kan være negativt fordi det er en risiko for at ikke alle ulemper er kartlagt.

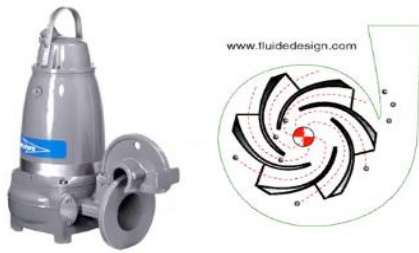
3.5 Pumper

En pumpe øker trykket i en væske og sørger for transport (31). Det er mange forskjellige pumpetyper for ulike formål.

3.5.1 Sentrifugalpumper

Dette er den mest brukte pumpetypen i prosessindustrien, og den har fått sitt navn etter hvordan den øker trykket i væsker. Dette gjøres med en impeller som skaper sentrifugalkraft ved å rotere. Se figur 9. Impelleren mottar væsken i et innløpsparti og deretter sender væsken videre ut av hjulet. Sentrifugalpumper er holdbare og driftssikre, og har i tillegg stor kapasitet i forhold til størrelse (32)

Kvernpumpe er en type sentrifugalpumpe og benyttes ofte i trykkavløpsnett. Den inneholder en kverne som kutter og maler avløpet. Dette gjør at væsken nå kan renne i mindre rør (33).



Figur 9 Sentrifugalpumpe og skovlhjul (97) (43)

Kvernpumper har en jevn pumpekurve som betyr at den har større kapasitet, men mindre trykkreserve (34). Se eksempelkurve i figur 11.

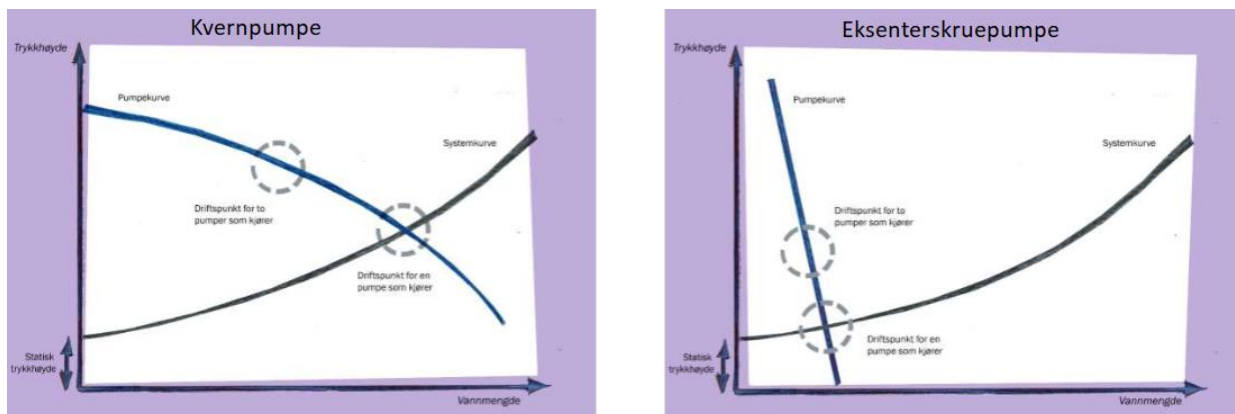
3.5.2 Fortrengerpumper

Fortrengerpumper benyttes ved små volumer og store trykkehøyder. Pumpen forflytter væske, og produserer trykk ved å øke og minke volumet (35). I tillegg er den uberørt av mottrykk, og er vanlig tatt i bruk ved pumping av slam (33). Pumpen har mer driftskostnader, men mindre pulsasjon enn sentrifugalpumpa.

For å benytte en kvernfunksjon med fortrengerpumper benyttes det eksenterskruepumper. Disse er konstruert med en pumpeaksel som minner om en skrue. Se figur 10. Den har en bratt pumpekurve som betyr at den har mindre kapasitet, men høyere trykkreserve (34). Se eksempelkurve i figur 11.



Figur 10: Eksenterskruepumpe og pumpeaksel (36) (37)



Figur 11: Eksempelpumpekurve for kvern- og eksenterskruepumpe (34) (redigert bilde)

3.6 Dimensjoneringsgrunnlag

3.6.1 Spesifikk vannmengde

Spesifikk vannmengde, Q_s , er det vannforbruket en person har i løpet av et døgn. I Norge går nesten alt drikkevannet videre til avløpsnett. Det eneste vannet som ikke går direkte til avløpsnett er vann som blir brukt utendørs, slik som for eksempel vanning av plen og vasking av bil (38). Dermed antas at forbruket av drikkevann til en person er lik avløpsmengden. (6 s. 376)

3.6.2 Beregning av personekvivalenter

En personekvivalent (pe) er ifølge forurensingsforskriften definert som «Den mengde organisk stoff som brytes ned med biokjemisk oksygenforbruk målt over fem døgn, BOF_5 , på 60 g oksygen per døgn» (39). Pe er med andre ord mengden utslipp per person per døgn.

I NS 9426 «Bestemmelse av personekvivalenter (pe) i forbindelse med utslippstillatelse for avløpsvann» oppgis en tabell for spesifikke verdier for BOF_5 -mengder i forhold til ulike typer virksomheter. Verdiene er basert på største ukentlige mengde. Se tabell 2.

Ifølge forurensingsforskriften er 1 pe lik utslippet til 1 fastboende person, da 1 person slipper ut 60 gram BOF_5 per døgn. Ved å ta utgangspunkt i dette, er det mulig å finne en omregningsfaktor. Se tabell 2.

Type virksomhet	Enhet	Antall gram BOF ₅ per døgn og per enhet	Omregningsfaktor
Fastboende	1 person	60	1,00
Skoler	1 elev	18	0,30
Arbeidsplass	1 yrkesaktiv	24	0,40
Sykehus, pleiehjem og andre helseinstitusjoner			
a) Med eget vaskeri	1 utnyttet sengeplass	72	1,20
b) Uten eget vaskeri	1 utnyttet sengeplass	60	1,00
Hotell, pensjonat			
a) Høy standard	1 utnyttet sengeplass	72	1,20
b) Midlere og lav standard	1 utnyttet sengeplass	60	1,00
Restauranter, kafeer	1 stol	15	0,25

Tabell 2: Omregningsfaktor for ulike virksomheter basert på BOF₅-mengde. (40)

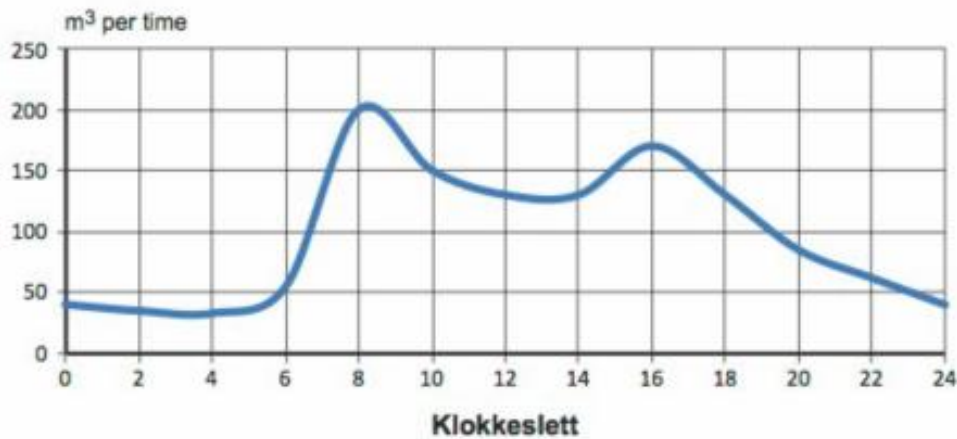
For videre beregninger fastsettes hvor mange som tilsvarer de ulike kategoriene.

Omregningsfaktoren multipliseres med for eksempel antall yrkesaktive, hvis det var snakk om å finne pe for et kontorbygg.

3.6.3 Variasjoner i døgnet

Det er naturlig med variasjoner av spillvannsavgrensninger fra døgn til døgn og gjennom døgnet.

For et boligområde er det vanlig med bortimot null vannforbruk om natten, for at det så tar seg opp om morgenen. Ut over dagen avtar forbruket, og en ny topp kommer på ettermiddagen når folk kommer hjem fra arbeid. Forbruket holder seg jevnt utover kvelden, for så en liten ny topp når man går og legger seg, se figur 12. For et industriområde vil det være betydelig mindre vannforbruk på ettermiddag og kvelden, og større forbruk midt på dagen da folk er på arbeid. (6 s. 196)



Figur 12: Eksempel på forbrukervariasjonen over et døgn for et boligområde (6 s. 196)

Det er dermed behov for forholdstall som regulerer for dette i dimensjoneringen: (41)

- *Maksimal timefaktor, k_{maks}* : Maksimal timefaktor er forholdet mellom maksimal timeavrenning i døgnet og gjennomsnittlig time i gjennomsnittdøgnet.
- *Minimal timefaktor, k_{min}* :
- *Maksimal døgnfaktor, f_{maks}* : Forholdet mellom maksimal døgnforbruk og gjennomsnittlig døgnforbruk i året.
- *Minimal døgnfaktor, f_{min}*

3.6.4 Selvrens

Det er nødvendig at spillvannsledninger er selvrensende i minst en time hvert døgn.

Spillvannet inneholder stoffer som kan sedimentere og dermed hope seg opp i ledningen. Det er dermed viktig at disse stoffene blir transportert til renseanlegget. (6 s. 406). Det er dette en angitt minimum hastighet sikrer. Ved for høye hastigheter vil det lette vannet med små partikler presse seg av gårde, og vannet med store partikler (tungt vann) vil bli igjen. I tillegg gir store hastigheter høyere friksjonstap og er lite energieffektivt i forhold til en eventuell pumpe. Dette unngås ved en maksimal hastighet. (42)

For avløpssystemer drevet av selvføll oppstår selvrens ved minimumsvannmengde ($Q_{selvrens}$).

Det er nødvendig at $Q_{selvrens}$ opptrer minst en time i døgnet. Når denne opptrer vil det være en skjærspenning langs bunnen av røret på 2 – 4 N/m², og vannhastigheten vil være mellom 0,6 m/s og 0,8 m/s. (6 s. 406)

For trykkavløpsystem er selvrensende hastigheter mellom 0,7 m/s til 1,1 m/s. Ved 0,7 m/s vil systemet unngå sedimentering, og ved 0,9 m/s blir også gassdannelsen transportert bort. Det er dermed ønskelig å ha selvrensende hastigheter mellom 0,9 og 1,1 m/s. (43)

For vakuumsystemer er det selvrens i systemet ved hastigheter på 4,5m/s til 6 m/s. (44)

Oppnås ikke selvrens er det vanlig med tiltak, for eksempel spyling av ledningene. (6 s. 406)

3.6.5 Rørruhet

Rørruhet vil si friksjonsmotstanden fra ensartede korn i rørmaterialet (6). Anbefalte verdier for ruhet er vist i tabell 3. Det dimensjoneres for mest ugunstig situasjon, derfor velges den største verdien i tabellen avhengig av materialet.

Nye plastrør betraktes å være hydrauliske glatte og ruheten er derfor i teorien tilnærmet null. Til tross for dette, antas det at skjøter og innvendig belegg øker ruheten. I tillegg dannes det også en kloakkhud over i tid i trykkrør for spillvann. (45 s. 5)

Betong og støpejern er grovere materialer enn plast, og har derfor høyere ruhet enn plast.

Ledningsmaterialet	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/betongforing	0,3	0,5

Tabell 3: Ruhet for ledningsmaterialer (6 s. 82)

3.7 Materialer

Det finnes flere materialer for rør. Valget av materiale er avhengig av egenskaper, pris, og tilgjengelige dimensjoner.

3.7.1 Plast

Polyeten (PE) er en type plastrør og kan produseres som et trykkrør og trykkløse. Materialet har svært god slitastjemetstand, har god fleksibilitet, og tåler godt både laster og lave temperaturer. PE har svært gode skjøteegenskaper og kan dermed bli helt tett når dette utføres korrekt. I tillegg er materialet svært korrosjonsbestandig. Ved høye temperaturer utvider PE-røret seg da det har høy temperaturutvidelseskoeffisient (21).



Figur 13: Trykkrør av PE (85)

Polyvinylklorid (PVC) er en annen type plastrør. PVC finnes både som trykkrør og som trykkløse rør. Materialet har god formbestandighet og høy elastisitetsmodul, noe som gjør at det holder formen sin over tid. I tillegg blir materialet tett ved korrekt skjøting. PVC er lite motstandsdyktig mot lave temperaturer, da den blir sprø. Da vil den heller ikke tåle slag spesielt godt. (46)



Figur 14: PVC rør (86)

Polypropylen (PP) er også en type plastrør. PP er trykkløse rør. Fordeler med rørmaterialet er at det tåler lave temperaturer godt, samt svært høye temperaturer over en kort tidsperiode. Materialet er også svært korrosjonsbestandig, har god fleksibilitet, og tåler godt slag. Derimot har PP lett for å endre form over tid, og har stor lengdeutvidelseskoeffisient ved temperaturendringer. (47)



Figur 15: PP rør (87)



Figur 16: GRP rør (84)

Glassfiberarmert herdeplast (GRP) er også et plastrør, og finnes både som trykkør og trykkløse rør. Materialet er svært korrosjonsbestandig, tåler svært godt lave temperaturer og har god styrke. I tillegg blir GRP tett ved korrekt legging. GRP har gode langtidsegenskaper, men tåler ikke punktlaster godt, samt skades lett ved støt og slag. (48).

Materialet brukes i dag i store dimensjoner (>DN300), da det er da materialet blir økonomisk konkurransedyktig (6 s. 510).

3.7.2 Betong

Betong er et av de mest brukte rørmaterialene i Norge, spesielt i større avløpsledninger (>DN400) (6 s. 507). Betong finnes både som trykkør og som trykkløse rør. Materialet har en stor mekanisk styrke og tåler dermed store laster. I tillegg har betong stor slitasjemotstand og tåler alle temperaturer godt. Ved overbelastninger og slag vil det derimot danne sprekker. Skal betong ligge i vann må det beskyttes mot korrosjon. Da brukes spesialsement eller tilsetningsstoffer i betongen. Hva som velges er avhengig av pH-verdien i omgivelsene. Ved mistanke om mulig korrosjon på grunn av omgivelsene skal rør med dokumentert korrosjonsmotstand brukes. (49)

Røret kan også beskyttes mot innvendig korrosjon ved hjelp av beleg. Beskyttelsesbelegget kan være av epoksy, lateks, og bitium. Også foring av for eksempel PE kan brukes som beskyttelse. (49)



Figur 17: Betongrør (82)

Betong egner seg heller ikke til bruk hvor oppholdstiden i røret er lang og uten tilgang på oksygen. Da dannes hydrogensulfid som igjen reagerer med oksygen, og danner svovelsyre (H_2S). Svovelsyre er ødeleggende for betongen, i tillegg til at den er svært helseskadelig. (6 s. 515)

3.7.3 Duktilt støpejern

Duktilt støpejern er trykkrør. I likhet med betong, har duktilt støpejern stor mekanisk styrke og tåler dermed laster svært godt. Materialet tåler også godt både høye og lave temperaturer, og har et godt utvalg av dimensjoner. Duktilt støpejern har lett for å korrodere, og må



beskyttes mot korrosjon ved hjelp av belegg både innvendig og utvendig. Utvendig må minst ett belegg av sinkholdig materiale brukes, men det kan også bruke et belegg av PE, eller polyuretan (PUX). Innvendig brukes plastbelegg av PE, PUX eller epoxy, eller belegg av sementmørtel. Ubeskyttet rør av duktilt støpejern vil alltid korrodere i kontakt med vann, og det er derfor viktig med beskyttelse. Ligger røret i områder med fyllingsmasser, omfyllingsmasser med oppgravde blandingsmasser, eller i saltvannssoner vil det av erfaring gi økt korrosjon. (50)

Figur 18: Rør av duktilt støpejern (83)

3.8 Fornyning av rør

Fornyning av rør er å erstatte eller forbedre rør som allerede finnes i bakken. Ofte fornyes rør grunnet alder eller skader. Det er i dag kommunene som eier de aller fleste vann- og avløpsrørene, og som loggfører egenskaper og historikk til rørene (6 s. 535). Hvilke rør som blir fornyet er avhengig av kommunens økonomi og rørets alvorlighetsgrad. Alvorlighetsgrad avhenger av tilstandsklasse. Tilstandsklassene varierer fra S1 – S5, hvor S1 er meget god og S5 er ubrukelig (6 s. 531). Det finnes i dag flere ulike metoder for å fornye rør, uavhengig om det er ønskelig å grave opp grøften eller ikke.

Det er mulig å fornye rør ved å fysisk grave opp traséen. Dette er ideelt om det er behov for fysiske forbedringer i grøften, som for eksempel å forbedre fundamentet, eller å kutte røtter som ødelegger rørene. Ved ønske om å gå opp flere dimensjoner fra de eksisterende rørene, er det også nødvendig å grave opp hele traséen.

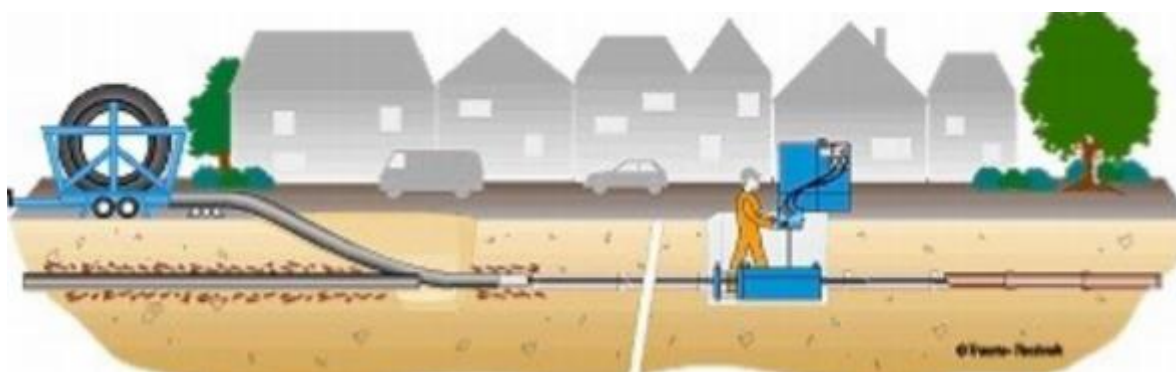
NoDig er metoder hvor man ikke behøver å grave opp hele traséen. Siden dette unngås, reduseres også maskinbruk og arbeidskraft. Dette gjør det billigere, tidsbesparende og mer klimavennlig da det er mindre CO₂-utslipp, mot å fysisk grave opp traséen (51). Det finnes flere slike NoDig-metoder. I avsnittene under er to metoder beskrevet.

Er det behov for å sikre strukturen til det gamle røret kan strømperenovering utføres. Strømperenovering er en NoDig-metode. Strømpen er av glassfiber (armert) eller filt (uarmert), og denne festes i enden av røret og vrenses inn med enten vanntrykk eller lufttrykk. Deretter fører man varmt vann, damp eller ultrafiolett lys gjennom slik at strømpen herder. Ved strømperenovering vil dimensjonen reduseres da det gamle røret ikke ødelegges. (52). Ved strømperenovering trengs det i utgangspunktet ikke å graves noe, da man kan gå ned med strømpen i kummer (53). Se figur 19.



Figur 19: Strømperenovering med lufttrykk (51)

Utblokking er en annen NoDig-metode for å sikre strukturell styrke. Ved denne metoden ødelegges det gamle røret, og dermed er det mulig å utvide dimensjonen til det nye røret noe. Metoden gjennomføres ved at et utblokkingshode med vibrasjoner går gjennom det gamle røret. Ved utblokking kan PE på kveil, PE eller PP med strekkfaste skjøter eller duktile støpejernsrør med strekkfaste skjøter. Disse må som regel ha en form for beskyttelse på seg slik at de ikke tar skade når de trekkes gjennom traséen. (6 s. 542). Metoden krever plass til innføring av røret. Dette krever noe graving, se figur 20 og figur 21.



Figur 20: Utblokking (6 s. 542)

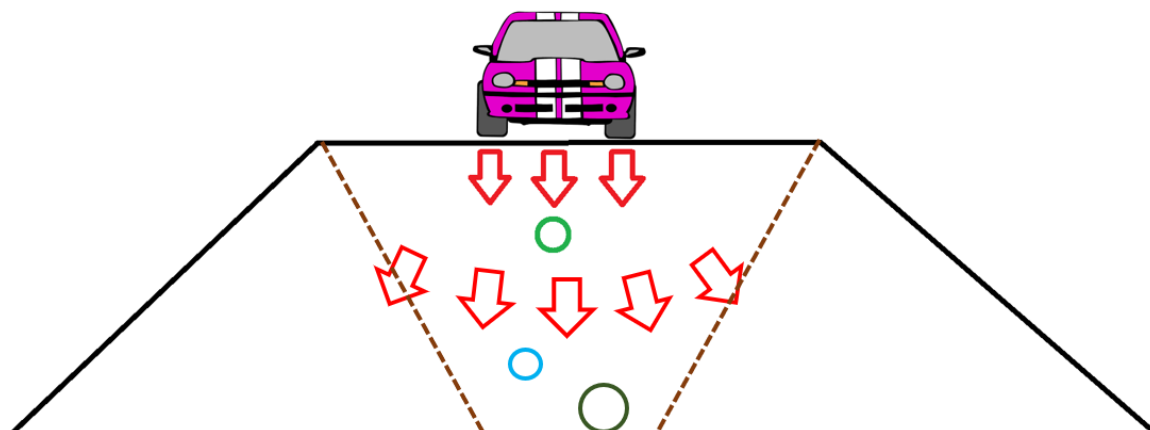


Figur 21: Utblokking krever plass til innføring av røret (53)

3.9 Grøfter

Det er to grøftemetoder som er vanlig å benytte. Den første er grøftedybde ned til frostfri dybde. Denne dybden gjør at rørene ikke fryser, og det er da ikke behov for isolasjon. I Tromsø så er dette mellom 2,0m og 2,5m (17 s. 23). Grøftemetoden krever mellomlagring av masser (54 s. 2).

Den andre metoden er grunne grøfter. Denne metoden krever mindre graving, og kan av den grunn være mer lønnsomme. I tillegg gir det mindre klimagassutslipp og er mer skånsomt mot terrenget. Det er også mulig å kombinere grunne grøfter med strøm og fiberkabel (55 s. 13). Ulempen med grunne grøfter er at det blir mer belastning på rørene. Dette kommer av at rørene er nærmere trafikken og blir påført krefter av lasten, se figur 22. Rør i frostfri dybde får påkjenning fra jordmassene dersom rørene ligger for dypt og dette må derfor kontrolleres (56 s. 1).



Figur 22: Krefter som blir fordelt ned i ei grøft

3.10 Isolasjon

For at rørene ikke skal fryse ved minusgrader, er det behov for isolering. Dette må benyttes dersom rørene ikke ligger i frostfri dybde (57 s. 35). En metode som benyttes er preisolerte rør. Slike produkter leveres av flere bedrifter, og rørene er da ferdig isolert fra leverandøren og kan tas i bruk som ved vanlige rør. Metodene brukt av leverandører er ofte trekkør og varmekabel. (58)

Det finnes også isolasjonskasser. Dette er kasser som inneholder sand og varmekabel. Kassene er laget av ekstrudert plast (59). Metoden minimerer kostnader for graving, men det kan være utfordrende å plassere kassene, noe som gir høyere anleggskostnader (42). Se eksempel i figur 23.



Figur 23: Eksempel på preisolert rør og isolasjonskasse (58) (57)

3.11 Koblinger



Figur 24: Y-kobling (venstre, rød ledning)

og T-kobling (høyre, blå ledning). (60 s. 16)

Y-koblinger og T-koblinger er vanlig å benytte i tilkoblingspunktet mellom hovedledningen og stikkledningene. Eksempel i figur 24 for. Ved høye hastigheter er en Y-kobling å foretrekke, da dette gir svært gode hydrauliske forhold. Under montering er det svært viktig at koblingen ikke blir montert feil, da dette kan bli kritisk for funksjonen til systemet, spesielt hvis flere pumper er involvert. En T-kobling gir gode hydrauliske forhold ved lave hastigheter (1,5 m/s og lavere). I tillegg er en T-kobling økonomisk og tilgjengelig, da disse er mye brukt. (57 s. 17) (60 s. 16)

4 Programvarer

For å simulere og visualisere én løsning blir det benyttet ulike programvarer.

4.1 Gemini Portal

Gemini Portal er en webløsning som gir tilgang til vann og avløpsdata i sanntid. Løsningen henter data fra Gemini VA. Gemini VA dokumenterer vann- og avløpsnett, og registrerer dermed ledninger for vann og avløp, samt kummer, sluker, pumpestasjoner, overløp og liknende. Både Gemini Portal og Gemini VA er det Powel som står bak. I dag er Powel en del av Volue. (61) (62)

4.2 EpaNet

EpaNet er et simuleringsprogram. Programmet er utviklet av Environmental Protection Agency (EPA), og er en offentlig programvarepakke for modellering av trykkrør. Her benyttes noder, rør, pumper, tanker og reservoar. (63)

4.3 Novapoint og AutoCAD

Novapoint er en programvare fra Trimble. Programmet er en type bygningsinformasjonsmodellering (BIM), som gir muligheten til å se dimensjonerte løsninger. I tillegg er det mulig å legge inn kartgrunnlag og koordinater. Dette gjør det også mulig å se nøyaktig hvordan terrenget beveger seg. Novapoint benyttes vanligvis av ingeniører som skal prosjektere veier, jernbaner, tunneler, bruer, vann og avløp (64). Dette prosjektet benytter seg av VA-delen av programmet.

AutoCAD samarbeider med Novapoint og åpner opp for flere redigeringsmuligheter. Denne programvaren skisser og automatiserer oppgaver (65).

4.4 Focus VARDAK

Denne applikasjonen utvider AutoCAD og gjør det mulig med detaljprosjektering av vann- og avløpsløsninger. Focus VARDAK har et stort rørbibliotek som gjør det enkelt å visualisere løsninger. Det kan tegnes både i 3D og i 2D. (66)

4.5 Focus Anbud

Et program for utarbeidelse av anbudsbeskrivelser er Focus Anbud. I systemet ligger NS 3420 og prosesskodene og dermed enkelt å benytte seg av. Det er mulig å angi priser for de ulike anbudsbeskrivelsene og til slutt få en sum på prosjektet. (67)

5 Krav til løsninger

Kravene for en løsning for spillvannsnett på Breivika Havn er:

- **Nettet er lokalisert på Breivika Havn**
Nettet må befinne seg inne på Breivika Havn og innenfor områdeavgrensingen.
- **Rørene har nok kapasitet**
Rørene skal ikke være over- eller underdimensjonert.
- **Rørene er tette**
Rørene skal være helt tette, slik at ingen vann kommer ut av eller inn i rørene.
- **Rørene er rene spillvannsledninger**
Rørene er spillvannsledninger, og skal derfor ikke ha innhold fra overvann, drensvann, fremmedvann og liknende.
- **Nettet er motstandsdyktig mot framtidens klima**
Nettet må tåle klimaet om 100 år.
- **Det er enkelt for abonnementene å koble seg på nettet**
Løsningen skal tilrettelegges for abonnentene. For eksempel ved kort avstand til hovedledningen og enkel tilkobling.

5.1 Ønsker fra Seksjon for vann og avløp

Seksjon for vann og avløp har flere ønsker rundt et nytt spillvannssystem på Breivika Havn:

- **Trykkavløp er foretrukket**
VA-normen for kommunen sier at trykkavløp er foretrukket system i laveste sone.
- **Enkel drift og vedlikehold**
Det er et ønske å gjøre drift og vedlikehold enkelt for Seksjon for vann og avløp. Dermed ønskes det å plassere kommunale kummer og pumpestasjoner utenfor gjerdet, da det koster kommunen å komme innenfor.
- **Legge ny hovedledning**
Et ønske er å legge en ny hovedledning, da eksisterende avløpspumpeledning fortsatt skal benyttes av UNN og UiT. En ny hovedledning vil også sikre separasjon av spillvann og overvann.

- **Midlertidig løsning**

Det ønskes en midlertidig løsning for abonnentene. I dette prosjektet er den midlertidige løsningen å fortsette å bruke eksisterende system.

- **Samfunnsforstyrrelser**

Det er ikke ønskelig med lang anleggstid med mye støy og støv.

6 Løsninger

Til sammen er det utviklet fem ulike løsninger. Alle løsningene oppfyller kravet om lokalisering på Breivika Havn, samt har potensiale til å ha nok kapasitet. Felles for alle løsningene er at alle tilkoblinger mellom stikkledning og hovedledninger er T-kryss.

6.1 Løsning 1 – Trykkavløp over eksisterende rør

Løsning 1 innebærer å legge et trykkavløp over de eksisterende rørene. Trykkavløpet blir dermed plassert langs Terminalgata, se figur 25.



Figur 25: Ledning langs Terminalgata

Et trykkavløp over eksisterende rør må graves i en grunn grøft. Ulempen med den grunne grøften er at trykkavløpet plasseres over eksisterende vannledning. Dette kan føre til spillvann inn i drikkevannsrør, noe som er svært uheldig. En løsning på problemet er å grave rørene ved siden av eksisterende rør i frostfri dybde. Det er i midlertidig liten sannsynlighet med innlekkasje av spillvann, da begge rør har trykk. Valget blir derfor grunn grøft.

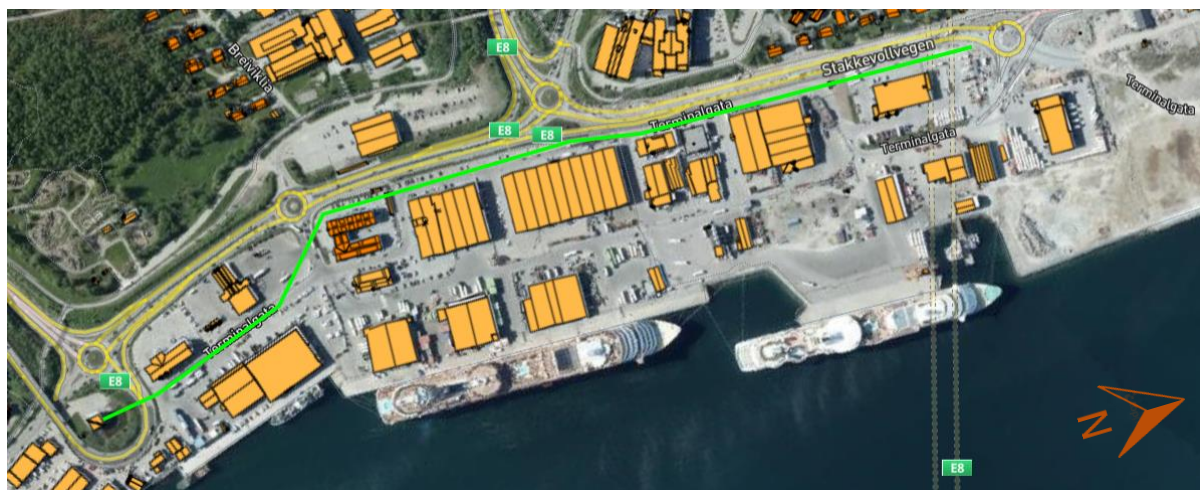
PE, PVC, GRP og duktilt støpejern er aktuelle materialer for trykkavløpsrør. Betong finnes også som trykkrør, men er uaktuell ved trykkavløp på grunn av risikoen for dannelse av svovelsyre. Duktilt støpejern tåler store laster, men har problemer med korrosjon. Det anses dermed som en bedre løsning å gå for et plastrør da disse er korrosjonsbestandige. PE og GRP tåler både trafikklast og lave temperaturer bedre enn PVC. I tillegg kan PE-rør og GRP-rør bli helt tette. Grunnet økte kostnader for små dimensjoner av GRP, anses PE-rør for å være det beste materialvalget ved denne løsningen.

Ved isolering står det mellom isolasjonskasser eller preisolerte rør. Begge er gode alternativer. I samtale med Seksjon for vann og avløp kommer det fram at anleggskostnadene er høye i Tromsø kommune, dermed velges preisolerte rør da kostnadene vil bli mindre.

Hvis trykkavløpet plasseres i Terminalgata blir det rettferdig avstand til hovedledningen, da alle abonnenter får cirka lik avstand. Eksisterende rør kan fortsatt tas i bruk, og abonnentene kan dermed få en behagelig overgang til trykkavløp. Dette er positivt for abonnentene. Ulempen ved denne midlertidige løsningen er at det kan ta tid før alle har koblet seg på hovedledningen, noe Seksjon for vann og avløp ikke ønsker.

6.2 Løsning 2 – Trykkavløp vest for Terminalgata

Løsning 2 er et trykkavløp langs en veg (navnløs) på vestsiden av Terminalgata, som kommer inn på Terminalgata i sør. Se figur 26. Avløpssystemet flyttes da ut av det inngjerda kaiområdet. Dette er imidlertid ikke nødvendig ved trykkavløp, da det er få eller ingen kummer, og lite behov for vedlikehold. Skulle det likevel bli behov for vedlikehold er dette enklere å gjennomføre. I tillegg er det ikke eksisterende rør i store deler av strekningen.



Figur 26: Ledning vest for terminalgata, for så å komme inn på terminalgata

Grøft, materialvalg og isolasjon er lik som løsning 1, grunnet likt avløpssystem.

Den største utfordringen ved løsningen er abonnentene. Bli spillvannssystemet plassert som figur 26, må de fleste abonnentene grave betydelig lengere enn eksisterende stikkledninger. Det er også forskjellige pumpedistanser, da bygninger nærmest sjøen må pumpe lenger enn de som er nærmere veien. Unntaket er abonnentene i sør.

6.3 Løsning 3 – Selvfallsystem

Løsning 3 inneholder et selvfallsystem som plasseres likt som i løsning 2, se figur 26.

Selvfallsystemet plasseres utenfor kaiområdet, da det var et ønske fra Seksjon for vann og avløp.

Det er vanlig å plassere selvfallsledninger i frostfri dybde. Rørene kan også plasseres i grunn grøft, men dette er svært uvanlig (17 s. 37). Spillvannsrør krever mye areal fordi de er relativt store og må legges med fall. I denne løsningen blir derfor grøftevalget frostfri dybde.

Ved selvfall vurderes trykkløse rør som PE, PVC, PP, GRP og betong. På grunn av problemer med sjøvann i området, anses plastrør som en bedre løsning enn betong. PE og GRP tåler trafikkklaster bedre enn både PVC og PP, samt at de kan gjøres helt tett. Ved store dimensjoner (>DN300) vil GRP være en bedre løsning, da GRP blir mer økonomisk og i tillegg har gode langtidsegenskaper og god styrke. For denne løsningen velges dermed PE ved mindre dimensjoner og GRP ved store dimensjoner.

Siden selvfallsystemet skal være i frostfri dybde, har den ikke behov for isolering.

Da det er krav om at abonnentene må pumpe inn på kommunalt nett i laveste sone, vil løsning 3 har samme negative konsekvenser for abonnentene som i løsning 2.

6.4 Løsning 4 – Fornye dagens spillvannsledninger

I løsning 4 benyttes NoDig-metoder for å fornye eksisterende rør. Dagens pumpeledning er tett og trenger derfor ikke å renoveres. Det er dermed kun spillvannsledningene og stikkledningene som blir renoveret. Det er fortsatt pumpestasjon og liknende innenfor kaiområdet, og det blir ikke lagt en ny hovedledning.

Det blir benyttet strømperenovering, da denne krever lite/ingen graving. Utblokking krever en del graving for innføring av rør, noe som kan bli utfordrende ved renovering av stikkledninger.

Det benyttes glassfiberstrømpe hvis det blir behov for større ringstivhet. Er dette ikke et behov, benyttes filtstrømpe. (52)

De eksisterende rørene ligger i frostfri dybde, og det er ikke behov for isolering.

I denne løsningen må alle abonnentene være klare når renovering gjennomføres. Dette kan bli upraktisk og gi lite frihet til abonnentene, da det ikke finnes noe midlertidig løsning. Likevel blir selve utførelsen svært effektiv og alle tar i bruk det nye systemet samtidig.

6.5 Løsning 5 – Vakuumsystem

Vakuumsystemer er nytenkende og tar med seg flere gode fordeler. De er blant annet miljøsparende grunnet betydelig mindre bruk av vann enn andre avløpssystemer. I tillegg er systemet avhengig av å være helt tett, og eventuelle lekkasjer vil derfor oppdages fort.

I Norge er det ikke vanlig å benytte en hovedledning i vakuumsystemer i urbane strøk. Istedenfor samles spillvannet opp i tanker som tømmes ved behov og sendt til videre bearbeiding (68). Det er også mulig å utføre bearbeidingen i et veksthus nær abonnenten. Her kan det produseres varme til isolasjon i vintermånedene. Denne metoden er kun benyttet ved boligblokker, og det velges derfor oppsamlingstanker for denne løsningen. (69).

Et vakuumsystem inneholder flere bend, og materialvalget må derfor ta hensyn til dette. I dag er det vanlig å benytte PVC eller PE, og i likhet med trykkavløp er det vanlig med små dimensjoner. PE benyttes da det har bedre sveisegenskaper, og dermed større sannsynlighet for å ha tette rør.

For å gjennomføre systemet kreves det mye fra abonnenten. Alle sanitærinstallasjoner må byttes ut slik at det tilpasses et vakuumsystem. Det blir også et stort og annerledes prosjekt for Seksjon for vann og avløp.

7 Sammenlikning av løsninger

I tabell 4 er løsningene evaluert mot krav og ønsker. Kravene er de blå rutene, og ønskene er de mørkegrå rutene. Ved grønn farge er kravene eller ønskene oppfylt, gul farge er kravene eller ønskene nesten oppfylt, og ved rød farge er kravene eller ønskene ikke oppfylt.

Krav/Løsning	Løsning 1 Trykkavløp Terminalgata	Løsning 2 Trykkavløp	Løsning 3 Selvfall	Løsning 4 NoDig	Løsning 5 Vakuum
Tette rør					
Kun spillvann i ledning					
Motstandsdyktig mot framtidig klima					
Gunstig for abonnenter					
Trykkavløp					
Enkel drift og vedlikehold					
Ny hovedledning					
Midlertidig løsning					
Samfunnsforstyrelse					

Tabell 4: Sammenlikning av løsninger

Ut fra tabell 4 kommer det tydelig fram at løsning 3 er uaktuell, da den ikke oppnår noen av kravene. Kravet om tette rør har gul rute grunnet antagelse om fremtidig innlekkasje av fremmedvann, da det ikke er trykk i systemet. Dersom det blir innlekkasje er det ikke kun spillvann i rørene, og kravet om dette er derfor gult. Grunnet antagelsen vil ikke systemet være klimatilpasset, og ruten er derfor rød. Ruten «gunstig for abonnentene» har gul farge, da det er lang avstand til tilkobling i tillegg til at grøften må være dyp.

Selvfall brukes allerede i dag og er utgangspunktet for at Seksjon for vann og avløp vil utføre en utbygging. Videre er løsningen grønn på tre av ønskene. Dette veier fortsatt ikke opp for ingen oppnådde krav.

Selv om løsning 4 har én grønn rute er den også uaktuell. Ved denne løsningen blir det benyttet en avløpfellesledning, og det er derfor ikke kun spillvann i systemet. Dette er grunnen til at systemet ikke er motstandsdyktig mot framtidens klima. Likevel er løsningen gunstig for abonnentene, da det er lite graving.

Det er også flere ønsker som ikke blir oppnådd i denne løsning 4. Ved å renovere de eksisterende rørene blir det ikke lagt en ny hovedledning, og det er dermed ingen midlertidig løsning. Løsningen er ikke kun negativ, da den er svært effektiv og har lite samfunnsforstyrrelser. Til tross for dette er ikke løsningen aktuell, grunnet de to røde rutene i kravene.

Løsning 5 oppfyller 3 av 4 krav, da den er tett og sørger for kun spillvann i systemet. Løsningen er også tilpasset fremtidens klima ved at den benytter mindre vann og skiller mellom spillvann i gråvann og svartvann.

I tillegg overholder den to ønsker. Eksisterende rør kan fortsatt benyttes og dermed har løsning 5 en god midlertidig løsning. Løsningen er svært enkel for Seksjon for vann og avløp å drifte, da de kun må tømme tanker.

Derimot er løsning 5 svært negativ for abonnentene. Samfunnsforstyrrelser er satt til gul da det ikke skal legges en hovedledning, men omleggingen av sanitærsystemer i bygningene vil ta tid. I tillegg krever omleggingen mer ressurser fra abonnentene enn ved de andre løsningene. Dette gjør løsningen svært uaktuell.

Sammenliknet de tre uaktuelle løsningene, er løsning 3 mest relevant. Siden abonnentene blir satt høyt i dette prosjektet, er løsning 3 og 4 mer ønskelig enn nummer 5. Løsning 3 velges ovenfor løsning 4, grunnet gode muligheter for en midlertidig løsning.

Trykkavløp ser ut til å være den beste løsningen. Løsning 2 er mer ugunstig for abonnentene, da den ikke ligger i Terminalgata. I tillegg er det mer samfunnsforstyrrelser i løsning 2, ved at leggingen av stikkledninger tar lengere tid.

Dermed blir løsning 1 valgt som endelig løsning på Breivika Havn.

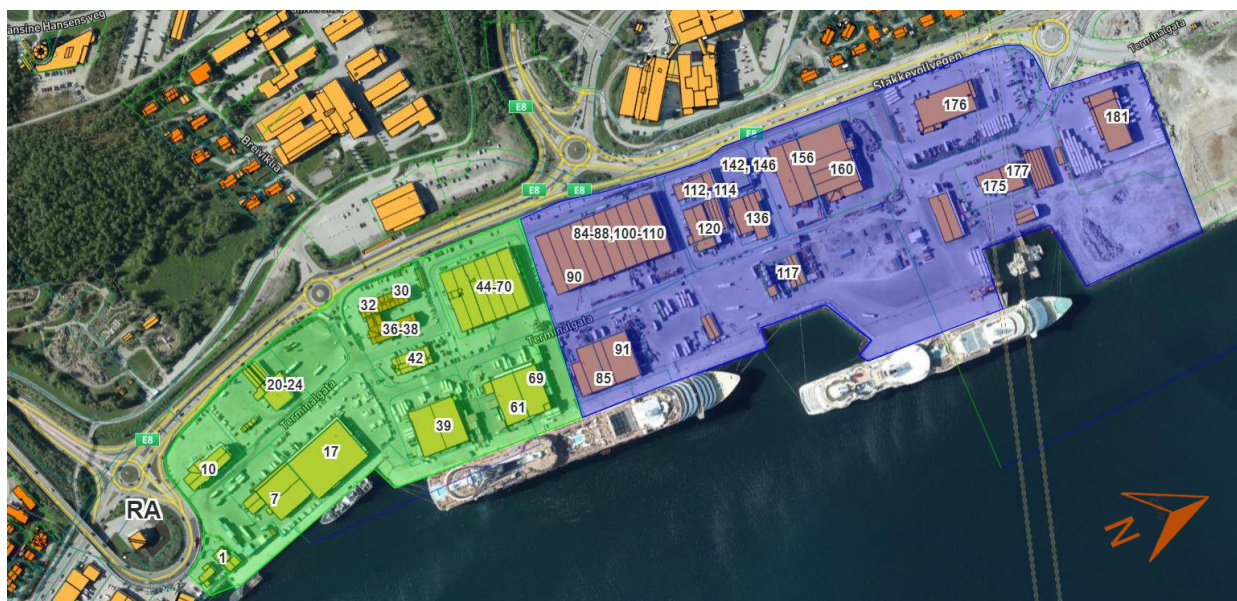
8 Dimensjonering

Dette kapitlet skal ta for seg dimensjoneringen av løsning 1 – trykkavløp over eksisterende nett. Det skal dimensjoneres én hovedledning samt ytterste pumpe (pumpe 1). Krav og anbefalinger til abonnentene sine pumpestasjoner og stikkledninger skal også beskrives, samt anbefalinger til Seksjon for vann og avløp.

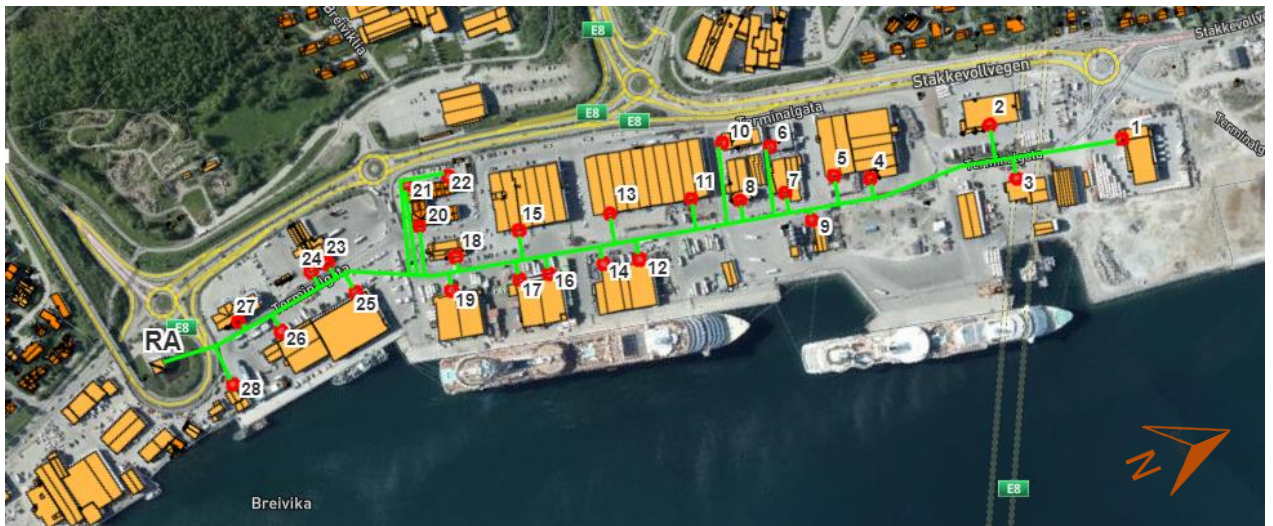
Området ble inndelt i sone A og sone B, se figur 27. Sone A er området nord på prosjektområdet, og sone B er området sør på prosjektområdet. Figur 28 er oversikt over husnummer i soneinndelingen. En skisse over det nye trykkavløpssystemet vises i figur 29.



Figur 27: Oversiktsbilde av soneinndelingen. Sone A er blå og sone B er grønn.



Figur 28: Oversiktsbilde med soneinndeling og husnummer.



Figur 29: Skisse av ny ledning med pumper (røde sirkler) og pumpenummer.

8.1 Beregning av personekvivalenter

For å finne pe ble det benyttet 4 ulike metoder. I listen under er metodene listet opp etter foretrukne metode.

1. Benytter maksimal avlest kubikk fra vannmålere

Det ble gitt to verdier for hver vannmåler, en avlest kubikk og en maksimal avlest kubikk. Avlest kubikk er en verdi tatt fra et vilkårlig år, og maksimal avlest kubikk er året med størst forbruk. Det er ønskelig å benytte maksimal avlest kubikk, da dette viser den mest ugunstige situasjonen.

2. Finner potensiell maksimal avlest kubikk

Ved mangel på maksimal avlest kubikk, gjennomføres en utregning av gjennomsnittlig differanse mellom avlest kubikk og maksimal avlest kubikk for de bedriftene som hadde begge verdiene.

3. Direkte kontakt med bedrifter på Breivika Havn angående antall ansatte

Dette gjennomføres for bedrifter uten verdier fra vannmåler.

4. Antar en maksimal avlest kubikk

Dette antas ved å sammenlikne bedriftene av samme type. Dette gjennomføres for bedrifter uten verdier fra vannmåler og som i tillegg var vanskelig å komme i kontakt med.

I punkt 1, 2 og 4 brukes formel 1 for å finne pe. Det ble tatt utgangspunkt i spesifikk vannmengde lik $150 \text{ l/pe} \cdot \text{døgn}$, anbefalt i VA-miljøblad 115.

$$pe = \frac{\text{maks avlest kubikk}}{\text{spesifikk vannmengde}}$$

Formel 1: Beregning av pe

Ved punkt 2 benyttes tabell 5, for beregning av gjennomsnittlig differanse. Utrekninga trekker fra bedriftene med unormal vannmengde på Breivika Havn. Dette innebærer Circle K (husnummer 20-24) og hotellet (husnummer 36 og 38). Ut fra «sum differanse» er «gjennomsnittlig differanse» funnet, og addert til avlest kubikk.

Verdi å addere til avlest kubikk		
Hva	Verdi	Benevning
Sum differanse (Maks. avlest kubikk - Avlest kubikk)	21887	m ³ /år
Circle K	14846	m ³ /år
Hotell	930	m ³ /år
Sum differanse (Uten Circle K og Hotell)	6111	m ³ /år
Antall abonnenter å dele på	13	
Gjennomsnittlige differanse	470	m ³ /år

Tabell 5: Utrekning av differansen

I punkt 3 blir pe funnet ved å multiplisere antall ansatte med 0,4. Se tabell 2; Omregningsfaktor for ulike virksomheter basert på BOF₅-mengde.

Punkt 4 er relevant for husnummer 17, 39, 61, og 117.

Sone A						
Hus nr.	Navn	Type	Avlest kubikk [m ³ /år]	Maks avlest kubikk [m ³ /år]	Pe	Ansatt
181	Schenker AS	Logistikk, frakt	-	-	14.2	14
176	Nordic last og buss, busstring AS	Transport	646	808	14.8	
177, 175	Maritim service AS	sveising, maskin, rør, renovering, ol	264	534	9.8	
160	Mørenot avd Tromsø	Fiske	198	198	3.6	
156	Heidenreich	Rør	484	954	17.4	
146, 142	Tromsø bakeri	Bakeri	1204	1206	22.0	
136	Mesterbakeren	Bakeri	2763	3647	66.6	
120	Scan Adventure Travel AS	Turisme	44	73	1.3	
117	Lager	Oppbevaring	-	297	5.4	
114, 112	Glassmester Erling, Riis Bilglass	Glass	1320	1790	32.7	
110, 100, 88, 86, 84	Sørensen blikkenslagerverksted	Ventilasjonsarbeid	-	1866	34.1	
91	Lars Holm Shipping	Megler, frakt	-	-	13.0	11
90	Vianor Tromsø	Dekk	-	-	14.6	15
85	Selstad AS	Leverandør, maritime utsyr	37	653	11.9	

Tabell 6: Sone A med antall pe, maks avlest verdi og antall ansatte.

Sone B						
Hus nr.	Navn	Type	Avlest kubikk [m ³ /år]	Maks avlest kubikk[m ³ /år]	Pe	Ansatt
70, 68, 66, 64, 60, 58, 53, 52, 48, 46, 44	Wurth Tromsø, Hydroscand Tromsø, Lars holm shipping, Motech	Butikk, rør, verktøy, motorsykel - Frakt	377	1553	28.4	
69	Lager	Oppbevaring	197	297	5.4	
61	Lager	Oppbevaring	-	297	5.4	
42	Bring Lager	Oppbevaring	200	329	6.0	
39	Post Nord, lager	Post og oppbevaring	-	297	5.4	
38, 36	Hotell	Hotell	3291	4221	77.1	
32	Mekonomen	Verksted bil	73	195	3.6	
30	Bedriftssystemer	Dataselskap	618	1088	19.9	
24, 20, 22	Circle K	Bensinstasjon	15415	30261	552.7	
17	IKEA henteterminal, Optimer, Tosi transport	Levering, byggevare	-	400	7.3	
7	Post Nord	Post	335	458	8.4	
10	Sparebank 1, kulturverkstedet	Bank og kultur	427	1212	22.1	
1	Eiva-Safex AS	sveis, løft, fortøyning, hav	44	514	9.4	

Tabell 7: Sone B med antall pe, maksimal avlest verdi og antall ansatte

I videre beregninger er maksimal avlest kubikk per år for Circle K halvert. Se kapittel 10.2.1.

8.2 Beregning av avløpsmengde

For videre utregning av et trykkavløpssystem er det nødvendig å finne midlere vannmengde, middels maksimum vannmengde, og maksimum vannmengde. Midlere vannforbruk, Q_{mid} , er gjennomsnittlig vannforbruk, formel 2. Middels maksimum vannforbruk, $Q_{midmaks}$, er forbruket i et maksimalt døgn, formel 3. Maksimum vannforbruk, Q_{maks} , er forbruket i maksimal time på maksimalt døgn, formel 4. I dette prosjektet er maksimal døgnfaktor valgt til 1,5 (6 s. 405). Maksimal timefaktor er beregnet fra formel 5.

$$Q_{mid} = pe * \frac{0.15m^3}{pe * d\ddot{o}gn}$$

Formel 2: Beregning av midlere vannforbruk

$$Q_{midmaks} = Q_{mid} * f_{maks}$$

Formel 3: Beregning av middels maksimum vannforbruk

$$Q_{maks} = Q_{midmaks} * k_{maks}$$

Formel 4: Beregning av maksimum vannforbruk

$$k_{maks} = 1 + \sqrt{(31,5/Pe)}$$

Formel 5: Beregning av maksimal timefaktor

Tabell 8 og tabell 9 viser oversikt over resultatet av utregningen. Abonnenter med samme vannmåler, benytter seg av samme kvernpumpe. Det blir derfor til sammen 28 pumpestasjoner, 14 i sone A og 14 i sone B.

Sone A							
Pumpenr.	Husnr.	Lengde [m]	pe	K _{maks}	Q _{maks} [l/s]	Q _{midmaks} [m ³ /døgn]	Q _{mid} [m ³ /døgn]
1	181	1090	14.19	9.36	0.35	3.19	2.13
2	176	1010	14.76	9.20	0.35	3.32	2.21
3	177, 175	1000	9.75	11.09	0.28	2.19	1.46
4	160	854	3.62	17.56	0.17	0.81	0.54
5	156	817	17.43	8.55	0.39	3.92	2.61
6	146, 142	772	22.03	7.71	0.44	4.96	3.30
7	136	731	66.61	4.86	0.84	14.99	9.99
8	120	691	1.33	28.31	0.10	0.30	0.20
9	117	779	5.42	14.53	0.21	1.22	0.81
10	114, 112	727	32.7	6.51	0.55	7.36	4.91
11	110, 100, 88, 86, 84	655	34.08	6.40	0.57	7.67	5.11
12	91	576	12.99	9.74	0.33	2.92	1.95
13	90	645	14.59	9.25	0.35	3.28	2.19
14	85	544	11.93	10.12	0.31	2.68	1.79
Sum			261.43	153.18	5.24	58.82	39.21

Tabell 8: Avløpsmengder i sone A

Sone B							
Pumpenr.	Husnr.	Lengde [m]	Pe	K _{maks}	Q _{maks} [l/s]	Q _{midmaks} [m ³ /døgn]	Q _{mid} [m ³ /døgn]
15	70, 68, 66, 64, 60, 58, 53, 52, 48, 46, 44	472	28.37	6.91	0.51	6.38	4.26
16	69	477	5.42	14.53	0.21	1.22	0.81
17	61	442	5.42	14.53	0.21	1.22	0.81
18	42	320	6.01	13.85	0.22	1.35	0.90
19	39	370	5.42	14.53	0.21	1.22	0.81
20	38, 36	313	77.1	4.59	0.92	17.35	11.57
21	32	343	3.56	17.69	0.16	0.80	0.53
22	30	381	19.87	8.07	0.42	4.47	2.98
23	24, 22, 20	224	136.99	3.69	1.32	30.82	20.55
24	24, 22 20	224	136.99	3.69	1.32	30.82	20.55
25	17	249	7.31	12.65	0.24	1.64	1.10
26	7	153	8.37	11.89	0.26	1.88	1.26
27	10	117	22.14	7.69	0.44	4.98	3.32
28	1	99	9.39	11.28	0.28	2.11	1.41
Sum			472.36	145.60	6.70	106.28	70.85

Tabell 9: Avløpsmengder i sone B

8.3 Valg av ledningsdimensjon og pumpe

Det er flere faktorer som spiller inn når ledningsdimensjoner skal bestemmes. I dette prosjektet er pumpekapasitet angitt i hele tall. Det er valgt å se nærmere på pumpekapasitetene 1 l/s, 2 l/s, og 3 l/s.

Nødvendig pumpekapasitet må være større enn den maksimale tilrenningen (Q_{maks}). I sone A er den største verdien for Q_{maks} lik 0,84 l/s, og sonen trenger derfor en pumpekapasitet på 1 l/s. I sone B er Q_{maks} lik 1,32 l/s, og nødvendig kapasitet på pumpene er dermed 2 l/s. En felles ledning for sone A og B vil også ha en nødvendig pumpekapasitet på 2 l/s. Videre dimensjonering tar utgangspunkt i en ledning.

Det kontrolleres for selvrensende hastigheter ut fra formel 6.

$$V = \frac{Q_{pumpe}}{\pi \cdot r^2}$$

Formel 6: Beregning av selvrensende hastigheter

Resultater fra formel 6 er vist i tabell 10.

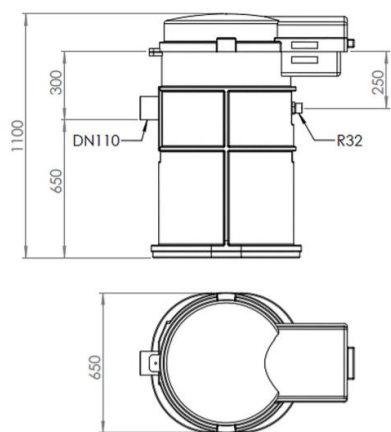
Ytre diameter [mm]	Indre diameter [mm]	Pumpekapasitet 2 l/s [m/s]	Pumpekapasitet 3 l/s [m/s]
70/40	32.6	2.40	3.60
90/50	40.8	1.53	2.30
125/63	51.4	0.96	1.45
125/75	61.4	0.68	1.01
175/90	73.6	0.47	0.71

Tabell 10: Hastigheter ved forskjellige dimensjoner og pumpekapasitet

Ut fra tabellen over kommer det fram at det er ideelt å gå for en pumpekapasitet på 2 l/s og dimensjon 63 mm, eller en pumpekapasitet på 3 l/s og dimensjon på 75 mm. Dette fordi de er nærmest kravet om 0,9 m/s.

Det er også viktig at pumpene ikke er i drift samtidig i mer enn 24 timer per døgn.

Figur 30 er et eksempel på en pumpestasjon som abonnenter på Breivika Havn kan ta i bruk. Denne er derfor utgangspunkt i utregning i driftstid i tabell 11. For at pumpene skal opprettholde kravet, må total tid for at sumpene tømmes være mindre enn tid for at sumpene fyller seg opp.



Figur 30: Eksempel pumpestasjon fra Skandinavisk kommunalteknikk (70).

Hva	Formel	Verdi
Volum	$\pi \cdot 0.325m \cdot 0.65m$	0.216m ³
Gjennomsnitt av $Q_{midmaks}$	$(58.82m^3/døgn + 106.28m^3/døgn) / 28pumper$	5.9m ³ /døgn
Hvor lang tid tar det for sump å fylle seg opp	$0.216m^3 / 5.9m^3/døgn$	52.7min
Hvor lang tid for å tømmes (2l/s)	$0.216m^3 / 0.002m^3/s$	1.8min
Hvor lang tid for å tømmes (3l/s)	$0.216m^3 / 0.003m^3/s$	1.2min
Total tid for sump å tømmes (2l/s)	$1.8min \cdot 28pumper$	50.4min
Total tid for sump å tømmes (3l/s)	$1.2min \cdot 28pumper$	33.6min

Tabell 11: Driftstid

Både pumpekapasitet 2l/s og 3l/s, oppnår kravet.

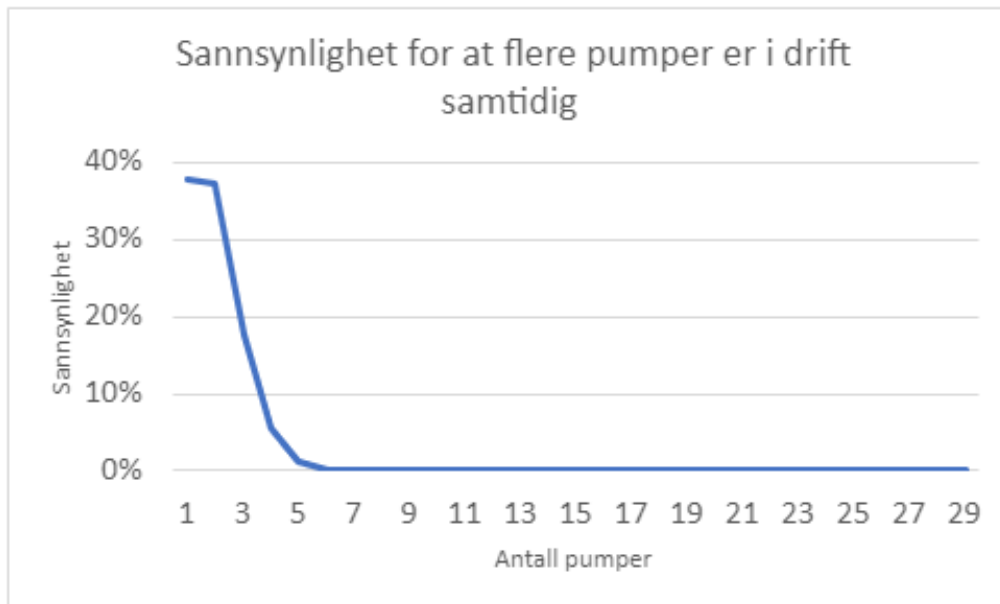
Tabell 11 tar utgangspunkt i mest ugunstig situasjon, og det kontrolleres hvor sannsynlig det er at pumpene går samtidig ut fra formel 7.

$$P(X) = \binom{n}{x} \left(\frac{t}{T}\right)^x \left(1 - \frac{t}{T}\right)^{n-x}$$

Formel 7: Sannsynlighet for at flere pumper er i drift samtidig

- n = Antall pumper totalt i feltet
- x = Antall pumper som er i drift samtidig
- t = Driftstid for tømming av pumpesumpen
- T = Tiden for fylling av pumpesumpen

Figur 31 illustrerer sannsynligheten for drift av flere pumper samtidig, og viser at det er 0% sannsynlig at alle pumpene går.



Figur 31: Graf som viser sannsynligheten for at flere pumper er i drift samtidig

Det sjekkes også om pumpene i feltet samlet sett har kapasitetstid (T_p) til å transportere bort alt avløpsvann som produseres i løpet av dimensjonerende døgn. Beregningen gjøres ut fra formel 8. VA-miljøblad 66.

$$T_p = \frac{N * q}{q_p} \leq 1$$

Formel 8: Kapasitetstid

- N = Antall pumpestasjoner
- Q = Midlere avløpsmengde per boenhet
- q_p = Midlere pumpekapasitet per stasjon

Resultatet av utregningen er vist i tabell 12. Begge pumpekapasiteter har T_p lik eller lavere enn 1, og tilfredsstillende derfor kravet.

	2 l/s	3 l/s
T_p [døgn]	0.64	0.42

Tabell 12; Kapasitetstid

En annen faktor som spiller inn, er løftehøyde (H_p). Kvernpumper kan ikke ha en løftehøyde på over 60 mvs ved små dimensjoner < 110 mm (VA-blad 66). Formel 9 er brukt for å finne løftehøyde.

$$\text{Løftehøyde} = \text{Friskjonstap} + \text{geodetisk løftehøyde}$$

Formel 9: Løftehøyde

I dette tilfellet er geodetisk løftehøyde avstanden fra grunn grøft til 3. etasje i rensanlegget. Det antas at en etasje er 3 meter, da blir den geodetiske løftehøyden 9 meter.

Friksjonstapet er beregnet ut fra formel 10.

$$H_f = \frac{f \cdot L \cdot Q^2 \cdot 8}{g \cdot \pi^2 \cdot D_i^5}$$

Formel 10: Beregning av friksjonstap

Hvor:

- Friksjonsfaktoren, $f = \left(\frac{1}{2 \cdot \log\left(3,71 \cdot \frac{D_i}{k}\right)}\right)^2$
 - Ruheten, k, er valgt til 0,4 fra tabell 3.
- Lengden, L, finnes i tabell 8 og tabell 9 og er funnet ved hjelp av Finn kart
- Q = pumpekapasiteten
- g = gravitasjonsfaktor, bruker her 9,81 m/s²
- D_i = Indre diameter

Resultat av formel 10 er gitt i tabell 13 og tabell 14.

Sone A				
Pumpe nr.	Friksjonstap 63 mm		Friksjonstap 75 mm	
	Hf [mvs]	Hp [mvs]	Hf [mvs]	Hp [mvs]
1	35	44	31	40
2	32	41	28	37
3	32	41	28	37
4	27	36	24	33
5	26	35	23	32
6	25	34	22	31
7	23	32	21	30
8	22	31	19	28
9	25	34	22	31
10	23	32	20	29
11	21	30	18	27
12	18	27	16	25
13	21	30	18	27
14	17	26	15	24

Tabell 13: Friksjonstap for sone A. Ved dimensjon 63 mm er pumpekapasitet på 2 l/s brukt, og ved dimensjon 75 mm er pumpekapasitet på 3 l/s brukt.

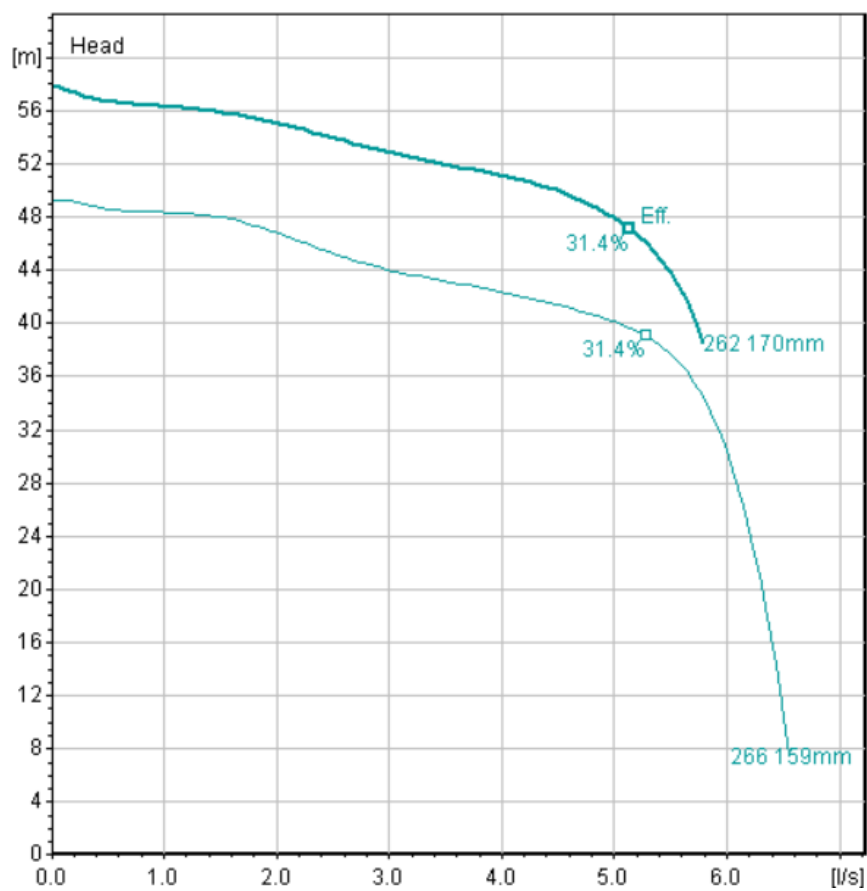
Sone B				
Pumpe nr.	Friksjonstap 63 mm		Friksjonstap 75 mm	
	Hf [mvs]	Hp [mvs]	Hf [mvs]	Hp [mvs]
15	15	24	13	22
16	15	24	13	22
17	14	23	12	21
18	10	19	9	18
19	12	21	10	19
20	10	19	9	18
21	11	20	10	19
22	12	21	11	20
23	7	16	6	15
24	7	16	6	15
25	8	17	7	16
26	5	14	4	13
27	4	13	3	12
28	3	12	3	12

Tabell 14: Friksjonstap for sone B. Ved dimensjon 63 mm er pumpekapasitet på 2 l/s brukt, og ved dimensjon 75 mm er pumpekapasitet på 3 l/s brukt.

Ifølge tabell 13 og tabell 14 overstiger ingen verdier en løftehøyde på 60 mvs. Dermed står det fritt å velge mellom ledningsdiameterne 63 mm og 75 mm. Det kommer fram at en ledning på 75 mm har mindre løftehøyde, men differansen mellom de to dimensjonene er ikke betydelig. På grunn av økende kostnader for større rør og større pumpekapasitet, blir en ledningsdiameter på 63 mm og en pumpekapasitet på 2 l/s valgt.

Det blir dermed valgt én hovedledning med diameter på 63 mm, som alle abonnementene pumper inn på. Videre må pumpe 1 ha en kapasitet på 2 l/s ved løftehøyde på 44m. Dette klarer for eksempel Xylem sin «Flygt Kvernpumpe M 3127 HT 3-fase 2-polet 60 Hz». De andre abonnentene kan også ta i bruk denne, selv om det finnes pumpekurver som passer deres løftehøyde bedre. Pumpekurven er som vist i figur 32.

M 3127 HT 3-fase 2-polet 60 Hz metrisk



Figur 32: Pumpekurve til M3127 (71)

8.4 Krav til abonnentene

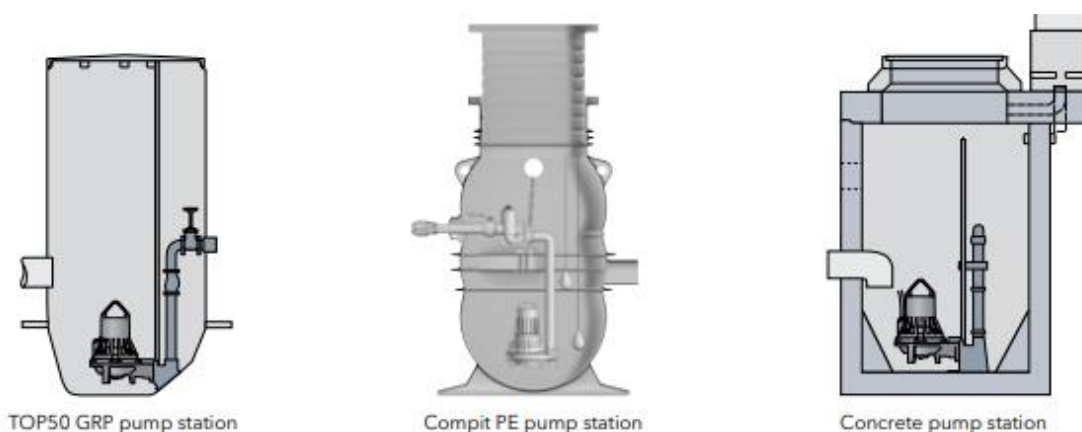
Under er en liste med krav til abonnentene. Kravene er funnet fra dimensjoneringen av hovedledningen, og pumpe 1.

- Abonnentene må ha kvernpumpe med løftehøyde som i tabell 13 og tabell 14.
- Stikkledningene må være isolert.
- Hvis abonnenten ønsker overløp til sjøen i pumpestasjonen, må overløpshøyden være over 2,8m. Hvis den er under dette, må overløpet gå til en fordrøyningstank.
- Pumpestasjonen må være isolert.

8.5 Anbefalinger til abonnentene

Under er en liste med anbefalinger til abonnentene.

- Det anbefales at stikkledningene er av PE100 PN16 STR11.
- Isolasjonen av stikkledningene kan være trekrør av PE100 STR26 med varmekabel.
- Det anbefales at fordrøyningstanken har et sikkerhetsvolum på 24 timer. Dette tilsvarer Q_{mid} . Se tabell 8 og tabell 9.
- Det anbefales nivåsensorer for sumpen.
- Bunnen på pumpeumpen burde være så liten som mulig da det er ugunstig om avløp samler seg i bunn.
- Pumpestasjon kan være av enten betong, glassfiber eller PE. Det anbefales pumpestasjon av PE eller glassfiber, både med tanke på dannelse av svovelsyre og for å sikre tettheten til kummen i 100 år. Figur 33 viser eksempler på pumpestasjoner ved de ulike materialene.
- Pumpestasjonen må forankres hvis det blir tatt i bruk anbefalte materialer.



Figur 33: Eksempler på ulike pumpestasjoner ved trykkavløp ved ulike materialer.

8.6 Krav til Seksjon for vann og avløp

Under er en liste med krav til Seksjon for vann og avløp.

- Hovedledningen må være DN63 PE100 PN16 STR11.
- Hovedledningen må være preisolert med trekkør DN125 PE100 PN6,3 STR26 og varmekabel.
- Alle tilkoblingspunkter må avsluttes med ventil. Det anbefales tilbakeslagsventil.
- Alle tilkoblingspunkter må være isolert.

9 Resultater

9.1 Novapoint

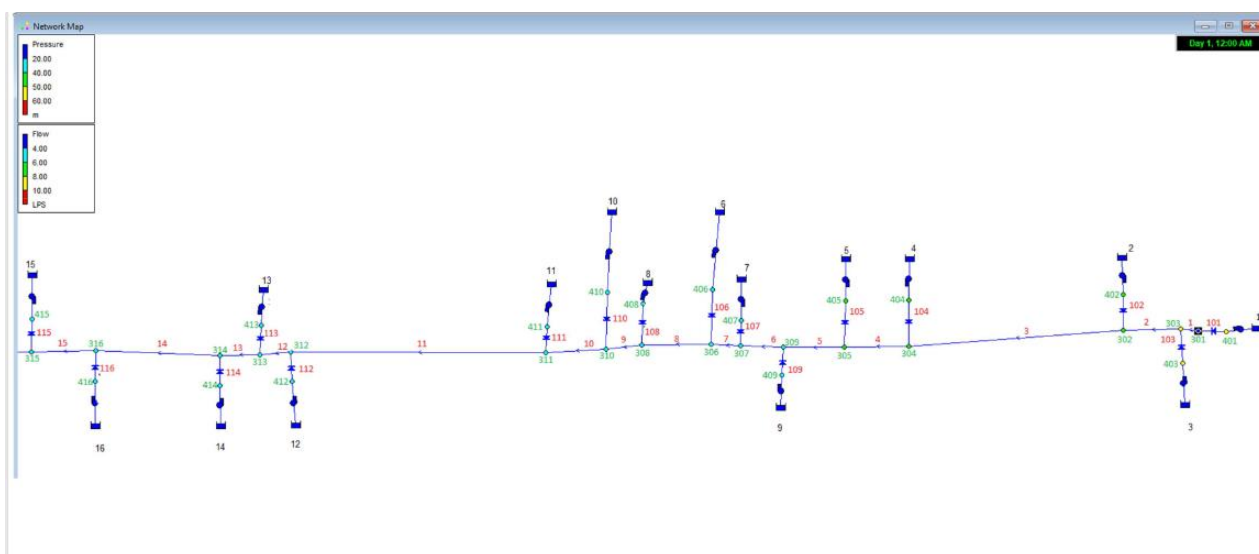
Ved hjelp av Novapoint ble det produsert to lengdeprofiler, samt en oversiktstegning og grøftetverrsnitt. I lengdeprofilene kommer det flate terrenget på Breivika Havn tydelig fram. Profilene viser også hvor tilkoblingspunktene mellom stikkledningene og hovedledningen plasseres. Se vedlegg 1, 2, 3 og 4.

9.2 Focus VARDAK

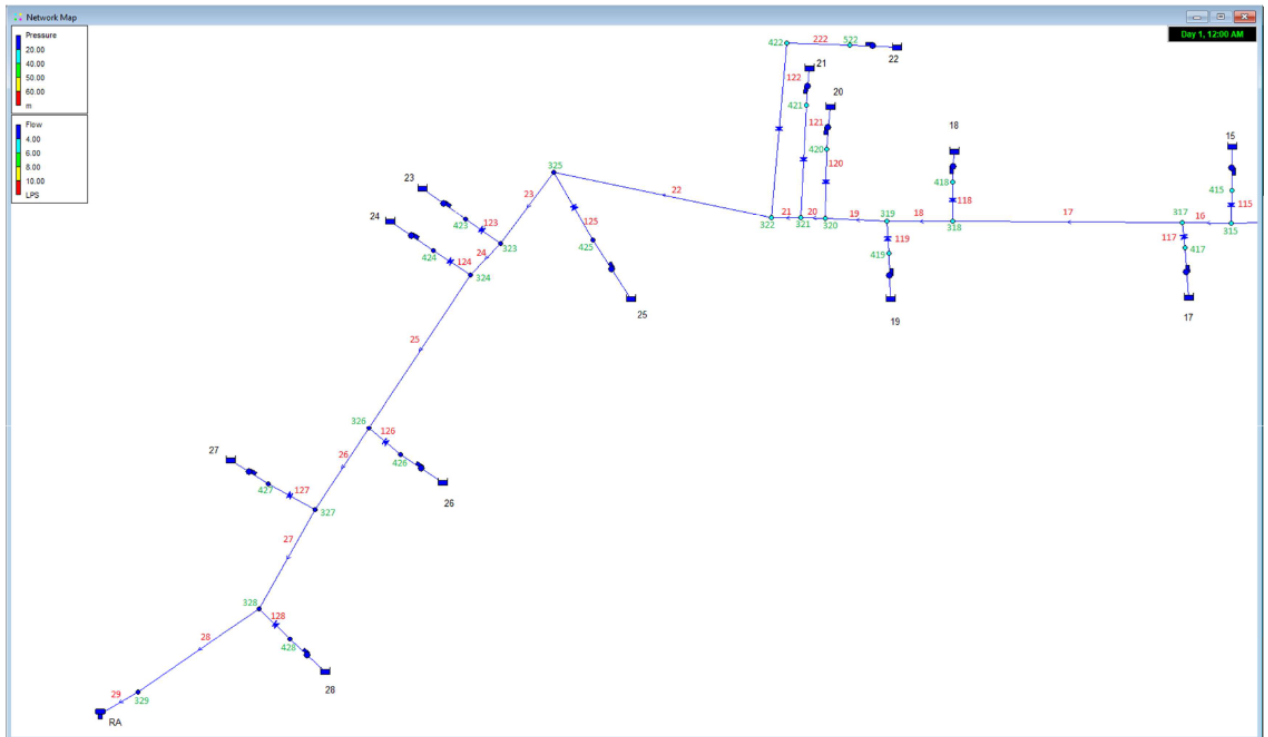
Vedlegg 5 er et forslag til hvordan tilkoblingspunktene kan detaljprosjekteres. Forslaget tar ikke med trekkør og varmekabel.

9.3 EpaNet

Den endelige løsningen ble simulert ved hjelp av EpaNet. Etter simuleringen ble det hentet ut verdier for hastighet i ledningen og trykk i noder (bend og tilkoblingspunkter). Det ble undersøkt 6 scenarier. Oversikt over selvrensende hastighet og høyeste trykk kan leses i listen under. Se figur 34 og figur 35 for tegning av systemet med nummerering.



Figur 34: EpaNet tegning fra pumpe 1-15



Figur 35: EpaNet tegning fra pumpe 15-28

Scenario 1: alle pumper går

- Selvrens:
 - Ledning 25: 0,83 m/s
 - Stikkledning 125: 0,83 m/s
- Høyeste trykk: 57,99 mvs i node 301, 302, 303, 401, 402, og 403

Scenario 2: Alle pumper i sone A går

- Selvrens:
 - Ledning 12: 0,74 m/s
 - Ledning 13: 1,11 m/s
- Høyeste trykk: 57,93 mvs i node 301, 302, 303, 401, 402, og 403

Scenario 3: Litt sone A og litt i sone B. Pumper som går er 27, 25, 20, 12, 10, 8 og 2.

- Selvrens:
 - Nei
- Høyeste trykk: 57,78 mvs i node 402

Scenario 4: Pumpe 1 går alene

- Selvrens
 - Ledning 123: 1,06m/s
- Høyeste trykk: 55,60 mvs i node 401

Scenario 5: Circle K og pumpe 1. Pumpe 1, 23 og 24

- Selvrens:
 - Ledning 123: 1,05m/s
- Høyeste trykk: 56,94 i node 401

Scenario 6: Ingen pumper går

- Selvrens: uaktuelt
- Høyeste trykk: 10,00 mvs i alle noder

Ved simulering hadde alle pumpene samme pumpekurve. Pumpen som ble brukt var Flygt kvernpumpe M 3127 som vist i kapittel 8.3. Fra figur 32; Pumpekurve til M3127, ble det brukt den tykke pumpekurven.

Gjennom simuleringen kommer det fram at trykket alltid er lavere enn 60 mvs, samt at alle pumpene går når de aktivert.

Se vedlegg 6 for oversiktsbilde og tabeller for resterende trykk og hastigheter ved de ulike scenarioene.

9.4 Focus Anbud

Anbudsbeskrivelsen har kun tatt hensyn til hovedledning og tilkoblingspunkter. Det er ikke medberegnet pris.

Anbudsbeskrivelsen er i henhold til NS 3420. Se vedlegg 7.

9.5 ROS-analyse

Se vedlegg 8.

10 Diskusjon

10.1 Resultat

Det som eventuelt kan utløse utfordringer for pumpestasjoner med tilhørende fordrøyningstank er knyttet til plassering i forhold til bygg og omgivelser. Det er derfor viktig at detaljprosjekteringsgrunnlag og anbudsdokument bidrar med gode beskrivelser.

Pumpestasjoner, fordrøyningstanker og stikkledninger antas å være private, og er derfor ikke tatt hensyn til i anbudsbeskrivelsen eller tegninger.

10.1.1 EpaNet

I EpaNet kom det fram i scenario 1, at alle pumpene leverer en vannmengde selv når alle pumpene går. Dette kunne vært et problem, da for høyt trykk i nettet medfører at ikke alle pumper får levert. De vil dermed ikke gå en og en om gangen, slik som regnet på i dimensjoneringen (kapittel 8.3). Det er derfor ikke farlig at total tid å tømme sumpen er nær total tid for å fylle sumpen. I tillegg ble det funnet i formel 7; sannsynlighet for at flere pumper er i drift samtidig, at det er 0% sannsynlighet for at alle pumpene går samtidig. Likevel skjer uforutsette situasjoner, som strømstans eller unormalt forbruk, som gjør at det er viktig at disse scenarioene også kontrolleres.

Resultater fra EpaNet viser at selvrens forekommer i fire av fem scenarioer, selv om ikke alle har ønsket hastighet mellom 0,9 – 1,1m/s, se kapitel 3.6.4. Scenario 4 er den eneste med ønsket selvrens i hele hovedledningen. Dette er positivt da det er stor sannsynlighet at kun 1 pumpe går, og det er dette prosjektet er dimensjonert for. De andre scenarioene har kun ønsket hastighet i deler av ledningene. I scenario 5 er det selvrens i én stikkledning. Dette er negativt, da det er sannsynlighet for at tre pumper går samtidig. Scenario 2 og 3 har delvis eller ingen selvrens, men disse er ikke sannsynlige hendelser da de har henholdsvis 14 og 7 pumper.

Det er tydelig at hastigheten i rørene øker nærmere renseanlegget. Grunnen antas å være at pumpene nærmere renseanlegget har mindre konkurranse for å komme seg ut på hovedledningen.

Simuleringen viser også et svært høyt trykk i nettet. Dette kan påføre systemet slitasje fra belastning over tid. En mulighet for å unngå det høye trykket kan være å velge en større dimensjon. Ved større dimensjon ville både hastigheten og trykket minsket. I tabell 13 og tabell 14 kommer det likevel fram at friksjonstapet ikke ville minsket i stor grad. Dette bør likevel vurderes ved videre utvikling av prosjektet.

I scenario 6 der ingen pumper går, er det fortsatt et trykk i hele ledningen. Dette hindrer innlekkasje av fremmedvann. Trykket er 10 mvs, grunnet en løftehøyde på 9 mvs og 1 m med vann i renseanlegget. Se figur 36.



Figur 36: Trykklinje ved ingen pumper som går

10.1.2 Focus Anbud

I anbudsbeskrivelsen kommer det fram at det ikke er svært komplisert å legge hovedledningen. Likevel er det viktig at organisering av-, og løsninger for, tilkoblingspunktene mellom privat og kommunalt trykkavløpsnett er tilfredsstillende ivaretatt i detaljprosjekteringen.

Det ble vurdert å ta med pris i anbudsbeskrivelsen. Focus Anbud hadde slettet sine priser, da disse skal oppdateres. Seksjon for vann og avløp hadde heller ikke noen standard priser. Dermed ble flere entreprenører kontaktet, men ingen kunne hjelpe da de ofte må på befaring og vite mer om prosjektet for å kunne angi pris. Det antas at hvis entreprenørene hadde gitt en pris, ville den da vært svært unøyaktig.

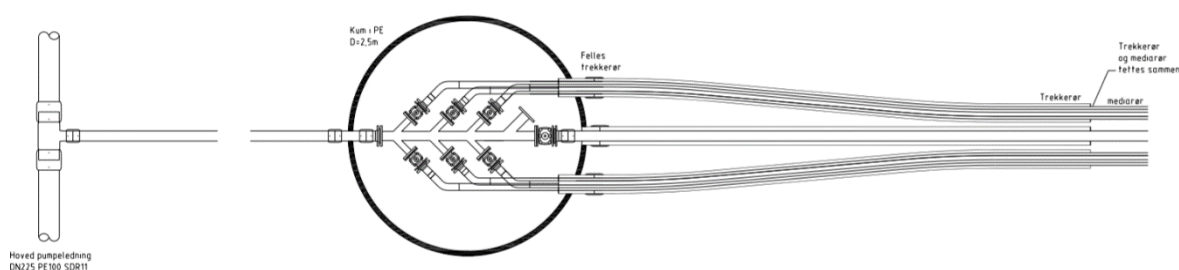
10.2 Løsningen

Løsningen kan utføres på flere måter enn det som ble valgt. Det kan benyttes to parallelle trykkavløpsrør i stedet for én. Resultatet blir da mindre dimensjoner for stikkledninger og hovedledninger, som betyr mindre krav for pumpekapasitet. Ved to ledninger kunne også avstanden mellom tilkoblingspunktene vært større, samt et hovedsystem bestående av to ledninger er mindre sårbart. Ved brudd eller svikt på en av hovedledningene vil det likevel være abonnenter som uhindret kan levere spillvann inn på den andre hovedledningen.

Likevel vil denne løsningen gi høyere kostnader enn valgt løsning. Differansen mellom pumpekapasitetene på de to løsningene, er minimal. Derfor antas det at ikke er mye å hente økonomisk ettersom to ledninger gir høyere material- og leggekostnad enn én ledning, samtidig som drifts- og vedlikeholds-kostnadene også vil bli større.

Med én hovedledning, er det mulig å starte med mindre dimensjoner, for deretter å øke med en overgang. Dette gir større utnyttelse av materiale og kanskje den løsningen med minst kostnader. På tross av dette ble den ikke valgt, da overgangen ble for krevende å dimensjonere. Det anbefales derfor å se nærmere på denne løsningen i Seksjon for vann og avløp sitt videre prosjekteringsarbeid.

For å sikre færre tilkoblingspunkter, kan en samlelum benyttes. Denne samler flere stikkledninger i en kum, deretter kobles den til hovedledningen. Se figur 37. Dette gjør det enklere å koble seg på trykkavløpsystemet for abonnentene. Kummene gir også enklere tilgang til ledningene, som hjelper drift og vedlikehold.



Figur 37: Samlekum (Figur laget av Asplan Viak)

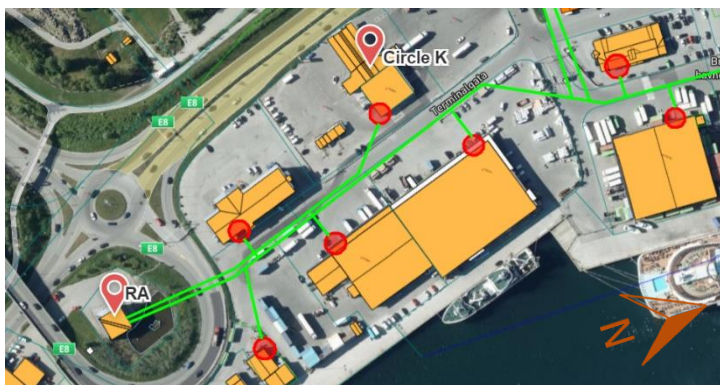
10.2.1 Circle K

For at den valgte løsningen skal være gjennomførbart må bensinstasjonen Circle K, halvere avløpsmengden sin før de kobler seg på trykkavløpet. I dag har Circle K et årlig vannforbruk på 30.000m³/år (42). Dette er et meget høyt forbruk for en bensinstasjon (72). Bensinstasjonen gir i tillegg konsekvenser for alle resterende abonnenter, som større pumpekapasitet grunnet større dimensjoner på ledningsnett. Dette gir høyere kostnader, og det er derfor rettferdig at Circle K må halvere avløpsmengden sin. Det antas at vaskehall og selvvask av bil er årsaken til det høye vannforbruket. Bensinstasjonen har en avtale om at de skal rense vannet fra vaskehallen selv og bruke det flere ganger, noe de ikke gjør i dag. Dersom avtalen blir fulgt, antas det at vannmengden halveres. For å minske forbruket ved selvvask, er det mulig å øke prisen av vannforbruket, eller innføre tidsbegrensing. Det må også vurderes om det er mulig å etablere oppsamlingssystem av vann i, eller i tilknytning til, vaskehallen for å gjennomføre rens av dette vannet også. Uansett hva som velges må Circle K endre noe for at løsningen kan utføres.

Dersom Circle k ikke kobler seg på det nye trykkavløpssystemet, vil det være behov for etablering av alternative løsninger dersom Seksjon for vann og avløp skal være i stand til å utvikle et tett avløpssystem i Breivika Havn.

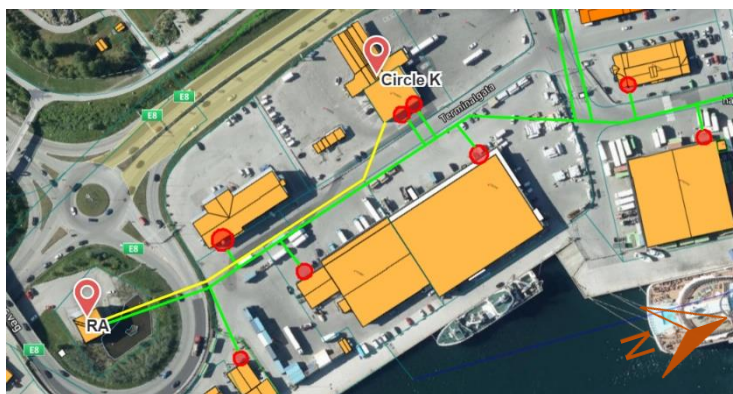
Følgende potensielle løsninger for håndtering av avløpsvannet fra Circle K kan bidra til etablering av et tett avløpssystem:

1. Circle K får egen trykkavløpsledning fram til renseanlegget. Breivika Havn vil da ha to hovedledninger, en for Circle K og en for resterende abonnenter. Se figur 38.



Figur 38: Skisse av punkt 1, med to trykkavløpssystem. Røde sirkler er pumpestasjoner.

2. Circle K får to pumpestasjoner slik som dimensjonert løsningen. I tillegg blir eksisterende stikkledning og kommunal spillvannsledning sør på området strømperevert. Se figur 39. Resterende abonnenter benytter da nytt trykkavløp. Denne løsningen kan også benyttes som en foreløpig løsning for Circle K til vannforbruket er halvert. Når vannforbruket er halvert, benytter Circle K kun trykkavløpet.



Figur 39: Skisse av punkt 2. Grønn ledning er nytt trykkavløp, gul ledning er strømperevert spillvannsledning og stikkledning.

3. Circle K kobler seg til det nye trykkavløpet med flere pumpestasjoner, se figur 40. Å dimensjonere kraftigere pumper og større sumper er også en mulighet.



Figur 40: Skisse av punkt 3 hvor Circle K har flere pumpestasjoner.

Foretrukket løsning er punkt 2 da denne tilrettelegger for at Circle K på sikt leverer en halvert avløpsmengde. Da kan bensinstasjonen få en jevn overgang over tid, samtidig som Breivika Havn slipper å vente på nytt avløpsnett. Både punkt 1 og 3 bygger nye installasjoner, som gir lite motivasjon til å forbedre seg.

10.3 Hvordan få abonnentene til å koble seg på

Målsettingen med etablering av et nytt avløpssystem i planområdet er som kjent å fjerne den omfattende sjøvannsinlekkingen som overbelaster eksisterende avløpssystem i

Terminalgata. For å lykkes med dette, er området imidlertid avhengig av at både privat og kommunal del av det nye avløpssystemet blir realisert.

Tidsperspektivet fram til eksisterende avløpsanlegg i sin helhet er blitt erstattet med et avløpssystem upåvirket av sjøvannsinlekkning, er avhengig av oppfølging av hver enkelt abonnent. Så lenge abonnenter benytter eksisterende avløpsløsning må også eksisterende kommunalt ledningsnett opprettholdes sammen med sjøvannsinlekkingen. Desto raskere abonnentene kobler seg til den nye trykkavløpsledningen, desto raskere vil målet bli nådd.

Stikkledningene på Breivika Havn er relativt unge ledninger. Når stikkledningene er unge og ikke har noen problemer, er det ofte abonnenten ikke ser hvorfor de skal skifte ut ledningen. Dermed er det ikke noe motivasjon for abonnenten, og det vil dermed ta tid før de kobler seg på det nye trykkavløpssystemet. Det er vanskelig å overbevise abonnenter om hvor viktig det er å gjøre en endring i avløpsnettverket, når klimaendringene er langt frem i tid. For dem blir det en problemstilling om de skal investere en større kostnad på en tomt de kanskje ikke skal bo på om 10 eller 20 år.

Det er derfor svært viktig å informere alle abonnenter om bakgrunnen for behovet for omlegging til et trykkavløpssystem, og hvilke løsninger som vil være aktuelle for den enkelte abonnent. Dette burde skje tidlig i prosjektgjennomføringen og i forkant av detaljprosjekteringsfasen, slik at abonnentene har mulighet til å sette av penger i budsjettet og eventuelt begynne å gjøre nødvendige forberedelser. Det antas at nærings- og forretningsvirksomhet finner relativt raskt rom til slike investeringer, sammenlignet med boligeiere som står overfor tilsvarende krav.

Abonnenter kan oppnå tilknytningssituasjonen på tre ulike måter:

1. Abonnenten legger stikkledning og pumpestasjon *i forkant* av at kommunen legger hovedledningen. Abonnenten står fritt til å velge entreprenør for gjennomføring av tiltaket.
2. Abonnenten legger stikkledning og pumpestasjon *samtidig* som kommunen legger hovedledningen. Abonnenten må som hovedregel avtale pris og gjennomføringstidspunkt med den entreprenøren som kommunen benytter i entreprisgjennomføringen.
3. Abonnenten legger stikkledninger og pumpestasjoner *i etterkant* av at kommunen har lagt hovedledningen. Abonnenten står fritt til selv å velge entreprenør for gjennomføring av tiltaket, og tiltaket gjennomføres etter pålegg fra kommunen.

Valg av trykkavløpsløsningen innebærer å oppnå et tett avløpsnett som er upåvirket av sjøvann. Punkt 1 antas å være uaktuell da ny stikkledning erstatter eksisterende, og blir tatt i bruk uten å være koblet til en hovedledning. Spillvann renner da ut i grunnen noe som er svært ugunstig. Dermed vil det være punkt 2 og 3 som er aktuelle tilnæringsmåter.

Punkt 2 gir utvilsomt laveste tidsforbruk for overgang til et trykkavløpssystem, men er desidert den vanskeligste å gjennomføre. For å kunne oppnå punkt 2 er det behov for å ta i bruk nye strategier for denne typen prosjektgjennomføring. Rapporten foreslår at Seksjon for vann og avløp står for prosjektering og utførelse av både privat og kommunal del av trykkavløpsystemet. Det inkluderer innkjøp av pumpestasjoner med tilhørende fordrøyningsstank for den enkelte abonnent, inklusiv installasjon og inngåelse av serviceavtale med pumpeleverandør. I løpet av prosjekteringen avklares antall pumper i den enkelte pumpestasjon, størrelse på fordrøyningsstank, og om abonnenter vil gå sammen om felles pumpestasjon.

Hvis abonnentene skal dele pumpestasjon er det viktig å ha en god og beskrivende avtale mellom deleierne. I tillegg må avtalen tinglyses, slik at ny eier ved eierskifte er klar over avtalen. Det er også viktig med en god avtale med kommunen, som sikrer kontroll og krav til pumpestasjonen.

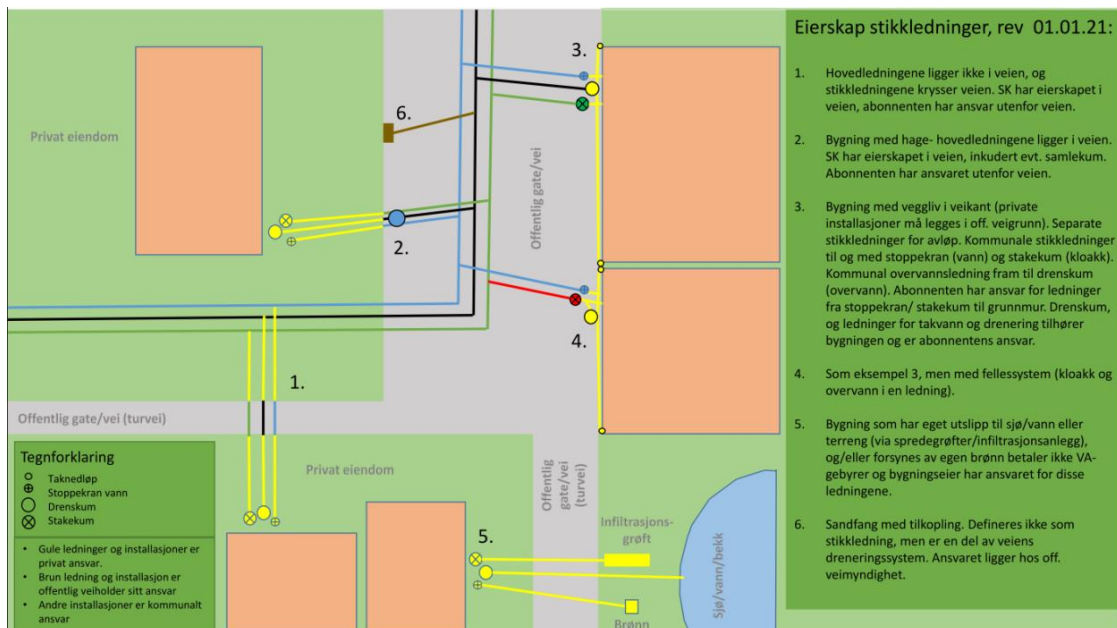
Abonnenter som ikke vil delta i et samarbeidsprosjekt, må sørge for å utføre alt arbeid på egen hånd. Selvstendig arbeid baseres på oppfølging av pålegg om tilknytning gitt av Seksjon for vann og avløp.

Det tar lengst tid å få alle abonnentene til å koble seg til det nye kommunale trykkavløpssystemet basert på punkt 3. Så lenge abonnentene er tilknyttet eksisterende kommunalt ledningsnett, må dette avløpsnettet opprettholdes. For å unngå at dette tidsperspektivet ikke skal vare over flere år anbefales det at kommunen setter en maksimal tidsfrist for å koble seg over, etter at den nye hovedledningen er satt i drift. Rapporten foreslår et tidsperspektiv på 2-3 år, slik at det ikke tar unødvendig tid. For å lykkes med dette må Seksjon for vann og avløp ha tilgang til personellressurser som kan følge opp abonnentene både gjennom dialog og oppfølging av pålegg. Dersom disse ressursene ikke er til stede i tilstrekkelig omfang, er det stor risiko for at kommunen må drifte to typer avløpssystem i flere år framover.

10.3.1 Eierforhold

En utfordring med trykkavløp i urbane områder, er å avklare grensen mellom privat og kommunalt eierskap og ansvar. Ifølge kommunal lov om vass- og avløpsanlegg §1 er det definert at *kommunen* skal eie hovedledninger for vann og avløp, pumpestasjoner, høydebasseng og anlegg for håndtering og rensing av vann og avløp (73). Ses denne loven i sammenheng med plan- og bygningsloven og forurensningsloven, må kommunen selv bestemme hvem som skal eie og ta ansvar, gjerne sammen med abonnentene. Ved at kommunen eier mer vil det bli både enklere for abonnentene, og kommunen får større kontroll på systemet.

Stavanger kommune har valgt å eie alle ledninger i offentlige gater og veier, grunnet utfordringer ved graving på disse stedene. Se figur 41. Under veien er det i dag et mer sammensatt bilde enn det det var før, da det befinner seg flere ulike kabler og ledninger. I tillegg er veiene brede og rørene kan ligge dypt, som kan bli både komplisert og kostbart for private. Da er det bedre at kommunen, som profesjonell forvalter, har dette ansvaret. Dette vil føre til raskere reparasjon av feil, færre lekkasjer og bedre tilsyn av stikkledningene. (74)



Figur 41: Eierforhold av stikkledninger i Stavanger kommune (89)

Å eie alle ledninger på offentlige gater og veier i dette prosjektet har både fordeler og ulemper. Ved at Tromsø kommune eier alle ledningene, vil det bli både enklere og mindre kostnader for de private. Det er imidlertid ingen store og trafikkerte veier på strekningen trykkavløpet er bestemt plassert. Sett i forhold til kompleksiteten ved offentlige gater og veier, er det ikke behov for denne løsningen i dette prosjektet. Det kan likevel være en god idé at kommunen eier alle ledningene innenfor det inngjerda området, da det kan bli vanskelig å grave inn her. Spesielt gjelder dette stikkledninger som krysser gjerdet.

Denne eierformen kan likevel være en god løsning i andre områder, slik som bolig- eller sentrumsområder. Disse vil ha mer trafikk og komplekse grøfter. Det anbefales at kommunen ser nærmere på dette i et eget prosjekt

Siden Seksjon for vann og avløp ønsker å bli kvitt sjøvannsproblemet raskt, kan det være en fordel å eie helt fram til pumpestasjonene. Da vil de få en løsning hvor de eier hovedledningen, stikkledningene og pumpestasjonene. På denne måten kan Tromsø kommune optimalisere systemet ved prosjektering. I tillegg er det mer sikkert at nødvendig vedlikehold blir gjort, da de selv styrer dette. Det antas at gjennomføringen tar relativt kort tid. Ulempene er at hele systemet har en høyere kostnad enn hva som opprinnelig var tenkt for Seksjon for vann og avløp, samtidig som valg av en slik systemløsning fort ville kunne utløse forventninger om at samme type ordning kan innføres flere steder i Tromsø kommune.

At Tromsø kommune skal overta alle private stikkledninger vil imidlertid gi både økte investerings- og driftskostnader, samtidig som det vil kreve at kommunen må sette inn flere personellressurser i forvaltningen av et ledningsnett som vil bli betydelig utvidet. Seksjon for vann og avløp har drifts- og vedlikeholdsansvaret for totalt ca. 538 km avløps- og overvannsledninger (1 s. 3). Det er betydelig usikkerhet med henhold til omfang av privat stikkledningsnett, men det er ikke usannsynlig at en ansvarsoverføring av alt privat stikkledningsnett til Seksjon for vann og avløp ville medføre en dobling av antall km avløps- og overvannsnett. Det anbefales derfor at Seksjon for vann og avløp foretar en økonomisk og juridisk vurdering av en slik utbyggingsløsning som en del av det videre prosjekteringsarbeidet.

10.4 Løsningen satt inn i andre områder

10.4.1 Boligområdet

Hvis løsningen utføres i et boligområde som eksisterer i dag i Tromsø kommune, må det tas hensyn til enda flere abonnenter. I tillegg er det da boligeiere som må betale for stikkledninger og pumper. Mange har forskjellig økonomi, slik at belastningen for utbygging varierer sterkt. I tillegg har ikke alle privatpersoner håndtert slike situasjoner før, og må derfor sette seg inn i ny informasjon. Det er derfor all grunn til å anta at det blir satt av tid og personellressurser til dialog og oppfølging av alle berørte abonnenter i forberedelsene og gjennomføringen av prosjekteringsfasene. Dette gir ekstra tid til gjennomføring av prosjektet.

Det anses som vanskeligere å gjennomføre trykkavløp i eksisterende boligområder, og det bør derfor benyttes mer ressurser på slike prosjekter. Det anbefales støtteordning, og tydelige instruksjoner og anbefalinger. I tillegg oppfordres det til å gi råd om ulike entreprenører, samt god oppfølging fra Seksjon for vann og avløp.

Når et boligfelt skal bygges nytt unngås mange av problemene i avsnittene over. Da bygges avløpssystemet i sin helhet samtidig med boligfeltet, og dermed blir tidsperioden med bygging mindre. I tillegg er det ikke nødvendig å forholde seg til gamle rør. Det antas at den økonomiske belastningen blir mer rettferdig for potensielle huseiere, da kostnadene blir fordelt. Det er derfor enklere å legge et trykkavløp i et nytt boligfelt i forhold til et eksisterende.

10.4.2 Sentrumsområdet

I forhold til boligområder er det vanskeligere å legge trykkavløp i et eksisterende sentrumsområde i Tromsø kommune. Dette er fordi slike områder har sammensatte grøfter og dermed er store deler av det offentlige vegarealet allerede benyttet. Det er derfor viktig med grundige undersøkelser av området for å få en oversikt over hva som befinner seg i grunnen.

Etablering av nye trykkavløpssystem kan derfor by på kompliserte grøftearbeid når det eventuelt også skal finnes plass til utvendig pumpestasjoner og fordrøyningstanker. I tillegg består svært ofte sentrumsområder av en blanding av næringsbygg og ulike typer boligbebyggelse der eierstrukturen kan være komplisert. Dermed vil det gi ekstra utfordringer i dialogen med de private fram til en endelig løsning foreligger. For å lykkes i arbeidet med etablering av trykkavløp må Seksjon for vann og avløp bruke mer ressurser og vise større tålmodighet i sentrumsområder enn i boligområder.

Et stort problem i sentrumsområder er i tillegg bygninger der innvendige taknedløp leveres inn på kommunalt avløpsnett i felles stikkledning. Et trykkavløpssystem krever at overvann og drensvann utelukkes fra systemet, noe som vil bli utfordrende å oppnå i et sentrumsområde dersom bygninger benytter slike løsninger. Innvendig ombygging for å skille ut takvannet antas å kunne bli både komplisert og kostnadskrevenende. Dersom det skal innføres trykkavløp i sentrumsområder, anbefales det derfor å utarbeide en løsning for å håndtere takvannet.

10.5 Innføring av laveste sone

Seksjon for vann og avløp har valgt å innføre begrepet «laveste sone». Dette har hjulpet med å definere nøyaktig hvor høyt i terrenget overløp kan befinne seg. Sonen gjør det også mulig å lokalisere behovet for tette systemer slik som trykkavløp. Det er ikke kun Tromsø som har problemer med sjøvann, men også flere kystkommuner. Det anbefales derfor å benytte begrepet «laveste sone» i alle kommuner i Norge som sliter med sjøvannsproblematikk.

Først og fremst burde resten av Nord-Norge innføre laveste sone. Dette er på grunn av at differansen mellom flo og fjære er størst nord i landet, se kapittel 3.3.1. Kravene vedtatt i Tromsø kommune angående laveste sone, kan være grunnlag ved innføring av begrepet i andre kommuner. Ved innføring av begrepet er det enklere å vite hvilke områder som er i samme situasjon som Breivika Havn.

10.6 Trykkavløp og klimatilpasning

Tromsø kommune sliter i dag med sjøvannsinnelekking i avløpssystemet i laveste sone.

Analysen av avløpsspumpetasjonene i byområdet viser at 14 av 77 avløpsspumpetasjoner er påvirket av sjøvann, samtidig som cirka 8 % av det kommunale avløps- og overvannsnett ligger i laveste sone med sjøvannsinnelekking (1 s. 6). Prognosene for stigende hav bidrar til at potensialet for sjøvannsinnelekking blir større. En økende andel av eksisterende avløps- og overvannsnett vil periodevis påvirkes av tidevannet, dersom det ikke iverksettes tiltak som sikrer at hele laveste sone får etablert et tett avløpsnett.

I dette prosjektet konkluderes det med at trykkavløp er den beste måten å sikre seg mot sjøvannsinnelekking. I og med at den eksisterende bebyggelsen i laveste sone ikke slipper unna utfordringene som stigende hav representerer, vil disse bygningene på et eller annet tidspunkt måtte bytte fra et selvfallsystem. Stadige tilbakeslagsskader vil utvilsomt bidra til at dette får oppmerksomhet.

Det er ikke bare stigende hav som utløses av de varslede klimaendringene. I tillegg forteller prognosene om økte nedbørmengder og større nedbørintensitet. Allerede i dag ender mye regnvann i avløpfellesledninger, og bidrar der til overløpsdrift både på ledningsnett og i avløpsspumpetasjoner. Dette vil bli verre med kommende klimaendringer. Overløpsutslipp skjer både til ferskvanns- og sjøvannsresipienter, som igjen både kan true drikkevannsinteresser og gi økte brukerkonflikter når vannforekomstene skal brukes til for eksempel rekreasjon og friluftssinteresser.

I stedet for å blande overvann med spillvann, er det bedre at de holdes helt separert. I Norge er det flere bykommuner som arbeider med ulike strategier for separering og overvannshåndtering. Dette vil være et arbeid som må pågå i flere tiår framover, gitt de utfordringene for å holde tritt med den generelle forfallsutviklingen i ledningsnett og behovet for et klimatilpasset avløps- og overvannssystem.

Videre gir separering mulighet til å utnytte overvann, som er en enorm ressurs. I dag blir overvann i fellesavløpsledninger unødvendig renses og sluppet ut i resipienter. Når overvannet er adskilt, kan det erstatte jobber som rent drikkevann har i dag. Dette er for eksempel vasking, spyling i do og vanning av plenen.

10.6.1 FNs bærekraftsmål

«FNs bærekraftsmål er verden felles arbeidsplan for å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringene innen 2030.» (75) Figur 42 viser målene.



Figur 42: FNs bærekraftsmål (75)

FN har 17 bærekraftsmål der flere henger sammen med hverandre. Løsningen er innom flere av målene da systemet er tett og klimatilpasset.

Tabell 18 sammenlikner FNs bærekraftsmål (vannrett) med positive sider ved trykkavløp (loddrett). Trykkavløpet krysser av på minst ett punkt ved målene. Under er det listet opp forklaring av loddrette punkter:

- Separering: Separerer spillvannet og overvannet i to forskjellige rør. Dette kan føre til bedre utnyttelse av spillvann og overvann, for eksempel bruke varme og slammet fra spillvannet, og bruke overvann i diverse drikkevannsoppgave (skylle ned do, vanne plen og liknende).
- Mindre materialbruk: Trykkavløp krever mindre dimensjoner.
- Tett løsning: Ved bruk av PE-rør og trykk i rør blir systemet tett. Dette medfører ingen innlekking av fremmedvann og utlekking av spillvann. Redusert utlekking av spillvann gir mindre forurensningsutslipp til omgivelsene.
- Bedre renseseffekt: Separering og tett løsning gir en mer stabil avløpsmengde inn på avløpsrensaneanleggene som igjen gir grunnlag for bedre drift og dermed økt renseseffekt.

- Grunne grøfter: Løsningen medfører mindre CO₂-utslipp på grunn av mindre anleggsarbeid.
- Håndtering av klimaendringer: Trykkavløp håndterer klimaendringer som stormflo, havnivåstigning, og intenst regn.
- Bedre infrastruktur: Å oppgradere avløpssystemet med et trykkavløp vil bedre infrastrukturen. Eksisterende nett er selvfølgelig, som ikke lenger tåler dagens klima.

Mål/Klimap.	3: God helse og livskvalitet	6: Rent vann og sanitærforhold	9: Industri innovasjon og infrastruktur	11: Bærekraftige byer og lokalsamfunn	13: Stoppe klimaendring	14: Livet i havet	15: Livet på land
Separering			X		X		
Mindre materialbruk					X		
Tett løsning	X	X	X				X
Bedre renseseffekt	X	X	X			X	
Grunne grøfter				X			
Håndtering av klimaendringer				X	X		X
Bedre infrastruktur			X	X			X

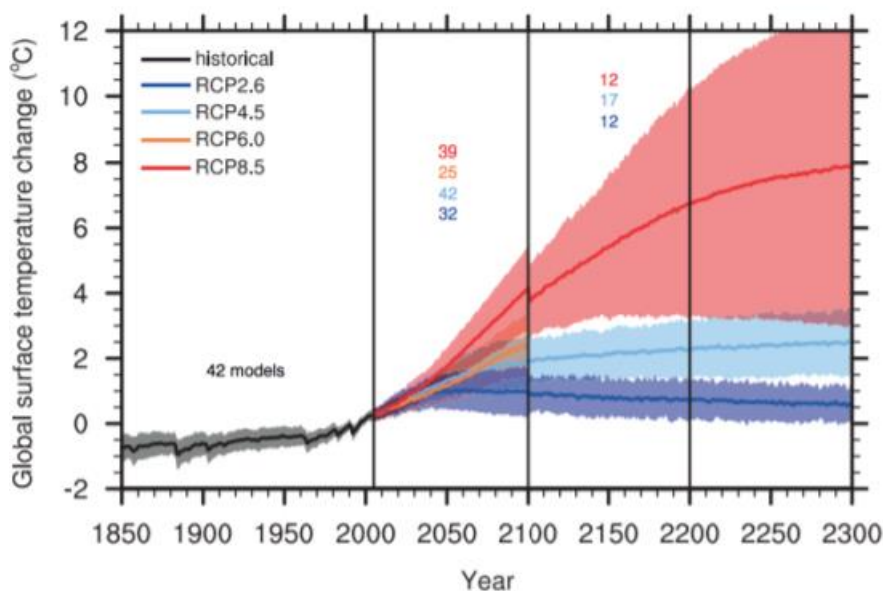
Tabell 15: Sammenlikning av bærekraftmålene og trykkavløp

Selv om det er usikkerhet rundt hvilket avløpssystem som er den beste løsningen for håndtering av klimaendringene, viser sammenlikningen i tabell 15 at trykkavløp er en god løsning.

10.6.2 Klima etter år 2100

Klimaservicesenter har forsket mye på hvordan klima forandrer seg fram til år 2100. Det de derimot ikke har like mye tall på, er hva som skjer etter dette. Det blir derfor en utfordring å vite hvordan det bør planlegges for tiden etter århundreskifte. Eksempel på dette er klimatall og at de oppdateres hele tiden.

Det finnes tre hovedscenarier angående klimaprogner. Det kan bli mer kritisk, mindre kritisk, eller holde seg uendret. Graden og konsekvensene av de forskjellige utviklingene er beregnet og har sin egen utviklingsbane (76). Se figur 43. Som figuren viser, er det utallige slike baner. Dette gjør det vanskelig å utarbeide en plan for framtiden, da det er usikkert hvilken utviklingsbane som mest sannsynlig kommer til å skje.



Figur 43: Utviklingsbaner, RCP, for klima i framtiden (99)

En ting som er sikkert, er at havet kommer til å stige. Det betyr at flere og flere steder i Norge er utsatt for lik situasjon som Breivika Havn. Derfor er sikring av tetthet til rør, noe av det viktigste som kan gjøres for framtidens VA-anlegg. I dag er ikke problemet å produsere tette rør, men rør som forblir tette i hundre år. Rør er tette når de er nyprodusert, men slites etter hvert ved bruk. Trykkavløp har fordelen med at det benyttes sterkt materiale i tillegg til at det er trykk som gjør at det er mindre utsatt for inntrenging av fremmedvann.

10.7 Strømkostnader

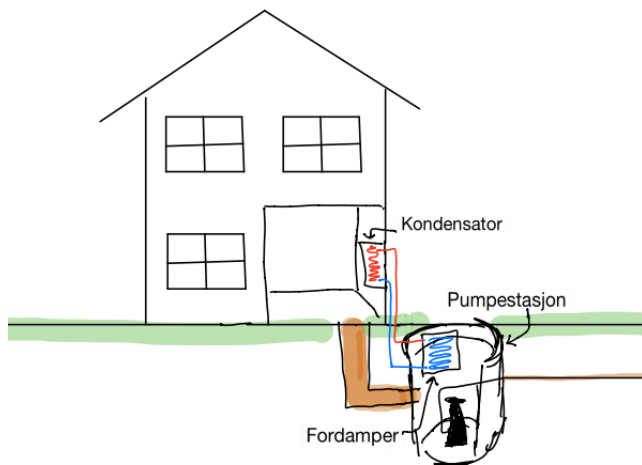
Et trykkavløp vil gi strømkostnader. Pumpene er avhengig av strøm for å kunne kverne og pumpe avløpet videre. Varmekablene i rørene er også avhengig av strøm. Uten strøm i varmekablene vil avløpet i rørene fryse. Er røret fylt med avløp, kan røret sprekke. Dette er svært alvorlig. Uten strøm vil ikke systemet fungere. Det er dermed viktig at abonnentene ikke slår av strømtilførselen til pumpene eller varmekablene, med mindre det er lange perioder hvor bygningen ikke blir brukt. Det kan da være en idé å tømme sumpen før strømmen skrur av grunnet luktproblematikken. Dette kan gjøres ved å innstille nivået i nivåsensoren. Å slå på strømmen i god tid før pumpen skal pumpe avløp, slik at røret får varmet seg opp, er også en god ide. For kommunen, som eier hovedledningen, vil det være viktig å alltid ha strøm i varmekabel, da de aldri kan være sikre på om abonnentenes pumper brukes eller ikke. Det er som nevnt alvorlig om rørene sprekker på grunn av kulde.

Hvis det er ønskelig å redusere kostnadene på strøm, er det blant annet to muligheter som kan vurderes. Å bruke varmeregulerende varmekabler vil gi noe mindre strømkostnad, spesielt på varme dager. Å legge rørene i frostfri dybde vil også hjelpe, da det her ikke er nødvendig med preisolerte rør med varmekabel. Å grave en dypere grøft gir høyere kostnader, men dette må vurderes opp mot strømkostnader over en lengre periode (flere tiår).

10.8 Innovasjon

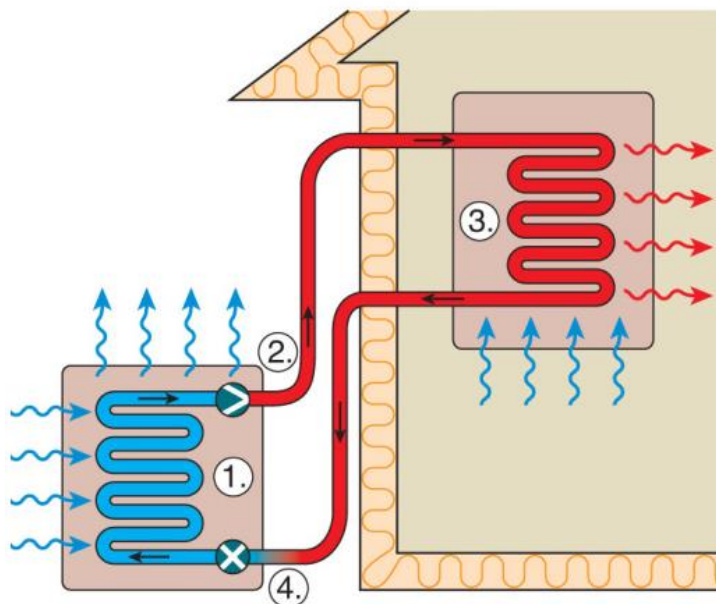
For å redusere klimagassutslippene anbefales det å utnytte varmen fra trykkavløpsystemet. Denne varmen hentes fra sumpen i pumpestasjonen, og teknologien skal fungere som en varmepumpe. Ifølge det internasjonale energibyrå (IEA) reduseres klimautslippene ved bevisst satsing på varmepumper. (77)

Trykkavløpet er fra før av ganske tett på abonnentene fordi alle har en egen pumpestasjon rett ved bygningen. Dermed er det kort vei å transportere varmen fra sumpen. Se figur 44.



Figur 44: Eksempelillustrasjon av varmepumpe i trykkavløp

Prinsippet bak varmepumper er ikke svært avansert. Systemet består av en fordamper [1], kompressor [2], kondensator [3], og en ventil [4] (78). Se figur 45. Fordamperen står i dette tilfellet i sumpen og gjerne høyt. Dette er fordi varm luft fra sumpen vil stige og gi varme til fordamperen. Kondensatoren står inne i bygningen, og den kan eventuelt integreres med ventilasjonen. Ledningen mellom fordamper og kondensator som er utsatt for kulde, bør være isolert slik at ingen varme unnslipper.



Figur 45: Prinsippskisse av varmepumpe (79)

En måte en varmepumpe kan fungere er ved bruk av fordamping og kondens. En kompressor bruker strøm for å varme opp damp fra fordampere ved å øke trykket. Kokepunktet økes også. I kondensatoren vil temperaturen være høyere i systemet enn utenfor. Da vil dampen kondensere, og frigi energi til omgivelsene. Videre vil væsken gå til ventilen som senker trykket. På denne måten vil også temperaturen og kokepunktet til væsken reduseres. I fordampere har væsken mindre temperatur enn omgivelsene. Da vil væsken ta til seg varme fra omgivelsen, og fordampe. Dampen går igjen videre til kompressoren. Dette gjentas om og om igjen. (78)

Den største fordelen med en varmepumpe som henter varmen fra avløpet er at den er energieffektiv. Den øker energieffektiviteten av oppvarmingen, da den gir 3-5 ganger mer kW enn den bruker (80).

Løsningen burde ses i sammenheng med kostnader for oppvarming av rør. Varmepumpen vil ta varme fra avløpet, og dermed kan det tenkes at det er behov for å bruke mer strøm til varmekabelen for oppvarming av rørene. Kostnadsspørsmålet burde undersøkes mer nøyaktig om løsningen skulle være aktuell. Hvis det viser seg å være lønnsomt med løsningen, vil det både redusere kostnader og klimaavtrykk. Hvis det viser seg å ikke være lønnsomt, kan det være en idé å legge rørene i frostfri dybde for å unngå preisolerte rør.

En annen ulempe med ideen er at det kan virke uhygienisk å benytte seg av sanitært vann for oppvarming av bygninger. For abonnenter kan tanken på dette virke uhygienisk, selv om det ikke nødvendigvis er slik. Det er derfor viktig å velge en god forklaring slik at løsningen framstår hygienisk.

Utnyttelse av varmen fra spillvann er teknologi som er i bruk allerede i dag. Både i Gøteborg i Sverige og Köln i Tyskland er prinsippet fra varmepumpe tatt i bruk for å hente varmeenergi fra spillvannshovedledninger (81). Dette er da ikke ved trykkavløpsrør, og det er heller ikke hentet varme fra en sump og benyttet direkte til en bygning. Det oppfordres derfor til videre utredning av denne løsningen.

10.9 Usikkerheter

10.9.1 Spillvannsmengde

Å beregne nøyaktige spillvannsmengder er krevende og krever mye kartlegging. I dette prosjektet er det brukt flere ulike metoder for å finne antall pe til de ulike abonnentene, da man ikke har hatt samme type opplysninger om alle. Å bruke flere ulike metoder, vil i seg selv gi høyere usikkerhet.

Avlest kubikk og maksimal avlest kubikk var verdier hentet fra vannmålere, og er realistiske tall det er knyttet lite usikkerhet rundt.

Det er rundt de tre resterende metodene usikkerheten øker. Det antas at usikkerheten øker desto lengre ned på listen i kapittel 8.1. Å anta en maksimal avlest kubikk til en abonnent kun med hensyn på type virksomhet, gir en svært usikker spillvannsmengde, og var i dette tilfelle siste utvei.

Grunnet store usikkerheter rundt pe, er en mulighet å benytte spesifikk vannmengde lik $200 \text{ l/pe} \cdot \text{d}$ i stedet for $150 \text{ l/pe} \cdot \text{d}$. Det er likevel viktig at systemet ikke overdimensjoneres, da hastigheten kan bli lavere enn selvreisende hastighet. Det anbefales dermed nøyere kartlegging av spillvannsmengdene på Breivika Havn for å oppnå et optimalt avløpsnett.

10.9.2 Dimensjonering

Ved dimensjonering av trykkavløp er det vanlig å benytte dimensjoneringsprogrammer. Dette er en studentoppgave og det var derfor ikke tilgang til slike programmer. Dimensjonering utført i kapittel 8 er derfor et grovt overslag, men den ble utført etter beste evne.

10.9.3 Sannsynlighetsformel

I kapittel 8.3 blir det benyttet en sannsynlighetsformel for å finne sannsynligheten for at antall pumper går samtidig. I dette prosjektet blir ikke formelen realistisk, da den ikke tar hensyn til at abonnentene har ulik spillvannsmengde og sumpstørrelse. For eksempel har Circle K et mye større forbruk enn et lagerhus. I tillegg er volumet av sumpen beregnet uten å trekke fra volumet av selve pumpen. Figur 31 gir derfor kun en pekepinn på hvordan situasjon blir.

10.9.4 Simulering i EpaNet

Denne oppgaven har dimensjonert kun pumpe 1, se figur 29, og dermed blir det usikkerheter rundt simuleringen gjennomført i EpaNet. Simuleringen har tatt utgangspunkt i like pumpekurver for alle pumpene. Dette er ikke realistisk da pumpene vil ha forskjellige pumpekurver tilpasset hver enkelt abonnent. Med riktige pumpekurver antas det at både hastighet og trykk vil reduseres.

Det er gunstigere å finne alle pumpekurver ved å prøve seg fram i et simuleringsprogram, for eksempel EpaNet. Dette ble oppdaget av gruppen for sent, og det ble dermed ikke nok tid. I denne rapporten er det kun utført utregning for hånd, og valgt pumpekurve ut ifra dette. Denne ble derfor ikke ideell, da det ikke er en avgrensing på 2 l/s.

Gjennom simuleringen kom det fram at scenario 4; pumpe 1 går alene, og scenario 6; ingen pumper går, er realistiske scenarioer. De resterende scenarioene er en pekepinn på hvordan systemet vil fungere som en helhet.

Simuleringen i seg selv er heller ikke sikker, da det i denne rapporten ikke var tilgang på variasjonsverdier i døgnet. Derfor var det ikke mulig å kontrollere scenarioer, for eksempel når pumper nært renseanlegget koblet seg på da det allerede var vann i nettet. Dette vil også påvirke hastigheten.

11 Konklusjon

Løsningen som ble valgt i dette prosjektet var et trykkavløpssystem i grunn grøft lokalisert over eksisterende ledninger i Terminalgata, med 28 pumper. Den ble funnet ved å utarbeide fem ulike løsninger, og deretter sammenlikne dem. Løsningen ble valgt da den krysset av på alle krav fra Seksjon for vann og avløp, i motsetning til resterende løsninger.

Den mest ugunstige pumpestasjonen og hovedledningen ble dimensjonert. Deretter ble tegninger produsert i AutoCAD, Novapoint og Focus VARDAK, og løsningen ble simulert i EpaNet. Til slutt ble det også utarbeidet en anbudsbeskrivelse i Focus Anbud og en ROS-analyse.

Prosjektet har et stort fokus på abonnentene, da det er svært viktig at disse blir med frivillig på omleggingen til trykkavløp. Flere forslag ble diskutert, og det blir konkludert at den mest effektive løsningen på Breivika Havn er at alle ledninger blir lagt samtidig. Hvis dette ikke lar seg gjennomføre, er det viktig at Seksjon for vann og avløp avsetter personellressurser og setter en maksimal tidsfrist for å koble seg over. På denne måten unngås det at prosjektet bruker unødvendig lang tid.

En risiko ved å legge alle ledninger og pumpestasjoner samtidig er at det ikke er sikkert at abonnentene vil delta i dette samarbeidsprosjektet. I tillegg fungerer avløpsnett på Breivika Havn til et visst nivå, og da ser ikke nødvendigvis abonnentene behovet med en omlegging. Derfor anbefales det å informere abonnentene om omleggingen til trykkavløp tidlig. Dette burde skje allerede før detaljprosjekteringsfasen.

Risikoene ved omlegging til trykkavløp vil øke ved mer kompliserte eierforhold og infrastruktur, slik som i bolig- og sentrumsområder. På grunnlag av dette bør kommunen se nærmere på å eie stikkledninger under offentlig gate og vei, spesielt i sentrumsområder.

Andre kystkommuner i Norge bør vurdere å innføre begrepet «laveste sone», da dette være til stor hjelp for å løse sjøvannsproblematikken.

Havnivået vil fortsette å stige, og andre klimaendringer stopper ikke. Rapporten konstanterer med at et trykkavløp er en egnet løsning, da systemet bruker et passende materiale og er et trykksystem.

12 Kilder

1. Seksjon for vann og avløp. *Kommunedelplan VA utkast avløpsdel per februar 2021*. Tromsø : Tromsø kommune, 2021.
2. Plan- og bygningsetaten . Overvann. *Direktoratet for byggkvalitet* . [Internett] 6 juni 2012. [Sisert: 9 mars 2021.] <https://dibk.no/globalassets/tilsyn/storbynettverket/storbynettverket-2012/overvann---oslo.pdf>.
3. Barlindhaug, John. Snl. *gråvann*. [Internett] 2018. [Sisert: 13 Mai 2021.] <https://snl.no/gr%C3%A5vann>.
4. Pipelife. PVC trykkrør. [Internett] [Sisert: 13 mai 2021.] <https://www.pipelife.no/infrastruktur/vmt/pvc-trykkroer.html>.
5. PipeLife. *Symbolbruk og terminologi*. s.l. : PipeLife Norge AS, 2020.
6. Norsk Vann. *Vann og avløpsteknikk (e-bokutgave)*. s.l. : Norsk Vann, 2019.
7. Thue, Jan Vincent. snl. *fundament*. [Internett] 16 Juli 2016. [Sisert: 14 Mai 2021.] <https://snl.no/fundament>.
8. Seksjon for vann og avløp. Tromsø kommune. *Vann og avløp i Tromsø kommune*. [Internett] 24 Januar 2021. [Sisert: 13 Mai 2021.] <https://www.tromso.kommune.no/?cat=465214>.
9. Rød, Jan Ketil. NN2000. *Store noske leksikon* . [Internett] 15 november 2020. [Sisert: 9 mars 2021.] <https://snl.no/NN2000>.
10. Berg, Thomas Reinertsen. Stor norske leksikon. *Kote*. [Internett] 21 januar 2021. [Sisert: 14 mai 2021.] <https://snl.no/kote>.
11. Tromsø Havn. Hovedkaier. [Internett] [Sisert: 13 mai 2021.] <https://www.tromso.havn.no/tjenester/kaier/>.
12. Samferdselsdepartementet . Forskrift om sikring av havner. [Internett] 31 mai 2013. [Sisert: 13 mai 2021.] <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2013-05-29-539>.
13. Seksjon for vann og avløp. *Hovedplan vann og avløp 2015 - 2030*. Tromsø : Tromsø kommune, 2015.
14. DSB. *Havnivåstigning og stormflo*. s.l. : DSB, 2016. ISBN 978-82-7768-389-8 (PDF).

15. Seksjon for vann og avløp. *Vedlegg til VA-norm - VAO-anlegg i laveste sone*. Tromsø : Tromsø kommune, 2018.
16. E.S.I. Pumpe - 04: Nivå abonnement - pumpestasjon . *Tromsø kommune* . [Internett] 9. mai 2018. [Sisert: 2. mars 2021.]
<https://img8.custompublish.com/getfile.php/4163645.1308.wmtbqtbkwtmism/PUMPE-04.pdf?return=www.tromso.kommune.nov>.
17. Seksjon for vann og avløp. *VA-norm for Tromsø kommune*. Tromsø : Tromsø kommune, 2018.
18. Sekretariatet Norsk Vann. 3-2019 Beregning av bærekraftig fremmevannsandel. *norsk vann*. [Internett] 2019. [Sisert: 11 februar 2021.] <https://www.norskvann.no/files/docs/3-2019.pdf>.
19. Vråle, Lasse. Fremmedvann - Et stort problem for norske ledningsnett og renseanlegg. *VANN*. 03, 2011.
20. Lindholm, Oddvar J. og Bjerkholt, Jarle T. Store fremmedvannmengder i norske avløpsrenseanlegg. *VANN*. januar 2011, Vol. 2011, 01.
21. Norsk rørsenter AS, Grøner AS. *Kravspesifikasjon for vann- og avløpsrør av PE-materiale*. s.l. : Stiftelsen VA/Miljø-blad, 2019. Nr.11.
22. Klimaservicesenter. *Klimaprofil Troms*. s.l. : Klimaservicesenter , 2021.
23. Sælen, Odd Henrik og Weber, Jan Erik. Store norske leksikon. *Tidevann*. [Internett] 20 Desember 2020. [Sisert: 4 Mars 2021.] <https://snl.no/tidevann>.
24. Kartverket. Kartverket. *Hvorfor er ikke tidevannet likt over alt?* [Internett] 6 Oktober 2020. [Sisert: 11 Mai 2021.] <https://www.kartverket.no/til-sjos/se-havniva/lar-om-tidevann-og-vannstand/hvorfor-er-ikke-tidevannet-lik-over-alt>.
25. —. Kartverket. *Lær om tidevann og vannstand*. [Internett] 15 Desember 2020. [Sisert: 8 Mars 2021.] <https://www.kartverket.no/til-sjos/se-havniva/lar-om-tidevann-og-vannstand/hva-er-stormflo>.
26. statistisk sentralbyrå. ssb. *Vil ta 160 år å skifte ut det kommunale spillvannsnettet*. [Internett] 26 Juni 2017. [Sisert: 15 Mai 2021.] <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/vil-ta-160-ar-a-skifte-ut-det-kommunale-spillvannsnettet>.

27. Norsk Vann. Norsk Vann. *Lærlingskole VA*. [Internett] [Sisert: 2 Mai 2021.]
<https://kurs.norskvann.no/mod/glossary/showentry.php?courseid=22&concept=Separatsystem>.
28. Jensen, Cato. *VMT (VA) Konsept - Trykkavløp*. s.l. : Brødrene Dahl, 2016.
29. SKT. Sktnorge. *Trykkavløp*. [Internett] SKT. [Sisert: 7 Mai 2021.]
<https://sktnorge.no/trykkavlop/>.
30. Jets. Vvs24. *sanitaersystemer*. [Internett] 2020. [Sisert: 11 Mai 2021.]
<https://www.vvs24.com/sanitaersystemer/>.
31. Dag, Johnson G. snl. *Pumpe*. [Internett] 8 Mars 2019. [Sisert: 30 April 2021.]
<https://snl.no/pumpe>.
32. Mathisen, Rune. Ndl. *Sentrifugalpumpe*. [Internett] 5 Mars 2017. [Sisert: 7 Mai 2021.]
<https://ndla.no/nb/subject:28/topic:58141a86-a9d7-4789-b6f9-958d1d8af05e/topic:1:53805/topic:1:121943/resource:d1a548c7-aea3-4199-be47-9ea59c122ec8?filters=urn:filter:5a5cac3f-46ff-4f4d-ba95-b256a706ec48>.
33. Fjellmann, Maria. *Grunnleggende pumpeteori - del 1*. [Zoom] Trondheim : Xylem, 2020.
34. Tau Strand, Kjersti. *Trykkavløp i spredt bebyggelse*. Stavanger : Aslpan Viak, 2019.
35. Mathisen, Rune. Ndl. *Fortrengningspumpe*. [Internett] 1 August 2018. [Sisert: 7 Mai 2021.] <https://ndla.no/nb/subject:28/topic:58141a86-a9d7-4789-b6f9-958d1d8af05e/topic:1:53805/topic:1:121943/resource:1:123159?filters=urn:filter:5a5cac3f-46ff-4f4d-ba95-b256a706ec48>.
36. Fuglesangs. Fuglesangs. *Eksenterskruepumper*. [Internett] [Sisert: 15 Mai 2021.]
<https://www.fuglesangs.no/produkter/pumper/Fortrenger-pumper/Eksenterskruepumper?hsLang=nb>.
37. Pumpe og maskinteknikk. Pumpe og maskinteknikk. *eksenterskruepumper*. [Internett] [Sisert: 15 Mai 2021.]
<https://pumpeogmaskinteknikk.no/produkter/fortrengerpumper/eksenterskruepumper/>.
38. Nagalingam, Jesharuzan. *Trykkavløpssystemer i boligområder*. Ås : Norges miljø- og biovitenskaplige universitet , 2018.

39. Klima- og miljødepartementet. Lovdata. *Forskrift om begrensning av forurensing (forurensningsforskriften)*. [Internett] 1 januar 2007.
https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_4#KAPITTEL_4.
40. *Bestemmelse av personekvivalenter (pe) i forbindelse med utslippstillatelse for avløpsvann*. s.l. : Standard Norge, 2006.
41. NIBO. *Hydraulisk dimensjonering av vann- og avløpsanlegg*. s.l. : NIBO.
42. Lejon, Fred Magne Johansen og Rune. *Møte med Seksjon for vann og avløp i Tromsø kommune*. Trondheim/Tromsø, januar - mai 2021.
43. Fjellman, Maria. *Intervju med Xylem*. Trondheim, 16 april 2021.
44. Mohr, Marius, Iden, Jan og Beckett, Marc. *Guideline: Vacuum sewer systems*. Stuttgart, Tyskland : Desember, 2016.
45. Pipelife. *Pipelife rørhåndbok*. Surnadal : Pipelife Norge AS, 2020.
46. Norsk rørsenter AS, Grøner AS. *Kravspesifikasjon for rør og rørdeler av PVC-U materiale*. s.l. : Stiftelsen VA/miljø-blad, 2019. Nr.10.
47. —. *Kravspesifikasjon for trykkløse grunnavløpsrør og rørdeler av PP (polypropylen) materiale*. s.l. : Stiftelsen VA/miljø-blad, 2019. Nr.12.
48. —. *Kravspesifikasjon av rør og rørdeler av GRP materiale*. s.l. : Stiftelsen VA/miljø-blad, 2016. Nr.13.
49. Norsk Rørsenter AS, Hjellnes COWI AS. *Kravspesifikasjon for betong avløpsrør*. s.l. : Stiftelsen VA/miljø-blad, 2018. Nr. 14.
50. —. *Kravspesifikasjon for duktile støpejernsrør*. s.l. : Stiftelsen VA/miljø-blad, 2018. Nr. 16.
51. Olimb. Olimb. *Rørfornyning av spillvannsledninger, overvannsledninger og fellesledninger i offentlig VA-nett*. [Internett] [Sitert: 15 mai 2021.] <https://olimb.no/rorfornying/rorfornying-offentlig-va/avlop/#toggle-id-1>.
52. Asplan Viak AS m/flere. *Strømpereovering av avløpspumpestasjoner*. s.l. : Stiftelsen VA/miljø-blad, 2018. Nr. 91.
53. *NoDig-metoder for hovedledninger - Metodeoversikt*. s.l. : Stiftelsen VA/miljø-blad, 2009. Nr. 90.

54. Norsk Rørsenter AS, Interconsult AS,. *Grøfteutførelse fleksible rør*. s.l. : Stiftelsen VA/Miljøblad, 2016. Nr.5.
55. Isoterm. *Lett kommunalteknikk* . s.l. : Isoterm AS, 2018.
56. PipeLife. *Belastninger på rør i grøft*. s.l. : PIPELIFE Norge AS, 2020.
57. Skandinavisk kommunalteknikk . *Teknisk Håndbok - Trykkavløp og frostsikring*. s.l. : Skandinavisk Kommunalteknik AB, 2013.
58. Isoterm AS. Isoterm. *isovarmva-produkt*. [Internett] [Sisert: 15 Mai 2021.]
<http://www.isoterm.no/isovarmva-produkt>.
59. SKT. SKT Norge. *Isolasjonskasse*. [Internett] [Sisert: 2 Mai 2021.]
<https://sktnorge.no/pumpestasjon/low-pressure-sewer/isolasjonskasse/>.
60. Norsk Vann. *Trykkavløp i spredtbygde og urbane strøk*. Hamar : Norsk Vann, 2017. 225.
61. Volue. volueinfrastructure. *Gemini VA*. [Internett] [Sisert: 18 april 2021.]
<https://volueinfrastructure.com/vann-og-miljo/VA-Ledningsdokumentasjon/gemini-va>.
62. —. volueinfrastructure. *Gemini Portal*. [Internett] [Sisert: 18 april 2021.]
<https://volueinfrastructure.com/vann-og-miljo/VA-Ledningsdokumentasjon/gemini-portal>.
63. Waagen, Jan Ole. Innsida. *EpaNet*. [Internett] 2 April 2019. [Sisert: 7 mai 2021.]
<https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/EpaNet>.
64. Trimble. Civil.trimble. *Novapoint*. [Internett] [Sisert: 25 April 2021.]
<https://civil.trimble.no/produkter/novapoint>.
65. Autodesk. Autodesk. *Oversikt, hva er Autocad?* [Internett] [Sisert: 25 April 2021.]
<https://www.autodesk.no/products/autocad/overview?term=1-YEAR>.
66. Focus Software AS. Focus. *Focus VARDAK*. [Internett] [Sisert: 30 April 2021.]
<https://www.focus.no/produkter/focus-vardak/>.
67. Focus Software. Focus. *Focus Anbud*. [Internett] Focus Software AS. [Sisert: 30 April 2021.]
<https://www.focus.no/produkter/focus-anbud/>.
68. Jets. Jetshytte. *kildeseparerende-avlop*. [Internett] 2020. [Sisert: 6 Mai 2021.]
<https://jetshytte.no/kildeseparerende-avlop>.

69. Lothe, Ruth. NMBU. *Boligblokka hvor ressursene går i kretsløp*. [Internett] 24 April 2019. [Sisert: 6 Mai 2021.] <https://www.nmbu.no/aktuelt/node/37122>.
70. SKT. *LPS1000EIV, isolert avløpspumpe-stasjon med varmekabel*. Drøbak : SKT.
71. Xylem. Xylem. *Flygt kvernpumper M3127*. [Internett] [Sisert: 19 mai 2021.] <https://www.xylem.com/nb-no/products-services/pumps--packaged-pump-systems/pumps/submersible-pumps/wastewater-pumps/grinder-pumps/grinder-pumps/m-3127/>.
72. Jacobsen, Tommy. *Møte med Seksjon for vann og avløp i Tromsø kommune*. Tromsø, 11 mars 2021.
73. Lov om kommunale vass- og avløpsanlegg (Vass- og avløpsanleggslova). *Lovdata*. [Internett] 16 desember 2012. <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2012-03-16-12>.
74. Stavanger kommune. Vanlige spørsmål om stikkledninger. *Stavanger kommune* . [Internett] 11 desember 2020. <https://www.stavanger.kommune.no/bolig-og-bygg/vann-og-avlop/stikkledninger/vanlige-sporsmal-om-stikkledninger/#blir-kommunen-ogs-eier-av-den-delen-av-stikkledningen-som-eventuelt-ligger-under-en-offentlig-lekeplass-eller-annet-offentlig-areal->.
75. FNs bærekraftsmål. *FN*. [Internett] 19 april 2021. [Sisert: 4 mai 2021.] <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>.
76. Bjørnæs, Christian. Miljødirektoratet. *Hva er de nye utviklingsbanene*. [Internett] 27 September 2013. [Sisert: 27 April 2021.] <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m32/m32.pdf>.
77. Nordal, Ola. Store norske leksikon. *oppvarming av hus*. [Internett] 2 Juli 2018. [Sisert: 28 April 2021.] <https://snl.no/.versionview/837085>.
78. Fløttre, Nils H. og Bedin, Thomas. NDLA. *Hvordan virker en varmepumpe*. [Internett] 3 august 2018. <https://ndla.no/nb/subject:21/topic:1:183351/topic:1:21827/resource:1:19060?filters=urn:filter:410c2790-c62c-4dc1-a30c-49ecd1063690>.
79. Varmepumpe. *Newton*. [Internett] <https://newton.no/rom-modul-forarbeid.aspx?id=1039&modulid=1650>.

80. 5 fordeler med varmpumpe. *miba*. [Internett] 28 januar 2019.
<https://www.miba.no/blogg/5-fordeler-med-varmpumpe/>.
81. Celsius Wiki. celsiuscity. *Don't waste the waste water: Clean energy from sewage*. [Internett] 31 Juli 2020. [Sisert: 16 Mai 2021.] https://celsiuscity.eu/clean-energy-from-sewage/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=clean-energy-from-sewage.
82. Polinor Fagpresse AS. Betongrør er best for miljøet. *VAforum*. 2017.
83. Svendsen, Jan. *Duktile støpejern for Trøndelag*. s.l. : PAM Saint-Gobain pipelines .
84. HOBAS Hydro AS. *HOBAS GRP trykkrør*. s.l. : HOBAS Hydro AS.
85. Ahlsell. Ahlsell. *Trykkrør PE 100 RC+ SDR11, lengder á 6 m. m/rødbrun stripe, Hallingplast*. [Internett] [Sisert: 15 mai 2021.] <https://www.ahlsell.no/33/va-og-mark/trykkror/trykkror-pe/2396463/>.
86. —. Ahlsell. *Avløpsrør PVC SN 8, rødbrun Wavin*. [Internett] [Sisert: 15 mai 2021.] <https://www.ahlsell.no/33/va-og-mark/va-avlopsror-og-deler/pvc-avlopsror/2251059/>.
87. —. Ahlsell. *Avløpsrør PP SN 8, rødbrun, Pipelife*. [Internett] [Sisert: 15 mai 2021.] <https://www.ahlsell.no/33/va-og-mark/va-avlopsror-og-deler/pp-avlopsror/3078818/>.
88. Lindholm, Oddvar. *Beregning av dimensjonerende avløpsmengde*. s.l. : Stiftelsen VA/Miljøblad, 2015. Nr.115.
89. Stavanger kommune. Stavanger kommune. *Stikkledninger og kart*. [Internett] 11 desember 2020. [Sisert: 16 mai 2021.] <https://www.stavanger.kommune.no/bolig-og-bygg/vann-og-avlop/stikkledninger/>.
90. Skandinavisk kommunalteknikk AS. *Tilbakeslagsventil*. Drøbak : Skandinavisk Kommunalteknikk AS.
91. Isoterm AS. *Lett kommunalteknikk - Grunne grøfter*. s.l. : Isoterm AS, 2018.
92. Dybvik, Thomas, Ness, Ole og Olsen, Rune Simonsen. *Avløpskonsepter i spredt bebyggelse*. Ålesund : Høgskolen i Ålesund, 2015.
93. Pettersen, Øystein Arctander. *Trykkavløpssystem i urbane områder*. Ås : Universitetet for miljø- og biovitenskap, 2013.

94. Halden kommune. Halden kommune. *Avløpssystemer*. [Internett] [Sisert: 18 Mai 2021.] <https://wwwold.halden.kommune.no/teknisk/vannavlop/Avl%C3%B8p/Sider/Avl%C3%B8pssystemer.aspx>.
95. Kartverket. Kartverket. *Se havnivå*. [Internett] 2021. [Sisert: 13 Mai 2021.] <https://www.kartverket.no/til-sjos/se-havniva>.
96. Norkart AS. Kommunekart. [Internett] <https://www.kommunekart.com/>.
97. Xylem. Xylem. *flygt-products*. [Internett] [Sisert: 15 Mai 2021.] <https://www.xylem.com/en-us/brands/flygt/flygt-products/n-3153/>.
98. SKT. Skandinavisk kommunaltteknikk. *VA-termonologi*. [Internett] Januar 2021. [Sisert: 9 Mars 2021.] <https://sktnorge.no/trykkavlop/selvfall-spillvann/>.
99. ResearchGate. *Time-series-of-global-annual-mean-surface-air-temperature-anomalies-relative*. [Internett] 2021 August 2015. [Sisert: 19 Mai 2021.] https://www.researchgate.net/figure/Time-series-of-global-annual-mean-surface-air-temperature-anomalies-relative_fig5_282484889.

13 Vedleggsliste

Vedleggsnummer	Navn
1	Lengdeprofil P0 - P600
2	Lengderprofil P600 - P1085
3	Oversiktstegning
4	Grøftetverrsnitt
5	Kobling mellom hovedledning og stikkledning, detalj
6	Resultater fra EpaNet
7	Anbud i henhold til NS3420
8	ROS-analyse
9	Plakat A4
10	Plakat A3
11	Artikkel