



Høgskulen  
på Vestlandet

# BACHELOROPPGAVE

Sammenligning av klimagassutslipp  
mellom selvfall- og trykkavløpsystem

Comparison of Greenhouse Gas Emissions  
Between Gravity and Pressure Sewer  
Systems

Edvard Draleke

Håkon Birger Kræmer

Johannes Lilleland Sørra

Byggingeniør, Bacheloroppgave (BYG350)

Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap

Veileder: Irene H. Johnsen og Trygve Andresen

21. mai 2024

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle

kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.

## Forord

Denne oppgaven er en avsluttende del av vår 3 årige bachelorutdanning på fakultetet for ingeniør- og naturvitenskap på Høgskulen på Vestlandet (HVL) i Bergen.

Som nyutdannede byggingeniører har vi et stort ansvar når det kommer til å ta hensynsfulle, bærekraftige og miljømessige valg. Denne oppgaven har gitt oss mulighet til å benytte vår kunnskap og interesse innenfor vår studieretning, miljø, plan og infrastruktur.

Vi ønsker å rette en takk til vår oppdragsgiver og prosjektleder i Seløy Seaside Resort AS, Arne Henry Sørre. I tillegg vil vi takke våre veiledere ved Høgskulen på Vestlandet, Irene H. Johnsen og Trygve Andresen.

Til sist rettes en stor takk til Øystein Arctander Pettersen i Rambøll for sitt engasjement og veiledning.

*Bergen, 20.05.2024*

  
Edvard Draleke

  
Håkon Birger Kræmer

  
Johannes Lilleland Sørre

## Sammendrag

Opgaven tar for seg sammenligning av to forskjellige avløpssystemer for et planlagt hyttefelt i Herøy kommune, Nordland. Hensikten er å undersøke klimagassutslippene for begge systemene. Et selvfallssystem er avhengig av dype grøfter for å unngå frost, mens et trykkavløp kan legges nærmere overflaten. Dette medfører store forskjeller på mengden grøftemasser som må sprenges og graves ut. Dette vil ha utslag på klimautslippet knyttet til anleggsarbeidet. Selvfallssystemet har lave drifts- og vedlikeholdsbehov, noe som gjør at det største klimautslippet skjer under byggefasen. På den andre siden har trykksystemet lavere klimautslipp under byggefasen, men krever energi gjennom hele sin levetid.

I oppgaven dimensjoneres og prosjekteres to løsninger for avløpssystemet. Dimensjoneringen er utført i samsvar med kommunale krav og retningslinjer for vann- og avløpssystemer, samt VA/Miljøblader. I prosjekteringen har vi benyttet Novapoint og Autocad for å presentere grøftesnitt, samt plan- og profiltegninger. Videre har vi benyttet oss av diverse EPD, klimakalkulatorer og utslippsfaktorer for å regne på klimagassutslippet fra produksjon, installasjon og bruksfasen.

Strømforbrukets utslipp avhenger av flere faktorer, inkludert utslippsfaktoren for norsk strøm og i hvilken grad pumper og strømvarme brukes i hyttefeltet. Våre beregninger indikerer at det totale utslippet fra trykksystemet vil utligne selvfallssystemet et sted mellom 57 og 93 år. Etter dette vil trykksystemet fortsette å produsere utslipp, gjennom hele sin levetid. Etter 100 år vil utslippet være betydelig høyere enn for et selvfallssystem.

## Abstract

The paper compares two different sewage systems for a planned cabin development in the north of Norway. Its purpose is to investigate the greenhouse gas emissions associated with each system. A gravity system relies on deep trenches to avoid frost, while a pressure system can be installed closer to the surface. This leads to a significant difference in the amount of trench masses that need to be blasted and excavated, impacting, in turn, the climate emissions arising from the construction work. Given that the gravity system has low operational and maintenance needs, the largest climate impact occurs during the construction phase. Conversely, the pressure system involves lower emissions during construction but requires energy throughout its entire lifespan.

In our project, two alternative sewage system solutions are designed and sized, the latter in accordance with municipal requirements and guidelines for water and sewage systems, as well as 'VA/Miljøblader' (technical guidelines and norms). For the design, we used Novapoint and Autocad to present trench cross-sections, as well as plan and profile drawings. Additionally, we utilised various EPDs, climate calculators and emission factors to calculate the greenhouse gas emissions from production, installation and the operational phase.

The emissions deriving from electricity consumption depend on several factors, including the emission factor for Norwegian electricity and the extent to which pumps and electrical heating are used across the cabin development. Our calculations indicate that the total emissions from the pressure system will equal those of the gravity system at some point between 57 and 93 years after commissioning. After this, the pressure system will continue to produce emissions throughout its lifespan. After 100 years, emissions from the pressure system will significantly exceed those from the gravity system.

## Terminologi

### Begreper og forkortelser

EPD	Environmental Product Declaration
Fmaks - Maksimal døgnfaktor	Avløpsmengden i det maksimale døgnet av året
Fmin - Minimal døgnfaktor	Avløpsmengden i den minste time i året
GWP	Global Warming Potential (Global oppvarmingspotensiale)
HDPE	Polyetylen med høy tetthet
Kmaks - Maksimal timefaktor	Avløpsmengden i den mest belastede timen av døgnet
Kmin - Minimal timefaktor	Avløpsmengden i den minst belastede timen av døgnet
Kote	Høydenivå over havet
LCA	Life Cycle Assessment (Livsløpsanalyse)
Pe	Personekvivalenter (Antall personer i et område)
PE	<i>Polyetylen</i>
PVC	Polyvinylklorid
SOSI-filer	Filformat for geodata
Spillvann	Avløpsvann
ØK(1,2,3)	<i>Øvrige kommunaltekniske anlegg (1,2,3)</i>
Kg CO2-ekv.	En mengde miljøutslipp gjort om til tilsvarende mengde i kilo

### Notasjoner

ekv.	ekvivalenter
kWh	kilowattimer
l/pd	liter pr. døgn
l/s	liter pr. sekund
m/s	meter pr. sekund
m <sup>2</sup> /s	kvadratmeter pr. sekund
N/m <sup>2</sup>	Newton pr. kvadratmeter
π	pi = 3,14
‰	promille
v	hastighet
V	volum
W	Watt
W/m	Watt pr. meter

## Innhold

1 Innledning .....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Problemstilling .....	1
1.3 Oppgavens formål .....	2
1.4 Avgrensning og forutsetninger .....	3
2 Teoretisk grunnlag .....	4
2.1 Prosjekt og områdebeskrivelse .....	4
2.1.1 Herøy Kommune Nordland .....	4
2.1.2 Reguleringsplan for Nautøyan .....	4
2.1.3 VA-Regulering .....	5
2.1.4 Topografi og grunnforhold .....	6
2.2 Vann og avløp .....	6
2.2.1 Generelt om vann- og avløpsnett .....	6
2.2.2 Utforming av avløpsanlegget .....	7
2.2.3 Oppsamlingssystemet .....	7
2.2.4 Krav til avløpssystemets funksjon .....	8
2.3 Dimensjoneringsgrunnlag .....	9
2.3.1 Bestemmelse av dimensjonerende avløpsmengder .....	9
2.3.2 Antall Pe og hytter .....	9
2.3.3 Variasjon i spillvannsavrenning .....	10
2.3.4 Døgnvariasjon og timevariasjoner .....	10
2.3.5 Annet forbruk .....	11
2.3.6 Vann til brannslukking .....	11
2.3.7 Infiltrasjon og utlekkingsvann .....	11
2.3.8 Selvrens av avløpsledninger .....	12
2.3.9 Selvfall .....	12
2.3.10 Trykk .....	12
2.4 Strømforbruk .....	15
2.4.1 Strømforbruk - Pumpemotor .....	15
2.4.2 Strømforbruk - Oppvarming på avløpsledning og pumpetank .....	16
2.5 VA-gjennomføring .....	17
2.5.1 Rørmateriale .....	17
2.5.2 Frostfri dybde .....	17
2.5.3 Grøftens oppbygging .....	19
2.5.4 Lastkrefter på rørene .....	20
2.5.5 No-dig .....	21

2.5.6 Grunnvann .....	21
2.5 Miljø .....	22
2.5.1 Klimagassutslipp .....	22
2.5.2 Verktøy for beregning av utslipp .....	22
2.6 Digitale verktøy .....	25
2.6.1 BIM .....	25
2.6.2 Novapoint .....	25
2.6.3 AutoCAD .....	25
3 Metode .....	26
3.1 Dimensjonering .....	26
3.1.1 Dimensjonerende mengder .....	26
3.1.2 Antall Pe og hytter .....	26
3.1.3 Time og døgnfaktor .....	27
3.1.4 Selvfall .....	28
3.1.5 Trykk .....	30
3.2 Strømforbruk .....	34
3.2.1 Pumpemotor .....	34
3.2.2 Oppvarming av pumpetank .....	34
3.2.3 Oppvarming av avløpsrør .....	35
3.2.4 Totale strømforbruk .....	35
3.2.5 CO2-utslipp .....	35
3.2.6 Strømpris .....	36
3.3 Befaring .....	37
3.4 VA-Gjennomføring .....	38
3.4.1 Leggedybde på rør .....	38
3.4.2 Grøftens oppbygging .....	38
3.4.3 Grøftemasser .....	39
3.4.4 Frostfri dybde .....	39
3.5 Prosjektering .....	39
3.5.1 Kartgrunnlag .....	39
3.5.2 Ledningsnett .....	40
3.6 Klimagassberegninger .....	40
3.6.1 Produktfasen A1-A3 .....	40
3.6.2 Selvfallsledning A1-A3 .....	41
3.6.3 Trykkledning A1-A3 .....	41
3.6.4 Transport .....	43
3.6.5 Anleggsarbeid .....	44
3.6.6 Drift av pumper og varme i ledning .....	46

3.6.7 Det store perspektivet .....	46
4 Resultat .....	47
4.1 Dimensjonering .....	47
4.1.1 Selvfall .....	48
4.1.2 Trykk.....	48
4.2 Strømforbruk .....	48
4.3 Prosjektering .....	48
4.3.1 Ledningsnett .....	48
4.3.2 Grøftesnitt.....	48
4.4 VA-Gjennomføring .....	49
4.4.1 Grøftemasser .....	49
4.4.2 Frostfri dybde.....	49
4.5 Befaring.....	49
4.6 Klimagassberegninger .....	50
4.6.1 Anleggsarbeidet .....	50
4.6.2 Totalt GWP for ledningssystemene .....	51
5 Drøfting .....	53
5.1 Dimensjonering .....	53
5.2 Strømforbruk .....	54
5.2.1 Utslippsfaktoren for norsk strøm .....	55
5.3 Prosjektering .....	56
5.3.1 Leggedybde.....	56
5.3.2 Valg av løsning .....	56
5.4 Klimagassutslipp .....	57
5.4.1 Det store perspektivet .....	57
5.4.2 Grøftemasser .....	57
5.4.3 Produktfase A1-A3 .....	58
5.4.4 Transport .....	59
5.4.5 Anleggsarbeidet .....	59
5.4.6 Bruksfasen.....	60
6 Konklusjon.....	61
Vedleggsliste .....	62
Litteraturliste .....	63



## Figuroversikt

FIGUR 1 - OVERSIKT BYGGEFELT .....	3
FIGUR 2 - KARTUTSNITT HERØY .....	4
FIGUR 3 - BILDE AV REGULERINGSPLANEN.....	5
FIGUR 4 - OVERSIKT TERRENHØYDE .....	6
FIGUR 5 - ETT-RØRS SEPARATSYSTEM .....	8
FIGUR 6 - SKISSE AV TRYKKSATT STIKKLEDNING.....	8
FIGUR 7 - PRINSIPP FOR MAKS OG MIN TIMEFAKTOR.....	10
FIGUR 8 - SKISSE AV TRYKKAVLØPSYSTEMET.....	13
FIGUR 9 - PUMPESUMP.....	15
FIGUR 10 - PE-KVEIL, ISOTERM OG PVC .....	17
FIGUR 11 - SKISSE FROSTDYBDE.....	18
FIGUR 12 - GRØFTENS OPPBYGGING .....	19
FIGUR 13 - LASTKREFTER PÅ RØR.....	20
FIGUR 14 - GRUNNVANNSDANNELSE .....	21
FIGUR 15 - FASER I LIVSLØPET I EPD .....	23
FIGUR 16 - MAKSIMAL DØGNFAKTOR .....	27
FIGUR 17 – MAKSIMAL TIMEFAKTOR.....	27
FIGUR 18 - BILDE FRA BEFARING.....	37
FIGUR 19 - GJENNOMFØRING AV GRUNNUNDERSØKELSER, OG UTSTYR BRUKT TIL GRUNNUNDERSØKELSER ..	37
FIGUR 20 - DIAGRAM MED GWP FOR SELVFALL- OG TRYKKSISTEM.....	51
FIGUR 21 - TRYKK KAKEDIAGRAM.....	52
FIGUR 22 - SELVFALL KAKEDIAGRAM.....	52
FIGUR 23 - GRAF FOR UTSLIPP I BRUKSFASEN TIL SELVFALL- OG TRYKKSISTEMET .....	52
FIGUR 24 - GRAF FOR UTSLIPP I BRUKSFASEN TIL SELVFALL- OG TRYKKSISTEMET .....	60

## Tabelloversikt

TABELL 1 - MAKS DØGNFAKTOR, MIN DØGNFAKTOR OG MAKS TIMEFAKTOR .....	11
TABELL 2 - DRIFTSOPPFØLGING .....	14
TABELL 3 - FROSTDYBDEFAKTOREN FOR ULIKE JORDARTER .....	18
TABELL 4 - KOMMUNETABELL FOR ÅRSMIDDELTEMPERATUR OG FROSTMENGDER .....	19
TABELL 5 - PLASSBEHOV/GRØFTEBREDDE SOM ER NØDVENDIG FOR DE FORSKJELLIGE RØRDIMENSJONER .....	20
TABELL 6 - MINSTE NEDRE FUNDAMENTTYKKELSE VED ULIKE DIAMETRE OG ULIKE GRUNNFORHOLD .....	20
TABELL 7 - OVERSIKT ANLEGGSSARBEID, UTSNITT FRA KALKULATOREN .....	24
TABELL 8 - DIMENSJONERENDE MENGDER .....	26
TABELL 9 - MAKS DØGNFAKTOR, MIN DØGNFAKTOR OG MAKS TIMEFAKTOR .....	28
TABELL 10 - TABELL MED ANBEFALTE K-VERDIER FOR DIM. AVLØPSLEDNINGER.....	32
TABELL 11- GJENNOMSNIITTLIG STRØMPRIS FRA NORD POOL .....	36
TABELL 12 - GWP-FAKTOR FOR A1-A3 FRA EPD.....	41
TABELL 13 - VEKT PÅ REFERANSERØR OG MEDIAN AV VEKT .....	42
TABELL 14 - TABELL FOR GRAM CO <sub>2</sub> -EQ/KM .....	43
TABELL 15 - UTSNITT FRA "INPUTS" I PW KALKULATOREN, SELVFALLSSYSTEM.....	45
TABELL 16 - UTSNITT FRA "INPUTS" I PW KALKULATOREN, TRYKKSISTEM .....	45
TABELL 17 - VALG AV VANNFORBRUK .....	47
TABELL 18 - VALG ANTALL PERSONER OG HYTTEDØGN .....	47
TABELL 19 - OVERSIKT OVER ANTALL PERSONER OG HYTTER I HVERT BYGGEFELT .....	47
TABELL 20 - VALG AV MAKSIMAL OG MINIMAL DØGN- OG TIMEFAKTOR.....	47
TABELL 21 - RESULTAT AV DIMENSJONERING, SELVFALL .....	48
TABELL 22 - RESULTAT AV DIMENSJONERING, TRYKK .....	48
TABELL 23 - RESULTAT AV DET TOTALE STRØMFORBRUKET, PRIS OG CO <sub>2</sub> -UTSLIPPET .....	48
TABELL 24 - GRØFTEMASSER .....	49
TABELL 25 - RESULTAT FROSTFRI DYBDE .....	49
TABELL 26 - RESULTAT FRA PW KALKULATOR FOR SELVFALLSSYSTEMET .....	50
TABELL 27 - RESULTAT FRA PW KALKULATOREN FOR TRYKKSISTEMET .....	50
TABELL 28 - GWP FOR SELVFALLSSYSTEMET .....	51
TABELL 29 - GWP FOR TRYKKSISTEM .....	51

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Bakgrunnen for valget av oppgaven er sammensatt av flere faktorer, blant annet interesse, erfaring for temaet. I oppgavens oppstartsfas gikk "Oppsynsmannen" med Bård Tufte Johansen på tv. Serien handler om hvordan menneskeskapt prosjekter går på bekostning av skog, natur og miljø. Utbygging av hytter og veier, og deres negative påvirkning på naturen settes i lys. Samtidig har vi gjennom studiet blitt kjent med at byggebransjen er den store "stygge ulven" når det kommer til miljøfotavtrykket i Norge.

Da vi dannet bachelorgruppen vår, ble vi enige om at vannteknikk var fagområdet med størst felles interesse. Vi går alle fordypning i Prosjektledelse innenfor Miljø, plan og infrastruktur der vann og avløp har tatt en stor plass i undervisningen. Vi tok kontakt med utbyggeren, Seløy Seaside Resort AS. De skal bygge et hyttefelt bestående av 91 hytter på Helgelandskysten. De var usikre på hvilke løsninger innenfor vann og avløp som var de beste for prosjektet. Samtidig hadde de et ønske om å gjøre de valgene som tok mest mulig hensyn til den eksisterende naturen i området. Prosjektområdets grunnforhold består stort sett bare av fjell med en tynn overdekning av løsmasser. Av den grunn var utbygger nysgjerrig på de ulike alternativene for vann og avløpsløsninger.

Med vår bakgrunn og felles interesse for klima og bærekraft fant vi en problemstilling som forhåpentligvis ville gi verdifull kunnskap til både oss og Seløy Seaside Resort AS.

## 1.2 Problemstilling

Hyttene som skal bygges er moderne med innlagt vann og sanitæranlegg. Dette innebærer at vannledninger kobles på kommunalt anlegg og avløpsvann må føres ut på en forsvarlig måte. Ledningene vil ligge i grøfter der grøftedybden påvirkes i stor grad av frostfri dybde i kommunen. Om det er selvfallsrør eller trykkbaserte rør, vil dette utgjøre en stor forskjell i hvor dypt de må legges for å unngå frost. Et rørsystem med selvfall krever dypere grøfter som gir en mer omfattende og tidkrevende anleggsperiode. Et trykkbasert rørsystem vil kunne ha grunnere grøfter og dermed gjøre anleggsarbeidet lettere, men et slikt system vil være avhengig av pumper og strømvarme i hele sin levetid. Anleggsperioden og energibruken til drift av pumpene blir kilder til klimagassutslipp. Spørsmålet blir da hvilken løsning som egentlig er den mest bærekraftige. På bakgrunn av dette valgte vi problemstillingen:

**Hvordan er klimagassutslippet knyttet til trykkavløpssystemer sammenlignet med selvfallsystemer i et uberørt kystområde som Seløy?**

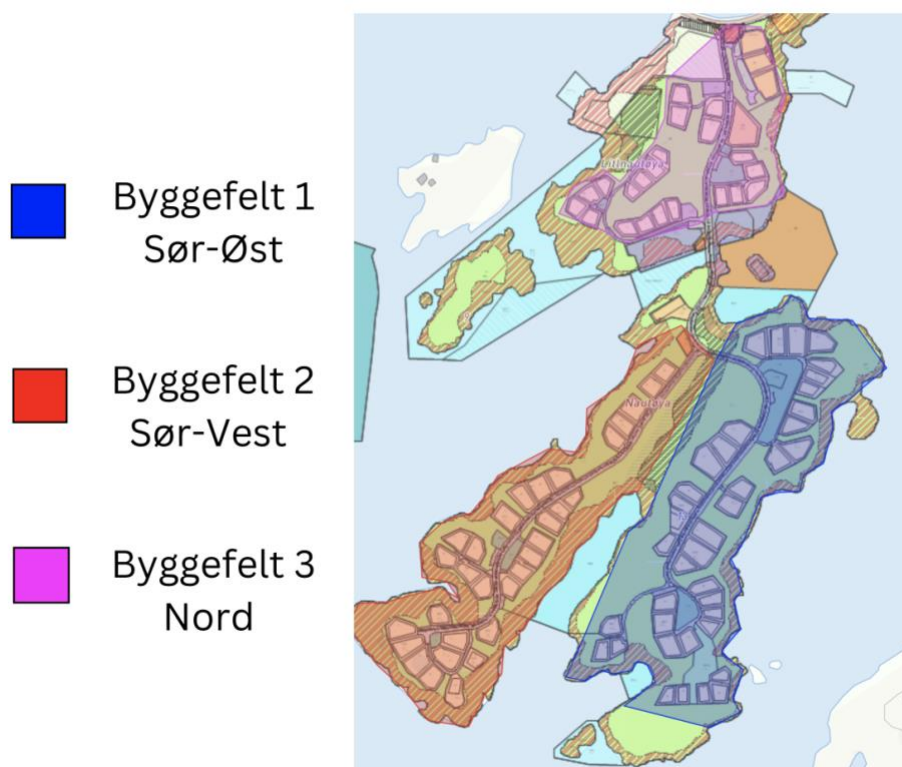
### 1.3 Oppgavens formål

I 2015 inngikk Norge sammen med 192 andre land den juridisk forpliktende avtalen, Parisavtalen. Et av de mest sentrale målene er å kutte ned på klimagassutslippet slik at jorden blir klimanøytral innen dette århundret. Det vil si at det ikke skal slippes ut mer klimagass enn det man klarer å fange opp eller fjerne (FN-Sambandet, 2023). Globalt står byggebransjen for hele 40% av det totale klimagassutslippet, mens i Norge er dette tallet på 15-19%. Energibruken til bygninger står for en tredjedel av det totale energibruket (Forskningsrådet, 2020). Skal vi nå målene i Parisavtalen og nullvisjonen for bygninger må det gjøres store tiltak i bygg- og anleggsbransjen. Det krever bærekraftige og moderne løsninger på både byggeplassen og i driftsfasen av bygg.

Hensikten med denne oppgaven er å løse en viktig problemstilling for utbygger. Vårt mål er også å utføre klimagassregnskap som kan anvendes på lignende prosjekter gjennom vår undersøkelse. Dette håper vi kan være et bidrag til bransjens utbyggere, rådgivere og entreprenører. Å ha regnskap over de ulike kildene knyttet til utslipp vil være verdifullt for alle aktører i anleggsbransjen. Vi håper at oppgaven vår kan være et positivt bidrag til å gjøre anleggsbransjen mer miljøvennlig.

## 1.4 Avgrensning og forutsetninger

Rammene for denne oppgaven er satt av tilgjengelig informasjon om prosjektet, faglitteratur og verktøy for klimagassberegninger. På grunn av topografien er byggefeltet i sør-øst ekskludert fra denne oppgaven. Dimensjonering, prosjektering og klimagassregnskapet gjelder derfor kun for feltene i sør-øst og nord, som består av totalt 60 hytter. Oppgaven tar for seg avløpssystemet, mens vann- og overvannsledninger er ekskludert fra analysen.



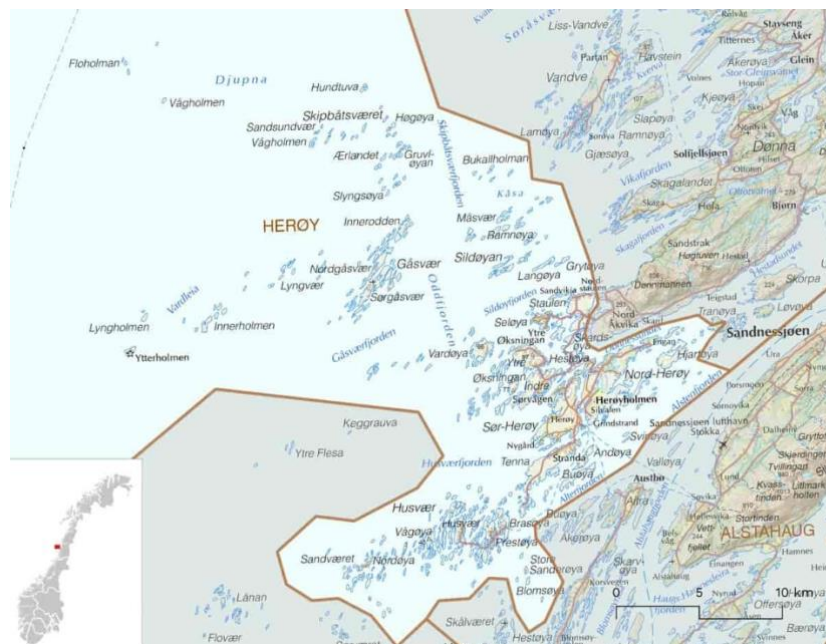
Figur 1 - Oversikt byggefelt (Kommunekart, 2024)

I klimagassregnskapet er materialproduksjon, transport, installasjon og bruksfasen nøkkelkomponenter i våre beregninger. Vi sammenligner klimagassutslipp mellom et komplett selvfallssystemet mot et komplett trykksystem på Seløy. Det er mulig at et selvfallssystem ikke er gjennomførbart på Seløy. At begge systemene er mulige å gjennomføre er en forutsetning vi har tatt. Dette er viktig for at sammenligningen av klimagassutslippene skal være relevant for andre prosjekter der begge systemene er mulige å realisere. Våre beregninger tar kun med de mest betydningsfulle elementene i de ulike systemene. Det er viktig å påpeke at disse beregningene er basert på data fra en tidlig fase av prosjektet.

## 2 Teoretisk grunnlag

### 2.1 Prosjekt og områdebeskrivelse

#### 2.1.1 Herøy Kommune Nordland



Figur 2 - Kartutsnitt Herøy (Engerengen og Thorsnæs, 2023)

Langt sør i det vi kaller Nord-Norge, ligger Herøy Kommune. Hundrevis av øyer, holmer og skjær danner kommunen som ligger vest for Sandnessjøen på Helgelandskysten. Kommunen har i dag underkant av 2000 innbyggere, og primærnæringen i kommunen er fiske og havbruk. Det er økende aktivitet innenfor turisme, og øy-hopping og utleie av rorbu og sjøhus er populært. (Engerengen og Thorsnæs, 2023)

Seløya er en av øyene i kommunen med flest innbyggere. Rett øst for Seløy ligger Nautøyan som utgjør prosjektområde.

#### 2.1.2 Reguleringsplan for Nautøyan

Nautøyan består av flere småøyer og to store øyer, Litlnautøya og Nautøya. De store øyene utgjør til sammen omtrent 47 mål. Helt nord på Litlnautøya er det en eksisterende vei og to eneboliger, ellers er naturen på øyene helt uberørt. Under ser vi arealplan for området som ble vedtatt i 2015. Det er regulert 91 fritidsboliger med bebygd areal som varierer mellom 120 og 160 m<sup>2</sup>. Øyene kobles sammen med tilkomstvei og bro. Det er i tillegg regulert felt for boligbygging, tekniske anlegg, småbåtanlegg, naust og lekeplass.



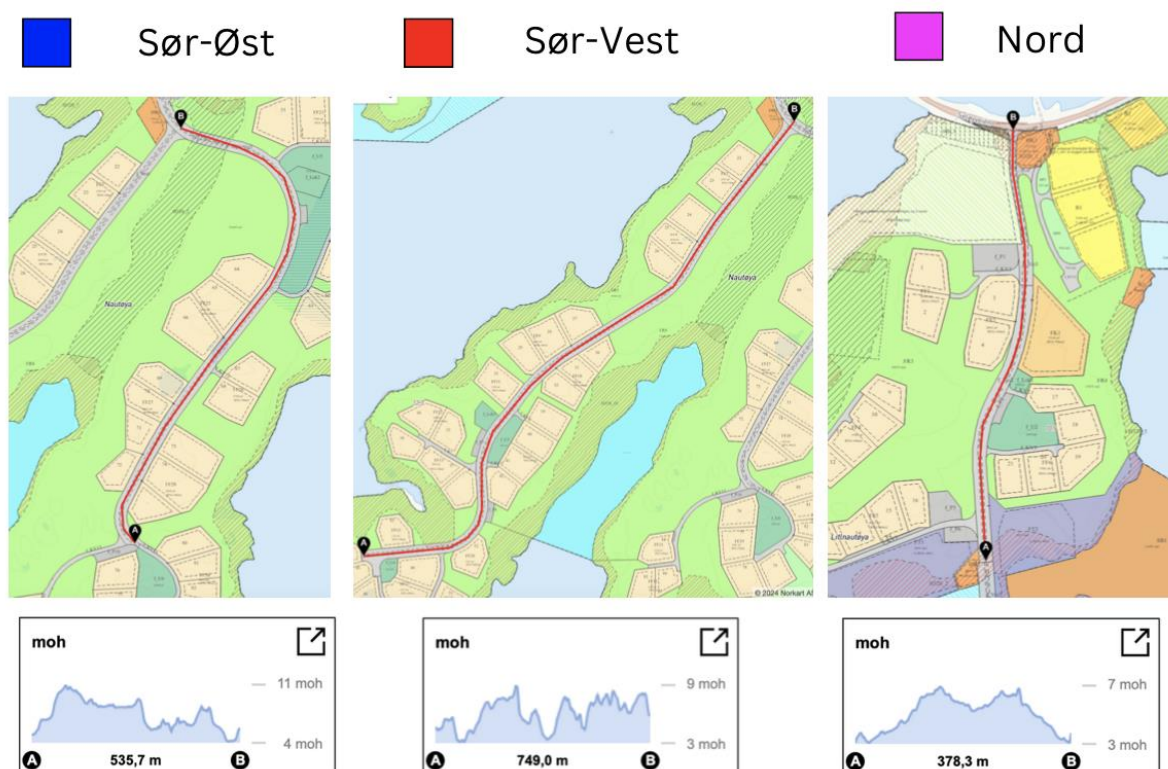
Figur 3 - Bilde av reguleringsplanen fra vedlegg D1

### 2.1.3 VA-Regulering

Det er opplyst i reguleringsplan fra kommunen at det skal være tilstrekkelig drikkevannsforsyning til Nautøya. Brannvann til slukking hentes fra sjø. Sjøledning kan tilknyttes kommunale rør på Seløy. Avløpsvann skal ligge i adkomstveger med nødvendige kummer. I henhold til forurensningsforskriften defineres utslipp til kystfarvann fra Lindesnes til Grense Jakobselv som mindre følsomme områder (Forurensningsforskriften, 2004). Det er derfor regulert at avløpsvannet skal føres til slamavskillere og deretter ut i sjøen. Renseanlegg til slamavskillere er regulert på begge sider av broen mellom øyene. Det rensede avløpsvannet kan føres ut i nord eller sørvest.

## 2.1.4 Topografi og grunnforhold

I figur 4 ser vi topografien i området. Det høyeste punktet på øyene er 12,3 meter over havet, ellers er det relativt flatt i hele prosjektområde. Vi ser på terrengprofilene at topografien i felt sør-øst og nord har relativt jevn stigning. Felt sør-vest har større variasjoner i topografien. På Norges Geologiske Undersøkelse sitt løsmassekart kan vi se at grunnforholdene på hele øya er av bart fjell, med unntak av et lite område med marine avsetninger. (NGU, 2024a) Bergartene varierer mellom marmor, gneis og syenitt. (NGU, 2024b).



Figur 4 - Oversikt terrenghøyde (Kommunekart, 2024)

## 2.2 Vann og avløp

### 2.2.1 Generelt om vann- og avløpsnett

I dag tar de fleste nordmenn det for gitt å ha tilgang til drikkevann i springen, vannklosett og avløp som leder vannet bort fra tomten. (Nibio, u.å.) Det var ikke alltid slik, frem til 1850 fikk vi drikkevann fra bekker og trerør. Avløpsløsningene var utedoer og åpne rennesteiner (Ødegaard, H. 2014a, s. 9). I begynnelsen av 1900-tallet ble innlagt vann vanlig hos de velstående og utviklingen av vannklosett fulgte på årene etter.

Vi skiller mellom svartvann som kommer fra toalett, og gråvann som kommer fra badet, kjøkkenet og vaskerom. I Norge er det vanligvis kun en avløpsledning fra hvert hus som samler de to kategoriene. Avløpsvannet renner i avløpsnett til enten kommunalt avløpssystem som leder vannet til



renseanlegg før det slippes ut, eller direkte til lokale rensesanlegg ut ifra lokale krav til utslipp. Det er forurensingsforskriften del 4 som setter krav til rensing og utslipp av avløpsvann (Forurensingsforskriften, 2004).

VA-ingeniører har ansvar for å planlegge, dimensjonere og prosjektere avløpsnett. Det er mange ting som en skal ta hensyn til. Mengden vannforbruk setter føring på hvordan nettet skal dimensjoneres. Å finne vannforbruket er derfor en stor del av jobben, da denne vil variere fra sted til sted.

### 2.2.2 Utforming av avløpsanlegget

Avløpsanleggene består av en kombinasjon av kummer og rør som danner et sammenhengende nettverk under bakken. Fra den private brukers lokasjon til rensesanlegg og deretter ut i resipienten. De fleste avløpsledninger fungerer som selvfallsledninger, der innsiden av røret har atmosfærisk trykk og fritt vannspeil. Det finnes også trykkledninger, som for eksempel dykkerledninger, avløpspumpeledninger og utslippsledninger.

Selvfallsledninger er typisk designet for å opprettholde fri vannstrømning, men kan oppleve trykk ved ekstreme belastninger og blokkeringer, mens trykkledninger opererer under konstant trykk. (Ødegaard, H. 2014b, s. 300).

Som med vannforsyning, må avløpssystemet planlegges og prosjekteres med en typisk planperiode på 20-50 år. Avløpsledningene prosjekteres og planlegges med en levetid på opptil 100 år. Det må fortsatt tas hensyn til forventet befolkningsvekst og endringer i behovet for avløpstjenester. (Ødegaard, H. 2014b, s. 301)

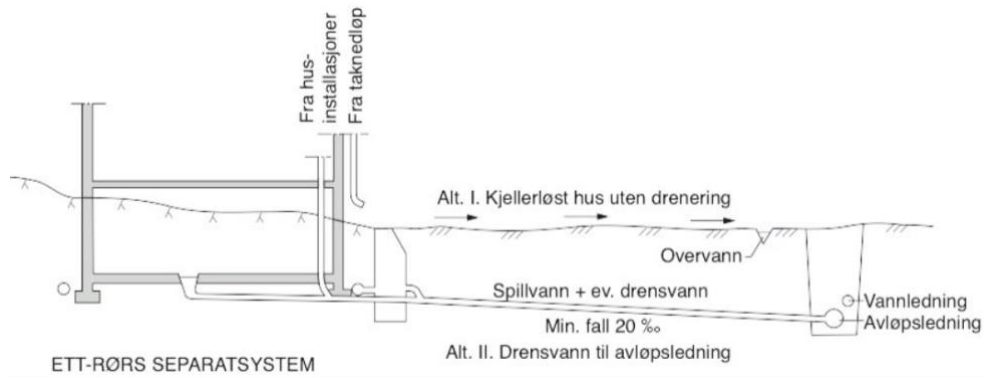
### 2.2.3 Oppsamlingssystemet

Oppsamlingssystemet består av stikkledninger fra individuelle hus og bygninger, samt lokale gateledninger som består av rør og kummer. Stikkledningene samler avløpsvann fra ulike kilder, inkludert sanitæravløp som WC, dusj og kjøkkenavløp. Overflatevann fra tak, gårdsplasser og plener samles i en utvendig drenskum, før det renner videre i eget drencrør. (Ødegaard, 2014b, s. 301)

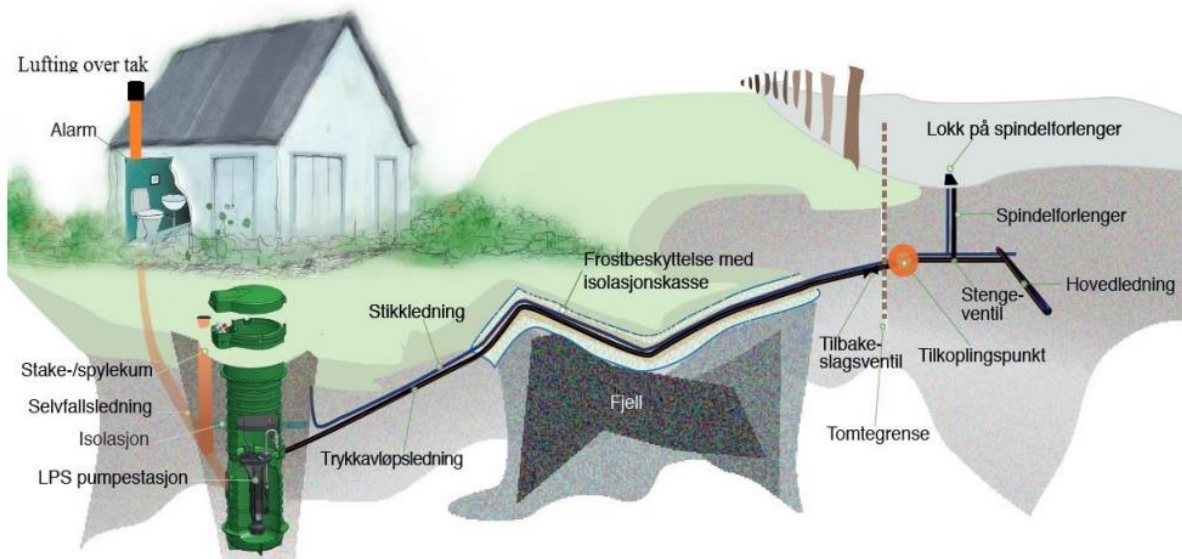
«Dersom man har separat avløpssystem, skal drencvann, snøsmelting og overvann ikke ledes til spillvannsledning, men til overvannsledning.» (VA/Miljø-blad, nr. 115, 2015)

I to-rørs separatsystemer ledes spillvann direkte til spillvannsledningen i gaten, mens takvann og overflatevann samles i en utvendig drenskum før de går videre i separate stikkledninger.

I et-rørs separatsystemer kobler ofte drensledninger til spillvannsledningen, mens overflatevann håndteres lokalt. Denne tilnærmingen reduserer belastningen på det offentlige avløpssystemet og fremmer bedre håndtering av overflatevann. (Ødegaard, H. 2014b, s. 301)



Figur 5 - Ett-rørs separatsystem. (Ødegaard, H. 2014a, s. 11.5, s. 30)



Figur 6 - Skisse av trykksatt stikkledning (Skandinavisk kommunalteknikk, U.å.b)

#### 2.2.4 Krav til avløpssystemets funksjon

Avløpssystemet må oppfylle visse krav for å sikre effektiv avledning av spillvann. Avløpssystemet må kunne lede spillvannet uten hindringer, og tilbakestrømming må unngås for å forhindre oversvømmelse. Overvann og infiltrasjonsvann bør i størst mulig grad holdes utenfor avløpssystemet. I et separatsystem må spesielt innslipp av overvann unngås. Sedimenter som trerøtter og feilkoblinger må ikke tillates, da disse kan føre til blokkeringer eller skader i avløpssystemet.

Det er to hovedkrav til ledningene i avløpssystemet. Den ene er tilstrekkelig kapasitet, der ledningene må dimensjoneres for å håndtere den forventede mengden avløpsvann under ulike forhold. Dette inkluderer også ekstreme nedbørsituasjoner og økt befolkningstetthet.

Den andre er selvrensing, der ledningene må være utformet slik at de kan opprettholde tilstrekkelig vannføring og skjærspenning for å transportere bort partikler og stoffer som kan akkumuleres og forårsake blokkeringer. Dette krever riktig dimensjonering, fall og materialvalg for å sikre kontinuerlig selvrensing av avløpssystemet. (Ødegaard, H. 2014b, s. 298-299).

## 2.3 Dimensjoneringsgrunnlag

### 2.3.1 Bestemmelse av dimensjonerende avløpsmengder

Vannforbruket i husholdninger, institusjoner og industri er avgjørende for å estimere spillvannsmengden. Det må også tas hensyn til fremmedvann, som inkluderer infiltrasjon fra overvann. (Ødegaard, H. 2014b, s. 284) Variasjoner i vannforbruket over døgnet reflekterer menneskelig aktivitet, med høyere forbruk om formiddagen og lavere om natten. Generelt kan man anta et gjennomsnittlig vannforbruk på 130-150 l/pd pr. husholdning, med mindre spesifikke data er tilgjengelige. I mangel av egne tall anbefales det å bruke 150 l/pd som et gjennomsnittlig tall for et helt år. (VA/Miljø-blad, nr. 115, 2015)

### 2.3.2 Antall Pe og hytter

Bruken av hytter er en viktig faktor som påvirker avløpsmengden i områdene der de ligger. Hytteforbrukernes vaner, antall dager hyttene er i bruk, og antall personer som oppholder seg der har betydning for dimensjoneringen.

Statistisk Sentralbyrå (SSB) opererer med gjennomsnittlige tall for antall overnattingsdøgn i norske hytter pr. år. Tallene forteller oss at en gjennomsnittlig norsk familie på 4, tilbringer 30 døgn pr. år på hytta si. Det er viktig å være oppmerksom på at disse tallene kan variere betydelig fra område til område. For eksempel viser undersøkelser fra større hytteområder som Trysil og Gausdal at gjennomsnittlig bruk kan være mye høyere, med 62,5 til 63 døgn per år.

Det er også viktig å ta hensyn til størrelsen på hyttene, da større hytter med tilnærmet boligstandard kan ha større behov for avløpskapasitet og mer avanserte avløpssystemer sammenlignet med mindre hytter.

Generelt sett har hytter blitt viktigere som samlingssteder for familier og venner. En økning i antall personer som oppholder seg der og lengden på oppholdene, kan påvirke behovet for oppgradering eller utvidelse av eksisterende avløpssystemer for å håndtere større belastninger. (Stormoen, 2021)

### 2.3.3 Variasjon i spillvannsavrøring

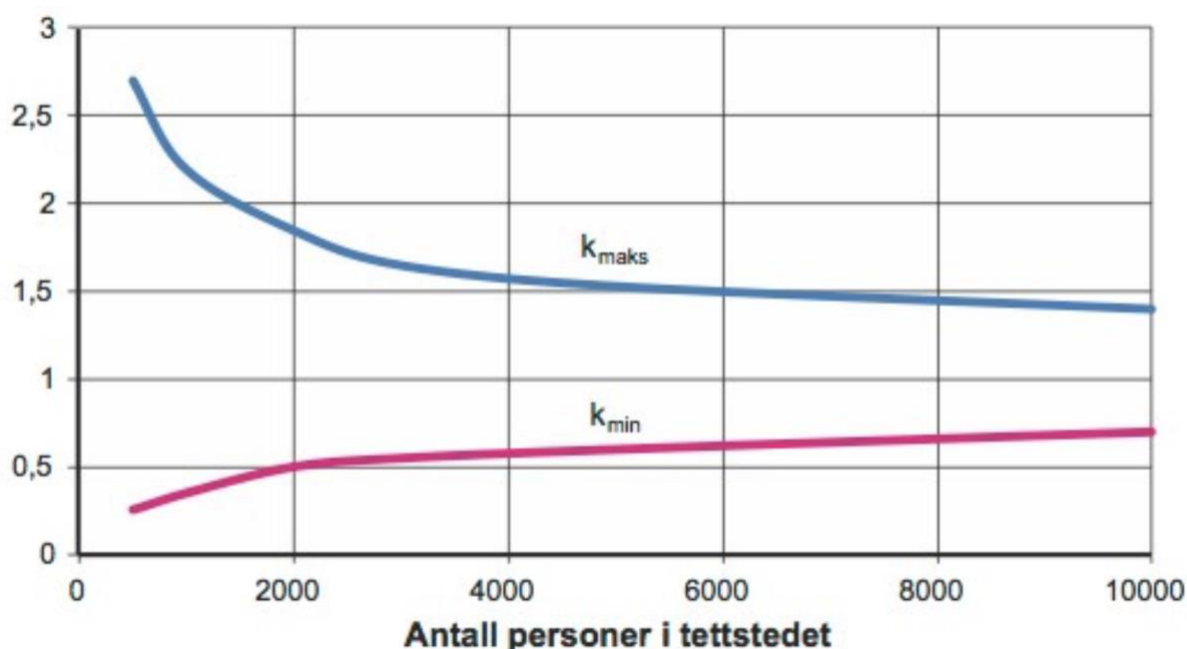
Ved dimensjonering av avløpssystemet er det avgjørende å kjenne til den maksimale vannføringen som kan oppstå i et avløpsrør. Det er også viktig å ta hensyn til de periodene der vannføringen er på et minimum.

Erfaringstallene over flere år viser at variasjonsmønsteret er veldig likt. Endringer i mønsteret skyldes ofte uønskede hendelser som vannlekkasjer. Om våren kommer det smelteperioder der avløpsmengden øker betydelig. Dette på grunn av drensvann som finner veien inn i spillvannsledningen, ofte på grunn av feilkoblinger og dårlige skjøting. (Ødegaard, H. 2014b, s. 303)

### 2.3.4 Døgnvariasjon og timevariasjoner

I mindre tettsteder og avløpsområder som på et hyttefelt, der avløpsvannet ofte tilføres gjennom pumpe, er variasjonen over korte tidsrom langt større enn på større anlegg som er dimensjonert for jevnere avløpsmengder og vanngjennomstrømning. (Ødegaard, H. 2014b, s. 156)

Variasjonsfaktorene nærmer seg en verdi på 1 etter hvert som størrelsen på avløpsområdet og antall personekvivalenter ( $P_e$ ), se figur 8. Dette gjelder både for timevariasjonsfaktorene ( $k_{maks}$  og  $k_{min}$ ) og for døgnvariasjonene ( $f_{maks}$  og  $f_{min}$ ), som vist i tabell 1. Det er likevel viktig å huske at det ikke er hensiktsmessig å bruke de samme faktorene for en hel by eller et større område. Størrelsen på faktorene vil variere avhengig av hvor man befinner seg i avløpsnettets. (VA/Miljø-blad, nr. 115, 2015)



Figur 7 - Prinsipp for maks og min timefaktor (Ødegaard, H. 2014a, figur. 7.4, s. 197)

Område type	$f_{maks}$	$f_{min}$	$k_{maks}$
Byer med mer enn 10 000 pe	1,3-1,8	0,5-0,9	
Tettsted med mer enn 3000 pe	1,3-2,1	0,6-0,8	1,4-2,7
Tettsted med 1000-3000 pe	1,5-2,3	0,5-0,6	1,7-3,0
Fritidsområder, campingplasser etc	2,0-4,0		2,0-4,0

Tabell 1 - Maks døgnfaktor, min døgnfaktor og maks timefaktor (VA/miljøblad nr. 115, 2015)

### 2.3.5 Annet forbruk

Annet forbruk må være med i dimensjonsberegningene for et område, da dette vil ha påvirkning på det totale vannforbruket i et felt. Det vil si offentlig forbruk som institusjoner, næringsvirksomhet og industri. I formelen multipliseres med 3. Dette er siden annet forbruk bare fordeler seg utover 8 av døgnetts 24 timer. (Ødegaard, H. 2014b, s. 154 og 157)

### 2.3.6 Vann til brannslukking

«I teknisk forskrift til plan og bygningsloven (Lovdata 1997) er veiledende brannvannsmengde satt til 20 l/s for småhus og 50 l/s for annen bebyggelse. Va-miljøblad nr. 82 (2008) foreslår at brannslukkingsvannet i grisgrendte strøk med liten spredningsfare og der avstanden mellom husene er mer enn 8 meter, settes til null. Det vil si at brannvesenet må ha med seg eget vann i tankbil» (Ødegaard, H. 2014b, side 158).

I prosjektets planbestemmelser står det at «nødvending tilkomst for brannpumpe kan anlegges på egnede plasser innenfor hele planområdet» (Se vedlegg D2, Punkt 3,8).

### 2.3.7 Infiltrasjon og utlekkingsvann

Avløpsledninger er ikke helt vanntette, og dreneringsvann kan trenge inn og ut i ledningsnett. Under ekstremt kraftige regnskylt kan ledningsnett ikke håndtere både spillvann og dreneringsvann samtidig. Avløpsnett kan bli overbelastet og spillvann kan lekke ut i omgivelsene. Dette gjelder i utgangspunktet selvfølgelig ledninger. I et lukket trykkavløpssystem, skal det ikke tillates innlekking av dreneringsvann eller utlekking av avløpsvann. (Skandinavisk kommunalteknikk, u.å.d) Et trykkavløp vil også kunne oppleve lekkasjer, da det med tiden vil bli påført slitasje på rørene.

«For nye bolig/hyttfelt bør man ikke forutsette lavere infiltrasjonsvannmengde enn 0,2 l/s pr. km. ledningslengde, dersom man ikke har målinger som viser at infiltrasjonene er mindre. Normalt tilsvarer denne infiltrasjonen ca. 100 l/pd. Ved eldre ledningsnett varierer infiltrasjonsvannmengden mye. Det er ikke uvanlig at den kan komme opp i 1,0 l/s pr. km ledningslengde eller tilsvarende 500 l/pd» (VA/Miljøblad nr. 115, 2015).

### 2.3.8 Selvrens av avløpsledninger

Spillvannet inneholder partikler og stoffer som kan avsettes og samle seg opp i avløpsledningen. Disse stoffene må transporteres effektivt med vannstrømmen til et renseanlegg, og ikke bli liggende i avløpsrøret.

For å sikre en effektiv vannstrøm, stilles det krav til en minimumsvannføring som kan skape tilstrekkelig skjærspenning langs bunnen av røret. Denne vannmengden er kjent som den selvrensende vannføringen og bør oppfylles minst en gang daglig. Ved dimensjonering bestemmes den dimensjonerende selvrensende vannføringen med utgangspunkt i den maksimale timen ( $k_{maks}$ ) av det minimale døgnet ( $f_{min}$ ).

For å opprettholde tilstrekkelig skjærspenning mellom bunnen av ledningen og vannstrømmen, anbefales vanligvis en vannhastighet på 0,6-0,8 m/s eller en skjærspenning på 2-4 N/m<sup>2</sup>. Hvis disse hastighetene ikke oppnås, kan tiltak som spyling av ledninger være nødvendig. Hovedledninger for spillvann har vanligvis et fall på minst 10 promille for å oppnå tilstrekkelig vannføring. (Ødegaard, H. 2014b, s. 304)

Kravet om å unngå blokkeringer betyr at ledningene må være tilstrekkelig dimensjonerte for å tillate fri passasje av avløpsvannet. Derfor kreves det vanligvis at hovedledninger har en diameter på minst 150 mm, uavhengig av avløpsmengden. For stikkledninger for spillvann er kravet vanligvis en minimumsdiameter på 100 mm. (Ødegaard, H. 2014b, s. 305)

### 2.3.9 Selvfall

Selvfall i avløpsledninger vil si at transporten av avløpsvann skjer ved hjelp av tyngdekraften, der vannet naturlig strømmer nedover i ledningen. Dette skjer enten gjennom rørstrømning, der ledningen er helt fylt med vann, eller kanalstrømning, der vannspeilet i ledningen er delvis fylt. I de fleste avløpssystemer opptrer kanalstrømning, men det kan også være situasjoner der rørstrømning forekommer, for eksempel i dykkerledninger og utslippsledninger.

Helningen av avløpsledningen er en kritisk faktor for dimensjoneringen. Når man dimensjonerer antas normalstrømning i ledningen. Det vil si at vannspeilets helning er parallelt med bunnen av ledningen. Så hvis man kjenner helningen på bunnen av ledningen, har man også helningen på vannspeilet. (Ødegaard, H. 2014b, s. 307)

### 2.3.10 Trykk

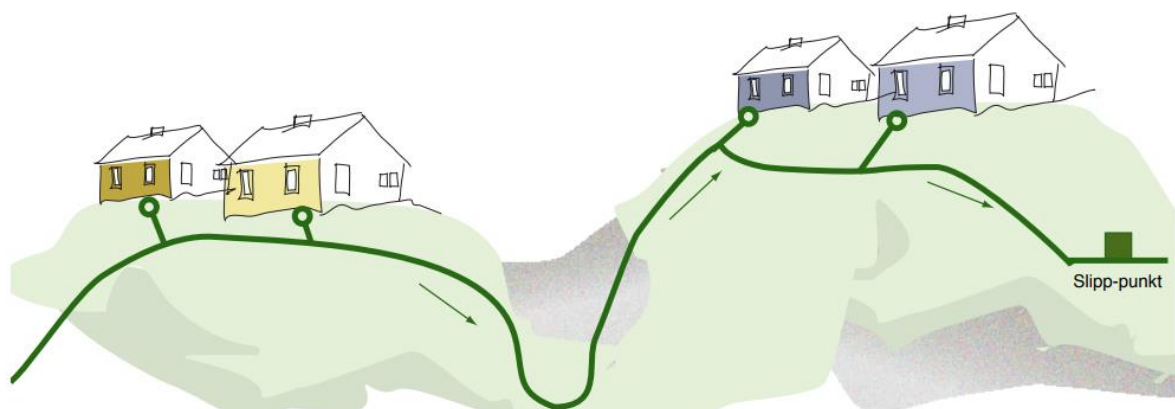
«Trykkavløp omtales vanligvis som LPS-avløp. Begrepet står for "low pressure sewer" og betyr det samme som LTA, "lett trykksatt avløp". Dette er en samlebetegnelse for trykksatte avløp for eneboliger og fritidshus». (Skandinavisk kommunalteknikk, u.å.c)

I en trykksatt avløpsledning vil altså avløpsvannet transporteres i et lukket system som er satt under trykk. Ved spredt bebyggelse og i hytteområder pumper hvert hus ofte avløpsvannet til en felles samletank via små pumpestasjoner. Trykkavløpssystemer består av et nettverk av trykksatte rør som fører avløpsvannet fra hver enkelt bolig til et utslippspunkt eller der trykket møter atmosfærisk lufttrykk. Hver boenhet har en liten pumpestasjon som pumper avløpsvannet til dette nettverket. Fra start til slutt kan man forvente full turbulens i røret. Det vil si at avløpsrøret er helt eller delvis fylt med avløpsvann. For å sikre selvrensing, må dette transporteres i ønskelig hastighet.

Pumping av avløpsvann er nødvendig i flere situasjoner. Dette inkluderer når avløpsfeltet er for flatt eller ligger for lavt til at selvfallsledninger kan transportere vannet til et renseanlegg eller utslippspunkt. Det er også nødvendig når terreng og grunnforhold gjør selvfallsløsninger vanskelig eller kostbare å realisere. Eksempelvis når private stikkledninger ligger lavere enn hovedledningen. I tillegg er pumping nødvendig når det er behov for å øke hastigheten på avløpsvannet.

Pumping spiller en avgjørende rolle i transporten av avløpsvann. Pumpene jobber helt automatisk og uavhengig av hverandre. Det betyr at hver enkelt pumpe har ansvar for å føre eget spillvann fra egen pumpetank, og videre ut i avløpet. Derfor er det viktig med pålitelige og effektive pumpeanlegg, for å sikre god driftssikkerhet i avløpssystemet. Dette er med på å unngå oversvømmelser og forurensning i avløpsområdet. (Ødegaard, H. 2014b, s. 326)

Trykkavløp og pumpestasjoner krever energi og regelmessig tilsyn og vedlikehold. I planleggingsfasen bør man derfor unngå pumpestasjoner eller prøve å minske bruken av dem hvis det er mulig. Det kan være mer kostnadseffektivt å legge lange selvfallsledninger i stedet for å etablere et trykkavløp. Ved planlegging og utforming av pumpeanlegg er det viktig å vurdere anleggets betydning i det totale avløpssystemet. Plasseringen bør sikre enkel tilgang for tilsyn, drift og vedlikehold. (Ødegaard, H. 2014b, s. 327-328)



Figur 8 - Skisse av trykkavløpssystemet (Skandinavisk kommunalteknikk, 2013, s. 22)

### 2.3.10.1 Pumpestasjoner

Pumpestasjoner består av roterende eller bevegelige hydrauliske maskiner. Disse pumpene tilfører energi til avløpssystemet. For å unngå skade på pumpene må det etableres sand- og steinfang for å samle opp større partikler og forurensninger. Pumpestasjoner kan også ha tilbakeslagsventiler og stengeventiler for inspeksjon og vedlikehold (Ødegaard, H. 2014b, s. 327).

Både horisontalt og vertikalt oppstilte pumper kan brukes, avhengig av plassering og ønsket design. I mindre pumpestasjoner er nedsenkbare pumper vanligvis foretrukket på grunn av deres pålitelighet. Disse pumpene kan være laget av materialer som glassfiberarmert polyester (GUP) eller betong. Dette er avhengig av kravene og miljøet der de skal brukes. (Ødegaard, H. 2014b, s. 332)

### 2.3.10.2 Driftsoppfølging pumper

I Sverige har det blitt gjennomført jevnlig vedlikehold og oppfølging av trykkavløpsanlegg i mange år. Driftsforstyrrelser og hendelser relatert til anlegget er nøye registrert, slik at mulige årsaker til driftsstans og feil kan dokumenteres.

I tillegg til Skandinavisk Kommunaltekniks interne registreringer har rapportene fra "VA-Forsk" også behandlet dette temaet. Disse rapportene viser det statistiske begrepet GTMS (Gjennomsnittlig Tid Mellom Stans) med varigheter på 10 og 18 år. I tabell 2 vises den loggførte statistikken fra en kommune i Sverige fra perioden 2000-2006. (Skandinavisk kommunalteknikk, 2013)

ÅR	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Antal pumpar (st)	553	557	558	563	572	576	582
Antall pumper installert	553	557	558	563	572	576	582
Antall driftsforstyrrelser	55	57	43	47	44	54	53
Kostnad reservedeler(SEK)	56360	82141	82854	60160	59807	54935	67957
Medgått tid (timer)	149	150	110,5	107	107	119,5	118
GTMS (år)	10	10	13	12	113	11	11

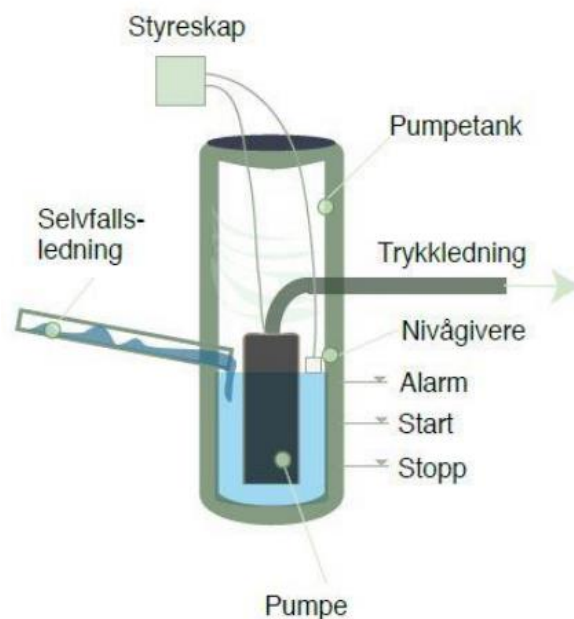
Tabell 2 - Driftsoppfølging (Skandinavisk kommunalteknikk, 2013, s. 28)

### 2.3.10.3 Pumpesump

Pumpestasjonen må ha et lite utjevningsmagasin, vanligvis kalt en pumpesump. Dette er siden avløpsmengden til pumpesumpen kan variere. Pumpekapasiteten dimensjoneres for maksimalt innkommende vannmengde. Derfor vil pumpene starte og stoppe i samsvar med den varierende vannstanden i pumpesumpen. Pumpesumpen bør være så liten som mulig med tanke på kostnader og ytre miljøpåvirkninger. I små pumpestasjoner må man ta hensyn til at en høy vannstand ikke



påvirker startfrekvensen for pumpene for mye. Mens ved store pumpestasjoner er det nødvendig med spesielle tiltak for å forhindre tilslamming. (Ødegaard, H. 2014b, s. 332-333)



Figur 9 - Pumpesump (Skandinavisk kommunalteknikk (U.å.b), s. 3)

#### 2.3.10.4 Pumpeledningen

Pumpeledningen kan ofte strekke seg over flere kilometer, og dermed kan man få et stort trykktap. Hastigheten på vannet i Pumpeledningen bør ikke overstige 2-3 m/s, og heller ikke være mindre enn 0,4 m/s. Med slike hastigheter betyr det at pumpen har kapasitet til å opprettholde og skape en skjærkraft i ledningen på minst 4,0 N/m<sup>2</sup>. Dette skjer vanligvis 2-4 ganger daglig langs hele ledningens lengde. (Ødegaard, H. 2014b, s. 336-337). Vannmengden i hovedledningen øker med antall forbrukere som kobles på. Derfor kan dimensjonen øke på hovedledningen jo nærmere man kommer slippunktet. I begynnelsen på ledningen kan det være dimensjoner ned til 40 mm rør, og i enden kan det med flere hundre boenheter være 90-110 mm. (Ødegaard, H. 2014b, s. 338)

### 2.4 Strømforbruk

#### 2.4.1 Strømforbruk - Pumpemotor

Avløpsvannet inneholder faste partikler av hovedsakelig avføring, toalettpapir og noen matrester fra kjøkkenavløpet. Uavhengig av pumpetype vil driftstiden variere, men det er rimelig å anta at pumpene går cirka 10 ganger daglig, med en varighet på omtrent ett minutt per gang. Dette skjer hovedsakelig i morgen-, ettermiddags- og kveldstid, når vannforbruket er høyest. (Skandinavisk kommunalteknikk, u.å.b)

«Motoren i en LPS-pumpe er en kortsluttet 1-fas vekselstrømsmotor. Takket være 1-fas motoren kan hus/hytteieren spare penger på en enklere og billigere elektroinstallasjon enn med en 3-fas motor. Og fordi pumpen ikke går mer enn totalt 10-15 minutter pr. døgn (ca. 1 min pr. pumpesyklus) er strømforbruket pr. År i en helårsbolig i størrelsesorden 70 kWh. Med en strømpris på 1.0 kr. pr. kWh blir strømkostnaden på ca. 70 kr. pr. år.» (Skandinavisk kommunalteknikk, 2013) Det verdt å merke seg at på et hyttefelt med ca. 46,5 forbrukerdøgn pr. år blir betydelig mindre.

#### 2.4.2 Strømforbruk - Oppvarming på avløpsledning og pumpetank

Frostsikring er avgjørende for å forhindre at avløpsvannet og drikkevannet i anlegget ikke fryser, slik at anlegget kan fungere selv ved temperaturer under 0 grader Celsius.

Mange hytteiere velger å slå av strømmen når de ikke er til stede, antageligvis for å spare strøm. Det er imidlertid viktig å være klar over de skadene som kan oppstå når et anlegg fryser. Rør kan sprekke, og utstyr på rørledningen som ventiler og koplinger kan også bli skadet.

Vanligvis består vannledningene til hytter av 32 mm preisolerte rørledninger med varmekabel, mens avløpsvannet følger samme prinsipp, men i større dimensjoner. Avløpsledningen er vanligvis betydelig større enn vannledningen.

I en avløpsledning må alt av is tines før pumpene kan presse avløpsvannet gjennom rørene. Basert på markedserfaring for preisolerte rør, antas det at det tar et par timer med full effekt fra varmekabelen før alt avløpsvannet i en 40 mm avløpsledning er tint. For et 63 mm avløpsrør vil det antageligvis ta dobbelt så lang tid. Om man velger en avløpsledning på 50 mm, antas det at det tar omtrent 3 timer før røret er helt tint. Det er også viktig å sjekke med leverandøren hvor lenge varmekablene kan være på med full effekt. (Skandinavisk kommunalteknikk, 2013)

##### 2.4.2.1 Isolasjonskasser og dobbeltmantlede rør

«Ved bruk av isolasjonskasser med ca. 0,5 m overdekning er det ofte tilstrekkelig med tilførsel av ca. 3 W/m for å holde både vann og avløpsledninger frostfrie når vannstrømmen gjennom ledningen er null.

Ved bruk av isotermrør med frostsikring og isotermt styringssystem oppgir leverandøren at behovet for varmetilførsel vil være mellom 3-5 W/m for trykkavløpsledning. Også dette avhenger av rørdimensjoner, overdekning og omfyllingsmasser» (Skandinavisk kommunalteknikk, 2013).

## 2.5 VA-gjennomføring

### 2.5.1 Rørmateriale

I et trykkavløpssystem er det normalt sett brukt PE-rør i PE100-SDR11-materiale (Norsk Vann, nr. 225, s. 15, 2017). PE trykkrør leveres som oftest i kveil, men kan også leveres i rette lengder på 6 til 12 m (Pipelife, u.å.a). Flexibiliteten i materialet gjør at det egner seg godt i et terreng med ujevn topografi. Rørene skjøtes sammen med elektroveisemuffer.

Isoterm er et teknisk PE trykkrørsystem som benytter integrert frostsikring med hjelp av varmekabler. Varmekablene festes på langs PE-røret og styres med bryter eller termostatløsning i kuldeperioder ved fare for frost (Pipelife, u.å.b). PE-røret og varmekabelen ligger inne i ett beskyttende korrugert HDPE rør.

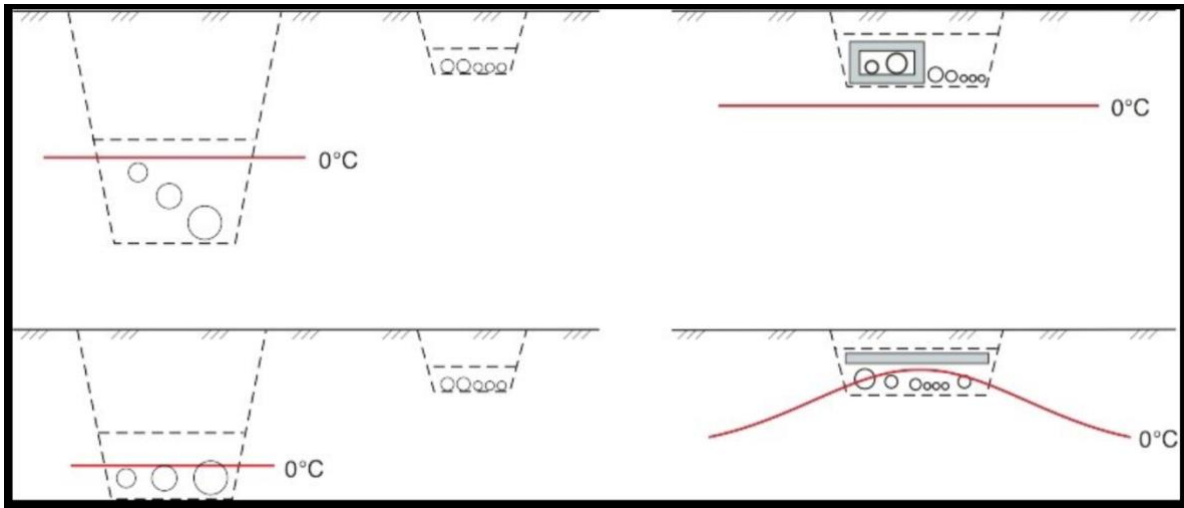
I et selvfallssystem for avløp er PVC rørmaterialet som benyttes mest. «Det er styrken, bestandigheten og konkurransekraften i PVC som gjør det til førstevalget» (Pipelife, u.å.c). PVC leveres i rette lengder på 6 m. Rørene skjøtes sammen med muffe og tetningsring.



Figur 10 - PE-kveil, Isoterm og PVC (Pipelife. 2024)

### 2.5.2 Frostfri dybde

Frost kan føre til skader på avløpsrør under bakken. Telehiv og iskjøving er de viktigste fenomenene å beskytte rørene mot. (Statens vegvesen, 2018). Telehiv er en form for jordbevegelse som oppstår når bakken fryser og utvider seg, vanligvis i kalde klimaområder. Iskjøving refererer til dannelsen av is inne i rørledninger, på grunn av lave temperaturer. For å unngå skader må alle ledninger ligge på frostfri dybde, være sikret med isolasjon eller tilførsel av varme. I Norge varierer praktisk frostdybde mellom 1,2 m (Stavanger) til over 3 m (Karasjokk). (Ødegaard, H. 2014b, s. 300)



Figur 11 - Skisse frostdybde. (Ødegaard, H. 2014a, Figur 11.4, s. 300)

Konvensjonelle grøfter uten isolasjon legges under 0 grader- linjen og kan bli liggende dypt i grunnen, se figur 13. Isolerte rør kan ligge over på grunn av varme fra de elektriske kablene i grunnen som bidrar til å holde ledningene frostfrie. Massenes evne til å lede varme har stor betydning. For eksempel går frosten vesentlig lettere ned i fjell enn i våt leire, se tabell 3 (Ødegaard, H. 2014b, s. 301).

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

Tabell 3 - Frostdybdefaktoren for ulike jordarter (Statens vegvesen, 2010)

En kan anslå frostfri dybde med denne formelen:

$$Z_F = K_F \cdot \sqrt{F} \quad (\text{formel 1})$$

$Z_F$  Frostfri dybde (cm)

$K_F$  Frostdybdefaktor avhengig av jordart, se figur 13.7

$F$  Frostmengde i  $h^\circ C$

Tabell 4 viser årsmiddeltemperatur og frostmengder i timegrader for alle kommuner i Norge. Datagrunnlaget er fra metrologisk institutt i perioden 1981 – 2010. Frostmengdene benyttes i formelen for frostfri dybde ut ifra hvor lang tid en dimensjonerer etter.

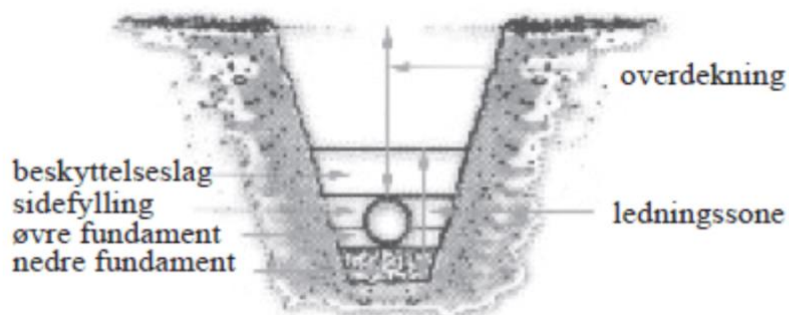
Kommune nr.	Kommune-navn	Årsmiddel-temp., °C	Frostmengder, h°C				Korreksjonsfaktorer	
			F <sub>2</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>10</sub>	F <sub>100</sub>	Min.	Maks
Nordland								
1804	Bodø	4,8	3000	6000	8 000	14 000	0,58	3,50
1805	Narvik	3,8	6000	10000	13 000	22 000	0,82	2,38
1811	Bindal	4,5	6000	11000	14 000	25 000	0,65	1,22
1812	Sømna	5,0	3000	7000	10 000	18 000	0,80	1,36
1813	Brønnøy	5,2	3000	7000	9 000	17 000	0,87	3,52
1815	Vega	5,4	2000	5000	7 000	13 000	0,88	1,23
1816	Vevelstad	4,8	4000	8000	11 000	21 000	0,92	1,53
1818	Herøy	5,6	2000	5000	7 000	13 000	0,86	1,01
1820	Alstahaug	5,3	3000	6000	9 000	16 000	0,86	1,29
1822	Leirfjord	4,6	4000	8000	11 000	20 000	0,79	1,59

Tabell 4 - Kommunetabell for årsmiddeltemperatur og frostmengder (Statens vegvesen, 2018)

- F<sub>2</sub> frostmengden overskrides statistisk sett 1 gang i løpet av en 2-års periode  
F<sub>5</sub> frostmengden overskrides statistisk sett 1 gang i løpet av en 5-års periode  
F<sub>10</sub> frostmengden overskrides statistisk sett 1 gang i løpet av en 10-års periode  
F<sub>100</sub> frostmengden overskrides statistisk sett 1 gang i løpet av en 100-års periode

### 2.5.3 Grøftens oppbygging

En rørgrøft består av nedre og øvre fundament, rør, sidefylling, beskyttelseslag og overdekning. Oppbyggingen og fordelingen vises i figur 14. VA-Miljøblad nr. 5 setter krav for utførelsen av grøfter. Grøfter skal tilfredsstillere kravene til sikkerhet, økonomi, tetthet, styrke og bestandighet (VA/Miljø-blad nr. 5, 2016).



Figur 12 - Grøftens oppbygging (VA/Miljø-blad nr. 5, 2016)

Den vanligste årsaken til skader på rør skyldes dårlig utførelse av fundament. Det er derfor viktig at kravene for komprimering, tykkelse og kornstørrelse er tilfredsstillt. Tabell 6 viser kravene for minste fundamenttykkelse ved de forskjellige rørdimensjonene og ulike grunnforhold.

Rørdiameter [mm]	Minste avstand <sup>1)</sup>	
	Til grøfteside [mm]	Mellom rør [mm]
DN ≤ 225	200	200

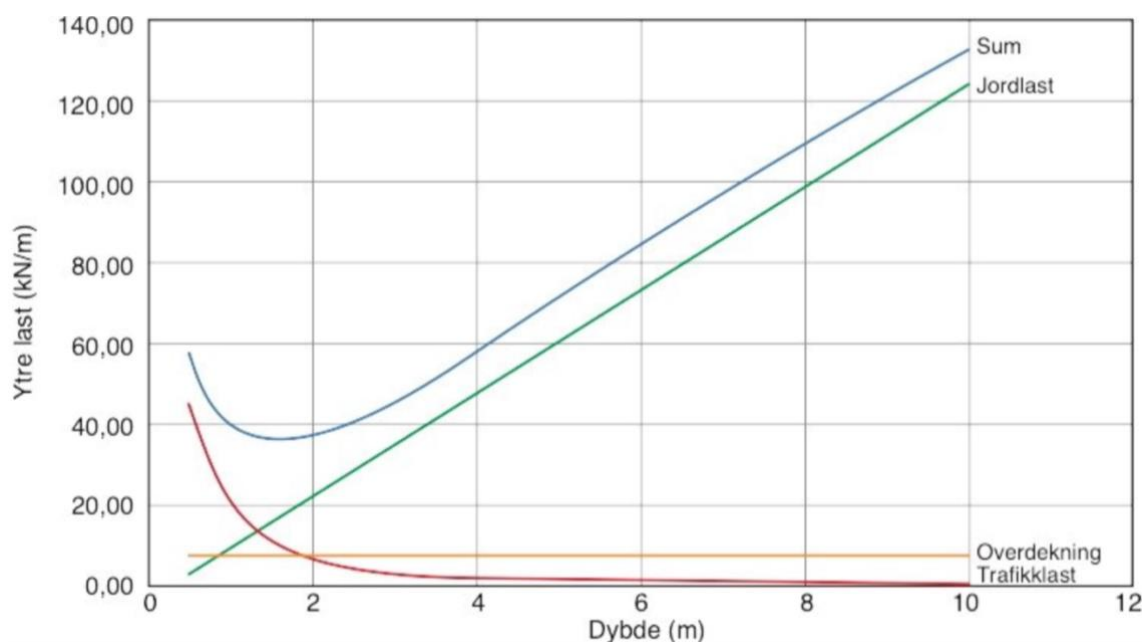
Tabell 5 - Plassbehov/grøftbredde som er nødvendig for de forskjellige rørdimensjoner (VA/Miljø-blad nr. 5, 2016)

Nominell rørdiameter	Normale grunnforhold [mm]	Harde grunnforhold f.eks. fjell eller betong [mm]
DN < 400	150	150
400 ≤ DN < 1200	200	300
1200 ≤ DN < 2000	350	400

Tabell 6 - Minste nedre fundamenttykkelse ved ulike diametre og ulike grunnforhold (VA/Miljø-blad nr. 5, 2016)

#### 2.5.4 Lastkrefter på rørene

Rørene utsettes for flere typer belastninger. De viktigste å ta høyde for er innvendig vanntrykk, ytre last fra tyngden av overdekning og trafikklast (Ødegaard, H. 2014a, s. 523). Kraftene fra trafikklast avtar raskt fra overdekning på 0.5 m – 2 m. Kraftene fra jordlast øker lineært med dybden. Summen av kreftene er lavest i leggedybden 1,5 – 2 m. Figur 15 viser grafisk hvordan lasten og dybden fordeler seg.



Figur 13 - Lastkrefter på rør (Ødegaard, H. 2014a, figur. 13.14, s. 523)

Den Nordiske Plastrørgruppen , NPG, er en nordisk bransjeorganisasjon for plastrørprodusenter (NPG, 2021). De har utviklet en leggeanvisning for utførelse av rørarbeid innenfor vann og avløp. I leggeanvisningen settes det krav til overdekning på minimum 0,6 m og maksimum 10 m.

#### 2.5.5 No-dig

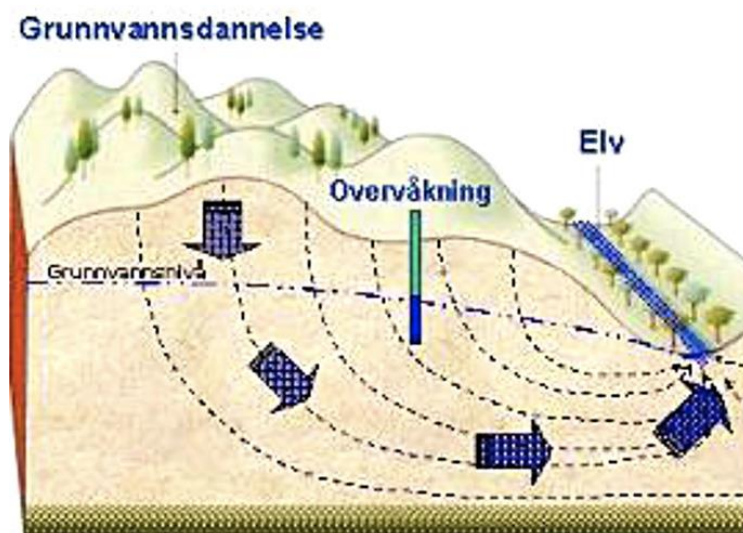
«NoDig-metoder er en fellesbetegnelse på teknikk for fornyelse av gamle vann- og avløpsledninger, eller etablering av nye VA-ledninger, med ingen eller minimal graving» (Norsk vann, u.å.). Vi kan dele de forskjellige metodene som benyttes i forskjellige kategorier. Strukturelle metoder for etablering av nye rør, semistrukturelle- og ikke-strukturelle metoder der rør etableres i gammel trase med delvis eller solid støtte fra eksisterende rør.

#### 2.5.6 Grunnvann

Grunnvann er vann i mettet sone under jordoverflaten, det vil si i den delen av grunnen hvor alle sprekker og porer er helt fylt med vann. (Bakken, T. H. 2024)

På grunnvannets overflate er atmosfæretrykket lik grunnvannstrykket, dette kalles grunnvannsspeilet (Ødegaard, H. 2014a, s. 41). Dannelse av grunnvann oppstår når regn og smeltevann infiltrerer bakken gjennom den umettede sonen og ned til grunnvannsspeilet.

Grunnvann beveger seg naturlig fra områder med høyere høyde til lavere liggende områder. Topografiske høydepunkter som åser og fjellskråninger fungerer som områder der grunnvann dannes og akkumuleres, mens lavtliggende områder som daler og fordypninger er steder der grunnvannet dreneres mot vassdrag, myrer eller ut av åpne kilder. (Ødegaard, H. 2014a, s. 42)



Figur 14 - Grunnvannsdannelse (Ødegaard, H. 2014a. Figur 2.3, s. 42)

## 2.5 Miljø

### 2.5.1 Klimagassutslipp

“En klimagass er en type gass i atmosfæren som fanger varmen fra sola, og skaper drivhuseffekten” – (Metrologisk institutt, 2020)

Når mengden klimagasser i atmosfæren øker, fanges mer av varmen på jordens overflate (Metrologisk institutt, 2020). Klimagassene har lang levetid, og bidrar derfor til at jordens overflate holdes varm i lang tid. Uten klimagasser hadde det vært kaldt på jorden, men når mengdene øker raskt, øker temperaturen raskt. I 2022 slapp Norge ut 48,9 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter og bygg og anleggsbransjen står for 15-19% av dette. Bransjen slapp ut 2,1 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter direkte fra bygg og anleggsarbeid i Norge. Import av byggevarer utgjorde omtrent 5,3 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (Statistisk Sentralbyrå, 2023). I 2016 utgjorde den kommunale delen av vannbransjen 10% av det totale utslipp fra kommunal virksomhet (Borg, Dejardins og Larsen, 2019). Avløpsbehandling, innkjøpte varer og tjenester, transport og utbygging av infrastruktur er kildene til utslipp som inngår i dette.

### 2.5.2 Verktøy for beregning av utslipp

#### 2.5.2.1 LCA

En livsløpsanalyse (LCA) innebærer en strukturert analyse og vurdering av miljø- og ressurspåvirkninger gjennom hele levetiden til et produkt eller et produktsystem. (Norsus, u.å.). I analysen ser man på utslipp som følger produktet fra "vugge til vugge" eller "vugge til grav". Analysen tar altså for seg utslipp fra produksjonen av et produkt, men også veien videre. Transport fra fabrikk, vedlikehold, installasjon, drift etter installasjon og avfallshåndtering utgjør en viktig del av livsløpsanalysen. En slik analyse viser miljøpåvirkning til ulike produkter eller produktsystem og hvor i livsløpet disse er størst.

#### 2.5.2.2 EPD

EPD står for Environmental Product Declaration. Ved å gjennomføre en LCA på et produkt kan man lage en EPD som er en miljødeklarasjon og en kortfattet rapport som viser miljøprofilen til et produkt eller en komponent. Det er visse krav til hvordan en EPD skal lages som er spesifisert i ISO-standaren 14025 Environmental Labels and Declarations Type III (EPD-Norge, u.å.a). Med en internasjonal standard kan produkter sammenliknes med andre produkter i samme produktkategori uavhengig av region eller land, slik at man kan få en oversikt over miljøprofilen når man velger produkt.

En EPD tar for seg forskjellige faser i livsløpet til et produkt. I figur 15 er en oversikt over de forskjellige fasene og hva som inngår i dem. Den deklarererte enheten i hver EPD sier noe om miljøbelastningen pr.



enhet av produktet eller materiale. For eksempel kan man se hvor mange kg CO<sub>2</sub>-ekv. betong har i utslipp pr. m<sup>3</sup> i tilvirkningsposten under produktfasen.

Produktfase			Konstr/ install.fase		Bruksfase					Slutfase			
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Konstruksjons og Installasjon	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskifting	Renovering	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til sluttbehandling
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4

Figur 15 - Faser i livsløpet i EPD (EPD-Norge, u.å.b)

### 2.5.2.3 Norsk Vann rapport 251

Norsk Vann er Norges interesseorganisasjon innenfor vannbransjen. Organisasjonen har som mål å sikre rent vann og bærekraftig utvikling av bransjen. Norsk Vann har sammen med Asplan Viak utviklet rapport 251, som er en veileder for vannbransjen i klimagassberegninger. Rapporten inneholder utslippsfaktorer der verdiene er hentet fra nasjonale og internasjonale forskningsrapporter og livsløpsanalyser.

Det største usikkerhetsmomentet for klimagassutslipp innenfor vann og avløp er knyttet til drift av anleggsmaskiner og grøfteutførelse (Borg, Dejardins og Larsen, 2019, s.29) Det slippes årlig ut 340 000 tonn CO<sub>2</sub> fra norske byggeplasser kun fra anleggsmaskiner og byggevarme på byggeplassen (Miljødirektoratet, 2022). Grunnforhold og andre faktorer som påvirker fremdriften av gravingen er ikke tatt hensyn til i Norsk Vann sin rapport.

Ved utsprenning av grunn benyttes det en utslippsfaktor på 27,3 kg CO<sub>2</sub>-ekv./m<sup>3</sup>. Tallet er et erfaringstall hentet fra Statens Vegvesens livsløpsanalyse (Borg, Dejardins og Larsen, 2019, s.29).

Et trykksystem vil være avhengig av pumper som skaper trykk i avløpsrørene. Når pumpene jobber vil strømforbruket bidra til klimagassutslipp. For norsk forbruksmiks har Ecoinvent en utslippsfaktor på 36,1 g CO<sub>2</sub> ekv./kWh (Borg, Dejardins og Larsen, 2019, s.26).

### 2.5.2.4 Carbon Calculator PW Trenchless

PW Trenchless er et entreprenørselskap fra Canada som spesialisere seg på å installere og vedlikeholde rørledninger, kabler og andre underjordiske installasjoner uten å måtte grave tradisjonelle grøfter. De er et av de ledende selskapene innenfor sitt felt i Britisk Columbia og har et

høyt fokus på anleggsarbeidets klimagassutslipp (PW Trenchless, 2024). PW har utviklet en kalkulator for å detaljert kunne regne og sammenligne mengder klimagassutslipp mellom tradisjonelt grøftearbeid og ulike metoder for “No-Dig” grøftearbeid. Kalkulatoren tar for seg utslippene som kommer fra sprenging, graving, komprimering, anleggspumper og transport av eventuelle overskuddsmasser. Verktøyet benyttes til detaljerte beregninger på grøfteutførelser i tidlig fase av rådgivere i Norge (Borg, A, personlig kommunikasjon, 26. mars 2024)

Utslippsfaktorene og utstyrsliste er satt basert på erfaringstall, etablerte referanser, ekspertintervjuer og testing (PW Trenchless, u.å). Kalkulatoren fungerer slik at grunnforholdene og det totale grøftevolum bestemmer driftstiden for maskinene. Antall meter grøft på en 8 timers arbeidsdag er det som bestemmer produktiviteten. Ved grøfter dypere enn 1,7 m, blir produktiviteten 25% lavere. Driftstiden knyttes opp med dieselforbruk og utslippsfaktorer som gir grunnlag for beregning av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Tabell 7 viser de ulike maskinene som er tatt med i beregningen, og deres CO<sub>2</sub>-utslipp pr. operative time.

<b>Machinery List</b>	<b>Open Cut</b>		
	oprational hp Inputs	oprational hp defaults	CO <sub>2</sub> e kg per hour of operation
Excavator		103	58
Backhoe		18	12
Roller		50	32
Small tools		18	12
Generator		13	8
Winch			
Hydraulic unit			
Pipe Fusion system			
Steam Boiler		100	57
Boring machine			
Grouting unit			
Hydro Vac			
Other 1			
Other 2			
dewatering pump		150	85

Tabell 7 - Oversikt anleggsarbeid, utsnitt fra kalkulatoren (PW Trenchless, 2024)

#### 2.5.2.5 Strømforbruk

Norge er det landet i Europa med høyest andel fornybar strøm. Dette på grunn av vannkraft og økende andel vindkraft. Samtidig er Norge tilknyttet et større europeisk kraftnett, og den elektrisiteten landet forbruker kommer fra en rekke ulike energikilder. Noe av strømmen kan være produsert andre steder med andre teknologier, men hovedsakelig er det fornybar energi. Norges vassdrags og energidirektorat (NVE) lager årlig klimadeklarasjon for fysisk levert strøm. På grunn av økt import av strøm fra Tyskland og Danmark har det gjennomsnittlige klimagassutslippet knyttet til bruk av strøm i Norge økt siden 2020 (Norges vassdrags og energidirektorat, 2022).

Klimadeklarasjonen viser at i 2020 var utslippet på 8 g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh, i 2022 var den 19 g CO<sub>2</sub>-

ekv./kWh (Norges vassdrags og energidirektorat, 2024). I følge Ecoinvent sin analyse var det i perioden 2014 – 2018 et gjennomsnittlig utslipp på 36 g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh. (Borg, Dejardins og Larsen, 2019) Mange faktorer spiller inn på klimagassutslippet, og det svinger i stor grad fra år til år.

## 2.6 Digitale verktøy

### 2.6.1 BIM

Bygningsinformasjonsmodellering er å skape digitale tredimensjonale bygningsmodeller (Nordic Bim Group, u.å.) Modellene kan inneholde informasjon om materiale, dimensjon, lengde, høyde, geografisk plassering og mye mer. BIM benyttes i tverrfaglig prosjektering. Bygg, veg, elektro, VVS, vann og avløp kan alle samles i samme prosjektmodell. Modellene fungerer som produksjonsunderlag for entreprenøren (Kind, u.å). Når modellene er ferdig gir de “som-bygget” dokumentasjon. Ved bruk av kartdata prosjekteres modellene i det terrenget det skal bygges i og gir en realistisk fremstilling av hvordan det vil se ut i virkeligheten. Dette muliggjør masse- og klimagassberegninger basert på modellene (Kind, u.å).

### 2.6.2 Novapoint

Novapoint er en programvare utviklet av det amerikanske selskapet Trimble. Programvaren er laget for de som prosjekterer veg, jernbane, tunneler, bruer, vann og avløp (Trimble, u.å.). Programmet er utbredt blant norske rådgivningsfirmaer. Novapoint tillater kompleks modellering av infrastruktur. Programmet må kobles opp med AutoCAD for å produsere modeller for vann og avløp.

### 2.6.3 AutoCAD

AutoCAD er utviklet av det amerikanske selskapet Autodesk. Arkitekter og ingeniører bruker programmet til å designe 2D- og 3D-modeller (Autodesk, 2024). I samarbeid med andre programmer tillater det modellering av en rekke ulike prosjekter, fra arealplaner til flymodeller. Tegninger som leveres til entreprenøren produseres i AutoCAD.

## 3 Metode

### 3.1 Dimensjonering

#### 3.1.1 Dimensjonerende mengder

Tabell 8 viser sammenhengen mellom hva en person bruker av vann pr. døgn l/pd, i forhold til hvilken type virksomhet det beregnes for. Vi velger å benytte «Hytter, høy standard», da hyttefeltet vil bestå av nye og moderne hytter med innlagt vann og strøm. Setter derfor vannforbruket til 150 l/pd.

TYPE VIRKSOMHET	HYDRAULISK BELASTNING
Barneskoler, ungdomsskoler og videregående skoler <sup>a</sup>	40 l/elev-døgn
Arbeidsplasser	80 l/ansatt-døgn
Sykehus inkl. betjening	625 l/seng-døgn
Pleiehjem, sanatorium <sup>a</sup>	450 l/seng-døgn
Hoteller, høy standard <sup>a</sup>	500 l/overnattingsdøgn
Hoteller, midlere standard, pensjonater <sup>a</sup>	275 l/overnattingsdøgn
Hytter, høy standard (dusj, WC, oppvaskmaskin)	150 l/gjestedøgn
Hytter, innlagt vann, uten WC	75 l/gjestedøgn
Restauranter, kafeer	100 l/stol
Svømmehaller	100 l/besøkende
Forsamlingslokaler	6 l/sitteplass

Tabell 8 - Dimensjonerende mengder (Ødegaard, 2014a, side 287, Tabell 10.4)

#### 3.1.2 Antall Pe og hytter

For å få en oversikt over hvor mange brukere det vil være på hver ledningstrase, må vi se på hvor mange personer som skal oppholde seg i hver hytte. Vi benytter av oss tallene fra Halvor Stormoens artikkel. (Stormoen, 2021)

Deretter gjør vi et grovt anslag over hvor mange hyttedøgn de har i løp av et år. Til slutt anslår vi hva som vil være et realistisk antall brukere pr. hytte. Med denne oversikten kan vi benytte disse tallene i flere av de kommende beregningene. Her er en oversikt over de valgte tallene:

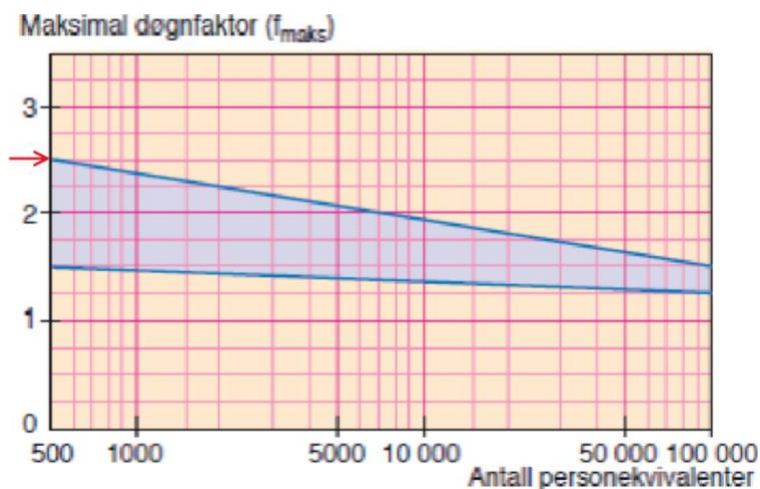
For små hytter i Norge med plass til 4 personer, benyttes hytta 30 døgn pr. år. For de største hyttene i Norge med plass til 7,2 personer, benyttes den opp mot 63 døgn pr. år. Det gjennomsnittlige tallet for antall overnattingsdøgn pr. år beregnes med tall fra artikkelen, der  $(30+63\text{døgn}/2)$  gir 46,5 døgn.

Ved å se på størrelsen og antall sengeplasser i de små og store hyttene kan vi ta  $(4\text{ personer}+7,2\text{ personer}/2)$ , som gir 5,6 sengeplasser. På grunn av hyttefeltets beliggenhet og antall personer i området, antar vi at ca. 5 sengeplasser pr. hytte er et mer realistisk tall å bruke.

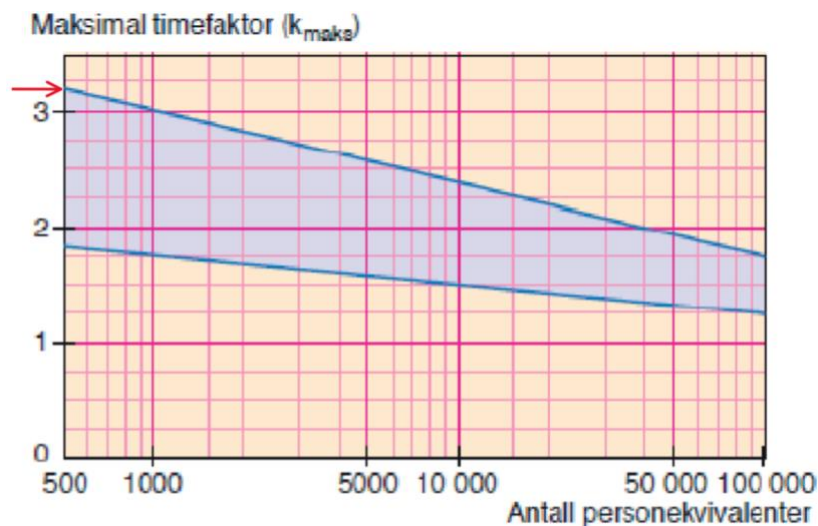
### 3.1.3 Time og døgnfaktor

I kapittel 3.1.2 gjorde vi et realistisk anslag over hvor mange personer som kunne komme til å bruke hyttefeltet i en og samme tidsperiode. Figurene 16 og 17 illustrerer maksimal døgn- og timefaktor i forhold til antall personekvivalenter i et område. Ved å benytte denne kan vi velge en ønsket faktor som vi bruker videre i beregningene og dimensjoneringen.

Da det fort vil være mellom 300-500 personer til sammen på hyttene i de mest travle periodene, velger vi å sette maksimal døgnfaktor ( $f_{maks}$ ) til den høyeste anslåtte verdien som er 2,5. Det samme gjelder for den maksimale timefaktoren ( $k_{maks}$ ) som velges til 3,2.



Figur 16 - Maksimal døgnfaktor (Vatne, 2023, lysark 44)



Figur 17 – Maksimal timefaktor (Vatne, 2023, lysark 44)

For minimumsverdier brukes tabell 9, som viser erfaringstall for minimal timefaktor ( $f_{min}$ ) i forhold til type område. Et hytteområde vil på mange områder være lik områdetypen «fritidsområder, campingplasser, etc.». Vi velger derfor denne verdien og setter den til 0,5.

Område type	$f_{maks}$	$f_{min}$	$k_{maks}$
Byer med mer enn 10 000 pe	1,3-1,8	0,5-0,9	
Tettsted med mer enn 3000 pe	1,3-2,1	0,6-0,8	1,4-2,7
Tettsted med 1000-3000 pe	1,5-2,3	0,5-0,6	1,7-3,0
Fritidsområder, campingplasser etc	2,0-4,0	0,5	2,0-4,0

Tabell 9 - Maks døgnfaktor, min døgnfaktor og maks timefaktor (VA/Miljø-blad nr. 115, 2015)

### 3.1.4 Selvfall

Målet i denne delen er å finne den nødvendige diameteren slik at kravene til tilstrekkelig kapasitet og selvrensende egenskaper oppfylles ved en spesifikk vannmengde. Vi må derfor beregne den selvrensende vannmengden sammenlignet med den valgte rørdimensjonen og fallet på strekningen. (Ødegaard, H. 2014b, side 299)

Nedenfor vises stegvis forklaring av dimensjonering av selvfallssystem. Teknikken og fremgangsmåten benyttes i både i byggefelt 1 og byggefelt 3:

1. Undersøke om avløpsledningen har tilstrekkelig fall fra start til slutt. Antar jevnt fall på ledningen. «Tommelfingerregelen» sier at en promille på over 10 gir selvrens. Benytter (formel 2) for å undersøke ledningens helning (m/m). Ved å multiplisere svaret med 1000, får man oppgitt svaret i promille.

$$I = \frac{\Delta H}{L} \quad (\text{formel 2})$$

$I$  Helning på bunnen av ledningen

$\Delta H$  Høydeforskjell

$L$  Ledningslengden (m)

(Ødegaard, H. 2014b, side 307, Figur 11,8)

2. Lærebøker og VA-blader anbefaler minimum 150 mm diameter på avløpsledningen for å ha tilstrekkelig kapasitet. Vi velger derfor 160 mm, etter leverandørens produktkatalog. Kontrollerer minste mulige avløpsmengde for gjeldende trase/byggefelt ved å benytte (formel 3). Setter utlekkingsvann til 0, da dette blir neglisjerbart på en kort avløpsledning.

$$Q_{selvrens} = \frac{Pe \cdot Q_h \cdot k_{maks} \cdot f_{min} + Pe \cdot Q_{lekk}}{24 \cdot 60 \cdot 60} \quad (\text{formel 3})$$

$Q_{selvrens}$  Selvrensing av avløpsledning (l/s)

$Pe$  Personekvivalent

$k_{maks}$  Maksimal timefaktor

$f_{min}$  Minimal døgnfaktor

$Q_{lekk}$  Infiltrasjon og inn/utlekkingsvann (fremmedvann) (l/pd)

(Ødegaard, H. 2014b, side 157, Delkapittel 7.2.2, formell 2)

3. Ønsker å finne skjærspenningen i bunnen av røret. For å finne denne verdien må man gjennom flere steg. Benytter først (formel 4) for å finne skjærspenningen i et helt fylt rør. Denne formelen inneholder også verdi for hydraulisk radius (formel 5) og fallet på ledningen (formel 6)

$$\tau_{fylt} = \gamma \cdot g \cdot R \cdot I \quad (\text{formel 4})$$

$\tau_{fylt}$  Skjærspenningen i et helt fylt rør (N/m<sup>2</sup>)

$\gamma$  Spesifikk vekt, vann (N/m<sup>3</sup>)

$g$  Gravitasjonen = 9,81 (m/s<sup>2</sup>)

$R$  Hydraulisk radius

$I$  Fallet på ledningen (m/m)

(Ødegaard, H. 2014b, side 310)

$$R = \frac{A}{P} \quad (\text{formel 5})$$

$R$  Hydraulisk radius

$A$  Ledningens tverrsnittsareal (m<sup>2</sup>)

$P$  Våt omkrets (m)

$A/P$   $\pi \cdot (D/2)^2 / \pi \cdot D = D/4$

(Ødegaard, H. 2014b, side 310)

$$I = \frac{\Delta H}{L} \quad (\text{formel 6})$$

$I$  Helning på bunnen av ledningen

$\Delta H$  Høydeforskjell

$L$  Ledningslengden (m)

(Ødegaard, H. 2014b, side 307, Figur 11,8)

4. I første steg fant vi avløpsledningens fall (formel 2). Denne benyttes nå i «colebrooks» diagram. Ved å kombinere ledningens fall på diagrammets «x-akse» og den valgte ledningsdimensjonen, kan vi lese av vannføringskapasiteten til avløpsledningen. Denne finnes på diagrammets «y-akse» og leses av i liter per sekund (l/s), se blå linje i vedlegg A1, figur 1 og 3.
5. Videre benyttes (formell 7), som dividerer den minste vannmengden avløpsledningen vil kunne ha med vannføringskapasiteten i ledningen.

$$\frac{Q_{selvrens}}{Q_{fylt}} = X\text{-verdi} \rightarrow \frac{h}{D} \quad (\text{formel 7})$$

$Q_{selvrens}$	Selvrensing av avløpsledning (l/s)
$Q_{fylt}$	Vannføringskapasiteten i en ledning
X-verdi	«X-verdien» i delfyllingsdiagrammet
$\frac{h}{D}$	Relativ vanndybde

(Ødegaard, H. 2014b, side 81)

- «X-verdien» som (formel 7) gir oss leses av på delfyllingsdiagrammets x-akse. Ved å følge denne loddrett, til man treffer grafen « $Q_{selvrens}/Q_{fylt}$ », kan vi lese av avløpsledningens relative vanndybde, se gul linje i vedlegg A1, figur 2 og 4.
- Til sist benyttes de tidligere verdiene som er funnet til å beregne maksimal skjærspenning i bunnen av avløpsledningen. Disse settes inn i (formel 8), der det ønskes en oppnådd verdi på over 2,0 N/m<sup>2</sup>, da dette oppfyller kravet for selvrens.

$$\tau_{maks} = \tau_{fylt} \cdot 4 \cdot \frac{h}{D} \cdot \left(1 - \frac{h}{D}\right) \quad (\text{formel 8})$$

$\tau_{maks}$	Maksimal skjærspenning i bunnen av røret (N/m <sup>2</sup> )
$\tau_{fylt}$	Skjærspenningen i et helt fylt rør (N/m <sup>2</sup> )
$h$	Vannivået over bunnen av røret (delfyllingen)
$D$	Rørdiameter (m)
$\frac{h}{D}$	Relativ vanndybde

(Ødegaard, H. 2014b, side 310)

### 3.1.5 Trykk

Målet i denne framgangsmåten er å se om avløpsmengden har tilstrekkelig hastighet og kapasitet fra forbruker og til sitt slippunkt. Sammenhengen mellom valgt rørdimensjon og avløpsmengde vil gi oss det endelige resultatet. Her ønskes det en hastighet på avløpsvannet på over 0,40 m/s for å oppnå kravet om selvrens i trykksatte avløp

Under vises en stegvis forklaring av dimensjonering av trykksatt avløpssystem. Teknikken og framgangsmåten benyttes i både byggefelt 1 og byggefelt 3:



1. Benytter (formel 9) for å finne den maksimale mengden avløpsvann, (det lukkede avløpssystemet kan bli utsatt for. Setter annet vannforbruk, Infiltrasjon og inn/utlekkingsvann og Brannvann til 0. Ved å dividere svaret på 1000, omgjør vi verdien til m<sup>3</sup>/s.

$$Q_{dim} = \frac{Pe \cdot Q_h \cdot k_{maks} \cdot f_{maks} + Pe \cdot Q_a \cdot 3 + Pe \cdot Q_{lekk}}{24 \cdot 60 \cdot 60} + Brannvann \quad (formel 9)$$

$Q_{dim}$	Dimensjonerende vannmengde (l/s)
$Pe$	Personekvivalent
$k_{maks}$	Maksimal timefaktor
$f_{maks}$	Maksimal døgnfaktor
$Q_h$	Vannforbruk, Husholdning (l/pd)
$Q_a$	Vannforbruk, Annet (l/pd)
$Q_{lekk}$	Infiltrasjon og inn/utlekkingsvann (l/pd)

*Brannvann* Vann til brannslukking (l/s)

(Ødegaard, H. 2014b, side 157, Delkapittel 7.2.2 formel 1)

2. VA-blader og produsenter opplyser om dimensjoner fra 40-110 mm diameter på trykkavsatte avløpsledninger. Vi har valgt 90 mm for byggefelt 1 og 75 mm for byggefelt 3, mens alle stikkledninger har fått en dimensjon på 50 mm. Alle avløpsledninger i PVC og PE blir oppgitt med utvendig rørdiameter. For å finne den innvendige diameteren må (formel 10) benyttes. Den tar for seg forholdet mellom den ytre diameteren og rørtykkelsen for å finne den indre rørdiameteren.

$$D_i = D_y - 2 \cdot \frac{D_y}{SDR} \quad (formel 10)$$

$D_i$	Indre rørdiameter (m)
$D_y$	Ytre rørdiameter (m)
$SDR$	Verdi for rørtykkelse

(VA/Miljø-blad nr. 97, 2010)

3. Det er viktig å ta hensyn til rørets ruhet. Ruheten endrer seg over tid på grunn av avsetninger, slitasje, osv. Derfor er det vanlig å bruke anbefalte verdier for ruhet (k) ved dimensjonering.

Rørmateriale	Beskrivelse av ledningsstrek	k (mm)
Betongrør og rør med innvendig sementmørtelforing	Rett ledningsstrekning uten tilknytninger og bend	1,00
	Ledningsstrekning med tilknytninger og bend	1,50
Plastledninger (PVC, PE, GRP etc.)	Rett ledningsstrekning uten tilknytninger og bend	0,25
	Ledningsstrekning med tilknytninger og bend	0,40

Tabell 10 - Tabell med anbefalte k-verdier for dim. Avløpsledninger (Ødegaard, H. 2014a, figur 11.3, s. 411)

4. Den valgte k-verdien og den indre rørdiameteren benyttes så videre i til å finne den relative ruheten (formel 11) som er oppgitt på den høyre «y-aksen» i «Moody's diagram», se vedlegg A1, figur 6 og 8.

$$f = \frac{\epsilon}{D_i} \quad (\text{formel 11})$$

$f$  Friksjonskoeffisienten

$\epsilon$  Ledningsmateriale (rørruhet) (mm)

$D_i$  Indre rørdiameter (mm)

(Ødegaard, H. 2014b, side 71, «Moody's diagram»)

5. Ved å sette en horisontal linje over «Moody's diagram», finner vi friksjonskoeffisienten ( $f$ ), se vedlegg 1, figur 6 og 8.
6. Vi anvender «Darcy-Weisbachs» ligning (formel 12) for fylte avløpsledninger som er satt under trykk. Ved å snu litt om på denne ligningen får vi falltapet i (formel 13). Denne verdien skal benyttes i neste steg.

$$D^5 = f \cdot \frac{L \cdot Q^2 \cdot 8}{g \cdot \pi^2 \cdot hf} \quad (\text{formel 12})$$

$D$  Ledningsdiameter (m)

$f$  Friksjonskoeffisienten

$L$  Ledningslengden (m)

$Q$  Dimensjonerende vannmengde ( $m^3/s$ )

$g$  Gravitasjonen = 9,81 ( $m/s^2$ )

$\pi$   $\pi = 3,14$

$hf$  Falltapet i ledningen (mVS - meter vannsøyle)

(Ødegaard, H. 2014b, side 308)

$$hf = f \cdot \frac{L \cdot Q^2 \cdot 8}{D^5 \cdot g \cdot \pi^2} \quad (\text{formel 13})$$

$hf$	Falltapet (m)
$f$	Friksjonskoeffisienten
$L$	Ledningslengden (m)
$D$	Ledningsdiameter (m)
$Q$	Dimensjonerende vannmengde (m <sup>3</sup> /s)
$g$	Gravitasjonen = 9,81 (m/s <sup>2</sup> )
$\pi$	Pi = 3,14

(Ødegaard, H. 2014b, side 308)

7. Etter å ha funnet falltapet kan vi igjen benytte oss av «Darcy-Weisbachs» ligning (formel 14). Ved å snu litt på denne, får vi oppgitt avløpsvannets hastighet i den bestemte rørdimensjonen (formel 15). Som nevnt tidligere så ønskes det en hastighet på over 0,40 m/s.

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{formel 14})$$

$hf$	Falltapet (m)
$f$	Friksjonskoeffisienten
$L$	Ledningslengden (m)
$D$	Ledningsdiameter (m)
$v$	Vannhastigheten (m/s)
$g$	Gravitasjonen = 9,81 (m/s <sup>2</sup> )

(Ødegaard, H. 2014b, side 307)

$$v = \sqrt{\frac{hf \cdot 2 \cdot g \cdot D}{f \cdot L}} \quad (\text{formel 15})$$

$v$	Vannhastigheten (m/s)
$hf$	Falltapet (m)
$g$	Gravitasjonen = 9,81 (m/s <sup>2</sup> )
$D$	Ledningsdiameter (m)
$f$	Friksjonskoeffisienten
$L$	Ledningslengden (m)

(Ødegaard, H. 2014b, s. 307)

## 3.2 Strømforbruk

Når strømforbruket beregnes, har vi tatt hensyn til to objekter i avløpssystemet som bruker strøm. Den ene er kvernpumpa som skaper trykk og pumper ut avløpsvannet. Det andre er varmekablene som sørger for at både pumpetanken og avløpsrørene holder seg frostfrie. For å finne det totale strømforbruket må vi finne de forskjellige objektenes strømforbruk, for å kunne summere de sammen til slutt.

For å finne det totale strømforbruket for alle 60 hytter (Byggefelt 1 og byggefelt 3), multipliseres det årlige strømforbruket per hytte med antall hytter. Vi ser på to realistiske muligheter for å gjøre beregningene så nøyaktige som mulige. Den ene er å beregne strømforbruket for de 46,5 dagene, som er det gjennomsnittlige antall overnattingsdøgnene på hytta i Norge. Den andre er å se på strømforbruket for hele vinterhalvåret i Nord-Norge, som er på 7 måneder. Da tas det hensyn til at varmetermostaten står på til enhver tid for å unngå unødvendig skade på avløpssystemet.

### 3.2.1 Pumpemotor

Erfaringsdata viser at gjennomsnittlig strømforbruk pr. hytte eller pumpe pr. år er 70 kWh for en tidsperiode på 365 dager. Med et gjennomsnittlig antall overnattingsdøgn på 46,5 dager pr. år, tilsvarer dette 12,74% av årets totale dager. Ved å multiplisere det gjennomsnittlige daglige strømforbruket med antall overnattingsdøgn, finner man at hvert års strømforbruk pr. hytte er 8,92 kWh. Ved å multiplisere dette på 60 hytter blir det totale årlige strømforbruket 535,2 kWh.

I løpet av vinterhalvåret som strekker seg fra oktober til april, utgjør de 210 dagene 57,53% av året. Dermed blir det årlige strømforbruket pr. hytte i denne perioden beregnet til 40,27 kWh. Når vi beregner det totale strømforbruket for alle 60 hytter, blir det totale årlige strømforbruket 2416,26 kWh.

### 3.2.2 Oppvarming av pumpetank

Den termostyrte varmematten som ligger rundt pumpetanken, opererer med en effekt på 150 W. Når det regnes om til kilowatt, tilsvarer det 0,15 kW. Det totale strømforbruket for de 60 hyttene finnes ved å multiplisere med 24 timer og 60 hytter, som gir totalt 216 kWh.

Det totale strømforbruket for 46,5 hyttedøgn finner vi ved å multiplisere antall døgn med de 60 hyttene sitt totale strømforbruk. Det totale forbruket for 46,5 hyttedøgn blir da 3515,4 kWh. Det samme gjelder strømforbruket for hele vinterhalvåret, der vi multipliserer det totale strømforbruket med 7 måneder og 30 døgn pr. måned. Dette gir et forbruk på 45360 kWh gjennom vinterhalvåret.

### 3.2.3 Oppvarming av avløpsrør

Erfaringstallene sier at avløpsrørene har en effekt på 4 W/m. Vi ønsker først å finne den totale lengden av hovedledningen og stikkledningene for både Byggefelt 1 og byggefelt 3. Ved å summere begge hovedledningene pluss de 60 stikkledningene, blir den totale ledningslengden på 1400 meter.

Ved å multiplisere den totale ledningslengden med effekten pr. meter, får man det totale strømforbruket til å være 5600 W, eller 5,6 kW. Det totale strømforbruket for både byggefelt 1 og 3 blir dermed 5,6 kWh multiplisert med 24 timer, som gir 134,4 kWh pr. dag.

Det totale strømforbruket for både Byggefelt 1 og 3, med en kabeleffekt på 4 W/m, er beregnet ut fra strømforbruket for 46,5 hyttedøgn og strømforbruket for hele vinterhalvåret.

Strømforbruket pr. år beregnes ved å multiplisere antall døgn på det totale daglige strømforbruket. For 46,5 hyttedøgn tilsvarer dette 6249,6 kWh, mens for hele vinterhalvåret er det totale forbruket 28224 kWh.

### 3.2.4 Totale strømforbruk

Etter å ha funnet alle objektenes strømforbruk, summeres de sammen for å finne det totale strømforbruket. For 46,5 hyttedøgn summeres strømforbruket til kvernpumpens motor, samt varmetermostaten i avløpsledninger og pumpetank. Dette tilsvarer et strømforbruk på 16828,8 kWh.

For hele vinterhalvåret gjøres det på samme måte, bare med annet strømforbruk for varmetermostat. Strømforbruket til kvernpumpens motor vil være det samme i begge beregningene. Det totale strømforbruket for de 7 vintermånedene blir da 74119,2 kWh.

### 3.2.5 CO<sub>2</sub>-utslipp

For å beregne CO<sub>2</sub> utslippet for et helt år, benyttes de siste tilgjengelige tallene fra NVE. Klimadeklarasjon fra 2022 viser at klimagassutslippet knyttet til strøm var 19 gram CO<sub>2</sub>-ekv. pr. kWh. (Norges vassdrag- og energidirektorat, 2020) Dette tilsvarer 0,019 kg CO<sub>2</sub>-ekv./kWh, som blir omregningsfaktoren vi benytter oss av videre i beregningen.

Siden vi allerede har anslått hvor mye det totale strømforbruket pr. år tilsvarer for både 46,5 hyttedøgn og for et helt vinterhalvår, kan dette multipliseres med faktoren på 0,019. Med denne metoden kan vi beregne hvor mye CO<sub>2</sub> ekv. hver kilowattime tilsvarer.

For 46,5 hyttedøgn gir det oss 16828,8 kWh \* 0,019 som tilsvarer 319,75 kg CO<sub>2</sub> ekv. pr. år. Mens for vinterhalvåret blir det 74119,2 kWh \* 0,019 som tilsvarer 1408,26 kg CO<sub>2</sub> ekv. pr. år.

### 3.2.6 Strømpris

Ved å se på strømprisen i Nord-Norge (Sone 4) gjennom de kaldeste månedene av året, kunne vi beregne den gjennomsnittlige prisen pr. kilowatttime. Tabell 11 er hentet fra en av strømleverandørene i Norge og viser vårt beregningsgrunnlag.

**Gjennomsnittlig strømpris fra Nord Pool, øre/kWh, ekskl. mva.**

Måned/År	20214	2023	2022	2021	2020	2019
Januar	44,58	46,38	26,22	37,69	23,26	50,10
Februar	41,47	31,56	16,17	42,52	13,91	44,13
Mars	55,40	49,02	15,10	25,21	10,02	39,98
April		40,37	17,85	26,88	5,39	39,70
Oktober		16,10	20,55	21,95	10,40	36,62
November		62,75	44,28	41,70	5,59	41,40
Desember		68,97	98,54	60,68	14,06	35,71

*Tabell 11- Gjennomsnittlig strømpris fra Nord Pool (Fortum, 2024)*

#### **Gjennomsnittlig strømpris for sone 4 (Nord-Norge) i vintermånedene 2019-2023:**

2019: 41.09 Øre

2020: 17.29 Øre

2021: 36.66 Øre

2022: 34.10 Øre

2023: 45.02 Øre

Gjennomsnittlig strømpris for denne perioden blir derfor  $(41.09 + 17.29 + 36.66 + 34.10 + 45.02)$  Øre / 5 = 34,83 øre pr. kWh, som kan avrundes til 35 øre pr. kWh.

### 3.3 Befaring



Figur 18 - Bilde fra befaring, Nautøyan 23. april 2024

I april reiste vi nordover og gjorde en befaring av prosjektområdet, sammen med prosjektleder i Seløy Seaside Resort AS. Hensikten var å få en bedre forståelse for topografi og størrelse av området, samt å undersøke at grunnforholdene var slik NGU sine kart tilsa. Ifølge kartene skulle stort sett hele området bestå av fjell med et tynt lag av løsmasser på toppen. Dette var viktig å bekrefte da grunnforholdene gjør stort utslag i omfanget av anleggsarbeidet. For å utføre grunnundersøkelsen hadde vi med spett, hammer, spade og tommestokk. Store deler av området ble undersøkt med spett og hammer for å måle dybden til fjellet.



Figur 19 - Gjennomføring av grunnundersøkelser, og utstyr brukt til grunnundersøkelser, Nautøyan 23. april 2024

## 3.4 VA-Gjennomføring

### 3.4.1 Leggedybde på rør

Hvor dypt rørene legges under bakken er helt avgjørende for hvor stort volum grøft som må sprenges og graves ut. Å bestemme denne dybden avhenger av mange forskjellige faktorer, blant annet frost, grunnforhold, jordlast, trafikklast, kommunale krav og materiale. Alle disse faktorene har vært sentrale i vår vurdering. Alle kommuner har egne krav til VA-tekniske anlegg, de fleste kommuner har publisert sin VA-norm på Norsk Vann sine sider. Kommunenes VA-norm ligger ute på nett slik at alle aktører, entreprenører, konsulenter osv. kan benytte de (VA-norm, u.å.). I samtale med VA-ansvarlig i Herøy kommune ble vi fortalt at kommunen ikke hadde egen VA-norm (O. Svinøy, personlig kommunikasjon, 4. mars 2024). Han fortalte videre at de praktiserer med å legge alle rør som ikke isoleres på 1,5 m i terreng og 2 m i vei. Disse dybdene samsvarer greit med tabellen for lastkrefter på rør, se Figur 15, som viser at summen av kreftene er lavest på dybde 1,5 – 2 m. I beregningen vår av den reelle frostfrie dybden med Statens Vegvesens metode, fant vi ut at den var grunnere enn kommunens krav.

Vi har valgt å vektlegge kommunens krav til leggedybde, siden utførelse utenfor kravene krever særskilt godkjenning fra kommunen og at det samtidig vil gi systemet en god sikkerhetsmargin fra frost. Selvfallsystemet vil derfor ligge på 2 meters dybde under vei. Trykksystemet består av varmeisolererte rør og kan derfor ligge noe grunnere. Isoterm systemet kan i en kort periode ligge oppå terrengoverflaten i henhold til montasjeanvisningen for produktet. Dette er derimot ikke gunstig i sammenheng med belastning fra trafikk, sollys, vær og vind. Trafikklasten blir den styrende faktoren for leggedybden. Rørene må ligge så dypt at last fra biler og fotgjengere ikke skader rørene, men samtidig så grunt at det blir minst mulig grøftemasser i sammenheng med klimagassutslipp. Minstekravet til NPG for legging av plastrør er på 0,6 m. Vi ser at summen av trafikklast og jordlast minker raskt fra dybde 0,6 – 1 m. Siden Norge bygger vann- og avløpssystemer med levetid på 100 år vil vi ikke ligge på minstekravet, men ønsker å ha en sikkerhetsmargin. Derfor har vi valgt å legge trykksystemet på 0,8 meters dybde.

### 3.4.2 Grøftens oppbygging

Grøftens oppbygging baseres seg på den valgte leggedybden og krav til fundament, sidefylling og skråning i henhold til VA/Miljøblad nr. 5. Overdekningen er det samme som leggedybden, 2 m på selvfyll og 0,8 m på trykk. Inkludert i overdekningen er det 300 mm med beskyttelseslag som er minimumskravet i henhold til VA/Miljøblad 5. Avstand til grøfteside er basert på tabell 5. For rør med dimensjoner under 225 mm skal det være minst 200 mm til grøfteside. Derfor er det valgt en avstand



på 200 mm for begge systemene. Fundamentet på begge systemene er 150 mm. Dette kravet gjelder for rørdimensjoner under 400 mm. Grøfteskråningsvinkelen er satt til 5:1 da dette er normal praksis i berggrunn (Reiakvam, 2023, lysark 4).

### 3.4.3 Grøftemasser

Ved å benytte mengderapport i Novapoint fikk vi ut volum på stein som må sprenges ut basert på tegningene av ledningene i Autocad. Denne mengden tar kun hovedledningene som beregningsgrunnlag. Stikkledningene til hver enkelt hytte er ikke med. For å få med disse massene ble det forutsatt at stikkledningene ville ha en gjennomsnittslengde på 10 meter, med samme grøftesnitt som hovedledningen. I felt nord og sør-øst er dette totalt 60 hytter, dermed 600 m stikkledning på begge systemene. I et selvfallssystem vil kravet om 10% fall ikke være mulig å gjennomføre for alle stikkledningene, men dette er en forutsetning vi tar for å utføre klimagassberegningene.

### 3.4.4 Frostfri dybde

På grunn av høye anleggskostnader er det vanlig å bygge etter levetid på 100 år for vann- og avløp (Direktoratet for byggkvalitet, 2012). Vi benytter derfor  $F_{100}$ , som er på 13 000 h°C i Statens vegvesens metode for beregning av frostfri dybde. Frostdybdefaktoren for stein er 1,4.

## 3.5 Prosjektering

### 3.5.1 Kartgrunnlag

For å prosjektere de to ulike avløpsløsningene har vi benyttet Novapoint og Autocad. HVL anskaffet oss kartdata for området i SOSI-format. I tillegg er det benyttet SOSI-filer fra skisseprosjekt utviklet av landskapsarkitekt.

I Novapoint ble alle SOSI-filene importert. Det ble først laget en terrengoverflate med SOSI-filene fra Geodata. Da hadde vi et kartgrunnlag som representerte terrenget slik det er i dag. Videre fant vi ut at det er hensiktsmessig å vite akkurat hvor tilkomstveien skulle gå. Slik kunne den tegnes inn i ledningstraseene under godkjent veitrase, i henhold til reguleringsplan. Vi fikk tilgang til prosjektets landskapsarkitekt sine SOSI-filer. Kartgrunnlaget fra landskapsarkitekten har med tilkomstveiene i terrenget. Disse endrer uheldigvis høyden på terrengoverflaten. Høydene på veien er ikke realistisk da dette kun er laget for å brukes i plantegninger. I vertikalprosjekteringen av avløpsledningen er det derfor gjort antagelser av kotehøyder på traseen, der veien fra landskapsarkitekten ikke har realistiske fyllinger og skjæringer i terrenget.

### 3.5.2 Ledningsnett

Hovedledningene er prosjektert i plan og profil, mens stikkledninger ligger kun i plan.

#### 3.5.2.1 Selvfall

Det er benyttet PVC rør med dimensjoner på 160 mm for hovedtraseene og stikkledningene. Hovedtraseen i felt sør-øst starter på høyeste punkt og ender ved område for øvrige kommunaltekniske anlegg, ØK3 i henhold til reguleringsplan, se vedlegg D1. Det samme gjelder for hovedtrase i nord, men den ender opp i ØK2. På selvfallsystemet er det tatt utgangspunkt i 2 separate slamavskillere. En for felt sør-vest og sør-øst, og en for felt nord. Dette gjorde vi fordi felles slamavskiller krever krysning av sundet mellom øyene. Dette kan være teknisk mulig, men hadde krevd et driftspunkt med pumper som hadde ledet avløpsvannet over sundet via broen eller dykkerledninger. Siden vi ønsker å sammenligne et helhetlig selvfallsystem mot et trykksystem, gjorde vi det slik: Slamavskillerne ligger i ØK2 og ØK3, herfra fører de ut rensset vann i sjøen vest for øya. For hver 80. meter er det avløpskummer. Dette er i henhold til krav om spyling og rensing av avløpsrør (Norsk Vann, 2012b).

#### 3.5.2.2 Trykk

Det er benyttet PE rør med dimensjon 90 mm i sør-øst og 75 mm i nord. Stikkledningene for trykkrørene er på 50 mm. I dette systemet er det tatt utgangspunkt i at det kun trenges en slamavskiller. Derfor er traseen i nord lenger enn for selvfallsystemet. Den nordlige traseen strekker seg mellom øyene og er forankret i broen. Begge hovedtraseene møtes i ØK3 der det er en felles slamavskiller for hele hyttefeltet. Renset avløpsvann føres ut vest for øyene. Hver hytte har egen pumpestasjon.

## 3.6 Klimagassberegninger

Når klimagassutslippet knyttet til ledningsnett skal beregnes bruker vi EPD og ser på GWP (Global Warming Potential), da dette gir miljøutslippene i kg CO<sub>2</sub>-ekv. Vi har valgt å se på utslipp fra produktfasen under punkt A1-A3, og konstruksjon/installasjonsfasen som omhandler transport fra fabrikk til anleggsplass og anleggsarbeidet. For trykksystemet er det i tillegg et utslipp i bruksfasen, fordi pumpene og ledningsnett har et strømforbruk. Vi antar at pumpene skal byttes ut hvert 20 år basert på levetid, se kapittel 2.3.10.2

### 3.6.1 Produktfasen A1-A3

Vi bruker EPD når det ses på A1-A3 som omhandler produksjonen av produktet, «krybbe til port». På grunn av begrenset tilgjengelighet av EPD innen vann- og avløpssektoren, og mangelen på EPD for flere komponenter i ledningsnett, er det vanskelig å fastslå nøyaktige utslippstall for hele ledningsnett. Kun de viktigste og mest betydningsfulle komponentene er tatt med i denne

vurderingen. For å supplere informasjonen har vi også benyttet EPD fra lignende produkter og produkter med samme materialer. Under i tabellen er GWP-faktorer for A1-A3 fra EPD som blir brukt for å finne GWP i produksjonsfasen til de forskjellige komponentene. EPD-ene vi benytter oss av er hentet fra EPD-Norge. Se vedlegg C1, C2, C3 og C4.

Faktorer tatt fra EPD-er			
Hva	Parameter	Enhet	A1-A3
PVC Sewage pipe 160x4,7 SN8 6m	GWP	kg CO2-eq/m	4,7
PE100 RC Pressure Sewage pipes SDR 11	GWP	kg CO2-eq/kg	2,23
Double Walled Cable Protection Pipes in coi - HDPE	GWP	kg CO2-eq/kg	2,31
One tonne of grey cast iron produced by Furnes Jernstøperi AS	GWP	kg CO2-eq/tonn	269

Tabell 12 - GWP-faktor for A1-A3 fra EPD

### 3.6.2 Selvfallsledning A1-A3

PVC ledningen som brukes med dimensjon på 160 mm har EPD, med deklart enhet på 1 meter. For å finne utslippet fra selvfallsystemet A1-A3 trenger vi å vite ledningens lengde og multiplisere det med GWP-faktoren. Lengden beregnes ved å ta trase sør-øst: 444,46 meter + trase nord: 139 meter + stikkledning: 600 meter = 1183 meter. Fra tabell 12 hentes tallet 4,7 kg CO2-ekv. for utslippet pr. meter med rør. For å finne GWP for PVC ledningen tas 1183,46 meter \* 4,7 kg CO2-ekv. = 5562,26 kg CO2-ekv.

### 3.6.3 Trykkledning A1-A3

For trykkledningssystemet benyttes det Isoterme trykkør, og kvernpumper på hver hytte. Ettersom det ikke eksisterer EPD på Isotermtrykkør har vi sett på hva isotermrørets sammensetning. Produktet er satt sammen av PE trykkør, med integrert frostsikring (ohmsk varmekabel, selvbegrensende varmekabel) og ytterrør i HDPE. Det er ikke utviklet EPD på frostsikringen, men for PE trykkør er det EPD. Ytterrøret i HDPE er det lignende produkter med samme materiale som har EPD. Det er heller ikke laget EPD til kvernpumpen. Oppbygningen til pumpen og materialet som er bruk er funnet i prosjektbrosjyren, og EPD for de samme materialene er så brukt for å få et estimat av utslippet.

For PE trykkør er deklart enhet på 1 kg. For å finne utslippet må man finne vekten på ledningene i ledningsnettet. I vårt tilfelle benyttes det PE trykkør med dimensjon på 90mm, 75mm og 50 mm. I de forskjellige databladene til produktene med ulike dimensjoner er vekten angitt i kg/m. Vi ser at vekten for PE-trykkør med 75 mm diameter er 1,485 kg/m, for 90 mm diameter er den 2,141 kg/m, og for 50 mm diameter er den 0,675 kg/m. Deretter multipliseres lengden på de ulike PE-trykkørene og vekten i kg/m. 90 mm brukes i trase sør-øst som er 356,5 meter, 75 mm brukes i trase nord som er 444,45 meter og 50 mm brukes til stikkledningene som er 600 meter. Da blir utregningen slik:  $(1,485 \text{ kg/m} * 356,5 \text{ m}) + (2,141 \text{ kg/m} * 444,45 \text{ m}) + (0,675 \text{ kg/m} * 600 \text{ m}) = 1828,27 \text{ kg}$ . For å finne GWP

multipliseres den totale vekten og GWP-faktoren fra EPD, se tabell 12. Dette gir  $1828,27 \text{ kg} * 2,23 \text{ kg CO}_2\text{-ekv.} = 4079,29 \text{ kg CO}_2\text{-ekv.}$

Vi søkte etter et lignende produkt med EPD for ytterrøret i HDPE. Dette produktet har en deklart enhet på 1 kg. Siden vekten for ytterrøret til Isoterm ikke er oppgitt i produktkatalogen, benyttet vi et tilsvarende produkt som referanse. Størrelsen på ytterrøret varierer basert på rørdimensjonen, og disse dimensjonene er tilgjengelige i produktkatalogen til Isoterm rørene. For 50 mm isoterm trykkrør har ytterrøret en diameter på 90 mm, for 75 mm var den 125 mm, og for 90 mm var den 175 mm.

Referanserøret som ble brukt for å estimere vekten hadde kun dimensjonene 75 mm, 110 mm og 160 mm. For å beregne vekten for 90 mm ytterrøret, tok vi medianen av vekten for 75 mm og 110 mm. Tilsvarende ble medianen av vekten for 110 mm og 160 mm brukt for å anslå vekten til 125 mm ytterrøret. For å finne vekten til 175 mm røret, ble differansen mellom 160 mm og medianvekten brukt. Det var den samme som ble brukt for 125 mm, til vekten for 160 mm røret. I tabellen under er det oppgitt vekten på referanserørene og medianen av vekten som brukes. For å finne den totale vekten på ytterrørene multipliseres vekten på referanserørene og lengden på traseen der de forskjellige rørene legges. Dette gir oss  $(444,45 \text{ m} * 0,763 \text{ kg/m}) + (356,5 \text{ m} * 1,165 \text{ kg/m}) + (600 \text{ m} * 0,465 \text{ kg/m}) = 1033,44 \text{ kg}$ . For å finne GWP for ytterrørene multipliserer vi vekten med GWP-faktoren:  $1033,44 \text{ kg} * 2,31 \text{ CO}_2\text{-ekv.} = 2387,24 \text{ kg CO}_2\text{-ekv.}$

Ytterrør 90mm	vekt kg/m	Ytterrør 125mm	vekt kg/m	Ytterrør 175mm	vekt kg/m
75mm	0,37	110mm	0,56	diff 160 mm og 135	0,2
110mm	0,56	160mm	0,965	160mm	0,965
median 92,5	0,465	median 135	0,763	160+25mm	1,165

Tabell 13 - Vekt på referanserør og median av vekt

Det eksisterer ikke EPD på pumpestasjonen LPS2000EIV2 som brukes i systemet vårt. Vi har derfor sett i produktbrosjyren etter sammensetningen av pumpen, se vedlegg C5. Hele kvernpumpen består av en pumpetank i Polyeten (PE) med isolering av polystyren på 70 kg. Videre har den en pumpe med hydraulikkdel i epoxybehandlet støpejern og pumpehus i epoxybehandlet støpejern og plast. For å forenkle settes pumpen i sin helhet til at den består av 70kg Polyeten (PE) og 47kg støpejern. Vi har EPD på PE-trykkrør og støpejern. PE har deklart enhet satt til 1 kg og Støpejern har deklart enhet satt til 1 tonn. I området vårt er det 60 hytter med hver sin pumpe. For å finne total vekt PE tas  $70 \text{ kg} * 60 \text{ pumper} = 4200 \text{ kg}$ . Samme gjør man for totalvekt støpejern, som gir  $47 \text{ kg} * 60 \text{ pumper} = 2820 \text{ kg}$ . For å finne utslippet tar vi GWP-faktoren fra EPD multiplisert med total vekt. Dette gir  $(4200 \text{ kg} * 2,23 \text{ CO}_2\text{-ekv.}) + (2,820 \text{ tonn} * 269 \text{ CO}_2\text{-ekv.}) = 10124,58 \text{ kg CO}_2\text{-ekv.}$

### 3.6.4 Transport

Det er ikke EPD på alle komponentene som brukes i ledningsnettet og derfor blir det ikke sett på utslipp under transport med EPD. Vi har valgt å bruke tall fra Statistisk Sentralbyrå som viser utslipp i gram CO<sub>2</sub>-ekv./km. Det er 3 fabrikker som leverer komponentene som brukes i beregningene. Vi har brukt Google Maps og funnet at PVC blir transportert fra Surnadal (602 km), Isoterm trykkrør fra Ringebu (766 km) og pumpestasjonene fra Alunda (970 km).

Utslipet i gram CO<sub>2</sub>-ekv./km varierer ut ifra hastighet og forhold under transporten. Tabell 14 viser sammenhengen mellom utslipp og avstand for hastighet på 100 km/t, 80 km/t og 50 km/t. Tabellen skiller også mellom kjøreforhold der det er fri flyt, køkjøring, tett trafikk eller trafikkert. Vi tar utgangspunktet i at transporten blir på veier med alle disse hastighetene, der det er fri flyt og trafikkerte kjøreforhold. Gjennomsnittet av de forskjellige verdiene for utslipp gir oss en verdi på 911,43 g CO<sub>2</sub>-ekv./km eller 0,91 kg CO<sub>2</sub>-ekv./km.

	Personbiler	Andre lette kjøretøy	Lastebiler og trekkvogner	Turbusser	
<b>Drivstofforbruk og utslipp per kjørte kilometer for et utvalg av trafikksituasjoner og kjøretøygrupper. 2016. g/km</b>					
Utslipp CO <sub>2</sub>					
Motorvei, 100km/t					
Fri flyt	131,72	201,32	788,04	694,77	
Køkjøring	238,08	274,90	1 743,58	1 662,00	
Tett trafikk	136,29	185,73	830,08	722,76	
Traffikkert	129,01	189,13	786,85	666,64	
Gjennomfartsvei, 80 km/t					
Fri flyt	127,33	175,40	802,58	708,16	
Køkjøring	270,88	303,17	1 853,80	1 830,55	
Tett trafikk	147,53	188,04	1 063,29	933,42	
Traffikkert	135,63	183,29	907,96	806,77	
Lokalvei, 50km/t					
Fri flyt	148,49	184,54	928,30	894,53	
Køkjøring	301,22	319,22	1 959,33	2 000,55	
Tett trafikk	198,77	233,74	1 402,38	1 312,33	
Traffikkert	170,48	205,00	1 254,85	1 132,55	

Tabell 14 - Tabell for gram CO<sub>2</sub>-ekv./km (Statistisk sentralbyrå, 2016)

Neste steg er å finne antall turer som må kjøres for å transportere de forskjellige produktene. For transporten tas det utgangspunktet i en semitrailer med høyde 3 meter, bredde 2,4 meter og lengde 13,6 meter (Spurkeland, 2024). I produktkatalogene til de forskjellige produktene finnes det et «package volume» til produktene i kubikkdesimeter, som kan brukes til å finne det totale volumet.

PVC kommer i 6 meters rør, med «package volume» på 225 dm<sup>3</sup> eller 0,225 m<sup>3</sup>. 1183 meter PVC giret totalt volum:  $0,225 \text{ m}^3 * (1183 \text{ meter}/6 \text{ meter}) = 44,36 \text{ m}^3$ . Det totale volumet som skal fraktes fra Surnadal er da på 45,242 m<sup>3</sup>. Med en semitrailer vil det da holde med 1 tur, og CO<sub>2</sub> utslippet finner vi ved å multiplisere antall turer, avstanden og utslippsfaktoren. Det gir oss  $1 \text{ tur} * 602 \text{ km} * 0,91 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./km} = 555,1 \text{ kg CO}_2\text{-ekv.}$

For isoterm trykkrørene er det tre forskjellige dimensjoner som benyttes. Røret med 90mm diameter kommer på 100 meter kveil, 75mm kommer på 150 meter kveil og 50 mm kommer på 200 meter kveil. Det skal legges 90mm i trase sør-øst (356,5 meter), 75mm i trase nord (444,45 meter) og 50mm i stikkledninger som er totalt 600 meter. «Package volume» hentet fra produktkatalogen er 6,912 m<sup>3</sup> for 90mm, 5,566 m<sup>3</sup> for 75mm og 3,528 m<sup>3</sup> for 50mm. For å få det totale volumet tas  $6,912 \text{ m}^3 * (356,5 \text{ meter}/100 \text{ meter}) + 5,566 \text{ m}^3 * (444,45 \text{ meter}/150 \text{ meter}) + 3,528 \text{ m}^3 * (600 \text{ meter}/200 \text{ meter}) = 51,7 \text{ m}^3$ . Med semitrailer vil det holde med en tur. Utslippet fra den totale transporten gir  $1 \text{ tur} * 766 \text{ km} * 0,91 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./km} = 698,16 \text{ km.}$

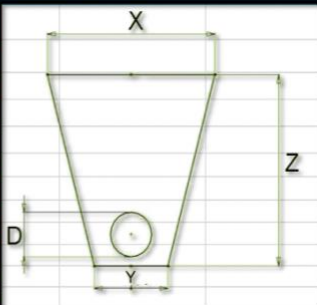
Dimensjonen på pumpene er 1200 mm \* 830 mm og akkurat litt for stor til å få plass på en euro pall med dimensjon 1200 mm \* 800 mm. En semitrailer har plass til 30 europaller. Vi har derfor vurdert at det ikke er plass til 30 pumper per semitrailer og at det vil være behov for 3 turer for å transportere pumpene. Utslippet for 3 turer på 970 km blir da  $3 \text{ turer} * 970 \text{ km} * 0,91 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./km} = 2652,26 \text{ kg CO}_2\text{-ekv.}$

### 3.6.5 Anleggsarbeid

For å regne på klimagassutslippet fra anleggsarbeidet har vi valgt å bruke PW Trenchless Carbon Calculator. Under ligger utsnitt av Excel-arkene som er benyttet for å regne klimagassutslippet på grøftearbeidet til selvfallssystemet og trykksystemet. På "Soil Type" er det benyttet stein. Volum på grøft og grunnforhold påvirker produktiviteten til anleggsmaskinene, og dette gir grunnlag for et estimat på antall meter som graves ut per dag. Vi tar utgangspunkt i tørre grunnforhold, siden det antas at grunnvannstanden ligger på kote 0 eller lavere. Dette gjør at det ikke blir behov for kontinuerlig drift av vanningspumpe mens anleggsarbeidet foregår. Diameter og lengde på rørene fylles inn, samt antall kummer, dybde og bredde topp og bunn på grøft. Verdiene er basert på dimensjoneringsarbeidet vi har gjort. Selvfallssystemet har 3 meters dybde på slutten av grøften. Dette er basert på prosjekteringen som er gjort, der vi ser at grøftene må være dypere for å oppnå 10% fall på hovedledningen. Det tas utgangspunkt i at 100% av massene som sprenges ut kan brukes på nytt. Dette gjør at transport av overskuddsmasser ikke inkluderes i regnskapet.

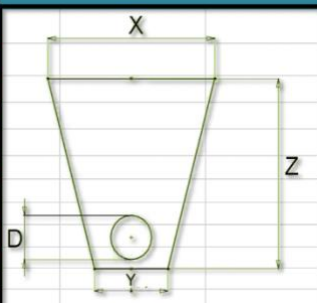
Produktiviteten på arbeidet har mye å si for driftstiden på maskinene. Kalkulatoren estimerer hvor lang tid det tar å utføre oppgaven basert på gitte parametere og erfaringstall. I samtale med erfarne grunnarbeidere hos entreprenørfirmaet Bertelsen og Garpestad, ble det påpekt at kalkulatorens estimerer var for høye (Furunes, M. personlig kommunikasjon, 7. mai 2024). De anslo at en mer realistisk produktivetsrate ville ligge mellom 12–18 meter for den dypeste grøften og 45–50 meter for den grunne. Vi valgte å ta utgangspunkt i disse tallene for å beregne produktiviteten.

Project Name/Number/Address	101	Selvfall		
Soil Type	103	Rock		
Ground Conditions	104	Dry		
<b>Project Parameters</b>				
	Box #	User Input	Default/Estimated Value	Unit
Pipe Diameter (D)	106	160		millimetre
Pipe Total Length (L)	107	1183		meter
Pipe Depth At Start (Z <sub>1</sub> )	108		2,00	meter
Pipe Depth At End (Z <sub>2</sub> )	109	3,00	3,00	meter
Percentage of excavated material reused	110		100%	%
<b>OpenCut Estimated Project Parameters</b>				
	Box #	User Input	Default/Estimated Value	Unit
Trench Upper Width (X)	119	1,42	1,5	meter
Trench Lower Width (Y)	120	0,5	0,5	meter
Productivity for open cut section of project	121	12	12,0	meters per 8hr day



Tabell 15 - Utsnitt fra "Inputs" i PW Kalkulatoren, selvfallssystem

Project Name/Number/Address	101	Trykk		
Soil Type	103	Rock		
Ground Conditions	104	Dry		
<b>Project Parameters</b>				
	Box #	User Input	Default/Estimated Value	Unit
Pipe Diameter (D)	106	90		millimetre
Pipe Total Length (L)	107	1400		meter
Pipe Depth At Start (Z <sub>1</sub> )	108		0,80	meter
Pipe Depth At End (Z <sub>2</sub> )	109		0,80	meter
Percentage of excavated material reused	110		100%	%
<b>OpenCut Estimated Project Parameters</b>				
	Box #	User Input	Default/Estimated Value	Unit
Trench Upper Width (X)	119	0,916	1,1	meter
Trench Lower Width (Y)	120	0,5	0,5	meter
Productivity for open cut section of project	121	45	45,0	meters per 8hr day



Tabell 16 - Utsnitt fra "Inputs" i PW Kalkulatoren, trykksystem

De sylindrerformede gropene der pumpene skal senkes ned, må også tas med. Dette går ikke inn i PW kalkulatoren. Produktbrosjyren til pumpene viser at pumpetanken er 1500 mm høy med diameter på 770 mm uten lokk. For å finne det nødvendige volumet til gropen benyttes formelen for volum av en sylinder. Med dimensjonen til tanken uten lokk får vi  $(0,385\text{m})^2 * \pi * (1,500\text{m}) = 0,698\text{m}^3 = 0,7 \text{ m}^3$ . For å finne det totale volumet av alle gropene multipliseres verdien av en grop med 60. Dette gir oss  $0,7 \text{ m}^3 * 60$  pumper, som er  $42 \text{ m}^3$ . Vi bruker faktoren for utsprenging av grunn på 27,3 kg CO<sub>2</sub>-ekv./m<sup>3</sup> fra Norsk vann rapport 251, se kapittel 2.5.2.4. Det totale utslippet fra gropene blir da 1146,6 kg CO<sub>2</sub>-ekv.

### 3.6.6 Drift av pumper og varme i ledning

Strømforbruket gjennom hele vinterhalvåret brukes som utgangspunkt når vi ser på kg CO<sub>2</sub>-ekv./år. For å finne hvordan dette påvirker trykksystemets miljøbelastning summeres det totale utslippet i produktfasen og konstruksjon/installasjonsfasen med utslippet fra pumpene og ledningene i bruksfasen. Utslippet fra bruksfasen er 1408,26 kg CO<sub>2</sub>-ekv./år. Dette er det maksimale utslippet når varmetermostaten i pumpen og ledningsnettets står på kontinuerlig i de 7 vintermånedene. I tillegg skal pumpene byttes ut hvert 10-20 år, og vi bruker 20 år som utgangspunkt, se kapittel 2.3.10.2. Det er kun pumpen som skal skiftes ut. Den er av støpejern og veier 47 kg. Utslippet pr. utskiftning beregnes ved å multiplisere antall pumper, vekt pr. pumpe og GWP-faktoren i EPD for støpejern:  $(60 \text{ pumper} * 47 \text{ kg})/1000 * 269 \text{ kg CO}_2\text{-ekv.} = 758 \text{ kg CO}_2\text{-ekv.}$

Selvfallsystemet er dimensjonert for en periode på 100 år, før dette også må byttes ut. Derfor velger vi å sammenligne avløpssystemene fram til ferdigstillelse og for 100 års bruk. Etter 100 år vil det totale utslippet til trykksystemet være  $(65583,1 \text{ kg CO}_2\text{-ekv.}) + (1408,26 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./år} * 100 \text{ år}) + (100 \text{ år}/20\text{år} * 758,58 \text{ kg CO}_2\text{-ekv.})$ , som gir 210202 kg CO<sub>2</sub>-ekv.

### 3.6.7 Det store perspektivet

FutureBuilt er et innovasjonsprogram som jobber med forbildeprosjekter i byggebransjen i Norge. De har utviklet beregningsverktøy for klimagassutslipp for bygg og deres energibruk med et langsiktig perspektiv på 60 år. FutureBuilt sin utslippsfaktor for nybygg i 2025 er på 654 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter pr. m<sup>2</sup> bruttoareal. Hyttene på Seløy vil ha et snitt på ca. 150 m<sup>2</sup> bruttoareal i henhold til reguleringsplan. Det gir et totalt bruttoareal på ca. 13 600 m<sup>2</sup>. Dersom vi bruker FutureBuilt sin utslippsfaktor gir materialer, byggefaser og energibruk for bygningene i et livsløp på 60 år et utslipp på ca. 8,9 millioner kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. (FutureBuilt, 2023)



## 4 Resultat

### 4.1 Dimensjonering

Kapitel 3.1 og 3.2 tar for seg dimensjonering av avløpsledningene, samt beregning av strømforbruk, CO2-utslipp og pris på hyttefeltet. Tabell 17, 18, 19 og 20 viser avgjørende verdier og faktorer for beregningen videre. Se kapittel 3.1.1, 3.1.2 og 3.1.3 for hvordan verdiene ble beregnet.

Type virksomhet	Hydraulisk belastning
Hytter, høy standard	150 (l/pd)

Tabell 17 - Valg av vannforbruk

Størrelse på hytte	Antall personer	Antall døgn
Liten	4	30
Stor	7,2	63
<b>Gjennomsnittlig SUM</b>	<b>5,6 (men velger 5)</b>	<b>46,5</b>

Tabell 18 - Valg antall personer og hyttedøgn

Byggefelt	Antall hytter	Antall personer	Personekvalent (Pe)
1	39	5	195
2	31	5	155
3	21	5	105

Tabell 19 - Oversikt over antall personer og hytter i hvert byggefelt

fmaks	fmin	kmaks	kmin
3,2	0,5	2,5	0,5

Tabell 20 - Valg av maksimal og minimal døgn- og timefaktor

#### 4.1.1 Selvfall

Tabell 21 viser resultatene for hvordan vi «steg-for-steg» beregnet selvrens i de to selvfallsavløpene, se kapittel 3.1.4. Se vedlegg A2 for beregningene som er gjort.

Byggefelt/Trase	Lengde (m)	Fall (‰)	Dimensjon (m)	Qselvrens (l/s)	$\tau$ fyllt (N/m <sup>2</sup> )	Qfyllt (l/s)	$\tau$ selvrens (N/m <sup>2</sup> )	Krav til selvrens	Selvrensende
1/Sør-Øst	444,5	13,74	0,16	0,54	5,39	23	2,27	2,27 N/m <sup>2</sup> > 2,0 N/m <sup>2</sup>	OK
3/Nord	139	21,08	0,16	0,29	8,27	29	1,27	21,08 ‰ > 10 ‰	OK

Tabell 21 - Resultat av dimensjonering, selvfall

#### 4.1.2 Trykk

Tabell 22 viser resultatene for hvordan vi «steg-for-steg» beregnet selvrens i de to trykkavløpene, se kapittel 3.1.5. Se vedlegg A2 for beregningene som er gjort.

Byggefelt/Trase	Lengde (m)	Dimensjon (m)	Qmaks (m <sup>3</sup> /s)	Di (m)	Friksjonsfaktor (f)	Friksjonstap (hf)	Hastighet, v (m/s)	Krav til selvrens	Selvrensende
1/Sør-Øst	356,5	0,09	0,00272	0,0736	0,01	1	0,64	0,64 m/s > 0,40 m/s	OK
3/Nord	444,5	0,075	0,00146	0,0614	0,012	1,08	0,49	0,49 m/s > 0,40 m/s	OK

Tabell 22 - Resultat av dimensjonering, trykk

## 4.2 Strømforbruk

I kapittel 3.2 ble framgangsmåten for beregning av strømforbruk, CO<sub>2</sub>-utslipp og pris beregnet hver for seg. Tabell 23 viser hver strømkildes forbruk og dens samlede resultat. I den ene beregningen er det tatt utgangspunkt i at strømmen kun er påslått i 46,5 døgn pr. pr år (grønt felt). I den andre sammenligningen tar vi hensyn til at strømmen for varmetermostaten står på hele vinterhalvåret (blått felt). Se vedlegg A2 for beregningene som er gjort.

Periode	Stømkilde	Strømforbruk (kWh pr. år)	Pris (kr. pr. år)	Kg CO <sub>2</sub> ekv. pr. år
46,5 Hyttedøgn	Kvernpumpe	535,2	182,32	10,17
46,5 Hyttedøgn	Avløpsledning	6249,6	2187,36	118,74
46,5 Hyttedøgn	Pumpetank	10044	3515,4	190,84
<b>46,5 Hyttedøgn</b>	<b>TOTALT</b>	<b>16828,8</b>	<b>5885,08</b>	<b>319,75</b>
Vinterhalvåret (7 mnd.)	Kvernpumpe	535,2	182,32	10,17
Vinterhalvåret (7 mnd.)	Avløpsledning	28224	9878	536,25
Vinterhalvåret (7 mnd.)	Pumpetank	45360	15876	861,84
<b>Vinterhalvåret (7 mnd.)</b>	<b>TOTALT</b>	<b>74119,2</b>	<b>25936,32</b>	<b>1408,26</b>

Tabell 23 - Resultat av det totale strømforbruket, pris og CO<sub>2</sub>-utslippet

## 4.3 Prosjektering

### 4.3.1 Ledningsnett

Se vedlegg B1-B4 for plan og profiltegninger for trykksystem og selvfallssystem.

### 4.3.2 Grøftesnitt

Se vedlegg B5 og B6 for grøftesnitt av trykksystem og selvfallssystem.

## 4.4 VA-Gjennomføring

### 4.4.1 Grøftemasser

Antall kubikk grøftemasser fra de to ulike metodene og systemene.

	Masserapport Novapoint	Stikkledninger	Totalt	Totalt grøftemasser fra PW
Selvfall	853 m <sup>3</sup>	1326 m <sup>3</sup>	2179 m <sup>3</sup>	2839 m <sup>3</sup>
Trykk	389 m <sup>3</sup>	442 m <sup>3</sup>	826 m <sup>3</sup>	793 m <sup>3</sup>

Tabell 24 - Grøftemasser

### 4.4.2 Frostfri dybde

I tabell 25 vises frostfri dybde etter Statens vegvesens metode og Herøy kommunes krav.

Metode	Frostfri dybde
Statens vegvesen (formel 1)	159,6 cm
Herøy kommune krav (terreng)	1,5 m
Herøy kommune krav (under vei)	2 m

Tabell 25 - Resultat frostfri dybde

## 4.5 Befaring

Fra grunnundersøkelsene fant vi ut at dybden til fjell gjennom lyngen varierte fra 5 – 50 cm, der det hovedsakelig var i det lavere sjiktet. For det lille området med marine avsetninger i løsmassekartet til NGU, fant vi at dybden til fjell kunne være så dypt som 1 – 2 m. Majoriteten av prosjektområdet var preget av synlig berg eller berg med tynt dekke av lyng.

Samtidig fikk vi bekreftet at topografien i området sør-vest var såpass lavt og kupert at selvfall hadde vært vanskelig å utføre. Feltene nord og sør-øst hadde større høydeforskjeller med jevn skråning som muliggjør bygging av et fungerende selvfallssystem på hovedledningene.

Konklusjonen fra befaringen var at det var rimelig å ta utgangspunkt i fjell som grunnforhold i anleggsarbeidet.

## 4.6 Klimagassberegninger

### 4.6.1 Anleggsarbeidet

Resultatene fra anleggsarbeidet vises i tabell 26 og 27. Selvfallsystemet gir et utslipp på 140 994 kg CO<sub>2</sub>-ekv. Trykksystemet gir et utslipp på 44 495 kg CO<sub>2</sub>-ekv.

Parameter	Unit	Output
<b>Open Cut</b>		
Trench Cross Section Area	square meter	2,40
Cross Section Area Adjusted for Lateral Connections	square meter	2,40
Open Cut Excavation Volume	cubic meter	2 839
Open cut no. of return trips	each	-
Open Cut Productivity	meters length per 8hr day	12,0
Open Cut excavation duration	hours	789
Open Cut machinery emissions	kgCO <sub>2</sub> e	140 994
Open Cut hauling emissions	kgCO <sub>2</sub> e	-
Open Cut total emissions	kgCO <sub>2</sub> e	<b>140 994</b>

Tabell 26 - Resultat fra PW Kalkulator for selvfallsystemet

Parameter	Unit	Output
<b>Open Cut</b>		
Trench Cross Section Area	square meter	0,57
Cross Section Area Adjusted for Lateral Connections	square meter	0,57
Open Cut Excavation Volume	cubic meter	793
Open cut no. of return trips	each	-
Open Cut Productivity	meters length per 8hr day	45,0
Open Cut excavation duration	hours	249
Open Cut machinery emissions	kgCO <sub>2</sub> e	44 495
Open Cut hauling emissions	kgCO <sub>2</sub> e	-
Open Cut total emissions	kgCO <sub>2</sub> e	<b>44 495</b>

Tabell 27 - Resultat fra PW Kalkulatoren for trykksystemet

#### 4.6.2 Totalt GWP for ledningssystemene

I tabell 28 er summen av GWP fra produksjon, transport og anleggsarbeid summert sammen for å få det totale utslippet til hvert system. I metoden er det forklart hvordan vi har kommet fram til de ulike verdiene.

For avløpsledninger med selvfallssystemet er det totale miljøutslippet 147111,36 kg CO<sub>2</sub>-ekv.

GWP for Selvfallssystem				
Elementer	A1-A3	Transport	Anleggsarbeid	Total kg CO <sub>2</sub> -eq
PVC avløpsrør	5562,26	555,1	140994	147111,36
sum				147111,36

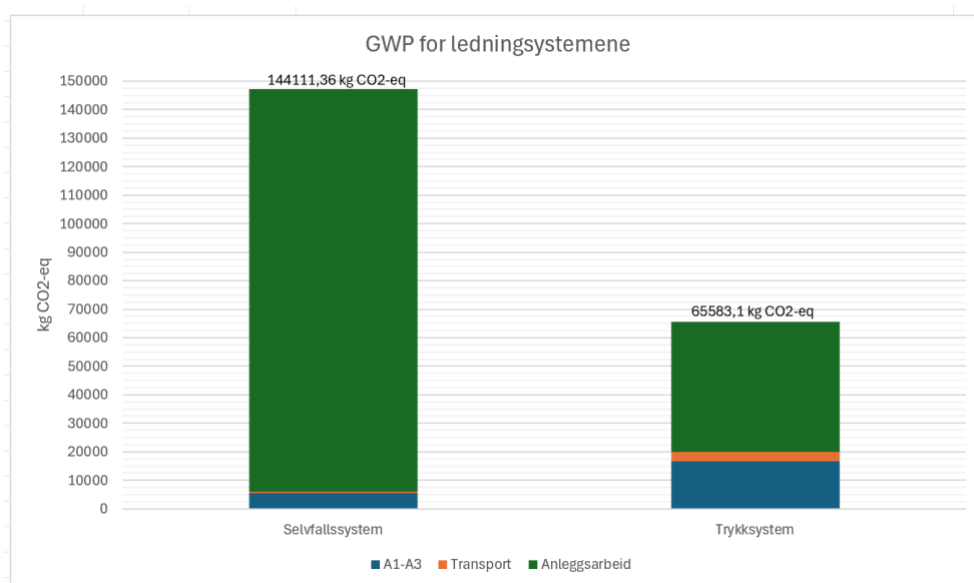
Tabell 28 - GWP for selvfallssystemet

For avløpsledning med trykksystem er det totale miljøutslippet 65583,1 kg CO<sub>2</sub>-ekv.

GWP for Trykksystem						
Produkt	Fra div. EPD	A1-A3	Transport	Anleggsarbeid	Total kg CO <sub>2</sub> -eq	
Isoterm	PE	4079,282693	6466,524126	698,16	44495	51659,68413
	HDPE	2387,241434				
Pumpe	PE	9366	10124,58	2652,26	1146,6	13923,44
	Støpejern	758,58				
Sum					65583,12413	

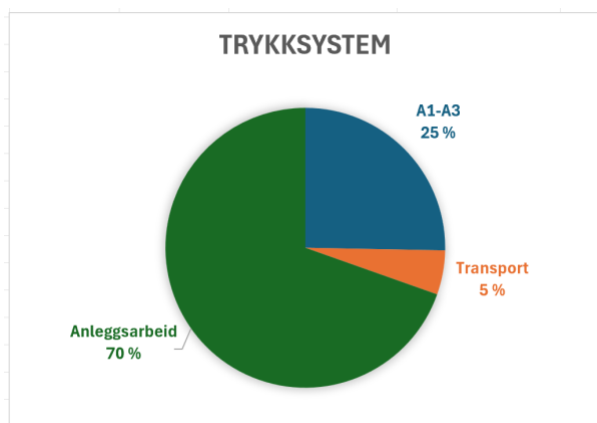
Tabell 29 - GWP for trykksystem

Figur 20 viser total GWP for selvfallssystem og trykksystem. Diagrammene viser utslippene fra produktfasen, og konstruksjon/installasjonsfasen.

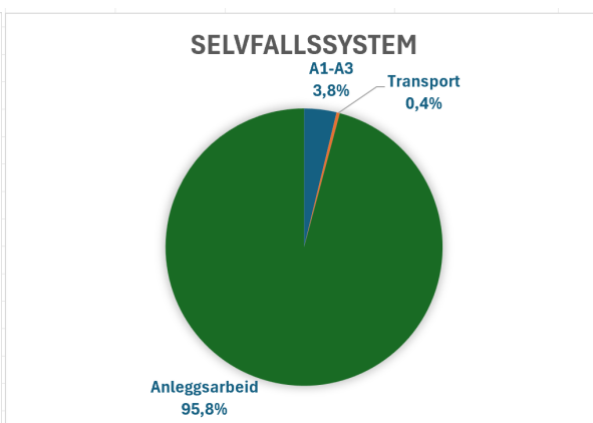


Figur 20 - Diagram med GWP for selvfall- og trykksystem

Figur 21 og 22 presenterer i prosent hvor stor del de forskjellige fasene er i GWP.

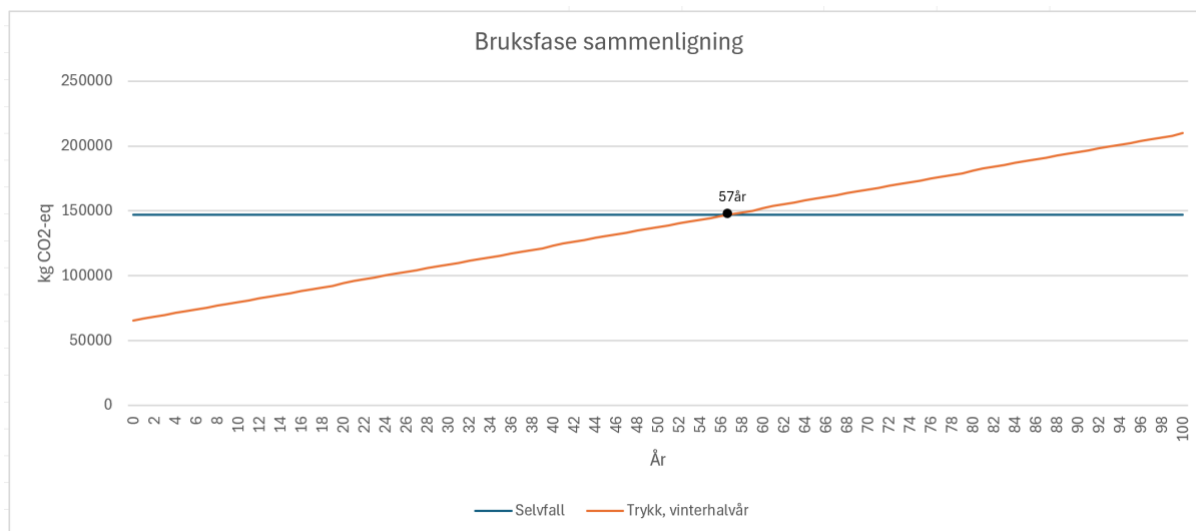


Figur 21 - Trykk kakediagram



Figur 22 - Selvfall kakediagram

I figur 23 er det illustrert hvordan strømforbruket påvirker trykksystemet sitt utslipp i bruksfasen. Grafen for trykk tar utgangspunkt i strømforbruket beregnet med vinterhalvåret som utgangspunkt.



Figur 23 - Graf for utslipp i bruksfasen til selvfall- og trykksystemet

## 5 Drøfting

### 5.1 Dimensjonering

I beregningene for dimensjonerende vannmengder er det verdt å merke seg at den forholdsvis lave vannmengden i hver trase, har en sammenheng med at vi ikke tar med annet vannforbruk eller brannvann i beregningene. Siden området består av private hytter og ingen industriell virksomhet, tar vi i utgangspunktet hensyn til behovet av vannforbruk til husholdninger. Brannvann til slukking av brann er planlagt og regulert til å bli pumpet opp fra havet. Da det vil være kort veg til havet fra alle hyttene, kunne vi også se vekk ifra denne i dimensjoneringen.

Inn- og utlekking velger vi å se vekk i fra da ledningsstrekkeene er helt nye og veldig korte, sammenlignet med større systemer. Dette gjelder i utgangspunktet for selvfalssystemet, men det er verdt å nevne at med tiden vil også et lukket trykkavløp kunne oppleve inn- og utlekking. Erfaringstallene på 0,2 l/s pr. km. vil derfor bli så og si neglisjerbare. En annen begrunnelse til å se vekk i fra dette er at hele området består av stein og svaberg. Overvann som vanligvis ville infiltrert inn i grunnen og inn i rørene, vil i mye større grad renne av på terrengoverflaten og ut i havet.

I beregningene for selvfallsledningen dimensjonerer vi ut ifra anbefalte og ofte brukte rørdimensjoner. At valget falt på disse var også siden de ville gi oss et bredere sammenlikningsgrunnlag mellom selvfall og trykkavløp. Eksempelvis differansen i materialbruk, driftskostnader som strøm og vedlikehold, og grøftutforming. Målet med et bredt sammenlikningsgrunnlag var at det ville gi oss tydeligere forskjeller i klimagassberegningene.

Kravet for å oppnå selvrens vært en utfordring. Dette med tanke på forholdet mellom avløpsmengden og kravet til skjærspenningen i røret. Den lave avløpsvannmengden i samsvar med en «for stor» rørdimensjon vil føre til at rørene bør spyles jevnlig. Dette blir aktuelt selv om begge ledningstraseene oppnår minstekravet for selvrens på 10 promille. Dette gjelder spesielt for trase nord der skjærspenningen i bunnen av røret bare er på 1,27 N/m<sup>2</sup>.

Ved trykksystemet så har vi måtte velge en lavere rørdimensjon på trase nord, sammenlignet med trase sør-øst. Dette er på grunn av avløpsmengden og antall hytter i hvert byggefelt. Med de valgte rørdimensjonene er begge innenfor kravet til selvrens, da begge oppnår en hastighet på avløpsvannet som er over 0,4 m/s. Siden alle hyttene har kvernpumpe som gjør avløpsrestene til små partikler, kunne det vært en mulighet for å gå enda mer ned på rørdimensjonen. Da ville man oppnådd høyere hastighet på avløpsvannet.

Det er verdt å nevne at dimensjoneringen av både selvfall og trykkavløpet kunne vært gjort på et mer detaljert nivå. I denne oppgaven undersøker vi om valgt rørdimensjon er forenelig med områdets dimensjonerende avløpsmengde, og om denne avløpsmengden oppfyller krav til selvreis.

Vi kunne altså gått dypere inn i dimensjoneringsdelen, dersom oppgaven bare omhandlet dette. Det kunne vært gjort grundigere undersøkelser på området fra start. Med det menes det at vi kunne undersøkt nærmere om det fantes eksisterende målinger av vannforbruket i området rundt. Man kunne da fått et mer nøyaktig tall i stedet for å velge erfaringstall på 150 l/pd. Samtidig må det nevnes at det er anbefalt å bruke erfaringstall for et bestemt område, dersom man ikke har egne tall. Det er altså ikke gjort betydelige feil her, men et mer nøyaktig anslag kunne påvirket valg av dimensjon på avløpsledningen.

En annen teknikk for å dimensjonere på et mer detaljert nivå er å seksjonere ut flere deler av ledningsnett. Med det menes det at vi kunne undersøkt mindre avstander om gangen, for å se hvor mye avløpsmengde det var akkurat der. Jo flere som kobler seg på hovedledningen, jo større blir avløpsmengden på vei mot slippunktet. Eksempelvis kunne man sett på 100 meter om gangen, istedenfor å velge hele strekket. Dette gjelder spesielt for trykkavløpet der det er normalt at rørdimensjonen øker jo nærmere man kommer slippunktet. På et mer detaljert nivå ville vi også tatt hensyn til antall pumper, og hvor mange av de som var i drift samtidig. I våre beregninger har vi tatt stilling til at det brukes pumper, og valgt en passende dimensjon ut ifra hastigheten på avløpsvannet.

Til slutt er det viktig å påpeke at de beregningene som er gjort, viser et godt bilde av den fremtidige avløpssituasjonen på området. Vi kunne derfor gå videre med oppgaven, med gode løsninger for begge systemene. Som nevnt tidligere så er valg av rørdimensjon og avløpssystem, første steg i sammenligningsgrunnlaget.

## 5.2 Strømforbruk

Sammenligningsgrunnlaget og beregningene våre baserer seg på et helt år med normal drift på hyttefeltet. Det kommer tydelig fram at det er strømforbruket til de preisolerte avløpsrørene og pumpeumpen som dominerer strømforbruket. Dette gjelder både for 46,5 hyttedøgn og for et helt vinterhalvår. For kvernpumpene er det en veldig liten strømandel som benyttes. Disse vil kun være i bruk noen få minutter pr. dag, og bare når hyttas avløpssystem er i bruk. Det er også verdt å poengtere at vi kun ser på forbruket til byggefelt 1 og 3 i disse beregningene. Byggefelt 2 er altså ikke tatt med i sammenligningsgrunnlaget. Så det endelige tallet for hele området og prosjektet ville blitt annerledes.

Den store usikkerhetskilden i beregningene vil være hvordan hver enkelt hytteeier ønsker å drifte sin egen pumpe og stikkledning. Med det vil man kunne forvente at enkelte ønsker å slå av strømmen når



hytta ikke er i bruk. På den andre siden ønsker noen å holde varmen på til enhver tid. Dette forhindrer at avløpsledningene fryser i de kaldeste periodene, eller så lenge det er tele i grunnen. Slik påføres det ikke unødvendige skader på avløpssystemet. Denne usikkerheten gjør at tallene vi får fra beregningene blir veldig grovt anslått. Vi vet altså ikke sannsynligheten for hvem som velger å la strømmen stå på, eller motsatt.

En mulighet er å dele de årlige utgiftene likt på alle hyttene, gjennom en fast strømvtale. På denne måten kan varmetermostaten stå på i hele ledningsnettet gjennom hele vinterhalvåret. Dette vil være med på å holde energiforbruket og strømprisen stabil, da rørene vil holde en jevn temperatur gjennom hele året ved hjelp av varmetermostaten. Det er altså ved intensiv oppvarming at energibehovet blir størst, noe vi ønsker å unngå. En annen faktor er at et akutt behov for energi øker faren for kortslutninger. Strømprisen vil også gjenspeile dette energibehovet. Ved store temperatursvingninger, vil materialet slites raskere og levetiden på rørene minskes.

Kvernpumpen som vil være plassert inne i en frostfri pumpesump, vil også ha nytte av stabile temperaturer. Ved denne løsningen vil alle hytteeierne sine respektive pumper være koblet på en egen kurs. Slik kan man skille felles og private kostnader og strømforbruk. Samtidig kan hver forbruker måle sitt strømforbruk på egen strømmåler. I våre beregninger vil det totale strømforbruket og dens kostnader deles likt ut på alle 60 hytteeierne. Denne løsningen forutsetter at strømforbruket for kvernpumpene beregnes etter 46,5 hyttedøgn pr. år. Mens avløpsledningene sin varmetermostat står på gjennom hele vinterhalvåret, som strekker seg fra oktober-april.

### 5.2.1 Utslippsfaktoren for norsk strøm

Mange tenker at norsk strøm er bortimot utslippsfri på grunn av den store andelen vann- og vindkraft. På grunn av import av strøm fra Europa, samt mange andre faktorer ser vi at dette ikke stemmer helt. Analyser viser at utslippet knyttet til strøm varier i stor grad fra år til år. De siste 10 årene har vi sett at den kan være så lav som 8 g og så høy som 36 g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh. Dette viser at den kan svinge i stor grad for årene som kommer. Vi valgte å gå for utslippsfaktoren fra 2022, på 19 g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh. Dette er tall fra klimadeklarasjonen til NVE, som de årlig gjennomfører. I slutten av mai 2024 vil tallene fra 2023 komme ut, derfor er tallet fra 2022 det siste tilgjengelige tallet som ligger ute (Norges vassdrag- og energidirektorat, 2020).

## 5.3 Prosjektering

### 5.3.1 Leggedybde

Forskjellen på leggedybden hos de ulike systemene er en stor forutsetning for oppgaven. Det er dette som påvirker grøftemassene og dermed utgjør en stor forskjell i anleggsarbeidet og klimagassutslippet dette medfører. Selvfallssystemet ligger på 2 m dybde etter krav i Herøy Kommune, mens trykksystemet ligger på 0,8 m. Vi kunne i teorien lagt både selvfallssystemet og trykksystem enda grunnere. Vi fant ut at den reelle frostfrie dybden for kommunen er på ca. 1,6 m. I tillegg ser vi at summen av lastkreftene er minst i område mellom 1,5 m og 2 m.

Å legge selvfallsrørene på 1,6 m hadde sannsynligvis vært et velfungerende system og i tillegg gitt et lavere klimagassutslipp fra anleggsarbeidet. Men i samtaler med prosjekterende VA-rådgivere og byggherren i Seløy Seaside Resort har det kommet frem at å søke dispensasjon fra kommunenes krav ofte ikke godkjennes. Derfor har vi forholdt oss til kravet på 2 m.

I følge Pipelife kan Isoterm-systemet ligge helt oppe i overflaten med kun minimal overdekning som beskyttelse fra UV-stråling, mekanisk skade og varmetap fra vind. Likevel har vi valgt å legge det på 0,8 m dybde. Dette valgte vi på grunnlag av byggherrens ønsker om at hyttefeltet skal være åpent og fritt for turgåere og friluftaktivitet. Ved å legge rørene med minimal overdekning hadde de vært svært sårbare for mekaniske skader og gitt begrensninger for fri bevegelse i området. 0,8 m gir oss en sikkerhetsmargin fra minstekravet til NPG på 0,6 m.

### 5.3.2 Valg av løsning

Når det er snakk om klimavennlige løsninger innenfor vann og avløp er det naturlig å tenke på NoDig. Det skal ikke utelukkes at dette kunne vært en god løsning. Hovedgrunnen for at NoDig ikke har vært med i sammenligningen for oppgaven er at det allerede skal etableres tilkomstveier på Seløy. Det skal derfor allerede sprenges og graves, slik at VA-grøftene kun vil kreve litt ekstra graving for å ligge under. Dette er grunnen til at traseene til både selvfall- og trykksystemet er prosjektert under veiene. En annen grunn til at vi valgte å ikke vurdere NoDig er det at grunnforholdene består av kun fjell. NoDig egner seg best hvor det er løsmasser. Det er mulig med NoDig i fjell, men dette krever en viss tykkelse fjell over hullet man borer, gjerne 5 meter. (Pettersen, Ø. A. personlig kommunikasjon, 13. mai 2024)

For prosjektet Seløy Seaside Resort er ikke et komplett selvfallssystem gjennomførbart. Dette er på grunn av at mange av hyttene ligger under hovedledningen og nødvendig fall på 10‰ vil ikke oppfylles. Et fungerende avløpssystem på Seløy krever enten en kombinasjon av selvfall- og trykkledninger, eller et komplett trykksystem.

## 5.4 Klimagassutslipp

### 5.4.1 Det store perspektivet

I et hytteprosjekt som Seløy Seaside Resort vil det være mange forskjellige faktorer som bidrar til å øke Norges klimagassutslipp. Vi ønsker å sette klimagassutslippet til avløpssystemet i perspektiv med resten av prosjektet. Utbyggingen av selve hyttene vil utgjøre en betydelig andel utslipp.

Dersom en skulle dra klimaperspektivet enda lenger, må vi kommentere utslippet som genereres fra hyttebrukernes transport til og fra hytta. Hytteeiernes reisevei vil variere i stor grad ut ifra hvor de er stasjonert. Noen hytteeiere vil ha en kort reisevei fra for eksempel nærmeste by, Sandnessjøen, mens andre vil være avhengig av lengre reiser med fly, tog, båt eller bil. Dette vil være en kilde som genererer klimagassutslipp i alle år fremover. På et tidspunkt vil utslipp fra transporten til og fra hytta overgå det totale utslippet fra bygging og drift av hyttene, samt infrastruktur.

Sett i perspektiv vil forskjellen mellom et trykk- og avløpssystem bare utgjøre en liten andel av prosjektets samlede utslipp. Likevel betyr ikke dette at viktigheten av klimavennlige løsninger i vannbransjen undervurderes. Med FNs bærekraftsmål strammes alle aspekter av byggebransjen inn, og det kreves en helhetlig vurdering av miljøpåvirkningen gjennom hele prosessen.

### 5.4.2 Grøftemasser

I utgangspunktet ønsket vi å bruke massene fra mengderapporten i Novapoint til å utføre klimagassberegningene. Da vi kom frem til at PW Trenchless Carbon Calculator var det beste verktøyet for å regne utslipp fra anleggsarbeidet gikk vi bort i fra dette. Det er blant annet fordi verktøyet ikke har input for sprengningsmasser. En annen grunn for å ikke bruke massene fra Novapoint, er at det ligger en stor usikkerhet i mengdene på grunn av tegningsgrunnlaget som er tilgjengelig i en så tidlig fase av prosjektet. Veimodellen som ledningsnettets vårt er tegnet opp etter er kun veiledende. Skulle vi fått de faktiske mengdene for prosjektet, måtte det vært utarbeidet en ferdig veimodell å tegne etter. Derfor ble det besluttet å bruke massene vi får i PW kalkulatoren, da dette blir mer representativt i en sammenligning der begge systemene inkludert stikkledninger er gjennomførbare.

PW kalkulatoren virker sånn at en skriver inn grøftedimensjonene og lengde på røret, så regnes sprengningsmassene ut ifra dette. På grunn av kravet på 10% hos selvfallsledninger, øker vi dybden på enden av grøfta. Å øke dybden til 3 m er noe vi ser er nødvendig å gjøre på hovedledningene ut ifra våre prosjekterte tegninger. Når vi skriver inn 3 m dybde i PW, vil dette gjelde på stikkledningene også. Dette er noe vi ser for oss ville vært nødvendig å gjøre på stikkledningen i et prosjekt der et komplett selvfallssystem ville være gjennomførbart.

### 5.4.3 Produktfase A1-A3

Utslipet vi har beregnet i produktfasen er ikke fullstendig. Det mangler flere faktorer som er nødvendige for å gi et nøyaktig anslag, men beregningene gir oss en likevel en ide på mengde utslipp. Vi har kun inkludert de største komponentene, selv om det er flere komponenter som påvirker utslippet. Derfor er det sannsynlig at tallet vi har kommet frem til, er lavere enn det faktiske utslippet. På grunn av størrelsen på ledningsnettet, har vi vurdert at dette ikke vil være en avgjørende faktor. I EPD er mengde en viktig faktor som vil ha mye å si total GWP. Siden vi ikke har eksakt mengde for alle produktene, har vi i noen beregninger antatt en mengde.

I selvfallssystemet er det brukt PVC avløpsledning 160 mm, og det er det eneste av produktene vi bruker med tilhørende EPD. Mengde og GWP-faktoren vil derfor være reel og vi vurderer tallet vi kom fram til som et godt anslag. I trykksystemet fantes det verken EPD til Isoterm eller kvernpumpene. For Isoterm brukte vi EPD til PE trykkrør og HDPE ytterrør, men da det ikke er EPD på frostsikringsledningen mangler vi en komponent. Utslippsberegningene vil derfor ikke være for et komplett ledningsnett med isoterm, og tallet vil nok være noe høyere enn det vi har kommet frem til. Det er også en usikkerhet i mengdeberegningene vi gjorde for HDPE ytterrør, siden vi brukte et referanserør med ulike dimensjoner enn de vi trengte. Resultatet for utslippet til Isoterm vil derfor noe lavt.

For pumpene i trykksystemet har vi brukt EPD for materialene som pumpen er laget av. Pumpetanken, som er laget av Polyeten (PE) med isolering av polystyren, har vi benyttet EPD for PE-trykkrør. Isoleringen av polystyren er ikke inkludert i våre beregninger.

EPD for PE gjelder for trykkrør, altså GWP-faktoren vi bruker er knyttet til et annet produkt, men med samme materiale. Sannsynligvis involverer produksjonsprosessen for en pumpetank forskjellige trinn, og dermed vil utslippet knyttet til selve produksjonen ikke være nøyaktig. Hydraulikkdelen og pumpehuset, som er i epoxybehandlet støpejern og plast, har vi brukt en EPD for «cast iron». Utslipet tar kun hensyn til produksjonen av støpejernet som delen er laget av. Prosessen med å lage hydraulikkdelen og pumpehuset vil sannsynligvis skape utslipp som ikke er inkludert i våre beregninger. Epoxybehandlingen av delene blir heller ikke med i beregningsgrunnlaget. Det tallet vi bruker, knyttet til utslippet i produksjonen av pumpen er antagelig noe lavere enn i realiteten.

#### 5.4.4 Transport

Beregningene våre fra transport ble gjort med et gjennomsnitt av utslippsfaktorer fra SSB. Det vil i realiteten være flere faktorer som spiller inn og påvirker utslippet. I beregningene tas det for eksempel ikke høyde for vekten på kjøretøyene, som betyr at vi behandler en tom semitrailer og en fullastet semitrailer likt når det gjelder utslipp, til tross for at dette ikke stemmer i praksis. De utslippsfaktorene vi benyttet, gir heller ikke informasjon om dimensjonene til kjøretøyet, annet enn at de gjelder for lastebiler og trekkvogner generelt. Derfor er det utfordrende å bedømme om verdien vi brukte, er for høy eller lav, uten å ha kunnskap om kjøretøyenes spesifikke størrelse og karakteristika.

#### 5.4.5 Anleggsarbeidet

Vi benyttet oss av PW Trenchless sin kalkulator for å regne utslippet knyttet til grøftearbeidet. Dette var et verktøy vi fikk anbefalt av Alexander Borg, som jobber med bærekraft og LCA i Asplan Viak. Til tross for at PW er et kanadisk selskap, vurderer han kalkulatoren sine parametere og verdier som fornuftige og universelle. Derfor mener han at den kan brukes i tidlige faser av prosjekter, også her i Norge.

Verktøyet benytter driftstid og produktivitet på maskinene i anleggsarbeidet. Dette er faktorer som kan variere i stor grad fra prosjekt til prosjekt. En stor faktor for resultatet er om grunnforholdet er tørt eller vått. Vi har tatt utgangspunkt i at grunnvannstanden ligger på samme kote som havet. Dette gjør at det ikke er behov for å pumpe ut vann fra grøftene, og utgjør et stort utslag på klimagassuttrykket. Ved vått grunnforhold ville klimagassutslippet økt med hele 70% på grunn av at kalkulatoren legger da på en avvanningspumpe som jobber 24/7 hele anleggsperioden.

Maskinene som inngår i driftstiden er listet opp i figur 20. Produktiveten på en 8 timers dag er det som avgjør hvor lang driftstiden på maskinene er. Dette gjør et stort utslag på klimagassutslippet fra anleggsperioden. Valget vårt ble gjort med grunnlag fra samtalen vi hadde med Bertelsen og Garpestad. De fortalte at det er mange faktorer som spiller inn, grunnforholdene, naboforhold og utstyr gjør at produktiviteten varierer i stor grad fra prosjekt til prosjekt. Fjellforhold og lang vei til naboene var bakgrunnen for estimatet de ga oss.

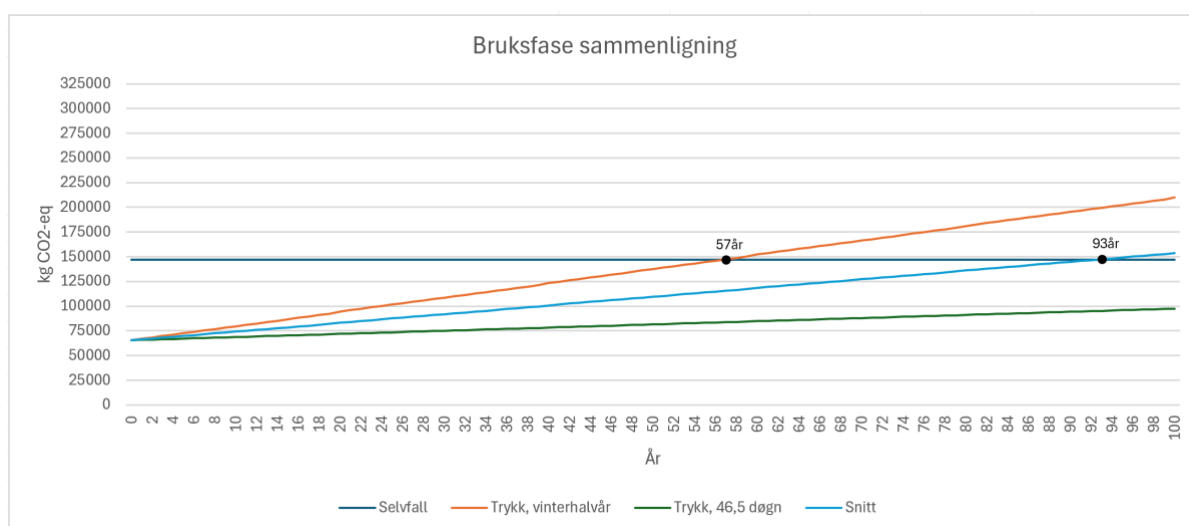
Vår beslutning om å gjenbruke 100% av sprengningsmassene spiller også en betydelig rolle i det totale utslippet. Vi har basert denne avgjørelsen på retningslinjene fra PW-kalkulatoren, som indikerer at dette er vanlig praksis i uberørte naturområder. Samtidig er en forutsetning at eventuelle overskuddsmasser kan benyttes til å konstruere tilkomstveiene. Dersom vi hadde satt gjenbruket til noe annet enn 100%, ville utslipp fra transport av overskuddsmasser kommet i tillegg.

#### 5.4.6 Bruksfasen

Utslipptet knyttet til bruksfasen avhenger hovedsakelig av strømforbruket relatert til oppvarmingen av ledningsnett og pumpen, samt drift av pumpemotoren. Forskjellen i strømforbruk er betydelig, enten varmeledningene er aktive gjennom hele vinterhalvåret eller kun når hytten er i bruk i 46,5 dager.

Våre beregninger tar utgangspunkt i at varmetermostaten er i kontinuerlig bruk gjennom hele vinterhalvåret. Dette representerer det høyeste strømforbruket, og dermed det største utslippet. Likevel vil dette tallet bli lavere hvis noen hytter slår av egen strøm når hytten ikke er i bruk. Det samme gjelder for milde perioder gjennom vinterhalvåret, som ikke krever oppvarming.

I figuren nedenfor ser vi det totale utslippet fra selvfallssystemet sammenlignet med trykksystemet 100 år etter ferdigstillelsen. Dette gir oss et innblikk i når trykksystemet overstiger selvfallssystemet når det gjelder CO<sub>2</sub>-utslipp. Trykksystemet er representert med 3 grafer. Ved kontinuerlig oppvarming gjennom vinterhalvåret, blir selvfallssystemet tatt igjen etter 57 år. Når strømforbruket er lavest med utgangspunkt i at strømmen står på i 46,5 døgn, blir selvfallssystemet ikke tatt igjen i løpet av levetiden på 100 år. Hvis vi ser på gjennomsnittet mellom det høyeste strømforbruket og det lavest strømforbruket får vi at trykksystemet blir tatt igjen etter 93 år. Det er flere faktorer som spiller inn på hvor mange kWh ledningsnett vil bruke og dermed hvor stort utslippet er hvert år. Sjansen for at det vil være behov for oppvarming hver dag, gjennom 7 måneder er liten. Det er derfor sannsynlig at det reelle tallet vil ligge et sted mellom 57 og 93 år ut, hvis strømvarmen står på gjennom vinterhalvåret.



Figur 24 - Graf for utslipp i bruksfasen til selvfall- og trykksystemet

## 6 Konklusjon

Beregningene våre viser at et selvfallssystemet har det høyeste utslippet ved ferdigstilling. Dette skyldes hovedsakelig det store utslippet knyttet til anleggsarbeidet. Selvfallssystemets dype grøfter fører til lavere produktivitet og lengre driftstid for anleggsmaskinene. Trykksystemet, derimot, har grunnere grøfter og dermed lavere utslipp fra anleggsarbeidet. Imidlertid er trykksystemet avhengig av pumper og strømvarme gjennom hele sin levetid. Strømforbruket til pumpene og strømvarmen vil hvert år bidra til klimagassutslipp, avhengig av utslippsfaktoren for norsk strøm.

Dette resultatet påvirkes av flere faktorer, og det er derfor ikke sikkert at selvfallssystemet vil ha det laveste klimagassutslippet for andre prosjekter. Blant annet spiller størrelsen på ledningsnettene en viktig rolle. Lengre traseer og større volum av grøftemasser vil forsterke forskjellene mellom systemene knyttet til utslippene fra anleggsarbeidet. Samtidig kan variabler som grunnforhold og grunnvannsnivå påvirke hvilke anleggsmaskiner som benyttes og deres driftstid. Dette kan føre til at det tar lengre tid for trykksystemet å ta igjen selvfallssystemets totale utslipp.

Utslippsfaktoren for norsk strøm spiller en betydelig rolle i beregningen av klimagassutslippene fra pumpene og strømvarmen. Denne faktoren har variert i stor grad de siste ti årene. Delvis påvirket av Norges strømutveksling med nabolandene, som har resultert i høyere utslippsfaktorer. Derfor er det utfordrende å forutse hvordan denne faktoren vil utvikle seg i løpet av de neste hundre årene. Vårt resultat er basert på utslippsfaktoren fra 2022, som også gjenspeiler snittet de siste ti årene.

Med utgangspunkt i et avløpssystem med forventet levetid på 100 år, vil selvfallssystemet gi det minste klimagassutslippet for prosjekter med samme grunnforhold, dimensjoneringskrav og omfang som Seløy Seaside Resort.

## Vedleggsliste

### Dimensjonering

- Vedlegg A1 Rørdimensjonering - selvfall og trykk
- Vedlegg A2 Beregning av strømforbruk, pris og CO2-utslipp

### Prosjektering

- Vedlegg B1 Plan og profil – Trykk, nord
- Vedlegg B2 Plan og profil – Trykk, sør-øst
- Vedlegg B3 Plan og profil – Selvfall, nord
- Vedlegg B4 Plan og profil – Selvfall, sør-øst
- Vedlegg B5 Grøftesnitt – Trykk
- Vedlegg B6 Grøftesnitt – Selvfall

### Klimaberegninger

- Vedlegg C1 EPD - PVC Sewage pipe 160x4,7 SN8 6m
- Vedlegg C2 EDP - PE100 RC Pressure Sewage pipes SDR 11
- Vedlegg C3 EDP - Double Walled Cable Protection Pipes in coil
- Vedlegg C4 EPD - One tonne of grey cast iron produced by Furnes Jernstøperi AS
- Vedlegg C5 Produktbrosjyre - LPS2000EIV2

### Prosjektdokumenter

- Vedlegg D1 Vedtatt arealplan
- Vedlegg D2 Reguleringsbestemmelser
- Vedlegg D3 Regulering VA



## Litteraturliste

Autodesk. (2024). *Autodesk AutoCAD: Design- og tegneprogramvare som millioner av brukere stoler på*. <https://www.autodesk.no/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>

Bakken, T. H. (2024). *Grunnvann*. SNL.

<https://snl.no/grunnvann>

Borg, A., Dejardins, A., Larsen, H. (2019) *Klimagassutslipp, veiledning for vannbransjen* (A 251) Norsk Vann. <https://va-kompetanse.no/butikk/a-251-klimagassutslipp-veiledning-for-vannbransjen/>

Direktoratet for byggkvalitet. (2012). *Veiledning om tekniske krav til byggverk*.

[https://www.dibk.no/globalassets/endringshistorikk/byggteknisk-forskrift/tek--15-8\\_01.07.2010-30.09.2012-.pdf](https://www.dibk.no/globalassets/endringshistorikk/byggteknisk-forskrift/tek--15-8_01.07.2010-30.09.2012-.pdf)

Engerengen, L. og Thorsnæs, G. (2023) *Herøy - Nordland*. SNL.

[https://snl.no/Herøy\\_-\\_Nordland](https://snl.no/Herøy_-_Nordland)

FN-Sambandet. (2023). *Parisavtalen*. FN. <https://fn.no/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen#:~:text=Alle%20land%20skal%20lage%20en,enn%20det%20var%20forrige%20gaa ng.>

Forskningsrådet. (2020). *Bygger bedre kunnskap for en mer bærekraftig byggebransje*.

<https://www.forskningsradet.no/sok-om-finansiering/hvem-kan-soke-om-finansiering/naringsliv/prosjekter-naringslivet/bygger-bedre-kunnskap-for-en-mer-barekraftig-byggebransje/>

Fortum. (2024). *Historiske strømpriser*.

<https://norgesenergi.no/hjelp/strompriser/historiske-strompriser/#Sone4>

Forurensningsforskriften (2004). *Forskrift om begrenning av forurensning*. (2004-06-01-931).

[https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL\\_4-1#§11-4](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_4-1#§11-4)

FutureBuilt (2023) *FutureBuilt kvalitetskriterier*. <https://www.futurebuilt.no/FutureBuilt-kvalitetskriterier>

Google Maps. (2024). *Veibeskrivelser fra Flyplassvegen 16, 2630 Ringebu til Nautøya, 8850 Herøy.*

Hentet 2. mars 2014.

<https://www.google.com/maps/dir/Flyplassvegen+16,+2630+Ringebu/Naut%C3%B8ya,+8850+Her%C3%B8y/@63.725166,6.4848386,6z/data=!4m15!4m14!1m5!1m1!1s0x466ae7922846e373:0x8f124dccb8e63c68!2m2!1d10.0581857!2d61.5467492!1m5!1m1!1s0x4674ddf61d4023a5:0x93f927b2e0c52f15!2m2!1d12.2563869!2d66.0197554!3e0!5i2?entry=ttu>

Google Maps. (2024). *Veibeskrivelser fra Hamnesvegen 97, 6650 Surnadal til Nautøya, 8850 Herøy.*

Hentet 2. mars 2014.

<https://www.google.com/maps/dir/Hamnesvegen+97,+6650+Surnadal/Naut%C3%B8ya,+8850+Her%C3%B8y/@64.5087285,8.9063675,7z/data=!3m1!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x46130a8807dff5a1:0x35e01fde218041ee!2m2!1d8.695124!2d62.9824707!1m5!1m1!1s0x4674ddf61d4023a5:0x93f927b2e0c52f15!2m2!1d12.2563869!2d66.0197554!3e0?entry=ttu>

Google Maps. (2024). *Veibeskrivelser fra Seløya, Herøy til Jönninge Bygg 126, 747 94 Alunda, Sverige.*

<https://www.google.com/maps/dir/Sel%C3%B8ya,+Her%C3%B8y/J%C3%B6nninge+J%C3%B6nninge+Bygg+126,+747+94+Alunda,+Sverige/@62.9553769,9.1518973,825405m/data=!3m2!1e3!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x4674dde5510fe83d:0xd2221b3da7b781a2!2m2!1d12.231158!2d66.0267202!1m5!1m1!1s0x435093cc084c1181:0xa53f2c53ce4289cd!2m2!1d18.0131708!2d60.0258284!3e0?entry=ttu>

Hydraco (u.å.) Moodys diagram, Hydraco.

<https://www.hydraco.no/moodys-diagram-2/>

Kind, T. (U.å.). *BIM*. Norconsult.

<https://norconsult.no/tjenester/digitalisering/bim/>

Kommunekart (2024). *Herøy kommune.*

<https://kommunekart.com/klient/hald>

Metrologisk institutt. (2020). *Hva er klimagasser?* Met.

<https://www.met.no/vaer-og-klima/klimasvar/hva-er-klimagasser>

NGU. (2024a). *Løsmasser - Nasjonal løsmassedatabase.*

[https://geo.ngu.no/kart/losmasse\\_mobil/](https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/)

NGU. (2024b). *Berggrunn - Nasjonal berggrunnsdatabase.*

[https://geo.ngu.no/kart/berggrunn\\_mobil/](https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/)

Nibio (u.å.) *VA i hytte- /fritidsbebyggelse*. Norsk institutt for bioøkonomi.

[VA i hytte- /fritidsbebyggelse - Nibio](#)

Nordic Bim Group. (U.å.). *Alt om BIM - Bygningsinformasjonsmodellering*.

<https://www.nordicbim.com/no/alt-om-bim-bygningsinformasjonsmodellering-fra-vugge-til-grav>

Norges vassdrags- og energidirektorat. (15. juni, 2020). *Hvor kommer strømmen fra?* NVE.

<https://www.nve.no/energi/energisystem/kraftproduksjon/hvor-kommer-stroemmen-fra/>

Norges vassdrags- og energidirektorat (2022, 25. mai). *Lavt klimagassutslipp knyttet til norsk strømforbruk i 2021*. NVE. <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-energi/lavt-klimagassutslipp-knyttet-til-norsk-stroemforbruk-i-2021/>

Norsk vann. (U.å.). *NoDig-metoder*.

<https://norsk vann.no/ledningsnett-og-teknologi/nodig/>

Norsk Vann (2012a). *Klimatilpasningstiltak innen vann og avløp i kommunale planer* (Rapport 190)

<https://www.dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/klimatilpasningstiltak-innen-vann-og-avlop-i-kommunale-planer.-rapport-fra-norsk-vann.pdf>

Norsk Vann (2012b). *Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem* (Rapport 193)

<https://va-kompetanse.no/butikk/a-193-veiledning-i-dimensjonering-og-utforming-av-va-transportsystem-kun-digital/>

Norsus. (U.å.). *Om livsløpsvurdering - LCA*. Norsk institutt for bærekraftsforskning.

<https://norsus.no/om-livslopsvurdering/>

NPG (2021). *LEGGING AV PLASTRØR FOR VANN OG AVLØP*. Pipelife.

<https://www.pipelife.no/content/dam/pipelife/norway/marketing/general/installation-guidelines/vmt/tradisjonell-va/Leggeanvisning%20hefte.pdf>

PIPELIFE. (u.å.) *Adresser*. Pipelife.

<https://www.pipelife.no/om-oss/adresser.html>

PIPELIFE. (u.å.a) *PE TRYKKRØR*. Pipelife.

<https://www.pipelife.no/infrastruktur/Vann-og-miljoteknikk/pe-trykkroer.html>

PIPELIFE (u.å.b) *GRUNNAVLØPSRØR*. Pipelife.

<https://www.pipelife.no/infrastruktur/Vann-og-miljoteknikk/grunnavløpsroer.html>

PIPELIFE. (u.å.c) *Isoterm og fleksible rørsystem*. Pipelife.

<https://www.pipelife.no/infrastruktur/preisolerte-ror/isoterm.html>

PIPELIFE. (u.å.) *GODE RÅD FOR Å HINDRE FROST I RØR*. Pipelife.

<https://www.pipelife.no/aktuelt/Tips-for-frostsikre-ror.html>

PIPELIFE. (u.å.) *ISOTERM T75 RØR TRYKKAVLØP*. Catalog.pipelife.

<https://catalog.pipelife.com/no/articlelist/isoterm-t75-t300-t600-ror-207223/187734/pe100-sdr11-redbrown-coil-isoterm-T75>

Pipelife (2024). *Vann- og miljøteknikk*.

<https://www.pipelife.no/infrastruktur/Vann-og-miljoteknikk.html>

Pipelife Estonia. (u.å). *PE DOUBLE WALL CABLE PIPE 110X92,5 RING STIFFNESS 450N 50M YELLOW*.

Catalog.pipelife. <https://catalog.pipelife.com/ee-en/article/204605/70011995-ee-pe-dw-cable-pipe-110x92-5-450n-50m-ye?categoryurl=pe-topeltseinaga-korrugeritud-kaablikaitse-torud-205115&regionalid=202976>

Pipelife Estonia. (u.å). *PE DOUBLE WALL CABLE PIPE 160X135 RING STIFFNESS 450N 25M YELLOW*.

Catalog.Pipelife. <https://catalog.pipelife.com/ee-en/article/205995/70011997-ee-pe-dw-cable-pipe-160x135-450n-25m-ye?categoryurl=pe-topeltseinaga-korrugeritud-kaablikaitse-torud-205115&regionalid=202976>

Pipelife Estonia. (u.å). *PE DOUBLE WALL CABLE PIPE 75X61 RING STIFFNESS 450N 50M RED*.

Catalog.piplife. <https://catalog.pipelife.com/ee-en/article/206779/70011994-ee-pe-dw-cable-pipe-75x61-450n-50m-re?categoryurl=pe-topeltseinaga-korrugeritud-kaablikaitse-torud-205115&regionalid=202976>

PIPELIFE. (u.å). *ProductView: 50mm - 150m PE 100 RC SDR 11 trykkrør i kveil*. Pipelife.cobuilder.

<https://pipelife.cobuilder.com/en/ProductView/Shared/EDF2EFBC-1DD3-44D6-85C8-10A83C9FCAB8>

PIPELIFE. (u.å). *ProductView: 75mm - 75m PE 100 RC SDR 11 trykkrør i kveil*. Pipelife.cobuilder.

<https://pipelife.cobuilder.com/en/ProductView/Shared/11A5E904-8DA8-45DD-806C-73A0DD9271AE>

PIPELIFE. (u.å). *ProductView: PE100RC SDR11 kveilrør blå str 90 100m*. Pipelife.cobuilder.

<https://pipelife.cobuilder.com/en/ProductView/Shared/D8B5CD80-605E-412C-932A-6CD249CCD0A0>

PW Trenchless. (u.å.). *Carbon Calculator*.

<https://www.pwtrenchless.com/carbon-calculator/>

PW Trenchless (2024). *Company Bio*.

<https://www.pwtrenchless.com/about-us/company-bio/>

Reiakvam, M. (2023) *Grøfter og ledningsteknikk*. (Lysarkpresentasjon)

Skandinavisk kommunalteknikk (u.å.a) *Frostskydd av VA-ledninger*. (960185 Rev 3).

[960185-lps-frostskydd-broschyr-lres-rev3.pdf \(sktnorge.no\)](https://www.skt norge.no/960185-lps-frostskydd-broschyr-lres-rev3.pdf)

Skandinavisk kommunalteknikk (u.å.b) Generell brukerveiledning for LPS pumpestasjoner. Sktnorge.

<https://sktnorge.no/wp-content/uploads/2022/10/brukerveileder-lps-pumpesystem-221003.pdf>

Skandinavisk kommunalteknikk. (2013) *Teknisk håndbok*:

<https://kommunalteknik.se/wp-content/uploads/2020/05/teknisk-handbok-no.pdf>

Skandinavisk kommunalteknikk. (u.å.c). *Trykkavløp*. Sktnorge.

<https://sktnorge.no/trykkavlop/>

Skandinavisk kommunalteknikk. (u.å.d) *Selvfall-spillvann*. Sktnorge.

<https://sktnorge.no/trykkavlop/selvfall-spillvann/>

Spurkeland, E. (2024, 23. april). *Lastebil*. Snl.

<https://snl.no/lastebil>

Statistisk sentralbyrå. (u.å). *Drivstofforbruk og utslipp per kjørte kilometer for et utvalg av trafikk situasjoner og kjøretøygrupper*. 2016. g/km. SSB. <https://www.ssb.no/318322/drivstofforbruk-og-utslipp-per-kjorte-kilometer-for-et-utvalg-av-trafikksituasjoner-og-kjoretoygrupper.2016.g-km>

Statens vegvesen. (2010). *Geoteknikk i vegbygging*. Håndbok 016.

Statens vegvesen. (2018). *Vegbygging*, Håndbok N200.

<https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-n200-vegbygging-juli-2018.pdf>

Statistisk sentralbyrå (2023a). *Utslipp fra norsk økonomisk aktivitet*. SSB.

<https://www.ssb.no/natur-og-miljo/miljoregnskap/statistikk/utslipp-fra-norsk-okonomisk-aktivitet>

Statistisk sentralbyrå. (2023b). *Utslipp til luft*. SSB.

<https://www.ssb.no/natur-og-miljo/forurensning-og-klima/statistikk/utslipp-til-luft>

Stormoen, H. (2021, 20. januar) *Fritidsboligenes samfunnsbidrag i lokaldemokratiet*. Hytteforbund.  
<https://hytteforbund.no/fritidsboligenes-samfunnsbidrag-i-lokaldemokratiet/>

Svenskt Vatten. (2023, 25. april) *Vattentjänster*. Svenskvatten.  
<https://www.svenskvatten.se/vattentjanster/>

The Norwegian EPD Foundation. (U.å.a). *Hva er en EPD?* EPD-Norway.  
<https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/>

The Norwegian EPD Foundation. (U.å.b). *BRUKSANVISNING for hvordan tolke EPD'er*. EPD-Norway.  
<https://www.epd-norge.no/getfile.php/136570-1470750719/Dokumenter/Bruksanvisninger%20tolke%20EPDer/Bruksanvisning%20for%20EPD%20-%20byggevarer.pdf>

Trimble. (U.å.). NovaPoint.  
<https://civil.trimble.no/produkter/novapoint>

Vatne, I. (2023) *Vannforsyningssystemet – Fra kilde til forbruker*. (Lysarkpresentasjon)

VA/Miljø-blad. (2010). *Nr 97 Krav til PE-rør ved NoDig-utførelse*. <https://www.va-blad.no/krav-til-pe-ror-ved-nodig-utforelse/#:~:text=1.-,Form%C3%A5I,andre%20VA%2FMilj%C3%B8%2Dblad.>

VA/Miljø-blad. (2015). *Nr 115 Beregning av dimensjonerende avlopsmengder*. Norsk Vann.  
<https://www.va-blad.no/beregning-av-dimensjonerende-avlopsmengder/>

VA/Miljø-blad. (2016). *Nr. 5 Grøfteutførelse fleksible rør*. Norsk Vann.  
<https://www.va-blad.no/grofteutforelse-fleksible-ror/>

VA-Norm (U.å.). *Målsetting*. Norsk Vann.  
<https://va-norm.no/malsetting/>

Ødegaard, H. (2014a). *Vann- og avløpsteknikk*. (E-bokutgave) Norsk Vann.

Ødegaard, H. (2014b). *Vann- og avløpsteknikk*. (2. utg). Norsk Vann.