

Lars Anders Eikeland  
Vebjørn Ernst Bader

## Sjøledning vs. Vannbehandlingsanlegg

Utretning for framtidig drikkevannsforsyning i Espa,  
Stange kommune

**Mai 2021**

### **NTNU**

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk

**Bacheloroppgave**

**2021**





Lars Anders Eikeland  
Vebjørn Ernst Bader

## **Sjøledning vs. Vannbehandlingsanlegg**

Utretning for framtidig drikkevannsforsyning i Espa,  
Stange kommune

Bacheloroppgave  
Mai 2021

### **NTNU**

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk



Kunnskap for en bedre verden



## Sammendrag

Denne oppgaven har som mål å utforske på hvilken måte en kan etablere en trygg og sikker drikkevannsforsyning på Espa i Stange kommune. Kommunen har foreslått to alternativer, som er følgende: Alternativ 1. sjøledning fra Tangen til Espa. Og Alternativ 2. vannbehandlingsanlegg på Espa.

For å besvare problemstillingen, som har vært å undersøke hvilket av kommunens alternativer som egner seg best til drikkevannsforsyning, har det vært nødvendig med en utredning av begge alternativene. Formålet med utredningene har vært å sammenligne dem, og gi poengfordeling opp mot valgte kriterier. Denne metoden er brukt for å kunne konkludere og foreslå det beste alternativet.

I arbeidet er det innhentet store mengder data for å kunne dimensjonere ulike installasjoner som inngår i hvert av alternativene, for et estimert vannforbruk for de neste 50 år. Ved alternativ 1. sjøledning, er det utført posisjonsbestemmelser med dimensjonering av høydebasseng, ledningstrasé og utforming av ledninger. I arbeidet er det oppfunnet en innovativ utforming på sjøledningen, som kan bidra til ressursbesparelser, samtidig som den er fleksibel ovenfor vannforbruket. Denne ledningen er dimensjonert for å kunne tilfredsstille vannforsyning for inntil 80 år, samtidig som kravet for riktig dimensjonering i henhold til vannforbruket til enhver tid blir tilfredsstilt.

I utredelsen av alternativ 2. vannbehandlingsanlegget er det gjort undersøkelser på ulike vannverk med varierte rensemetoder og prosesser. I bestemmelsen av type vannbehandlingsanlegg er det tatt hensyn til vannkvaliteten i Mjøsa og miljøet. Med hensyn til miljøperspektivet i vannbehandlingen og bakgrunn for oppbygningen ved ulike vannbehandlingsanlegg, er det valgt å dimensjonere for et ozon- biofilteranlegg. Det viser seg at anlegg som er basert på ozonering er mest miljøvennlig og har enklere prosesser ved drift- og vedlikehold.

Gjennom arbeidet er det lagt stor vekt på utvalgte kriterier: Natur- og miljøpåkjenninger, mulighet for å øke kapasiteten, sikkerhetsdrift, drift- og vedlikehold med risiko- og sårbarhetsanalyse, energibehov, økonomi og kompatibilitet. Blant kriteriene er det utdelt poeng fra 1 til 3, i resultatkapittelet, hvor 3 angir det mest gunstige alternativet. Basert på oppsummering av poengfordelingen blant kriteriene, er det konkludert med at alternativ 1. sjøledning er den beste løsningen for å sikre framtidig drikkevann på Espa.





## **Abstract**

In order to assure a safe and secure water supply to the town of Espa in Stange municipality in the future, it was deemed necessary to investigate two alternative solutions.

These solutions consist of 1: A subsea water pipe between Tangen and Espa, and 2: A water treatment plant at Espa. Investigating both alternative solutions ensures a suitable comparison of specific criteria, using a point system to determine the more superior solution. This method has the purpose of concluding the most superior solution for the case.

In the process of reviewing both alternatives, substantial amounts of data have been obtained to draft both options in relation to the estimated water consumption in Espa. Furthermore, this case has been reviewed with the aspect of sustainability as a sub-goal.

During the analysis for alternative 1, the position determination for the elevated water storage tank, pipeline route and design of the subsea water pipe was established. Additionally, an innovative design for the subsea water pipe was developed. This design will be able to contribute to saving resources as it is advantageous due to its flexibility in consonance with water consumption in about 20-80 years. This innovative design additionally satisfies the requirements of correct dimensioning in line with water consumption at any given time.

For the second alternative solution which considers a water treatment plant, various types of water treatment systems were investigated factoring in the variations in treatment methods and processes. In determining the optimal type of water treatment system, the water quality in lake Mjøsa and the environmental aspect have been taken into consideration. Based on the various structures of the water treatment systems, the decision was made to go with an ozone biofilter plant. It has been found that facilities which are based on ozonation are more environmentally friendly than other options reviewed in this study, and offer a simpler operation and maintenance protocol.

In order to answer which alternative solution is the best fit for the case, a selection of criteria from the methods and results chapter have been emphasized. The chosen criteria are measured by a point system, in which they can be dedicated points from 1 to 3 according to their alignment to the desired parameters. The result of the point distribution is summarized in a table with a thorough conclusion at the end of the thesis. Based on the selected criteria it is concluded with that the first alternative solution with a subsea water pipe between Tangen and Espa is the best fit for the case.



## Forord

Dette er en bacheloroppgave i VA- teknikk, levert til Institutt for vareproduksjon og byggteknikk ved Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet. Oppgaven er skrevet av forfatterne, under veiledning av førstelektor Fred Johansen. Oppgaven ble utarbeidet i vårsemesteret 2021, på campus Gjøvik.

Bacheloroppgaven inngår i faget BIBYG39 Bacheloroppgave Bygg, som tilsvarer 20 studiepoeng. Den utgjør en del av bachelorstudiet for Byggingeniør.

Vi har hatt stor nytte og glede av gode støttespillere, og er spesielt takknemlige for at Viggo Svendsen, assisterende virksomhetsleder for anlegg i Stange kommune, ga oss idéen til oppgaven. Han har også vært en ressurs og gitt oss mye informasjon-, og svart på spørsmål tilknyttet VA- systemet på Espa, i arbeidet vårt med oppgaven.

Vi vil også takke vår veileder, Fred Johansen, som har fulgt oss siden oppstarten, høsten 2020. Det er gjennom emnet VA-teknikk for ingeniører, der veilederen var emneansvarlig, at det ble tydelig for oss at vi ville skrive en bacheloroppgave i fagområdet innenfor VA.

I tillegg retter vi en stor takk til kontaktpersonene i VA- og byggebransjen. Uten at dere hadde satt av tid for å svare på spørsmålene våre, enten på e-post eller i intervju, ville oppgaven ikke vært gjennomførbar. Retter også en stor takk til kontaktpersonen i Hallingplast AS, Sverre Tragethon. Inspillene fra ham, ga vesentlige informasjon som hjalp oss til å fatte valg.



Lars Anders Eikeland



Vebjørn Ernst Bader

19 mai 2021, Gjøvik



# Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Bakgrunn og motivasjon.....	1
1.2	Problemstilling og Målet med oppgaven .....	1
1.3	Case beskrivelse .....	2
1.4	Avgrensninger .....	4
1.5	Oppgavestruktur .....	5
1.6	Rammebetingelser .....	6
1.6.1	Lover og regler .....	6
1.6.2	NorskVann, VA-blad og Norsk Standard .....	6
1.6.3	Kommuneplaner .....	7
1.6.4	FN's bærekraftsmål .....	8
2	Teori.....	9
2.1	Framtidig utvikling.....	9
2.1	Vannbehov.....	9
2.1.1	Husholdningsforbruk.....	10
2.1.2	Annet forbruk .....	11
2.1.3	Brannvann .....	11
2.1.4	Reservevann .....	11
2.1.5	Lekkasjer i ledningsnett.....	11
2.1.6	Variasjoner på vannforbruk.....	12
2.1.7	Dimensjonerende vannforbruk.....	15
2.2	Høydebasseng.....	16
2.2.1	Varianter av basseng .....	16
2.2.2	Høydebasseng i Espa.....	19
2.2.3	Dimensjonering av HB.....	20
2.3	Distribusjonsledning.....	21

2.3.1	Dimensjoneringsgrunnlag ledning .....	21
2.3.2	Ledningstyper .....	22
2.4	Pumpestasjon .....	26
2.4.1	Elementer og installasjoner .....	26
2.4.2	Pumper .....	27
2.4.3	Pumpehøyde .....	27
2.5	Trasévalg .....	28
2.5.1	Undervannsledninger .....	29
2.5.2	Ledninger på land .....	29
	NoDig .....	29
2.6	Vannbehandling .....	32
2.6.1	Mjøsa som drikkevannskilde .....	32
2.6.2	Inntak VBA .....	34
2.6.3	Renseanlegg .....	35
2.6.4	Rensemetoder .....	38
3	Metode .....	45
3.1	Dataverktøy .....	47
3.2	Befaring og analyse av område Espa og Tangen .....	47
3.3	Innhenting av data .....	48
3.4	Alternativ 1 – Sjøledning .....	50
3.4.1	Høydebasseng Tangen .....	50
3.4.2	Plassering .....	50
3.4.3	Type basseng .....	50
3.4.4	Dimensjonering HB .....	51
3.4.5	Trasévalg .....	51
3.4.6	Dimensjonering ledning .....	52
3.4.7	Utforming og type ledning .....	53

3.4.8	Pumpestasjon.....	54
3.5	Alternativ 2 – Vannbehandlingsanlegg .....	55
3.5.1	Plassering av vanninntak.....	55
3.5.2	Plassering av VBA .....	55
3.5.3	Bestemmelse av vannbehandlingsmetode.....	55
3.5.4	Dimensjonering VBA.....	57
3.6	Diskusjonskriterier.....	61
4	Resultater.....	65
4.1	Alternativ 1. Sjøledning.....	65
4.1.1	Høydebasseng Tangen.....	65
4.1.2	Trasé med overføringsledning.....	67
4.1.3	Dimensjonering av ledning .....	71
4.1.4	Utforming ledning .....	71
4.1.5	Dimensjonering av pumpestasjon .....	73
4.2	Alternativ 2. Vannbehandlingsanlegg .....	74
4.2.1	Plassering av vanninntak.....	74
4.2.2	Plassering av VBA .....	75
4.2.3	Valg av vannbehandlingsmetode.....	76
4.2.4	Dimensjonering VBA.....	77
4.3	Innovativ utforming .....	87
4.4	Diskusjonskriterier.....	89
4.4.1	Resultater av kriteriene.....	89
4.4.2	Poengfordeling blant kriteriene .....	93
5	Diskusjon.....	95
6	Konklusjon .....	101
7	Litteraturliste .....	103
8	Vedlegg .....	107





## Figurliste

Figur 1: Kart av området, utklipp fra QGIS (hentet: 10.mars.2021).....	3
Figur 2: Viser til Hestnestunnelen som krysser eksisterende brønner, sendt inn fra kontaktpersonen Kjetil Myhren Bøyeie i BaneNor den 29.mars.2021. ....	3
Figur 3: Fremtidig befolkningsvekst Espa, utklipp fra Excel (laget 15.mars.2021) .....	9
Figur 4: Fremtidig husholdningsforbruk, Qhus (m <sup>3</sup> /p*d), utklipp fra Excel (laget 15.mars.2021).....	10
Figur 5: Anslått lekkasjetap i Espa, utklipp fra Excel (laget 15.mars.2021).....	12
Figur 6: Timeforbruk VM26 Tofastrud, utklipp fra Excel (laget 15.mars.2021).....	13
Figur 7: Døgnforbruk av vannmåler Tofastrud, utklipp fra Excel (laget 15.mars.2021). ....	14
Figur 8: Døgn- og timefaktor, utklipp fra NorskVann rapport 193, s.26 (hentet 15.mars.2021). ....	15
Figur 9: Fremtidig dimensjonerende vannforbruk i Espa, utklipp fra Excel (laget 15.mars.2021).....	15
Figur 10: Gjennomstrømningsbasseng, utklipp fra NV Rapport 181, s.25 (hentet 15.mars.2021).....	17
Figur 11: Sidebasseng, utklipp fra NV Rapport 181, s.26 (hentet 15.mars.2021). ....	18
Figur 12: Motbasseng, utklipp fra NV Rapport 181, s.26 (hentet 15.mars.2021).....	18
Figur 13: Tyngdepunktsbasseng, utklipp fra NV Rapport 181, s.26 (hentet 15.mars.2021). ..	19
Figur 14: Nødvendig bassengkapasitet HB Espa, utklipp fra Excel (laget 15.mars.2021). ....	20
Figur 15: Utførelse og beregning av grøftlegging, utklipp fra NS-EN 1295-1:2019, s.8 grøftlegging og s.28 jordbelastning (hentet 15.mars.2021).....	31
Figur 16: Samordning av ledninger i grunnen, utklipp fra NS3070-1:2015, s.10 og S.11 (hentet 15.mars.2021).....	31
Figur 17: Dybdeprofilet av Mjøsa, utklipp fra NIVA sinn årsrapport 2013 om tiltaksorientert overvåking i vannområde Mjøsa, side 84 (hentet 22.april.2021).....	33
Figur 18: Utforminger av drikkevannsinntak i innsjøer, utklipp fra FHI vannrapport 127, side 101 (hentet 22.april.2021). ....	35
Figur 19: Skissert oppbygning av et minimumsbehandlingsanlegg på drikkevann ved lite humuspåvirkede innsjøer, utklipp fra NV rapport 212, side 111 (hentet 24.april.2021). ....	36
Figur 20: Skissert oppbygning av et koagulerings/filtreringsanlegg, utklipp fra NV Rapport 212, side 112 (hentet 24.april.2021).....	36

Figur 21: Skissert oppbygning av et ozonering/biofiltreringsanlegg, utklipp fra NV Rapport 212, side 112 (hentet 24.april.2021).....	37
Figur 22: Skissert oppbygning av et membranfilteranlegg, utklipp VA-blad 17, side 7 (hentet 26.april.2021). .....	37
Figur 23: Illustrerer oppbygningen av et koaguleringsanlegg, utklipp fra Norsk Vann rapport 212, side 18 (hentet 24.april.2021).....	40
Figur 24: Oppbyggingen av et UV-anlegg, utklipp fra Norsk Vann rapport 164, side 35 (hentet 24.april.2021). .....	42
Figur 25 Viser fremgang i kvalitativ og kvantitativ datainnsamling, utdrag fra fremgangskart i Mindmanager (laget 19.mars.2021). .....	45
Figur 26: Sjøledning med lodd, fra hallingplast.no (hentet 01.mars.2021). .....	53
Figur 27: Senkerør, fra hallingplast.no (hentet 01.mars.2021). .....	53
Figur 28: Illustrert HB på Gjellberget med overføringsledning ned til ringledningen i Tangen, fra privat (hentet 16.april.2021). (koordinater 60°37'24''N 11°15'42''Ø).....	65
Figur 29: Skisse av motbasseng, hentet fra Norsk Vann rapport 193, side 33 (hentet 16.februar.2021). .....	66
Figur 30: Tenkt plassering av HB Tangen med ledninger, utklipp fra QGIS (hentet 15.april.2021). .....	67
Figur 31: Trasé sjøledningen, utklipp fra QGIS (hentet 15.april.2021).....	69
Figur 32: Trasé overføringsledning til HB Espa, utklipp fra QGIS (hentet 13.april.2021). ....	70
Figur 33, viser tenkt plassering av inntaksledningen med begge inntak, utklipp fra QGIS (laget 22.april.2021), .....	74
Figur 34: Tenkt plassering av VBA Espa med tilkobling inntak og overføringsledning til forsyningsområdet/HB Espa, utklipp fra QGIS (hentet 22.april.2021).....	75
Figur 35: Ozon- biofilteranlegg, utklipp fra NV rapport 211, side 55 (hentet 29.4.21).....	76
Figur 36: Geografisk plassering av målestasjon på Skreia og vannintaket for Nes og Espa ...	83
Figur 37: Skisse av innovativ utforming sjøledning, utklipp fra Google SketchUp (hentet 06.april.2021). .....	87

## Tabelliste

Tabell 1: Fordeler/ulempes type ledning, hentet fra intervju med Sverre Tragethon (laget 05.mars.2021).....	25
Tabell 2: Måleverdier av vannkvaliteten ved Skreia-målestasjon, utklipp fra NIVA årsrapport 2019 om tiltaksorientert overvåking i vannområde Mjøsa (hentet 25.april.2021).....	33
Tabell 3: Høyden på middelflom til 500 år flom i Hamarregionen, utklipp fra NVE rapport flomsoner delprosjekt Hamar, side 14 (hentet 22.april.2021).....	34
Tabell 4: Ulike vannkilder, utdrag fra Norsk Vann rapport 212, side 109 (hentet 20.april.2021).....	34
Tabell 5: Verdier for dimensjoneringsdata for siler, utklipp fra NV rapport 212, side 16 (hentet 24.april.2021).....	39
Tabell 6: Oversikt over koagulanter og kjemikalier, utklipp fra NV rapport 212, side 19 (hentet 24.april.2021).....	40
Tabell 7: Forhold mellom fargetall og klordosering, utklipp fra NV rapport 139, side 58 (hentet 24.april.2021).....	43
Tabell 8: Viser til bacheloroppgavens bruk av dataverktøy (laget 19.mars.2021).....	47
Tabell 9: Viser til fremgangsmetoden for dimensjonering ved alt.1 Vannbehandlingsanlegg (laget 25.april.2021).....	57
Tabell 10: Fremstilling av lengder og fallhøyder i første trasédelene, utklipp fra QGIS (laget 17.april.2021).....	68
Tabell 11: Beregningsgrunnlag for diameter til ledning, utklipp fra Excel (hentet 17.april.2021).....	71
Tabell 12: Nødvendig diameter og ballast for tradisjonell sjøledning med lodd, utklipp fra Excel (Datablad hentet fra Hallingplast AS 17.april.2021, vedlegg nr.??).....	72
Tabell 13: Nødvendig diameter og ballast for SESU-ledning, utklipp fra Excel (Datablad hentet fra Hallingplast AS 17.april.2021, vedlegg nr.??).....	72
Tabell 14: Trykkhøydediagram for pumper, utklipp fra Excel (hentet 18.april.2021).....	73
Tabell 15: Beregningsgrunnlag inntaksledning til VBA, utklipp fra Excel (hentet 28.april.2021).....	77
Tabell 16: Beregningsgrunnlag for ledningen mellom VBA og forsyningsområdet Espa, utklipp fra Excel (hentet 28.april.2021).....	78
Tabell 17: Beregningsgrunnlag og fremgangsmåte for ozondosen til første hygieniske barriere, utklipp fra Excel (hentet 29.april.2021).....	79

Tabell 18: Vannkvalitetsdata ved OBA anlegg, undersøkt av SINTEF. utklipp fra NV rapport 211, side 26 (hentet 06.mai.2021). .....	82
Tabell 19: Omdanningsprosent av DOC til BDOC avhengig av spesifikk ozondosering, utklipp fra NV rapport 212, side 58 (hentet 06.mai.2021). .....	84
Tabell 20: Fremgangsmåte og beregningsgrunnlag for strålingsintensiteten av UV-anlegget, utklipp fra Excel (hentet 28.april.2021). .....	86
Tabell 21: Vannføring og friksjonstap for innovativ utforming forslag sjøledning, utklipp fra Excel (hentet 19.april.2021). .....	88
Tabell 22: Resultater av diskusjonskriteriene til begge løsningsforslag (laget 28.april.2021). .....	89
Tabell 23: Poengfordeling i enkelte kriterier med sum til hvert alternativ (laget 11.mai.2021). .....	93
Tabell 24: Poengfordeling for kriteriet natur- og miljøpåkjenninger (laget 11.mai.2021). ....	95
Tabell 25: Poengfordeling for kriteriet kapasitetsøkning (laget 11.mai.2021). .....	96
Tabell 26: Poengfordeling for kriteriet sikkerhetsdrift, drift og vedlikehold, og ROS-analyse (laget 11.mai.2021). .....	97
Tabell 27: Poengfordeling for kriteriet energibehov (laget 11.mai.2021). .....	98
Tabell 28: Poengfordeling for kriteriet økonomi (laget 11.mai.2021). .....	98
Tabell 29: Poengfordeling for kriteriet kompatibilitet (laget 11.mai.2021). .....	99
Tabell 30: Dagbok over møter fra januar.2021 til mai.2021 (laget i perioden 07.januar til 16.mai.2021). .....	130

## Terminologiliste

<b>Teknisk uttrykk</b>	<b>Beskrivelse</b>
HB	<i>Høydebasseng</i>
Pe	<i>Personenheter</i>
GJHB	<i>Gjennomstrømningsbasseng</i>
PS	<i>Pumpestasjon</i>
VA	<i>Vann og avløp</i>
Q <sub>dmaks</sub>	<i>Dimensjonerende vannforbruk ved maksimalt døgnforbruk</i>
Q <sub>hmaks</sub>	<i>Maksimalt timeforbruk</i>
cc	<i>Senteravstand</i>
mVs	<i>Metervann søyle</i>
SSB	<i>Statistisk sentralbyrå</i>
l/s	<i>Liter i sekundet</i>
ROS-analyse	<i>Risiko- og sårbarhetsanalyse</i>
FKDP	<i>Felles kommunedelplan VA (Hamar, Stange, Ringsaker og Løten)</i>
T.n.	<i>Tabell nummer</i>
n	<i>Antall/ nummer</i>
VBA	<i>Vannbehandlingsanlegg</i>
YM	<i>Ytre Miljø</i>
moh.	<i>Meter over havet</i>
NV	<i>Norsk Vann</i>
FHI	<i>Folkehelseinstituttet</i>
OBF	<i>Ozon- og biofiltreringsanlegg</i>
BDOC	<i>Biologisk nedbrytbart organisk stoff</i>
DOC	<i>Totalt løst organisk stoff</i>
TOC	<i>Totalt organisk stoff</i>
MBA	<i>Mikro barriere høyde</i>
NIVA	<i>Norsk institutt for vannforskning</i>
NVE	<i>Norges vassdrags- og energidirektorat</i>



# 1 INNLEDNING

---

## 1.1 BAKGRUNN OG MOTIVASJON

Tettstedet Espa i Stange Kommune har pr. år 2021 delvis kommunal vannforsyning. Beboerne får vannforsyning primært fra grunnvann, via private vannbrønner.

Jernbaneprojektet intercity, med planlagt utbygging fra BaneNor kan medføre til tap av grunnvannet i brønnene. Stange Kommune har med bakgrunn i BaneNor's utbygging kommet med forslag til bacheloroppgaven.

Bacheloroppgaven består i å utrede to alternativer som kan sikre en framtidig drikkevannsforsyning til Espa. Alternativ 1. sjøledning og alternativ 2.

Vannbehandlingsanlegg. Kommunen vil motta en utredning på hvilket av deres to alternativer som egner seg best, med bakgrunn i teknisk utførelse, funksjon og bærekraftige løsninger.

## 1.2 PROBLEMSTILLING OG MÅLET MED OPPGAVEN

Målet med bacheloroppgaven er å utrede kommunens to alternativer med undersøkelser med bruk av både en kvalitativ og kvantitativ metode. Vurderingskriteriene for tekniske og bærekraftige løsninger sammenlignes og konkluderes med beste alternativ, for å sikre og ivareta en trygg kommunal drikkevannsforsyning til Espa, over en fremtidsperiode på 50 år.

**Problemstillingen er å undersøke hvilket av to alternative løsninger som er det beste for drikkevannsforsyning til Espa.** Det gjøres ved å innføre diskusjonskriterier i metodekapittel 3.6 og resultatkapittel 4.4. Kriteriene skal gi grunnlaget for hvilke egenskaper blant alternativene, som gir størst utslag for valget.

Oppgaven har siden oppstarten, lagt stor vekt på inngrep i naturmiljøet og FNs bærekraftsmål. I tillegg baserer oppgaven seg på utfordringen hvor eksisterende vannforsyninger ikke leverer tilstrekkelige mengder for nåværende og spesielt fremtidig behov.

Følgende alternativ som utredes og sammenlignes i oppgaven er:

- **Alternativ 1. Sjøledning:** Planlegging og dimensjonering av ny ledningstrasé til Espa, med vannforsyning fra sjøledning over Tangenbukta, i Mjøsa. Sjøledning tilkobles og forsynes med vann fra eksisterende kommunal nettleddning på Tangen. Kommunal nettleddning på Tangen forsynes fra et interkommunalt vannbehandlingsanlegg, Hias IKS, stasjonert i Ottestad Stange. På Espa tilkobles sjøledning til klargjort ledning, ved E6. I utredningen inngår dimensjonering av sjøledning, et nytt HB og pumpestasjon på Tangen.
- **Alternativ 2. Vannbehandlingsanlegg:** Utredning av ett nytt VBA på Espa, med tilhørende nødvendige hygieniske barrierer, med Mjøsa som kilde. I tillegg skal overføringssystemet utredes. Det innebærer overføringsledning med pumpestasjon som tilkobles til klargjort ledning ved Hestneskrysset, Espa.

Begge forslag skal resultere i en trygg vannforsyning til et allerede etablert HB i Espa.

Som delmål til oppgaven er det gjort undersøkelser på innovative løsninger, ved funksjoner og utforminger som berører utredningen. Det er mål å fremme bærekraft med metoder som gir ressursbesparelser, mindre inngrep i naturen og innovative løsninger. Utredning av innovative løsninger sammenlignes mot de standardiserte metodene som anvendes i VA-bransjen i dag.

### 1.3 CASE BESKRIVELSE

Tettstedet Espa ligger i Stange kommune, sør for Hamar, i Innland fylke. Espa består for det meste av eneboliger og fritidseiendommer i spredt bebyggelse. I tillegg til en bensinstasjon, butikk, bakeri, barneskole og barnehage. Geografisk ligger Espa på østsiden av Mjøsa, ved inngangen til Tangenbukta, med en tre kilometer lang kystlinje.

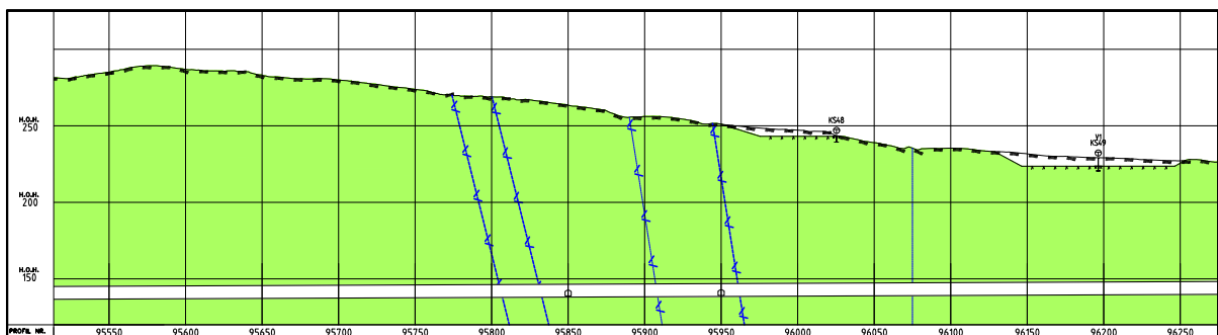




Figur 1: Kart av området, utklipp fra QGIS (hentet: 10.mars.2021).

Det er pr. år. 2019 registrert ca. 600 beboere på tettstedet, hvorav flestparten av beboerne får vannforsyningen fra private vannbrønner. Kommunen disponerer to vannbrønner med råvann, som er resipient til et mindre vannbehandlingsanlegg, plassert under Stensby skole, som er både barneskole og barnehage. Vannbehandlingsanlegget behandler og beholder en kapasitet med ca. 15 m<sup>3</sup> rent drikkevann (Svendsen, 2021).

I forbindelse med utbygging av Dovrebanen skal BaneNOR bygge ny jernbanetrasé via tunnell, Hestnestunellen. Tunnelen strekker seg fra Kleverud til Espå, og skal plasseres med trasé under flere av dagens private og kommunale vannbrønner. BaneNOR har som målsetting at tilgang til drikkevann skal bli så lite berørt som mulig, men i konsekvensutredning vises det til undersøkelse der 17 brønner, muligens 30 brønner, inkludert de kommunale, må erstattes. Tunell-drivingens arbeid vil føre til at grunnvannet dreneres vekk fra brønnene og det blir nødvendig med tiltak (Myhren Bøyeie, 2021).



Figur 2: Viser til Hestnestunellen som krysser eksisterende brønner, sendt inn fra kontaktpersonen Kjetil Myhren Bøyeie i BaneNor den 29.mars.2021.

Utklipp fra konsekvensutredningen som ble tilsendt fra BaneNor viser til illustrert figur 2, der eksisterende brønner berøres av tunneldrivingen. Nye brønner skal bores fra terreng og ned til tunnelsåle, hvor det settes foringsrør, før det bores ut et nytt vannmagasin under tunnelsålen. Utførelsen gjør at tunnelen ikke skal drenere bort vann fra de nye brønnene. Metoden er tidligere brukt med hell (Myhren Bøyeie, 2021).

I løpet av år 2021 ferdigstilles et nytt HB i Espa, ovenfor Stensby skole, med plassering illustrert i figur 1. HB har en kapasitet på 550 m<sup>3</sup> med ferdig behandlet drikkevann og er dimensjonert til å tilfredsstille en beholdning ved framtidig vannforbruk til 1500 beboere. I følge Stange kommune er ikke VBA på Stensby skole dimensjonert for framtidig økt vannforbruk, da det maksimalt kan levere 15 m<sup>3</sup> ferdig behandlet drikkevann i døgnet (Svendsen, 2021).

Grunnet BaneNOR's tunnel-driving og framtidig befolkningsvekst er det nødvendig med utredning på nevnte alternative løsninger som skal sikre en tilstrekkelig drikkevannsforsyning til beboerne og forsyningsområdet, Espa. Med denne bakgrunnen har Stange kommune kommet med de nevnte forslag om to alternative løsningene som skal utredes, sjøledning vs. vannbehandlingsanlegg.

#### **1.4 AVGRENSNINGER**

I arbeidet med dimensjonering og lokasjonsbestemmelse av nytt vannverk, er det blant annet pålagt å ta vannprøver fra resipient/kilde og utføre ROS-analyse for området (Melheim, 2012). Det er ikke blitt tatt vannprøver, men det refereres til kvantitative undersøkelser fra NIVA, der vannkvaliteten fra planlagt inntak diskuteres. Det er heller ikke utarbeidet fullstendig ROS- analyse, men det tillegges forslag om sjekkpunkter som kan være aktuelle ved eventuelt videre arbeid. Med basis i ROS-analysen, anbefales det i tillegg å etablere en beredskapsplan (Melheim, 2012).

Ved posisjonsbestemmelse for trasé- sjøledning, i Tangenbukta, er det nødvendig med desto mer detaljerte bunnforhold i Mjøsa, enn data som har vært innhentet til oppgaven. Valgt trasé baserer seg på de data som har vært tilgjengelig.

Økonomi er med i oppgaven som diskusjonskriteria, men er ikke fullstendig utredet pga. manglende informasjon blant kostnadsoverslag for de ulike installasjoner.

## 1.5 OPPGAVESTRUKTUR

Strukturen er satt opp slik at problemstillingens to alternativer utredes, sammenlignes og argumenteres mot hverandre. Strukturen er satt opp med tradisjonell IMROD- format, i tillegg til et teorigapittel.

- **Innledningskapittelet** fører leseren opp i oppgavens formål og oppbygging.
- **Teorikapittelet** inkluderer de kvantitative beregningsgrunnlagene, bestående av standardiserte beregningsformler som anvendes ved de ulike systemene, med en generell innføring i teorien rundt disse. Beregningsgrunnlagene og den generelle teorien viser til nødvendig grunnlag for utredning av alternativene.
- **Metodekapittelet** inneholder fremgangsmåten på utredningen for begge alternative løsninger på drikkevannsforsyning. Det vises til metoden for innhenting av data, og de valg som legges til grunn for dimensjonering av de varierte installasjoner. Det belyses i delkapittel 3.6 Diskusjonskriterier, om hvilke kriterier som legges til grunn ved avgjørelse på beste løsning for drikkevannsforsyning. Kriteriene settes for å gi en poengfordeling blant alternativene, i resultat- og diskusjonskapittelet.
- **Resultatkapittelet** viser ferdige utredede løsningsforslag, med beregnet resultat på dimensjonering, utforming og plassering av installasjoner. Det er utdelt poeng til alternativene ut ifra funn på forhold blant diskusjonskriterier.
- **Diskusjonskapittelet** inneholder diskusjon og argumentasjon for poengvurderingen blant alternativene.
- **Konklusjonskapittelet** gir en konklusjon over hvilken av alternativene som velges. Konklusjonen inneholder en forklaring på hvordan poengsummen til det beste alternativet gjenspeiler valget. Det gis også forslag for videre arbeid på problemstillingen.

## 1.6 RAMMEBETINGELSER

### 1.6.1 Lover og regler

I dette avsnittet gjengis et sitat som gjør rede for drikkevannsforskriftens kvalitetskrav og krav til funksjoner ved drikkevannssystemene i Norge. Sitatet omtaler Norsk Vann Rapport 193 (Melheim, 2012), der drikkevannsforskriftens overordnede mål for drikkevannsforsyning og er følgende:

- Det skal leveres vann i tilstrekkelig mengde til innbyggerne og næringsliv.
- Det skal leveres vann med en kvalitet som tilfredsstillende kravene i drikkevannsforskriften.
- Det skal leveres vann med tilfredsstillende regularitet og sikkerhet, med meget god sikkerhet for brannvann.

Relevante funksjoner og krav som berører bacheloroppgavens omfang, og som må tilfredsstilles i sammenheng med overordnede mål under drikkevannsforskriften (Melheim, 2012):

- Drikkevannsforskriftens krav skal oppfylles under alle situasjoner ved forsynt vann til forbruker, også tapping av vann ved brann.
- Systemene skal inneha en teknisk kvalitet som sikrer forsyning av rent vann til enhver tid. Tilstrekkelig sikkerhet skal bygges så ikke utfall av enkeltelementer fører til brudd i forsyningen
- Vannbehandlingsanlegg skal ha to hygieniske barrierer før leveranse til forbruker.
- Overføringsledninger skal sikres mot hendelser som kan gi avbrekk i forsyningen. ROS-analyser skal avdekke mulige hendelser.
- Basseng skal ha tilstrekkelig volum for å sikre forsyningen i et visst antall timer ved avbrudd i tilførselen, og skal ha tilstrekkelig kapasitet til brannvann i et visst antall timer. Sikkerhetsreserven tilsvarer vanligvis 0,5- 3 døgns forbruk.
- Trykkforholdene på distribusjonsnettet bør være minimum 15-20 mVs ved tilknytningspunkt, og skal være tilstrekkelig til å sikre at alle deler av forsyningsnettet har godt nok trykk til å sikre brannvann i alle situasjoner.
- Pumpestasjoner som skal sikre nok vann og tilstrekkelig trykk skal minst ha dublerede pumper for å sikre tilnærmet uavbrutt forsyning selv om delelementer bryter sammen og må byttes hurtig.

### 1.6.2 NorskVann, VA-blad og Norsk Standard

Rapportene fra NV er hentet fra norskvann.no. NV er den nasjonale interesseorganisasjonen for vannbransjen og rapportene gjør rede for gjeldene regler, anbefalinger og krav om dimensjonering og utforming av ulike VA installasjoner.

VA miljøblad tilbyr veiledere med normer for tekniske løsninger innen VA. Veilederne er hentet fra va-blad.no.

NS (Norsk Standard) samler standardiseringer innen alle fagområdet, unntatt elektro og telestandardisering. Til oppgaven er det brukt standarder fra fagområdet veg.

### 1.6.3 Kommuneplaner

FKDP er gjeldene for regionen med tilhørende kommuner: Hamar, Stange, Løten og Ringsaker. I FKDP er det gjort rede for en felles plan, mot et interkommunalt samarbeid mellom kommunene på vann og avløp.

Kommunedelplanen for Stange omfatter langsiktige utfordringer, mål og strategier for utviklingen av kommunen. I FKDP er det satt bestemte rammer for krav i dimensjonering ved ulike funksjoner i VA- systemet (Felles Kommunedelplan- VA, 2019).

Ifølge Samfunnsdelen 2014-2026 for Stange kommune, er det som hovedmål å sikre en helhetlig planlegging og at kommunen som samfunn og organisasjon drar i samme retning. Ett av satsningsområdene er en effektiv og moderne infrastruktur. For å legge til rette for dette skal vann og avløp ligge på riktig nivå i forhold til dimensjonering og kapasitet til enhver tid, samtidig som det skal være tilpasset behovet på sikt (Stange kommune, 2014).

Dagens forsyningssystem til Tangen leverer ikke tilstrekkelig mengde slokkevann for Tangen. I FKDP er det satt et krav til brannvannmengde på 50 l/s ved to timers belastning. På Espa er det krav på 40 l/s ved to timers belastning (Felles Kommunedelplan- VA, 2019).

For problemstillingens besvarelse har det derfor vært viktig å finne løsninger som er riktig dimensjonert for dagens vannforbruk, og som samtidig tilfredsstiller framtidig økt vannforbruk. Resultat skal fremme målene i FKDP, og FN's bærekraftsmål (Felles Kommunedelplan- VA, 2019).

Det er anbefalt at de eksisterende og nye etablerte VBA som skal betjene en framtidig utvikling av bolig- og næringsområder i Tangen- området, skal være interkommunale (Felles Kommunedelplan- VA, 2019). Tettstedet Tangen ligger ca. 5,5 km nord for Espa i geografisk luftlinje.

VBA Hias IKS, utbygger til et nytt og fremtidsrettet vannbehandlingsanlegg, på Nordsveodden i Ottestad, Stange. Utbyggingen er forankret i FKDP, der hovedmålene er å forsyne godt, nok og sikkert vann til hele regionen. VBA dimensjoneres med en kapasitet til å dekke en befolkningsvekst i regionen på en prosent årlig (HIAS , 2021).

#### **1.6.4 FN's bærekraftsmål**

For å jobbe mot FN's bærekraftsmål skal innovative og bærekraftige løsninger fremmes med undersøkelser og være en del av utredelsen (FN, 2021).

**Bærekraftsmål nr.6**, setter mål på bærekraftig vannforvaltning og tilgang til vann og gode sanitærforhold. Stange kommune og i generelt hele Norge er det utfordringer med utdaterte vannledninger som stadig må repareres for å bevare vannkvaliteten. Ved utskifting og nye installasjoner, legges det vekt på i oppgaven å finne løsninger som utnytter levetid på nye vannledninger og et interkommunalt samarbeid på vannforvaltning i ledningsnettet.

**Bærekraftsmål nr. 7**, vil sikre ren energi til alle. Tolkning fra dette bærekraftsmålet til oppgaven blir å tilby løsninger som er energieffektive. Dette fordi et lavere energibehov gjør det lettere å bruke rent energi på andre forbrukere enn vannforsyningen.

**Bærekraftsmål nr.9**, tar utgangspunkt i å bygge en solid industri, infrastruktur, og benytte innovasjon. For å fremme målet om bærekraftig utvikling, legges det vekt på effektivt bruk av ressurser ved planlegging av framtidig drikkevannsforsyning til Espa.

## 2 TEORI

---

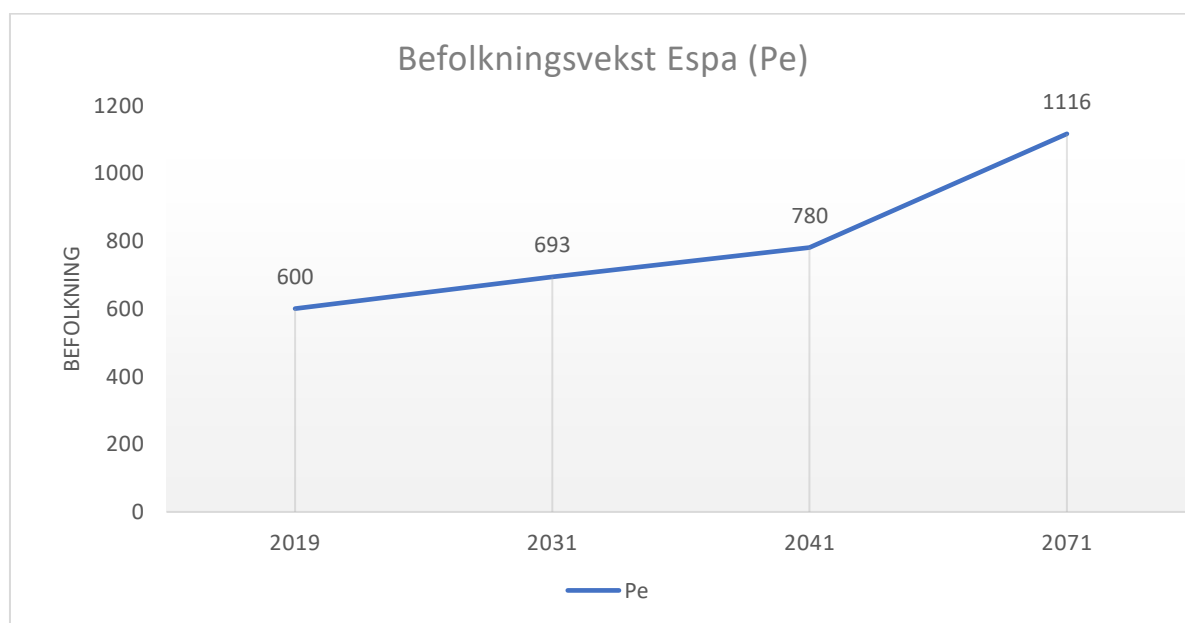
### 2.1 FRAMTIDIG UTVIKLING

Ifølge vedlegg nr. 7 fra Stange kommune, er det antatt en framtidig årlig befolkningsvekst på 1,2 prosent (StangeKommune, 2019). Det betyr at befolkningstallet på Espa, som pr. år 2019 hadde registrert 600 Pe, øker med 16 prosent de neste 10 år og med 86 prosent de neste 50 år. Som resultat i befolkningsøkningen blir det en økning i vannforbruket.

Diagrammet i figur 3, viser til en estimering av befolkningsveksten og anslår en økning på Espa gjennom et tidsperspektiv på 50 år. For å tilfredsstille framtidig vannbehov må forslag til vannforsyning dekke forbruket til minimum 1116 Pe.

Beregningsgrunnlaget for framtidig vekst:

$$600 \text{ Pe} \times 1,012^n \text{ år}$$



Figur 3: Fremtidig befolkningsvekst Espa, utklipp fra Excel (laget 15.mars.2021)

### 2.1 VANNBEHOV

Det benyttes en kvantitativ metode for beregning av framtidig vannforbruk på Espa. Dette delkapittelet viser til teorien bak, med resultat. Resultat på vannbehovet er oppført i dette kapittelet fordi det gir grunnlaget for videre utredning av begge alternativer.

For å dekke tilstrekkelig vannforbruk ved forsyningsområde Espa, er det benyttet beregninger som baserer seg på Espas vannbehov og kapasitet for sikkerhetsreserve. Disse parameterne er lagt til grunn:

- Husholdningsforbruk
- Annet forbruk
- Vann til brannslukking og reserve
- Lekkasjer
- Forbruksvariasjoner

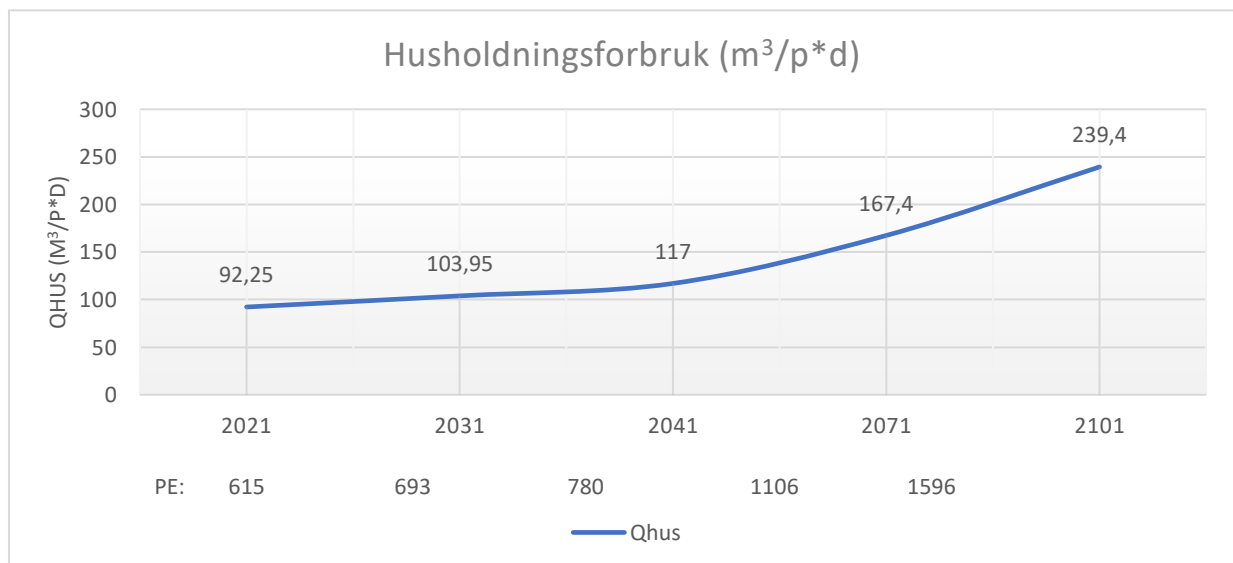
### 2.1.1 Husholdningsforbruk

En generell regel ifølge NV rapport 193, er at det anbefales å bruke 150 liter pr. beboer pr. døgn, som dimensjonerende grunnlag for husholdningsforbruk (Melheim, 2012). Dette er statistiske tall som baserer seg på gjennomsnittlig husholdningsforbruk i Norge.

Figur 4 viser til anslått husholdningsforbruk med antall Pe, gjennom en 80-årsperiode.

$$Q_{hus} = 150 \frac{l}{pr. dag} \times Pe$$

Hvor:  $Pe = \text{Personekvivalenter}$



Figur 4: Framtidig husholdningsforbruk,  $Q_{hus}$  (m<sup>3</sup>/p\*d), utklipp fra Excel (laget 15.mars.2021).



### 2.1.2 Annet forbruk

Andre forbruk enn fra husholdet tillegges med hydraulisk belastning og antall. For dagens situasjon i Espa er dette en bensinstasjon, skole/barnehage, butikk og restaurant.

$$Q_{\text{annet}} = (Hb_1 \times n_1) + (Hb_2 \times n_2) + (Hb_3 \times n_3) + (Hb_4 \times n_4)$$

Hvor:  $Hb$  = Hydraulisk belastning  
 $n$  = Antall

### 2.1.3 Brannvann

Drikkevannsforskriften krever tilstrekkelig kapasitet til brannvann. Ifølge FKDP, er det i Espa et krav om 40 l/s ved to timers belastning (Felles Kommunedelplan- VA, 2019). I beregning utgjør dette:

$$Q_{\text{brann}} = 40 \text{ l/s} \times 2t = 40 \text{ l/s} \times \frac{2t \times 60 \text{ min} \times 60 \text{ sek}}{1000 \text{ l}} = 288 \text{ m}^3$$

### 2.1.4 Reservevann

NV rapport 193 gjør rede for at reservevann tillegges som sikkerhetsvolum i HB og tilsvarer vanligvis 12 – 48 timers forbruk (Melheim, 2012).

I FKDP er det satt krav om tilstrekkelig reservevann for Stange på minimum 48 timer (Felles Kommunedelplan- VA, 2019).

$$Q_{\text{sikkerhet}} = Q_{\text{midl.d}} \times 48 \text{ timer}$$

Hvor:  $Q_{\text{midl.d}}$  = Midlere/gjennomsnitt døgnforbruk

### 2.1.5 Lekkasje i ledningsnett

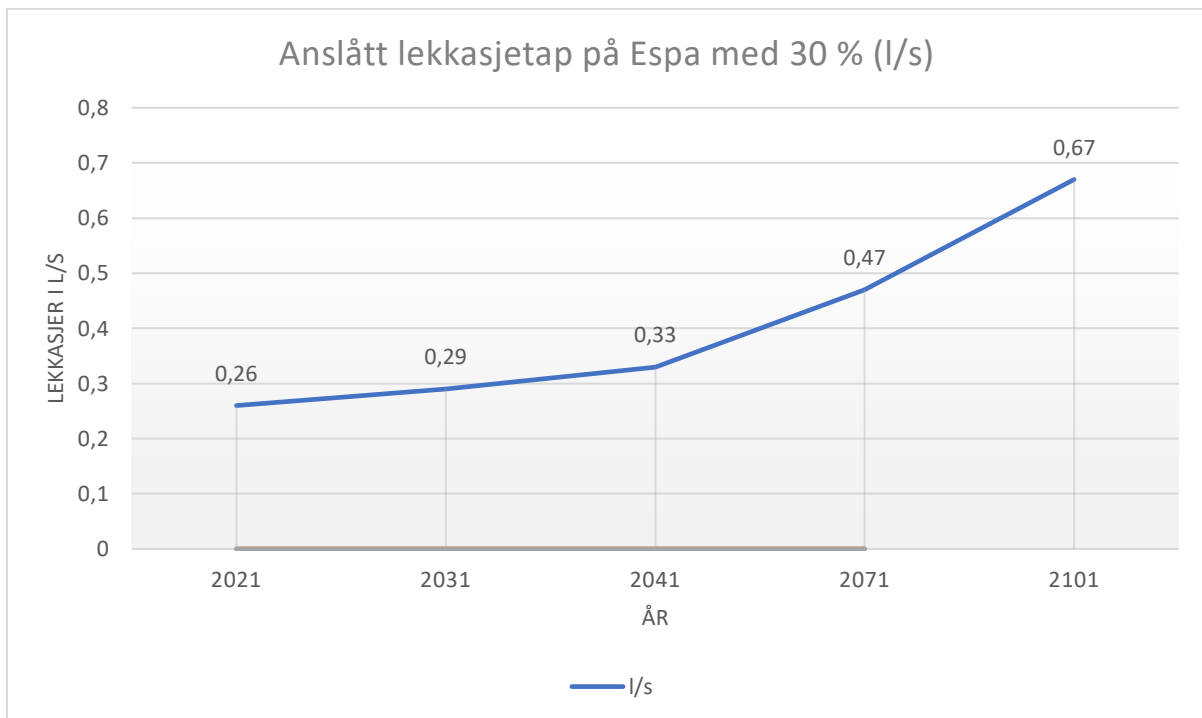
Ifølge NV er det store lekkasjer på ledningsnett i Norge, 20- 60 prosent. Offisielt er det målt vannlekkasjer fra kommunene med et gjennomsnitt på 32 prosent. Antageligvis er det reelle gjennomsnittstallet på over 40 prosent (Ødegaard, 2014).

I Stange Kommune er det registrert lekkasjetall på opptil 53 prosent på ledningsnett, og det er satt som mål å minke lekkasjeandelen til 30 prosent, innen år 2050 (Felles Kommunedelplan- VA, 2019).

Ved dimensjonering er det anbefalt å tillegge et vanntap på 15- 20 prosent, eller vurdere lekkasjeandelen særskilt (Melheim, 2012). På Espa er det vurdert å tillegge et tap på 30 prosent, etter anbefaling fra kommunen (Stange kommune, 2019).

Figur 5 viser til anslått lekkasjetap i l/s, med 30 prosent på ledningsnettet, over en 80-årsperiode på Espa.

$$Q_{lekk} = Pe \times \frac{\text{anslått lekkasje i \%}}{100} = n \times \left(\frac{l}{s}\right)$$



Figur 5: Anslått lekkasjetap i Espa, utklipp fra Excel (laget 15.mars.2021).

### 2.1.6 Variasjoner på vannforbruk

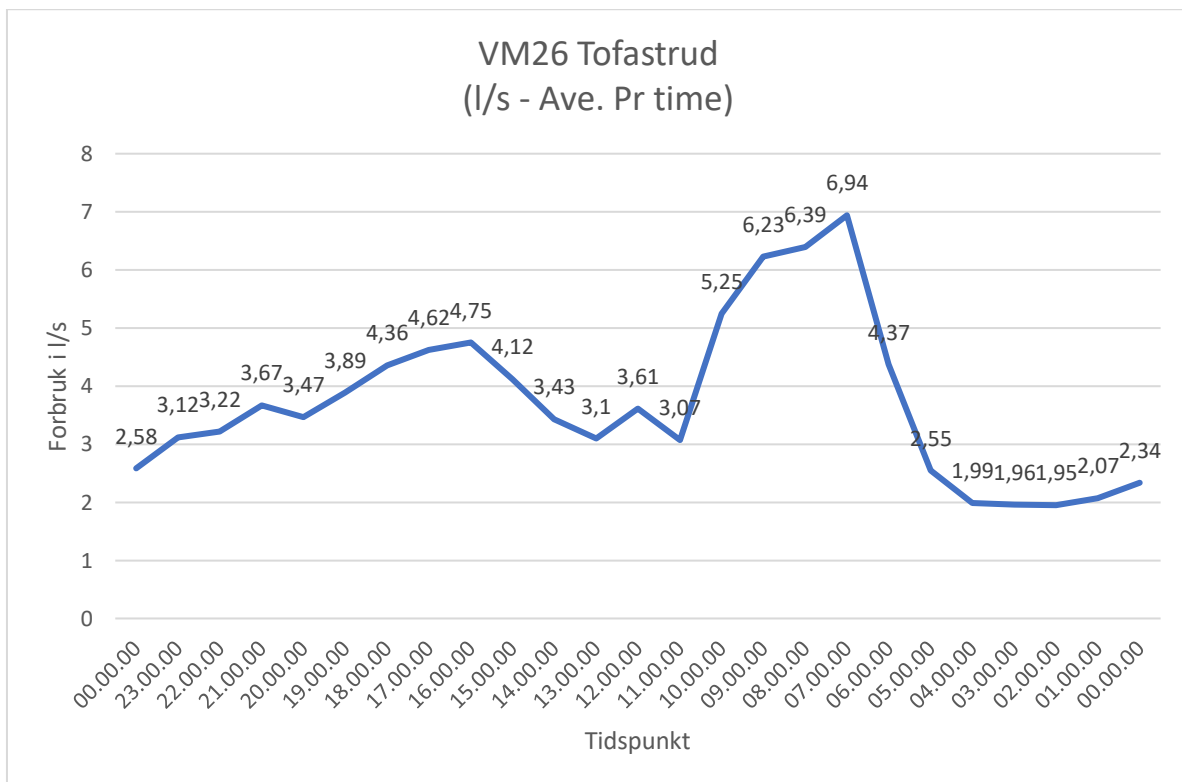
Vannforbruket varierer i ulike timer og døgn i året. Som det kommer frem i NV rapport 193, er det størst vannforbruk i døgnet på sommeren. Det skyldes for eksempel hagevanning, og vasking av bil og gater. Statistikken viser at det er størst vannforbruk om morgenen kl. 08:00 og rundt middagstider kl.16:00 (Melheim, 2012).

Siden beboere på Espa hovedsakelig forsynes fra private brønner, eksisterer det lite data fra målestasjoner som kan vise til deres variasjon av vannforbruket. Deres forbruk blir derfor

antatt beregnet til å samsvare med innhentede data fra målestasjoner i ringledningen for Tangen, i Stange Kommune.

Figur 6 viser til vannforbruket i l/s pr. time, for vannmåler i Tofastrud. Det kommer frem i figur 6 at det største vannforbruket er i tidsrommet kl.06 –10 og kl.15 –18. Figuren gir grunnlag for bestemmelse av timefaktor  $k_{maks}$ .

Forholdene er målt med data fra 5. Januar 2018, og er innhentet fra Stange kommune. Viser til utklipp fra Excel som vedlegg nr. 6.



Figur 6: Timeforbruk VM26 Tofastrud, utklipp fra Excel (laget 15.mars.2021).

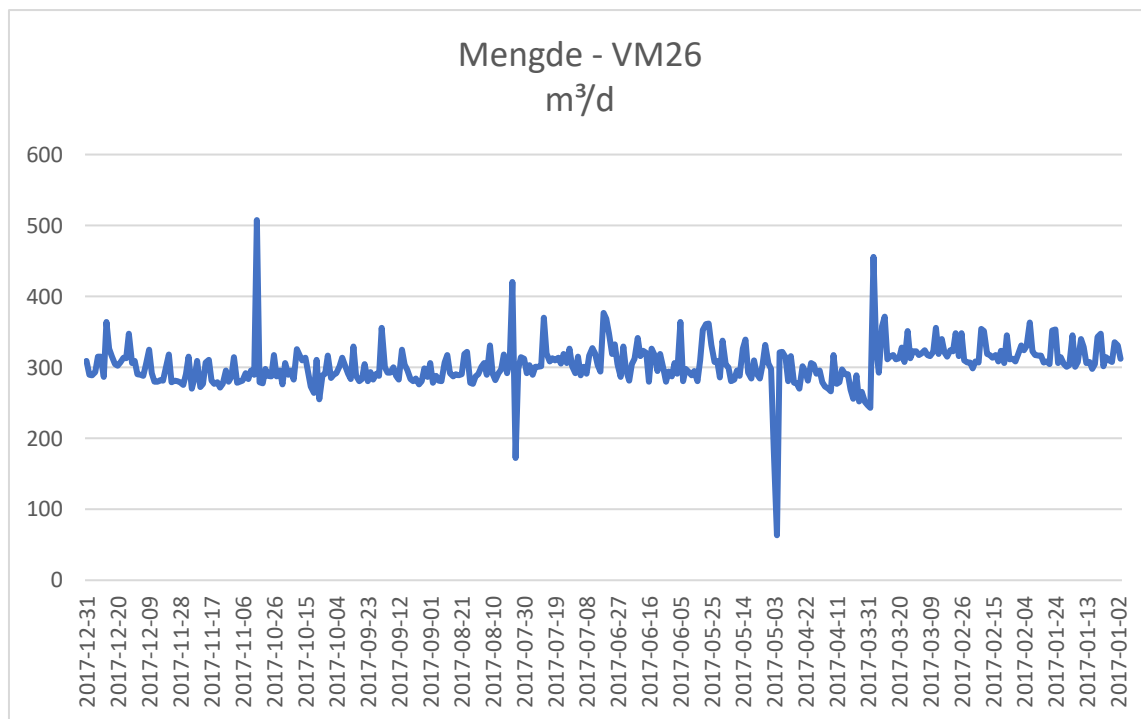
Variasjonskoeffisienten  $k_{maks}$  bestemmes etter timevariasjon over døgnet:

- Midlere målt vannforbruk i timen løpet av ett døgn,  $Q_{midl.h} = 3,77$  l/s
- Maks målt vannforbruk i timen løpet av ett døgn,  $Q_{maks.h} = 6,94$  l/s

$$k_{maks} = \frac{Q_{maks.h}}{Q_{midl.h}} = \frac{6,94}{3,77} \times \frac{l/s}{l/s} = 1.84$$

Figur 7 viser forbruk i m<sup>3</sup>/døgnet, for vannmåler i Tofastrud, og gir grunnlag for bestemmelse av døgnfaktoren  $f_{maks}$ .

Forholdene er målt med data over ett år, fra 01.januar 2017 til 31. desember 2017:

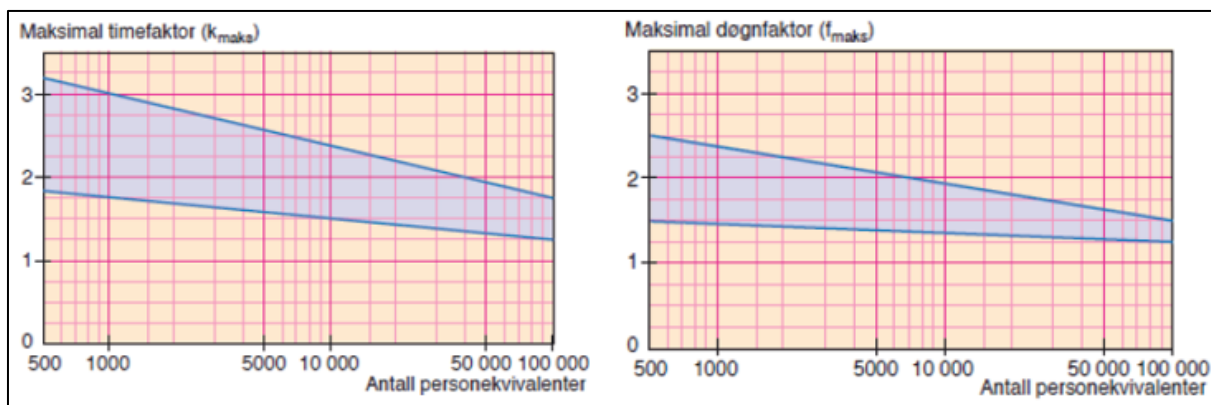


Figur 7: Døgnforbruk av vannmåler Tofastrud, utklipp fra Excel (laget 15.mars.2021).

Variasjonskoeffisienten  $f_{maks}$  bestemmes etter døgnavariasjon over et helt år:

- Midlere målt vannforbruk i døgnet i løpet av ett år,  $Q_{midl.d} = 304,05 \text{ m}^3/\text{døgn}$
- Maks målt vannforbruk i døgnet i løpet av ett år,  $Q_{maks.d} = 507,65 \text{ m}^3/\text{døgn}$

$$f_{maks} = \frac{Q_{maks.d}}{Q_{midl.d}} = \frac{507,05}{304,05} \times \frac{\text{m}^3/\text{døgn}}{\text{m}^3/\text{døgn}} = 1,66$$



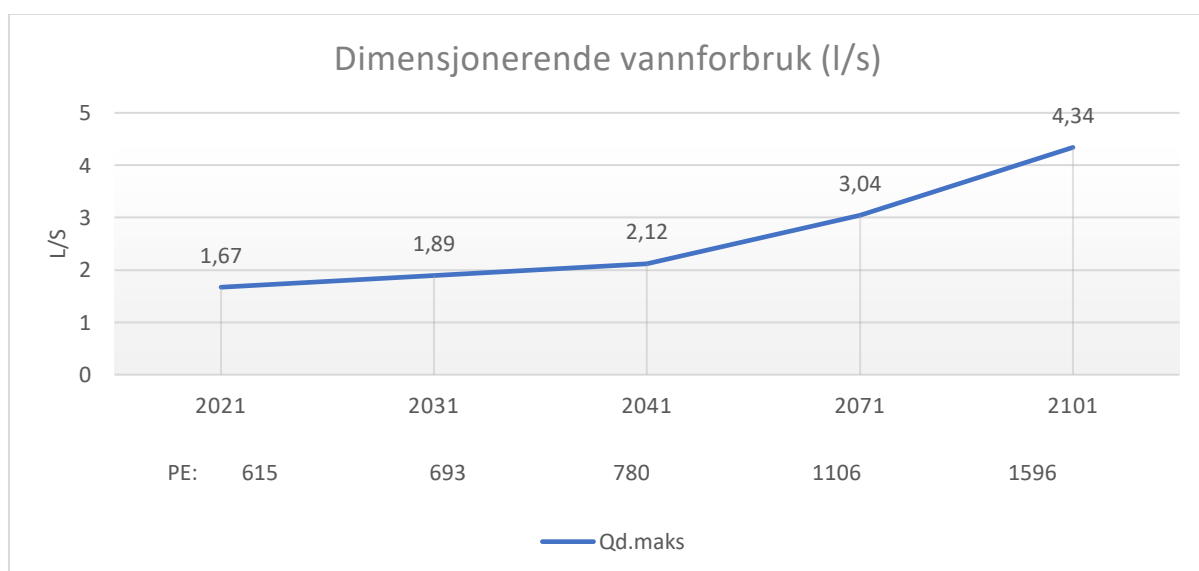
Figur 8: Døgn- og timefaktor, utklipp fra NorskVann rapport 193, s.26 (hentet 15.mars.2021).

Koeffisientene  $f_{maks} = 1,67$  og  $k_{maks} = 1,84$  er satt med bakgrunn i det varierende vannforbruket. Verdiene tilfredsstilles innenfor det blå feltet i figur 8, som angir anbefalte verdier med varierende vannforbruk mot antall Pe.

### 2.1.7 Dimensjonerende vannforbruk

Vannforbruket dimensjoneres etter vannforbruk per døgn.  $Q_{d.maks}$  og er det dimensjonerende vannforbruket for Espa. Figur 9 illustrerer nødvendig dimensjonerende vannforbruket for Espa.

$$Q_{d.maks} = \frac{(Pe \times Q_{hus} \times f_{maks}) + (Pe \times Q_{annet}) + (Pe \times Q_{lekk})}{24 \times 60 \times 60}$$



Figur 9: Framtidig dimensjonerende vannforbruk i Espa, utklipp fra Excel (laget 15.mars.2021)

## 2.2 HØYDEBASSENG

I utredning for alternativ 1. Sjøledning mellom Tangen og Espa, er det behov for et HB som mellomstasjon med vannbeholdning på Tangen. Dette delkapittelet viser til generell teori om HB og de ulike anvendte bassengtypene, med dimensjoneringsgrunnlag som er nødvendig ved bestemmelse av type og størrelse.

Det vises også til en kontrollberegning som estimerer den nødvendige kapasiteten for HB på Espa i framtiden. Dette gjøres for å finne egne verdier og tall for videre utredninger.

HB har som hensikt å lagre den nødvendige vannmengden i et basseng for et forsyningsområde, på en ønsket kotehøyde i forhold til kilde og forsyningsområde.

Et sitat hentet fra NV rapport 181, gjør rede for hovedfunksjonene til et drikkevannsbasseng (Skjærbakken, 2011)

- Utjevne variasjon mellom tilført vann og forbrukt vann. Dette utgjør utjevningvolumet ( $M_u$ ), for vannforsyningen og bidrar til å holde stabilt og riktig trykk i forsyningsområdet.
- Sikkerhet for å opprettholde vannforsyningen i en viss tid i tilfelle feil ved vannbehandlingsanlegg eller i overføringssystemene. Dette utgjør sikkerhetsvolumet ( $M_s$ )
- Sørge for tilstrekkelig mengde vann til brannslukking, brannreserve ( $M_b$ ).

Drikkevannsbasseng brukes som en vanlig del av vannforsyningssystemene i Norge, der det finnes flere varianter og utforminger for ulike funksjoner i distribusjons- og overføringsnettet.

### 2.2.1 Varianter av basseng

Bassengene har forskjellig påvirkning ut fra plassering i forhold til kilde og forsyningsområdet. NV rapport 181 er brukt ved definisjoner og beskrivelser på de ulike variantene av bassengtyper.

De fire mest anvendte typene av HB (Skjærbakken, 2011):

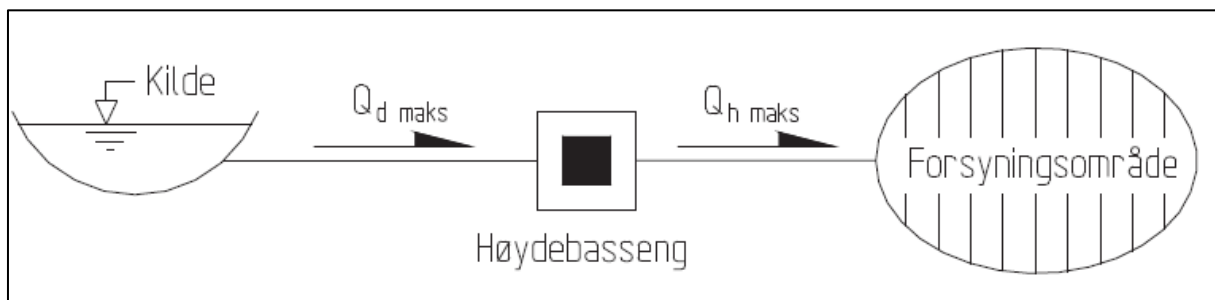
- Gjennomstrømningsbasseng
- Sidebasseng
- Motbasseng
- Tyngdepunktsbasseng

### Gjennomstrømningsbasseng:

Plasseres mellom kilde/vannbehandlingsanlegg og forsyningsområdet. Vann fra overføringsledning føres gjennom HB før forsyningsområdet.

Fordelen med denne typen basseng er at vannet blir stadig fornyet, og man unngår lang oppholdstid som kan forårsake bakteriegro i bassenget. (Skjærbakken, 2011)

Figur 10 illustrerer prinsippet for beregning av vannføringen  $Q$ , og plassering av HB i forhold til kilde og forsyningsområde.



Figur 10: Gjennomstrømningsbasseng, utklipp fra NV Rapport 181, s.25 (hentet 15.mars.2021).

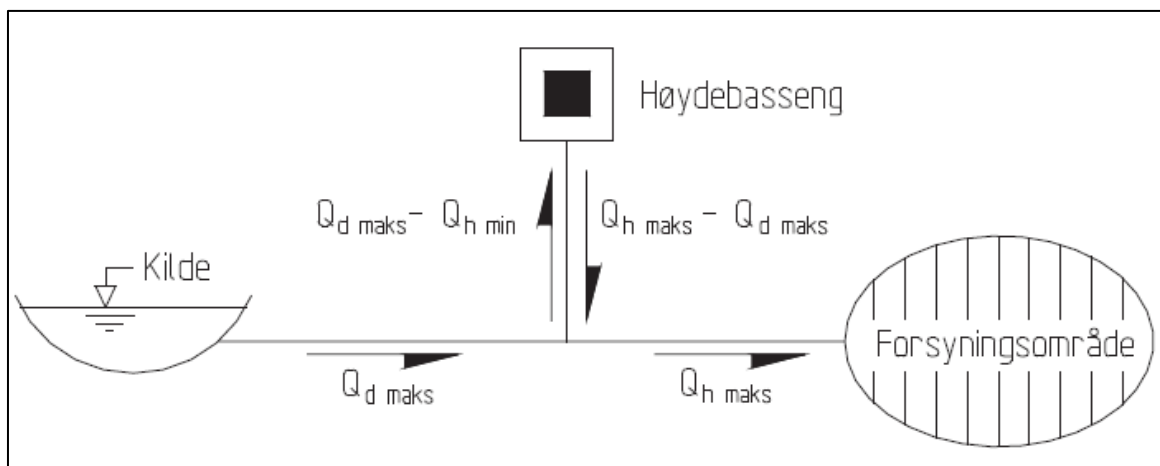
$Q_{d.maks}$  = Maksimalt døgnforbruk. Dimensjonert ledning inn på HB

$Q_{h.maks}$  = Maksimalt timeforbruk.. Dimensjonert ledning ut, inkl. Brannvannstapping.

### Sidebasseng:

Plasseres mellom kilde og forsyningsområdet slik som gjennomstrømningsbassenget, men er tilknyttet med egen ledning til overføringsledning. En løsning der HB forsyner vann ved perioder da det er høyt vannforbruk på forsyningsområdet, og fylles i perioder med lite vannforbruk. Det er felles ledning for vann inn/ut, så det er viktig med motorstyrt ventil på ledningen, slik at vannet i bassenget kan byttes ut før det får for lang oppholdstid. (Skjærbakken, 2011)

Figur 11 illustrerer prinsippet for beregning av vannføringen  $Q$ , og plassering av HB i forhold til kilde og forsyningsområde.



Figur 11: Sidebasseng, utklipp fra NV Rapport 181, s.26 (hentet 15.mars.2021).

$Q_{h.min}$  = Minimalt timeforbruk

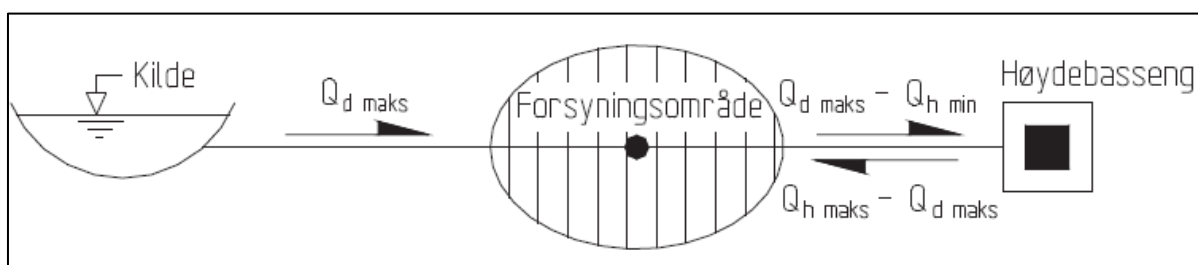
### Motbasseng:

Plasseres der hvor forsyningsområdet og kilden er geografisk plassert før HB. Med denne utførelsen blir vannet fra HB et supplement til vannet fra kilden. I perioder med lite belastning tappes vann direkte fra kilden, og suppleres med HB i perioder med høyere belastning.

Et motbasseng kan føre til lang oppholdstid av vannet i bassenget, og det anbefales derfor installasjon av motorstyrt ventil på ledningen mellom kilden og forsyningsområdet. På denne måten forsynes forbrukerne direkte fra HB over en periode, slik at alt vannet skiftes ut.

Utformingen på motbasseng er felles ledning for vann inn/ut. (Skjærbakken, 2011)

Figur 12 illustrerer prinsippet for beregning av vannføringen  $Q$ , og plassering av HB i forhold til kilde og forsyningsområde.

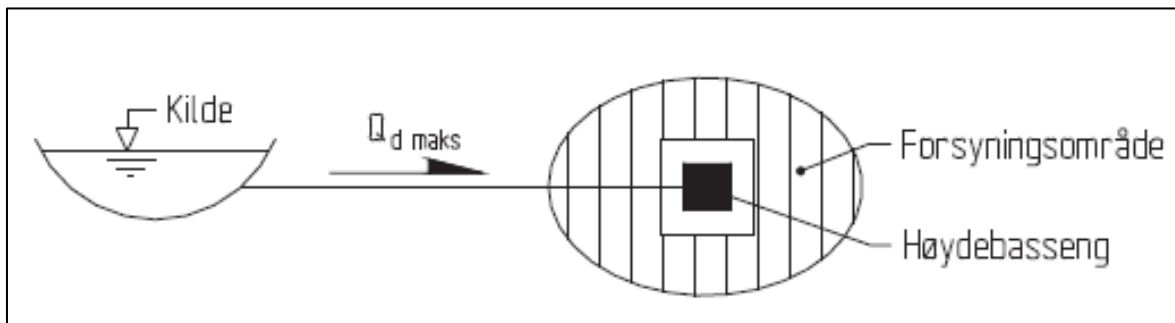


Figur 12: Motbasseng, utklipp fra NV Rapport 181, s.26 (hentet 15.mars.2021).



### Tyngdepunktsbasseng:

Plasseres i senteret/midten av et forsyningsområde. HB fungerer hydraulisk som et motbasseng, der bassenget fylles i perioder med lite vannforbruk og tappes i perioder med mye forbruk. Fordelen med denne utførelsen er at trykktapet i vannledningene blir minsket grunnet nær plassering av forsyningsområdet. Beregningen utføres på samme måte som ved motbasseng. (Skjærbakken, 2011)



Figur 13: Tyngdepunktsbasseng, utklipp fra NV Rapport 181, s.26 (hentet 15.mars.2021).

#### 2.2.2 Høydebasseng i Espa

I 2019 fikk Norconsult oppdrag fra Stange kommune om å dimensjonere et nytt HB for Espa. HB Espa skal som formål sikre tilstrekkelig kapasitet for en framtidig økning i vannforbruk, med en sikkerhetsreserve for 48 timer, utjevningvolum og slukkevann 40 l/s for 2 timer (144m<sup>3</sup>/t).

Høydebassenget er dimensjonert som et motbasseng, der behovet for bassengkapasiteten ble beregnet til 550m<sup>3</sup>.

Dimensjoneringsgrunnlaget som ble lagt til grunn fra Stange kommune er tillagt som vedlegg nr. 6, og utgjør følgende:

Forbruk:	120 l/p*d
Innbyggere, Pe:	1500 stk
Lekkasjer:	30 %
Total anslått års leveranse =	100.000 m <sup>3</sup> /år = 274 m <sup>3</sup> /døgn.

### 2.2.3 Dimensjonering av HB

#### Kontrollberegning HB- Espa

For å beregne mengden på framtidig vannbehov og dimensjonering på overføringsledninger er det utført en kontrollberegning på kapasiteten for bassengene i HB Espa. I

kontrollberegningen tas det utgangspunkt for dagens behov og ved behov om 10 år, 20 år, 50 år og 80 år.

Beregning av bassengvolum:

$$M_{tot} = M_u + M_s + M_b$$

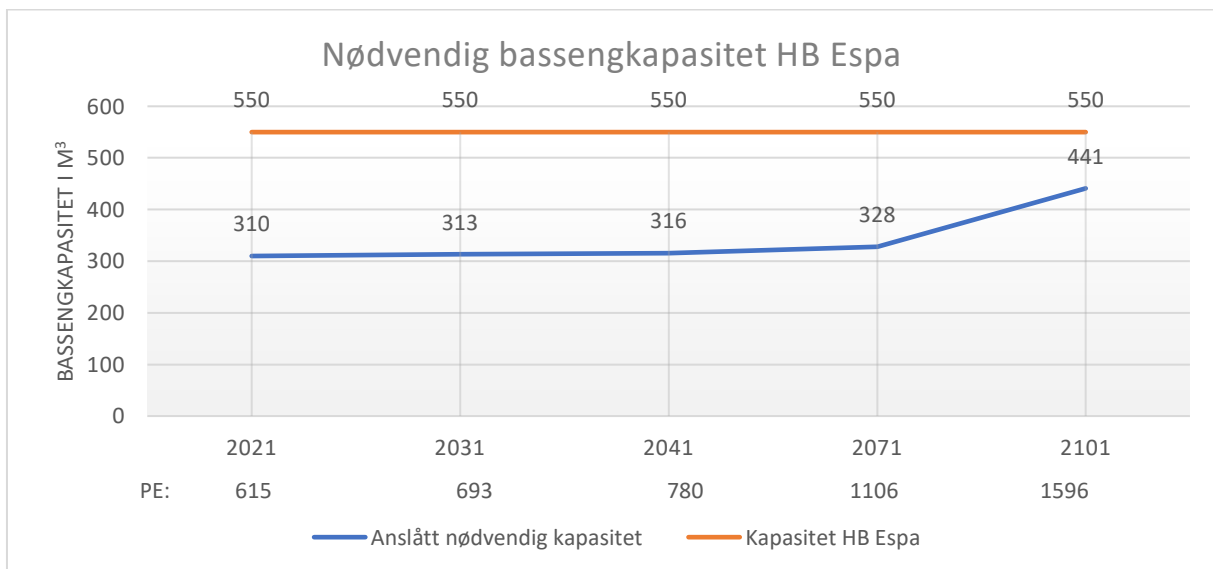
Hvor:  $M_{tot}$  = Bassengets totale nyttbare vannvolum

$M_u$  = Utjevningsvolum (30% av midlere døgnforbruk)

$M_s$  = Sikkerhetsreserve (48 timer \* midlere døgnforbruk)

$M_b$  = Brannvannreserve (288 m<sup>3</sup>)

Figur 14 viser til anslått verdi etter kontrollberegning, med nødvendig bassengkapasitet, over en fremtidsperiode på 100 år:



Figur 14: Nødvendig bassengkapasitet HB Espa, utklipp fra Excel (laget 15.mars.2021).

## 2.3 DISTRIBUTJONSLEDNING

### 2.3.1 Dimensjoneringsgrunnlag ledning

Ved dimensjonering av ledning er det vannforbruket som angir den indre diameteren. Det er viktig med riktig dimensjonert diameter for å opprettholde nødvendig trykk, strømningshastighet og samtidig redusere friksjon.

Indre diameter på en ledning velges ut ifra følgende formler og krav:

- **Vannmengden Q**, angis av  $Q_{\text{dmaks}}$ , som er beregnet i kapittel 2.1.7 Dimensjonerende vannforbruk.
- **Stigning I**, er stigningstallet som beregnes ut ifra høydeforskjellen i kotehøyde, mellom start- slutt på ledningen og lengden på ledningen.

$$I = \frac{\Delta h}{l} = \frac{\text{kote 1} - \text{kote 2}}{\text{lengde ledning}}$$

- **Friksjonskoeffisienten f**, definerer trykktapet i ledningen grunnet friksjon. Koeffisienten for friksjon finner man ved bruk av Nomogram og Moodys-diagram, vedlagt som vedlegg nr. 1 og nr. 2. Diagrammene gir mulighet for å beregne falltapet i røret og hentes inn ved bruk av følgende fremgangsmåte:
  - Finne antydnet diameter ved bruk av stigning I og vannmengde Q i Nomogram.
  - Bruk antydnet diameter for å finne Reynolds-tall og Relativ-ruhet.

$$\text{Relativ ruhet} = \frac{\varepsilon}{D} = \frac{\text{absolutt ruhet}}{\text{diameter}}$$

$$\text{Reynolds tall} = \frac{D \times V}{\mu} = \frac{\text{diameter} \times \text{strømningshastighet}}{\text{kinematisk viskositet}}$$

- Friksjonskoeffisienten f, finner man ved å legge inn verdiene for Reynolds-tall og Relativ-ruhet i Moodys-diagram.
- **Strømningshastigheten v**, finner man ved å se på vannmengden og antatt rørdiameter i kontinuitetsligningen.

$$v = Q \times \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \text{vannmengde} \times \pi \times \left(\frac{\text{diameter}}{2}\right)^2$$

Parameterne gir mulighet til å velge en indre diameter,  $d_i$ , som oppfyller nødvendig strømningshastighet, samtidig som det gir mulighet for å velge den diameteren som holder friksjonstapet så lavt som mulig, under de gitte rammene.

### **2.3.2 Ledningstyper**

Oppgaven undersøker to forskjellige kategorier av type ledninger: Ledninger på land og ledning i sjø. Ledning på land er ofte gravd ned i grunnen på en frostsikker dybde. Sjøledning senkes ned til bunnen i sjøen eller til en ønsket dybde, med vektbelastende lodd.

Utformingen til ledninger på land er generelt veldig enkle siden de kun har som krav å motstå trykket fra jordmassene rundt og holde det indre vanntrykket, uten at det oppstår brudd på ledningen med lekkasje.

Sjøledninger derimot, må istedenfor å motstå trykket fra jordmassene rundt, motstå vanntrykket som tilkommer ved ulike dybder. I tillegg må det ved dimensjonering tas hensyn for at luft i ledningen ikke fører til at ledningen får oppdrift mot vannoverflaten, etter den har blitt lagt ut i valgt trasé.

For å hindre uønsket oppdrift ved sjøledninger brukes det tradisjonelt vektete lodd, som påmonteres på utsiden av PE – ledningen, eller PP – kappen, i installasjonsprosessen.

Materialet som brukes for å lage rør og vannledninger har de siste årene blitt skiftet ut fra stål, betong og polyvinylklorid (PVC), til polyetylen (PE). PE- materiale innehar den høyeste motstandsdyktighet av de to ovennevnte, mot nedbryting i form av korrosjon og erosjon (Tragethon, 2021).

### **PE – ledning med lodd:**

Ved legging av sjøledning anvendes type ledning, PE100 - rør med eller uten en ytre PP- kappe/mantel og påmontert lodd.

PE100 – rør med PP- kappe, også omtalt som JAPI- pipe er den mest anvendte ledningstypen til sjøledning og ledning i grunn (Hallingplast AS, 2021).

Anvendte rør- materialer som polyetylen (PE) og polypropylen (PP) har en lavere massetetthet (densitet) enn vann. En monterer derfor betonglodd, etter å ha beregnet vekt og senteravstand, for å unngå oppdrift og for å oppnå en trygg nedsenkning av ledning til sjøbunn.

PP- kappen/mantelen er en beskyttelseskappe for PE-røret, som beskytter mot rift og riper, noe som kan oppstå under håndtering og installasjon.

#### Oppdrift på ledning:

Til beregning av oppdrift på PE- ledning med lodd er det nødvendig å vite densiteten på anvendt ledning, samt densitet på vannet som er omliggende og i ledningen.

Densitet( $\rho$ ), forholdet mellom masse og volum, der:

$$\rho_{PE-rør} = 961 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{pp} = 900 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{vann} = 997 \text{ kg/m}^3$$

Beregning av nødvendig vekt på lodd med senteravstand, beregnes etter vekt av fortrenget væske (oppdrift) og vekt av ledning med innhold.

$$M_{vann} = \rho_{vann} \times L \times \frac{\pi \times d_e^2}{4}$$

Der:

$M_{vann}$  = Masse vann  
 $d_e$  = Ytre diameter på ledning  
 $L$  = Lengde på ledning

Totale vekt på ledning med innhold:

$$M_{Ledn} = m_{ledn} + P \times m_{luft} + \rho_{vann} \times L \times (1 - P) \times \frac{\pi \times d_i^2}{4}$$

Der:

$M_{Ledn}$  = Masse ledning med innhold  
 $m_{ledn}$  = Masse ledning uten innhold  
 $d_i$  = Indre diameter på ledning  
 $P$  = Andel luftfylling i ledning (%)

Nødvendig belastning pr. meter ledning:

$$M_{Belastning} = f \times (M_{vann} - M_{Ledn})$$

Der:

$M_{Belastning}$  = Nødvendig belastning for å unngå oppdrift.  
 $f$  = Omregningsfaktor fra vekt i vann til vekt i luft:  $f_{ferskvann}$ : 1,72

Senteravstand på lodd:

Ønsket vekt på lodd velges, og senteravstanden mellom loddene beregnes etter:

$$CC = \frac{M_{Lodd}}{M_{Belastning}}$$

Der:

$CC$  = Senteravstand  
 $M_{Lodd}$  = Valgt vekt på lodd

## SESU – PIPE:

Dette er en mer moderne og stadig mer populær metode som blir brukt for utforming av sjøledning, som vi ble introdusert for i møte med Sverre Tragethon i Hallingplast. SESU-pipen omtales som synkerør og leveres ferdig fra fabrikk, med vektet rør, bestående av PE100- trykkrør, med lodd i PP- kappen. Den ytre PP- kappen/mantelen er mineralfylt med en jevnt fordelt vekt over hele ledningens spenn. Mineralet olivin benyttes som lodd i PP kappen og er et blandingsmineral mellom fosteritt og fayalitt  $(Mg,Fe)_2SiO_4$ . Olivin er et anerkjent industrimineral med gode egenskaper som høy egenvekt og er et meget miljøvennlig råstoff. Massetetthet,  $\rho_{\text{olivin}} = 330 \text{ kg/m}^3$  (Tragethon, 2021). SESU - PIPE leveres ferdig vektet fra fabrikk og krever ingen ekstra montering av ytre lodd i installasjonsprosessen.

Tabell 1:

Fordeler/ulemper type ledning, hentet fra intervju med Sverre Tragethon (laget 05.mars.2021).

<b>Fordeler PE-ledning med lodd:</b>	<b>Fordeler SESU-ledning med ferdig lodd:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>+ Større konkurransetilbud.</li><li>+ Billigere materialer.</li><li>+ Forutsigbar levetid etter erfaringstall.</li></ul> (Tragethon, 2021)	<ul style="list-style-type: none"><li>+ Kortere installasjonstid og enklere logistikk på byggeplass.</li><li>+ Krever bredde på grøfter i landtak</li><li>+ Ingen fare for brudd, korrosjons-/tæringsproblemer på bolter eller lodd.</li><li>+ Ingen fare for loddras ved nedsenking.</li><li>+ Kan benyttes ved NoDig i landtakene ut i sjøen.</li></ul> (Tragethon, 2021)
<b>Ulemper PE-ledning med lodd:</b>	<b>Ulemper SESU-ledning med ferdig lodd:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Korrosjons-/tæringsproblemer i lodd og bolter.</li><li>- Risiko for brudd i lodd.</li><li>- Større behov for bukseringshjelp fra land til vann.</li><li>- Mindre motstand mot utvendige belastninger og riper.</li><li>- Lengre installasjonstid.</li></ul> (Tragethon, 2021)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Kostnad.</li><li>- Mindre konkurransetilbud.</li></ul> (Tragethon, 2021)

## 2.4 PUMPESTASJON

Dette kapittelet gjør rede for pumpestasjoner på vannoverføringsledninger, med forklaring av funksjoner og hvilke krav og beregningsgrunnlag som må legges til grunn ved dimensjonering.

### 2.4.1 Elementer og installasjoner

NV rapport 193 gjør rede for elementer og installasjoner i en pumpestasjon for drikkevann, med forklarende eksempler (Melheim, 2012):

- **Pumper:** Løfter vannet i overføringsledninger.
- **Tilbakeslagsventiler:** Monteres der det er fare for at pumpen tømmes for vann når den er ute av drift. For å unngå luft i pumpe og ledning er det viktig med installasjon av denne.
- **Sikkerhetsventil:** Slipper ut vann, skulle det oppstå overtrykk i ledningen som kunne påføre skade på deler i installasjonen.
- **Frekvensomformer:** Installerer for å turtallstyre pumpene etter behov for kapasitet og trykk.
- **Vannmåler:** Installerer for å holde oversikt på overførte vannmengder
- **Trykkmålere:** Installerer foran og bak pumpen for å holde oversikt på vanntrykket, og effekten til pumpen.
- **Stengeventiler:** Monteres foran og bak alle installasjoner som må kunne løftes ut for reparasjon eller utskiftning.
- **Nødstrømsaggregat:** I viktige pumpestasjoner bør det tillegges en løsning for nødstrømsaggregat, ved strømbrudd.
- **PLS:** Styrings- og kommunikasjonssystemer for pumpestasjonen
- **Alarm og sikkerhetsutstyr:** Varslingssystem ved brudd, svikt og systemfeil

Ved pumping direkte på vann-nettet er det nødvendig med en løsning som gjør at ledningsnettets ikke blir trykkløst ved pumpestopp. Det man kan gjøre for å unngå pumpestopp er å benytte en turtallsregulering og styring etter innstilt trykk (Finsrud, 2013).



### **2.4.2 Pumper**

I henhold til NV rapport 193, anbefales det minimum to-, men helst flere pumper, ved en pumpestasjon på overføringsledning (Melheim, 2012). Fordelen med flere pumper er at det kan oppstå driftsstans ved en av pumpene under reparasjons- og vedlikeholdsarbeid. Med to, eller flere pumper, kan vannoverføringen holde samme kapasitet, selv under driftsstans på en pumpe. En annen fordel er at pumpene kan alterneres, som betyr at de veksler mellom drift.

Valg av type pumper baserer seg på hvilken oppbygning av pumpestasjon som er nødvendig. I de aller fleste tilfeller der pumpen skal løfte vannmengder opptil noen få titalls meter anvendes sentrifugalpumper, med ett- eller flertrinns frekvens. En sentrifugalpumpe består av roterende impellere, der en aksling går gjennom senter av impelleren og gjennom pumpehuset. I sentrifugalpumper er det kun en bevegelig del. Det gir fordel til redusert støy og slitasje, fremfor andre oppbygninger av pumper (Ødegaard, 2014).

### **2.4.3 Pumpehøyde**

For å finne nødvendig løftehøyde på pumper, kan det benyttes Bernoullis formel, der det tas utgangspunkt i bevaring av energi. Vannet i ledninger har 3 former for energi:

1. Potensiell energi
2. Kinetisk energi
3. Trykkenergi

Bernoullis formel:

$$Z_a + \frac{P_a}{\rho \times g} + \frac{V_a^2}{2 \times g} + h_p = Z_b + \frac{P_b}{\rho \times g} + \frac{V_b^2}{2 \times g} + h_f + h_s$$

I et lukket system med lik diameter på ledning, vil vanntrykket bevares. Tettheten på vannet forblir uforandret, og formel for nødvendig pumpehøyde,  $h_p$ , blir:

$$\rightarrow Z_a + h_p = Z_b + h_f + h_s$$

$$\rightarrow h_p = Z_b - Z_a + f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2 \times g} + k_s \times \frac{V^2}{2 \times g}$$

$$\rightarrow h_p = \Delta Z + \left( f \times \frac{L}{D} + k_s \right) \times \frac{V^2}{2 \times g}$$

Der:

$Z_a$  = Kvote moh. Start

$Z_b$  = Kvote moh. Slutt

$h_p$  = Nødvendig løftehøyde for pumper

$V$  = Vannhastighet, m/s

$\rho$  = Tetthet til vannet, kg/m<sup>3</sup>

$P$  = Vanntrykk, N/m<sup>2</sup>

$h_f$  = Friksjonstap/falltap, m

$h_s$  = Energitalp på punkt i vannstrømmen, m

$f$  = Friksjonskoeffisient

$D$  = Ledningens indre diameter, m

$k_s$  = Singulærtapskoeffisient

$h_p$  gir den nødvendige løftehøyden av vannet, som pumpene må dimensjoneres etter.

## 2.5 TRASÉVALG

Anleggelse av ny trase med vannledning vil berøre begge alternativer med vannforsyning til Espa. Dette delkapittelet gir en kort innføring i teori, krav og kriterier som må legges til grunn ved bestemmelse og anlegging av vannledninger i ny og eksisterende trasé.

### 2.5.1 Undervannsledninger

Ved trasevalg for sjøledning er det behov for forberedende arbeid som forundersøkelser og registreringer. En kartlegging av bunnforhold er nødvendig for å blant annet posisjonere dybdeforhold, behov for grøfter, sikring og tildekking. En kartlegging av bunnforhold utføres med singelstråle- eller multistråleekkolodd, og ved å studere topografiske kart fra sonar (Cowi AS, 2016). For generell veiledning og kontrolltiltak for å sikre et godt resultat benyttes VA/Miljø-blad nr.44: Legging av undervannsledninger.

### 2.5.2 Ledninger på land

#### NoDig

I Norge har grøftefri rørlegging vært anvendt siden 1960- tallet. De første rørene som ble renoverert med strømpeføring ble utført under Mjøs-aksjonen på begynnelsen av 70-tallet. (Sibbern, 2015)

Metoden anvendes som en erstatning av tradisjonelt gravearbeid og benyttes som rørinnføring i eksisterende rør, eller rørtrykking i urørt terreng.

Håndboken NoDig beskriver metoder for eksisterende VA ledninger, der de klassifiseres i tre metoder (Sibbern, 2015):

- **Strukturelle metoder:** Der den nye ledningen alene kan motstå opptredende krefter fra omgivelsene gjennom levetiden.
- **Semi- strukturelle metoder:** Der den nye ledningen er delvis avhengig av støtte fra eksisterende rør.
- **Ikke- strukturelle metoder:** Der den nye ledninger er helt avhengig av eksisterende rør for å motstå opptredende krefter.

NoDig- metoden anbefales utredet i ledningsanleggelse, spesielt der det er eksisterende infrastruktur og ved kryssing av veg og jernbane. NoDig kan være en ressursbesparende metode på ledningsfornyelse ved eksisterende og nye ledninger fordi det unngås gravearbeid med nødvendig oppbygning av overdekning og legging av ny asfalt

**No-Dig rørtrykking:**

Det er flere varianter av denne metoden, men prinsippet er at røret trykkes med åpen front under veier, jernbane og andre kortere strekninger, normalt under 60 meter. Grunnmassene trykkes inn i røret og fjernes etter anleggelse ved naverboring eller trykkluft/spyling. Rørtyper som benyttes er både betong, glaserte leirrør, GRP og stål.

På forslag om vanntilførsel til Espa fra Tangen, via sjøledning, vil det være en fordel med utredning for rørtrykking ved kryssing av rv.222. Ved bruk av rørtrykking vil ikke trafikken på rv.222 bli berørt, og kan derfor fungere som normalt under arbeidet.

Det er en forutsetning med geotekniske undersøkelser, men boremetoder som innbefatter styrt boring i løsmasser, kan med fordel brukes i vernede områder, bymiljøer og boligområder, under elver, veier og jernbaner.

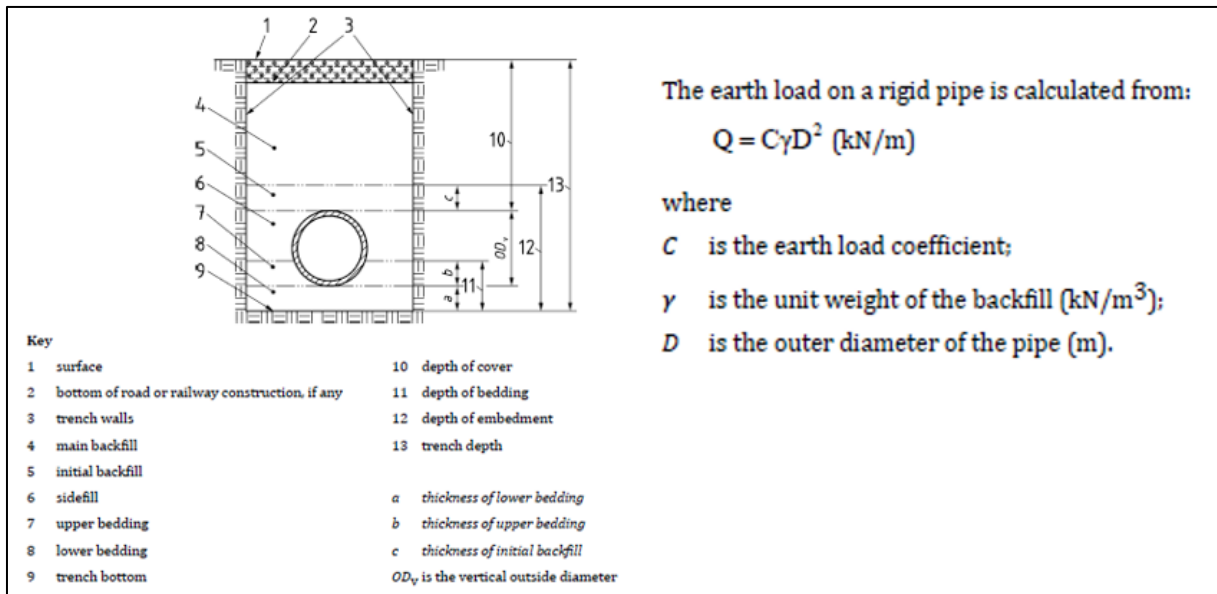
**No- Dig rørinnføring:**

Med denne metoden føres et nytt rør/ledning inn i et eksisterende gammelt rør. Ved ledningsfornyelse er denne metoden ofte brukt, der det trekkes ny PE- ledning gjennom gammel eksisterende ledning.

**Styrke og overdekning**

VA- normen for Stange Kommune og NS-EN 1295-1:2019 legges til grunn ved bestemmelse av overdekning under ferdig opparbeidet terreng og gate.

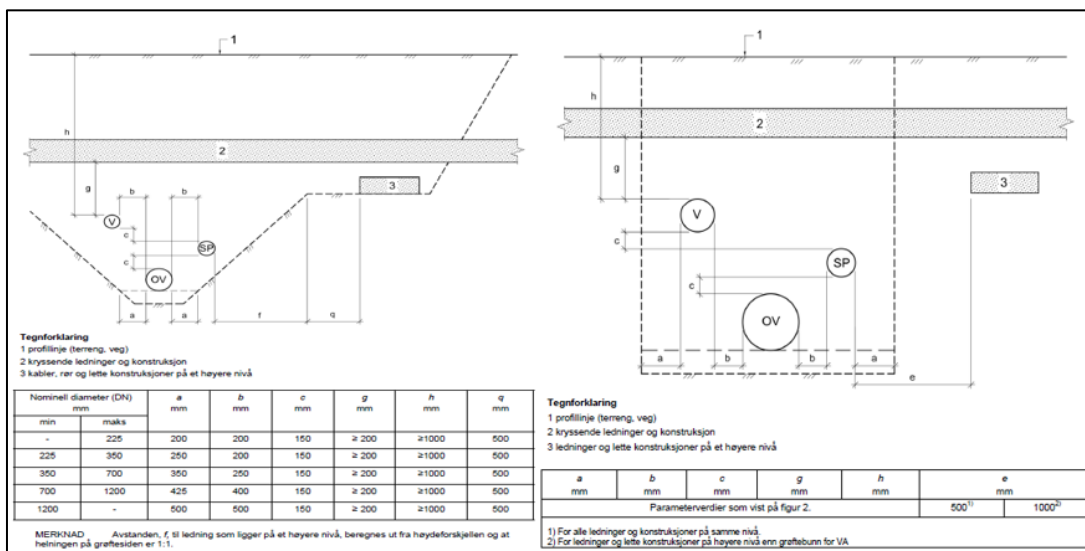
Ifølge VA-normen for Stange kommune, pkt. 5.5: Skal kommunale vannledninger legges med en overdekning på 1,5- 2,5 meter under ferdig opparbeidet gate/terreng. Ved legging av kommunal vannledning grunnere enn 1,5 m eller dypere enn 2,5 m må det innhentes tillatelse fra VA-ansvarlig i kommunen (VA-Norm Stange kommune, 2021). Ifølge NS-EN 1295-1:2019 skal grøftlegging med singel vannledning og styrkeberegning på overdekning, utføres og beregnes etter anvisning i figur 15 (Norsk Standard, 2019).



Figur 15: Utførelse og beregning av grøftlegging, utklipp fra NS-EN 1295-1:2019, s.8 grøftlegging og s.28 jordbelastning (hentet 15.mars.2021).

## Samordning av ledninger i grunnen

NS2070-1:2015 legges til grunn ved samordning av ledninger i grunnen. Samordning av ledninger og infrastruktur i grunnen, kan utgjøre store økonomiske besparelser for kommune og samfunn (Norsk Standard, 2015). I prosjekteringsfasen bør det derfor utføres utredninger på framtidig overvann, avløp og andre rørføringer innenfor det berørte området. Utredning bør gjennomføres for å organisere eventuelle samordninger av ledninger på traséen. Figur 16 illustrer anleggelse på ledninger, med illustrerte nivåer i grunnen.



Figur 16: Samordning av ledninger i grunnen, utklipp fra NS3070-1:2015, s.10 og S.11 (hentet 15.mars.2021).

## 2.6 VANNBEHANDLING

I dette delkapittelet følger en redegjørelse for hva som ligger til grunn ved bestemmelse av rensemetoder, med deres funksjoner i prosessen og hvilke kriterier som må oppfylles for å tilfredsstillere krav fra myndighetene om rent drikkevann.

NV rapport 212, beskriver oppgaven til et vannbehandlingsanlegg som å oppgradere kvaliteten til drikkevannet, i henhold til krav fra myndighetene (Ødegaard, et al., 2015).

Myndighetene setter strenge krav til drikkevannet, når et VBH skal forsyne > 50 Pe.

Myndighetenes forskrift om vannforsyning og drikkevann (drikkevannsforskriften), med grenseverdier og tiltaksgrenser er gjeldene ved utredning av VBA (Lovdata, 2016).

I oppstarten på planlegging til et nytt VBA og valg av vannkilde er det innhentet data fra NV rapport 216: Veiledning i planlegging av vannkilde og vannbehandlingsanlegg. Rapporten gir veiledning for de ulike fem fasene som inngår i planlegging av VBA og kildevalg.

Tidsomfanget på fasene er estimert med et tidsforbruk fra 4 år og 9 mnd, til 11 år (Andersen & Senneset, 2015). Det store spriket mellom tidsestimeringene bestemmes blant annet av behandlingstider på søknader, endringer i reguleringsplaner på politisk, kommunalt og administrativt nivå, samt de varierte analyser og utredninger som må gjennomføres.

Som beskrevet i kapittel 1.6 lover og regler, fordrer VBA flere rensetrinn og hygieniske barrierer. En av rammebetingelsene er at råvann skal sendes gjennom minimum to hygieniske barrierer, før det føres ut på forsyningsnettet. Hygieniske barrierer skal sikre at virus, parasitter og bakterier fjernes fra drikkevannet, i tillegg til sedimenter, humus og farge.

I forlengelse av dette, vil det videre i dette delkapittelet vises til varierte kilder med råvann. Vannkildene gir grunnlaget for bestemmelser av rensemetoder med tilhørende rensetrinn og prosesser.

### 2.6.1 Mjøsa som drikkevannskilde

#### **Vannkvalitet:**

Verdier for råvannskvaliteten i kilden baserer seg på data fra en målestasjon i Mjøsa på høyde med tettstedet Skreia. Denne målestasjonen brukes, siden det er den som er nærmest forsyningsområdet på Espa. NIVA har samlet følgende tall fra målestasjonen i årsrapport fra 2019: Tiltaksorientert overvåking i vannområde Mjøsa:

Tabell 2:

Måleverdier av vannkvaliteten ved Skreia-målestasjon, utklipp fra NIVA årsrapport 2019 om tiltaksorientert overvåking i vannområde Mjøsa (hentet 25.april.2021).

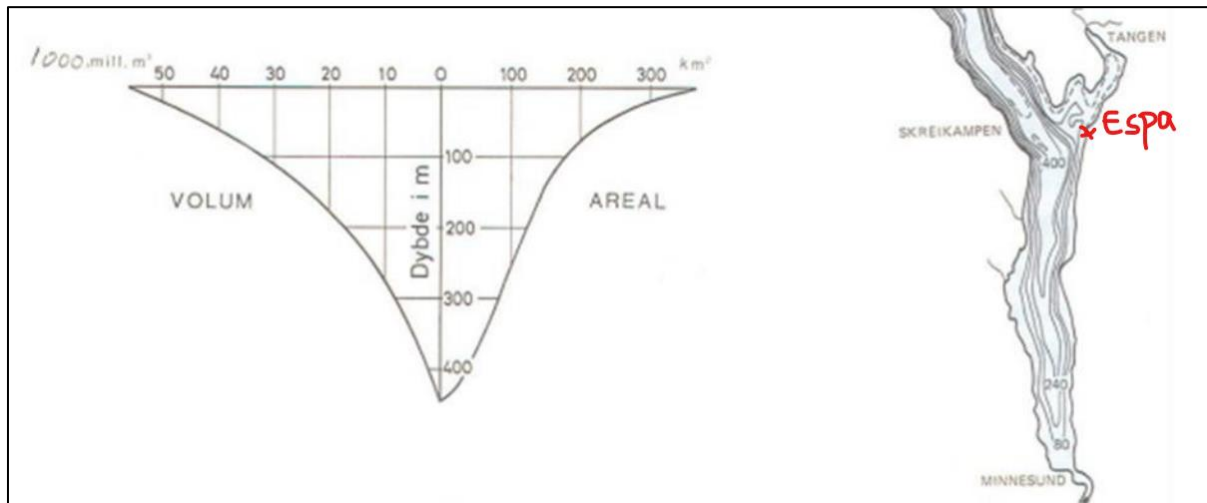
pH	Alkalitet	Fargetall	TOC	Turbiditet	Ledningsevne	Kalsium
7,3	0,24	11,7	2,2	0,7	4,4	5,8 mgCa/l
	mmol/l	mgPt/l	mgC/l	FNU	mS/m	

Måleverdiene som NIVA har oppsamlet, har gitt et grunnlag til å kategorisere Mjøsa i dette området som en klart og lite humuspåvirket innsjø (Solheim, et al., 2020).

En annen rapport fra NIVA, som ble laget i 2019, etter at det hadde vært brann i et avløpsrensaneanlegg på Skreia, viste til sterk økning av skadelige mikroorganismer i Mjøsa. Det ble målt forekomst av E.coli, med et antall på 48/100 ml og interne enterokokker med et antall på 12/100 ml. Dette ble målt fra en ekstern målestasjon på Espa (Økelsrud, et al., 2019).

### Grunnforhold:

Grunnforholdet i Mjøsa utenfor Espa, undersøkes med oppdragsgiverens ønske om å bruke Mjøsa som drikkevannskilde. Undersøkelsen for grunnforhold støttes på dybdekart fra NIVA sin årsrapport fra 2013, om tiltaksorientert overvåking i vannområde Mjøsa.



Figur 17: Dybdeprofilen av Mjøsa, utklipp fra NIVA sin årsrapport 2013 om tiltaksorientert overvåking i vannområde Mjøsa, side 84 (hentet 22.april.2021).

Som det vises på dybdeprofil i figur 17, faller sjøkanten utenfor Espa bratt ned til en dybde på rundt 400 meter under vannspeilet (Solheim, et al., 2020).

Tar man for seg Mjøsa i høyde med Hestneskrysset på Espa, så har Mjøsa en bredde på 4000 meter og dermed en gjennomsnittlig helning på 200 i promille.

### **Flomfare:**

Plasseringen av et VBA mellom råvannskilden og forsyningsområdet, ligger som vanlig ved sjøkanten i de tilfeller der det er større overflatevannkilder. For å bestemme en trygg plassering av VBA i forhold til faremomenter som flom, er det viktig å finne verdier til vannstand på flom over perioder. Det benyttes NVE sin rapport om flomsonekart for delprosjektet Hamar. T.3 viser til tabell med vannhøyder av middelflom til 500- årsflom i området for- og rundt Hamar:

Tabell 3:

*Høyden på middelflom til 500 år flom i Hamarregionen, utklipp fra NVE rapport flomsone delprosjekt Hamar, side 14 (hentet 22.april.2021).*

<b>Flom</b>	<b>H<sub>Middelflom</sub></b>	<b>H<sub>10</sub></b>	<b>H<sub>20</sub></b>	<b>H<sub>50</sub></b>	<b>H<sub>100</sub></b>	<b>H<sub>200</sub></b>	<b>H<sub>500</sub></b>
<b>Meter over havet</b>	123,51	124,19	124,60	125,23	125,78	126,43	127,44

Det vises at forslaget for vannbehandlingsanlegg må ta høyde for arealer rundt Mjøsa som ligger under grensen for 500-årsflommen, som er på 127,44 meter over havet (Naserzadeh & Pereira, 2005).

### **2.6.2 Inntak VBA**

Ved dimensjonering av vanninntak under vann er det bestemte funksjonskrav og begrensninger som må legges til grunn. VA/Miljø-blad nr. 45: Inntak under vann, gir en generell veiledning om legging av inntaksledninger og hvilket tiltak som kan gjøres for å sikre et godt resultat (Cowi AS, 2018).

Kilder for inntak av drikkevannet til et VBA, skiller ifølge NV rapporten 212 mellom overflate- og grunnvannskilder (Ødegaard, et al., 2015):

Tabell 4:

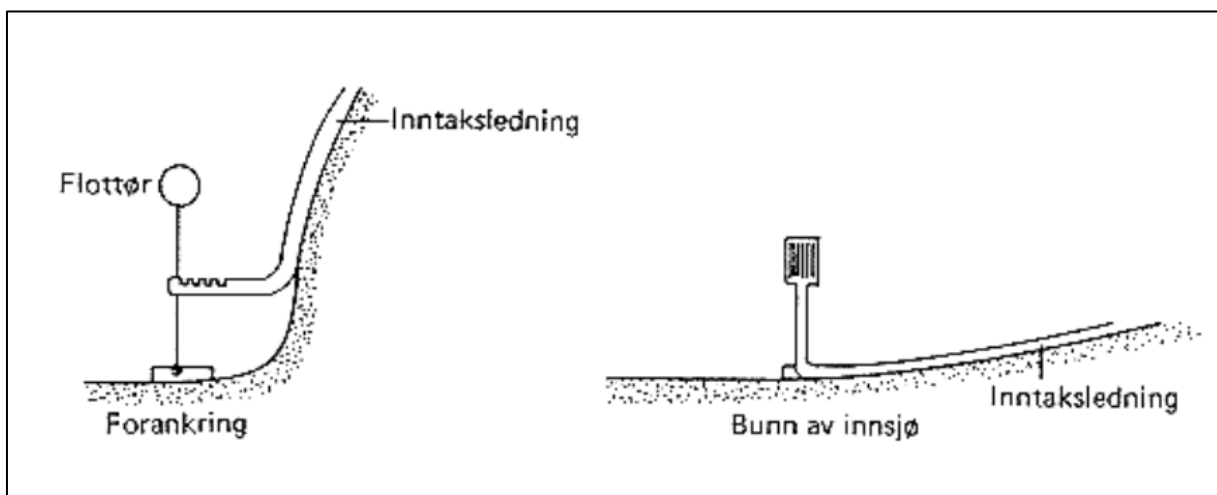
*Ulike vannkilder, utdrag fra Norsk Vann rapport 212, side 109 (hentet 20.april.2021).*

<b>Overflatevannkilder</b>	<b>Grunnvannskilder</b>
Store, dype, og lite humuspåvirkede innsjøer.	Grunnvann i løsmasser.
Humuspåvirkede innsjøer.	Grunnvann i fjell.
Eutrofierte innsjøer.	Grunnvann fra infiltrert overflatevann.
Elver og bekker.	Saltvann og brakkevann.



Ønsket kilde fra oppdragsgiveren er, som nevnt, Mjøsa. Mjøsa er en stor, dyp og lite humuspåvirkede innsjø. Dermed vil det plasseres ett inntak som i teorien skal være utformet slik at det fyller følgende krav fra FHI sin vannrapport 127:

- **Inntaket anbefales plassert i en dybde på minst 20 – 30 meter** for å ta bruk av temperatursprangskiktene og dermed hente inn vann fra hypolimnion (dypvannslag). Vann fra dette dybdelaget regnes som et stabilt og trygt vannlag, grunnet konstante temperaturforhold (Andersen, 2016).
- **Inntaket anbefales plassert 1,5 – 2,0 meter over bunn** for å unngå innsug av slam og organismer fra bunnen (Andersen, 2016).
- **Inntaksstussen anbefales utformet med et grovsil** for å hindre innsug av fisk og større planterester (Andersen, 2016).



Figur 18: Utforminger av drikkevannsinntak i innsjøer, utklipp fra FHI vannrapport 127, side 101 (hentet 22.april.2021).

### 2.6.3 Renseanlegg

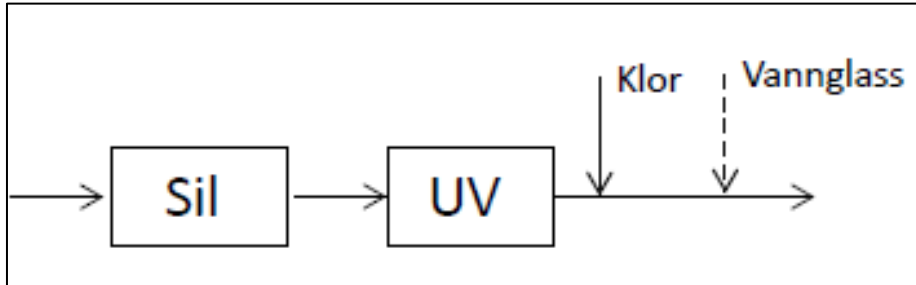
I denne delen av oppgaven ønsker vi å introdusere renseanlegg som er bygget opp med rensemetoder som skal være tilstrekkelige for å levere drikkevann ihht.

*Drikkevannsforskriften*. Forholdene kategoriseres med *lite humuspåvirkede innsjøer*, og behandlingen blir videre beskrevet med prinsippsskisser. Ifølge NV rapport 212, er oppbygningen med disse metodene blant de standardiserte som er anvendt i Norske VBA (Ødegaard, et al., 2015).

Minimumsbehandling på drikkevann som tilfredsstillter krav til hygieniske barrierer i *Drikkevannsforskriften*, figur 11.

NV rapport 212 oppgir denne behandlingen som et minimumskrav, og er gjeldene når fargetallet i råvannet er < 20 mg Pt/l. Der kilden på råvannet innehar en tilstrekkelig kvalitet, kan denne behandlingen være et gunstig alternativ, da det viser seg at dette er den rimeligste behandlingsløsningen for et VBA (Ødegaard, et al., 2015).

Prinsippskisse med minimumsbehandling, råvann inn og drikkevann ut:

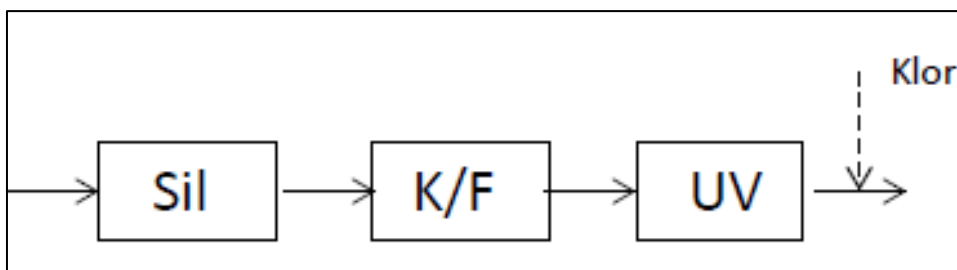


Figur 19: Skissert oppbygning av et minimumsbehandlingsanlegg på drikkevann ved lite humuspåvirkede innsjøer, utklipp fra NV rapport 212, side 111 (hentet 24.april.2021).

### 2.6.3.1 Koagulering/filtreringsanlegg

Utover minimumsbehandlingen er det tillagt et rensetrinn med koagulering/filtrering, mellom sil og UV. Hvis det er variasjoner, til tider med høy turbiditet og fargeverdier fra råvannet, kan det være nødvendig med en ekstra barriere for å sikre tilstrekkelig rensing av drikkevannet (Ødegaard, et al., 2015).

Prinsippskisse koagulering/filtreringsanlegg:

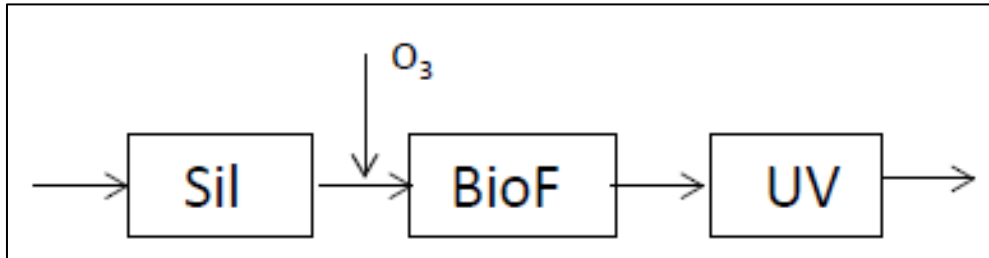


Figur 20: Skissert oppbygning av et koagulerings/filtreringsanlegg, utklipp fra NV Rapport 212, side 112 (hentet 24.april.2021).

### 2.6.3.2 Ozonering/biofiltreringsanlegg

Ozonering og biofilter tillegges som rensetrinn i minimal vannbehandling, der det er moderat høye verdier for farge, jern/mangan og/eller smak og lukt (Ødegaard, et al., 2015).

Prinsippskisse ozonering/biofiltreringsanlegg:



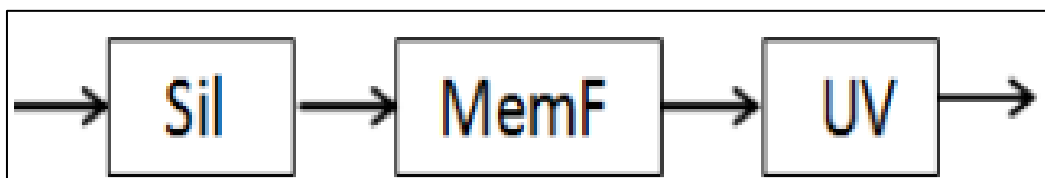
Figur 21: Skissert oppbygning av et ozonering/biofiltreringsanlegg, utklipp fra NV Rapport 212, side 112 (hentet 24.april.2021).

### 2.6.3.3 Membranfiltreringsanlegg

Membranfilteranlegg og spesielt nano- membranfilteranlegg er mest brukt for fjerning av humus, i små og mellomstore anlegg i Norge (Ødegaard, et al., 2015).

Anlegget består av porøse membranfiltre som vannet presses gjennom med høyt trykk. Membrantykkelsene har en trykkdifferanse fra 0,1 – 200 bar, og filtrerer partikler og molekyler i størrelsen 0,0001 – 100  $\mu\text{m}$ . Poreåpningene i membranen varierer etter filtreringsbehov og type membranfiltrering, i størrelsesorden  $< 1 \text{ nm} - 100\text{nm}$  (Ødegaard, et al., 2015).

Prinsippskisse membranfiltreringsanlegg:



Figur 22: Skissert oppbygning av et membranfilteranlegg, utklipp VA-blad 17, side 7 (hentet 26.april.2021).

#### 2.6.4 Rensemeter

Med bakgrunn til de ovennevnte renseanlegg som brukes ved lite humuspåvirkede innsjøer, brukes NV- rapporter til å redegjøre for de ulike resemeter og resemetrinn. Basert på Mjøsa som kilde og myndighetenes krav ved forsyning til > 50 Pe, skal det som nevnt være minimum to hygieniske barrierer i resemetrinnene. Barrierene sikrer et rent drikkevann som er fri for bakterier, parasitter, virus, lukt og smak.

Med Mjøsa som kilde baseres resemeterne ut ifra valgte parametere, som kategoriserer vannbehandlingen i innsjøer med liten grad av humuspåvirkning.

Anvendte begreper og uttrykk som kommer frem:

- Ct- verdier = Ct (cycle threshold), sier noe om hvor mange sykluser man behøver før resultatet blir positivt. Det vil tilsi at for eksempel ved stor forekomst av et virus på en prøve, vil det forekomme færre sykluser for å få et positivt resultat. Derav lavere Ct- verdi. Og i motsetning ved mindre forekomst av virus, vil det forekomme større Ct- verdi. Desto større Ct- verdien er, jo mindre inneholder prøven viruset.
- NOM = Naturlig organisk materiale.
- Humus = Humus er organiske materialer, kolloider eller partikler som dannes ved nedbryting av plante- og dyrerester.
- DOC = Dissolved organic carbon. Dette er oppløst organisk karbon, verdier benyttes ved dimensjonering av resemetrinn.
- TOC = Total organic carbon. Totale organiske karbon, verdier benyttes ved dimensjonering av resemetrinn.

### 2.6.4.1 Forbehandling/Sil

Etter vanninntak fra kilden pumpes råvannet gjennom siler for å fange opp og filtrere vekk de største sedimentene før neste behandling. Den mekaniske forbehandlingen består som regel av siler med tre varierte lysåpninger (Ødegaard, et al., 2015).

#### Standardiserte sil- typer:

Tabell 5:

Verdier for dimensjoneringsdata for siler, utklipp fra NV rapport 212, side 16 (hentet 24.april.2021).

Siltype	Lysåpning (mm)	$v_s$ (mm/s) <sup>1</sup>
Grovsil	1,0 - 5,0	150 - 200
Finsil	0,1 - 1,0	50 - 100
Mikrosil	0,01 - 0,1	5 - 50

<sup>1</sup> $v_s$  = Dimensjonerende gjennomstrømningshastighet beregnet på neddykket flate (mm/s)

### 2.6.4.2 Kjemisk forbehandling (koagulering/filtrering)

Det første trinnet for å fjerne en hygienisk barriere, i et koagulerings-/filtreringsanlegg, består i å fjerne partikler og humus i råvannet ved å tilsette koagulanter.

Koagulantene har som oppgave å destabilisere humusmolekyler og kolloider, slik at det dannes større fnokker. Fnokkdannelse (aggregerer), er en kjemisk prosess som binder koagulentene sammen med partikler og andre organiske stoffer. Fnokkene fanges deretter opp i rister ved neste rensetrinn.

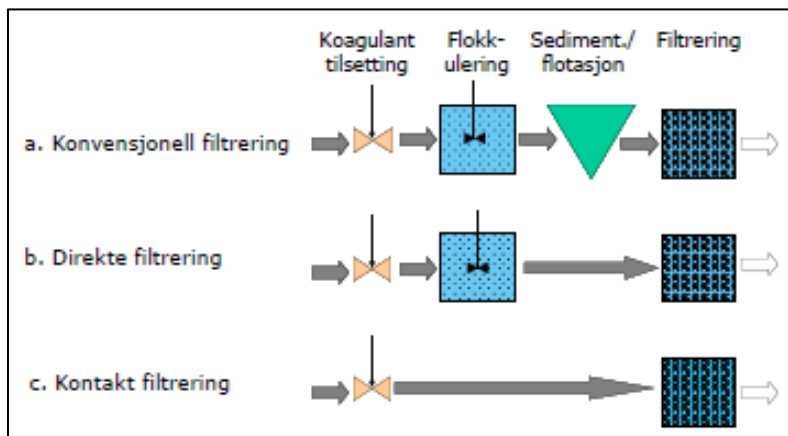
Tabell 6 viser til en oversikt over de koagulanter og andre kjemikalier, som benyttes i et koaguleringsanlegg.

Tabell 6:

Oversikt over koagulanter og kjemikalier, utklipp fra NV rapport 212, side 19 (hentet 24.april.2021).

Klassifisering av kjemikallium	Kjemisk formel	Molekylvekt (g/mol)	Anvendelsesområde
<b>Koagulanter</b>			
Aluminiumsulfat	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$	594,4	Primær koagulant
Aluminiumklorid	$AlCl_3$	160,3	Brukes i blandinger med organiske polymerer
Polyaluminiumklorid	$Al_x(OH)_y(Cl)_z$	Variabel	Primær koagulant
Polyaluminiumsulfat	$Al_x(OH)_y(SO_4)_z$	Variabel	Primær koagulant produsert på stedet
Jernklorid	$FeCl_3$	162,2	Primær koagulant
Jernsulfat	$Fe_2(SO_4)_3$	400,0	Primær koagulant
Jernkloridsulfat	$FeClSO_4$	187,4	Primær koagulant
Polyjernkloridsulfat	$Fe_x(OH)_y(Cl)_z(SO_4)_t$	Variabel	Primær koagulant produsert på stedet
Kitosan		Variabel	Organisk primær koagulant/flokkulant
<b>Hjelpekoagulanter</b>			
Natriumsilikat/ aktivert silika	$Na_2O(SiO_2)_{3,25}$	242-1562	Hjelpekoagulant surgjort på stedet -
Bentonitt	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	258	
Syntetiske polymerer	Variabel	Variabel	Koagulant (kationiske) og flokkulant
<b>Kjemikalier for pH-korreksjon</b>			
Kalsiumhydroksid	$Ca(OH)_2$	60,0	For pH-, alkalitet- og kalsiumkorreksjon
Natriumhydroksid	$NaOH$	40,0	For pH- og alkalitetskorreksjon
Natriumbikarbonat	$Na_2CO_3$	106,0	For pH- og alkalitetskorreksjon
Kalsiumkarbonat	$CaCO_3$	100,0	For pH-, alkalitet og kalsiumkorreksjon
Karbondioksid	$CO_2$	44,0	For pH- og alkalitetskorreksjon

Prinsippskisse for konvensjonell-, direkte- og kontakt filtrering:



Figur 23: Illustrerer oppbygningen av et koaguleringsanlegg, utklipp fra Norsk Vann rapport 212, side 18 (hentet 24.april.2021).

Ved mindre partikkelmengder i vannet kan man utelate sedimentering og evt. Flotasjon og gå direkte til filtrering (Ødegaard, et al., 2015).

#### **2.6.4.3 Ozon og biofiltrering (OBF)**

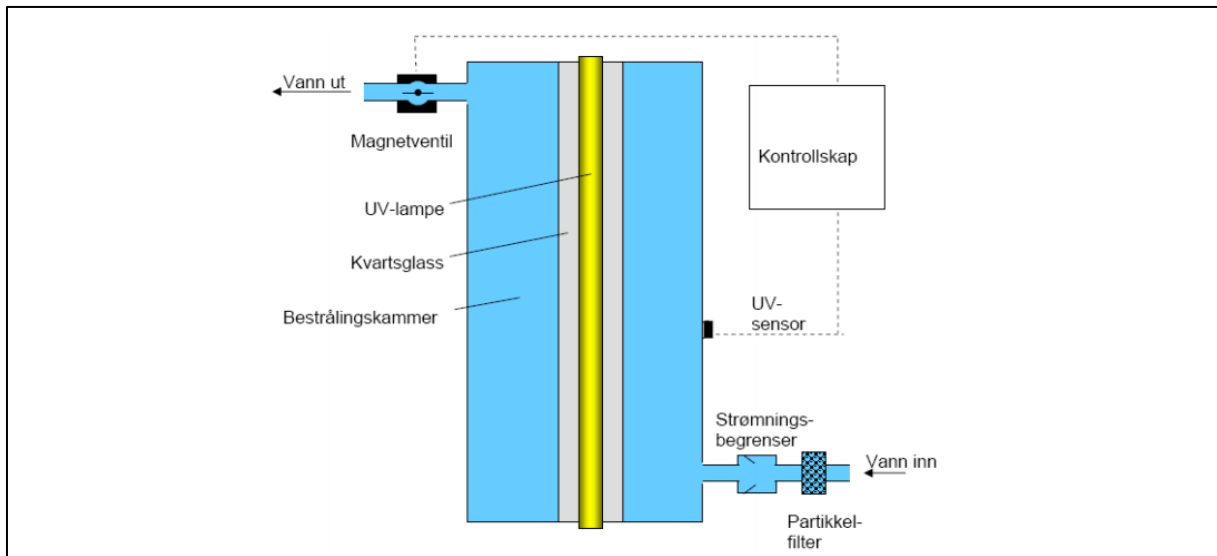
VBA som baserer seg på OBF blir stadig mer anvendt i Norge, der kilden er kategorisert som lite humuspåvirket. NV Rapport 211, trekker frem fordeler som enkle renseprosesser og prosesskontroll på anlegget. Ozon- behandlingen virker effektivt som oksidasjons- og desinfeksjonsmiddel. Lukt og smak forbedres, det er lang filtersyklus og lavt vannbehov med spyling av filterrengjøring. Slamdannelsen er lav og inneholder lite tilsatte kjemikalier/metaller, noe som gir et miljøvennlig avfall. Samtidig er ozon en sterkere oksidant enn klor i bekjempelse av parasitter, virus og bakterier (Eikebrokk & Gjerstad, 2015).

#### **2.6.4.4 UV- desinfeksjon**

Ifølge NV`s rapport 164, regnes UV-desinfeksjon som en hygienisk barriere og har siden 2004 blitt et av de mest brukte metodene for å uskadeliggjøre mikroorganismer som f.eks. parasitter fra drikkevannet. Den brukes som den første hygieniske barrieren i et anlegg tenkt for minimumsbehandling, og som siste hygieniske barriere i koagulerings-/filtreringsanlegg og ozonerings-/biofiltreringsanlegg (Eikebrokk, et al., 2008).

Et UV-anlegg består av en UV-lampe med kvikksølv damp som påføres elektrisk spenning. Lampen skaper dermed lys med et bølgelengdeområde som effektivt kan inaktivere mikroorganismer i vannet rundt, ved å påføre irreversible skader på metabolismen og DNA-molekylene (Eikebrokk, et al., 2008).

UV-typene UV-C og UV-B, med bølgelengder mellom 200 og 300 nanometer gir størst irreversible skader på uønskete mikroorganismer. Det skilles også mellom lavtrykkslamper, som egner seg best for mindre VBA, og mellomtrykkslamper, som egner seg best for mellomstore og store VBA. Disse klassifiseres ut ifra hvor stort gasstrykk dem har (Eikebrokk, et al., 2008).



Figur 24: Oppbyggingen av et UV-anlegg, utklipp fra Norsk Vann rapport 164, side 35 (hentet 24.april.2021).

For å dimensjonere et UV-anlegg brukes det begrepet UV-dose. UV-dosen er produktet av UV-lysets strålingsintensitet og anvendt tid det gjennomføres stråling på vannet. I Norge anbefales det å bruke en UV-dose på  $40\text{mJ}/\text{cm}^2$  (Eikebrokk, et al., 2008).

For å finne UV-dose ut ifra strålingsintensiteten brukes formel 9.6 fra Norsk Vann rapporten 164:

$$Dose = 149 \times Q_d^{-1} \times I^{1,273}$$

Hvor:

$Q_d = \text{dimensjonerende vannmengde (m}^3/\text{time)}$

$I = \text{strålingsintensitet (mW/cm}^2\text{)}$

#### 2.6.4.5 Klor

I de fleste hygieniske barrierer i et VBA, med minimumsbehandling, tilsettes det klor i form av klorgass ( $\text{Cl}_2$ ), natriumhypokloritt ( $\text{NaOCl}$ ) eller kalsiumhypokloritt ( $\text{Ca(OCl)}_2$ ).

Tilsetningen av klor danner en syre som dreper mikroorganismer momentant ved å skade disses cellemembraner, skape lekkasjer i cellematerialet og ved å sette ned mikroorganismens DNA-produksjon. Bruk av klor som hygienisk barriere krever at det brukes en hygienisk barriere i tillegg, som kan fjerne parasitter og bakteriespor, siden klor bare fjerner mikroorganismer som bakterier og virus (Gøytil & Liane, 2004).



For å velge riktig dosering av klor, slik at den tilfredsstiller krav for å kunne brukes som hygienisk barriere, vises det til NVs rapport 139 hvor følgende klordoseringer brukes i forhold til fargetall i vannet:

Tabell 7:

Forhold mellom fargetall og klordosering, utklipp fra NV rapport 139, side 58 (hentet 24.april.2021).

Vannets fargetall (mg Pt/l)	Klording (mg/l Cl <sub>2</sub> )
≤ 5	0,3
5 – 15	0,5
15 – 25	0,8
25 - 40	1,2
> 40	1,5

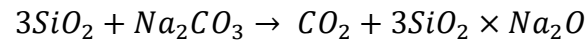
#### 2.6.4.6 Korrosjonsbehandling

Korrosjonskontroll på ledningsnett er viktig for å hindre eller redusere korrosjon i ledninger og på HB. Korrosjonsbehandlingen skal hindre materialforringelse, forhindre lekkasjer som følge av korrosjon og forenkle driften av ledningsnett (Østerhus & SINTEF, 1998).

Det er tre strategier som brukes ved korrosjonskontroll i Norge:

- Vannglassdosering
- Karbonatisering
- Kombinert koagulering/filtrering og karbonatisering

Vannglassdosering (natriumsilikat) tilsettes drikkevannet i de fleste VBA som siste rensetrinn, før renvannsmagasin og overføring til forsyningsnett. Vannglass har en alkalisk løsning med pH på 11-13 og skal ha en korrosjonsforebyggende virkning. NVs rapport 88, tar for seg et pilotforsøk fra New England Unfiltered Surface Supply, utført i 1990. Forsøket konkluderte med at tilsetning av mindre mengder natriumsilikat i vannet reduserte korrosjonshastigheten til kobber med 80- 94 prosent (Østerhus & SINTEF, 1998).

**Kjemisk formel vannglass (natriumsilikat):**

Fremgangsmåten er at ved å kompleks- binde metall-ioner, vil oksydasjon av ledninger unngås og misfarget vann og turbiditet fjernes. Silikat reagerer med korrosjonsproduktene og/eller kalsium som danner en korrosjonsbeskyttende film av metall- silikat.

Ved bruk i nye VBA anbefales det med en sterkere dose på starten, 25-40 mgSiO<sub>2</sub>/l, for å passivere røroverflatene. Etterfølgende vedlikeholdsdose ligger i gjennomsnitt mellom 10-25 mgSiO<sub>2</sub>/l, i Norge (Ødegaard, et al., 2015).

For nøyaktige bestemmelser av vannglassdose henvises det til tabell 12.4 i NV rapport 212.

### 3 METODE

---

I dette kapitlet presenteres fremgangsmåten med datainnsamling og metodearbeidet for problemstillingen.

For å tilrettelegge for en systematisk oversikt og gjennomgang av metodearbeidet i begge alternativene, er det valgt å inndele metodekapitlet i to delkapitler:

- Kapittel 3.4: Alternativ 1. Sjøledning
- Kapittel 3.5: Alternativ 2. Vannbehandlingsanlegg

Til metodearbeidet er det brukt kvalitativ og kvantitativ tilnærming, for å kunne besvare fremgangsmåten og sammenligne de varierte løsninger for alternativ 1 og 2.



Figur 25 Viser fremgang i kvalitativ og kvantitativ datainnsamling, utdrag fra fremgangskart i Mindmanager (laget 19.mars.2021).

### **Innhentet data med kvantitativt arbeid:**

- Statistikk fra Stange kommunens nettside om befolkningstall og -vekst.
- Parametere, verdier, anbefalinger og statistikk fra rapporter utgitt av NV, Miljøblad og Norsk Standard.
- Krav fra FKDP om reservevann og brannvann som brukes for beregning av vannbehov.
- Data fra Stange kommune om lekkasjetall som brukes for beregning av vannbehov.
- Undersøkelser av topografiske kart for valg av trasé til sjøledning.
- Beregningsverktøy fra NV for dimensjonering av sjøledning.

### **Innhenting av kvalitative data:**

- Informasjon fra Viggo Svendsen i Stange kommune om allerede eksisterende installasjoner og forhold som kommer frem i intervju og befaring på Espa.
- Råd og anbefalinger om plassering på trasé og utforming til sjøledning, kommer frem gjennom flere intervjuer med Sverre Tragethon i Hallingplast AS.
- Intervju med fagkyndig om grunnforhold og miljø i Tangenbukta. Nødvendig for planlegging av trasé med sjøledning og danner diskusjonskriterier i YM. Innhentet data fra BaneNOR, ved Kjetil Myhren Bøyeie, geolog i BaneNOR.
- Informasjonsinnhenting om vannkvalitet i Mjøsa for valg av behandlingsmetode i VBA, er gitt ved Asle Økelsrud, forsker i miljøforurensinger i NIVA.
- Befaring i området Tangen og Espa er utført for å sikre at valgte plasseringer, utfra kartstudier, ikke møter på uforutsette hindringer.

### 3.1 DATAVERKTØY

Tabell 8:

Viser til bacheloroppgavens bruk av dataverktøy (laget 19.mars.2021).

Hvilke	Beskrivelse	Formål
Microsoft Word	<i>Tekstbehandlingsprogram laget av Microsoft.</i>	<i>Oppgaven er skrevet i Microsoft Word. Tabeller og diagrammer blitt utført i Microsoft Word.</i>
Microsoft Excel	<i>Program fra Microsoft som baseres på regneark.</i>	<i>Programmet er brukt ved samtlige av oppgavens beregninger.</i>
QGIS	<i>Programmet er en applikasjon for GIS, og kan redigere og analysere geografiske data.</i>	<i>QGIS ble brukt for visualisering av objekter i kart, for lengde-, høyde- og arealberegninger i oppgaven.</i>
Trimble SketchUp	<i>Dataprogram for å produsere tredimensjonale modeller.</i>	<i>SketchUp ble brukt for å lage illustrative modeller av ledningsdeler.</i>

### 3.2 BEFARING OG ANALYSE AV OMRÅDE ESPA OG TANGEN

I løpet av prosjektets arbeid har vi gjennomført to befaringer på tettstedene Espa og Tangen. Første befaring ble utført i januar sammen med oppdragsgiveren fra Stange kommune, Viggo Svendsen. Befaringen tok rede for VA-systemet på området Espa, med forklaring på dagens og framtidig situasjon, mht. utbyggelse av VA-nettet. Det ble fremvist plankart for kommunal tomt, avlagt for framtidig VBA og eller PS. Det ble utført befaring på HB Espa, med tilhørende overføringsledninger. Befaringen ble fremvist med forklaring på systemene og det ble tildelt plankart med ledninger for HB. Plankart for klargjort inntaksledning ved Hestneskrysset ble utlevert og vises i vedlegg nr. 3 og nr. 4.

Befaringen ga oss videre grunnlag for arbeide fremover med kartanalyser fra QGIS, og et overblikk for forslag på plassering av HB Tangen, mht. ledningstrasé for sjøledning og PS, i alt.1.

Den andre befaringen som ble utført i april var kun med deltakerne i bachelorgruppen. Her ble det analysert forslag for mulige plasseringer med installasjoner i området på Tangen og Espa.

I Tangen ble det antatt forslag for plasseringer for et nytt HB til: Finnberget eller Gjellberget. Disse plasseringene er gunstige i forhold til tilgjengelig tilkomst, grunnforhold, kotehøyder og avstand til ringledning/tangenbukta.

Innerst i Tangenbukta ble det studert hvor starten av sjøledningen, for alt.1 sjøledning, kan tilknyttes, og plassering for PS.

Området på Espa ble undersøkt for plasseringen av opptaksplass til alt.1 sjøledning. Og det ble utført befaringsfor avlagt tomt til VBA, for alt.2 vannbehandlingsanlegg.

### **3.3 INNHENTING AV DATA**

For å sikre tilgang til data som har vært nødvendig for gjennomføringen av beregninger/dimensjonerings og valg på installasjoner, ble det tatt kontakt med flere aktører i bransjen. Nedenfor er det listet opp alle kontaktpersoner som har vært bidragsytende med informasjon og datainnsamling for bacheloroppgaven.

#### Stange kommune, Viggo Svendsen (Assisterende virksomhetsleder):

Oppdragsgiveren til oppgaven, stilte med informasjon og data om dagens forhold rettet mot drikkevannsforsyning i Espa. Det ble gitt informasjon om allerede eksisterende drikkevannskilder og forsyningsnett som benyttes av kommunen. Deriblant HIAS IKS, som er et felles drikkevann- og avløpsbehandlingsanlegg mellom Hamar og Stange kommune. Denne informasjonen var viktig for å beregne nødvendig vannmengder for behov og for å finne nye trygge drikkevannskilder, som alt.1 sjøledningen og alt.2 VBA, skal utredes etter.

#### BaneNor, Kjetil Myhren Bøyeie (Geolog):

Data som omhandler antall berørte brønner, plassering av ny toglinje og grunnforhold i Tangenbukta ble hentet inn fra BaneNor, gjennom kontaktpersonen, geolog Kjetil Myhren Bøyeie. Gjennom intervju ble det også delt figur om YM i området rundt Tangenbukta. Denne informasjonen ble brukt for å finne riktig valg av trasé til sjøledningen, for å finne passende plassering av inntaket til vannbehandlingsanlegget og som grunnlag i diskusjonskriterier.

NIVA, Asle Økelsrud (Forsker i miljøforurensinger):

I tillegg til data fra BaneNor om grunnforhold i Tangenbukta, har NIVA, norske institutt for vannsystemer, vært en relevant kilde mht. Forskningen på alt. 2 VBA. Det ble derfor tatt kontakt med forsker i miljøforurensinger, Asle Økelsrud fra NIVA. Han har henvist til viktig data om vannkvaliteten i Mjøsa. Datainnsamlingen er brukt for å velge riktig behandlingsmetodikk i alt. 2 VBA.

Norconsult AS, Cecilie Midtsundstad (Avdelingsleder VA Hamar):

For å kunne sammenligne egne beregninger av vannbehovet i Espa ble det tatt kontakt med Norconsult AS, som dimensjonerte HB i Espa, tilbake i år 2019. Innhentet data ble utgitt fra Cecilie Midtsundstad, avdelingsleder for VA i Norconsult AS, Hamar. Fordelen med å kunne sammenligne egne beregninger med de fra en ekstern aktør, gir en videre kvalitetssikring for oppgaven.

Hallingplast AS, Sverre Tragethon (Assisterende daglig leder):

For å skaffe et grunnlag om valg av type ledning, traséen og tanker rundt teknisk løsbarehet for en innovativ utforming innen alt.1 sjøledning, ble det bestemt å kontakte en av Norges største produsenter av vannrør. Møtene med Hallingplast AS har gitt innblikk i krav på plasseringer av sjøledning og vurderingskriterier ved bruk av senkerør eller klassisk rør med lodd. I tillegg stilte kontaktpersonen, Sverre Tragethon, i Hallingplast AS med kostnadsoverslag for forskjellige typer ledninger.

HIAS IKS, Mai Riise (Vann- og avløpssjef):

Til sammenligning i energiforbruk for alt.1 og alt. 2, har det vært nødvendig å innhente data til diskusjonskriteriet om energi. Alt. 1 sjøledning, forutsetter tilkobling til ringledning på Tangen, med Hias som vannkilde. Hias har vært behjelpelig med utlevering av data på energibehov og forbruket ved deres VBA i Ottestad.

Ringsaker Kommune, Svein Erik Nygård (Kontaktperson for VA):

For å kunne utføre en sammenligning av energiforbruket ved sjøledning og VBA, ble Ringsaker kommune kontaktet i forbindelse med innhenting av data på energiforbruk ved deres VBA på Nes.

## **3.4 ALTERNATIV 1 – SJØLEDNING**

### **3.4.1 Høydebasseng Tangen**

Med sjøledning som løsning for vannoverføring til Espa, er det nødvendig med et nytt HB på Tangen. Et nytt HB skal sikre jevn vannforsyning med et stabilt trykkforhold gjennom alle døgnetts tider, uavhengig av forbruksbelastningen som påføres distribusjonsnettet på Tangen.

### **3.4.2 Plassering**

Valg på plassering av HB Tangen baserer seg på befaringer og studier av topografiske kart fra GeoNorge. Alternative plasseringer sammenlignes mot kotehøyde i terreng og funksjon på overføringsledning som strekning og trasé. Riktig plassering av HB blir avgjørende for å tilfredsstille krav til framtidig vannforsyning på Espa og samtidig innføre tilstrekkelig slokkevann til Tangen.

I bestemmelsen for plassering av HB, med tilhørende trasé for overføringsledninger, tas det i betraktning at det skal utføres så lite inngrep som mulig i eksisterende infrastruktur og natur. Det er hensiktsmessig å planlegge for en kortest mulig ledningstrasé og en plassering av HB som virker skjermende mot omgivelsene. Plasseringen skal forutsette en trasé med tilkobling til eksisterende ringledning fra HIAS IKS Ottestad, som ligger parallelt med Rv. 222 mellom Stange og Tangen.

### **3.4.3 Type basseng**

HB Tangen vil som funksjon være en mellomstasjon og/eller supplerende stasjon, mellom Tangen og Espa. Bassengtypene som vurderes er listet opp nedover og beskrevet med funksjon i kapittel 2.3.1 Varianter av basseng.

- Sidebasseng
- Motbasseng
- Tyngdepunktbaseng
- Gjennomstrømningsbasseng

Valg av bassengtype baseres på plasseringen av HB og forhold som avstand til resipient/kilde og forsyningsområde. I tillegg er ønskede funksjoner, som de ulike bassengene tilbyr avgjørende for å kunne velge riktig bassengtype for sin hensikt.



### 3.4.4 Dimensjonering HB

Dimensjoneringsgrunnlaget for HB Tangen baserer seg på beholdningen for nødvendig volum av drikkevann. Beholdningen skal dekke forbruket i døgnvariasjonen for Espa og samtidig slokkevann for Tangen.

Med dette skal beholdningen ha tilstrekkelig kapasitet til å dekke drikkevann til beboere på Espa, med et framtidsrettet vannbehov for en periode på 50 år. I tillegg skal volumet inkludere tilstrekkelig mengde slokkevann for Tangen.

For å beregne volumet på bassenget, benyttes utjevningvolumet på vannforbruket ved Espa og nødvendig slokkevann for Tangen. Fremgangsmåten for beregning av vannbehov og dimensjonering av HB er nevnt ovenfor i kapittel 2.1.7 Dimensjonerende vannbehov og kapittel 2.2.3 Dimensjonering av HB.

### 3.4.5 Trasévalg

For å få grunnlaget med riktige parametere for beregning/dimensjonering og utforming til sjøledning, må ledningstraseen først bestemmes. Parametere som lengde/strekning, kotehøyde og vannmengde danner basis for dimensjonering av ledningen.

Traséen planlegges med inndeling i tre delstrekninger:

- **Overføringsledning – Tangen**, mellom HB Tangen og ringledning i Tangen.
- **Sjøledning** legges i Tangenbukta og består av overføringsledning mellom sjølednings start i Tangenbukta og der den planlegges med tilkobling til ringledning i Tangen. Sjøledning tilkobles ny overføringsledning – Espa.
- **Overføringsledning – Espa**, tilkobles til ferdig installert forsyningsledning ved Hestneskrysset, på Espa.

I vurderingen der hvor tiltenkt trasé skal plasseres, vil det tas særlige hensyn til inngrep i naturen, jmf. FKDP og FN's bærekraftsmål, som tar sikte på effektivt bruk av ressurser og solid infrastruktur.

Ønsket resultat er at traséen tilrettelegges for en kortest mulig distanse, og som best mulig ivaretar naturmiljøet. For de ledninger som legges på land, skal det undersøkes om det kan benyttes naturlige grøfter, turstier og vannveier som en del av traséen.

For å finne fram til et valg av egnet trasé benyttes en kvalitativ tilnærming med innhentet data, hovedsakelig fra topografiske kart over området og data fra intervju med oppdragsgiveren fra Stange kommune, Viggo Svendsen. Det brukes kart og annen informasjon om plasseringer til nåværende installasjoner og tiltenkte planer for området. Disse skal bli del av oppgavens løsning og inkluderer en ledning fra HB Espa og ned til Mjøskanten, pluss ringledningen som grovt følger parallelt med Rv.222.som vist i vedlegg nr. 3 og nr. 4.

Trasevalg på sjøledningen, baserer seg på plankart over grunnforhold i Mjøsa, med utgangspunkt i VA/Miljø-blad nr. 44 og rådføring fra fagkyndige. Plankartet viser til grunnforholdene i Tangenbukta, og er innhentet fra kontaktperson i BaneNor, geolog Kjetil Myhren Bøyeie. Rådføring på trasevalg er gitt fra kontaktperson i Hallingplast AS, Sverre Tragethon.

### 3.4.6 Dimensjonering ledning

Etter bestemt plassering av ledningstraseer, er det mulig å finne alle de nødvendige parameterne som gir grunnlaget for beregning av riktig dimensjon på ledning. Sjøledningen dimensjoneres for en ønsket levetid på inntil 50 år. Følgende parametere er:

- Vannmengden  $Q_{dmaks}$  til forsyningsområdet Espa.
- Stigningen  $I$ , av sjøledningen, beregnes ut ifra forskjellen i kotehøyde, mellom tilkobling til ringledningen i Tangen, HB Tangen og forsyningsområdet i Espa.
- Friksjonskoeffisienten  $f$ , angir friksjonstapet i ledningen.
- Strømningshastigheten  $v$ , angis i m/s.

Når parameterne er utregnet, velges en diameter på ledning. Strømningshastigheten i sjøledning bør ligge mellom 0,5 og 2 m/s, samtidig som det skal tas hensyn til at friksjonen ikke blir for høy i ledningen (Tragethon, 2021). Kravet om gjennomstrømningshastighet baserer seg på vanntrykket i ledningen. Det er derfor viktig at ledning velges ut ifra det dimensjonerte vannbehovet.

Delene som skal tas med i beregningsgrunnlaget for dimensjon og som skal dimensjoneres, er selve sjøledningen og overføringsledningen, mellom starten av sjøledningen til der den skal tilkobles ringledningen i Tangen. De delene som det ikke er planlagt å dimensjonere, eller som ikke tas med i beregningsgrunnlaget, er overføringsledningen mellom planlagt HB i

Tangen og ringledningen i Tangen. Det samme gjelder overføringsledningen mellom slutten av sjøledningen og forsyningsområdet i Espa. Dimensjon på ledning, blir valgt etter beregning av parametere som levert vann  $Q_{d.maks}$  og en gjennomstrømningshastighet, med  $v > 0,5$  m/s. Bestemmelse av ledning velges etter tabell for PE100- trykkrør, se vedlegg nr. 8.

### 3.4.7 Utforming og type ledning

Valg av utforming på henholdsvis sjøledning handler om hvilken type ledning og material-egenskaper som velges. Valgene baserer seg for det meste på bachelorgruppens egen forskning og innhenting av ulike datablader. Valg av utforming og type ledning diskuteres med kontaktperson, Sverre Tragethon i Hallingplast AS.

Valg på utforming skal, som nevnt over, fremme FN's bærekraftsmål og det undersøkes om det finnes innovative løsninger, foruten de utformingene som anvendes i dag.

Det henvises til teorikapittelet, for ytterlige egenskaper om utformingen på ulike typer ledning. Det oppsummeres med de mest anvendte ledningstypene, for sjøledning:

1. PE-ledning med påmontert lodd. (Standardisert metode).
2. SESU-ledning, levert med ferdig lodd (Senkerør).



Figur 26: Sjøledning med lodd, fra hallingplast.no (hentet 01.mars.2021).

Figur 27: Senkerør, fra hallingplast.no (hentet 01.mars.2021).

Basert på de to ovenstående ledningstypene, vurderes utformingen på bakgrunn av fremtidig vannbehov, levetid på ledning og lodd, installasjon og vedlikehold. Innovative forslag på utforming av sjøledninger som skal forsyne varierte vannmengder over en tidsperiode på 50 år, beskrives i kapittel 4.3 Innovativ utforming.

### 3.4.8 Pumpestasjon

En pumpestasjon skal gi tilstrekkelig vanntrykk i ledningen, slik at den nødvendige løftehøyden på vannet oppnås. Der det blir nødvendig med PS, i kombinasjon med sjøledning og HB Tangen, så benyttes VA-miljøblad nr. 108 for valg av PS-plassering, sammen med råd fra Sverre Tragethon i Hallingplast AS.

Nødvendige elementer som avgjør plassering og installasjon av PS, bestemmes ut ifra faktorer som forskjeller i kotehøyder på overføringsledning og avstand på ledning. Dette gjelder for sjøledning over Tangenbukta.

Nødvendig pumpehøyde for pumper dimensjoneres etter høydeforskjeller i ledninger, lengde på ledning, diameter på ledning, strømningshastighet på vannet, friksjons i vannet og andre tapskoeffisienter. Tapskoeffisientene som legges til grunn i dimensjoneringen er innsnevring av diameter etter pumpe med ventil, sluseventil og utløp fra basseng.

Utfordringer ved plassering og oppbygning, blir valg av type pumper og utformingen av selve pumpestasjonen. For at pumpene skal gi best effekt med enkel tilgang til vedlikehold, er det viktig med gunstig plassering.

Valg av plassering på PS bestemmes ut fra ulike faktorer som:

- **Luft i ledning:** Plassering av pumpe før sjøledning gir trykk i ledningen, slik at luft presses til avtapping ved lufteventil, med plassering noen meter etter pumpen (Tragethon, 2021). Eventuell luft i ledningen blir avtappet før den føres gjennom sjøledning. Luft i sjøledningen kan forårsake uønsket oppdrift.
- **Unngåelse av kavitasjon:** Kavitasjon oppstår når dampbobler dannet på sugesiden av pumpen kommer over på trykksiden. Når det statiske vanntrykket synker under damptrykket (absolutt trykk) dannes det dampbobler. Boblene imploderer ved etterfølgende trykkøkning og kan medføre korrosjonsskader, vibrasjon og støy samt slitasje og redusert levetid for pumpe og sjøledning (Finsrud, 2013).

## **3.5 ALTERNATIV 2 – VANNBEHANDLINGSANLEGG**

### **3.5.1 Plassering av vanninntak**

Plassering av vanninntaket forutsetter en kilde som kan levere tilstrekkelig rent råvann med i tilfredsstillende mengder.

Ved bruk av data om Mjøsas vannkvalitet og dybder, fra NIVA sin årsrapport 2013 og data som er innhentet fra forsker i miljøforurensinger: Asle Økelsrud i NIVA, har det blitt forsket på hvor langt ute i Mjøsa, og i hvilken dybde, inntaket burde plasseres. Valgene skal også ta hensyn til krav og anbefalinger som beskrives i kapittel 2.5.2 Inntak VBA og eksempel plasseringen av inntaket på Skreia som nevnes i NVE sitt notat om undersøkelse av forurensning i Mjøsa, etter brann i Skreia avløpsrenseanlegg. I tillegg skal det legges to atskilte inntak i forskjellig høyde. Dette gjøres for å øke driftssikkerheten. Skulle det oppstå dårlig råvannskvalitet i en av dybdsjiktene, kan man bruke den andre.

### **3.5.2 Plassering av VBA**

VBA Espa som tar opp vannet fra kilden, skal være plassert så nært vanninntaket som mulig, for å få en økonomisk effektiv løsning. Plasseringen må samtidig være utenfor utsatte risikosoner for oversvømmelser og flom. Informasjon og data som er avgjørende for plassering av vannbehandlingsanlegget er innhentet fra Viggo Svendsen, fra Stange kommune. Data om flomfarer hentes fra NVE sin rapport om flomsonekart for delprosjektet Hamar.

### **3.5.3 Bestemmelse av vannbehandlingsmetode**

Iht. NV rapport 216, skal det utarbeides plan ved etablering av et nytt VBA, med bestemmelse av vannbehandlingsmetoder og tilhørende renseprosesser (Andersen & Senneset, 2015). Anlegget må tilfredsstillende drikkevannsforskriftens krav om drikkevannets kvalitet. Med utgangspunkt i Espas framtidige vannbehov og vannforsyning til <1500 Pe, antas det en tilstrekkelig utredning for et mindre VBA. Med bakgrunn i de varierte minimumsbehandlingene, beskrevet i kapittel 2.6.3 renseanlegg, er det undersøkt om vannkvaliteten på tiltenkt råvannsinntak tilfredsstiller minimumsbehandlingene.

Det benevnes i kapittel 2.6.1 Mjøsa som drikkevannskilde, at fra NIVA sin målestasjon ved Skreia, viser måleverdiene til lite humus og farge. NIVA anbefaler å bruke verdier i vannet fra Skreia som utgangspunkt ved dimensjonering og bestemmelse av VBA på Espa. Med disse verdiene klassifiseres vannkilden som lite humuspåvirket innsjø. Videre utredning med valg av type minimumsbehandling på VBA bestemmes og dimensjoneres deretter.

Dette innebærer valg av:

- Rensetrinn/prosesser
- Antall og type hygieniske barrierer
- Type kjemikalietilsetting
- Tiltak mot korrosjonskontroll

Til utredningen benyttes det datamålinger fra NIVA's årsrapport 2019, tiltaksorientert overvåking i vannområde Mjøsa og rapport om undersøkelse av forurensing i Mjøsa etter brann i Skreia avløpsrenseanlegg. Det legges til grunn verdier og teori fra NIVA i kapittel 2.6.1 Mjøsa som drikkevannskilde. NV rapport 212, 211 og VA-blad nr. 17 gir bidrag til erfaringer og det teoretiske grunnlaget som legges til grunn ved valg av vannbehandlingsmetode.

### **Ozon- biofilteranlegg:**

Siden vannet fra kilden kategoriseres som en lite humuspåvirket innsjø, er det bestemt å utrede vannbehandlingen for et ozon- biofilteranlegg. Årsaken til valget er gode resultater for drift, samtidig som anlegget er bygget opp med enkle prosesser i rensetrinnene, noe som gir enklere vedlikehold (Eikebrokk & Gjerstad, 2015).

I NVE rapporten som gjør rede for forurensning i Mjøsa etter brann i Skreia, vises det til fra høy- til moderat forekomst av bakterietypen E-coli. Med hensyn til hygieniske barrierer som skal desinfisere og fjerne blant annet bakterier, viser erfaringer til at ozon- biofilteranlegg er meget gunstige (Eikebrokk & Gjerstad, 2015).

Det er registrert femten anlegg som anvender ozon-biofiltrering til vannbehandling i Norge, og erfaringene viser til gode resultater på drift og vannrensning, også med hensyn til miljøet. I anleggene brukes det lite kjemikalier utover tilført ozongass. Det er vanligvis bare vannglass og klor som tilsettes for korrosjonskontroll og sluttdeinfeksjon. I de fleste tilfeller er det tilstrekkelig med UV-behandling, men erfaringer viser til nødvendig mikrodosering av klor for å redusere kimtallet ut på ledningsnett (Eikebrokk & Gjerstad, 2015).

Som et tillegg til de hygieniske barrierer er det nødvendig å finne en løsning for korrosjonskontroll på anlegget. Alternative trinn som kan tillegges anlegget er:

1. Vannglass
2. Marmor- filtrering mellom trinnenenes ozonkammer og biofilter.

Valg av alternativ på korrosjonsbehandling, baseres på nødvendig barriere for å nå krav innenfor grenseverdier i drikkevannsforskriften..

### 3.5.4 Dimensjonering VBA

For å kunne få en oversikt over det som må dimensjoneres av de forskjellige komponentene for et VBA, skal det foretas beregninger av følgende komponenter ved bruk av verdier og formler fra målestasjoner og rapporter. Teorien bak OBF står beskrevet i Teori kapittel 2.6.4.3 Ozon- og biofiltrering (OBF). Dimensjoneringsgrunnlaget med verdier fra anvendt målestasjon står beskrevet i Teori kapittel 2.6.1 Mjøsa som drikkevannskilde. Beregnet vannbehov er beskrevet i Teori kapittel 2.2.3 Dimensjonering av HB. Dimensjoneringen av VBA kommer frem i Resultat kapittel 4.2.4 Dimensjonering VBA.

Tabell 9:

Viser til fremgangsmetoden for dimensjonering ved alt.1 Vannbehandlingsanlegg (laget 25.april.2021).

Hva som dimensjoneres	Data for grunnlag av dimensjonering
Ledningene inn og ut av VBA. (Overføringsledninger)	Vannmengde $Q_{d,maks}$ fra kapittel 2.1 Vannbehov og formler fra kapittel 2.3.1 Dimensjoneringsgrunnlag ledning. Intervju med kontaktperson, Sverre Tragethon, i Hallingplast AS.
Dosering og utforming av de hygieniske barrierene.	Formler og beregningsgrunnlag fra kapittel 2.6.4 Rensemeter og data fra råvannskvaliteten i Mjøsa fra kapittel 2.6.1 Mjøsa som drikkevannskilde.
Korrosjonsbehandling	For marmorfiltrering er det nødvendig å bestemme riktige tilsetningsmengder utfra laboratorieforsøk på råvannet. Vannglassdoseringen bruker tabell 12.4 fra NV rapport 212.

For alternativ 2. Vannbehandlingsanlegg så dimensjoneres VBH etter vannforbruket om 50 år, slik at den har samme basis for seinere sammenligning med alternativ 1. Sjøledning.

### Dimensjonering av ozon- biofilteranlegg:

Det er fem delprosesser i oppbygningen til et ozon/biofilteranlegg, der dimensjonering og beregning av prosessene er nødvendig. Etter forbehandling er første prosesstrinn å tilføre oksygen og produsere ozon. Oksygen som oksideres til ozon innblandes inn i vannet og det oppstår ozondestruksjon.

Ozondosen dimensjoneres etter forhold på fargetall fra råvann og ønsket fargetall etter ozoneringen.

Dimensjonerende ozondose:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{(1 + 20 \times \frac{D}{C_0})}$$

Hvor:

$C_0$  = Fargetall fra råvann inn til ozonering (mg Pt/l)

$C$  = Fargetall som ønskes etter ozonering (mg Pt/l)

$D$  = Ozondosesering (mgO<sub>3</sub>/l)

Ozoneringssteget inngår som en hygienisk barriere i anlegget og det er i ozonkontakskammeret ozoneringen utgjør en desinfeksjonsbarriere for virus, bakterier og de fleste parasitter. I reaksjonskammeret reagerer humus med ozon. Farge fjernes og det produseres BDOC under oppholdstiden i kammeret. Det er oppholdstidene i kamrene som gir Ct- verdier og log-reduksjoner. Ozonering har prosesstrinn før biofiltreringen (Eikebrokk & Gjerstad, 2015).

Ozonrestene må fjernes fra vannet før det føres til neste rensetrinn, et biofilter. For å sikre degradering av restozon og tilstrekkelig oppholdstid i kontakt- og reaksjonstank beregnes nødvendig oppholdstid i reaksjonsvolumet, som neste dimensjonerende trinn.



Dimensjonerende oppholdstid i reaksjonsvolum:

$$t_{reaksjonsv} = \frac{1}{k_{OZON}} \times \ln C_i$$

Hvor:

$t_{reaksjonsv}$  = Nødvendig oppholdstid i reaksjonsvolum

$C_i$  =  $C_{dose} * k_{overf} - IF$

$C_{dose}$  = Dimensjonerende ozondose (mg/l)

$IF$  = Ozonforbruket rett etter dosering av ozon, som skyldes oksidasjon. (mg/l)

$K_{overført}$  = Ozonoverføringsgrad fra ozongass til vannfase

$k_{OZON}$  = Ozon-nedbrytningskonstant (min<sup>-1</sup>)

Etter vannets oppholdstid i reaksjonstanken må det bestemmes hvor mye BDOC som er dannet i ozoneringen. Verdier på BDOC gir grunnlaget på dimensjonering av biofilteret. BDOC - verdiene finner man ved forsøk i laboratorier, eller ved beregning når man har kjent innhold av løst organisk stoff (DOC), i vannet.

Beregning av BDOC etter ozonering:

$$\%DOC_{omdannet\ til\ BDOC} = 40 \times \left( \frac{D}{1} + D \right) \%$$

Hvor:

$D$  = Spesifikk dose (mg O<sub>3</sub>/mg DOC)

BDOC etter ozonering:

$$BDOC_{etter\ ozon} = DOC_{før\ ozon} \times \frac{O_{\%}}{100}$$

Neste renseprosess er nedbrytning av BDOC i biofilter. Den fjerde nødvendige dimensjoneringen går ut på å finne nødvendig oppholdstid i biofilteret. Nedbrytningen er temperaturstyrt.

Oppholdstid i biofilter:

$$C_{BDOC\ ut} = C_{BDOC\ inn} \times e^{-k \times t}$$

Hvor:

$C_{BDOC\ ut}$  = Utløpskonsentrasjon av BDOC etter biofiltrering (mg/l).

$C_{BDOC\ inn}$  = Innløpskonsentrasjon av BDOC til biofilteret etter ozonering (mg/l).

$t$  = Oppholdstid i biofilteret (min)..

$k$  = Nedbrytningskonstant ( $\text{min}^{-1}$ ) =  $0,05\text{min}^{-1}$  ved dimensjonerende temp  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

NV rapport 212 opplyser at strømmingen i et biofilter er tilnærmet lik som ved stempelstrømning. (Ødegaard, et al., 2015). Dimensjonerende oppholdstid i biofilteret beregnes:

$$t_{Biofilter} = \frac{1}{0,05} \times \left[ \ln \left( \frac{C_{BDOC\ inn}}{C_{BDOC\ ut}} \right) \right]$$

Hvor:

$t_{biofilter}$  = Oppholdstid i biofilteret.

Siste delprosess er å dimensjonere volumet for biofilteret.

Dimensjonerende volum biofilter:

$$V_{dim} = \frac{Q_{dim}}{t_{dim}}$$

Hvor:

$V_{dim}$  = Dimensjonerende volum i filterdelen av biofilteret.

### 3.6 DISKUSJONSKRITERIER

Grunnlaget for diskusjon består av de kriteriene som brukes for å stille alternativ 1. sjøledning og alternativ 2. VBA opp imot hverandre. Kriteriene gir grunnlaget for bestemmelse av beste alternativ.

Undersøkelsen av hvert kriterie settes inn i en tabell, hvor en deretter kan konkludere etter å summere poengfordelingen til begge alternativene. Hvert kriterie kan oppfylle 1 til 3 poeng, hvor største verdi angir det mest gunstige alternativ.

Poengene fra hvert enkelt kriterie legges inn i kapittel 4.4.2 Poengfordeling blant kriteriene. Her vil det i tillegg gis en faktor på 1 for poengene i kriteriene natur- og miljøpåkjenninger, mulighet for kapasitetsøkning, energibehov og kompatibilitet. For de resterende kriterier økonomi, sikkerhetsdrift, drift og vedlikehold, og ROS-analyse gis det en faktor på 0,5 på tildelte poeng.

Faktoren på 1,0 gis til nevnte kriterier med høy kredibilitet, der det har vært god tilgang til data for sammenligning av alternativene. Faktoren på 0,5 gis til de nevnte kriterier pga. mangelfull kredibilitet og mangel på innhentet data. Dette begrunnes med usikkerhet i hendelser og konsekvenser som kan oppstå i ROS-analysen, lite innhentet data på detaljer ved drift og vedlikehold, og mangelfull data på kostnader ved økonomikriteriet.

#### **1. Natur- og Miljøpåkjenninger:**

I dette kriteriet skal det ses på om- og i, hvor stor grad installasjonene i begge alternativene gjør inngrep i naturen, som berører vernet natur og andre områder.

For å få svar på utslaget på de vernede områdene, brukes det kartdata på geotekniske og geologiske undersøkelser, tilsendt fra kontaktpersonen, Kjetil Myhren Bøyeie, i BaneNOR. Tilsendt kartdata viser til varierte naturtyper i området rundt Espa og Tangen. Områdene er soneinndelt på kartet, med ulike farger som definerer vernede naturområder og ulike registreringer på grunnmateriale. For å undersøke graden av inngrep i naturen undersøkes det om plasseringer og utbredelser til installasjoner i hvert alternativ og hvor mye synlig landskapet berøres.

Bakgrunnen for dette kriteriet ligger i at dersom et av alternativene berører vernede naturområder, så anbefales det, ifølge miljødirektoratets sine nettsider, å bli markert i

reguleringsplanen (Miljødirektoratet, 2021). I tillegg har større inngrep, spesielt i vernede områder, vanskeligere for å få godkjenning og aksept fra fagfolk og innbyggere.

## **2. Mulighet for kapasitetsøkning:**

Her vil det undersøkes hvilket alternativ som har de beste forutsetninger for ekspansjon, dersom vannbehovet øker med en uventet befolkningsvekst. De parametere som vektlegges kommer frem i resultatkapittelet og tar for seg hvilke komponenter som eventuelt må utskiftes og hvilke som kan driftes videre, uten at det krever noe større tilpasning eller utbygging.

Mulighet for kapasitetsøkning er et viktig kriterium, fordi framtidig økning i befolkningstall stiller utfordringer rundt tilstrekkelig kapasitet på vannforsyning, både for etablering av sjøledning og et nytt VBA.

## **3. Sikkerhetsdrift, drift og vedlikehold, og ROS-analyse:**

Kriteriet består av både sikkerhetsdrift, drift og vedlikehold og ROS-analyse. Disse felles kriteriene skal gi et perspektiv på alternativenes stabilitet i vannforsyning gjennom livstiden. Her er det flere punkter som skal besvares i resultatkapittelet:

- **Sikkerhetsdrift:** *Hvordan sikrer alternativene videre vannforsyningen hvis driften i enkeltkomponenter stoppes grunnet reparasjons- eller vedlikeholdsarbeid?*

For å finne svar på dette, skal det for begge alternativer undersøkes mulighet for reservedrift i PS, mens det for alternativ 2. VBA i tillegg skal undersøkes mulighet for reservedrift i selve renseprosessen.

- **Drift og vedlikehold:** *Hvilken typer drift- og vedlikeholdsarbeid kreves for hver av alternativene, og i hvor stor grad påvirker dette vannforsyningen?*

Metoden som anvendes i punktet undersøker omfanget av individuelle vedlikeholdsarbeider som kreves for hvert av alternativene. I tillegg skal det noteres hvordan vannforsyningen i hvert av alternativene påvirkes av slikt arbeid.

- **ROS-analyse:** *Ut ifra egen ROS-analyse finner vi sannsynligheten for- og konsekvensgraden til at det oppstår uheldige hendelser i hvert av alternativene?*

For ROS-analysen skal det gjennomføres en risiko- og sårbarhetsanalyse som støtter seg på data fra VA-blad nr. 86 og 87. Data fra VA-blad gir 3 primære spørsmål:

- *Hva kan gå galt?*
- *Hva er sannsynligheten for at de uønskede hendelser inntreffer?*
- *Hvilke konsekvenser kan hver av de uønskede hendelser medføre?*

Punktet **sikkerhetsdrift** settes med bakgrunn i drikkevannsforskriften om sikker vannforsyning. Det skal velges den løsningen som best sikrer trygg vannforsyning ved eventuelle strømbrudd eller andre driftsproblemer som kan oppstå.

Begrunnelsen for valg av punktet **Drift og vedlikehold** ligger i at serviceintervaller kan kreve stopp i vannbehandlingen og/eller transporten av drikkevannet, og derved gir en utslagsgivende faktor på hvilket av alternativene som egner seg best med tanke på drift- og vedlikehold.

**ROS-analysen** gjennomføres for å kartlegge risiko og sårbarhet for begge alternative vannforsyningsløsninger. Dette gjøres for å sammenligne analysene for begge alternativer, slik at det beste alternativet kan fremmes i diskusjonskapittelet. Risikoen settes ved å se på sammenhengen mellom sannsynlighet og konsekvens, ved hjelp av en risikomatrise.

#### **4. Energibehov:**

Som ett av diskusjonskriteriene skal det totale energibehovet for alt. 1. og 2. sammenlignes med estimert forbruk om 50 år. Dette gjøres for å skille mellom energiforbruket på alternativene.

For PS til begge alternativene brukes det et beregningsverktøy fra grundfos.com. Verktøyet bruker parametere som vannmengde, løftehøyder og type applikasjoner for å beregne energibehovet i kWh/år. Til beregning av energibehov ved VBA innhentes det verdier fra HIAS IKS Ottestad, som gir verdier på forbruket ved behandling av drikkevannet som forsyner sjøledning.

Bakgrunnen for kriteriet er at samlet energibehov fra vannbehandlingen og PS gir muligheten til å sammenligne alternativ 1. sjøledning og alternativ 2. VBA, i kategorien bærekraft. Dette skal støtte seg på FNs bærekraftsmål del 7.a, som omhandler energieffektivisering.

## **5. Økonomi:**

Bacheloroppgaven skal ikke definere faste kostnader som er tilknyttet de individuelle alternativene. Det er derimot fortsatt mulig for bachelorgruppen å antyde, med grove antakelser, hvilket alternativ som har den laveste driftskostnaden og som kan tilbys til den rimeligste innkjøpskostnaden.

For å beregne en antakelse til løpende kostnader for hvert alternativ brukes det tall om energibehov fra resultatet til diskusjonskriteriet energibehov og tall på gjennomsnittlig strømpris fra ssb.no. Innkjøpskostnader på pumper innhentes fra Grundfos og kostnader pr. meter sjøledning fra Hallingplast AS.

Estimeringene gir Stange kommune et overblikk på valg av hvilket alternativ som minker det økonomiske trykket og dermed gjør det lettere å rettferdiggjøre investeringer.

## **6. Kompatibilitet:**

Stange kommune har allerede et eksisterende vannforsyningsnett som er mer eller mindre klart til å forsyne resipienter i både Tangen og Espa. Disse eksisterende ledningsnettene og andre kommunale eiendeler skal kunne innlemmes i løsninger for begge alternativene.

For å kunne finne ut hvilken løsning som har best kompatibilitet, altså tar seg best nytte av eksisterende installasjoner, noteres alternativenes mulighet til å ta bruk av allerede eksisterende installasjoner i området det skal bygges i. Eksisterende objekter som tas med i vurderingen er:

- Ringleddningen fra HIAS IKS på Tangen.
- Kommunens tomt i Espa.
- Forsyningsnettet med tilhørende HB på Espa.

Kompatibiliteten er viktig for å kunne bygge så sparsomt og effektivt som mulig, både når det kommer til materialbruk og økonomi.

## 4 RESULTATER

---

### 4.1 ALTERNATIV 1. SJØLEDNING

#### 4.1.1 Høydebasseng Tangen

##### 4.1.1.1 Plassering

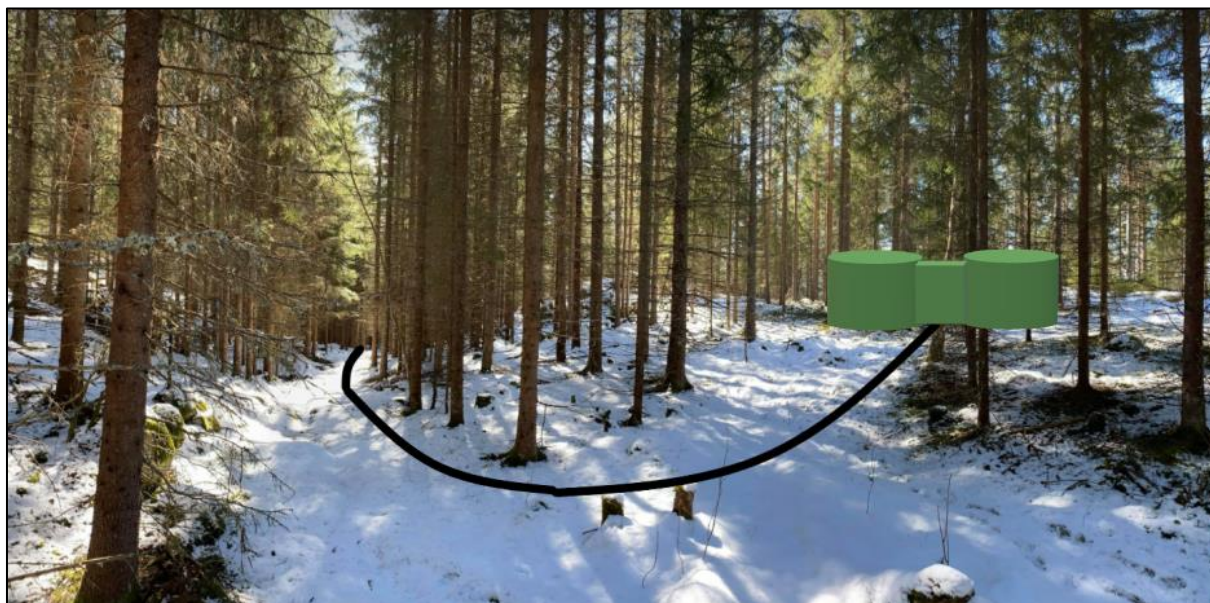
Ved studie av topografiske kart er det beste alternativet for plassering i HB Tangen lokalisert:

- Gjellberget, nord for Tangen sentrum.

Gjellberget ligger geografisk fint plassert med hensyn til tilkobling av ringledning på Tangen og ønsket kotehøyde. Området befinner seg nord for Tangen sentrum og vil med tilhørende ledning kunne tilkobles ringledning fra HIAS.

Denne plasseringen ligger 255 meter vest fra selve toppen, med en høyde på 228 moh. Basert på kotehøyde til HB Espa, så vil denne plasseringen kreve en PS mellom HB Tangen og forsyningsområdet Espa. Med hensyn til slokkevann på Tangen, vil plasseringen være gunstig, fordi kotehøyde over Tangen bidrar til vanntrykk i ledningen.

Ledningstraseen fra HB Gjellsberget frem til ringledningen, blir 895 meter. Resultatet på traséen blir den korteste, sammenlignet med andre mulige plasseringer av et nytt HB, samtidig som det tilfredsstillende tiltenkt funksjon. Analysen fra befaring 14.april 2021 viser at terrenget på lokasjonen er flatt og grunnforholdene godt egnet for bebyggelse.

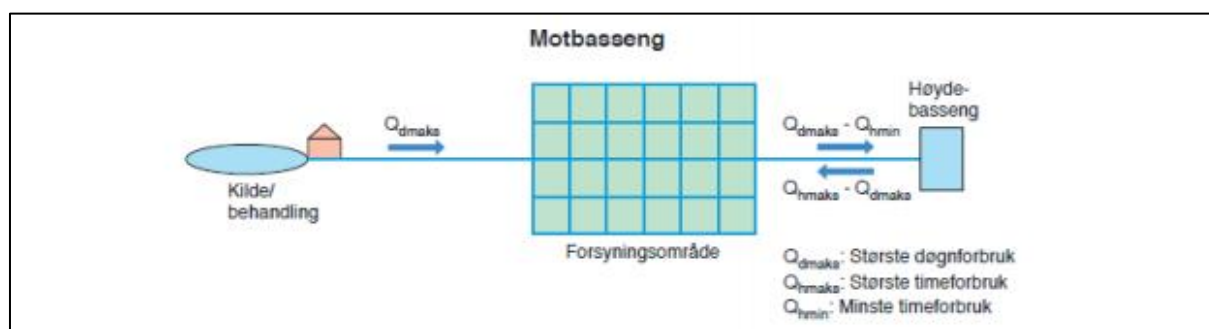


Figur 28: Illustrert HB på Gjellberget med overføringsledning ned til ringledningen i Tangen, fra privat (hentet 16.april.2021). (koordinater 60°37'24''N 11°15'42''Ø)

#### 4.1.1.2 Valg av type HB

Grunnet plasseringen av forsyningsområdene til Tangen mellom der det bestemmes å plassere sjøledning og HB, ekskluderes fort varianter som gjennomstrømningsbasseng og tyngdepunktsbasseng. Motbasseng og sidebasseng er derimot godt egnet til slik plassering, i forhold til kilde og forsyningsområde. Begge bassengtypene ville kunne sikre nødvendig kapasitet for reserve- og slokkevann på Tangen og utjevnet døgnforbruk på Espa.

Bruk av sidebasseng frarådes, fordi vannet risikerer å få en lang oppholdstid på overføringsledningen. Basert på ulike typer HB, er det dermed anbefalt å benytte motbasseng til ønsket funksjon. Dette er fordi bassenget skal fungere som en supplerende forsyning og denne type basseng gir bedre utskifting av vannet (Ødegaard, et al., 2015).



Figur 29: Skisse av motbasseng, hentet fra Norsk Vann rapport 193, side 33 (hentet 16.februar.2021).

#### 4.1.1.3 Dimensjonering av HB

Siden HB Tangen vil ha funksjon som supplerende forsyning på ringledning i Tangen, med tilstrekkelig slokkevann. Og tilføre tilstrekkelige mengder for forsyningsområdet i Espa, er det nødvendig å addere utjevningvolumet av vannforbruket på Espa og det nødvendige volum for slokkevann til Tangen.

Med utgangspunkt i HB Espa, som er dimensjonert for en estimert vannforsyning til 1500 Pe, blir HB Gjellberget dimensjonert etter utjevningvolumet for 1500 pe, pluss slokkevann på Tangen. Dette utgjør  $67,5\text{m}^3$  vann til utjevning og  $360\text{m}^3$  vann til slokkevann. Totalt nødvendig volum på basseng blir rundet opp til  $430\text{m}^3$ .

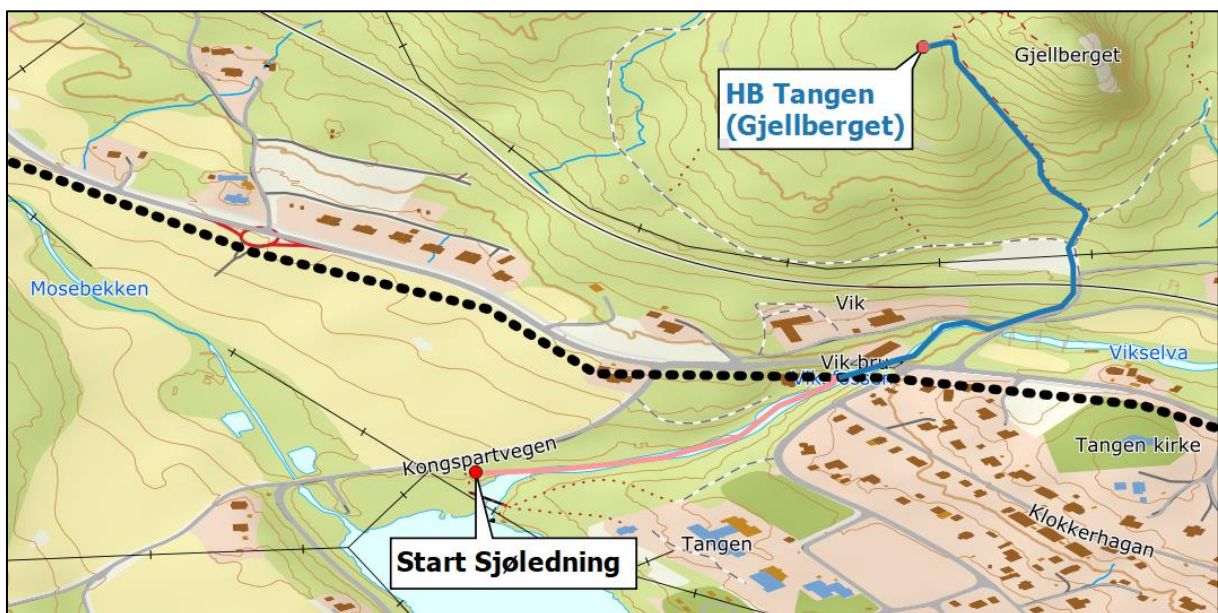


## 4.1.2 Trasé med overføringsledning

### 4.1.2.1 Overføringsledninger mellom HB Tangen og sjøledning

Den første delen av traséen som skal forsyne Espa, er delen mellom HB i Tangen og der den kobles til ringledningen. Siden HB Tangen tenkes å bygges som motbasseng, er det bare nødvendig å legge én ny ledning opp til HB. Traséen som kobler starten av sjøledningen til ringledningen krever også bare én ny ledning, siden vannføringen gjennom sjøledningen regnes som enveisføring mot Espa.

Figuren nedenfor viser tenkt plassering av HB Tangen på Gjellberget med ledning ned til ringledning merket i blått og ledningen fra ringledningen til starten av sjøledningen, merket i rosa.



Figur 30: Tenkt plassering av HB Tangen med ledninger, utklipp fra QGIS (hentet 15.april.2021).

I Metodekapittelet, punkt 3.4.5 Trasévalg, ble det redegjort for kravet om at overføringsledningen legges slik at den holder kostnaden så lav, og effektiviteten så høyt som mulig, samtidig som den i størst mulig grad bevarer naturen. Disse kravene ble oppfylt ved å tegne ledningen inn slik at den følger allerede eksisterende veier og stier, og har et godt forhold mellom meter i direkte luftlinje og løpemeter.

Resultatet for ledningen utfra HB Tangen på Gjellberget ser for seg at ledningen føres ned fra fjellet, ved å legges parallelt med turstien. Ved slutten av turstien skal ledningen så krysse toglinjen, før den legges inn i Vikselva, slik at den kan følge strømmen. Ledningen kobles til slutt sammen med ringledningen ved Vikbru.

Ledningen som legges mellom ringledningen og starten av sjøledningen, som er tenkt å plasseres innerst i Tangenbukta mellom Mosebekken og Vikselva, starter ved Vikbru og følger løpet av Vikselva. Resulterende lengder og høydeforskjell blir følgende:

Tabell 10:

Fremstilling av lengder og fallhøyder i første trasédelene, utklipp fra QGIS (laget 17.april.2021).

Trasé	Lengde i meter	Fallhøyde i meter
HB Tangen på Gjellberget ned til ringledning.	895	82,9
Ringledning til start av sjøledning.	577	18,9

### NoDig:

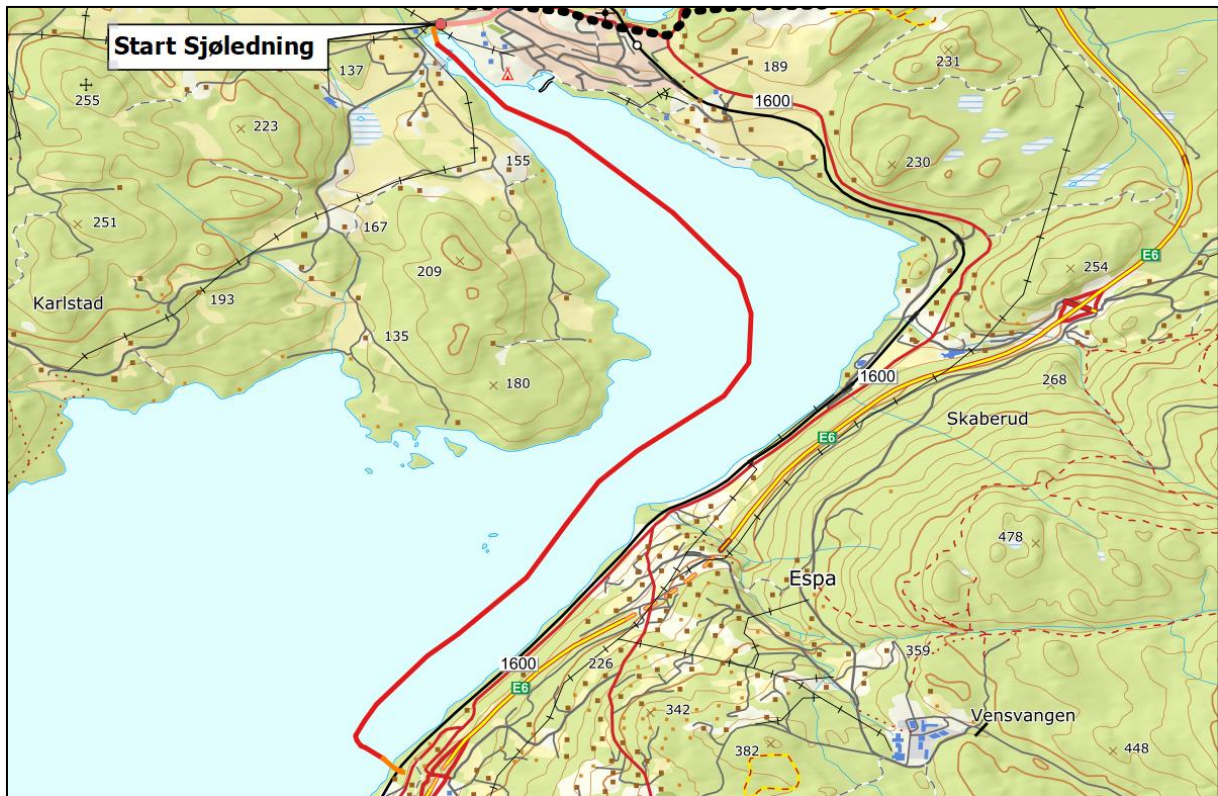
Der traseen krysser rv. 222 og toglinjene, bør det benyttes NoDig/grøftefri rørlegging.

Metodene viser seg ofte å være både kostnadseffektive, tidsbesparende og miljøvennlige, sammenlignet med tradisjonell graving. Ved bruk av NoDig vil ikke trafikken bli berørt, og kan fungere som normalt under arbeidet.

#### 4.1.2.2 Sjøledning

Samlingen av innhentet data fra BaneNor og Hallingplast ga følgende parametere om hvor sjøledning og PS i Tangen bør plasseres:

- Tangenbukta har en dybde på mellom 30 og 50 meter i senter av bukta, som stiger bratt opp mot sjøkantene (Myhren Bøyeie, 2021).
- Sjøledninger anbefales med plassering i en minimumsdybde på 15 meter under overflaten. Dette for å unngå ugunstige strømningsforhold (Tragethon, 2021).
- Sjøledninger skal helst ikke plasseres i bratt terreng, for å unngå mulige leir- eller steinras (Tragethon, 2021).
- Sjøledninger anbefales å graves ned i grunn ved start og slutt, der ledningen legges under vann for å unngå frostskafer (Tragethon, 2021).
- PS anbefales å plasseres før sjøledning for å sikre fjerning av luft (Tragethon, 2021).



Figur 31: Trasé sjøledningen, utklipp fra QGIS (hentet 15.april.2021).

Plasseringen av traséen til sjøledningen, som dermed ble valgt, starter på Tangen, innerst i Tangenbukta, mellom der hvor Mosebekken og Vikselva strømmer inn i Mjøsa. For å unngå uheldige strømningsforhold fra Mosebekken og Vikselva, samt frost, bør sjøledningen plasseres underjordisk de første 150 meterne, for å så komme ut i en dybde på 10 til 20 meter i bukta (markert i oransje i figur 31).

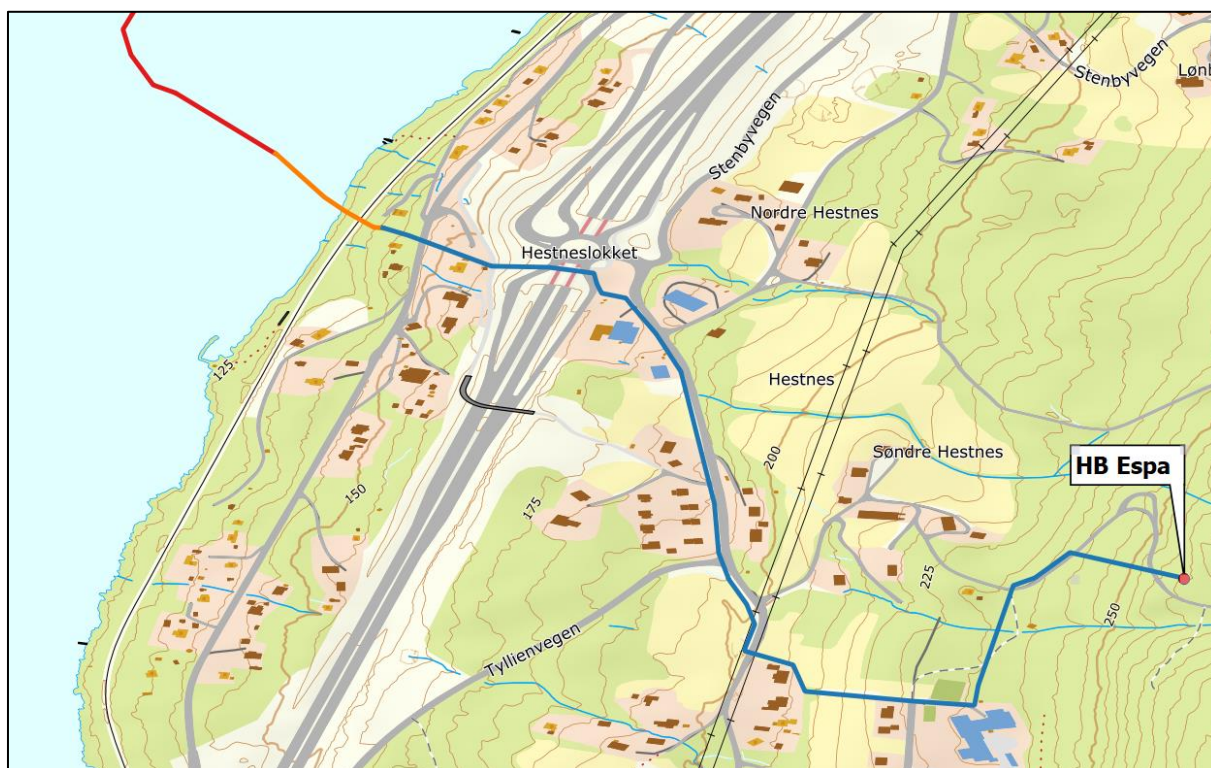
Etter det skal sjøledningen følge den rødmarkerte linjen på figur 31, som stort sett går i midten av Tangenbukta på en dybde av 30 til 50 meter fra overflaten. For å igjen unngå faren for stein- og jordras fra den bratte sjøkanten, skal sjøledningen følge den østre kystlinjen til Mjøsa, med en avstand på 200 til 400 meter i luftlinje, til den ender opp på samme breddegrad som Espå.

Det er først da sjøledningen skal ta en nesten 90 graders sving mot Espå, hvor den vil føres vinkelrett opp Mjøskanten og komme ut nedenfor Hestneskrysset. Før sjøledningen kobles sammen med overføringsledningen til HB og forsyningsområdet i Espå, skal den gå 100 meter underjordisk (markert som oransje linje). Begrunnelsen for at sjøledningen skal legges underjordisk ved Espå er for å unngå frost og ugunstige strømningsforhold. Total lengde av delen bestående av sjøledningen, er på omtrent 6775 meter og fallhøyden er på 6,1 meter.

#### 4.1.2.3 Overføringsledning Sjøledning – Forsyningsområde/HB Espa

Overføringsledningen, som er del av forsyningsnettet på Espa, ligger mellom der sjøledningen går i land og HB Espa. Den har allerede blitt lagt av Stange kommune som vist i vedlegg nr.3 og 4.

Figur 32 illustrer overgangen mellom sjøledningen, merket i rødt og oransje (underjordisk sjøledning), og nevnte overføringsledning, i blått.



Figur 32: Trasé overføringsledning til HB Espa, utklipp fra QGIS (hentet 13.april.2021).

Resultatet blir at ledningen krysser E6 ved Hestnesløkka og følger parallelt med Falletvegen, etter den har krysset over Shell Bolleland Espa sitt område. Deretter strekker ledningen seg videre over et jordbruksområde og til Stensby skole. Fra Stensby skole går traséen videre som illustrert i figur 24. Total lengde av overføringsledningen opp til HB Espa er estimert beregnet til 1277 meter.

### 4.1.3 Dimensjonering av ledning

Ledningsdiameter, for delen mellom ringledningen på Tangen, starten av sjøledningen og selve sjøledningen, tar i bruk følgende beregningsgrunnlag:

Tabell 11:

Beregningsgrunnlag for diameter til ledning, utklipp fra Excel (hentet 17.april.2021).

Hva:	Helning	Lengde	Vannmengde	Absolutt ruhet	Kinematisk viskositet
Verdi:	0,83 ‰	7352 m	2,65 l/s	0,002 mm	$10^{-6}$

Resultatet fra beregning viser en nødvendig indre diameter,  $d_e$ , til forbruket for om 20 år, på 81,8mm. Denne diameteren vil gi en gjennomstrømningshastighet på 0,50 m/s, et friksjonstap på 25,069 mVs. Friksjonstapet tilsvarer et vanntrykk på 2,46 bar.

Med disse verdiene benyttes det datablad for å velge riktig ledning, vedlegg nr.8: Standardiserte dimensjoner for PE100- trykkrør. Valgt ledning er PE100: SDR11DY90. SDR11, betyr at ledningen tåler 11 bar trykk. 90 er den ytre diameter og tykkelsen på ledningen er  $(90 - 81,8) \text{ mm} = 8,2 \text{ mm}$ .

Valgt ledning kan også forsyne vannbehovet om 50 år, med 3,80 l/s. Med denne vannføringen ligger gjennomstrømningshastigheten på 0,72 m/s og friksjonstapet på 47,711mVs, som tilsvarer 4,68 Bar. Dette tilfredsstillt krav om strømningshastighet, som tilrådes av Sverre Tragethon i Hallingplast AS, om å ligge mellom 0,5 og 2,0m/s (Tragethon, 2021).

Samme ledning kan benyttes ved varierende vannforbruk i perioden mellom 20 til 50 år. Levetiden på sjøledningen kan dermed anslås inntil 50 år.

### 4.1.4 Utforming ledning

#### 4.1.4.1 Ledning på land:

Ledning som legges på land er PE100 med en ytre PP kappe. (JAPI-PIPE). Type ledning velges med bakgrunn i traséen, nedleggelse i grunn og der det anbefales grøftfri nedlegging (NoDig), ved jernbaneovergang og rv.222. PP kappen gir, som beskrevet i Teorikapittel 2.3.2 Ledningstyper, en ekstra beskyttelse på ledningen ved støt og installasjon.

#### 4.1.4.2 Sjøledning:

De varierte utformingene på sjøledningen er dimensjonert etter resultater som er basert på de ulike ledningstypene. Strekning og trasé er lik mellom de ulike alternativene på utforming.

Strekning på trasé: 6775m

#### Tradisjonell ledning med lodd, PE100: SDR11d<sub>e</sub>:

Tabell 12:

Nødvendig diameter og ballast for tradisjonell sjøledning med lodd, utklipp fra Excel (Datablad hentet fra Hallingplast AS 17.april.2021, vedlegg nr.??).

Antall år:	Diameter ledning, d <sub>e</sub>	Strømnings-hastighet	Friksjonstap	Nødvendig Belastning pr. m rør	Vekt på lodd	Senteravstand lodd
10 år	75-SDR11	0,65 m/s	4,75 Bar – 48,43 mVs	0,653 Kg/m	2 Kg	3,06 m
20 år	90-SDR11	0,50 m/s	2,46 Bar – 25,07 mVs	0,932 Kg/m	3 Kg	3,33 m
50 år	90-SDR11	0,72 m/s	4,68 Bar – 47,71 mVs	0,932 Kg/m	3 Kg	3,22 m

#### SESU-ledning, levert ferdig loddet:

Tabell 13:

Nødvendig diameter og ballast for SESU-ledning, utklipp fra Excel (Datablad hentet fra Hallingplast AS 17.april.2021, vedlegg nr.??).

Antall år:	Diameter ledning, d <sub>e</sub>	Strømnings-hastighet	Friksjonstap	Nødvendig jevnt fordelt belastning pr. m rør
10 år	75-SDR11	0,65 m/s	4,75 Bar – 48,43 mVs	<u>0,653 Kg/m</u>
20 år	90-SDR11	0,50 m/s	2,46 Bar – 25,07 mVs	<u>0,932 Kg/m</u>
50 år	90-SDR11	0,72 m/s	4,68 Bar – 47,71 mVs	<u>0,932 Kg/m</u>

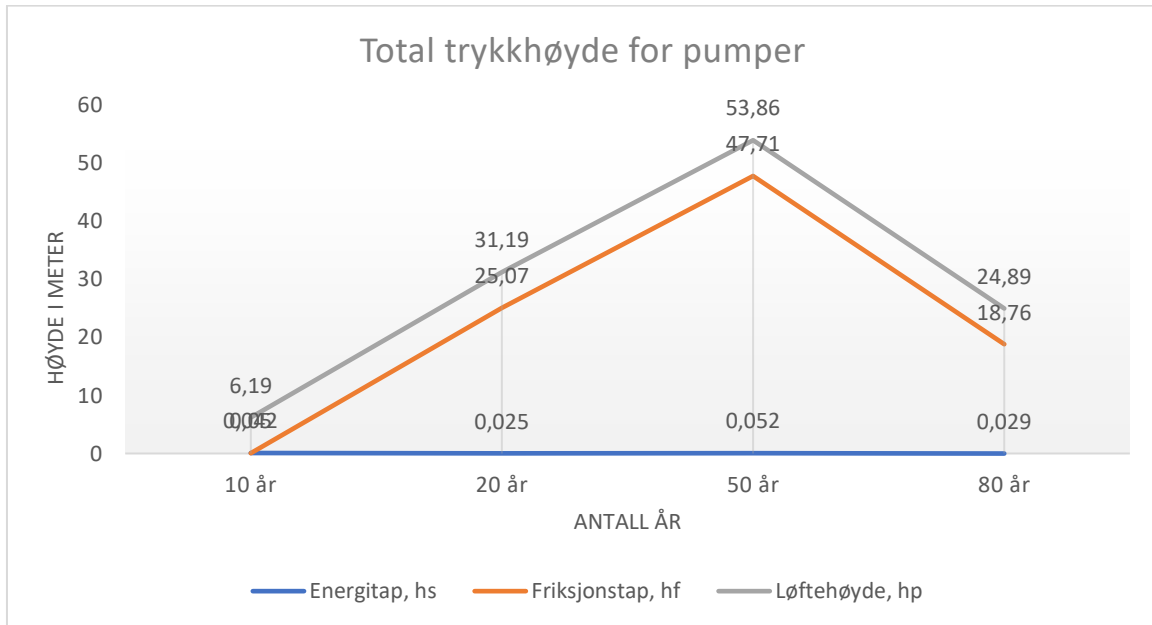
Utformingen av SESU-ledninger er beskrevet i kapittel 2.3.2. Vekten på ballasten er jevnt fordelt over hele ledningens strekning. Foruten den fylte PP- kappen med mineraler, er det benyttet samme type ledning, med tilsvarende dimensjoner som ved PE100- ledning med lodd. Senteravstanden på lodd forfaller, og det blir nødvendig med fordelt last pr. m.

#### 4.1.5 Dimensjonering av pumpestasjon

T.11 viser til nødvendig løftehøyde på vannet fra ringledningen på Tangen og til forsyningsområde Espa. Løftehøyden i mVs, angir resultatet for nødvendig løftehøyde på pumpen. Parametere som er brukt er verdier på singulærtapskoeffisienter, friksjonstap og energitap gjennom ledningens lengde og høydeforskjeller.

Tabell 14:

Trykkehøydediagram for pumper, utklipp fra Excel (hentet 18.april.2021).



Pumpestasjonen plasseres i forkant av sjøledning. Miljøblad nr. 108 er brukt som grunnlag ved valg på plassering av stasjonen.

## 4.2 ALTERNATIV 2. VANNBEHANDLINGSANLEGG

### 4.2.1 Plassering av vanninntak

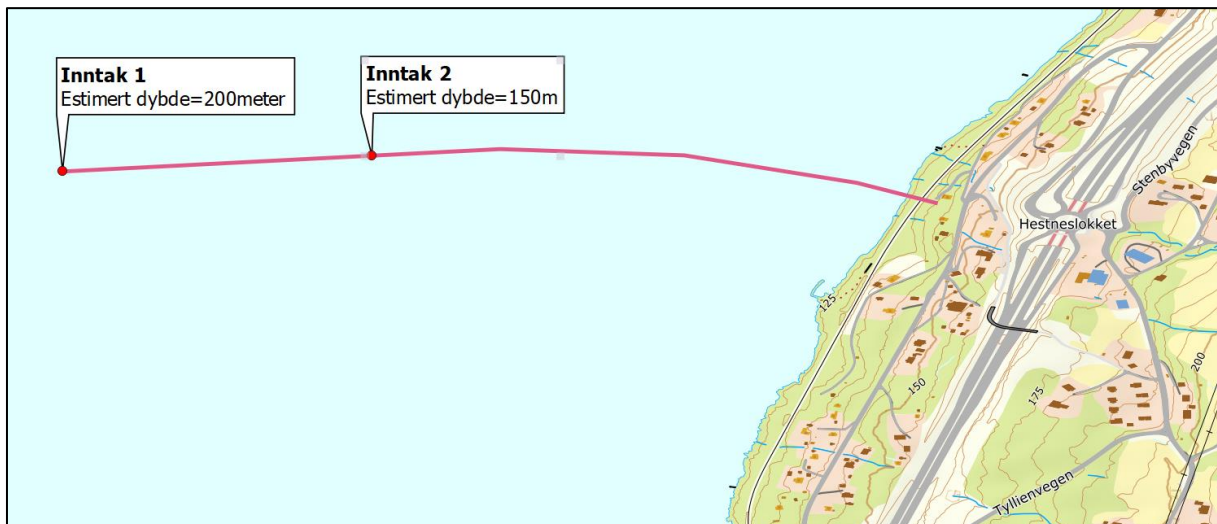
Bestemt plassering av vanninntak baseres på NIVA sin rapport om undersøkelse av forurensning i Mjøsa etter brann i avløpsrensaneanlegget på Skreia. Rapporten viser at vanninntaket til Østre Toten ligger ved målestasjonen for Skreia i en dybde på 195 meter (Økelsrud, et al., 2019).

Sammen med bakgrunn i metodearbeidet, der det er innhentet data fra NIVA om råvannskvaliteten og om eksempelplassing av inntaket ved Østre Toten, velges plasseringen og utformingen av inntaket slikt:

- To inntak på en og samme ledning i forskjellige dybder.
- Inntaksdybde på 150 og 200 meter.

Dette anbefales fordi to inntak sikrer trygg råvannskvalitet, som nevnt i metodearbeidet, og inntaksdybden på min. 150 meter gir garanti over at man tar inn vann under dybdevannsjiktet.

Resultatet utfra den bratte hellingen og ønsket dybdeplasseringer gir da en lokasjon på 700 og 1000 meter luftlinje fra sjøkanten.



Figur 33, viser tenkt plassering av inntaksledningen med begge inntak, utklipp fra QGIS (laget 22.april.2021),

Illustrert plassering i figur 33 ligger i et terreng som bratt faller ned til inntil 400 meters dybde, og dermed gir følgende lengder på ledningen langs bunn til begge inntak:

- 1020 meter til inntak 1.
- 716 meter til inntak 2.



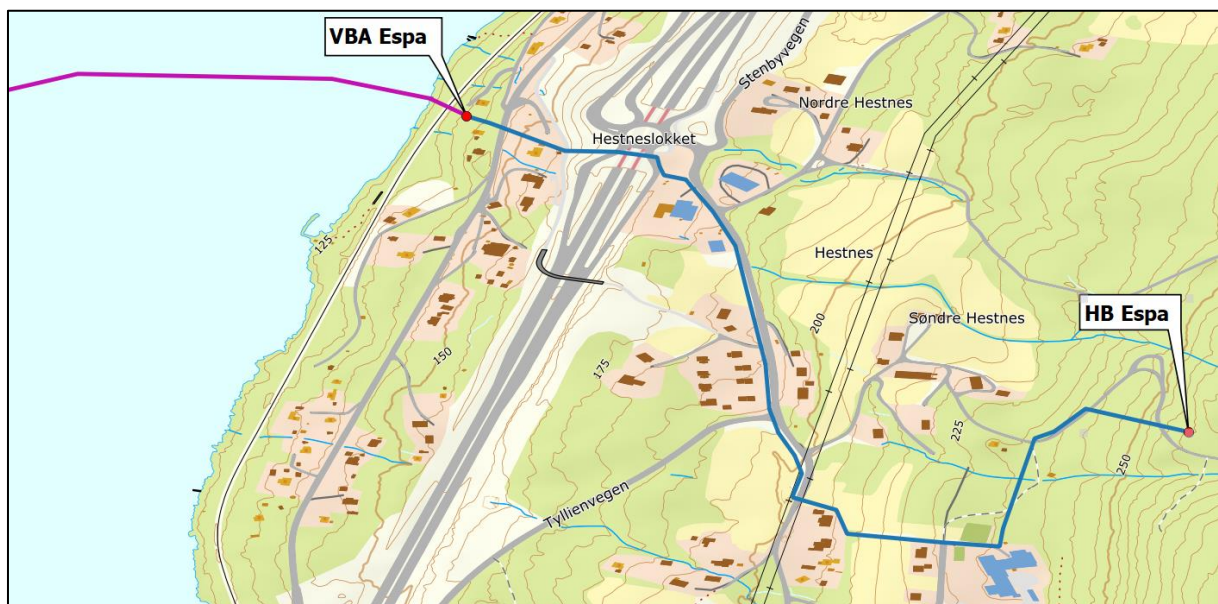
Grunnet plassering i bratt terreng benyttes utforming med flottør på inntaket og en forankring som anvist i figur 18, kap. 2.6.2 Inntak VBA. Inntakene blir plassert med høyde over bunnen på 1,5 - 2,0 meter. Utformingen på inntaket skal inneholde en grovsil. Alt dette gjøres for å unngå innsug av bunnslam, planterester og fisk.

#### 4.2.2 Plassering av VBA

For å finne egnet plassering av et VBA er det viktig å finne ledige arealer som ligger i en gunstig posisjon mellom resipientene og kilden.

I befaringen, og etterfølgende intervju, den 27.januar.2021 med kontaktpersonen i Stange kommune, Viggo Svendsen, kom det frem at kommunen eier to egnede tomter mellom Hestneskrysset og sjøkanten til Mjøsa. I tillegg har kommunen allerede lagt overføringsledning fra forsyningsområdet og HB Espa ned mot tomtene (Svendsen, 2021).

Ønsket resultat for plassering er å plassere VBA slik at det utnytter eksisterende installasjoner og avlagte arealer for framtidig behov innenfor VA.



Figur 34: Tenkt plassering av VBA Espa med tilkobling inntak og overføringsledning til forsyningsområdet/HB Espa, utklipp fra QGIS (hentet 22.april.2021).

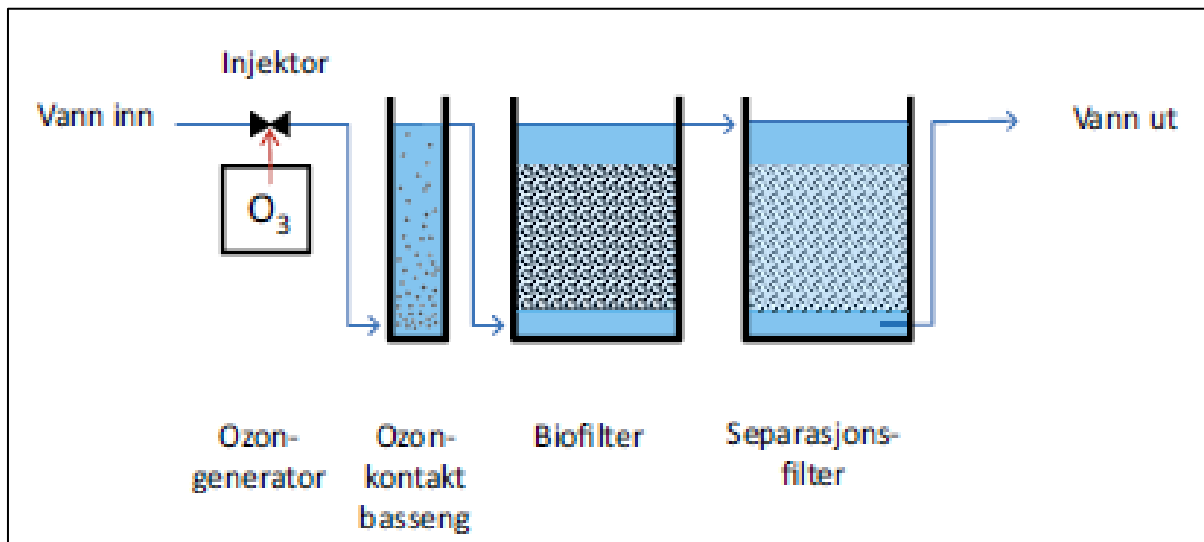
Konklusjonen, som illustreres i figur 34, blir en plassering av VBA mellom eiendommene på Espavegen 713 og 715. Plassering ligger 136,7 moh, og 12,2 meter over vannspeilet til Mjøsa.

Med henvisning fra kapittel 2.6.1 om flomfarer, bekreftes det unngåelse for flomfare på VBA med denne plasseringen. Dette begrunnes med flomsonekart der 500 -årsflommen har et vannspeil på 127,44 moh (Naserzadeh & Pereira, 2005).

#### 4.2.3 Valg av vannbehandlingsmetode

Med bakgrunn i NIVA sine rapporter om vannkvalitet og brann ved avløpsbehandlingen på Skreia, velges det å benytte ozon- biofiltreringsanlegg som vannbehandlingsmetode. Utdypet beskrivelse for valget utredes i kap.3.5.3 Bestemmelse av vannbehandlingsmetode.

I tillegg til OBA tillegges det to trinn i anlegget, foruten dem som er illustrert i figur 35. Ett trinn med klorering, hvis det ved behov er nødvendig med et ytterligere desinfeksjonstrinn og for å redusere kim-tall ut på ledningsnettet. Kloreringstrinnet plasseres etter separasjonsfilteret. Det andre trinnet er vannglass som korrosjonsbehandling. Vannglass plasseres som siste trinn i anlegget før vannet føres ut på ledningsnettet.



Figur 35: Ozon- biofilteranlegg, utklipp fra NV rapport 211, side 55 (hentet 29.4.21).

Valg av metode for korrosjonskontroll støtter seg på presentasjonen fra Stein W. Østerhus, i Sintef, om erfaringer med bruk av vannglass. Denne nevner følgende fordeler for vannglass som korrosjonskontroll:

- Lave investerings- og driftskostnader pluss enkel drift gjør metoden attraktivt for små anlegg (Østerhus, 2008).
- Hvor hovedledningsnett er i plast og det kun er behov for å beskytte hus - installasjoner (Østerhus, 2008).
- Kan fjerne allerede eksisterende korrosjonsproblemer i ledningsnett (Østerhus, 2008).

Fordi VBA på Espa vil ha en vannproduksjon på inntil 3,80 l/s så kan det regnes som et mindre anlegg, og hovedledningen fra nedenfor Hestneskrysset opp til eksisterende HB allerede er lagt i PE (Svendsen, 2021), blir vannglass det riktige valg for korrosjonsbehandling i Espa.

#### 4.2.4 Dimensjonering VBA

##### 4.2.4.1 Dimensjonering av ledning inn/ut VBA

For å dimensjonere nødvendig diameter til inntaksledningen, mellom plassering av inntakene og VBA i Espa, brukes følgende beregningsgrunnlag:

Tabell 15:

Beregningsgrunnlag inntaksledning til VBA, utklipp fra Excel (hentet 28.april.2021).

Hva:	Helning	Lengde	Vannmengde (om 50 år)	Absolutt ruhet	Kinematisk viskositet
Verdi:	11,31°	1020 m	3,80 l/s	0,002 mm	10 <sup>-6</sup>

Fremgangsmåten fra kapittel 2.3.1 Dimensjoneringsgrunnlag ledning, gir resultater som er basert på formler.

Vannmengde, nødvendig for dimensjonering, er hentet fra behovet om 50 år. Resultatet for diameteren til inntaksledningen, som egner seg best for bruk til inntil 50 år i fremtid, ligger på 81,8 mm. Gitt gjennomstrømningshastighet og friksjonstap blir da 0,72 m/s og 6,619 mVs. Denne diameteren gjør det mulig å ta i bruk en standardisert rørdimensjon, SDR11DY90 fra Hallingsplast AS, samtidig som det oppfylles krav om gjennomstrømningshastighet, mellom 0,5 og 2,0m/s og et forholdsvis lavt friksjonstap.

Ledningen ut av VBA som skal kobles til forsyningsområdet på Espa tar i bruk følgende beregningsgrunnlag:

Tabell 16:

Beregningsgrunnlag for ledningen mellom VBA og forsyningsområdet Espa, utklipp fra Excel (hentet 28.april.2021).

Hva:	Helning	Lengde	Vannmengde (om 50 år)	Absolutt ruhet	Kinematisk viskositet
Verdi:	14,28°	55,40 m	3,80 l/s	0,002 mm	10 <sup>-6</sup>

Diameter på ledning ut fra VBA, dimensjoneres etter samme fremgangsmåte, med formler fra kapittel 2.4.1 Dimensjoneringsgrunnlag ledning. Resultatet blir en nødvendig diameter på 81,8 mm. Ledningen skal med dette tilfredsstillende vannforbruket på inntil 50 år.

Dette begrunnes ved at man oppnår en gjennomstrømningshastighet på 0,72 m/s og et friksjonstap på 0,360 mVs. Verdiene oppfyller tidligere nevnte krav og ønsker. Standardiserte rør som Hallingplast AS tilbyr i denne størrelsen blir den samme som for inntaksledningen SDR11DY90.

#### 4.2.4.2 Dosering og utforming av de hygieniske barrierene

##### Ozon- biofilteranlegg: Ozondose

Ozoneringen er en hygienisk barriere og skal sørge for at det opprettholdes et lavt fargetall samtidig som det fjerner mikroorganismer.

Drikkevannsforskriften anbefaler at fargetallet i drikkevannet ikke overstiger 20 mgPt/l. Men siden det ifølge folkehelseinstituttets veileder for stoffer i drikkevannet allerede oppstår en synlig gulbrun farge ved 15 mgPt/l, velges det å sette ønsket fargetall ned til 2 mgPt/l (Hyllestad, et al., 2021).

Med måleverdier av råvannskvaliteten fra kapittel 2.5.1 Mjøsa som drikkevannskilde, blir beregningsgrunnlagene følgende:

Tabell 17:

Beregningsgrunnlag og fremgangsmåte for ozondosen til første hygieniske barriere, utklipp fra Excel (hentet 29.april.2021).

Benevning	Ønsket fargetall, C	Målt fargetall i råvannet, C <sub>0</sub>	Formel
Verdi	2,0 mgPt/l	11,7 mgPt/l	$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{(1 + 20 \times D/C_0)}$ $D = \frac{C_0^2}{20 \times C} - \frac{C_0}{20}$

Resultatet for nødvendig ozondose blir D<sub>ozon</sub> = 2,84 mgO<sub>3</sub>/l.

Vanligvis doserer man litt mer enn hva beregning viser til. Det gjøres for å forsikre seg mot underdosering. Det tillegges vanligvis 0,15- 0,25 mgO<sub>3</sub>/mg Pt, i dimensjonerende ozondosering. Under drift av anlegget bør doseringen tilpasses så man unngår unødig høy BDOC belastning (Ødegaard, et al., 2015).

### Ozon: Kontakt- og reaksjonstank

For å dimensjonere kontakt- og reaksjonstanken er det nødvendig med beregning for oppholdstiden i reaksjonsvolumet. Tilstrekkelig oppholdstid i reaksjonsvolum skal sikre at restkonsentrasjonen av ozon blir null. Formel for nødvendig oppholdstid i reaksjonsvolum:

$$t_{reaksjonsvolum} = \frac{1}{k_{ozon}} \times \ln C_i$$

Til beregning trenger man verdier for C<sub>i</sub> og k<sub>ozon</sub>.

C<sub>i</sub> er initialkonsentrasjonen som påvirkes av både dimensjonerende ozondose (C<sub>dose</sub>), overføringsgraden av ozongass til vannfasen (k<sub>overført</sub>) og det initiale ozonforbruket rett etter dosering, som skyldes oksidasjon (IF). Formel for C<sub>i</sub> benevnes:

$$C_i = C_{Dose} \times k_{overført} - IF_{ozon}$$

Bestemmelser av det initiale ozonforbruket (IF), gjøres etter følgende modell:

$$IF_{ozon} = 0,14 \times C_{TOC-inn} + 0,58 \times C_{Dose} + 0,09 \times \left( \frac{C_{Dose}}{C_{TOC-inn}} \right) + 0,07 \times pH - 0,92$$

Hvor:

$C_{TOC-inn}$  = Konsentrasjonen av TOC i råvannet som tilføres ozoneringstrinnet.

$C_{Dose}$  = Dimensjonerende ozondose mg/l =  $D_{ozon}$

Som beskrevet i kapitel 2.5.1: Mjøsa som drikkevannskilde, benyttes verdiene på TOC og pH ved Skreia, Østre Toten. Kontaktperson fra NIVA anbefaller å benytte verdiene på Skreia, fordi disse er nokså like verdiene for vannkvalitet utenfor Espa.

$$pH = 7,3$$

$$TOC = C_{TOC-inn} = 2,3 \text{ mg/l}$$

Initiale ozonforbruket (IF) blir:

$$IF_{ozon} = 0,14 \times 2,3 + 0,58 \times 1,8 + 0,09 \times \left( \frac{3}{2,3} \right) + 0,07 \times 7,3 - 0,92 = \underline{\underline{1,77 \text{ mg/l}}}$$

Siste nødvendige parameter for å beregne  $C_i$ , er overføringsgraden  $k_{overført}$ . Dette er overføringsgraden av ozongass til vannfasen, og bestemmes etter anvendt kontakt- og reaksjonstank.

Til type tank er det er valgt å benytte en pakket bobletank. Grunnen for det er tankens utforming som gir fordeler som bidrar til bedre ozonoverføring og stempelstrømning i tanken, enn det en bobletank uten pakking har. Nevnte fordeler oppstår fordi tanken er pakket/fyllt med legemer, som gir en mer stabil og jevn strømning av vannet, ved innblanding av ozoninnføring (Ødegaard, et al., 2006).

Fra tabell 5.4 i NV Rapport 212, gir valgt verdi for innblanding/reaktorsystem overføringsgraden,  $k_{overført} = 0,90$  (Ødegaard, et al., 2015).

Med beregnet  $IF_{ozon}$ , bestemte verdier på  $C_{TOC-inn}$  og overføringsgrad ( $k_{overføring}$ ), blir initialkonsentrasjonen:

$$C_i = 3 \times 0,90 - 1,77 = \underline{\underline{2,7}}$$

Siste steg for beregning av nødvendig oppholdstid i reaksjonsvolumet ( $t_{\text{reaksjonsvolum}}$ ), er konstanten for ozonnedbrytningskonstanten ( $k_{\text{ozon}}$ ). Bestemmelse av konstanten beregnes etter modell:

$$K_{\text{ozon}} = 0,050 \times C_{\text{TOC-inn}} - 0,032 \times C_i - 0,017 \times \frac{C_i}{C_{\text{TOC-inn}}} + 0,084 \times pH - 0,48$$

$$K_{\text{ozon}} = 0,050 \times 2,3 - 0,032 \times 2,7 - 0,017 \times \frac{2,7}{2,3} + 0,084 \times 7,3 - 0,48 = \underline{\underline{0,14 \text{ min}^{-1}}}$$

Med nødvendige verdier og parametere dimensjoneres nødvendig oppholdstid i reaksjonsvolum:

$$t_{\text{reaksjonsvolum}} = \frac{1}{k_{\text{ozon}}} \times \ln C_i$$

$$t_{\text{reaksjonsvolum}} = \frac{1}{0,14} \times \ln (2,7) = \underline{\underline{7,00 \text{ min}}}$$

Selv om nødvendig oppholdstid i reaksjonsvolum er beregnet til 7 minutter, anbefales det som en tommelfingerregel å dimensjonere oppholdstid for 10 minutter. Det er fordi fjerning av farge og dannelse av BDOC, trenger liten oppholdstid da humus-reaksjonen med ozon skjer ganske momentant. Men siden ozoneringstrinnet skal inngå som en hygienisk barriere bør oppholdstiden ligge på minimum 10 minutter, med hensyn til kontaktid i MBA. (Cowi AS, 2019).

### **Dimensjonering av biofilter:**

Etter ozoneringstrinnet føres vannet videre til biofiltertrinnet. Her skal det dannede BDOC fanges opp. Før vannet føres til biofiltertrinnet bør det tilsettes atrium-thiosulfat. Stoffet tilsettes for at restozonet skal fjernes før neste trinn.

Ved dimensjonering av biofilteret må det bestemmes hvor mye BDOC som er produsert i ozoneringen, for at oppholdstiden i biofiltreringen blir tilstrekkelig nok til å gjøre vannet biostabilt. Når man ikke vet hvor mye BDOC som er dannet, bestemmes dette gjennom laboratorieforsøk, eller ved å benytte en formel, dersom man har verdier på vannets innhold av totalt løst organisk stoff (DOC).

I arbeide med å dimensjonere biofilteret er det gjort forsøk på å innhente tallverdier på DOC for nærområdet rundt og ved Espa. Verken HIAS, NIVA eller andre instanser har registrerte målinger for nærområdet Espa.

For å komme til et resultat med dimensjoneringen er det derfor valgt å bruke målte verdier for DOC fra et lignende ozon-biofilteranlegg, som også benytter Mjøsa som vannkilde.

Tabell 18 viser et utklipp fra en SINTEF-rapport, utført for å analysere tilsendte vannprøver fra enkeltvannverk (Eikebrokk & Gjerstad, 2015). Tabellen lister opp 12 vannverk som benytter ozon-biofiltrering i Norge, med registrerte vannkvalitetsdata på råvannet, med blant annet verdier for DOC.

Tabell 18:

Vannkvalitetsdata ved OBA anlegg, undersøkt av SINTEF. utklipp fra NV rapport 211, side 26 (hentet 06.mai.2021).

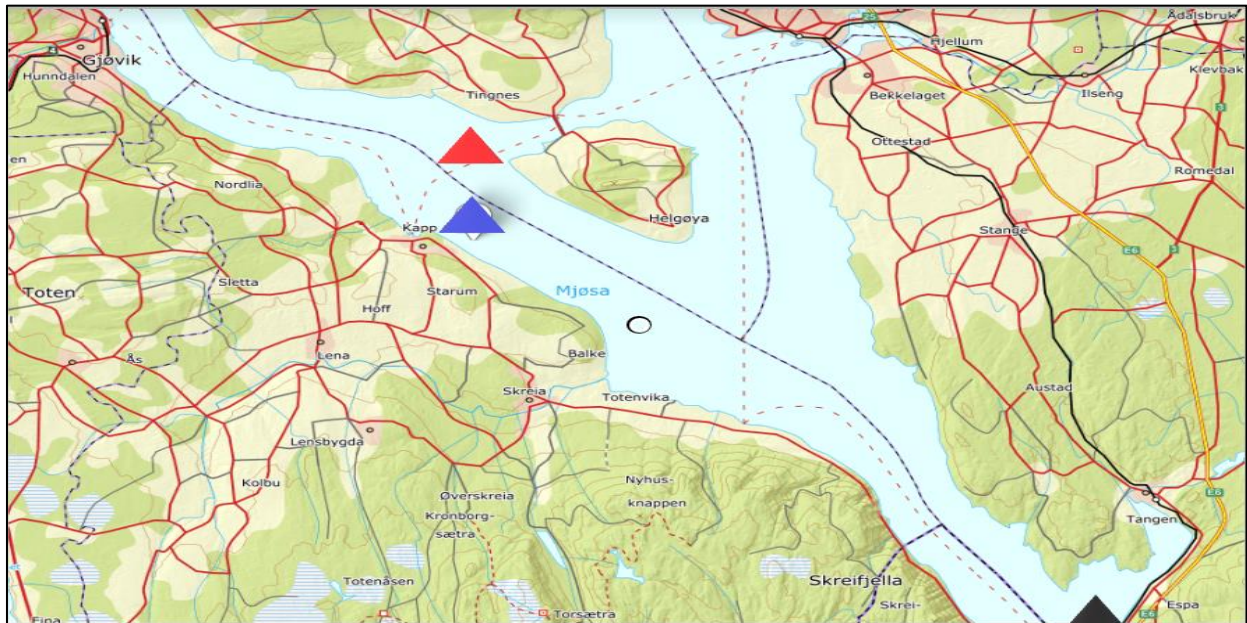
Vannverk	Kommune	Vannprøver NOM/BDOC	Besøkt 2012	Råvannskvalitet <sup>1)</sup>						
				pH	Turb	Farge	UV-abs	DOC	BDOC	ATP <sup>2)</sup>
STENGVATN	Fauske	2012	Nei	7,5	0,2	13	7,3	1,9	0,2	41
NES	Ringsaker	2012	Ja	7,2	6,9	11	7,5	2,1	0,0	66
STEINSVIKA <sup>5)</sup>	Skien	2011/12	Ja	6,7	0,4	14	9,5	2,5	0,1	34
ULEFOSS	Nome	2012	Ja	6,5	0,3	15	9,9	2,4	0,1	34
HAUS	Osterøy	2012	Nei	5,6	0,5	16	10,5	2,1	0,1	64
BRATTVÅG	Haram	2012	Nei	5,8	0,3	20	10,7	2,4	0,1	
KØRELEN <sup>6)</sup>	Sund	2008/09	Nei	6,0	0,2	20	11,5	2,7	0,0	31
VALNESFJORD	Fauske	2012	Nei	6,9	0,2	29	18,8	3,1	0,1	48
TYRISTRAND	Ringerike	2012	Ja	7,0	0,4	28	18,8	5,0	0,1	20
Bønsnes	Hole	2012	Ja	7,3	0,4	18	20,1	3,2	0,1	30
ALVHEIM <sup>7)</sup>	Øygarden	2010/11	Nei	7,0		41	24,6	5,9	0,1	
AUSTEVOLL <sup>3,4)</sup>	Austevoll	2009/10	Nei	6,7		54	28,7	6,7	0,2	58

<sup>1)</sup> Ved tidspunkt for NOM/BDOC-prøvetaking, <sup>2)</sup> Mikrobiell ATP i nmol/L\*1000, <sup>3)</sup> Tall fra nov 2009  
<sup>4)</sup> Tall fra des 2010, <sup>5)</sup> Tall fra okt 2011, <sup>6)</sup> Tall fra apr og mai 2008, <sup>7)</sup> Tall fra okt 2011

Tabell 18 viser data for, blant annet, Nes vannverk i Ringsaker kommune. Geografisk er Nes vannverk plassert 27,6 km, nord for Espa. Vanninntaket på Nes vannverk er plassert 16 km nord for målestasjonen på Skreia, den samme målestasjonen som er brukt ved innhenting av data på vannkvalitet for utredningen av VBA Espa.



I figur 36 illustreres plasseringen på vanninntaket hos Nes vannverk, målestasjonen på Skreia og bestemt plassering for vanninntak på Espa.



Figur 36: Geografisk plassering av målestasjon på Skreia og vanninntaket for Nes og Espa

▲ = Målestasjon på Skreia    ▲ = Inntak Nes vannverk    ▲ = Inntak Espa

I T.18 avleses det verdier for DOC i råvannet på Nes vannverk, og estimerer samme verdi for råvannet på Espa.  $DOC_{inn} = 2,1 \text{ mg/l}$ .

For å finne verdier på hvor mye BDOC som er dannet i ozoneringstrinnet, er det nødvendig å bestemme spesifikk dose, dette er forholdet mellom ozondosering og  $DOC_{inn}$ .

- $D_{\text{ozondosering}} = 2,84 \text{ mgO}_3/\text{l}$
- $DOC_{inn} = 2,1 \text{ mgDOC/l}$
- $D_{\text{spesifikk dose}} = \frac{2,84 \text{ mgO}_3}{2,1 \text{ mg DOC}_{inn}} = \underline{1.35 \text{ mgO}_3/\text{mgDOC}_{inn}}$

Med verdier på spesifikk dose benyttes T.19 for å finne omdanningsprosenten av DOC til BDOC i ozoneringstrinnet. Dette beregnes for å dimensjonere oppholdstiden i biofiltere, slik at det dannete BDOC blir fjernet.

Tabell 19:

Omdanningsprosent av DOC til BDOC avhengig av spesifikk ozondosering, utklipp fra NV rapport 212, side 58 (hentet 06.mai.2021).

Spesifikk dose (mg O <sub>3</sub> /mg DOC <sub>inn</sub> )	Omdanningsprosent (% av DOC som blir BDOC)	Spesifikk dose (mg O <sub>3</sub> /mg DOC <sub>inn</sub> )	Omdanningsprosent (% av DOC som blir BDOC)
0,5	13,3	1,5	24,0
0,75	17,1	1,75	25,5
1	20,0	2	26,7
1,25	22,2	2,25	27,7

Med spesifikk dose på 1.35 mgO<sub>3</sub>/mgDOC<sub>inn</sub>, utføres en interpolasjon mellom 1,25 – 1,5 D<sub>spesifikkdose</sub> og 22,2 – 24 omdanningsprosent fra DOC til BDOC:

$$\% \text{ DOC til BDOC} = 23 \%$$

Det vil si at 23 prosent av DOC<sub>inn</sub> omdannes til BDOC i ozoneringen.

I mengde BDOC pr. liter vann utgjør dette:

$$BDOC_{inn} = 23 \times \frac{2,1 \text{ DOC mg/l}}{100} = \underline{0,48 \text{ BDOCmg/l}}$$

BDOC<sub>ut</sub> bestemmes etter oppholdstiden i biofilteret og dimensjoneres etter utløpskonsentrasjonen i C<sub>BDOC ut</sub>. Dimensjonerende oppholdstid i biofilteret blir dermed:

$$C_{BDOC \text{ ut}} = C_{BDOC \text{ inn}} \times e^{-k \times t_{biofilter}}$$

Hvor:

- C<sub>BDOC inn</sub> = Innløpskonsentrasjon av BDOC til biofilter etter ozonering (mg/l)
- C<sub>BDOC ut</sub> = Utløpskonsentrasjon av BDOC etter biofiltrering (mg/l)
- t<sub>biofilter</sub> = Oppholdstiden i biofilteret (min)
- k = Nedbrytningskonstant = 0,05 min<sup>-1</sup> ved dim. Temp 4 grader celsius.

NV rapport 212 anbefaler at oppholdstiden i biofilteret ikke bør dimensjoneres for lavere oppholdstid enn 20 minutter, fordi det er oppholdstiden i filteret som gjør vannet biostabilt. Samtidig anbefaler rapporten å sette  $C_{BDOC_{ut}}$  til 0,15 mg/l ved dimensjonering, også for at vannet skal bli tilstrekkelig biostabilt. (Ødegaard, et al., 2015). Finner  $C_{BDOC_{ut}}$  med å sette  $t = 20$  minutter:

$$C_{BDOC_{ut}} = C_{BDOC_{inn}} \times e^{-0,05 \times 20} = \underline{0,18 \text{ mg/l.}}$$

$C_{BDOC}$  har en høyere verdi enn anbefalte 0,15 mg/l. Setter  $C_{BDOC} = 0,15$  mg/l og beregner nødvendig oppholdstid for å tilfredsstille  $C_{BDOC} \leq 0,15$  mg/l.

$$t_{biofilter} = \frac{1}{k} \times \left( \ln \left( \frac{C_{BDOC_{inn}}}{C_{BDOC_{ut}}} \right) \right)$$

$$t_{biofilter} = \frac{1}{0,05} \times \left( \ln \left( \frac{0,48}{0,15} \right) \right) = \underline{23,3 \text{ min.}}$$

Med oppholdstid på 23,3 minutter tilfredsstilles anbefalinger om minimum 20 minutter oppholdstid og  $C_{BDOC} \leq 0,15$  mg/l.

Dimensjonerende oppholdstid i biofilteret bestemmes til ,  $t_{dim} = \underline{23,3 \text{ min.}}$

Volumet på biofilteret bestemmes etter:

$$V_{dim} = Q_{dim} \times t_{dim} = 0,23 \times 23,3 = 5,35 \text{ m}^3.$$

Det tilsier at nødvendig volum på biofiltertanken blir  $\underline{5,34 \text{ m}^3}$ .

## UV-desinfeksjon:

For å opprettholde kravet fra kap. 2.5.4 Rensemetoder, om en minimal UV-dose på 40 mJ/cm<sup>2</sup>, tas det i bruk følgende formel og beregningsgrunnlag:

Tabell 20:

Fremgangsmåte og beregningsgrunnlag for strålingsintensiteten av UV-anlegget, utklipp fra Excel (hentet 28.april.2021).

Hva	Q <sub>d,50 år</sub>	UV-dose <sub>krav</sub>	Formel
Data	13,68 m <sup>3</sup> /t	40 mJ/cm <sup>2</sup>	$Dose = 149 \times Q_d^{-1} \times I^{1,273}$ $I = \sqrt[1,273]{Dose / (149 \times Q_d^{-1})}$

Resultatet viser at det kreves en strålingsintensitet på I = 2,78 mW/cm<sup>2</sup>, for å nå anbefalingen om en UV-dose på 40mJ/cm<sup>2</sup>.

UV-anlegget utformes dermed slik at det plasseres en UV-lampe med den valgte strålingsintensiteten i midten av et vannrør. Vannrøret skal sørge for transport av forsyningsvannet Q<sub>d</sub>, fra den første hygieniske barrieren til anleggets korrosjonskontroll.

### 4.2.4.3 Korrosjonsbehandling

For å velge riktig vannglassdosering i SiO<sub>2</sub>/l, brukes tabell 12.4 fra NV rapport 212. Tabellen angir riktig dose utfra råvannets verdier for pH og alkalitet. Ved siden av tabellen nevnes det også at verdiene for kalsium i råvannet ikke burde være over 10 mgCa/l (Ødegaard, et al., 2015).

Data fra kapittel 2.6.1 Mjøsa som drikkevannskilde nevner følgende verdier fra målestasjonen i Skreia, som også kan forventes i råvannet til VBA Espa:

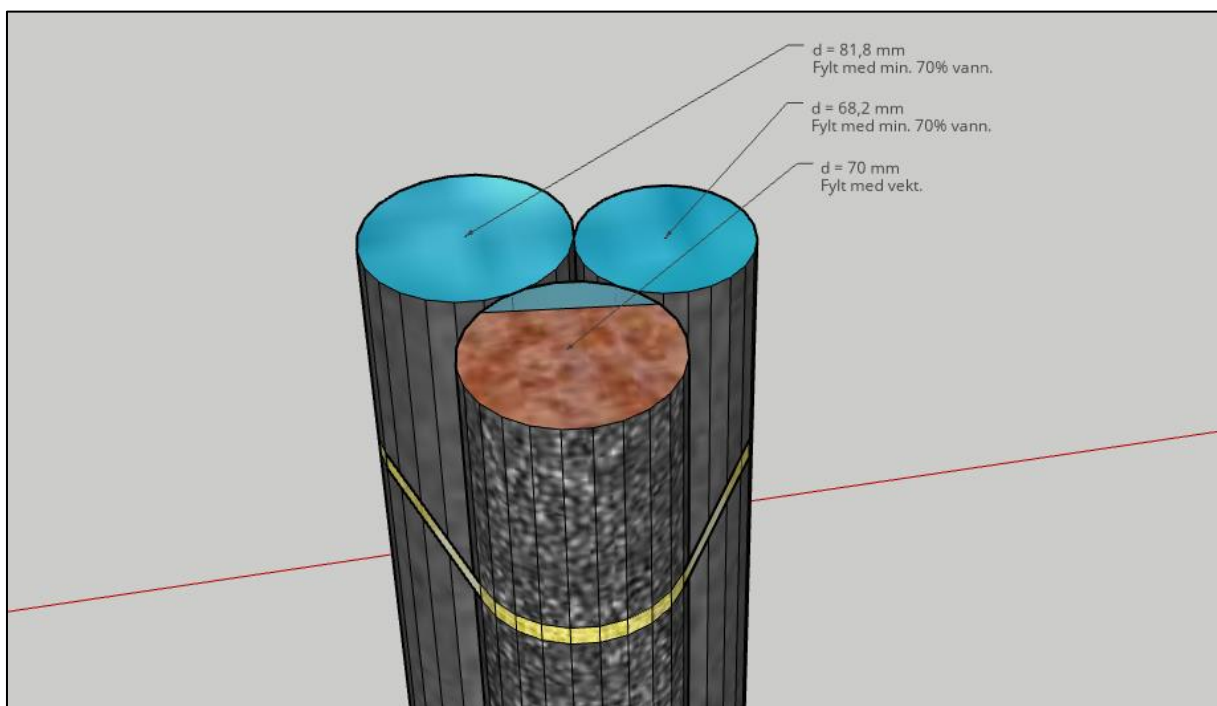
- pH = 7,3
- kalsium = 5,8mgCa/l
- alkalitet = 0,24mmol/l

Resultatet blir at kalsiumverdiene i råvannet ikke overstiger anbefalt maksverdi og vannglassdose utfra tabellen dermed blir på 8 mgSiO<sub>2</sub>/l.

### 4.3 INNOVATIV UTFORMING

Det ble valgt å fremme en ikke - standardisert utforming, ved å undersøke om det finnes innovative løsninger for alternativ 1. sjøledning. Dette er gjort for å gi oppdragsgiveren til oppgaven mulighet til å velge en løsning som ville vært nytenkende og muligens bedre for selve applikasjonen, enn de standardiserte løsninger som anvendes i dag. Arbeidet med å finne en innovativ løsning er gjennomført ved å ta i bruk både kvalitativ og kvantitativ informasjon.

Resultatet for en innovativ utforming av alternativ 1. sjøledning, er en sjøledning som består av tre individuelle kamre.



Figur 37: Skisse av innovativ utforming sjøledning, utklipp fra Google SketchUp (hentet 06.april.2021).

Størrelsene på kammer 1 og 2 ble valgt slik at de til sammen kan sikre vannforsyningen til Espa om 80 år, samtidig som de enkeltvis kan forsyne Espa utfra behovet om 10 og 50 år. Kammer 3 blir et balastlodd og vil ha som oppgave å determinere oppdriften som kan oppstå i kamrene 1 og 2. De tre kamre regnes som én sjøledning, da de er festet sammen i installasjonsprosessen, av et bånd som er laget av et ikke - oksiderende materiale som rustfritt stål.

Tabell 21:

Vannføring og friksjonstap for innovativ utforming forslag sjøledning, utklipp fra Excel (hentet 19.april.2021).

	<b>Kamre 1</b>	<b>Kamre 2</b>	<b>Kamre 3</b>
Beskrivelse	<i>For bruk om 10 – 20 år.</i>	<i>For bruk om 20 – 50 år.</i>	<i>Balastledning/lodd.</i>
Indre diameter	<i>68,2 mm</i>	<i>81,2 mm</i>	<i>70,0 mm</i>
Vannføring om 10 år	<i>2,36 l/s</i>	-	-
Friksjonstap om 10 år	<i>48,434 mVs</i>	-	-
Vannføring om 20 år	-	<i>2,65 l/s</i>	-
Friksjonstap om 20 år	-	<i>25,069 mVs</i>	-
Vannføring om 50 år	-	<i>3,80 l/s</i>	-
Friksjonstap om 50 år	-	<i>47,711 mVs</i>	-
Vannføring om 80 år	<i>2,23 l/s</i>	<i>3,20 l/s</i>	-
Friksjonstap om 80 år	<i>44,680 mVs</i>	<i>35,194 mVs</i>	-

Ifølge Sverre Tragethon fra Hallingplast AS vil produksjonen foregå separat for hvert av kamrene, og dermed kunne benytte seg av eksisterende fabrikkmetoder og fabrikkbånd på fabrikken til Hallingplast. Installasjonsprosessen foregår, som for en vanlig SESU-ledning (senkerør), med den eneste forskjell, at det krever et ekstra steg hvor båndet festes rundt konstruksjonen (Tragethon, 2021).

Et delmål til bacheloroppgaven har vært å fremme bærekraftige løsninger. Fordelene med denne innovative ideen, ved siden av fleksibiliteten til transportert vannmengde, er miljøaspekter for gjenbruk av materialer. Begrunnelsen ligger i at et av kamrene har som hovedfunksjon å være belastende lodd for å unngå oppdrift. Denne ledningen trenger ikke å være vanntett eller trykkbestandig, da det kun skal delfylles med puk, fordi funksjonen til ledningen kun er å utgjøre ballast. Derfor kan det brukes rør av resirkulert materiale, som bidrar til ressurs- og produksjonsbesparelser. Pukk som ballast er også et naturmineral som ikke krever produksjon og er miljøvennlig.

## 4.4 DISKUSJONSKRITERIER

### 4.4.1 Resultater av kriteriene

Tabell 22:

Resultater av diskusjonskriteriene til begge løsningsforslag (laget 28.april.2021).

Punkt	Alternativ 1 - Sjøledning	Alternativ 2 - VBA
<b>1. Natur- og miljøpåkjenninger</b>	<p><u>Ifølge vedlegg 6:</u> Plassering for installasjonene til alt.1. sjøledning berører ingen vernete naturområder ved Espa.</p> <p><u>Ifølge vedlegg 8:</u> Delen av sjøledningen som starter innerst i Tangenbukta ligger i et område markert som naturtype A (svært viktig nasjonalt).</p> <p><u>Ifølge kap. 4.1:</u> Ledningslengde som krever gravearbeid i natur, er omtrent 895 meter. I tillegg skal det bygges PS og HB på Tangen.</p>	<p><u>Ifølge vedlegg 6:</u> Plassering av inntaket og VBA i Espa ligger utenfor områder merket som vernete naturområder.</p> <p><u>Ifølge kap. 4.2:</u> Nesten alt av ledninger her vil legges ved bruk av metoden NoDig. Men det skal plasseres et bygg for VBA i Espa.</p>
<b>2. Mulighet for å øke kapasiteten</b>	<p>Den valgte ledningsdiameteren har en gunstig brukperiode til inntil 50 år. Det er mulig å fortsette vannforsyningen ved å øke trykket. Bli friksjonstapet for stort anbefales det å legge en ny sjøledning med større rørdiameter.</p> <p><u>Innovativ utforming:</u> Den innovative utformingen av forslaget sjøledning med et kombinert rør gir en best mulig brukperiode med framtidig bruk på 80 år. Fom. 80 år kreves</p>	<p>VBA er dimensjonert for vannbehovet om 50 år. Ved vannbehandling av større mengder kreves det utbytting av komponenter i rensetrinnene. Hygieniske barrierer er dimensjonert for å fjerne antall mikroorganismer som forventes i vannmengden om 50 år.</p> <p>VBA bygningen og inntaksledning kan mest sannsynligvis brukes videre i fremtid, siden ledningen er</p>

	<p>utskiftes av rør med større diameter.</p>	<p>dimensjonert til å tåle belastning av høyere trykk. Utbedring av rensetrinnene krever ikke utbygging av bygningsmassen til VBA.</p>
<p><b>3.1 Sikkerhetsdrift</b></p>	<p>For å sikre reservedrift blir PS tilknyttet sjøledning utstyrt med to parallelle pumper.</p> <p>Det sikres stabil drift selv ved brudd på strømmettet, med å installere aggregat/generator til nødløsning.</p>	<p>Inntaksledningen har to inntakssluk i forskjellige dybder. Dette skal sikre en god råvannskvalitet i tilfelle det oppstår ugunstige forhold i et av dybdesjiktene.</p> <p>Hygieniske barrierer blir installert med dublerede installasjoner, slik at deler av anlegget kan frakobles til reparasjon og vedlikehold, mens anlegget er i drift.</p>
	<p>Det merkes at både løsningen med sjøledning og med VBA leverer til et forsyningsområde med et eksisterende HB. Sikkerhetsreserven i dette HB skal kunne sikre vannforsyningen til resipientene i 48 timer.</p>	
<p><b>3.2 Drift og vedlikehold</b></p>	<p>Renseplugg en gang i året i sjøledning og generelt vedlikehold på PS.</p> <p>Renseplugg sendes gjennom sjøledningens strekning opptil 1 gang i året, ved behov.</p>	<p>Avhengig av livssykluser på filtre og UV lysrør ved rensetrinnene og slamopptak.</p> <p>Hygieniske barrierer blir installert med parallelt dobbelt oppsett. På denne måten kan deler av anlegget frakobles til reparasjon og vedlikehold, mens anlegget fortsatt er i drift.</p>
<p><b>3.3 ROS-analyse</b></p>	<p>Punkter for sårbarhet og fastsetting av risiko viser liten til middels konsekvens og liten sannsynlighet, ved utarbeidet handlingsplan.</p>	<p>Punkter for sårbarhet og fastsetting av risiko viser liten til middels konsekvens og liten sannsynlighet, ved utarbeidet</p>



	Vedlegg nr.13 viser risikomatrise før og etter tiltak med handlingsplan.	handlingsplan. Vedlegg nr.14 viser risikomatrise før og etter tiltak med handlingsplan.
<b>4. Energibehov</b>	<p><u>Energibehov PS:</u> For å pumpe en vannmengde på 3,80 l/s (behovet om 50 år) fra ringledningen i Tangen til forsyningsområdet i Espa kreves det 4.224kWh/år (Grundfos, 2021).</p> <p><u>Energibehov vannbehandling:</u> HIAS IKS oppgir energiforbruk på vanninntaket og behandlingsprosessen på 0,27kWh/m<sup>3</sup> (Riise, 2021). Ved en vannmengde på 3,80l/s blir dette 32.356kWh/år.</p> <p><u>Totalt energibehov:</u> <b>36.580 kWh/år</b></p>	<p><u>Energibehov PS:</u> For å pumpe en vannmengde på 3,80l/s fra vannspeilet i Mjøsa til tilkoblingen av forsyningsområdet Espa kreves det 3.275kWh/år (Grundfos, 2021).</p> <p><u>Energibehov vannbehandling:</u> Energiforbruket relateres til kompressorer, generatorer og UV- lamper. Ringsaker kommune oppgir et estimert energibehov til nevnte installasjoner på 56.269kWh/år (Nygård, 2021).</p> <p><u>Totalt energibehov:</u> <b>59.544 kWh/år</b></p>
<b>5. Økonomi</b>	<p><u>Årlig driftskostnad:</u> Brukt data er strømforbruk fra diskusjonskriteriet energibehov og tall for strømpris for tjenesteytende næringer fra ssb.no på 18,3øre/kWh (Statistisk sentralbyrå, 2021). Dette gir en årlig strømkostnad på <b>6.694 NOK/år.</b></p> <p><u>Innkjøpskostnader:</u> Data om PS med to parallelle sentrifugalpumper fra Grundfos, gir en innkjøpspris på <b>68.410 NOK</b></p>	<p><u>Årlig driftskostnad:</u> Brukt data er strømforbruk fra diskusjonskriteriet energibehov og tall for strømpris for tjenesteytende næringer fra ssb.no på 18,3øre/kWh (Statistisk sentralbyrå, 2021). Dette gir en årlig strømkostnad på <b>10.897 NOK/år.</b></p> <p><u>Innkjøpskostnader:</u> Data om PS med to parallelle sentrifugalpumper fra Grundfos, gir en innkjøpspris på <b>62.780</b></p>

	<p>(Grundfos, 2021). Hallingplast AS gir en meterpris for SESU-ledning i ønsket diameter på 213 NOK/m (Tragethon, 2021). Ledningen fra ringledningen til forsyningsområdet Espa har dermed, med en lengde på 7352 m, en kostnad på <b>1.565.976 NOK</b>.</p>	<p><b>NOK</b> (Grundfos, 2021). Pris for VBA i alt.2. var ikke tilgjengelig for oppgaven.</p>
<b>6. Kompatibilitet</b>	<p>Eksisterende installasjoner som alt.1 sjøledning tar i bruk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ringledning HIAS.</li> <li>- Forsyningsnett med HB på Espa.</li> </ul>	<p>Eksisterende installasjoner som alt. 2 VBA tar i bruk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kommunal eid tomt ved mjøskanten.</li> <li>- Forsyningsnett med HB på Espa.</li> </ul>

#### 4.4.2 Poengfordeling blant kriteriene

Diskusjonskriterier fra Metodekapittel 3.6 og ovenstående resultat, gir en poengfordeling for beste alternativ ved gitte kriterier. Fordelingen av poeng gis på bakgrunn i de varierte kriteriene, der høyeste poeng gis til det mest gunstige alternativ for hvert av kriteriene.

Det nevnes i metodearbeidet at det er valgt å multiplisere poengene med 0,5 i kriterier: Økonomi, sikkerhetsdrift, drift- og vedlikehold, og ROS-analyse. Som nevnt er det valgt å gjøre dette med hensyn til usikker kredibilitet i drift- og vedlikehold og ROS-analysen. I økonomi er det mangel på data som viser til innkjøpskostnader ved VBA. Poengene fordeles derfor slik:

Tabell 23:

Poengfordeling i enkelte kriterier med sum til hvert alternativ (laget 11.mai.2021).

<b>Kriterier (faktor):</b>	<b>Poeng sjøledning</b>	<b>Poeng VBA</b>
Natur- og miljøpåkjenninger (1x)	1	3
Mulighet for kapasitetsøkning (1x)	3	2
Sikkerhetsdrift, drift- og vedlikehold, og ROS-analyse (0,5x)	1,5	1
Energibehov (1x)	3	1
Økonomi (0,5x)	1,5	1
Kompatibilitet (1x)	3	2
<b>Sum</b>	<u>13</u>	<u>10</u>



## 5 DISKUSJON

---

I dette kapittelet begrunner, og gjør vi rede for poengfordelingen i resultatkapittelet.

### 1. Natur- og miljøpåkjenninger:

I kapittel 4.4 under Diskusjonskriterier, vises det til vedlegg nr. 6 og 8 for planområder. Det er kun alternativ 1. sjøledning, som berører vernede naturområder. For alternativ 1. sjøledning, er det utredet en flere hundre meter lang ledningstrasé, langs turstien i Gjellberget, til et nytt HB og PS i Tangen.

Disse inngrepene på vernede naturområder kan medføre at en må ta ekstra hensyn i seinere prosesser (f.eks. reguleringsplaner), samtidig som de kan føre til en forlengelse av godkjenningsprosessen. Inngrepet i det lokale turområdet Gjellberget, hvor det for HB Tangen med overføringsledningen ned til ringledningen skal utføres synlige anleggsarbeider, kan møte på avvisninger fra lokalbefolkningen.

Siden alternativ 2. VBA, ifølge resultatet kun krever anleggsarbeid for bygget til VBA, og dermed påfører minst inngrep i natur og vernede naturområder, er det foretrukket å gi fordelene til alternativ 2. VBA. Alternativ 1. sjøledning berører vernet natur og ender dermed opp med minste poeng.

*Tabell 24:*

*Poengfordeling for kriteriet natur- og miljøpåkjenninger (laget 11.mai.2021).*

<b>Natur- og miljøpåkjenninger:</b>	<b>Alt.1 sjøledning</b>	<b>Alt.2 VBA</b>
Poeng (1-3)	1	3

### 2. Mulighet for kapasitetsøkning:

I kapittel 4.4 Diskusjonskriterier pkt. 2, kommer det frem at begge alternativene er dimensjonert for vannbehovet til inntil 50 år. Ved en økning på vannforbruket utover 50 år, vil det være behov for utskifting av komponenter i renseprosesser og andre deler i installasjonene, for å kunne tilfredsstillende vannbehovet.

Ved alternativ 1. sjøledning er det benyttet ledninger som tåler nesten det dobbelte vanntrykket av det de er dimensjonerte for. Ledningen er dimensjonert med en tykkelse som bidrar til ytterligere sikkerhet for påkjenninger, samtidig som det gir mulighet for økt

vanntrykk ved et større vannbehov enn det som forventes om 50 år. Friksjonstapet er tatt med i beregningen ved økt forsyningsmengde og påvirkes i liten grad. Den alternative utformingen ved alternativ 1. sjøledning, er dimensjonert for å dekke framtidig vannbehov for til om med 80 år.

Som ledningen i alternativ 1. sjøledning, så kan inntaksledningen til alternativ 2. VBA, også benyttes i framtid med økt vannbehov. Det er renseprosessene som stiller krav til ny dimensjonering for et større enn dimensjonert vannbehov.

Konklusjonen i dette kriteriet blir at alternativ 1. sjøledning har en bedre mulighet for kapasitetsøkning, grunnet bruken av rør som kan transportere større mengder enn det de er dimensjonerte for. Det vektlegges også at den innovative utformingen i alternativ 1. sjøledning, gir oppdragsgiveren et bedre perspektiv på muligheter når det kommer til vannbehovet i framtiden. Med bakgrunn i dette velges det å gi 3 poeng til alternativ 1. sjøledning, på grunn av mer fleksibel leveranse på vannbehovet. Alternativ 2. VBA får 2 poeng, fordi det kun til en viss grad tilbyr muligheten for kapasitetsøkning.

*Tabell 25:*

*Poengfordeling for kriteriet kapasitetsøkning (laget 11.mai.2021).*

<b>Mulighet for kap. økning:</b>	<b>Alt. 1 sjøledning</b>	<b>Alt. 2 VBA</b>
Poeng (1-3)	3	2

### **3. Sikkerhetsdrift, drift og vedlikehold og ROS-analyse:**

Dette kriteriet er bestående av punktene sikkerhetsdrift, drift og vedlikehold og ROS-analyse. Dette åpner muligheten for å fremheve det alternativet som tilbyr størst stabilitet i vannforsyning gjennom sin livstid.

I punktet sikkerhetsdrift er det i utredelsen av alternativ 1. sjøledning, hovedsakelig strømbrudd i PS som kan forårsake stopp i vannforsyningen. PS vil bestå av parallelle pumper med et aggregat/generator som nødløsning ved strømbrudd. Sikkerhetsdrift i alternativ 2. VBA, omhandler sikkert inntak og sikker rensebehandling av vannet. VBA er utredet med to inntakssluk i forskjellige dybdesjikt, med dubberte installasjoner av de hygieniske barrierene, i tillegg til aggregat/generator som nødløsning ved strømbrudd. Med dette vil begge alternativene ha etablert en sikkerhetsdrift, men i alternativ 2. VBA er det flere faktorer innenfor sikkerhetsdrift som det må tas hensyn til.

Punktet som retter seg mot drift- og vedlikeholdsarbeid tar for seg hvilket alternativ som krever den største arbeidsmengden. For alternativ 1. sjøledning anbefales det å sende igjennom en renseplugg i sjøledningen når det regnes som nødvendig. I tillegg krever PS for alternativ 1. sjøledning generelt vedlikehold. For alternativ 2. VBA er det primært filtrene ved rensetrinnene og slamopptaket som gir utslag for drift- og vedlikehold.

ROS-analysen oppgir sannsynligheten og konsekvensgraden ved uheldige hendelser i teknisk drift av begge alternativene. Ut ifra Resultatkapittel 4.4.1 pkt. 3.3, vises det til risikomatrix hos begge alternativer. Det gis liten, til middels konsekvens, og liten sannsynlighet for at uheldige hendelser kan oppstå. Dette gir mulighet for å klassifisere begge alternativene som trygge installasjoner, fordi det er lite forskjell i usikkerheten med de gitte konsekvenser og sannsynligheter.

Konklusjonen for dette kriteriet kan man si at blir synliggjort gjennom de ulike metodene i hvordan vedlikeholdsarbeidet ser ut, og hvor stor sannsynlighets- og konsekvensgrad de innebærer. Begge alternativene kommer omtrent likt ut, både negativt og positivt. Det er bare i punkt sikkerhetsdrift at alternativ 1. sjøledning gir en bedre løsning og dermed tildeles ett poeng mer enn alternativ 2.

*Tabell 26:*

*Poengfordeling for kriteriet sikkerhetsdrift, drift og vedlikehold, og ROS-analyse (laget 11.mai.2021).*

<b>Sikkerhetsdrift, drift og vedlikehold, og ROS-analyse:</b>	<b>Alt.1 sjøledning</b>	<b>Alt.2 VBA</b>
Poeng (1-3)	3	2

#### **4. Energibehov:**

I diskusjonen rundt energibehovet er det viktig at det velges det alternativet som har lavest strømforbruk per m<sup>3</sup> levert drikkevann. Siden vannmengden er lik for begge alternativene, kan en sammenligne årlig forbruk i strøm. Bakgrunnen her ligger i at oppgaven skal ta vare på FN's bærekraftsmål del 7.a, som omhandler energieffektivisering.

Totalt estimert energibehov for alternativ 1. sjøledning ligger på 36.580 kWh/år. Dette inkluderer forbrukere som PS og HIAS IKS. Alternativ 2. VBA som også har to store forbrukere, bestående av PS og vannbehandlingsprosessen, har derimot med 59.544 kWh/år et 63 prosent høyere energibehov. Forklaringen her er at selv om alternativ 2. VBA har et nesten

1000 kWh/år lavere forbruk i PS enn det alternativ 1. sjøledning, så er utformingen til alternativ 2. VBA i liten skala, mindre effektiv enn det er i HIAS IKS.

Bruk av HIAS IKS som drikkevannskilde gir dermed alternativ 1. sjøledningen en så stor energibesparelse at den får fullt poeng her. Totalt årlig besparelse er dermed estimert til 22.964 kWh/år. Alternativ 2. VBA får minste poeng her grunnet et energibehov som ligger høyt over det til alternativ 1. sjøledning

Tabell 27:

Poengfordeling for kriteriet energibehov (laget 11.mai.2021).

<b>Energibehov:</b>	<b>Alt. 1 sjøledning</b>	<b>Alt. 2 VBA</b>
Poeng (1-3)	3	1

## 5. Økonomi:

Diskusjonskriteriet økonomi tar for seg argumentasjonen over hvilket alternativ som kunne regnes med å ha lavest drifts- og innkjøpskostnad. Her argumenteres det med grove estimeringer grunnet oppgavens avgrensing om å ikke kunne konkludere med faste kostnader.

Fordi det er et lavere strømforbruk ved alternativ 1. sjøledning, så kan det allerede forventes en årlig estimert besparelse på 4.203 NOK i driftskostnad. Priser for innkjøp er estimert noe mer grovt: Total innkjøpspris for alternativ 1. sjøledning tar med 68.410 NOK for pumpe og 1.565.976 NOK for selve sjøledningen. Til sammen blir dette 1.634.386 NOK. Dette innbefatter ikke kostnad for HB og andre ledninger i Tangen. For alternativ 2. VBA er det kun estimert pris på pumpe, 62.780 NOK, mens installasjoner som inntaksledning og renseprosesser ikke har blitt priset.

For kriteriet økonomi konkluderes det dermed at det ikke kan bli gitt poeng basert på innkjøpskostnader. Kostnader på drift, derimot, gir muligheten å kunne gi beste rangering til alternativ 1. sjøledning, siden den ville føre med seg en stor årlig besparelse. Det er derfor alternativ 1. sjøledning får ekstra poeng for kriteriet økonomi.

Tabell 28:

Poengfordeling for kriteriet økonomi (laget 11.mai.2021).

<b>Økonomi:</b>	<b>Alt.1 sjøledning</b>	<b>Alt.2 VBA</b>
Poeng (1-3)	3	2



## 6. Kompatibilitet:

Kompatibilitetskriteriet skal sikre at det velges det alternativet som best mulig tar nytte av allerede eksisterende VA- infrastruktur. Det inkluderer ledninger i forsyningsområdene fra kommunen, egnete arealer som er avsatt til VA- formål og HIAS IKS som forsyner ringledning på Tangen.

Argumentet som tar for seg alternativ 1. sjøledning baserer seg på bruken av både forsyningsnettet på Espa, inkludert et nytt HB og tilkobling ringledningen fra HIAS IKS som kilde. Alternativ 2. VBA bruker som argument at det også tar bruk av forsyningsnettet på Espa. Og selv om avlagt tomt fra kommunen er lagt til rette for plassering av VBA, så vil ikke bruk av en egen drikkevannskilde gi mulighet til et interkommunalt system.

Med forankring i FKDP kommer alternativ 1. sjøledning best ut med kompatibilitet, grunnet satsingen på et interkommunalt samarbeid. Som tidligere nevnt er det i FKDP et satsningsområde for samarbeid i VA, mellom kommunene Stange, Hamar, Løten og Ringsaker (Felles Kommunedelplan- VA, 2019).

*Tabell 29:*

*Poengfordeling for kriteriet kompatibilitet (laget 11.mai.2021).*

<b>Kompatibilitet:</b>	<b>Alt. 1 sjøledning</b>	<b>Alt. 2 VBA</b>
Poeng (1-3)	3	2



## 6 KONKLUSJON

---

Konklusjonen for valg av alternativ for drikkevannsforsyning på Espa, i Stange kommune, baserer seg på antall poeng de ulike alternativene fikk. Alternativ 1. sjøledning fikk flest poeng. Det var, som en kan se ut fra resultatkapittelet ikke så mye som skilte de to alternativene, ut fra oppgitte kriterier. Poengsummen konkluderte alternativ 1. sjøledning, og det er også mest gunstig, sett i sammenheng med FKDP. Valgte alternativ gir anvisning til å etablere et HB i Tangen, med tilhørende overføringsledninger fra ringledningen i Tangen, og en sjøledning med PS som strekker seg fra ringledningen i Tangen til forsyningsområdet i Espa.

Ut fra tabell 23, i kapittel 4.4.2, viser det seg at alternativ 1. sjøledning er bedre egnet med tanke på fleksibiliteten i kapasitet, energiforbruk, økonomi og kompatibilitet. Det er kun i kriteriene natur- og miljøpåkjenninger hvor alternativ 2. VBA får høyere poengsum. Sammendraget av tabellen viser dermed at alternativ 1. sjøledning ender opp med 3 poeng mer enn alternativ 2. VBA.

Til videre arbeid vil det være nødvendig med mer detaljert data rundt de to alternativene, enn de tilgjengelige data som har vært innhentet for oppgaven. Kapittel 1.4 Avgrensninger gjør rede for blant annet grunnforhold i Mjøsa, ROS-analyse og økonomi. Forslag til videre arbeid er å utrede for de punktene med avgrensninger, som er oppført i kapittel 1.4 Avgrensninger.



## 7 LITTERATURLISTE

---

Andersen, E., 2016. *Vannrapport 127, Vannforsyning og helse - veiledning i drikkevannshygiene*, Oslo: Folkehelseinstituttet.

Andersen, J. & Senneset, A., 2015. *NV 216, Veiledning i planlegging av vannkilde og vannbehandlingsanlegg*, Hamar: Norsk Vann.

Cowi AS, 2016. *Legging av undervannsledninger*, s.l.: VA/Miljø blad.

Cowi AS, 2018. *Inntak under vann, nr.45*, s.l.: Stiftelsen VA/Miljø-blad.

Cowi AS, 2019. *Kartlegging Tyristrand vannverk*, Fredrikstad: Norsk Vann.

Eikebrokk, B. & Gjerstad, K. O., 2015. *Erfaringer med ozon- biofiltrering for behandling av drikkevann, rapport 211*, Hamar: Norsk Vann.

Eikebrokk, B., Ræstad, C., Hem, L. J. & Gjerstad, K. O., 2008. *Veiledning for UV-desinfeksjon av drikkevann, rapport 164*, Hamar: Norsk Vann.

Felles Kommunedelplan- VA, 2019. *hamar.kommune.no*. [Internett]

Available at: <https://www.hamar.kommune.no/getfile.php/13451328-1558432935/Bilder/Hamar/Artikkelbilder/Rullering%20FKDP-VA%20-Endelig%20utkast%20160519.pdf>

[Funnet 16 mars 2021].

Finsrud, R., 2013. *Pumpestasjoner for trykk- og kapasitetsøkning Nr.108*, s.l.: VA/Miljø-blad.

FN, 2021. *FN's bærekraftsmål*. [Internett]

Available at: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>

[Funnet 23 Mars 2021].

Grundfos, 2021. *grundfos.com*. [Internett]

Available at: <https://product-selection.grundfos.com/no/products/cr-cre-cri-crie-crn-crne-crt-crte/cr/cr-5-12-96516995?pumpsystemid=1309070838&tab=variant-sizing-results>

[Funnet 28 april 2021].

Grundfos, 2021. *grundfos.com*. [Internett]

Available at: <https://product-selection.grundfos.com/no/products/cr-cre-cri-crie-crn-crne-crt->

[crte/cr/cr-5-9-96556828?pumpsystemid=1309072142&tab=variant-sizing-results](https://www.hallingplast.no/produktomraader/pe-roersystem/japi-pipe/)

[Funnet 28 april 2021].

Gøytil, S. & Liane, S. F., 2004. *Erfaringer med klorering og UV-stråling for desinfeksjon av drikkevann, rapport 139*, Hamar: Norsk Vann.

Hallingplast AS, 2021. [www.hallingplast.no](http://www.hallingplast.no). [Internett]

Available at: <https://www.hallingplast.no/produktomraader/pe-roersystem/japi-pipe/>

[Funnet 17 Mars 2021].

HIAS , 2021. [hias.no](http://hias.no). [Internett]

Available at: [https://www.hias.no/om-hias/vann-og-](https://www.hias.no/om-hias/vann-og-avlop/vannkvalitet/?fbclid=IwAR26P6RIWr_RiO06MJmEWC0eSnsJpTmmqlhCHnvDJ5kmI)

[avlop/vannkvalitet/?fbclid=IwAR26P6RIWr\\_RiO06MJmEWC0eSnsJpTmmqlhCHnvDJ5kmI](https://www.hias.no/om-hias/vann-og-avlop/vannkvalitet/?fbclid=IwAR26P6RIWr_RiO06MJmEWC0eSnsJpTmmqlhCHnvDJ5kmI)  
[Pw7G1hydN\\_NYgM](https://www.hias.no/om-hias/vann-og-avlop/vannkvalitet/?fbclid=IwAR26P6RIWr_RiO06MJmEWC0eSnsJpTmmqlhCHnvDJ5kmI)

[Funnet 29 april 2021].

Hyllestad, S., Lund, V. & Nordheim, C. F., 2021. *Kjemiske og fysiske stoffer i drikkevann*, Oslo: Folkehelseinstituttet.

Lovdata, 2016. [www.lovdata.no](http://www.lovdata.no). [Internett]

Available at: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-12-22-1868>

[Funnet 23 Januar 2021].

Melheim, E., 2012. *Veiledning i dimensjonering og utforming av VA- transportsystem, rapport 193*, Hamar: Norsk Vann.

Miljødirektoratet, 2021. [miljodirektoratet.no](http://miljodirektoratet.no). [Internett]

Available at: <https://www.miljodirektoratet.no/myndigheter/arealplanlegging/miljohensyn-i-arealplanlegging/naturmangfold/verneomrader-i-arealplanlegging/>

[Funnet 06 mai 2021].

Myhren Bøyeie, K., 2021. *BaneNOR* [Intervju] (27 januar 2021).

Naserzadeh, A. R. & Pereira, J., 2005. *Flomsonkart delprosjekt Hamar*, Oslo: NVE.

Norsk Standard, 2015. *NS 3070-1:2015 Samordning av ledninger i grunnen - Del 1: Avstandskrav*, Lysaker: Standard Norge.

Norsk Standard, 2019. *NS-EN 1295-1:2019 Styrkeberegning av nedgravde rørledninger under forskjellige belastningsforhold - Del 1: Generelle krav*, s.l.: Norsk Standard.

Nygård, S. E., 2021. *Energiforbruk ved Nes vannverk i Ringsaker* [Intervju] (3 Mai 2021).

Riise, M., 2021. *Spørsmål om HIAS IKS`s energibehov til vann- og avløpssjef*. [Intervju] (25 mars 2021).

Sibbern, C. C., 2015. *ABC for gravefri framtid*. 2. red. Moss: Olimb.

Skjærbakken, I. H., 2011. *Veiledning i bygning og drift av drikkevannsbasseng, rapport 181*, Hamar: Norsk Vann.

Solheim, A. L. et al., 2020. *Tiltaksorientert overvåking i vannområde Mjøsa*, Ottestad: NIVA.

Stange kommune, 2014. *Kommuneplan - Samfunnsdel 2014-2026*. [Internett]  
Available at: [https://www.stange.kommune.no/getfile.php/13266990-1403762547/Filer/Stange/PDF/Planer/Kommuneplanens%20samfunnsdel%202014-2026/Kommuneplanens%20samfunnsdel\\_vedtatt%2018.6.2014.pdf](https://www.stange.kommune.no/getfile.php/13266990-1403762547/Filer/Stange/PDF/Planer/Kommuneplanens%20samfunnsdel%202014-2026/Kommuneplanens%20samfunnsdel_vedtatt%2018.6.2014.pdf)  
[Funnet 13 Februar 2021].

Stange kommune, 2019. *Dimensjoneringsgrunnlag for høydebasseng Espa*, Stange: Stange Kommune.

StangeKommune, 2019. *Fakta og tall*. [Internett]  
Available at: <https://www.stange.kommune.no/category8879.html>  
[Funnet 3 3 2021].

Statistisk sentralbyrå, 2021. *ssb.no*. [Internett]  
Available at: <https://www.ssb.no/elkraftpris>  
[Funnet 02 mai 2021].

Svendsen, V., 2021. *Forhold Espa* [Intervju] (27 Januar 2021).

Tragethon, S., 2021. *Intervju Hallingplast AS* [Intervju] (5 mars 2021).

VA-Norm Stange kommune, 2021. *VA- normen for Stange kommune*, Stange: va-norm.no.

Ødegaard, H., 2014. *Vann og avløpsteknikk*. 2. red. s.l.:Norsk Vann.

Ødegaard, H., Brandt, J., Liane, S. F. & Østerhus, S., 2015. *Veiledning for dimensjonering av vannbehandlingsanlegg, rapport nr 212*, Hamar: Norsk Vann.

Ødegaard, H., Fiksdal, L. & Østerhus, S. W. N., 2006. *Optimal desinfeksjonspraksis for drikkevann*, Hamar: AL Norsk vann og avløp BA.

Ødegaard, H. et al., 2015. *Veiledning for dimensjonering av vannbehandlingsanlegg, rapport 212*, Hamar: Norsk Vann.

Økelsrud, A., Kempa, M., Kile, M. R. & Garmo, Ø., 2019. *Undersøkelse av forurensing i Mjøsa etter brann i Skreia avløpsrenseanlegg*, Skreia: NIVA.

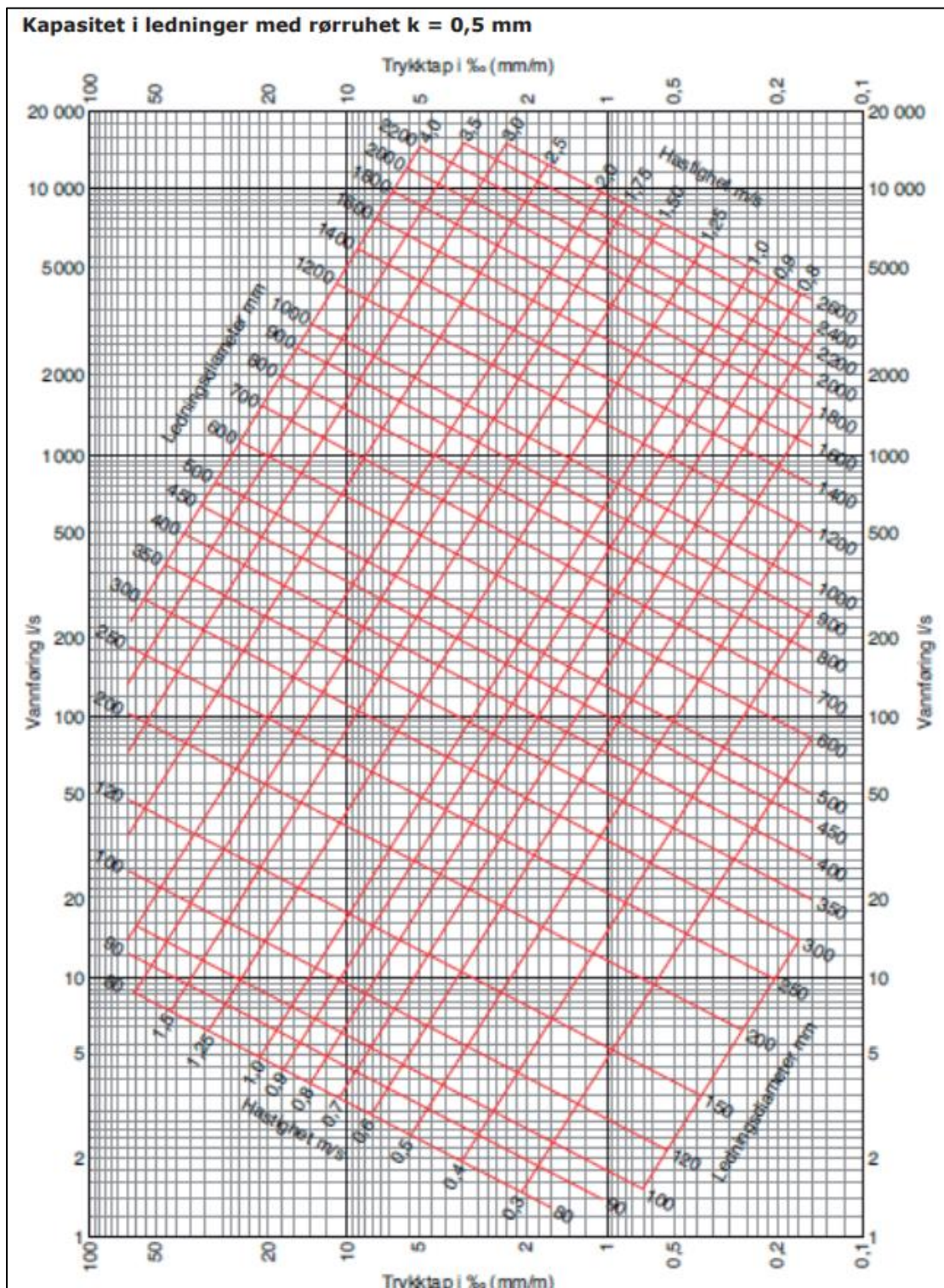
Østerhus, S. W., 2008. *Erfaringar med bruk av vannglass*. Stryn: Sintef byggforsk.

Østerhus, S. W. & SINTEF, 1998. *Vannglass som korrosjonsinhibitor*, Hamar: NORVAR.

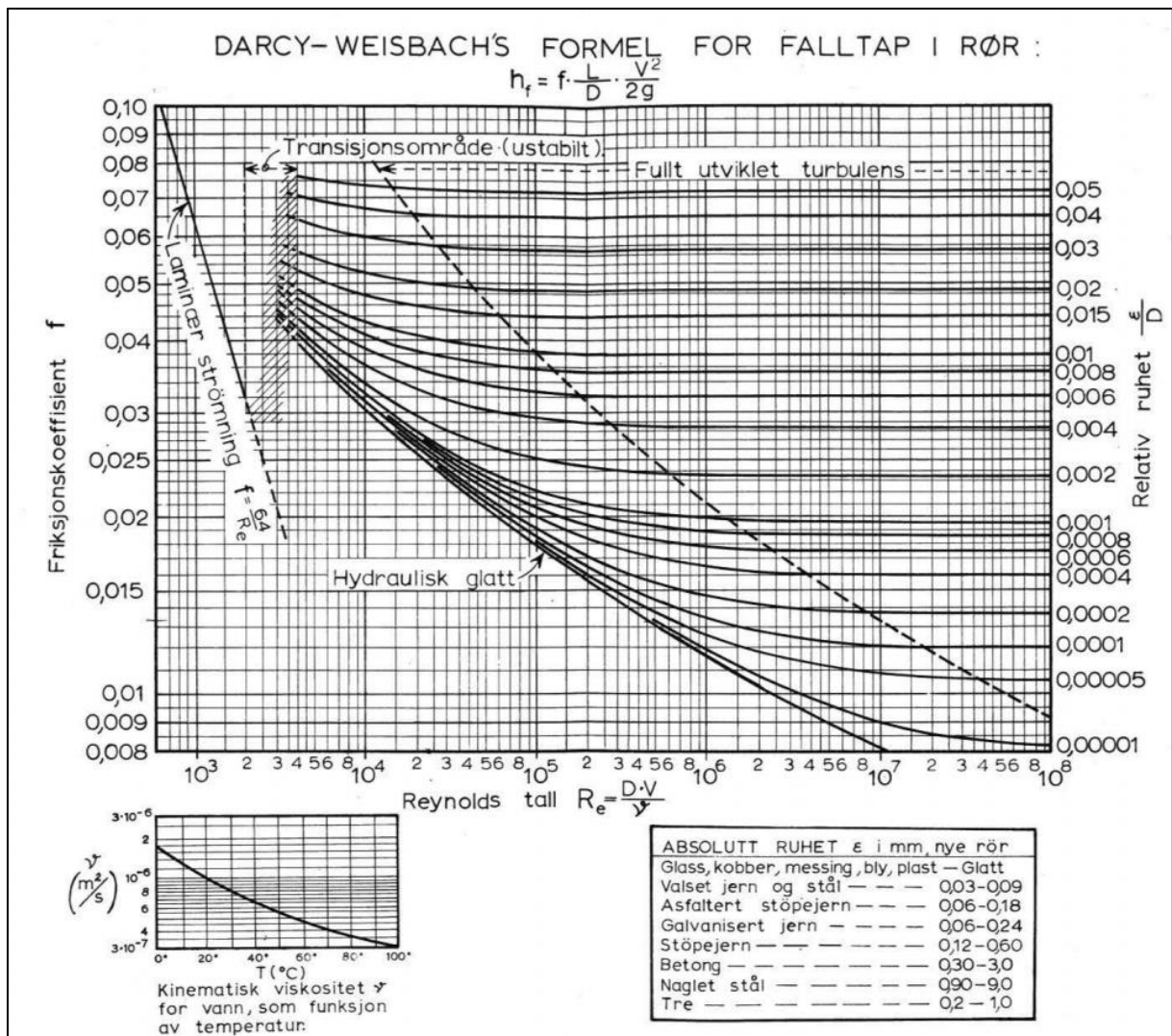


## 8 VEDLEGG

Dimensjoneringsgrunnlag ledning:



Vedlegg 1: Nomogram, utklipp fra NV rapport 139, side 122 (hentet 10.april.2021).



Vedlegg 2: Moodys-diagram, utklipp fra NV rapport 139, side 124 (hentet 10.april.2021).





Lagre automatisk Tungen vannforbruk VM05\_VM26

Filemnettsmeny: Fil, Hjem, Sett inn, Tegn, Sideoppsett, Formler, Data, Se gjennom, Visning

Utklippstavle, Skrift (Calibri, 11), Justering (Bryt tekst, Slå sammen og midt)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Dato	Mengde - VM26 m <sup>3</sup> /d							
2	2017-12-31	308,9579328							
3	2017-12-30	289,3435776		Gjennomsnitt forbruk m3/døgn		304,0496			
4	2017-12-29	288,868896							
5	2017-12-28	293,573808							
6	2017-12-27	315,3898944							
7	2017-12-26	315,1263744							
8	2017-12-25	286,3608768							
9	2017-12-24	363,7931616							
10	2017-12-23	326,7729216							
11	2017-12-22	316,1860704							
12	2017-12-21	304,8397632							
13	2017-12-20	302,6022624							
14	2017-12-19	307,101888							
15	2017-12-18	313,7156352							
16	2017-12-17	312,5680704							
17	2017-12-16	347,4795456							
18	2017-12-15	306,1436256							
19	2017-12-14	308,871792							
20	2017-12-13	290,662992							
21	2017-12-12	289,689264							
22	2017-12-11	288,4248							
23	2017-12-10	303,7758336							
24	2017-12-09	325,0762848							
25	2017-12-08	291,6793152							
26	2017-12-07	279,6330816							
27	2017-12-06	279,8505504							
28	2017-12-05	281,8348992							
29	2017-12-04	281,1145824							
30	2017-12-03	301,5553536							
31	2017-12-02	318,0924							
32	2017-12-01	279,4086144							
33	2017-11-30	281,5666272							
34	2017-11-29	280,4196672							
35	2017-11-28	279,0593856							
36	2017-11-27	275,2300512							
37	2017-11-26	290,6553024							
38	2017-11-25	315,2056896							

VM05 VM26

Vedlegg 5: Måledata for stasjon Tofastrud, tilsendt fra Stange kommune (tilsendt 05.februar.2021).



## 2. Dimensjonering

Fra bransjestandard hos Norsk vann:

$$120\text{l/person pr. døgn} = 44\text{m}^3/\text{år pr. person} * 2,5 \text{ (snitt i Norge)} = 110\text{m}^3/\text{år pr. abonnent}$$

Alternativ utregning vha data fra eksisterende anlegg (Bottenfjellet), da med samme resultat:

$$12000\text{m}^3 \text{ solgt vann} / 109 \text{ abonnenter} = 110\text{m}^3/\text{år pr. abonnent}$$

Vi beregner følgende tall som grunnlag for behov:

1500 innbyggere tilknyttet, altså 625 abonnenter =	68.750 m <sup>3</sup> /år
Lekkasjer, div + årsleveranse (+30%)=	30.000 m <sup>3</sup> /år
Total anslått årsleveranse =	ca 100.000m <sup>3</sup> /år
	100000 / 365 = 274m <sup>3</sup> /døgn

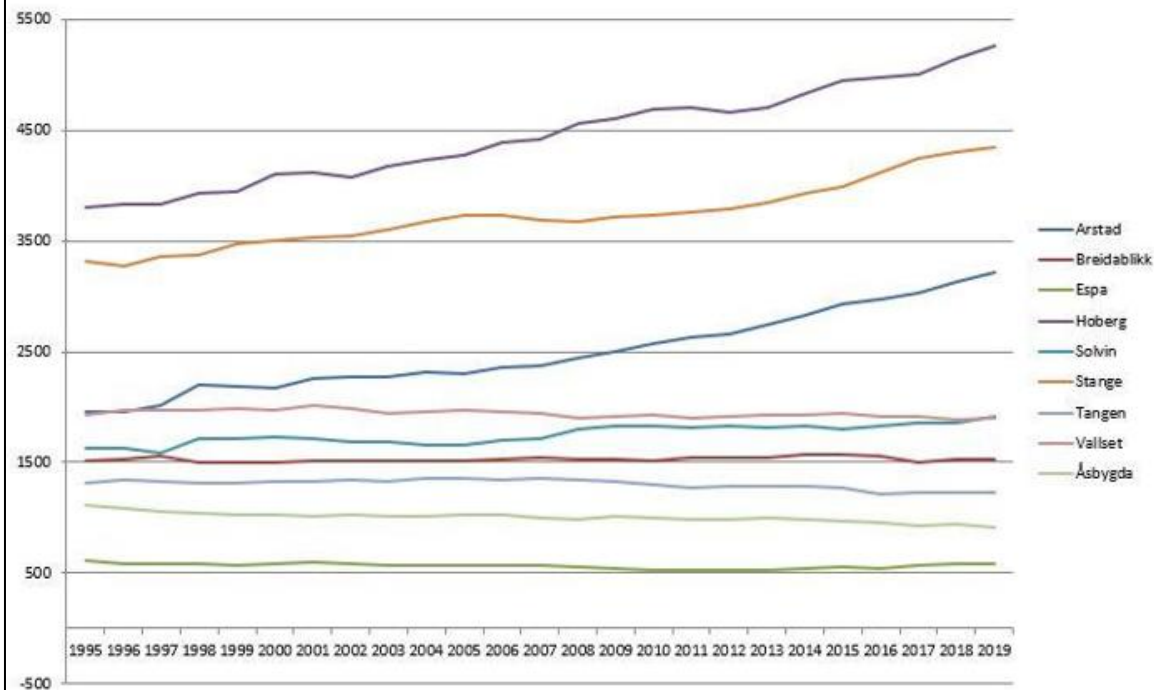
- Vi anser at magasin uten produksjon bør kunne magasinere vann for inntil 48 timer (reservevann).
- Krav til slukkevann defineres til 40l/s (144m<sup>3</sup>/t) i inntil 2 timer.

Ovenstående tatt i betraktning vurderer vi behovet for magasinering til ca 550 m<sup>3</sup>

### Utvikling i folkeemngde i Stange kommune

2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
18642	18821	18982	19104	19154	19190	19407	19737	20013	20119	20317	20646	20944

Kilde: SSB tabell 06913. Folkeemngde pr 1. januar.



Mer statistikk og infografikk kan hentes direkte fra SSB: Kommunefakta

**Stange - 0417 (Hedmark)**

BEFOLKNING | BOLIG | ARBEID OG UTDANNING | KULTUR | HELSE | KOMMUNING ØKONOMI

Tall fra Statistisk Sentralbyrå viser at Stange har hatt en positiv befolkningsvekst siden 1990, men noe under det nasjonale gjennomsnittet i senere år. I kommuneplanens samfunnsdel, vedtatt 18.7.2014, er målet at befolkningsveksten skal ligge rundt landsgjennomsnittet på 1,2%.

Vedlegg 7: Befolkningstall med prognostisert vekst i Stange kommune, brukt i Excel for beregning av framtidig Pe, hentet fra Stange kommunens nettsider (hentet 28.januar.2021).

Data fra Hallingplast AS:



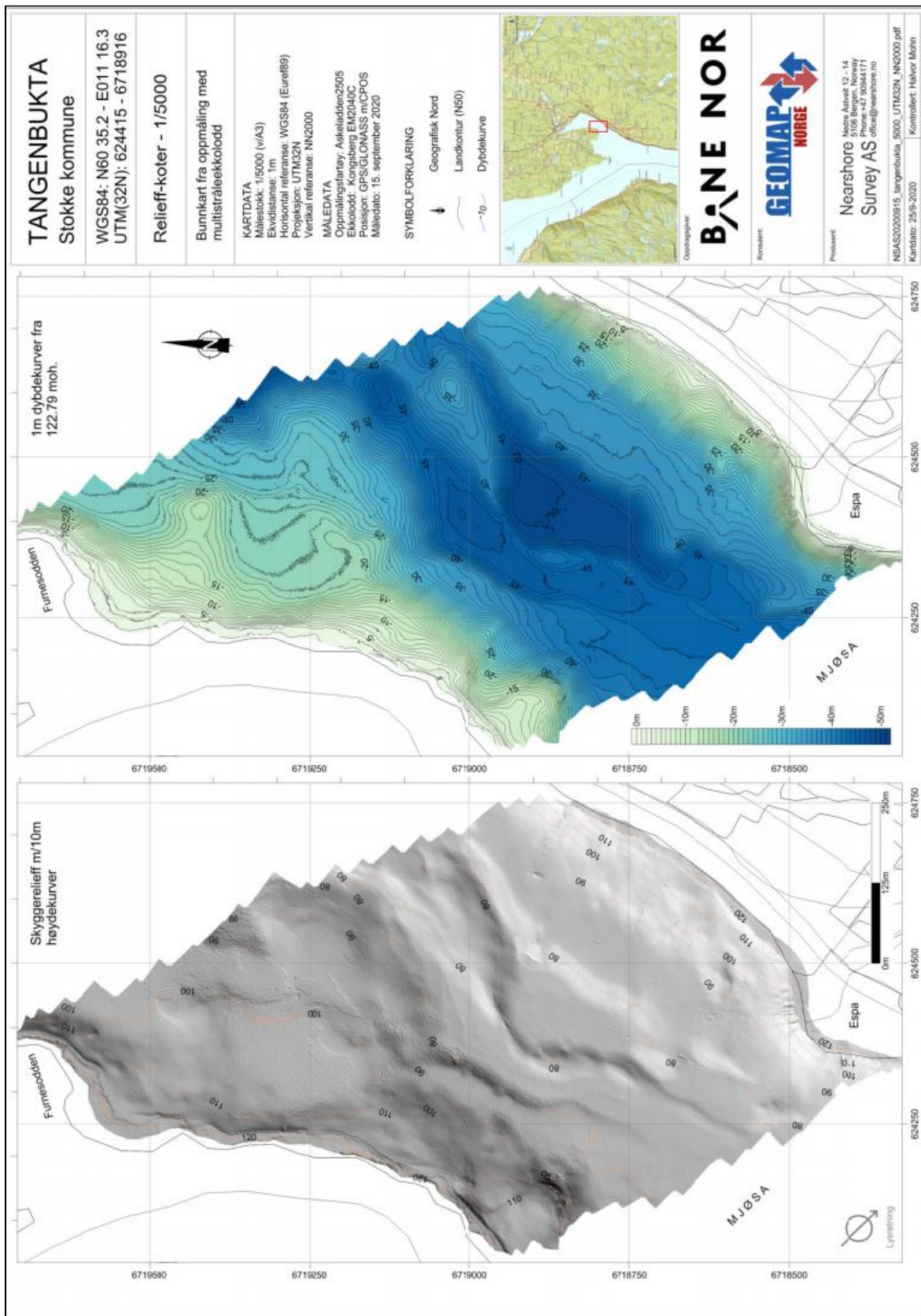
## PE Trykkrør

Dy	SDR13,6		SDR11		SDR9		SDR7,4		Største lengde på bestilling:
	e	kg/mtr	e	kg/mtr	e	kg/mtr	e	kg/mtr	
20			2,0	0,118	2,3	0,133	3,0	0,156	12mtr / kveil
25	2,0	0,151	2,3	0,172	3,0	0,213	3,5	0,243	12mtr / kveil
32	2,4	0,228	3,0	0,274	3,6	0,336	4,4	0,387	12mtr / kveil
40	3,0	0,354	3,7	0,434	4,5	0,507	5,5	0,607	12mtr / kveil
50	3,7	0,550	4,6	0,672	5,6	0,789	6,9	0,945	12mtr / kveil
63	4,7	0,83	5,8	1,06	7,1	1,25	8,6	1,50	12mtr / kveil
75	5,6	1,25	6,8	1,48	8,4	1,77	10,3	2,11	12mtr / kveil
90	6,7	1,75	8,2	2,14	10,1	2,57	12,3	3,04	12mtr / kveil
110	8,1	2,50	10,0	3,18	12,3	3,70	15,1	4,55	16mtr / kveil
125	9,2	3,30	11,4	4,09	14,0	4,80	17,1	5,85	16mtr / kveil
140	10,3	4,10	12,7	5,13	15,7	6,00	19,2	7,34	16mtr / kveil
160	11,8	5,40	14,6	6,74	17,9	7,80	21,9	9,61	16mtr / kveil
180	13,3	6,80	16,4	8,51	20,1	9,90	24,6	12,13	16mtr / kveil
200	14,7	8,40	18,2	10,50	22,4	12,20	27,4	15,00	16mtr
225	16,6	10,60	20,5	13,30	25,2	15,40	30,8	18,90	16mtr
250	18,4	13,10	22,7	16,30	27,9	19,10	34,2	23,40	18mtr
280	20,6	16,40	25,4	20,40	31,3	23,90	38,3	29,30	18mtr
315	23,2	20,80	28,6	25,90	35,2	30,30	43,1	37,20	18mtr
355	26,1	26,40	32,2	33,00	29,7	38,50	48,5	47,20	18mtr
400	29,4	33,50	36,3	42,70	44,7	48,90	54,7	61,60	20mtr
450	33,1	42,40	40,9	54,10	50,3	61,80	61,5	73,50	20mtr
500	36,8	52,40	45,4	66,70	55,8	76,20			20mtr
560	41,2	65,70	50,8	83,70	62,2	99,60			20mtr
630	46,3	83,10	57,2	105,00	70,3	127,60			20mtr
710	52,2	110,80	64,5	134,30	79,3	162,00			20mtr
800	58,8	140,70	72,6	170,40	89,3	205,70			20mtr
900	66,2	178,10	81,7	215,60					20mtr
1000	73,5	216,90	90,8	266,20					20mtr
1200									20mtr

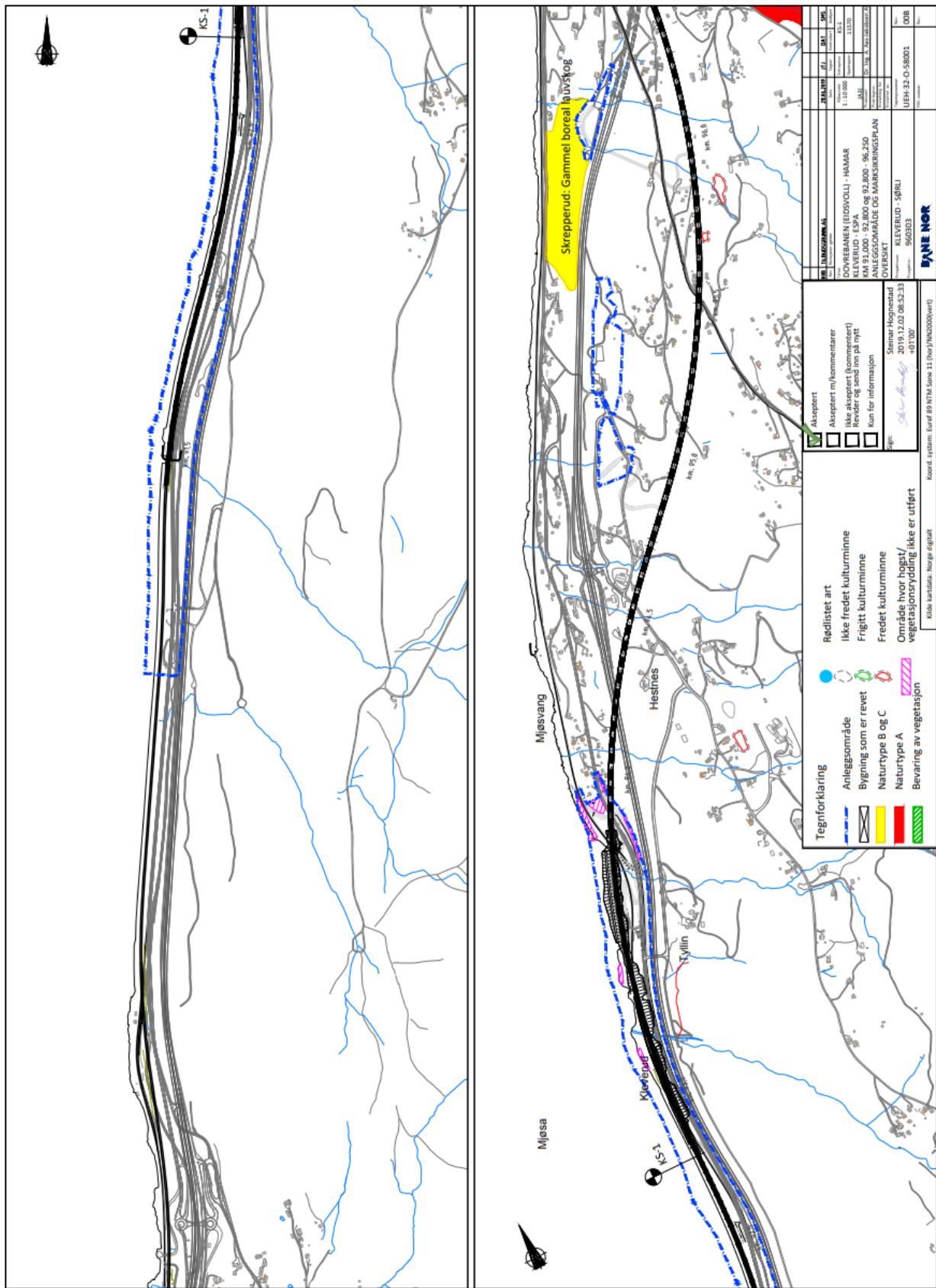
Vedlegg 8: Standardiserte dimensjoner for PE100-trykkrør, tilsendt fra Sverre Tragethon, Hallingplast AS (hentet 05.mars.2021).



Data fra BaneNor:



Vedlegg 9: Grunnforhold i Tangenbukta, tilsendt fra geolog Kjetil Myhren Bøyeie, BeneNOR (hentet 17.februar.2021).



Vedlegg 10: Vernetede områder i Espa. tilsendt fra geolog Kjetil Myhren Bøyeie, BaneNOR (hentet 29.mars.2021).





ROS-analyse VBA

Ansvarlig leder:	
Risikodiagram for tiltak	
Antall åpne saker	4
Antall risikoer	5
Sum poengverdi	35
Før tiltak Gjennomsnittlig poengverdi	7,0
Efter tiltak Sum poengverdi	17
tiltak Gjennomsnittlig poengverdi	3,4

Sansynlighet	0	0	0	0
Svært ofte	0	0	0	0
Ofte	0	0	2	0
Sjelden	0	0	1	1
Svært sjelden	0	0	1	0

Ubetrydlig	Mindre alvorlig	Alvorlig	Svært alvorlig
Konskvens		Konskvens	

Kartlegging og risikovurdering						
Nr.	Hva kan gå galt	Beskriv konsekvens hvis det skjer	Hvor ofte skjer det	Konskvens	Tiltaks nødvendighet?	Poengverdi
1	Feil dosering av coon, restozonet blir ikke degradert	Utslipp av giftig coongass og sluttasje på ledninger, pumper og beholdere.	Ofte	Alvorlig	JA	9
2	Svikt eller mangelfull spyling av filtre	Overføring kan føre til overmetning i vannet og medføre bobledannelser som gir trykktap filterene med het eller delvis blokkering av vanntransporten. Økt	Sjelden	Alvorlig	JA	6
3	Gjennombrudd i filtre	Filteringen fungerer ikke optimalt	Svært sjelden	Alvorlig	JA	3
4	Utilstrekkelig prosessovervåking, styring og kontroll	Svikt og stans i anlegget. Feil dosering av kjemikalier.	Sjelden	Svært alvorlig	JA	8
5	Svikt i et eller flere rensetrinn	Stans i anlegget	Ofte	Alvorlig	JA	9

Handlingsplan

Proritet	Antall åpne saker	12.01.2019	13.01.2019	14.01.2019	15.01.2019	2750000
Høy	1	0	0	0	0	
Middels	3	1	1	0	0	
Lav	0	0	0	0	0	
Ansvarlig	0	0	0	0	0	
Prosjektleder	0	0	0	0	0	
Personalleider	0	0	0	0	0	
Utvikler	0	0	0	0	0	
Driftsleder/operatør	0	0	0	0	0	
Utgivelsesansvarlig	0	0	0	0	0	
Alle	1	0	0	0	0	
Ermeansvarlig	0	0	0	0	0	
Andre	1	0	0	0	0	
Sentralrisikoer	5	0	0	0	0	
Sum poengverdi	17	0	0	0	0	
Gjennomsnittlig poengverdi	3,4	0	0	0	0	

Data hentet fra risikovurdering		Risikodiagram etter gjennomført tiltak	
Nr.	Status	Tiltaks nødvendighet?	Hva er problemet?
1	Løst	JA	Feil dosering av coon, restozonet blir ikke degradert
2	Åpen	JA	Svikt eller mangelfull spyling av filtre
3	Åpen	JA	Gjennombrudd i filtre
4	Åpen	JA	Utilstrekkelig prosessovervåking, styring og kontroll
5	Åpen	JA	Svikt i et eller flere rensetrinn

Data hentet fra risikovurdering		Risikodiagram etter gjennomført tiltak	
Nr.	Status	Tiltaks nødvendighet?	Hva er problemet?
1	Løst	JA	Feil dosering av coon, restozonet blir ikke degradert
2	Åpen	JA	Svikt eller mangelfull spyling av filtre
3	Åpen	JA	Gjennombrudd i filtre
4	Åpen	JA	Utilstrekkelig prosessovervåking, styring og kontroll
5	Åpen	JA	Svikt i et eller flere rensetrinn

Vedlegg 14: ROS-analyse for alt.2 VBA, utklipp fra Excel (hentet 09.mai.2021).

## Beregninger i Excel:

Nødvendig diameter ledning			
<p><b>Alt. 1. Om 10 år</b></p> <p>Vannmengde (M3/s) 0,00236</p> <p>Rørlengde (m) 7352</p> <p>Disponibelt trykklap (m) 6,1</p> <p>Friksjonskoeffisebt 0,0211</p> <p>Konstanter</p> <p>Pi 3,14</p> <p>Gravitasjon (M/s<sup>2</sup>) 9,81</p> <p>Kinematisk viskositet vann 1,00E-06</p> <p>Strømningshastighet, v 0,65 m/s</p> <p>Tot vannmengde, Q 203,90 m<sup>3</sup>/døgn</p> <p>Absolutt ruhet, e (PE) 0,002 mm</p> <p>Relativ ruhet(e/D) 0,000029</p> <p>Viskositet ved 10 grader 1,00E-06</p> <p>Reynolds tall, Re 4,41E+04</p> <p>Friksjonskoeffisient, f 0,0211</p>	<p><b>Alt. 2 Om 20 år</b></p> <p>Vannmengde (M3/s) 0,00265</p> <p>Rørlengde (m) 7352</p> <p>Disponibelt trykklap (m) 6,1</p> <p>Friksjonskoeffisebt 0,0215</p> <p>Konstanter</p> <p>Pi 3,14</p> <p>Gravitasjon (M/s<sup>2</sup>) 9,81</p> <p>Kinematisk viskositet vann 1,00E-06</p> <p>Strømningshastighet, v 0,50 m/s</p> <p>Tot vannmengde, Q 228,96 m<sup>3</sup>/døgn</p> <p>Absolutt ruhet, e (PE) 0,002 mm</p> <p>Relativ ruhet(e/D) 0,000024</p> <p>Viskositet ved 10 grader 1,00E-06</p> <p>Reynolds tall, Re 4,13E+04</p> <p>Friksjonskoeffisient, f 0,0215</p>	<p><b>Alt. 3 Om 50 år</b></p> <p>Vannmengde (M3/s) 0,00380</p> <p>Rørlengde (m) 7352</p> <p>Disponibelt trykklap (m) 6,1</p> <p>Friksjonskoeffisebt 0,0199</p> <p>Konstanter</p> <p>Pi 3,14</p> <p>Gravitasjon (M/s<sup>2</sup>) 9,81</p> <p>Kinematisk viskositet vann 1,00E-06</p> <p>Strømningshastighet, v 0,72 m/s</p> <p>Tot vannmengde, Q 328,32 m<sup>3</sup>/døgn</p> <p>Absolutt ruhet, e (PE) 0,002 mm</p> <p>Relativ ruhet(e/D) 0,000024</p> <p>Viskositet ved 10 grader 1,00E-06</p> <p>Reynolds tall, Re 5,92E+04</p> <p>Friksjonskoeffisient, f 0,0199</p>	<p><b>Alt. 4 Om 80 år</b></p> <p>Vannmengde (M3/s) 0,00543</p> <p>Rørlengde (m) 7352</p> <p>Disponibelt trykklap (m) 6,1</p> <p>Friksjonskoeffisebt 0,0198</p> <p>Konstanter</p> <p>Pi 3,14</p> <p>Gravitasjon (M/s<sup>2</sup>) 9,81</p> <p>Kinematisk viskositet v 1,00E-06</p> <p>Strømningshastighet, v 0,54 m/s</p> <p>Tot vannmengde, Q 469,15 m<sup>3</sup>/døgn</p> <p>Absolutt ruhet, e (PE) 0,002 mm</p> <p>Relativ ruhet(e/D) 0,000018</p> <p>Viskositet ved 10 grader 1,00E-06</p> <p>Reynolds tall, Re 6,09E+04</p> <p>Friksjonskoeffisient, f 0,0198</p>
<p><b>Mellomregning:</b></p> <p>Teller 0,006912</p> <p>Neumer 590,0083</p> <p>Brøk 1,17E-05</p> <p>Nødvendig Diameter, d 0,10 m</p> <p>103 mm</p> <p>Valgt Diameter 0,068 m</p> <p>68,2 mm</p> <p>Friksjonstap(m) DeltaP 48,484 mVs</p> <p>ca 4,75 Bar</p>	<p><b>Mellomregning</b></p> <p>Teller 0,00888</p> <p>Neumer 590,0083</p> <p>Brøk 1,51E-05</p> <p>Nødvendig Diameter, d 0,11 m</p> <p>109 mm</p> <p>Valgt Diameter 0,082 m</p> <p>81,8 mm</p> <p>Friksjonstap(m) 25,063 mVs</p> <p>2,46 Bar</p>	<p><b>Mellomregning</b></p> <p>Teller 0,01690113</p> <p>Neumer 590,0083236</p> <p>Brøk 2,86456E-05</p> <p>Nødvendig Diameter, d 0,12 m</p> <p>123 mm</p> <p>Valgt Diameter 0,082 m</p> <p>81,8 mm</p> <p>Friksjonstap(m) 47,711 mVs</p> <p>4,68 Bar</p>	<p><b>Mellomregning</b></p> <p>Teller 0,034336841</p> <p>Neumer 590,0083236</p> <p>Brøk 5,81872E-05</p> <p>Nødvendig Diameter, d 0,14 m</p> <p>142 mm</p> <p>Valgt Diameter 0,11 m</p> <p>113,6 mm</p> <p>Friksjonstap(m) 18,765 mVs</p> <p>1,84 Bar</p>

Vedlegg 15: Utregning av indre rørdiameter, utklipp fra Excel (hentet 11.mai.2021).

	Kombinert rør (felles areal)	Kombinert rør (liten diameter)	Kombinert rør (stor diameter)
Vannmengde (M <sup>3</sup> /s)	0,00543	0,00223	0,00320
Rørlengde (m)	7352	7352	7352
Disponibelt trykktap (m)	6,1	6,1	6,1
Friksjonskoeffisient	0,0198	0,0218	0,0207
Konstanter			
Pi	3,14	3,14	3,14
Gravitasjon (M/s <sup>2</sup> )	9,81	9,81	9,81
Kinematisk viskositet v	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06
Strømningshastighet,	0,61 m/s	0,61 m/s	0,61 m/s
Tot vannmengde, Q	469,15 m <sup>3</sup> /døgn	192,67 m <sup>3</sup> /døgn	276,48 m <sup>3</sup> /døgn
Absolutt ruhet, e (PE)	0,002 mm	0,002 mm	0,002 mm
Relativ ruhet(e/D)	0,000019	0,000029	0,000024
Viskositet ved 10 grader	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06
Reynolds tall, Re	6,50E+04	4,17E+04	4,98E+04
Friksjonskoeffisient, f	0,0198	0,0218	0,0207
<b>80 år</b>			
<b>Mellomregning</b>			
Teller	0,034336841	0,006376197	0,01246711
Nevner	590,0083236	590,0083236	590,0083236
Brøk	5,81972E-05	1,0807E-05	2,11304E-05
Nødvendig Diameter, d	0,14 m	0,10 m	0,12 m
Diameter utfra areal	142 mm	102 mm	116 mm
Valgt Diameter	0,11 m	0,068 m	0,062 m
	106,5 mm	68,2 mm	81,8 mm
Friksjonstap(m)	25,911 mVs	44,680 mVs	35,184 mVs
	2,54 Bar	4,38 Bar	3,45 Bar
<b>Mellomregning</b>			
Teller	0,01246711	0,006376197	0,01246711
Nevner	590,0083236	590,0083236	590,0083236
Brøk	2,11304E-05	1,0807E-05	2,11304E-05
Nødvendig Diameter, d	0,12 m	0,10 m	0,12 m
	116 mm	102 mm	116 mm
Valgt Diameter	0,062 m	0,068 m	0,062 m
	81,8 mm	68,2 mm	81,8 mm
Friksjonstap(m)	35,184 mVs	44,680 mVs	35,184 mVs
	3,45 Bar	4,38 Bar	3,45 Bar

Vedlegg 16: Beregninger indre rørdiameter til innovativ utforming av alt.1, utklipp fra Excel (hentet 11.mai.2021).

## Espa: dagens situasjon (2021)

Antall beboere	615	Pe				
Forbruk husholdning, $Q_h$	150	L/Pers døgn	615	Beboere	L/Sek	M <sup>3</sup> /Døgn
					1,07	92,25
Industri	500	L/ansatt døgn	0	Ansatte	-	-
Offentlig institusjoner	80	L/ansatt døgn	0	Ansatte	-	-
Resauranter, kafeer	100	L/stol døgn	0	besøkend	-	-
Bakeri	2000	L/tonn døgn	0	tonn	0,00	0
Hoteller	275	L/overnattingsdøgn	0	Overnattin	-	-
Forsamlingslokaler	6	L/sitteplass	0	Sitteplass	-	-
Skoler	40	L/Elev døgn	0	Elever	-	-
<b>Sum</b>					<b>1,07</b>	<b>0 92,3</b>
Maks døgnforbruk i løpet av året, $f_{maks}$	1,66					
Minste døgnforbruk i løpet av året, $f_{min}$	0,75					
Maks timeforbruk i løpet av året, $k_{maks}$	1,84					
Minste timeforbruk i løpet av året, $k_{min}$	0,5					
Innlekking	45	L/Person døgn				
Qh.maks	3,58	l/s				
Qh.min	0,72	l/s				
Maksimalt vannbehov i årets mest forbrukende time	4,33	l/s				
Minimalt vannbehov i årets mest forbrukende time	1,47	l/s				
Midlere døgnforbruk	1,07	l/s				
Qdmaks	2,09	l/s				
Dimensjonerende brannvann:						
Alternativ 1 (Mest ugunstig i året)	2,09	l/s				
Alternativ 2 (Gj forbruk, +20L/s)	22,09	l/s				
<b>Høydebasseng (Motbasseng)</b>						
Ledning (Q.d.maks-Qh.min)	21,37	l/s				
Brannvann	40	l/s				
Faktor for sikkerhetsreserve (mellom 0,5 og 1,0)	1					
Utjevnet døgnforbruk, 20% av maks døgnforbruk						m <sup>3</sup>
Utjevnet døgnforbruk, 30 % av midlere døgnforbruk	27,7	m <sup>3</sup>				
Sikkerhetsreserve, (midlere døgn x faktor)	184,5	m <sup>3</sup>				
Brannvann	288,0	m <sup>3</sup>			360,0	m <sup>3</sup>
Alternativ 1: Utjevning døgnforbruk pluss sikkerhetsrese	212,2	m <sup>3</sup>			-	m <sup>3</sup>
Alternativ 2: Utjevning døgnforbruk plus brannresere	315,7	m <sup>3</sup>			360,0	m <sup>3</sup>
<b>Nødvendig volum Høydebasseng</b>	315,7	m <sup>3</sup>			360,0	m <sup>3</sup>
<b>Nødvendig Volum HB Tangen</b>	675,7	m <sup>3</sup>				

Vedlegg 17: Beregning av volum til HB Tangen i alt.1, utklipp fra Excel (hentet 11.mai.2021).



Espa 10 år (2031)						
Antall beboere	693	Pe			L/Sek	M <sup>3</sup> /Døgn
Forbruk husholdning, Q <sub>h</sub>	150	L/Pers døgn	693	Beboere	1,20	103,95
Industri	500	L/ansatt døgn	0	Ansatte	-	-
Offentlig institusjoner	80	L/ansatt døgn	0	Ansatte	-	-
Resauranter, kafeer	100	L/stol døgn	0	besøkend	-	-
Bakeri	2000	L/tonn døgn	0	tonn	0,00	0
Hoteller	275	L/overnattingsdøgn	0	Overnattin	-	-
Forsamlingslokaler	6	L/sitteplass	0	Sitteplass	-	-
Skoler	40	L/Elev døgn	0	Elever	-	-
<b>Sum</b>					<b>1,20</b>	<b>104,0</b>
Maks døgnforbruk i løpet av året, f <sub>maks</sub>	1,66					
Minste døgnforbruk i løpet av året, f <sub>min</sub>	0,75					
Maks timeforbruk i løpet av året, k <sub>maks</sub>	1,84					
Minste timeforbruk i løpet av året, k <sub>min</sub>	0,5					
Innlekking	45	L/Person døgn				
Q <sub>h</sub> .maks	4,04					
Q <sub>h</sub> .min	0,81					
Maksimalt vannbehov i årets mest forbrukende time	4,88	L/s				
Minimalt vannbehov i årets mest forbrukende time		L/s				
Mildere døgnforbruk	1,20	L/s				
Maks døgn, Q <sub>d</sub> maks	2,36	L/s				
Dimensjonerende brannvann:						
Alternativ 1 (Mest ugunstig i året)	2,36	L/s				
Alternativ 2 (Gj forbruk, +20L/s)	22,36	L/s				
<b>Høydebasseng (Motbasseng)</b>						
Ledning (Q <sub>d</sub> .maks-Q <sub>h</sub> .min)	21,55	l/s				
Brannvann	40	l/s				
Faktor for sikkerhetsreserve (mellom 0,5 og 1,0)	1					
Utjevnet døgnforbruk, 20% av maks døgnforbruk						
Utjevnet døgnforbruk, 30 % av midlere døgnforbruk	31,2	m <sup>3</sup>				
Sikkerhetsreserve, (Midlere døgn x faktor)	207,9	m <sup>3</sup>				
Brannvann	288,0	m <sup>3</sup>				
Alternativ 1: Utjevning døgnforbruk pluss sikkerhets	239,1	m <sup>3</sup>				
	66,4					
Alternativ 2: Utjevning døgnforbruk plus brannreser	319,2	m <sup>3</sup>				
	88,7					
Nødvendig volum Høydebasseng	319,2	m <sup>3</sup>				
Nødvendig Volum HB Tangen	679,2	m <sup>3</sup>				

Vedlegg 18: Kontrollberegning av volum til HB Espa og Q<sub>d</sub>maks til om 10 år, utklipp fra Excel (hentet 11.mai.2021).

### Espa 20 år (2041)

				L/Sek	I/p*d	M <sup>3</sup> /Døgn	M <sup>3</sup> /Døgn
Antall beboere	780	Pe					
Forbruk husholdning, Q <sub>h</sub>	150	L/Pers døgn	780	Beboere	1,35	117,00	-
Industri	500	L/ansatt døgn	0	Ansatte	-	-	-
Offentlig institusjoner	80	L/ansatt døgn	0	Ansatte	-	0	-
Resauranter, kafeer	100	L/stol døgn	0	besøkend	-	0	-
Bakeri	2000	L/tonn døgn	0	tonn	0,00	0	0
Hoteller	275	L/overnattingsd	0	Overnattin	-	0	-
Forsamlingslokaler	6	L/sitteplass		Sitteplass	-	-	-
Skoler	40	L/Elev døgn	0	Elever	-	0	-
<b>Sum</b>					<b>1,35</b>	<b>0</b>	<b>117,0</b>
Maks døgnforbruk i løpet av året, f <sub>maks</sub>	1,66						
Minste døgnforbruk i løpet av året, f <sub>min</sub>	0,75						
Maks timeforbruk i løpet av året, k <sub>maks</sub>	1,84						
Minste timeforbruk i løpet av året, k <sub>min</sub>	0,5						
Innlekking	45	L/Person døgn					
Q <sub>h</sub> .maks	4,54						
Q <sub>h</sub> .min	0,91						
Maksimalt vannbehov i årets mest forbrukende time	5,49	L/s					
Minimalt vannbehov i årets mest forbrukende time		L/s					
Mildere døgnforbruk	1,35	L/s					
Maks døgn, Q <sub>d</sub> maks	2,65	L/s					
Dimensjonerende brannvann:							
Alternativ 1 (Mest ugunstig i året)	2,65	L/s					
Alternativ 2 (Gj forbruk, +20L/s)	22,65	L/s					
<b>Høydebasseng (Motbasseng)</b>							
Ledning (Q <sub>d</sub> .maks-Q <sub>h</sub> .min)	21,74	L/s					
Brannvann	40	L/s					
Faktor for sikkerhetsreserve (mellom 0,5 og 1,0)	1						
Utjevnet døgnforbruk, 20% av maks døgnforbruk							
Utjevnet døgnforbruk, 30 % av midlere døgnforbruk	35,1	m <sup>3</sup>					
Sikkerhetsreserve, (Midlere døgn x faktor)	234,0	m <sup>3</sup>					
Brannvann	288,0	m <sup>3</sup>					
Alternativ 1: Utjevning døgnforbruk pluss sikkerhetsr	269,1	m <sup>3</sup>					
	74,8						
Alternativ 2: Utjevning døgnforbruk plus brannresere	323,1	m <sup>3</sup>					
	89,8						
Nødvendig volum Høydebasseng	323,1	m <sup>3</sup>					
Nødvendig Volum HB Tangen	683,1	m <sup>3</sup>					

Vedlegg 19: Kontrollberegning av volum til HB Espa og Q<sub>d</sub>maks til om 20 år, utklipp fra Excel (hentet 11.mai.2021).

## Espa om 50 år (2071)

				L/Sek	I/p*d	M <sup>3</sup> /Døgn
Antall beboere	1 116	Pe				
Forbruk husholdning, Q <sub>h</sub>	150	L/Pers døg	1 116	Beboere	1,94	167,40
Industri	500	L/ansatt d	0	Ansatte	-	-
Offentlig institusjoner	80	L/ansatt d	0	Ansatte	-	0
Resauranter, kafeer	100	L/stol døg	0	besøkend	-	0
Bakeri	2000	L/tonn døg	0	tonn	0,00	0
Hoteller	275	L/overnat	0	Overnatt	-	0
Forsamlingslokaler	6	L/sitteplass	0	Sitteplass	-	-
Skoler	40	L/Elev døg	0	Elever	-	0
<b>Sum</b>					<b>1,94</b>	<b>0</b> <b>167,4</b>
Maks døgnforbruk i løpet av året, f <sub>maks</sub>	1,66					
Minste døgnforbruk i løpet av året, f <sub>min</sub>	0,75					
Maks timeforbruk i løpet av året, k <sub>maks</sub>	1,84					
Minste timeforbruk i løpet av året, k <sub>min</sub>	0,5					
Innlekking	45	L/Person døgn				
Q <sub>h</sub> .maks	6,50					
Q <sub>h</sub> .min	1,31					
Maksimalt vannbehov i årets mest forbrukende time	7,86	L/s				
Minimalt vannbehov i årets mest forbrukende time		L/s				
Mildere døgnforbruk	1,94	L/s				
Maks døgn, Q <sub>d</sub> maks	3,80	L/s				
Dimensjonerende brannvann:						
Alternativ 1 (Mest ugunstig i året)	3,80	L/s				
Alternativ 2 (Gj forbruk, +20L/s)	23,80	L/s				
<b>Høydebasseng (Motbasseng)</b>						
Ledning (Q.d.maks-Q <sub>h</sub> .min)	22,49	I/s	<b>Espa</b>			<b>Tangen</b>
Brannvann	40	I/s				
Faktor for sikkerhetsreserve (mellom 0,5 og 1,0)	1					
Utjevnet døgnforbruk, 20% av maks døgnforbruk						
Utjevnet døgnforbruk, 30 % av midlere døgnforbruk	50,2	m <sup>3</sup>				
Sikkerhetsreserve, (Midlere døgn x faktor)	334,8	m <sup>3</sup>				
Brannvann	288,0	m <sup>3</sup>				
Alternativ 1: Utjevning døgnforbruk pluss sikkerhetsreserve	385,0	m <sup>3</sup>				
	107,0					
Alternativ 2: Utjevning døgnforbruk plus brannresere	338,2	m <sup>3</sup>				
	94,0					
<b>Nødvendig volum Høydebasseng</b>	<b>385,0</b>	<b>m<sup>3</sup></b>				
<b>Nødvendig Volum HB Tangen</b>	<b>745,0</b>	<b>m<sup>3</sup></b>				

Vedlegg 20: Kontrollberegning av volum til HB Espa og Q<sub>d</sub> maks til om 50 år, utklipp fra Excel (hentet 11.mai.2021).

<b>Espe om 80 år (2101)</b>						
Antall beboere	1 596	Pe			L/Sek	
Forbruk husholdning, $Q_h$	150	L/Pers døgn	1 596	Beboere	2,77	M <sup>3</sup> /Døgn
						239,40
Industri	500	L/ansatt døg	0	Ansatte	-	-
Offentlig institusjoner	80	L/ansatt døg	0	Ansatte	-	0
Resauranter, kafeer	100	L/stol døgn	0	besøkende	-	0
Bakeri	2000	L/tonn døgn	0	tonn	0,00	0
Hoteller	275	L/overnattin	0	Overnattings	-	0
Forsamlingslokaler	6	L/sitteplass	0	Sitteplasser	-	0
Skoler	40	L/Elev døgn	0	Elever	-	0
<b>Sum</b>					<b>2,77</b>	<b>0</b>
						<b>239,4</b>
Maks døgnforbruk i løpet av året, $f_{maks}$	1,66					
Minste døgnforbruk i løpet av året, $f_{min}$	0,75					
Maks timeforbruk i løpet av året, $k_{maks}$	1,84					
Minste timeforbruk i løpet av året, $k_{min}$	0,5					
Innlekking	45	L/Person døgn				
Qh.maks	9,29					
Qh.min	1,87					
Maksimalt vannbehov i årets mest forbrukende time	11,23	L/s				
Minimalt vannbehov i årets mest forbrukende time		L/s				
Mildere døgnforbruk	2,77	L/s				
Maks døgn, $Q_{dmaks}$	5,43	L/s				
Dimensjonerende brannvann:						
Alternativ 1 (Mest ugunstig i året)	5,43	L/s				
Alternativ 2 (Gj forbruk, +20L/s)	25,43	L/s				
<b>Høydebasseng (Motbasseng)</b>						
Ledning ( $Q_{d.maks}-Q_{h.min}$ )	23,56	l/s				
Brannvann	50	l/s				
Faktor for sikkerhetsreserve (mellom 0,5 og 1,0)	1					
Utjevnet døgnforbruk, 20% av maks døgnforbruk						m <sup>3</sup>
Utjevnet døgnforbruk, 30 % av midlere døgnforbruk	71,8	m <sup>3</sup>				
Sikkerhetsreserve, (Maksdøgn x faktor)	478,8	m <sup>3</sup>				
Brannvann	360,0	m <sup>3</sup>				
Alternativ 1: Utjevning døgnforbruk pluss sikkerhetsreserve	550,6	m <sup>3</sup>				
	153,0					
Alternativ 2: Utjevning døgnforbruk plus brannresere	431,8	m <sup>3</sup>				
	120,0					
<b>Nødvendig volum Høydebasseng</b>	<b>550,6</b>	<b>m<sup>3</sup></b>				
<b>Nødvendig Volum HB Tangen</b>	<b>910,6</b>	<b>m<sup>3</sup></b>				

Vedlegg 21: Kontrollberegning av volum til HB Espe og  $Q_{dmaks}$  til om 80 år, utklipp fra Excel (hentet 11.mai.2021).

Nødvendig løftehøyde for pumper									
10 år	20 år	50 år	80 år						
Delta h	6,1	6,1	6,1	Delta h	6,1	6,1	6,1	Delta h	6,1
friksjonskoeff, f	0,0211	0,0215	0,0199	friksjonskoeff, f	0,0199	0,0199	0,0198	friksjonskoeff, f	0,0198
Lengde, L	7352	7352	7352	Lengde, L	7352	7352	7352	Lengde, L	7352
Diameter, D	68,2	0,0818	0,0818	Diameter, D	0,0818	0,0818	0,11	Diameter, D	0,11
Strømningshastighet, v	0,65	0,50	0,72	Strømningshastighet, v	0,72	0,72	0,54	Strømningshastighet, v	0,54
g	9,81	9,81	9,81	g	9,81	9,81	9,81	g	9,81
k <sub>51</sub> , avrundet utløp fra basseng	0,2	0,2	0,2	k <sub>51</sub> , avrundet utløp fra basseng	0,2	0,2	0,2	k <sub>51</sub> , avrundet utløp fra basseng	0,2
k <sub>52</sub> , Sluseventil- helt åpen	0,15	0,15	0,15	k <sub>52</sub> , Sluseventil- helt åpen	0,15	0,15	0,15	k <sub>52</sub> , Sluseventil- helt åpen	0,15
k <sub>53</sub> , Innsnevring i diameter	0,6	0,6	0,6	k <sub>53</sub> , Innsnevring i diameter	0,6	0,6	0,6	k <sub>53</sub> , Innsnevring i diameter	0,6
k <sub>54</sub> , Utløp inn i basseng	1	1	1	k <sub>54</sub> , Utløp inn i basseng	1	1	1	k <sub>54</sub> , Utløp inn i basseng	1
Energita, hs	0,042 m	0,025 m	0,052 m	Energita, hs	0,052 m	0,052 m	0,029 m	Energita, hs	0,029 m
Friksjonstap, hf	0,05 m	25,07 m	47,71 m	Friksjonstap, hf	47,71 m	47,71 m	18,76 m	Friksjonstap, hf	18,76 m
<b>Nødvendig løftehøyde, hp</b>	<b>6,19 m</b>	<b>31,19 m</b>	<b>53,86 m</b>	<b>Nødvendig løftehøyde, hp</b>	<b>53,86 m</b>	<b>53,86 m</b>	<b>24,89 m</b>	<b>Nødvendig løftehøyde, hp</b>	<b>24,89 m</b>

Vedlegg 22: Beregning av nødvendig løftehøyde til PS for alt.1, utklipp fra Excel (hentet 11.mai.2021).

**Beregning lodd på sjøledning**

Vekt av fortrengt væskemengde (oppdrift) pr meter rør:		Vekt av fortrengt væskemengde (oppdrift) pr meter rør:		Vekt av fortrengt væskemengde (oppdrift) pr meter rør:		Vekt av fortrengt væskemengde (oppdrift) pr meter rør:	
75mm		0,9		Rør fylt med sand/lodd		Rør fylt med sand/lodd	
$P_{\text{rør}}$ , ferskvann	1000 kg/m <sup>3</sup>	$P_{\text{rør}}$ , ferskvann	1000 kg/m <sup>3</sup>	$P_{\text{rør}}$ , ferskvann	1000 kg/m <sup>3</sup>	$P_{\text{rør}}$ , ferskvann	1000 kg/m <sup>3</sup>
Lengde	1 m	Lengde	1 m	Lengde	1 m	Lengde	1 m
$d_{\text{utv}}$ , diameter	0,075 m	$d_{\text{utv}}$ , diameter	0,09 m	$d_{\text{utv}}$ , diameter	0,09 m	$d_{\text{utv}}$ , diameter	0,125 m
$M_{\text{rør}}$	4,415625 kg/m	$M_{\text{rør}}$	6,3585 kg/m	$M_{\text{rør}}$	6,3585 kg/m	$M_{\text{rør}}$	12,265625 kg/m
<b>Vekt av rør med innhold:</b>		<b>Vekt av rør med innhold:</b>		<b>Vekt av rør med innhold:</b>		<b>Vekt av rør med innhold:</b>	
$m_{\text{rør}}$ , PE100-d,75-SDR11	1,48 kg/m	$m_{\text{rør}}$ , PE100-d,75-SDR11	2,14 kg/m	$m_{\text{rør}}$ , PE100-d,90-SDR11	2,14 kg/m	$m_{\text{rør}}$ , PE100-d,90-SDR11	4,09 kg/m
$m_{\text{v,å}}$	0 kg/m	$m_{\text{v,å}}$	0 kg/m	$m_{\text{v,å}}$	0 kg/m	$m_{\text{v,å}}$	0 kg/m
$P_{\text{rør}}$ , ferskvann	1000 kg/m <sup>3</sup>	$P_{\text{rør}}$ , ferskvann	1000 kg/m <sup>3</sup>	$P_{\text{rør}}$ , ferskvann	1000 kg/m <sup>3</sup>	$P_{\text{rør}}$ , ferskvann	1000 kg/m <sup>3</sup>
L	1 m	L	1 m	L	1 m	L	1 m
lutfyllingsgrad, P: 30% → 0,3	0,3 %	lutfyllingsgrad, P: 30% → 0,3	0,3 %	lutfyllingsgrad, P: 30% → 0,3	0,3 %	lutfyllingsgrad, P: 30% → 0,3	0,3 %
$d_{\text{inv}}$ , Diameter	0,0682 m	$d_{\text{inv}}$ , Diameter	0,0818 m	$d_{\text{inv}}$ , Diameter	0,0818 m	$d_{\text{inv}}$ , Diameter	0,1136 m
$M_{\text{rør}}$	4,03585638 kg/m	$M_{\text{rør}}$	5,8168364 kg/m	$M_{\text{rør}}$	5,8168364 kg/m	$M_{\text{rør}}$	11,18127552 kg/m
<b>Nødvendig belastning pr meter rør (vekt i luft):</b>		<b>Nødvendig belastning pr meter rør (vekt i luft):</b>		<b>Nødvendig belastning pr meter rør (vekt i luft):</b>		<b>Nødvendig belastning pr meter rør (vekt i luft):</b>	
omregningsfaktor, f, ferskvann	1,72	omregningsfaktor, f, ferskvann	1,72	omregningsfaktor, f, ferskvann	1,72	omregningsfaktor, f, ferskvann	1,72
$M_{\text{rør}}$	4,42 kg/m	$M_{\text{rør}}$	6,36 kg/m	$M_{\text{rør}}$	6,36 kg/m	$M_{\text{rør}}$	12,27 kg/m
$M_{\text{rør}}$	4,04 kg/m	$M_{\text{rør}}$	5,82 kg/m	$M_{\text{rør}}$	5,82 kg/m	$M_{\text{rør}}$	11,18 kg/m
$M_{\text{rør,å}}$	0,653 kg/m	$M_{\text{rør,å}}$	0,932 kg/m	$M_{\text{rør,å}}$	0,932 kg/m	$M_{\text{rør,å}}$	1,865 kg/m
<b>Senteravstand mellom lodd:</b>		<b>Senteravstand mellom lodd:</b>		<b>Senteravstand mellom lodd:</b>		<b>Senteravstand mellom lodd:</b>	
$M_{\text{r,lodd}}$	2	$M_{\text{r,lodd}}$	3	$M_{\text{r,lodd}}$	3	$M_{\text{r,lodd}}$	3
$M_{\text{r,å}}$	0,6532 kg/m	$M_{\text{r,å}}$	0,9317 kg/m	$M_{\text{r,å}}$	0,9317 kg/m	$M_{\text{r,å}}$	1,8651 kg/m
Senteravstand, cc	3,06	Senteravstand, cc	3 m	Senteravstand, cc	3 m	Senteravstand, cc	4 m

Vedlegg 23: Beregning av lodd til sjøledning i alt.1, utklipp fra Excel (hentet 11.mai.2021).

### Innovativ utforming 3rør:

Vekt av fortrengt væskemengde (oppdrift) pr meter rør:

PE100-dy75-SDR11	1000	kg/m <sup>3</sup>
P <sub>100</sub> , ferskvann	1	m
Lengde	0,075	m
d <sub>100</sub> utv.diameter	4,42	kg/m
M <sub>100</sub>		

Vekt av rør med innhold:

m <sub>100</sub> PE100-d <sub>75</sub> -SDR11	1,48	kg/m
m <sub>luft</sub>	0	kg/m
P <sub>100</sub> , ferskvann	1000	kg/m <sup>3</sup>
L	1	m
luftfylingsgrad, P: 30% → 0,3	30%	
d <sub>100</sub> inv. Diameter	0,0682	m
M <sub>100</sub>	4,04	kg/m

Nødvendig belastning pr meter rør (vekt i luft):

omregningsfaktor, f. ferskvann	1,72	
M <sub>100</sub>	4,415625	kg/m
M <sub>100</sub>	4,03585638	kg/m
M <sub>BELASTNING</sub>	0,65	kg/m
Mtot belastning	1,58	Kg/m

Senteravstand mellom lodd:

M <sub>LODD</sub>	10	kg/m
M <sub>BELASTNING</sub>	1,58	kg/m
Senteravstand, cc	6,31	1

Vekt av fortrengt væskemengde (oppdrift) pr meter rør:

PE100-dy90-SDR11	1000	kg/m <sup>3</sup>
P <sub>100</sub> , ferskvann	1	m
Lengde	0,09	m
d <sub>100</sub> utv.diameter	6,36	kg/m
M <sub>100</sub>		

Vekt av rør med innhold:

m <sub>100</sub> PE100-d <sub>90</sub> -SDR11	2,14	kg/m
m <sub>luft</sub>	0	kg/m
P <sub>100</sub> , ferskvann	1000	kg/m <sup>3</sup>
L	1	m
luftfylingsgrad, P: 30% → 0,3	30%	
d <sub>100</sub> inv. Diameter	0,0818	m
M <sub>100</sub>	5,82	kg/m

Nødvendig belastning pr meter rør (vekt i luft):

omregningsfaktor, f. ferskvann	1,72	
M <sub>100</sub>	6,3585	kg/m
M <sub>100</sub>	5,8168364	kg/m
M <sub>BELASTNING</sub>	0,93	kg/m

Vekt på lodd pr. meter rør:

PE100-dy90-SDR11	1000	kg/m <sup>3</sup>
P <sub>100</sub> , ferskvann	1	m
Lengde	0,09	m
d <sub>100</sub> utv.diameter	6,36	kg/m
M <sub>100</sub>		

Vekt av rør med innhold:

m <sub>100</sub> PE100-d <sub>90</sub> -SDR11	2,14	kg/m
m <sub>luft</sub>	0	kg/m
P <sub>100</sub> , Pukk	1500	kg/m <sup>3</sup>
L	1	m
luftfylingsgrad, P: 30% → 0,3	0%	
d <sub>100</sub> inv. Diameter	0,07	m
M <sub>100</sub>	7,91	kg/m

Nødvendig belastning pr meter rør (vekt i luft):

omregningsfaktor, f. ferskvann	1,72	
M <sub>100</sub>	6,3585	kg/m
M <sub>100</sub>	7,90975	kg/m
M <sub>BELASTNING</sub>	-2,67	kg/m

## Dagbok:

Tabell 30:

Dagbok over møter fra januar.2021 til mai.2021 (laget i perioden 07.januar til 16.mai.2021).

<b>Dagbok januar.2021</b>		
<b>Dato</b>	<b>Innhold</b>	<b>Referat</b>
07.01	Oppstart	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Innhenting av data (Norsk Vann, video Steinar).</i></li><li>• <i>Hvilken type vannbehandlingsanlegg?</i></li><li>• <i>Miljøfaktorer: Sjøledning vs. Vbh, inngrep i natur.</i></li></ul>
12.01 60 min	Møte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Planlegger kontakt med BaneNor og bruk av Norsk Vann sine håndbøker.</i></li></ul>
13.01 45 min	Møte med veileder	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Hva skal inn i forprosjektet.</i></li><li>• <i>Hvor viktig er kontrakt med bedrift.</i></li><li>• <i>Hvor viktig teamavtale er.</i></li><li>• <i>Om det er mulig å få finansiell støtte.</i></li></ul>
14.01 2 t 5 min	Møte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Utarbeidet teamavtale.</i></li><li>• <i>Utarbeidet forprosjektet.</i></li></ul>
18.01 15 min	Møte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Ferdigstillelse forprosjekt</i></li><li>• <i>Planlegging videre.</i></li></ul>
20.01 1 t 12 min	Møte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Fikse forprosjekt ved å se på masteroppgaver.</i></li><li>• <i>Planlegge befarung.</i></li></ul>
26.01 20 min	Møte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Forberedelse til befarung den 27.01.</i></li></ul>
27.01 5 timer	Befarung på Espa med Viggo.	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Så på høydebasseng.</i></li><li>• <i>Mulig plassering av vannbehandlingsanlegg.</i></li><li>• <i>Utgangspunktet</i></li></ul>
28.01 1 time	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Reflektere og skrive ned informasjon fra befarungen.</i></li></ul>
<b>Dagbok februar.2021</b>		
<b>Dato</b>	<b>Innhold</b>	<b>Referat</b>
02.02 2 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Starter med alternativ 1 (sjøledning) ved å se på utgangspunktet i Tangen. Sammenligner muligheter for HB i Tangen.</i></li></ul>
03.02 2 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Forbereder data for beregning av vannbehov i Tangen og Espa.</i></li></ul>
04.02 1 time 45 min	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Forbereder data for beregning av vannbehov i Tangen og Espa.</i></li><li>• <i>Forbereder data for vannbehandlingsanlegg i Espa.</i></li></ul>
05.02 2 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Forbereder og simler inn data for å løse problemstillingen.</i></li></ul>
09.02	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Jobbet med alternativ nr. 2.</i></li></ul>



2 timer		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Det ble tatt kontakt med NIVA for å etterspørre data angående vannkvalitet i Mjøsa.</i></li> </ul>
11.02 30 min	Møte med veileder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Presenterte Fred Johansen (veileder) fremdriften vår.</i></li> <li>• <i>Diskuterte med han videre fremdrift og mulighet for innovative løsninger.</i></li> </ul>
12.02 3 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Utbedret fremdriftsplan utfra veilederens råd.</i></li> <li>• <i>Forsettet med beregning av høydebasseng i Tangen for alt. 1.</i></li> </ul>
16.02 1 time 30 min	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Laget mal for bachelordokumentet og jobbet med valg av type basseng for Tangen.</i></li> </ul>
17.02 4 timer 34 min	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med delkapitlene angående HB i Tangen.</i></li> <li>• <i>Forberedte spørsmål og informasjon for møte med Hallingplast.</i></li> </ul>
19.02 1 time 50 min	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med final beregning av volum HB i Tangen og Espa.</i></li> </ul>
20.02 1 time 02 min	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Nedskrivning av informasjon angående HB i Tangen og Espa i Mal-dokumentet.</i></li> </ul>
22.02 2 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Nedlasting av Autocad og Novapoint.</i></li> </ul>
24.02 3 timer 30 min	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med å bruke Novapoint.</i></li> <li>• <i>Forberedelse til interview med Hallingplast.</i></li> </ul>
25.02 2 timer	Møte med representant fra Hallingplast	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Interviewet Sverre Tragethon om han sin mening angående tankene våre rundt all. 1 Sjøledningen.</i></li> </ul>
26.02 3 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med plassering av Sjøledningen og Pumpehus.</i></li> </ul>
<b>Dagbok mars.2021</b>		
<b>Dato</b>	<b>Innhold</b>	<b>Referat</b>
01.03 3 timer 45 min	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med plassering av Sjøledningen og Pumpehus. I tillegg med innovativ ide for alt.1.</i></li> </ul>
03.03 3 timer 10 min	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med dimensjonering av sjøledning.</i></li> </ul>
04.03 3 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med dimensjonering av sjøledning.</i></li> </ul>
05.03 2 timer 45 min	Møte med representant dra Hallingplast	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Møte med Sverre Tragethon om tanker rundt innovativ ide til sjøledning.</i></li> </ul>
08.03 2 timer 50 min	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med dimensjonering av vekt til sjøledning.</i></li> </ul>

10.03 30 min	Møte med veileder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Diskuterte gruppens fremgang i rapporten med veilederen Fred Johansen.</i></li> </ul>
11.03 6 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med oppbyggingen og innledningen av rapporten.</i></li> </ul>
12.03 30 min	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Planlegging av videre fremgang med ferdigstilling av innledningen i rapporten.</i></li> </ul>
15.03 1 time	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Planlegging av hva som skal være med i metodebeskrivelsen.</i></li> </ul>
17.03 4 timer 30 min	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobber med metodedelen i rapporten.</i></li> </ul>
18.03 6 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobber med metodedelen i rapporten.</i></li> </ul>
19.03 2 timer 10 min	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med innlednings og metodedelen i rapporten.</i></li> </ul>
22.03 3 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med metodedelen i rapporten.</i></li> </ul>
24.03 6 timer	Møte med Veileder Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Møte med veileder med diskusjon og råd om utformingen av rapporten.</i></li> <li>• <i>Jobbet med realiseringen av rådene fra veileder.</i></li> </ul>
25.03 5 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med metodedelen i rapporten. Og beregninger for vannbehovet.</i></li> </ul>
26.03 2 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med metodedelen og innledningen i rapporten. Ferdigberegnet vannbehovet.</i></li> </ul>
29.03 2 timer	Intervju med Kjetil Myhren Bøyeie fra BaneNor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Intervju om grunnforhold, YM og brønnene i Espa.</i></li> </ul>
<b>Dagbok april.2021</b>		
<b>Dato</b>	<b>Innhold</b>	<b>Referat</b>
06.04 2 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Start på jobb med resultatdelen for pumpestasjon og innovativ ide i alt.1.</i></li> </ul>
07.04 2 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med forbedringsforslag fra veileder i teoridelen.</i></li> </ul>
09.04 5 timer	Møte med Veileder Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Veileder ga tilbakemelding på oppgavens struktur.</i></li> <li>• <i>Gruppen jobbet med råd fra veileder. Primært med innledningskapittelet denne dagen.</i></li> </ul>
11.04 2 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med utbedring av innlednings-, teori- og metodekapittelet.</i></li> </ul>
12.04 3 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med utbedring av teori- og metodekapittelet.</i></li> </ul>
13.04 4 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med utbedringer i teori-, metode- og resultatkapitlet.</i></li> </ul>
14.04 7 timer	Møte med Veileder Befaring i Espa og Tangen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Møte med veileder og deretter befaring i Espa-Tangen området.</i></li> </ul>
16.04 6 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Ferdigstilling av metodekapittel.</i></li> </ul>

17.04 4 timer 30 min	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ferdigstilling resultat forslag sjøledning.</li> </ul>
20.04 5 timer	Møte med Veileder Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Møte med veileder om utbedringene bachelorgruppen hadde gjennomført siden siste veiledningstime.</li> <li>• Arbeidsmøte med start av resultatkapittelet for forslag vannbehandlingsanlegg.</li> </ul>
22.04 3 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jobbet med teori og resultat for vannbehandlingsanlegget.</li> </ul>
24.04 6 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jobbet med teoridelen av VBA.</li> </ul>
25.04 3 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utbedringer i metodekapittelet for forslaget vannbehandlingsanlegg og resultatskriving for dimensjonering av VBA.</li> </ul>
26.04 5 timer 20 min	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utbedringer i teori- og metodekapittel for VBA.</li> </ul>
28.04 5 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jobbet med resultatskriving til VBA.</li> </ul>
29.04 4 timer 30min	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jobbet med teori- og resultatdelen dimensjonering av VBA.</li> </ul>
30.04 6 timer 30 min	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jobbet med teori-, metode- og resultatkapittelet for f hygieniske barriere til VBA.</li> </ul>
<b>Dagbok mai.2021</b>		
<b>Dato</b>	<b>Innhold</b>	<b>Referat</b>
01.05 4 timer 30 min	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jobbet med resultatene for diskusjonskriterier.</li> </ul>
02.05 4 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jobbet med resultatene for diskusjonskriterier.</li> </ul>
03.05 7 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gikk gjennom alle tidligere kapitler for det begynnes på diskusjon.</li> </ul>
04.05 3 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jobbet med diskusjonskapittelet.</li> </ul>
05.05 7 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jobbet med utbedringer i resultatkapitlet.</li> </ul>
06.05 5 timer	Møte med Veileder Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Møte med Fred Johansen (veileder) i 45 min hvor det ble gått gjennom rapportens struktur og gruppens fremgang.</li> <li>• Arbeidsmøte hvor det ble jobbet med utbedringer utfra veilederens råd.</li> </ul>
06.05 7 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jobbet med diskusjon og mindre utbedringer i hygieniske barriere 1 for alternativet VBA.</li> </ul>
08.05 6 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jobbet med utbedringer i diskusjon og ROS-analyse for resultat og diskusjon.</li> </ul>

09.05 4 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med utbedringer i innledningen, og ROS-analyse i resultat og diskusjon.</i></li> </ul>
10.05 4 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med utbedringer i teori og metode.</i></li> </ul>
11.05 6 timer	Møte med Veileder Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Møte med Fred Johansen (veileder) i 20 min hvor det ble gått gjennom strukturen og innholdet av diskusjonskapitlet.</i></li> <li>• <i>Arbeidsmøte hvor det ble jobbet med å realisere rådene fra møtet med veileder.</i></li> </ul>
12.05 7 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Bachelorgruppen jobbet med ferdigstilling av konklusjonen og begynte med utarbeidelse av oppgavens forside.</i></li> </ul>
14.05 4 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med finjusteringer i oppgaven.</i></li> </ul>
15.05 8 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med finjusteringer i oppgaven.</i></li> </ul>
16.05 4 timer	Arbeidsmøte Bachelorgruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Jobbet med finjusteringer i oppgaven.</i></li> </ul>