



UNIVERSITETET I AGDER

Karakterisering og rensing av tunnelvann

AV MARTIN FREDRIKSEN

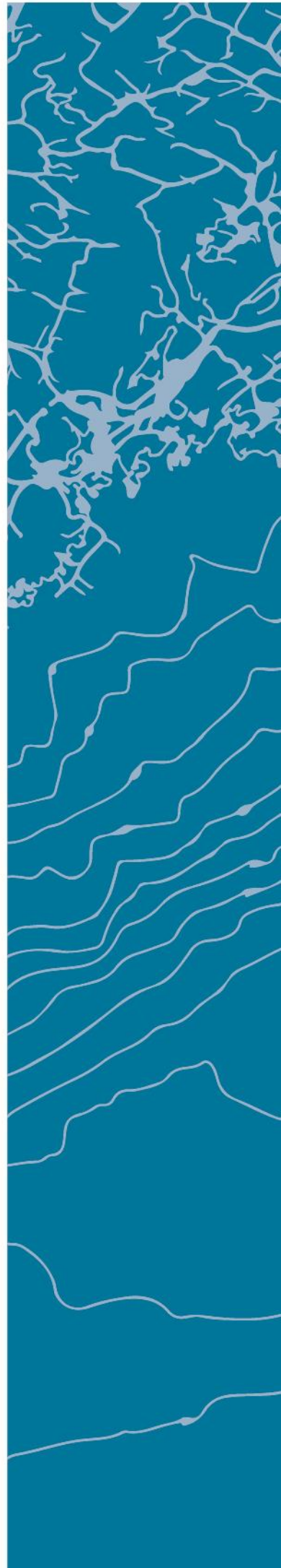


VEILEDERE

Helge Liltved
Rein Terje Thorstensen

Universitetet i Agder, 2019

Fakultet for teknologi og realfag
Institutt for ingeniørvitenskap



Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none"> - ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands. - ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt. - ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt. - har alle referansene oppgitt i litteraturlisten. - ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse. 	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å betrakte som fusk og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§ 31.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert.	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at Universitetet i Agder vil behandle alle saker hvor det foreligger mistanke om fusk etter høgskolens retningslinjer for behandling av saker om fusk.	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider.	<input checked="" type="checkbox"/>

Publiseringsavtale

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven. §2).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage Aura og på UiA sine nettsider med forfatter(ne)s godkjenning.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller tausehetsbelagt/konfidensiell vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved Universitetet i Agder en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

JA NEI

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?
(Båndleggingsavtale må fylles ut)

JA NEI

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

JA NEI

Er oppgaven unntatt offentlighet?

JA NEI

(inneholder taushetsbelagt informasjon. Jfr. Offl. §13/Fvl. §13)

Forord

Dette masterprosjektet er en selvstendig studie, hvor jeg har rettet oppmerksomheten mot miljøutfordringer innenfor norsk tunneldriving. Oppgaven fanget tidlig min oppmerksomhet ettersom jeg ikke tidligere har hatt muligheten til å ta noen fag innenfor dette fagområdet i mitt studieprogram. Jeg har alltid ønsket å lære mer innenfor dette feltet og grep derfor denne muligheten. Med begrensede forkunnskaper har dette året med både forprosjekt og hovedprosjekt både vært utfordrende og svært lærerikt. Dette skyldes at jeg at jeg har fått innsikt og kunnskap om et tema jeg ikke hadde kjennskap til tidligere.

Jeg vil takke deltakerne som ønsket å delta på undersøkelsen ved å dele sine erfaringer fra arbeidslivet. Jeg vil også takke mine veiledere ved Universitetet i Agder, Helge Liltved og Rein Terje Thorsteinsen for å ta seg tid til å gi meg gode faglige råd og oppfølging i forbindelse med oppgaven.

Summary

This Project is a master thesis. The report is an addition to the preliminary project, which was made in the autumn of 2018. The research question of this project is: "How to solve the challenges related to polluted tunnel water?"

During the project period a wide range of different methods dealing with particle containing tunnel water has been studied. Analyses of coagulant chitosan have also been carried out. Sedimentation characteristics with a varied concentration of chitosan were analysed involving sedimentation rate, suspended solids (SS), turbidity and particle analyses.

A qualitative survey was also conducted to four respondents. All of them had both varied and relevant background in order get a wide variety of perspectives connected to the present situation, challenges and opportunities for the future.

The experiments show that the optimal dosage for both sedimentation rate, suspended solids and turbidity is a chemical addition of 5 mg chitosan per litre water. The results of the analyses showed that chitosan gave a 95% purification effect with respect to SS and 96% for turbidity. Analyses of particle size distributions show that sedimentation by adding chitosan give on average 32.4% smaller particle sizes after 5 minutes of sedimentation. The result is given with respect to volume density and is compared to a naturally sedimented sample of tunnel water.

Technology is moving in the right direction with a focus on improvements related to environmental consideration in prevailing treatment methods, as well as the implementation of new methods, such as centrifugation of tunnel water. Chitosan is a coagulant that may replace some of the already existing precipitants in the future.

Innholdsfortegnelse

Obligatorisk egenerklæring.....	i
Publiseringsavtale.....	ii
Forord.....	iv
Innholdsfortegnelse.....	v
Figurliste.....	vii
1. Innledning.....	1
2. Samfunnsperspektiv.....	2
3. Teori.....	3
3.1 Tunneldriving.....	3
3.2 pH.....	5
3.2.1 pH-justering.....	6
3.3 Partikkelholdig tunnelvann.....	6
3.4 Rensing av tunnelvann.....	7
3.4.1 Sedimenteringstester.....	8
3.4.2 Koagulering.....	10
3.4.3 Kitosan.....	10
3.4.4 Filtrering av tunnelvann.....	10
3.4.5 Sentrifugering.....	12
3.5 Bakgrunns litteratur.....	12
3.6 Analyser.....	14
3.6.1 pH.....	14
3.6.2 Turbiditet.....	14
3.6.3 Sedimenteringstester.....	14
3.6.4 Partikkeltellinger.....	14
3.6.5 Filtrering og suspendert stoff.....	15
3.7 Dataverktøy.....	16
4. Forskerspørsmål.....	17
5. Case/ Materialer.....	18
6. Metode.....	19
6.1 Intervjuer.....	19
6.1.1 Utvikling av problemstilling.....	20
6.2 Analyser.....	24
6.2.1 Sedimenteringstester.....	24
6.2.2 Turbiditet.....	25
6.2.3 Filtrering (suspendert stoff).....	26
6.2.4 Partikkeltelling.....	29
7. Resultat.....	31
7.1 Resultater fra laboratoriet.....	31
7.1.1 Filtrering og måling av suspendert stoff etter 1 times sedimentering.....	31
7.1.2 Turbiditet og suspendert stoff etter 1 times sedimentering.....	33
7.1.3 Sammenlikning av turbiditetsmålinger over tid.....	34

7.1.4 Sedimenteringstester.....	35
7.1.5 Partikkeltellinger.....	39
7.2 Intervjuer.....	43
8. Diskusjon.....	47
8.1 Sedimenteringstester.....	47
8.2 Turbiditet og suspendert stoff.....	48
8.3 Partikkeltellinger.....	49
8.4 Intervjuer.....	49
8.5 Feilkilder og begrensninger.....	51
9. Konklusjon.....	52
10. Anbefalinger.....	53
11. Referanser.....	54
12. Vedlegg.....	56

Figurliste

Figurnummer	Figurinnhold	Sidetall
Figur 2.1	Temperaturavvik fra normalen i Norge fra 1900-2018	2
Figur 3.1	Vannlekkasje fra berget ved driving av Mælefjelltunnelen	3
Figur 3.2	Teoretisk gitt titrerings-kurve for pH	5
Figur 3.3	Eksempler på prinsippskisser for utforming av fordøyningsbassenger	7
Figur 3.4	Prinsippskisse for et sedimenteringsbasseng	8
Figur 3.5	Prinsippskisse for container-basert sedimentering-system	8
Figur 3.6	Bildet viser en mulig utforming av en containerløsning	9
Figur 3.7	Prinsippskisse og visuell utforming for lamellsedimentering	9
Figur 3.8	Filterløsning med kontinuerlig spyling	11
Figur 3.9	Filterløsning med intermittert drift	11
Figur 3.10	Prinsippskisse for en partikkel teller	14
Figur 3.11	Illustrasjon for tolkning av graf for volumtetthet i Mastersizer 3000	15
Figur 6.1	Visuell fremstilling for gjennomføringen av en undersøkelse	20
Figur 6.2	Valg av åpenhetsgrad for gjennomføring av intervjuer	23
Figur 6.3	Apparat som ble benyttet for gjennomføring av turbiditetsmålinger	26
Figur 6.4	Filtreringsapparat og filtre for gjennomføring av filtrering	28
Figur 6.5	Utstyr for gjennomføring av sedimenteringstester	28
Figur 6.6	Partikkel telleren Hydro EV	30
Figur 7.1	Fremstilling av SS for gjennomsnitt av 3 målinger	32
Figur 7.2	Turbiditetsmålinger av tunnelvann etter 60 minutter	33
Figur 7.3	Sammenlikning av resultater for turbiditet	34
Figur 7.4	Sedimenteringstester ved tilsetning av ulik grad koaguleringsmiddel	35
Figur 7.5	Visuell fremstilling av gjennomsnittsmålingene fra 3 sedimenteringsforsøk	38
Figur 7.6	Illustrasjon av sedimenteringsegenskapene til kitosan	38
Figur 7.7	Diagram av partikkel tellinger for volumtetthet	40
Figur 7.8	Sammenlikning av partikkel størrelser med hensyn på volumtetthet	41
Figur 7.9	Partikkel tetthets-målinger	42

Tabelliste

Tabellnummer	Tabellinnhold	Sidetall
Tabell 3.1	Oversikt over typiske behandlingstiltak for tunnelvann i forhold til SS	4
Tabell 3.2	Effektene ulik pH har på fisk	5
Tabell 3.3	Effekter ulike verdier av SS vil kunne ha på fisket	6
Tabell 6.1	Oversikt over respondenter og intervjuform	23
Tabell 6.2	Oversikt over koagulant-innhold, sedimenteringstid og filtreringsvolum	27
Tabell 7.1	Resultater for suspendert stoff	32
Tabell 7.2	pH, turbiditet og gjennomsnittlige målinger for SS	33
Tabell 7.3	Turbiditetsmålinger over tid, med og uten kitosan	34
Tabell 7.4	Resultatet av sedimenteringstester fra forsøk 1	36
Tabell 7.5	Resultatet av sedimenteringstester fra forsøk 2	36
Tabell 7.6	Resultatet av sedimenteringstester fra forsøk 3	37
Tabell 7.7	Resultatet av sedimenteringstester fra forsøk 1-3	37
Tabell 7.8	Resultater for partikkelstørrelse-fordeling med hensyn på volumtetthet	40
Tabell 7.9	Resultater for partikkelstørrelse-fordeling med hensyn på volumtetthet	41
Tabell 7.10	Resultater fra partikkeltetthets-målinger med hensyn på partikkeltetthet	43
Tabell 7.11	Oversikt over respondenter i undersøkelsen	43

Kapittel 1. Innledning

Driving av tunneler medfører flere konsekvenser for det ytre miljø. Miljøskadelige partikler akkumuleres i tunnelvann, som pumpes ut under drivefasen. Grunnet skadepotensialet på miljøet, er bruk av renseanlegg vanlig i dagens tunnelprosjekter.

Dagens renseteknologi utvikles i takt med stadig strengere krav for vannforurensning. Tradisjonelle renseløsninger er i mange tilfeller ikke gode nok, hvor man er avhengig av renere utslippsvann for å gjøre minst mulig skade på nærliggende omgivelser.

Denne rapporten er et masterprosjekt, som bygger videre på forprosjektet skrevet høsten 2018. I forprosjektet ble det lagt fokus på det overordnede fokuset på miljø innenfor norsk tunneldriving. I denne oppgaven vil fokuset rettes mot vannhåndtering under drivefase av norske tunneler. Problemstilling for oppgaven er: «*Hvordan løse utfordringene knyttet til forurensning av tunnelvann.*». Eksisterende renseteknikker vil vurderes. Det vil også gjøres analyser på utradisjonelle koagulanter, samt diskusjon av nyere renseteknikker innenfor norsk tunneldriving.

Hovedprosjektet skrives i et samarbeidsprosjekt mellom Universitetet i Agder og Nye veier. Veiledere for prosjektet er Rein Terje Thorstensen og Helge Liltved.

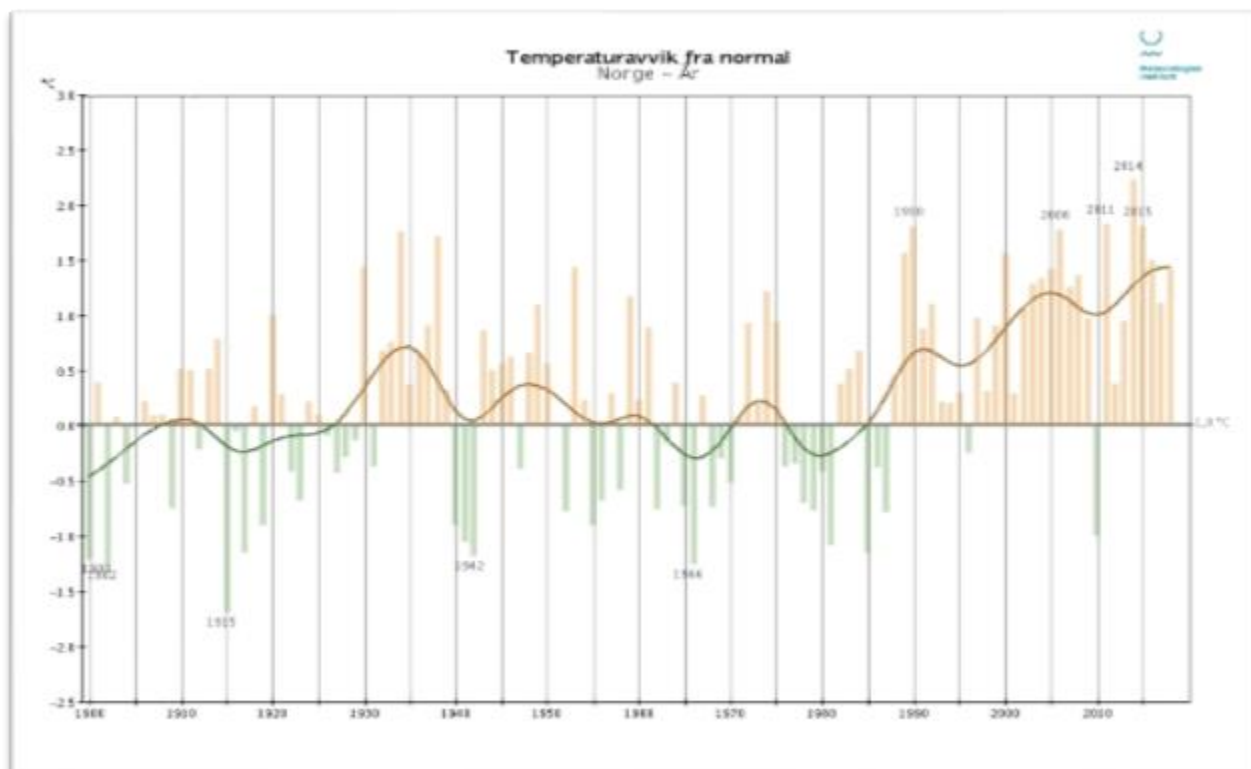
Kapittel 2. Samfunnsperspektiv

Dagens samfunn er preget av en kontinuerlig befolkningsvekst. Statistiske beregninger anslår at verdens befolkning i mai 2019 er omtrent 7,7 milliarder [1]. Dette tallet forventes å øke til 11,2 milliarder innen de neste 80 årene, noe som er en økning på over 30% [1]. Flere mennesker fører til en større belastning på allerede eksisterende infrastruktur. Bygge-bransjen vil derfor hele tiden være avhengig av utvikling for å møte befolkningsveksten i de kommende årene.

Det kan observeres en klar sammenheng mellom befolkningsveksten og klimaendringer på jorden. I gjennomsnitt har nedbøren økt med nesten 20% de siste 100 årene her i landet [2]. Globalt sett opplever man også stadig mer ekstremvær, som medbringer utfordringer ved både dimensjonering av veier og tunneler. Denne utviklingen vil forverre seg i årene fremover [3]. I tillegg til mer intensive nedbørsepisoder, opplever vi en temperaturstigning over hele kloden vår. FNs klimapanel har konkludert med at klimagassutslippene må reduseres med 40–50 prosent innen 2030 for å begrense den globale oppvarmingen til 1,5 grader. Dersom denne temperaturen overstiges, ventes det fatale konsekvenser. Enkelte kritiske momenter omhandler smelting av innlandsis på Grønland og Antarktis, som videre vil øke vannstanden drastisk. Det ventes også store konsekvenser for enkelte dyre og plantearter i tillegg til mer ekstremvær [4].

Det anslås at det vil koste 17.000 milliarder kroner hvert år fram til 2035 på verdensbasis for å begrense temperaturøkningen til 1,5 grader på verdensbasis [5].

For å klare dette kreves det omstilling og holdningsendring i samtlige bransjer. I møtet med fremtidens mange utfordringer vil miljøet derfor trenge enn høyere vektning enn den økonomiske gevinsten blant mange aktører i årene fremover dersom IPCC sine mål skal nås. Miljø og fokuset på bærekraftig utvikling har de siste tiårene utviklet seg til å bli mer omhandlede aspekter innen bygge-bransjen. De pågående klimaendringene skremmer og krever endringer.



[Figur 2.1]: Temperaturavvik fra normalen i Norge fra 1900-2018. [27]

Kapittel 3. Teori

I dette kapitlet vil relevant teori rundt vannbehandling av tunnelvann fremkomme. Det vil også trekkes frem relevanteforskningsartikler som er benyttet som bakgrunn for oppgaven. Videre vil relevante parametere som har blitt analysert ved laboratorietester forklares, før aktuelt dataverktøy som har blitt benyttet i oppgaven presenteres.

Forurensninger som kommer fra tunneler i anleggs- og driftsfasen følger i all hovedsak vannet ut til resipient. Det er derfor nødvendig å ha fokus på vannbehandling. Forurensningsloven ligger til grunn for all forurensning under et tunnelprosjekt. Denne loven vil være gjeldende for utslipp av driftsvann, drens- og vaskevann fra tunneler dersom utslippene enten er, eller kan være til skade for miljøet.

3.1 Tunneldriving

Generelt under driving av en tunell er det flere mulige kilder til forurensning som må tas hensyn til med bakgrunn fra norsk lov. Dette kan være:

- Olje- og kjemikalielekkasjer fra maskiner og driveutstyr
- Partikkelforurensning som følger av inngrep under tunneldrivingen
- Forurensning i form av nitrogenholdige forbindelser fra sprengstoff
- Forhøyet pH-verdi i avrenningsvannet som følger av sementbruken
- Utslipp fra riggområder
- Avrenning fra injiseringsarbeid i tunnel

Store mengder vann går med under driving av tunneler, både til nedkjøling av maskinelt utstyr og for å fjerne borekaks. Denne vannmengden ligger ofte mellom 200 og 350 liter per minutt. I tillegg til dette driftsvannet vil det også forekomme varierende lekkasjer av grunnvann til tunnelen, avhengig av geologiske forhold og injeksjon av sprøytebetong. Ofte benyttes en maksimal innlekkasje-mengde på 25 liter vann per 100 meter tunnel. Denne verdien vil kunne justeres avhengig av forhold og miljø over den dimensjonerende tunnelen. [6]



[Figur 3.1]: Vannlekkasje fra berget ved driving av Mælefjelltunnelen E134 Gvammen–Århus i

Telemark i 2016. [28].

Alle bidrag til den totale vannmengden må vurderes grundig i forkant av et tunnelprosjekt. Denne informasjonen brukes videre til å beregne hvert enkelt renseanlegg sin hydrauliske kapasitet. Det benyttes ofte en ukes-middelverdi for å avgjøre vannkvaliteten for et gitt tunnelprosjekt. Dette skyldes at vannkvaliteten på tunnelvannet vil kunne variere svært mye avhengig av hvilken fase i prosjektet man befinner seg i. Eksempelvis vil perioder med mye boring og sprenging medføre et forhøyet innhold av suspendert stoff. Denne konsentrasjonen kan variere mellom 100 mg SS/l og 20 000 mg SS/l. [6]

Partikkelinnholdet i tunnelvannet kan reduseres ved sedimentering i basseng eller containere. Behovet for rensing vil variere og er avhengig av tunnelens omgivelser. Basert på en vurdering av omgivelsenes sårbarhet, deles rensekravene ofte i 3 tiltaksgrupper. Dette er illustrert i tabell 3.1.

Tiltaksgruppe nr.	Krav til innhold av suspendert stoff (mg SS/l)	Behandlingstiltak
I	400	Sedimenteringsanlegg eventuelt med tilsetning av koaguleringsmiddel foran sedimenteringsanlegget
II	100	Sedimenteringsanlegg og filtrering i hurtigsandfilter, eventuelt med tilsetning av koaguleringsmiddel i forkant av sedimenteringsanlegget
III	< 50-100	Må utredes i hvert enkelt tilfelle

[Tabell 3.1]: Oversikt over typiske behandlingstiltak for tunnelvann avhengig av hvilke krav som stilles til suspendert stoff i det rensede tunnelvannet. [6]

Selve sedimenteringsprosessen kan redusere partikkelinnholdet ned til ca. 400 mg SS/l beregnet som ukkesmiddel. Dette gjelder ved sedimentering med tilsetning av fellingsmiddel og regulering av pH. For utslipp i spesielt sårbare resipienter, hvor økosystemet kan utsettes i fare, kan det være nødvendig å redusere partikkelkonsentrasjonen ytterligere. I slike tilfeller kan det bli aktuelt å gå ned til 50 - 100 mg SS/l (ukkesmiddel). Dette betyr at det vil være nødvendig med ytterligere rensing. Dette kan gjøres ved hjelp av for eksempel filtrering (se figur 3.8 og figur 3.9). Tunnelvannet vil også inneholde uomsatt sprengstoff som medfører høyere utslipp av nitrogen. Dette må tas høyde for i et renseanlegg selv om det normalt sett ikke gjøres særskilte tiltak når det kommer til rensemetodikk for fjerning av nitrogenforbindelser fra tunnelvann. [6]

Ved anleggsarbeidet i forbindelse med et tunnelprosjekt, vil det være en fare for oljesøl, for eksempel ved fylling av tanker og ved oljeskift på maskiner. Oljerester fra brudd på hydraulikkslanger, lekkasje fra boremaskiner og annet anleggsutstyr kan også komme inn i tunnelvannet. Det vil ofte være usikkerhet med hensyn på giftige forbindelser i oljeprodukter. Ulike miljøgifter som PAH kan som følge av drift av forbrenningsmotorer og slitasje av utstyr også komme ut i tunnelvannet. Det forutsettes at man etablerer utstyr som kan ta hånd om oljeutslipp, samt renseanlegg som skal ta hånd om den delen av oljen og forbindelser i oljen som bindes til partikler. Det er også viktig å nevne at tunnelvannet ellers gjenspeiler den kjemiske sammensetningen av berggrunnen i området, og for enkelte typer fjell kan tungmetallinnholdet være forhøyet. [7]

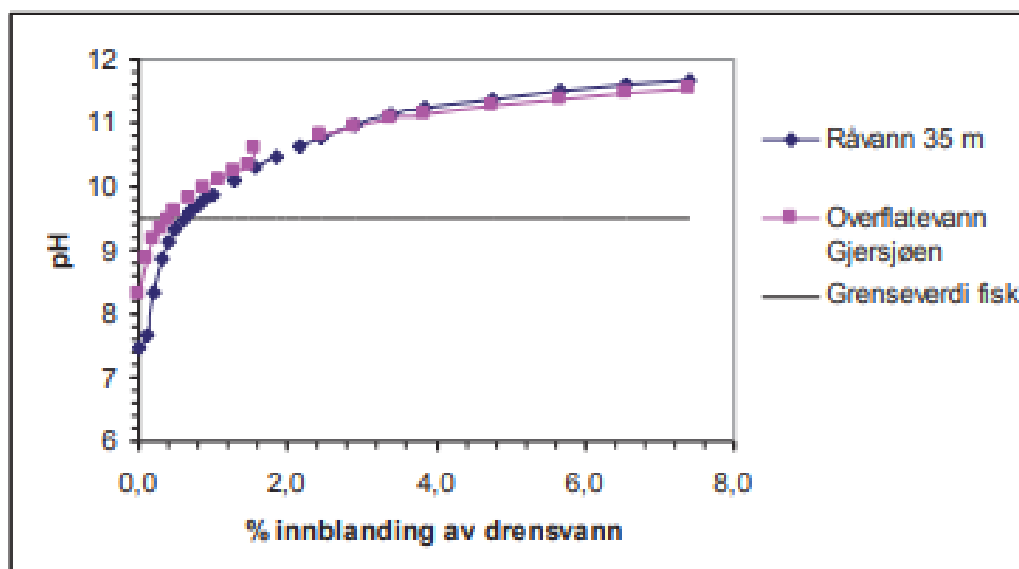
3.2 pH

Før man setter i gang med arbeidet på et tunnelprosjekt er en risiko- og sårbarhetsanalyse av nærliggende omgivelser en selvfølge. Det er avgjørende at resipienten kartlegges for å best mulig kunne analysere dens kritiske grense både når det kommer til vannkvalitet, vannmengde og pH. Prosessene i tunneldrivingen er med på å forhøye pH i tunnelvannet. Et stort avvik i pH fra resipientens naturlige surhetsverdi vil kunne medføre direkte konsekvenser for artene som befinner seg der. Tabell 3.2 er utformet for å opplyse om hvilken direkte effekt pH har på resipienten.

pH	Effekter på fisk
5-9	Normalt ingen skadelige effekter
9-9,5	Sannsynligvis skadelig for laksefisk og abbor over lengre tids eksponering.
9,5-10	Dødelig for laksefisk over lengre tids eksponering, fisken er motstandsdyktig overfor slike pH-verdier i korte perioder. Kan være skadelig overfor enkelte fiskearters utviklingsstadier.
10-10,5	Laksefisk og mort kan være motstandsdyktige mot slike pH-verdier i korte perioder, men fisken dør ved lengre tids eksponering.
10,5-11	Laksefisk er mest utsatt og dør i løpet av kort tid. Forlenget eksponering gjør at også andre fiskeslag dør.
11-11,5	Alle fiskearter dør i løpet av kort tid.

[Tabell 3.2]: Effektene ulike pH har på fisk. [6]

Mengdene tunnelvann som skal til for å ha en reell innvirkning på resipientens pH er både avhengig av totalt volum og tunnelvannets pH. For å avgjøre om resipienten tåler påvirkningen fra tunnelvannet, kan det gjøres enkle titrerings-forsøk hvor representativt tunnelvann tilsettes det aktuelle resipientvannet for å så analysere pH-endringer. [6] Resultatene ordnes ofte i en titreringskurve, som vist i figur 3.2.

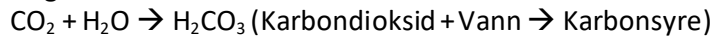


[Figur 3.2]: En teoretisk gitt titreringskurve. Man kan observere endring av pH i resipient ved tilsetning av kalkholdig drenevann med pH 12,5. [6]

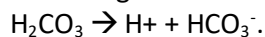
3.2.1 pH-justering

Tradisjonelt har basisk tunnelvann blitt pH-justert ved å tilsette mineralsyre. Syrer reagerer ved å avspalte hydrogen-ioner, som igjen kan reagere med baser og dermed redusere pH. Syrer er stoffer som reagerer med vann og gir oksonium-ioner ($\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}^+$) og et anion. Som mineralsyre benyttes det ofte saltsyre (HCl) eller svovelsyre (H_2SO_4), men på grunn av at de kjemiske og fysiske egenskaper til saltsyre egner seg bedre til bruksområdet og økonomisk anskaffelser benyttes hovedsakelig saltsyre.

I de senere år har pH justering ved bruk av karbondioksid-gass blitt stadig mer foretrukket i tunnelprosjekter. Bruk av CO_2 anses som en syre (et stoff med mye H^+ -ioner). Dette betyr at pH i tunnelvannet vil synke ved økt tilførsel av CO_2 . Karbondioksidens reaksjon med vann kan vises følgende formel:



Med andre ord danner reaksjonen mellom CO_2 og vann karbonsyre. Karbonsyre er en svak syre som videre frigir H^+ -ioner:



H^+ -konsentrasjonen øker, som betyr at pH synker. Bruk av karbondioksidgass som alternativ metode, medfører mindre sannsynlighet for utilsiktede utslipp enn ved bruk av sterke syrer. [9]

3.3 Partikkelholdig tunnelvann

Stoffer som stammer fra tunneldriving trenger ikke nødvendigvis å være giftig eller ha en forhøyet pH for å potensielt gjøre skade på resipienten. Et forhøyet innhold av partikulært materiale kan også virke inn negativt på resipientens arts mangfold. Det er ulike måter partikkelholdig tunnelvann vil påvirke fisk og bunndyr:

- Redusere næringsholdighet
- Redusere artenes konkurransevne ved å evt. Påføre sykdom, redusere vekst og redusere utviklingen av egg og yngel
- Drepe organismene
- Redusert fiskefangst

Partikler som stammer fra tunnelvann kan forårsake skader på resipientens organismer. Skadeomfanget vil variere avhengig av både partikkelmengde- og form. I utgangspunktet tåler de fleste fiskearter store mengder avrundede partikler før det vil gi negative konsekvenser for artenes levekår. Likevel er det påvist dødelige skader på fiskegjelder forårsaket av skarpe partikler med en konsentrasjon under 25 mg SS/l.

Partikkelholdig tunnelvann kan også indirekte skade artsbestander i for eksempel elver. Dette skyldes at partikler vil kunne sedimenteres og på den måten dekke over gyteområder, som videre vil redusere oksygentilførselen til eggene. Den europeiske innlandsfiskekommisjonen EIFAC har utarbeidet en oversikt over hvordan mengden suspendert stoff generelt sett gir effekter på fisket. Oversikten er gitt i tabell 3.3. Denne oversikten tar ikke hensyn til partikkelform og er ikke relatert til en spesiell fiskeart, men gir en indikasjon på fisket i sin helhet. [6]

Suspendert stoff (mg/l)	Effekter på fisket
< 25 mg/l	Ingen skadelig effekt
25-80 mg/l	Godt til middels godt fiske. Noe redusert avkastning
80-400 mg/l	Betydelig redusert fiske
>400 mg/l	Meget dårlig fiske, sterkt redusert avkastning

[Tabell 3.3]: EIFAC sine retningsgivende verdier for hvilke effekter ulike verdier av SS vil kunne ha på fisket. [6]

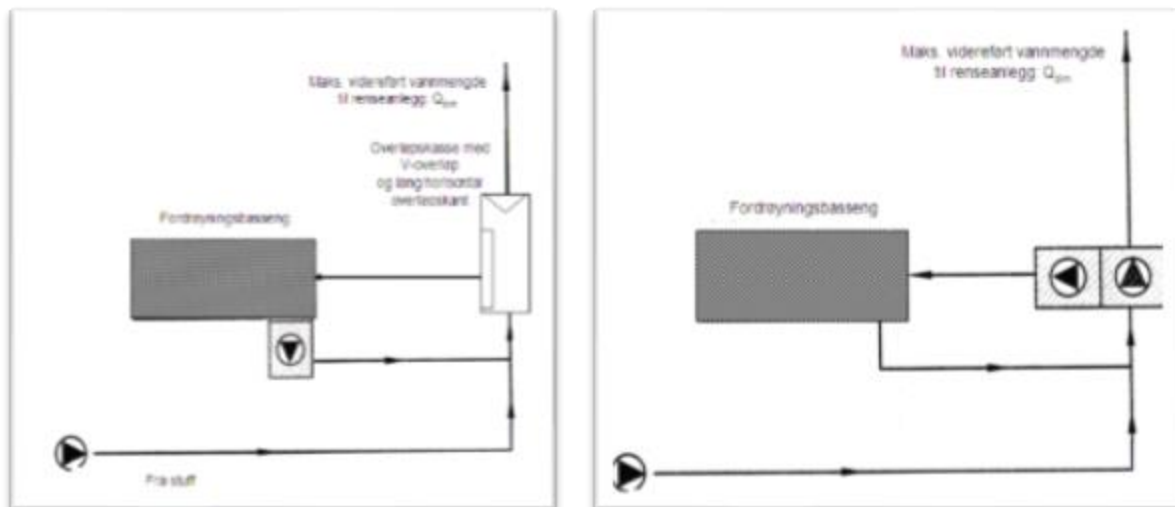
3.4 Rensing av tunnelvann

For å beregne størrelsesbehovet for et renselanlegg må man ta hensyn til de totale vannmengdene som forekommer. Med den totale dimensjonerende vannmengden mener man derfor summen av borvann, innlekkasje, påboret vann og innlekking fra dagsone. Vannmengdene som i realiteten opptrer vil variere stort til enhver tid. Det er derfor ofte behov for tiltak for å oppnå vannføringskontroll inn til renselanlegget. Formelen for den dimensjonerende vannmengde er gitt ved:

$$Q_{dim} = Q_b + Q_i + Q_p + Q_d$$

- Q_b : borevann
- Q_i : innlekkasje
- Q_p : påboret vann
- Q_d : innlekkasje fra dagsone.

Figur 3.3 viser en prinsippskisse for to løsninger med bruk av fordøyingsbassenger i forbindelse med rensing av tunnelvann. Det finnes ulike utforminger, men felles for alle typer er at de tar hånd om eventuelle vannmengder som overstiger den totale dimensjonerte vannmengden, ved at overskuddsvannet avlastes i fordøyingsbassenget. Når renselanlegget igjen har kapasitet til å ta hånd om vannmengdene, pumpes vannet tilbake til renselanlegget slik at fordøyingsbassenget tømmes. [6]



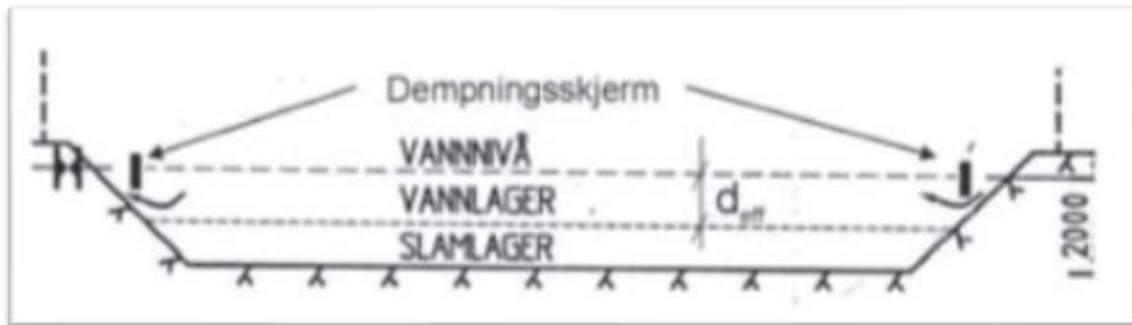
[Figur 3.3]: Eksempler på prinsippskisser for utforming av fordøyingsbassenger. [6]

3.4.1 Sedimenteringsløsninger

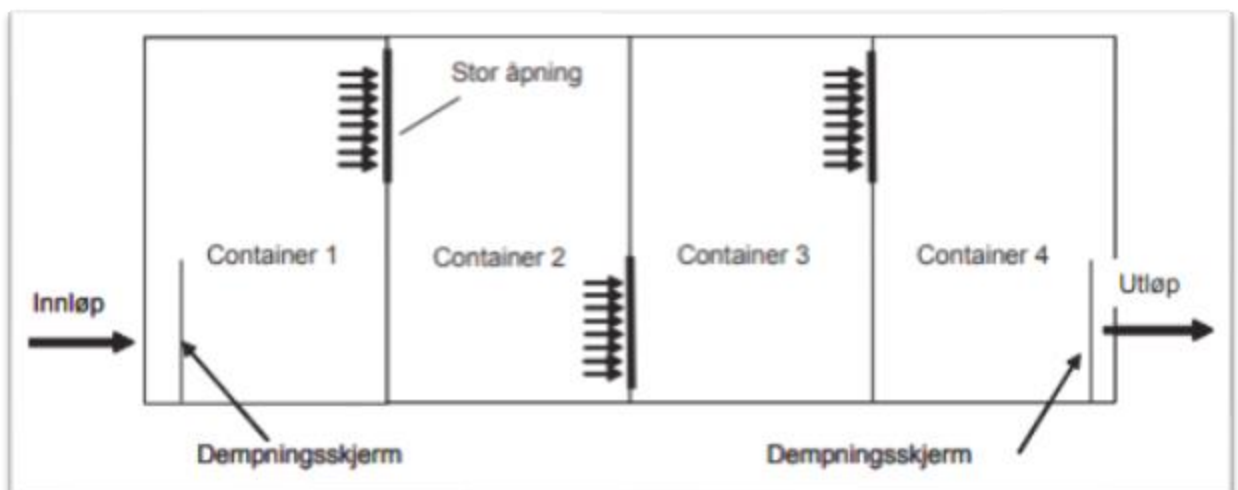
Den mest utbredte formen for rensing av tunnelvann er ved hjelp av sedimentering. Målet med denne prosessen er at store slampartikler lar seg bunnfelle. Sedimenteringen er likevel svært avhengig av både vannhastighet og partikkelstørrelse. Dersom vannhastigheten er optimal, vil man kunne fjerne partikler fra vannet ned til 0,1-0,2 mm. Disse midlertidige renselanleggene som benyttes i tunnelprosjekter kan bygges på flere måter:

- Ved å sette sammen containere inntil det oppnås tilstrekkelig areal og volum
- Utgravde bassenger i jordmasser eller fjell
- Støpte bassenger

Felles for alle utforminger av sedimenteringsløsninger er at de bør ha en rektangulær form. Det tilstrebes etter å ha lengden av bassenget 6 ganger større enn bredden. Dette fører til en mer stabil strømming i tillegg til en høy hydraulisk virkningsgrad. [6]



[Figur 3.4]: Prinsippkisse for sedimenteringsbasseng. Den totale høyden inkludert slamlager bør ikke overstige 2 meter.



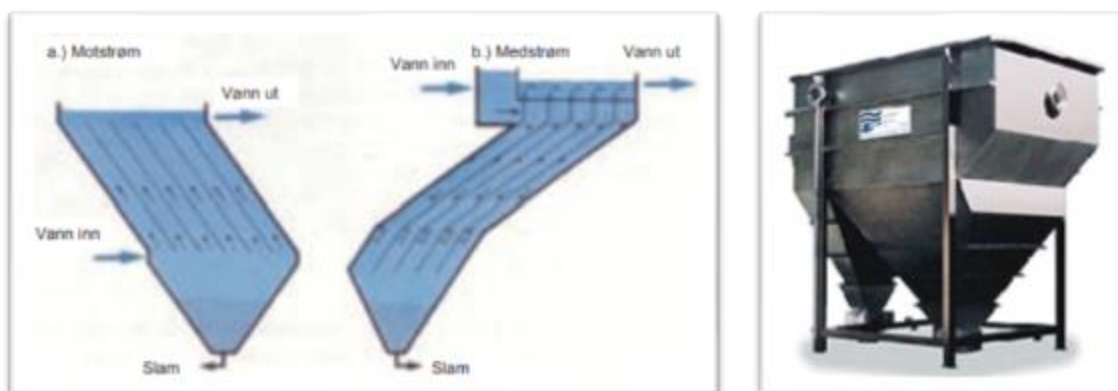
[Figur 3.5]: prinsippkisse for container-basert sedimentering-system. I dette tilfellet er fire containere satt sammen mellom innløp og utløp. [6]



[Figur 3.6]: Bildet viser en mulig utforming av en containerløsning. Løsningen kan seriekobles med flere containere [31].

Lamellsedimentering

Lamellsedimentering er en svært kompakt bassengtype der vannet strømmer mellom skråstilte lameller. Partiklene sedimenterer på platene og føres ned i en slamlomme i bunnen av tanken. Løsningen gir et anlegg med en overflate som er 10-15 ganger mindre enn tradisjonelle løsninger. Dette gjør løsningen gunstig ved plassmangel.



[Figur 3.7:] Prinsippskisse og visuell utforming for lamellsedimentering. [6]

3.4.2 Koagulering

Ved alle utforminger av sedimenteringsbassenger, er det alltid ønskelig å sedimentere høyest mulig partikler i løpet av tiden tunnelvannet oppholdes i rensenanordningen. For å øke denne prosessen er det forsket på ulike tilsetningsstoffer som skal fungere som koaguleringsmiddel ved rensing av tunnelvann. Koagulanten virker på tunnelvannet ved at partiklene slår seg sammen til større aggregater. Store partikler gir videre bedre sedimenteringsegenskaper enn partiklene hver for seg. Koagulanter som tradisjonelt brukes er:

- Jernklorid
- Prepolymeriserte aluminiumsalter (PAX)
- Organiske polymerer

Det er viktig å merke seg at slike koaguleringsmidler ikke skal benyttes som en konsekvens av et forminsket sedimenteringsareal på renseløsningen enn det som er dimensjonert. Det er også viktig å merke seg at partikkelsammensetningen vil kunne variere som en konsekvens av eksterne faktorer, noe som vil kunne resultere i ulikt behov både i mengde og type koagulant fra prosjekt til prosjekt. [6]

3.4.3 Kitosan

Kitosan en naturlig nedbrytbar polymer framstilt av reke- og krabbeskall. Denne polymeren har vist seg å være effektiv for koagulering av små partikler med lave koagulant-doser. Polymeren er tidligere brukt for koagulering av naturlig organisk materiale og for rensing av ulike typer avløpsvann. Bruk av kitosan ved rensing av tunnelvann er derimot lite forsket på og ikke normal standard i dagens tunnelprosjekter. [10]

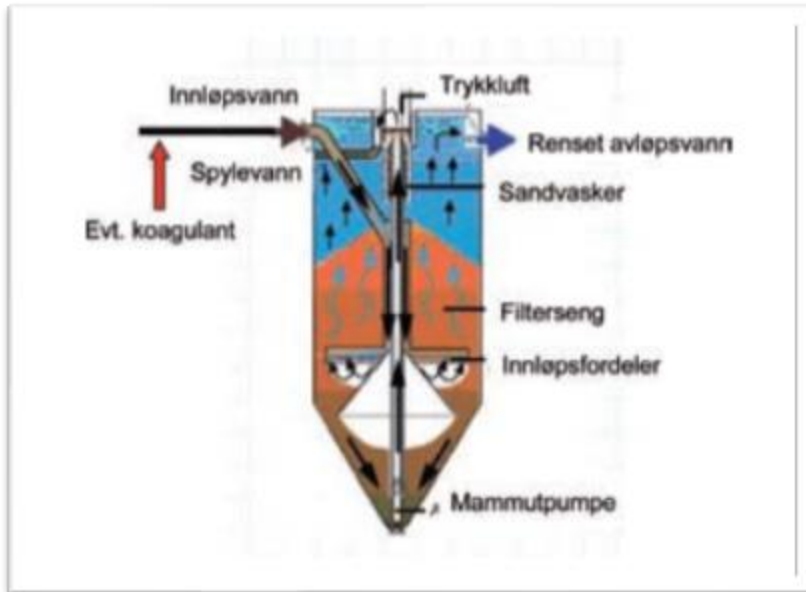
Kitosan reagerer i et bredt pH-område, og krever derfor ikke nøyaktig pH-styring. Det kan likevel vise seg at kitosan binder opp partikler best ved pH 6,5-7,5 [29]. Polymeren gir lite slam sammenliknet med tradisjonelle koagulanter som jern- og aluminiumsalter [11]. Mekanismen for partikkelkoagulering kan være en kombinasjon av ladningsnøytralisering og brobygging. Kitosan er i utgangspunktet et pulverstoff som er løselig ved lav pH, og må derfor løses opp og doseres med en tynn syreløsning, som f.eks. saltsyre (HCl). Det er flere fordeler med å benytte kitosan sammenliknet med tradisjonelle uorganiske koagulanter, bl.a. fravær av metallrest i renvannet, fravær av metall i slammet og lavere slamproduksjon. [12]

3.4.4 Filtrering av tunnelvann

I enkelte tilfeller ved spesielt sårbare omgivelser, kreves mer varsomhet når det kommer til utslipp av partikkelholdig tunnelvann. I slike tilfeller kan det være nødvendig å bearbeide vannet ytterligere enn ved sedimentering. For å gjøre dette er filtrering et aktuelt alternativ. Når det kommer til utforming av filtreringsløsningene snakker man ofte om to hoved-utforminger:

- Filter med kontinuerlig spyling (figur 3.8)
- Filter med intermittert drift (figur 3.9)

For filter med kontinuerlig spyling pumpes tunnelvannet inn i en filterseng bestående av sand, mens det foregår en kontinuerlig spyling for å vaske filtersengen. Partiklene avsettes i filtret ved at vannet pumpes gjennom sanden.

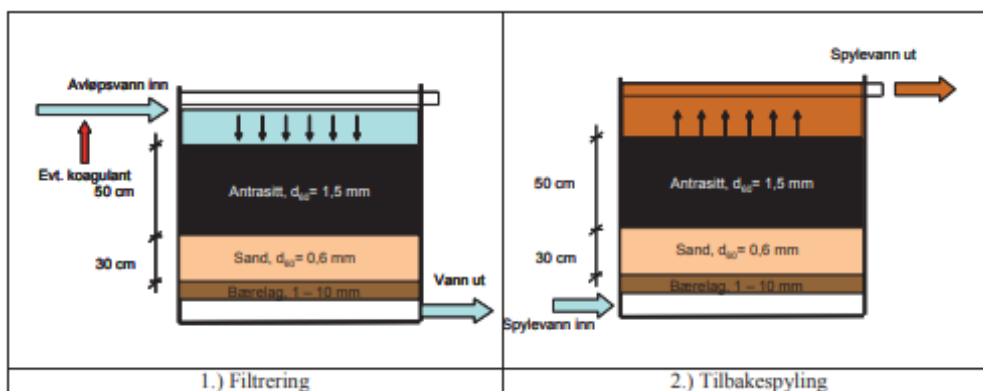


[Figur 3.8]: Filterløsning med kontinuerlig spyling. [6]

Filter med intermittert drift er en filtreringsprosess som kan deles inn i tre faser:

- 1) Filtrering: Tunnelvannet pumpes inn i filteret, bestående av et filter med gradvis finere gradert filter. På den måten holdes partikler i ulik størrelse tilbake av filterløsningen.
- 2) Tilbake-spyling: I denne fasen tas filteret ut av drift. Dette kan sees på som en motsatt filtreringsprosess, ved at spylevann pumpes motsatt inn i filterløsningen ved at vannmengden reverseres og økes. Dette gjøres for å fjerne de avsatte partiklene fra tunnelvannet.
- 3) Modning: Den normale filtreringen starter igjen og filtersengen reetableres etter tilbake-spyling. Utløpsvannet i filteret kjøres i retur til for eksempel pumpestasjonen foran filteret. Når kvaliteten på det filtrerte vannet er tilfredsstillende, vil det filtrerte vannet igjen føres til utløp.

Denne løsningen krever tilførsel av svært mye spylevann. Filtrering med kontinuerlig spyling er totalt sett den mest fordelaktige løsningen for behandling av tunnelvann. [6]



[Figur 3.9]: Filterløsning med intermittert drift. [6]

3.4.5 Sentrifugering

Sentrifugering av tunnelvann er en lite utprøvd og ny metode innenfor norsk tunneldriving, sammenliknet med sedimenteringsbasseng og filterløsninger. Løsningen er opprinnelig brukt i offshore-industrien og kloakk-industrien for rensing av slam. Sentrifugen tar ut de minste partiklene med diameter mindre enn 2 micron fra slammet. Sentrifugen gir derfor en bedre rens-effekt enn tradisjonelle sedimenteringsløsninger. Den kan brukes til å redusere egenvekten på slammet dersom dette er ønskelig. Dette skyldes at den har muligheten til å fjerne de minste partiklene.

Inne i selve sentrifugen er det en roterende del, som roterer med hastighet opp mot 4000 rpm. Kraftene gjør at slammet blir slynget ut til siden med en såpass stor hastighet at veldig små partikler blir frigjort. Slammet renner videre til en ny tank, mens partiklene legger seg i en skrue som frakter disse ut av sentrifugen. Denne prosessen kan gjentas inntil ønsket vannkvalitet er oppnådd. Resultatet gir målinger for SS godt under kritisk grense for dagens tunnelprosjekter.

Sentrifugen har et stort vedlikeholdsbehov. Om ikke tilstrekkelig vasking gjennomføres, vil partiklene bygge seg opp på innsiden av sentrifugen, som videre medfører problemer med å operere apparatet. [13]

3.5 Bakgrunns litteratur

Det er forsket mye på teknikker for behandling av avløpsvann. Behandling av tunnelvann er derimot et mindre utbredt forskningsområde. Det finnes foreløpig svært lite forskningslitteratur rundt kitosan som koagulant ved behandling av partikkelholdig tunnelvann. Videre følger essensen av aktuelle artikler som har blitt tatt i betraktning ved utforming av denne prosjektoppgaven.

Rensing av partikkelholdig tunnelvann med kitosan, 2014 [14]

Forskningsartikkelen omhandler en tunnel som ble drevet i Kvinesdal i Vest-Agder. I forbindelse med drivingen oppstod det problemer med utslipp av partikkelholdig tunnelvann. I prosjektet ble det benyttet standard containerbasert renseløsning, som ikke ga tilstrekkelig renseseffekt.

For å bedre renseseffekten ble det tilsatt kitosan. Resultatene av forskningen viste at tilsetning av kitosan ga rask koagulering og sedimentering. Gjennomsnittlige renseseffekter i fullskala var 74% med hensyn på suspendert stoff og 82% med hensyn på turbiditet. Forsøket viser seg at kitosan kan ha flere fortrinn sammenliknet med tradisjonelle jern og alumiumskoagulanter.

Fjerning av farge med kitosan som koagulant ved Haugesund vannverk, 2000 [15]

Rapporten er utformet av Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Hensikten med undersøkelsene i denne rapporten var å finne frem til nødvendig kitosan-dose for god fjerning av misfarge ved en normal filtreringshastighet. Det ble også beregnet slamproduksjon basert på målinger av slam-volum og slam-karakteristika. Resultatene i forsøkene viste at uten å justere pH i forkant av analysene, ble det oppnådd en reduksjon i fargetallet på 67,4% ved tilsetning av 1,5mg/l. Ved å senke pH til 4 ga de samme forsøkene en reduksjon i fargetall på 74,1%. Det kan derfor vise seg at koagulerings-effekten av kitosan bedres ved lavere pH.

Wastewater treatment with PSF coagulant, 2006 [16]

Studien undersøker en alternativ type koagulant til tradisjonelle metoder. I rapporten ble PSF undersøkt. Dette er en uorganisk polymer som inneholder polysilikat og jern (III). PSF ble fremstilt ved bruk av høyvovnsslam som råmateriale. Polymeren i rapporten ble brukt som koagulant ved behandling av farging av avløpsvann. De eksperimentelle resultatene viste at PSF hadde en god koagulasjonseffekt i avløpsvannbehandling ved pH-verdi i området fra 6 til 9. Reduksjonen av Suspendert stoff var 92,4 under betingelsene for normal temperatur, pH-verdi 7,5 og 85 mg / L koagulant. I sammenligning med de konvensjonelle koagulantene, som PFS og PAC, har PSF høyere oppgjørshastighet, mindre slam-volum og lavere kostnad.

Systems and methods for treating water, 2008 [17]

Rapporten beskriver detaljert metoder for behandling av vann. Blant metodene er sedimentering, tilsetning av koagulant og anvendelse av sentrifuge. Systemene og metodene i denne rapporten gjelder ikke direkte for tunnelvann. Det viser seg likevel at behandlingsmetodene er svært like, hvor sentrifugering har blitt benyttet i de siste årene innenfor tunneldriving.

3.6 Analyser

3.6.1 pH

pH angis på en logaritmisk skala fra 1 til 14. Dette betyr at en pH på 8 i realiteten er 10 ganger mer basisk enn en nøytral prøve med pH 7. Vannets pH forteller noe om hvor surt eller basisk vannet er. En sur vannprøve inneholder høy konsentrasjon av hydrogen-ioner (H_3O^+), mens en basisk prøve har en forhøyet konsentrasjon av hydroksid-ioner (OH^-). En nøytral vannprøve vil ha en balansert konsentrasjon av hydroksid-ioner og hydrogen-ioner og gir følgende reaksjonslikning: $\text{OH}^- + \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$. Vann med lav eller høy pH vil tære på omgivelsene. Lav pH vil kunne medføre at miljøgifter og tungmetaller løses i vannet og fraktes ut i resipienten. En lav pH vil også ha direkte påvirkning på nærliggende miljø [18]. Tunnelvann har ofte en høy pH, som følger av driveprosessen. Ubehandlet tunnelvann uten justering av pH vil gi negative konsekvenser for artsmangfoldet i resipienten. Kornete eksempler er gitt under pH i teorikapittel.

3.6.2 Turbiditet

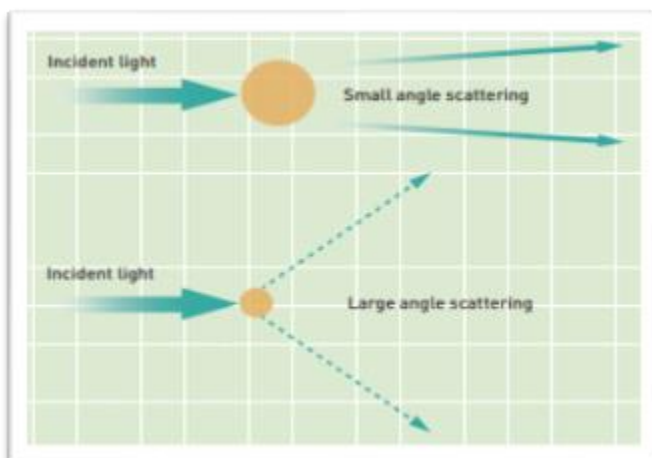
Partikler i tunnelvannet kan enkelt observeres ut fra vannets klarhet. Det vil si at en uklar vannprøve ofte inneholder store mengder partikler. For å få et konkret svar på mengden svevepartikler i en prøve, måles turbiditet. turbiditet måles i FNU (Formazine Nephelometric Unit). En høy måling av turbiditet tilsier at prøven kan inneholde store mengder små partikler som f.eks. leire. Destilert vann gir derfor en turbiditet på 0, mens kritisk grense for drikkevann er satt til 4 FNU [30]. Målingene gjennomføres ved hjelp av et turbidimeter, som analyserer refleksjonen av lys, avhengig av partikkelinnhold. [19].

3.6.3 Sedimenteringstester

Ofte er store deler av forurenset tunnelvann partikkelbundet. Disse sedimentene har høyere tetthet enn vann og vil derfor med tiden synke mot bunnen. Ved å gjennomføre turbiditetsmålinger av overflatevannet gjennom ett gitt tidsintervall, vil man kunne få et inntrykk av hvordan partiklmengden i stillestående vann gradvis synker.

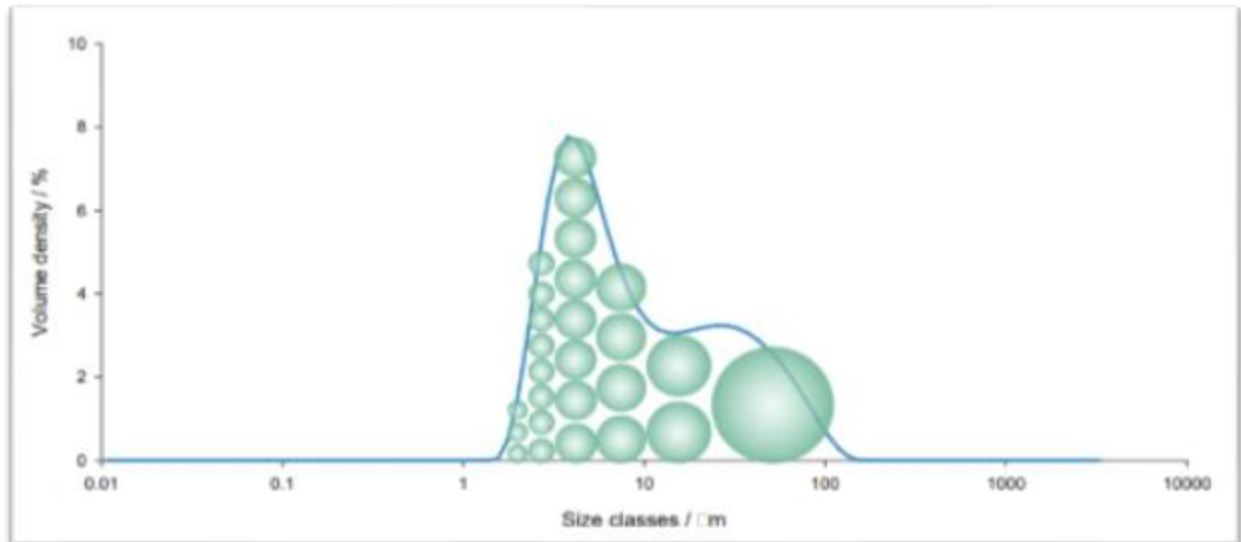
3.6.4 Partikkeltellinger

For å få en bedre oversikt over størrelsesfordelingen i en vannprøve, kan man gjennomføre partikkeltellinger. I denne rapporten er slike tellinger gjennomført ved hjelp av Mastersizer 3000. Apparatet, med tilhørende dataprogramvare analyserer partiklers ulike brytning av lys ved hjelp av laser, som vist i figur 10. [20]



[Figur 3.10]: Prinsippskisse for en partikkelteller, hvor små partikler gir større brytningsvinkel for lys enn store partikler. [20]

Programvaren gir rom for å analysere partikler med hensyn på totalt volum innenfor ulike partikkelstørrelser eller totalt antall partikler innenfor ulike partikkelstørrelser. Resultatene ordnes i tabeller og grafer som vist i figur 3.11. I figuren ser man at partikler med stort volum gir stort utslag på volumtettheten, selv om det er få partikler. I en test med hensyn på partikkeltetthet, vil alle partikkelstørrelser vektes likt. Det vil med andre ord bare tas hensyn til antall partikler innenfor hver partikkelstørrelse.



[Figur 3.11]: Figuren illustrerer hvordan en graf for volumtetthet kan tolkes i Mastersizer 3000. [21]

3.6.5 Filtrering og suspendert stoff

Suspendert stoff er enn vannprøves innhold av partikulært materiale. Suspendert stoff deles ofte inn i to hovedgrupper:

- Svevestoff
- Sedimenterbart stoff

Suspendert skrives ofte SS og måles som **mg** partikler pr **liter**. En måte å måle suspendert stoff på, er ved hjelp av filtrering. Dette gjøres ved å føre partikkelholdig vann gjennom et filter med høy grad av finhet. På den måten holder partiklene tilbake av filteret. Filterprøven tørkes deretter ved 105 °C, slik at partikkelvekten kan bestemmes. [22]

3.7 Dataverktøy:

Microsoft programmer

Microsoft fører en rekke programmer som ble benyttet under prosjektperioden. Microsoft Project ble brukt under planleggingsfasen for å utforme en fremdriftsplan. Word ble brukt for å skrive og utforme prosjektrapporten. Excel ble benyttet for å behandle måleresultatene i tillegg til å utforme tabeller, mens PowerPoint ble brukt for å fremlegge informasjon til veiledere, samt for utforming av presentasjon av hovedoppgaven

EndNote

EndNote er et referanseverktøy som er utviklet av Thomas Reuters. Programvaren ble benyttet for å samle og organisere alle referanser som ble brukt i løpet av prosjektfasen. EndNote tillater å samle referanser i en database som er sammenkoblet med Microsoft Word. På den måten kan de enkelt søkes opp og settes direkte inn i teksten mens man skriver. [24]

Mastersizer 3000

Mastersizer-serien benytter laser som et verktøy for partikkelstørrelsesanalyser. Mastersizer gir raske, nøyaktige partikkelstørrelsesfordeler for både våte og tørre prøver. Partikkelstørrelsesanalyse avgjørende for å forstå og kontrollere et bredt spekter av egenskaper. Mastersizer-serien, med sin tilhørende programvare gjør at brukerne kan gjøre partikkelstørrelsesmålinger raskt og rutinemessig. Programvaren utformer også oversiktlige grafer, samt detaljert informasjon rundt partikkelinnhold i en prøve.[23]

Kapittel 4. Forskerspørsmål

Temaet for min masteroppgave er **karakterisering og rensing av tunnelvann i drivefase**. Med bakgrunn fra dette temaet har jeg valgt følgende forskerspørsmål for min oppgave:

«Hvordan løse utfordringene knyttet til forurensning av tunnelvann?»

Jeg ønsker å besvare denne problemstillingen ved å videre formulere mer konkrete underproblemstillinger.

- Hvordan behandles tunnelvann i dag?
- Hvilken effekt har kitosan på sedimenteringsegenskapene til tunnelvann?
- Hvilket syn har bransjen på behandling av tunnelvann?
- Hvordan kan man Karakterisere tunnelvann ved hjelp av laboratorieforsøk?
- Hvilket forbedringspotensial har dagens renseløsninger?

Kapittel 5. Case/Materialer

Tunnelvann inneholder ofte mye finpartikler som et resultat av driveprosesser og bergkvalitet. I Denne oppgaven rettes det derfor fokus mot håndtering av dette tunnelvannet før det slippes ut i resipient.

I samarbeid med Safe Clean AS ble det tappet 40 liter råvann for videre karakterisering av vannet på laboratoriet på Universitetet i Agder. Tunnelvannet som ble analysert stammer fra en Kraft-tunnel som befinner seg i Åmli i Aust-Agder.

Det ble gjennomført tester for suspendert stoff, turbiditet, pH og partikkeltellinger. I tillegg ble effekten ved tilsetning av koagulanten kitosan både med hensyn på sedimenteringshastighet og kitosan-konsentrasjon.

I prosjektperioden var det også ønskelig å komme i kontakt med aktuelle aktører for å undersøke deres meninger rundt dagens rensing og eventuelle nye renseteknikker. Det ble derfor gjennomført 4 intervjuer med aktuelle respondenter med ulik bakgrunn.

5.1 Materialer:

I løpet av analysene på lab ble det benyttet ulike redskap og materialer som er listet under:

- Destillert vann
- Filtre (mikrofiber 47mm Ø)
- Pipette
- Pinsett
- Filtreringsapparat
- Varmeskap
- Finjustert vekt
- Begerglass (1liter)
- Automatisk røreapparat
- Kitosan (kitoflokk)
- HCL (saltsyre)
- Ubehandlet tunnelvann
- Stoppeklokke
- pH-måler (VWR pH110)
- Turbiditetsmåler (Micro 100 IR Turbidimeter)
- Partikkel-teller (Hydro EV)

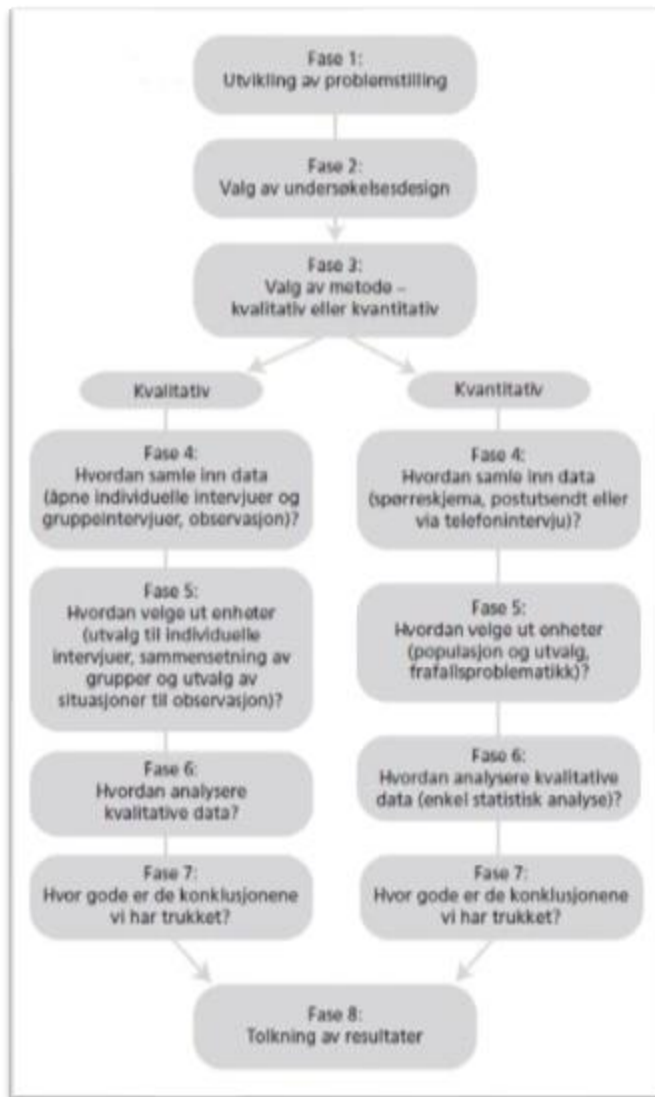
Kapittel 6. Metode

For å besvare oppgavens problemstilling har jeg valgt å benytte en kombinasjon av litteraturstudie, laboratorieundersøkelser og åpne intervjuer. Litteraturstudier tar utgangspunkt i allerede eksisterende forskningslitteratur for å belyse en problemstilling [25]. Denne metoden gir rom for å analysere kvalitative data som allerede finnes på forskningsområdet. På bakgrunn av laboratorietester og utvalgt faglitteratur har det også blitt foretatt intervjuer av aktuelle aktører. Til sammen gir dette et godt diskusjonsgrunnlag og dermed mulighet til å utforme en endelig konklusjon.

6.1 Intervjuer

For utforming og gjennomføring av intervjuer har jeg benyttet boken: «Hvordan gjennomføre undersøkelser?» boken er utgitt av Dag Ingvar Jacobsen i 2016. Boken er utformet som et verktøy for alle typer undersøkelser. I min undersøkelse ønsket jeg å se sammenhengen mellom teori og praksis når det kommer til rensing av tunnelvann. Jeg ville høre med relevante aktører med lang erfaring når det kommer til håndtering av tunnelvann under drivefase. Interessenter for undersøkelsen ble derfor hovedsakelig norske entreprenørfirmaer innenfor bygg- og anleggsbransjen.

Figur 6.1 visualiserer metoden for gjennomføring av en undersøkelse. De 8 fasene i figuren er fulgt i denne oppgaven for planlegging, gjennomføring og bearbeidelse av mine intervjuer.



[Figur 6.1]: Visuell fremstilling for gjennomføringen av en undersøkelse, inndelt i 8 faser. [25]

6.1.1 Utvikling av problemstilling

Hensikten med undersøkelser kan grovt deles i to hovedtyper:

1. *Beskrivende problemstilling*: Brukes man dersom man ønsker å få mer innsikt i hvordan et fenomen ser ut ved å beskrive dagens situasjon. I dette tilfellet starter ofte problemstillingen med «hvordan» eller «hva»
2. *Forklarende (kausale) problemstilling*: Har som formål å forklare hvorfor et fenomen oppsto eller hvorfor noe spesielt skjedde. Slike undersøkelser har som hensikt å si noe om årsak og virkning- sammenheng. I denne sammenhengen er «hvorfor» et vanlig spørreord.

Problemstillingen varierer ofte med hensyn på hvor godt forstått den er. Man kan derfor igjen skille disse problemstillingene, med nok en dimensjon. Man vurderer videre om problemstillingen er

eksplorerende eller testende. Med en eksplorerende problemstilling menes det å utdype noe man vet lite om, mens en testende problemstilling har hensikt med å se rekkevidden eller omfanget av et fenomen. Jeg ønsket et dypt innblikk i norsk tunneldrivings rensemetoder og entreprenørens fremtidsutsikter på området. Dette gjør det mest nærliggende å utforme en eksplorerende problemstilling.

Det finnes ulike krav til en god problemstilling. En god problemstilling må være både spennende, enkel og fruktbar. Ved å ta alle de ulike momentene i betraktning, kom jeg frem til følgende problemstilling for mine undersøkelser;

«Hvilket utviklingspotensial har dagens renseteknologi innenfor norsk tunneldriving?»

Når man har utarbeidet problemstillingen, bør man velge det underliggende undersøkelsesopplegget som passer best til den bestemte problemstillingen. Man skiller ofte mellom to typer undersøkelsesopplegg:

1. Intensivt undersøkelsesopplegg
 - Brukes ved å velge ut få enheter med detaljert og grundig informasjon. Man får på den måten en dypere forståelse av et fenomen eller en hendelse. Opplegget gir også mer tolkningsgrunnlag for både sammenhenger, i tillegg til hvordan virkeligheten er og oppfattes. Intensive undersøkelsesopplegg studerer mange nyanser eller variabler med relativt få enheter. Dette gjør studiene «virkelighetsnære». Ved å velge denne typen opplegg, får frem relevante data som meninger og intensjon.
2. Ekstensivt undersøkelsesopplegg:
 - Brukes ved å velge ut mange enheter med få variabler og få spørsmål. Opplegget gir mye generell informasjon om ulike enheter. Ofte er slike studier sterkt fokusert på noen få sentrale elementer eller variabler, hvor hensikten vanligvis er å få fram hvor vanlig eller uvanlig et gitt fenomen er. Målet er å kunne generalisere funn fra et utvalg - til en hel populasjon. Dette opplegget kan derfor brukes til statistisk generalisering. Ulempen er at nyansert informasjon forsvinner i tillegg til at resultatene kan bli overfladiske, uten å få fram konkrete meninger.
3. Ideelle undersøkelsesopplegg:
 - Man ønsker alltid å oppnå det «ideelle» ved å få resultatene akkurat slik de i realiteten er. Dette oppnås ved å benytte både mange enheter og vange variabler. Dette er likevel svært tids- og ressurskrevende. Et slikt opplegg gir mye informasjon, som er svært krevende å analysere. I praksis må man derfor velge å avgrense antallet enheter til en viss grad.

For å utforske mitt tema, ønsket jeg et bredt overblikk av problemstillingen. Jeg ønsket i første omgang komme i kontakt med et få antall respondenter med lang teoretisk og praktisk erfaring innenfor entreprenørbransjen. Videre ønsket jeg å få et enda bredere perspektiv ved å også intervju individer med lang praktisk bakgrunn i tillegg til personer som arbeider med tilbud og utforming av renseløsninger til tunnelprosjekter. På den måten ønsket jeg å kartlegge hvordan teorien utøves i praksis ved å analysere svarene fra respondenter med ulik bakgrunn. På bakgrunn av mine mål med undersøkelsen, ønsket å velge et **intensivt undersøkelsesopplegg**.

Et svært viktig moment ved gjennomføring av en undersøkelse er hvilken metode man ønsker å benytte for å samle inn informasjon. Man deler disse metodene inn i to hovedgrupper:

1. Kvalitativ metode:

- Dette er en metode for empiri (erfaring) i form av både setninger og tekst som formidler sammenheng. Kvalitative opplegg er mer åpne for ny informasjon i løpet av forskingsprosessen. Dette kan blant annet kunnskap man ikke hadde kjennskap til på forhånd. Metoden er mer åpen for videre oppfølging av et spørsmål. Dette gjør at man også får mer inntrykk av personen som svarer. Denne metoden er vanlig for intervjuer.

2. Kvantitativ metode:

- Dette er en metode for empiri (erfaring) i form av tall, enheter i form av naturlige tallstørrelser eller symboler for ord. Metoden er vanlig for spørreskjemaer. For å velge en kvantitativ tilnærming må man derimot kategorisere og strukturere før man kan samle inn informasjon. Man må med andre ord vite mye på forhånd for å kunne stille de riktige spørsmålene. Forutsetningen for en kvantitativ tilnærming er at man har oversiktlige variabler og verdier som kan tilordnes til et bestemt tall. Det er undersøgeren som definerer hva som er relevant informasjon ved en slik metode. Den som undersøkes kan kun ta stilling til forhandsdefinerte svar. Det kan derfor oppleves at den kvantitative dataen blir mer virkelighetsfjerne sammenliknet med den kvalitative dataen. Likevel er dette en mer effektiv måte å nå ut til mange respondenter på.

Ved å velge et intensivt undersøkelsesopplegg, er det mest nærliggende å gå for kvalitativ tilnærming til problemstillingen. Jeg valgte derfor denne tilnærmingen. Jeg tok videre kontakt med 4 personer med ulik bakgrunn for mine undersøkelser. Det ble utarbeidet en grov intervju-mal med relevant informasjon om undersøkelsen, som ble sendt på mail til aktuelle respondenter i forkant av intervjuene. Bakgrunnen til intervjuobjektene som deltok i undersøkelsen er nevnt i tabell 6.1.

Respondent	Erfaring	Intervjuform
1	Anleggsarbeider, spesialisert på tunnel	Ansikt til ansikt
2	Entreprenør, prosjektleder, Skanska	Videosamtale
3	Entreprenør, prosjektleder, Veidekke	Telefon
4	Daglig leder, Novatek	Telefon

[Tabell 6.1]: Oversikt over respondenter og intervjuform

Det finnes flere ulike måter å samle inn data på. Ved å velge en kvalitativ tilnærming, samler man først inn primærdata. Dette gjennomføres som regel i form av et åpent intervju, gruppeintervju eller ved observasjon. Jeg ønsket å undersøke få enheter og var samtidig opptatt av deres personlige meninger. Jeg valgte derfor individuelle, åpne intervjuer. Denne typen intervjuer kan foregå ansikt til ansikt, via telefon eller via E-post. Ved å benytte de to sistnevnte formene, fratrar man muligheten til å observere intervjuobjektet. På en annen side er dette en intervjuform som krever mindre ressursbruk. Graden fast struktur ved gjennomføringen av intervjuer kan også variere. Personlig valgte å lage en intervjuguide som hadde både tema, fast rekkefølge og som la til grunn for kun åpne svar, med enn viss form for samtale rundt de ulike temaene. Mine personlige meninginger ble ikke ytret under intervjuene.



[Figur 6.2] Valg av åpenhetsgrad for gjennomføring av intervjuer. Valgt strukturering for denne oppgaven er markert rødt.

Spørsmålene som ble utformet i intervjuguiden er:

- 1. Fortell litt om deg selv og hvilken erfaring har du med rensing av tunnelvann**
- 2. Hvordan opplever du at renseteknologi og rens tiltak har utviklet seg i årene du har arbeidet?**
- 3. Hvordan føler du at miljøvennlige rens tiltak vurderes opp mot kostnader i norsk tunneldriving?**
- 4. Hvordan tror du renseteknologien vil utvikle seg i årene som kommer?**

Samtlige intervjuer ble spilt inn ved hjelp av en båndopptaker. I forkant av intervjuene ble det også avklart at alle intervjuene ville foregå anonymt. Dette ble gjort for å unngå at eventuell sårbar informasjon ville kunne ødelegge for individenes eller firmaets omdømme. I etterkant av intervjuene ble lydsporet transkribert. Dette er viktig for å unngå feiltolkninger av det som kom frem i intervjuene. Videre ble hvert enkelt intervju bearbeidet ved at essensen i svarene ble plukket ut. Dette ble organisert som resultater. De ordnede svarene ga både grunnlag for nye funn, tolkninger og sammenlikninger mellom de ulike intervjuene, opp mot teorien som ble innhentet i teorikapittelet.

6.2 Analyser

6.2.1 Sedimenteringstester

Det ble gjennomført analyser på laboratoriet. I analysene var det ønskelig undersøke sedimenteringseffekten av ulik grad koaguleringsmiddelet kitosan, sammenliknet med den naturlige sedimenteringsevnen til et gitt tunnelvann. Metoden for gjennomføring av analysene er gjengitt heretter:

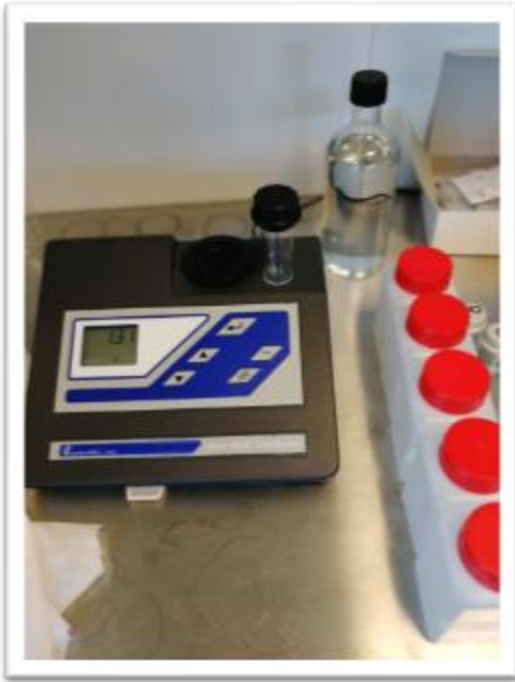
- Tunnelvannet ble hentet i samarbeid med Safe Clean, Kristiansand. Tunnelvannet ble tappet fra beholdere på 500 liter, over i 2 x 40 liters beholdere. Vannet ble godt rørt om mellom hver tapping for å forsikre at tunnelvannet som ble tatt gjenspeilet det aktuelle tunnelvannet.
- Vannprøven ble fordelt i 6 begerglass som alle rommet 1 liter.
- En 0,5% kitosan-løsning ble laget ved å tilsette 0,5 g. kitosan i 100 ml vann. For å løse opp kitosanet til en homogen løsning ble det tilsatt noen dråper av den sterke syren HCl (saltsyre). Løsningen ble omrørt på en magnetrører i omtrent 5 minutter, til man ikke lengere kunne skimte kitosan-partiklene i løsningen. (se figur 6.5).

- Ettersom kitosan-løsningen ikke kan reagere i basiske omgivelser, ble pH-en justert til i underkant av 7 på samtlige vannprøver ved å gradvis tilsette HCl, mens en pH-måler ble plassert i hvert begerglass. Den endelige pH i alle begerglassene ble notert.
- Det er viktig at pH-meteren blir kalibrert riktig før bruk, for å sikre nøyaktige målinger. Dette ble gjort ved å skylle følerne i destillert vann, før de ble plassert i en nøytral løsning (pH 7). Følerne ble så skylt i destillert vann på nytt og videre kalibrert i en basisk løsning med pH 14.
- Effekten av kitosan ble undersøkt ved å tilsette henholdsvis (0, 2.5, 5, 10, 15 og 20) mg/l kitosan-løsning i de 6 begerglassene. Dette tilsvarer (0, 0.5, 1, 2, 3 og 4) ml av den utblandede løsningen.
- De 6 begerglassene ble tilknyttet et felles røreapparat for å forsikre til strekkelig og lik omrøring i alle prøvene før Kitosan-løsningen ble tilsatt. (se figur 6.5)
- Røreapparatet ble stilt inn på 30 sekunder hurtig omrøring før røreapparatet ble koblet fra begerglassene og sedimenteringstestene startet.
- Sedimenteringshastighetene ble notert og dokumentert. Etter 1 times sedimentering ble testen avsluttet og sluttverdien for testen ble notert for alle prøvene.
- Det klareste vannet i toppen av begerglassene ble etter 1 time overført til små beholdere for videre undersøkelser av svevepartikler i form av turbiditetsmålinger og suspendert stoff

Sedimenteringstestene ble i alt gjennomført 3 ganger for å kunne fastslå ideell mengde koagulant. Forsøkene foregikk med samme prosedyre for alle tre analyser.

6.2.2 Turbiditet

For å få en bedre indikasjon på partikkelholdigheten i tunnelvann med ulik mengde kitosan, ble turbiditeten målt. Vannprøvene som hadde sedimentert med ulik tilsetning av koagulant ble fraktet til Risholt vannverk i Grimstad. Målingene av svevestoff ble gjort ved hjelp et turbidimeter. Vannprøvene ble overført med en pipette, til en liten glassbeholder slik at nøyaktig samme mengde prøve skulle bli overført for hver måling. Glassbeholderen ble tørket grundig og håndtert med hansker for å unngå urenheter på glasset. Prøven ble deretter plassert i turbidimeteret før verdiene for turbiditet ble avlest i måleenheten FNU. Prøveglasset ble skylt med destillert vann mellom hver måling.



[Figur 6.3]: Bildet viser apparatet som ble brukt for gjennomføring av turbiditetsmålinger. Vannprøvene tilsettes i glassbeholderen, som er plassert på turbidimeteret.

6.2.3 Filtrering (suspendert stoff)

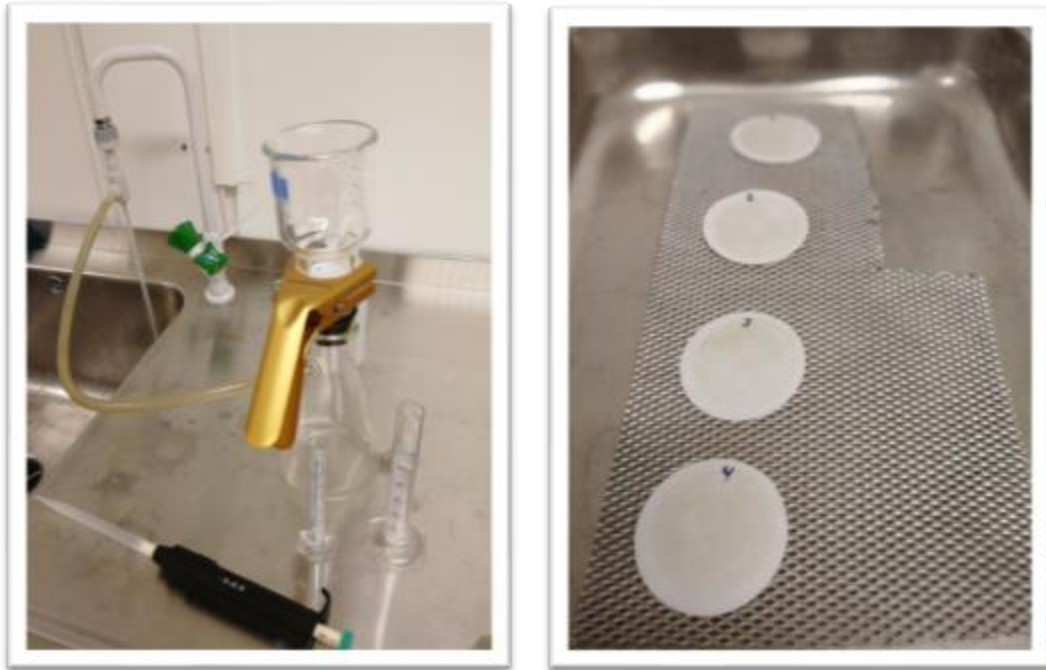
Det klareste vannet som befant seg i toppen av begerglassene etter gjennomføringen av sedimenteringstestene ble videre analysert for partikkelinnhold ved hjelp av filtrering:

- Totalt 6 filtre ble nummerert fra 1-6.
- Samtlige filtre ble veid i forkant av filtreringen med vekt som måler gram med 4 desimaler. Alle filtervektene ble notert. Det er viktig at all berøring av filtre foregår ved hjelp av en pinsett for å unngå små vektpåvirkninger fra eksterne faktorer.
- Gjennomføringen av filtreringen foregikk ved hjelp av et filtreringsapparat (se figur 6.4). Før bruk er det viktig å skylle alle komponenter med destillert vann. Grunnen til dette er at små vektpåvirkninger utenfor det faktiske forsøket, vil gi markante utslag på resultatene.
- Det antatt reneste vannet ble filtrert først. Det er svært viktig å riste prøveflaskene før vann tas ut. Dette skyldes at frie partikler i stillestående vann bunnfeller.
- Mengden vann som ble målt opp for filtrering varierte fra 1-100 milliliter. Dette skyldes filtrenes finhet, hvor svært partikkelholdig råvann i svært liten grad trenger gjennom filtrene. Prøvene med tilhørende filtreringsvolum er gjengitt i tabell 6.2:

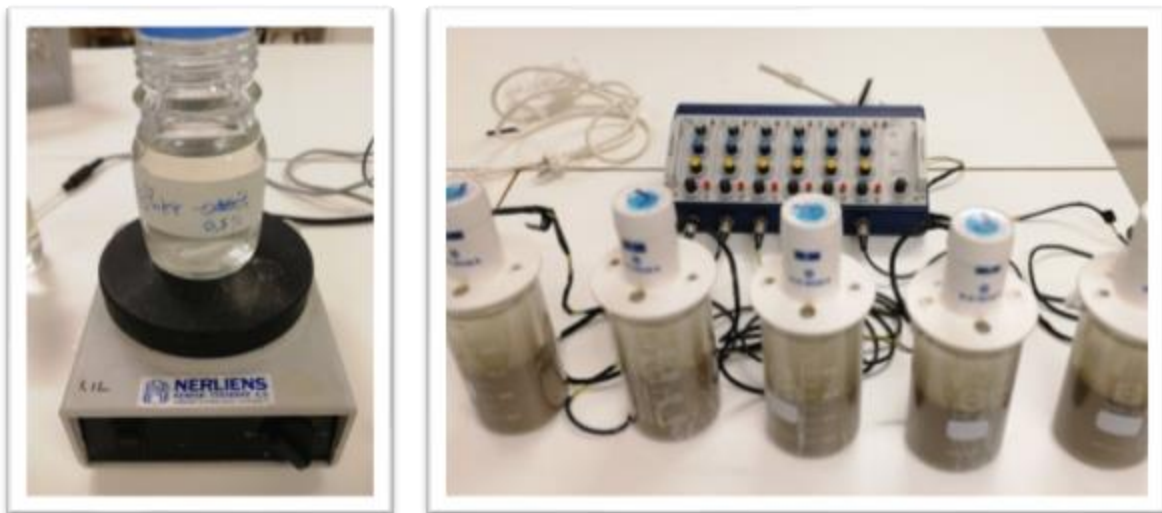
Nummer	Mengde kitosan (mg/l)	Sedimenteringstid (timer)	Filtreringsvolum (ml)
1	0	1	100
2	2,5	1	100
3	5	1	100
4	10	1	100
5	15	1	100
6	20	1	100
7	0 (råvann)	Ingen sedimentering	1

[Tabell 6.2]: Oversikt over koagulant-innhold, sedimenteringstid og filtreringsvolum

- Grunnet filterets finhet, er det nødvendig med vakuüm for å filtrere vannprøvene. Dette ble gjort ved å koble filtreringsapparatet til en spesialtilpasset vask via en slange. På den måten dannes det trykkforskjeller, slik at vannprøvene lettere suges gjennom filtret fra undersiden (se figur 6.4)
- Filtreringskomponenter ble skylt godt med destillert vann mellom hver filtreringsrunde. De våte filtrene ble plassert på rist og satt i varmeskap på 105 grader i en time.
- Etter at all fukt var fjernet fra filtrene, ble de veid nok en gang. Vektdifferansen mellom de 6 prøvene ble notert
- Vektdifferansen i gram tilsvarer partikkelvekten i filtrert prøve (1-100 ml). Alle verdier ble gjort om til mg/l og ordnet som resultater.



[Figur 6.4]: Bildet til venstre viser et filtreringsapparat for måling av suspendert stoff. Bildet til høyre er en visuell fremstilling av 4 våte filtre. Bildet er tatt i etterkant av en filtrering.



[Figur 6.5]: Bildet til høyre viser utblanding av en kitosan-løsning, ved hjelp av en magnet-rører. Bildet til høyre viser det elektroniske røreapparatet som ble benyttet under forsøket. Apparatet har sammenkoblede rørere, som er plassert hvert sitt begerglass for å forsikre lik omrøring.

6.2.4 Partikkeltelling

For å få en bedre oversikt over vannprøvene på partikkelnivå ble det gjennomført partikkeltellinger ved hjelp av apparatet Hydro EV, som er koblet opp mot den tilhørende programvaren Mastersizer 3000. På bakgrunn av resultatene fra sedimenteringstestene, ble det aktuelt å sammenlikne partikkelinnholdet med 5mg/l tilsatt kitosan mot en ubehandlet prøve av tunnelvann. I forsøkene ble det også tatt hensyn til sedimenteringstid. Det ble derfor gjennomført sedimenteringstester, hvor de øverste vannmassene (klarfasen) i testene ble tatt ut for partikkeltelling. Prøvene som ble analysert var:

- ingen tilsetning av kitosan, sedimentering i 5 minutter
- Ingen tilsetning av kitosan, sedimentering i 30 minutter
- 5 mg/l kitosan, sedimentering i 5 minutter
- 5 mg/l kitosan, sedimentering i 30 minutter

Sedimenteringsprøvene i disse forsøkene fulgte samme prosedyre som sedimenteringstestene som er forklart under «*sedimenteringstester*». Partikkeltellingen ble gjennomført ved å legge inn en SOP på Mastersizer 3000. Dette er bakgrunnen av det som skal analyseres. Referanse- indeks for vann og tilhørende absorpsjon-indeks ble lagd inn i SOP, sammen med antall gjennomføringer av tellinger, samt type tellinger som skulle gjennomføres. Det ble besluttet å gjennomføre 10 tester for hver av de 4 prøvene for å få et best mulig resultat. Det ble også besluttet å gjennomføre to typer partikkeltellinger:

- Partikkeltellinger med hensyn på **Volumtetthet**
- Partikkeltellinger med hensyn på **Partikkeltetthet**

Totalt ble 80 analyser gjennomført fordelt på de to formene for partikkeltellinger. Mellom hver prøvetakning ble apparatet gjennomspytt med destillert vann for å forhindre eventuelle feilkilder. Resultatene ble videre analysert, og ordnet i grafer og tabeller for å best mulig få frem resultatene kitosan og sedimenteringstid har på partikkelnivå.



[Figur 6.6]: Bildet viser partikkel telleren Hydro EV under partikkel telling av en vannprøve. Apparatet er sammenkopleet med en datamaskin ved hjelp av programvaren Mastersizer 3000.

Kapittel 7. Resultat

7.1 Resultater fra laboratoriet

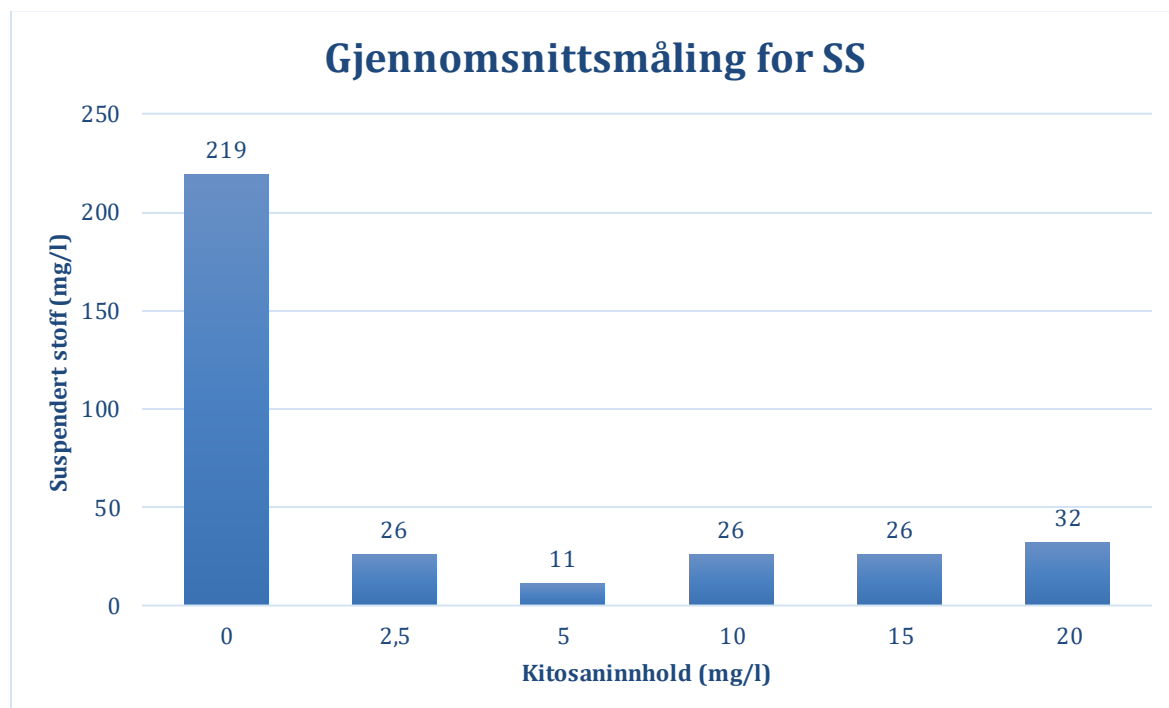
Resultatene av analysene av tunnelvannet og hovedpunktene i fra intervjuene er gjengitt i dette kapittelet. Først vil resultater av analyser for Suspendert stoff og turbiditet presenteres. Videre vil resultatene av sedimenteringstestene fremkomme, før partikkeltegninger og til slutt intervjuer fremvises. Resultatene vil fremkomme i form av figurer, tabeller og diagrammer med tilhørende forklaringer.

7.1.1 Filtrering og måling av suspendert stoff etter 1 time sedimentering

Resultatene som fremkommer i tabell 7.1 og figur 7.1 viser at tilsetning av kitosan har en påvirkning på suspendert stoff. Dersom man analyserer gjennomsnittsmålingene, kommer det frem at samtlige doseringer av kitosan fra 2,5 mg/l – 20 mg/l gir en markant lavere måling for SS enn prøven uten kitosan etter 1 times sedimentasjon. Gjennomsnittsmålingene viser små forskjeller mellom de ulike doseringene av kitosan, men det kan likevel vise seg at en prøve med 5mg/l kitosan er å foretrekke med hensyn på suspendert stoff. Gjennomsnittet av nettopp denne konsentrasjonen ga et resultat på 11 mg/l SS. Sammenliknet med en dosering på 20mg/l kitosan med sitt gjennomsnittlige innhold av SS på 32mg/l, er målingene 2,9 ganger høyere for sistnevnte dosering. Dersom man derimot sammenlikner gjennomsnittsresultatene for 5 mg/l kitosan med prøvene uten tilsetning av koagulant, skiller det 208mg/l SS. Dette tilsvarer omtrent 20 ganger høyere resultater for gjennomsnittet av prøvene uten tilsetning av kitosan. Det skiller derimot bare maksimalt 6 mg/l i gjennomsnittsmålingene for SS mellom prøvene med kitosan-innhold (2.5, 10, 15 og 20) mg/l. På generelt grunnlag er standardavvikene små for samtlige målinger for suspendert stoff.

Filternummer	Tid (t)	Mengde kitosan (mg/l)	Vekt før (g)	Vekt etter (g)	Differanse (g)	Volum (ml)	Suspendert stoff (Mg/l)	Gjennomsnitt Suspendert stoff (Mg/l)
1	1	0	0,1219	0,1450	0,0231	100	231	219
1	1	0	0,1224	0,1427	0,0203	100	203	
1	1	0	0,1215	0,1439	0,0224	100	224	
2	1	2,5	0,1224	0,1244	0,0020	100	20	26
2	1	2,5	0,1219	0,1250	0,0031	100	31	
2	1	2,5	0,1222	0,1250	0,0028	100	28	
3	1	5	0,1225	0,1240	0,0015	100	15	11
3	1	5	0,1215	0,1227	0,0012	100	12	
3	1	5	0,1213	0,1220	0,0007	100	7	
4	1	10	0,1219	0,1239	0,0020	100	20	26
4	1	10	0,1200	0,1230	0,0030	100	30	
4	1	10	1,1209	0,1238	0,0029	100	29	
5	1	15	0,1231	0,1252	0,0021	100	21	26
5	1	15	0,1211	0,1239	0,0028	100	28	
5	1	15	0,1216	0,1245	0,0029	100	29	
6	1	20	0,1231	0,1253	0,0022	100	22	32
6	1	20	0,1229	0,1264	0,0035	100	35	
6	1	20	0,1220	0,1260	0,0040	100	40	
7 – Råvann	0	0	0,1219	0,1396	0,0177	1	17700	17300
7 - Råvann	0	0	0,1210	0,1379	0,0169	1	16900	
7 - Råvann	0	0	0,1215	0,1381	0,0166	1	16600	

[Tabell 7.1]: Tabellen viser resultatene for SS av til sammen 21 målinger fordelt på 6 prøver med ulikt kitosan-innhold, samt en prøvetype med råvann som referanse.



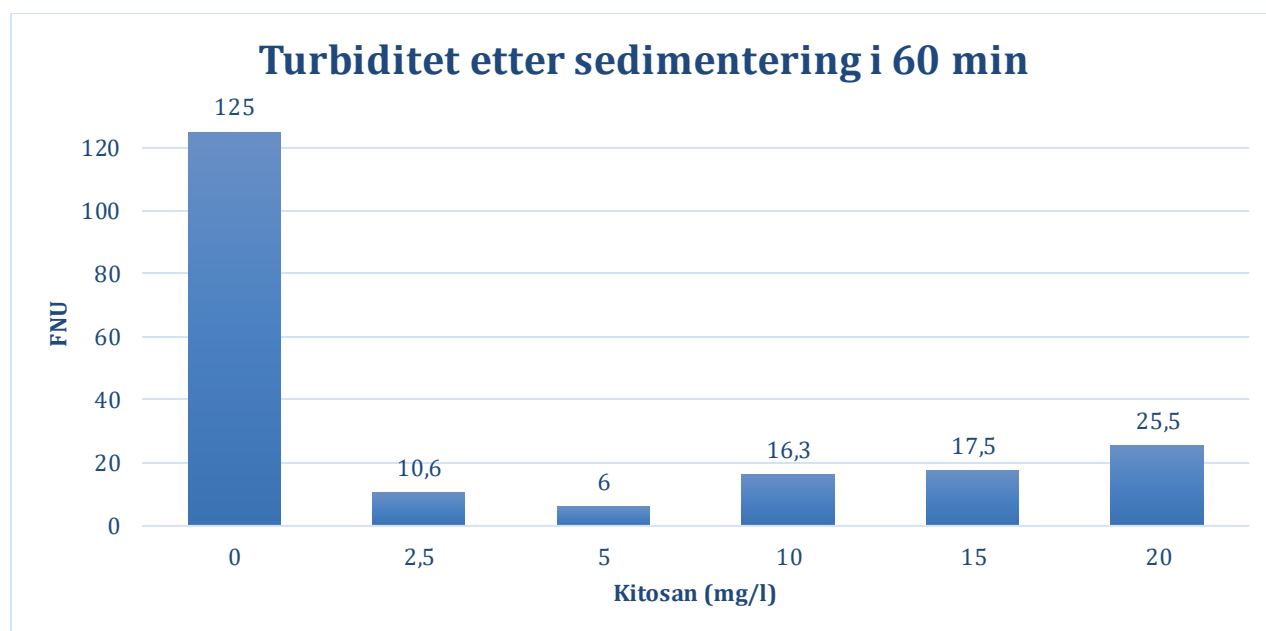
[Figur 7.1]: Fremstilling av SS for gjennomsnitt av 3 målinger med kitosan-innhold 0-20 mg/l etter sedimentering i en time.

7.1.2 Turbiditet og suspendert stoff etter 1 times sedimentering

Resultatene fra turbiditetsmålingene som fremkommer i tabell 7.2 og figur 7,2 bekrefter at det er en klar sammenheng mellom verdier for suspendert stoff og turbiditet. I liket med resultatene for SS, gir prøven med 5mg/l kitosan de laveste verdiene for turbiditet. Det er videre store forskjeller i resultatene for turbiditet mellom prøvene med kitosan sammenliknet med prøven uten kitosan. Totalt ga prøven uten kitosan verdier som er nesten 21 ganger høyere enn prøven med 5mg/l kitosan.

Prøve nr.	Kitosan (mg/l)	pH Tunnelvann	pH (justert)	Turbiditet (ettesed.) (FNU)	Suspendert stoff (ettesed.) (gjennomsnitt) (mg/l)
1	0	11,1	6,6	125	219
2	2,5	11,1	6,5	10,6	26
3	5	11,1	6,4	6,0	11
4	10	11,1	6,6	16,3	26
5	15	11,1	6,6	17,5	26
6	20	11,1	6,7	25,5	32

[Tabell 7.2]: Tabellen viser pH, turbiditet og gjennomsnittlige målinger for SS etter 1 times sedimentering



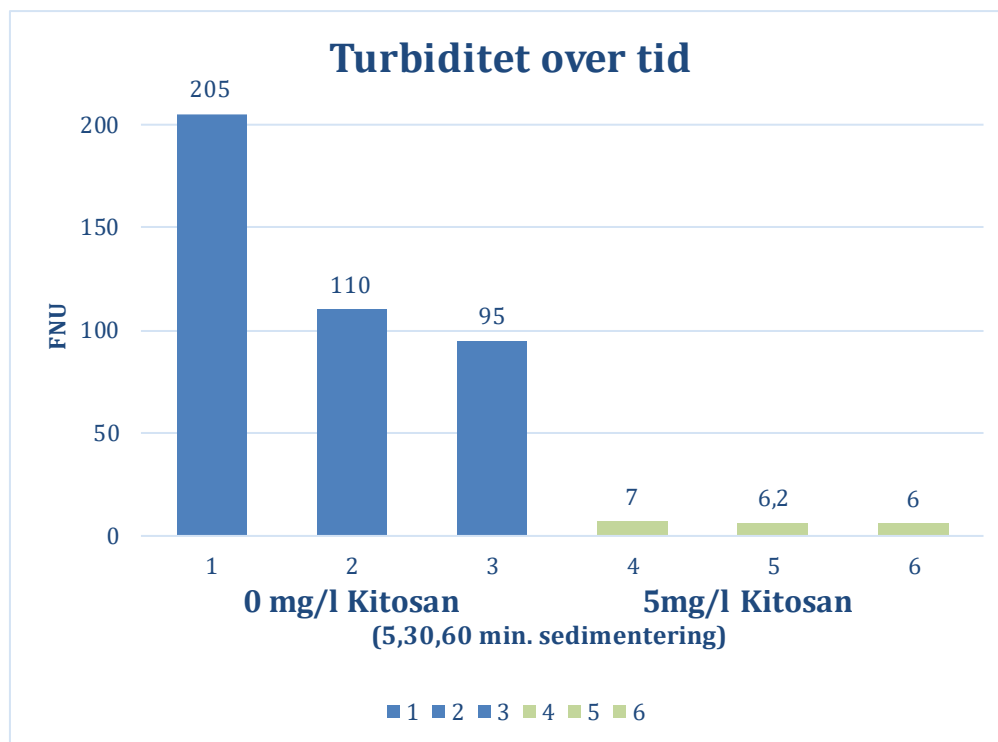
[Figur 7.2]: Diagrammet turbiditetsmålinger av tunnelvann etter 60 minutter med kitosan-innhold 0-20 mg/l.

7.1.3 Sammenlikning av turbiditetsmålinger over tid

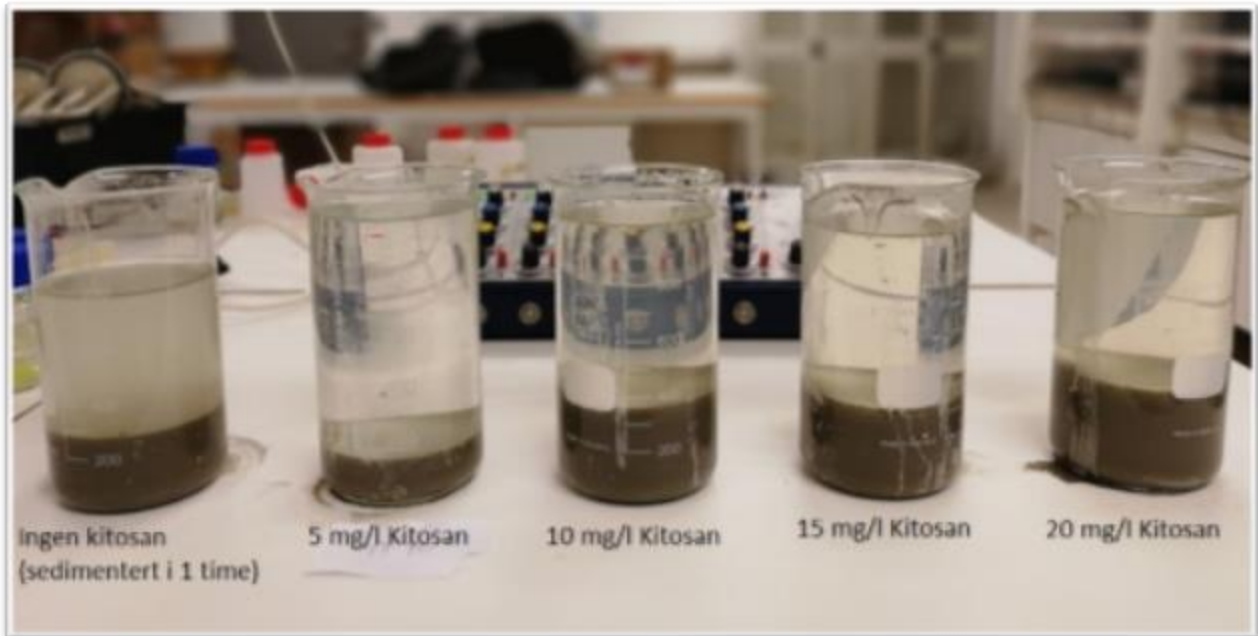
Resultatene fra turbiditetsmålingene over tid som fremkommer i tabell 7.3 og figur 7.3, viser at turbiditeten for ubehandlet tunnelvann minker med størst stigningstall fra 5 til 30 minutter, sammenliknet med fra 30 minutter og frem til 1 times sedimentering. Fra å nærmest halvere målingene for FNU i løpet av 25 minutter i startfasen, minket målingene med under 15% den neste halvtimen. Det ble observert liten endring i resultatene for tunnelvann med 5mg/l kitosan over tid.

Prøvenummer	Kitosan (mg/l)	Sedimenteringstid (min)	Turbiditet (FNU)
1	0	5	255
2	0	30	140
3	0	60	125
4	5	5	7
5	5	30	6,2
6	5	60	6

[Tabell 7.3]: Tabellen viser turbiditets-verdiene for en prøve uten kitosan og 5mg/l kitosan som er sedimentert fra 5 minutter til 1 time.



[Figur 7.3]: Sammenlikning av resultater for turbiditet mellom tunnelvann uten kitosan og tunnelvann med 5 mg/l kitosan. Turbiditeten er målt etter 5, 30 og 60 minutter. Prøve 1-3 er uten kitosan, mens prøve 4-6 er med 5 mg/l kitosan.



[Figur 7.4]: Sedimenteringstester ved tilsetning av ulik grad koaguleringsmiddel. Bildet er tatt etter 30 minutters sedimentering, med unntak av løøsningen uten kitosan som er sedimentert i 1 time.

7.1.4 Sedimenteringstester

Resultatene fra sedimenteringstestene er presentert med gjennomsnittsmålingene av forsøk 1-3. Resultater er presentert i tabell 7.4 - tabell 7.7 og i figur 7.5. Sedimenteringskurvene til alle 6 ulike doseringer av kitosan er lagt inn i samme diagram. Samtlige prøver sluttet å sedimentere etter 16 cm. Av diagrammet kommer det tydelig frem alle 5 prøver som inneholder kitosan gir en mye raskere sedimenteringskurve, sammenliknet med resultatene av testene uten tilsetning av kitosan. Prøven med 5 mg/l sedimenterte gjennomsnittlig 12 cm i løpet av 76 sekunder. Tilsvarende ga tilsvarende sedimenteringstid et gjennomsnittlig sedimenterings-sjikt på under 4 cm. Forskjellen mellom sedimenteringshastighetene for en prøve med 5 mg/l kitosan og en prøve uten koagulant er visuelt fremstilt i figuren over, hvor man kan se en klar forskjell både i klarfasen og i sedimentasjons-sjiktene mellom de to prøvene etter bare 30 sekunder.

Dersom man sammenlikner alle prøver som inneholder kitosan, ser man en svært liten tidsdifferanse i løpet av de første 10 sedimenterte cm. Deretter er forskjellene større, med endelige resultater etter 16 cm sedimentering gir prøven med 5mg/l kitosan med best sedimentering. Deretter kommer prøven med 2,5 mg/l kitosan. Gjennomsnittlig brukte omtrent dobbelt så lang tid på å sedimentere 16 cm med en gjennomsnittlig måling på 600 sekunder. Det er mindre forskjeller i de gjennomsnittlige sedimenteringshastigheter mellom (10-20) mg/l. Det viser seg likevel at sedimentasjonshastigheten gradvis synder med økt mengde kitosan over 10 mg/l. Prøve n med 20 mg/l kitosan brukte gjennomsnittlig ca. 900 sekunder på å sedimentere 16 cm, dette er omtrent 3 ganger lengre tid enn prøven med 5 mg/l kitosan.

Forsøk 1

Sedimentering (cm)	1 (0 mg/l kitosan)	2 (2,5 mg/l kitosan)	3 (5 mg/l kitosan)	4 (10 mg/l kitosan)	5 (15 mg/l kitosan)	6 (20mg/l kitosan)
2	0	0	0	0	0	0
4	2min 40sek	40 sek	20 sek	1 min	2min	2 min
6	5min 20 sek	1 min	40 sek	2 min	2 min 30 sek	3 min
8	8min 30 sek	2 min	1min	3 min	3 min 30 sek	4 min
10	11 min 30 sek	4 min	1 min 30 sek	5 min	5 min	5 min 30 sek
12	21 min	6 min	2 min	9 min	10 min	11 min
14	35 min	10 min	3 min	18 min	19 min	20 min
16	1 time	20 min	7 min	30 min	30 min	31 min

[Tabell 7.4]: resultatet av sedimenteringstester fra forsøk 1

Forsøk 2

Sedimentering (cm)	1 (0 mg/l kitosan)	2- (2,5 mg/l kitosan)	3 (5 mg/l kitosan)	4 (10 mg/l kitosan)	5 (15 mg/l kitosan)	6 (20 mg/l kitosan)
2	0	0	0	0	0	0
4	50 sek	10 sek	10 sek	10 sek	20 sek	20 sek
6	2 min	20 sek	25 sek	20 sek	35 sek	40 sek
8	3min 30 sek	30 sel	30 sek	30 sek	1 min	1 min
10	4 min 30 sek	40 sek	40 sek	40 sek	2 min	2 min 20 sek
12	8 min	1 min 20 sek	1 min	50 sek	3 min 30 sek	3 min 40 sek
14	13 min	2min 30 sek	1 min 30 sek	1min 30 sek	6 min	6 min
16	22 min	5 min	4 min 20 sek	4 min 40 sek	8 min	8 min

[Tabell 7.5]: resultatet av sedimenteringstester fra forsøk 2

Forsøk 3

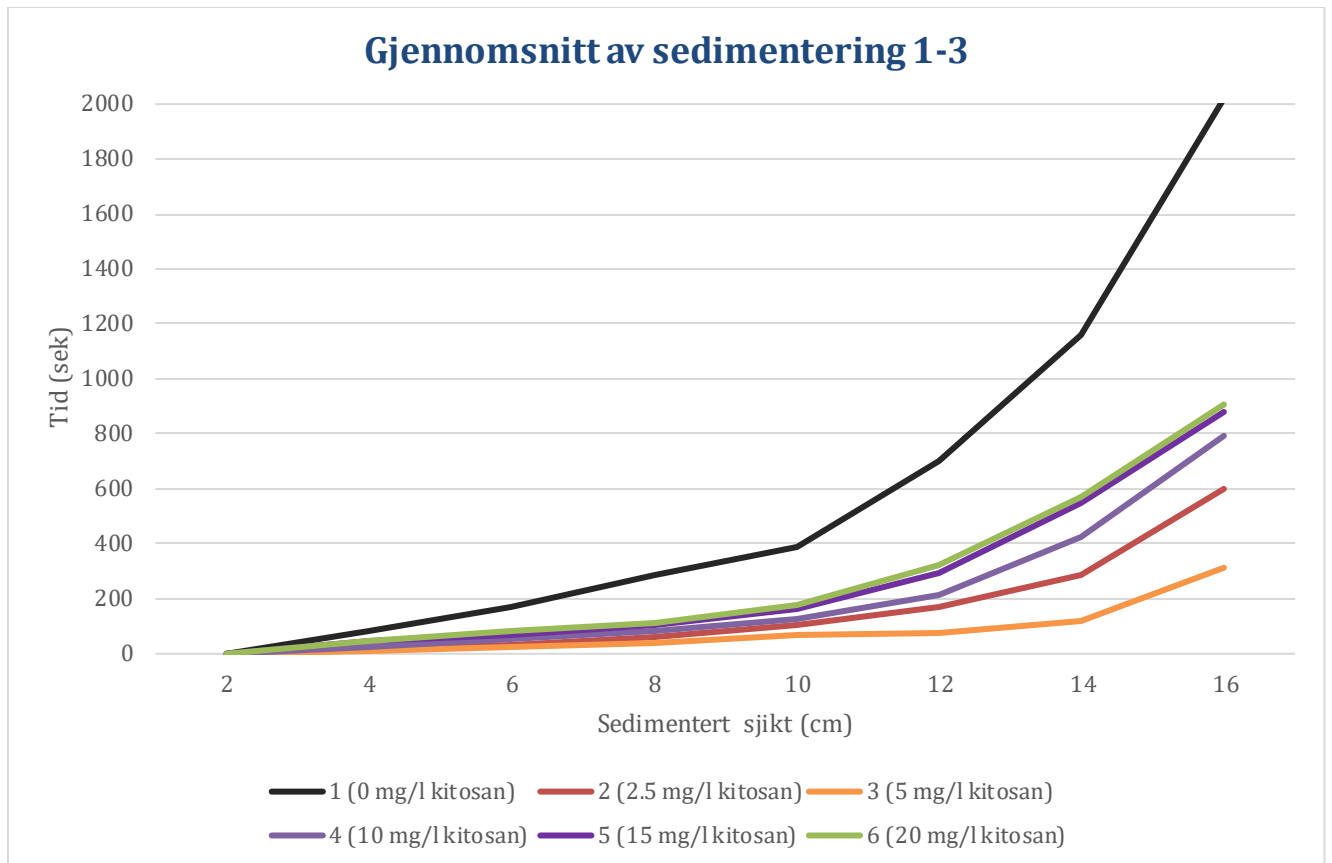
Sedimentering (cm)	1 (0 mg/l kitosan)	2 (2,5 mg/l kitosan)	3 (5 mg/l kitosan)	4 (10 mg/l kitosan)	5 (15 mg/l kitosan)	6 (20 mg/l kitosan)
2	0	0	0	0	0	0
4	40 sek	10 sek	10 sek	10sek	10 sek	10 sek
6	1 min 20 sek	20 sek	20 sek	20 sek	25 sek	30sek
8	2min 30 sek	30 sek	30 sek	30 sek	40 sek	40 sek
10	3 min 30 sek	40 sek	40 sek	40 sek	1 min	1 min
12	6 min	1 min	50 sek	1 min	1 min 20 sek	1 min 20 sek
14	10 min	1min 40sek	1 min 20 sek	1min 40 sek	2 min 30 sek	2 min 30 sek
16	19 min	5min	4 min 20 sek	5 min	6 min	6 min 20 sek

[Tabell 7.6]: resultatet av sedimenteringstester fra forsøk 3

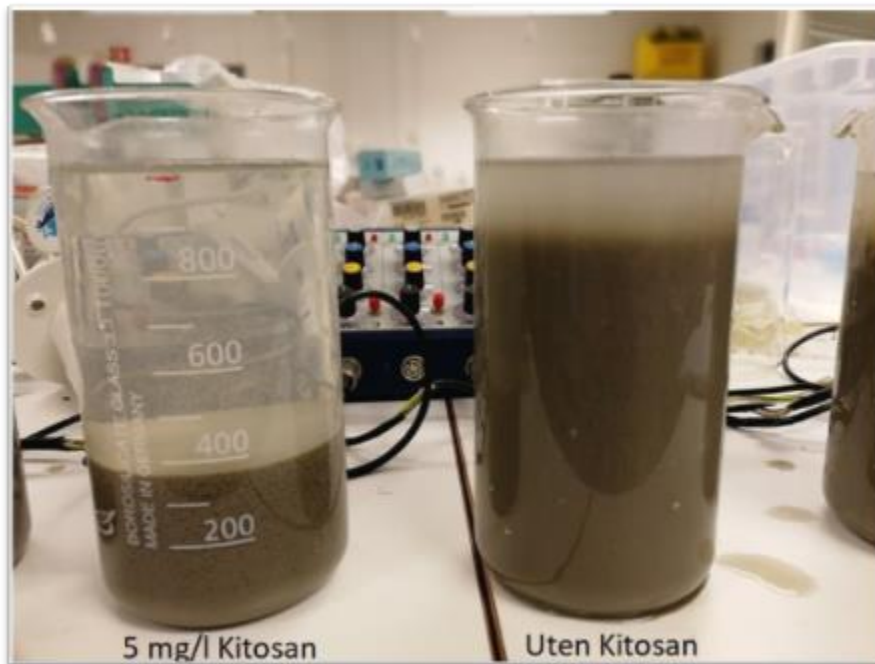
Gjennomsnitt av forsøk 1-3:

Sedimentering (cm)	1 (0 mg/l kitosan)	2 (2.5 mg/l kitosan)	3 (5 mg/l kitosan)	4 (10 mg/l kitosan)	5 (15 mg/l kitosan)	6 (20 mg/l kitosan)
2	0 sek	0 sek	0 sek	0 sek	0 sek	0 sek
4	83 sek	20 sek	13 sek	27 sek	50 sek	50 sek
6	173 sek	33 sek	27 sek	53 sek	70 sek	83 sek
8	290 sek	60 sek	40 sek	80 sek	103 sek	113 sek
10	390 sek	107 sek	67 sek	127 sek	160 sek	176 sek
12	700 sek	167 sek	76 sek	217 sek	297 sek	320 sek
14	1160 sek	283 sek	117 sek	423 sek	550 sek	570 sek
16	2020 sek	600 sek	313 sek	793 sek	880 sek	907 sek

[Tabell 7.7]: resultatet av sedimenteringstester fra forsøk 1-3



[Figur 7.5]: Visuell fremstilling av gjennomsnittsmålingene fra sedimenteringsforsøk 1-3



[Figur 7.6]: Illustrasjon av sedimenteringsegenskapene til 5 mg/l kitosan og ingen tilsetning av koaguleringsmiddel. Bildet er tatt etter 30 sekunders sedimentering.

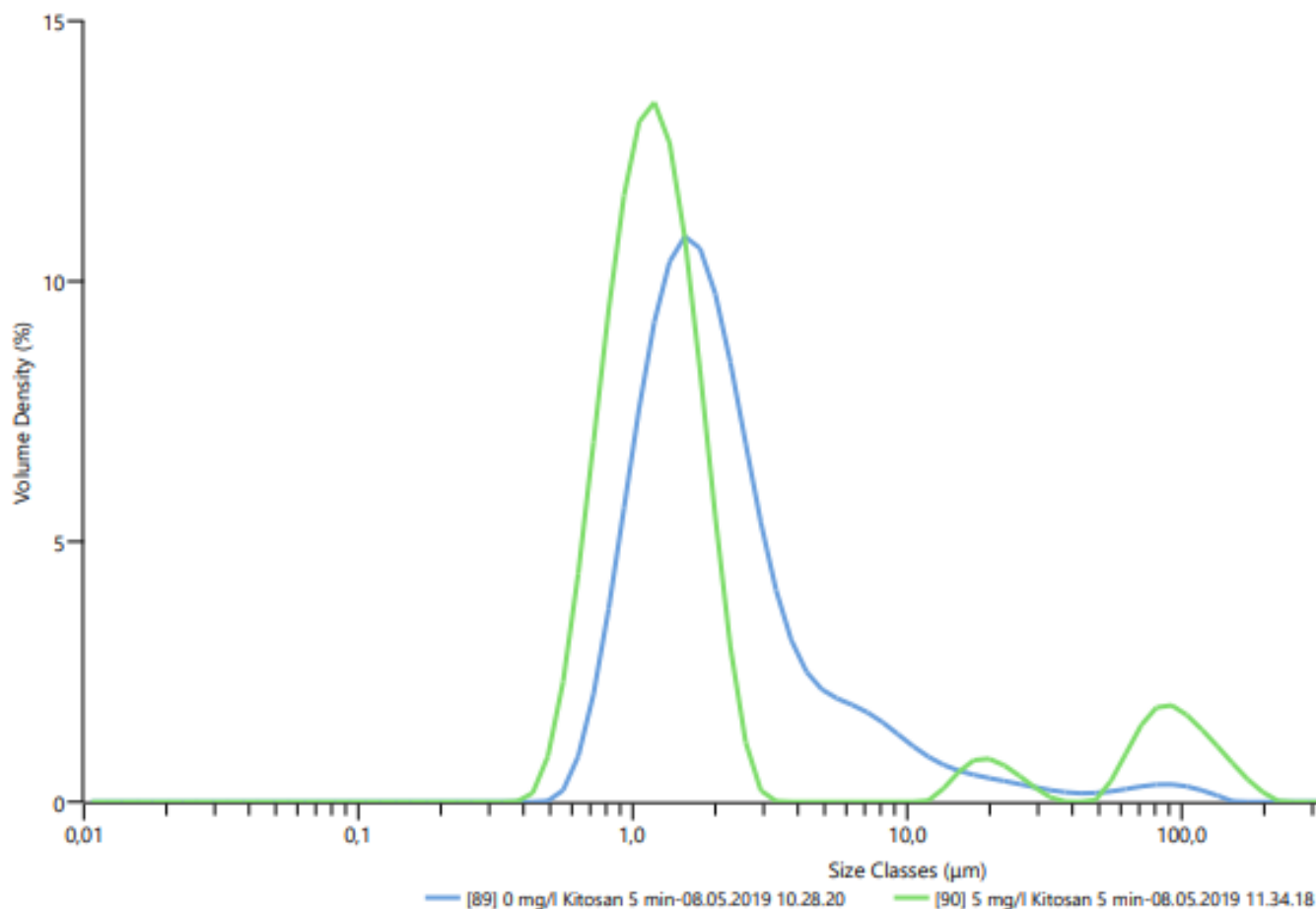
7.1.5 Partikkeltellinger

Resultatene av partikkeltellinger med hensyn på både volumtetthet og partikkeltetthet og partikkeltetthet er gjengitt i form av figurer og tabeller med forklarende tekster.

Sammenlikning volumtetthet, 5 minutter

I figur 7.7 og tabell 7.8 kommer det frem at kitosan har en vesentlig effekt på volumtettheten av partikler ved analyse av tunnelvann som har sedimentert i 5 minutter. Figuren viser at tilsetning av 5mg kitosan pr. liter prøve, sedimenterer en større andel av store partikler enn prøven uten tilsetning av kitosan. I tabell 14 vises målinger for 10% av ytterpunktene av volumstetthetsmålingene i $D_x(10)$ og $D_x(90)$, hvor $D_x(10)$ tilsvarende gjennomsnittstørrelsen i mikrometer for 10% av de laveste målingene, mens $D_x(90)$ tilsvarende gir partikkelstørrelser for 10% av de høyeste målingene. $D_x(50)$ er området hvor gjennomsnittet faller innenfor. På bakgrunn av informasjonen fra tabell og figur kan man fastslå at tilsetning av 5 mg/l kitosan på generelt grunnlag gir raskere sedimentering av store partikler, med en total gjennomsnittsdiameter på 1,25 μm med hensyn på volumtetthet. Sammenliknet med tilsvarende målinger uten bruk av kitosan gir 1,85 μm . Dette er en gjennomsnittlig økning av partikkeldiameter på 48%.

Resultatene viser også en større spredning av partikkelstørrelser ved 5 mg/l kitosan sammenliknet med prøven uten kitosan ($D_x(90)$). Dette betyr at prøven med kitosan inneholder enkelte store partikler som videre gir markante utslag på en analyse av volumtetthet.



[Figur 7.7]: Diagram av partikkelteflinger for volumtetthet. Kurven for 0 mg/l kitosan og 5 mg/l kitosan er lagt inn i samme graf. Begge kurver er gitt etter 5 minutters sedimentering

Prøvenavn	Dx (10) (µm)	Dx (50) (µm)	Dx (90) (µm)
0 mg/l kitosan 5 min	0,982	1,85	7,04
5 mg/l kitosan 5 min	0,733	1,25	52,1

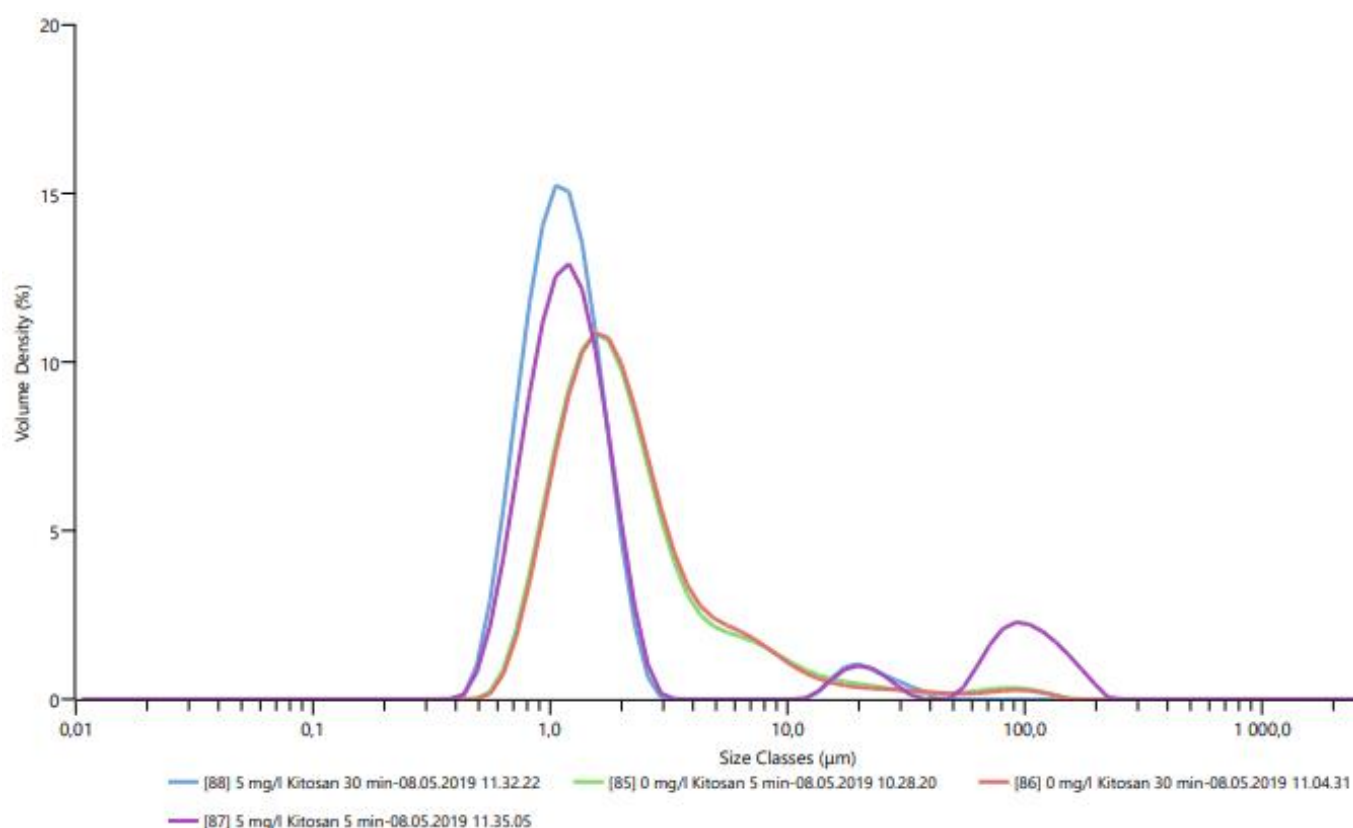
[Tabell 7.8]: oversikt over resultater for partikkelstørrelse-fordeling med hensyn på volumtetthet

Sammenlikning av volumtetthet ved ulike sedimenteringstider

Figur 7.8 og tabell 7.9 viser resultatene av målinger for volumtetthet av tunnelvann-prøver som har ulike grader av koaguleringsmengde og samtidig ulike sedimenteringstider. Resultatene viser tester av ubehandlede tunnelvann-prøver ved sedimentering i 5 minutter og 30 minutter, samt tester ved tilsetning av 5mg/l kitosan ved de samme sedimenteringstidene. Det kommer frem av figuren at tilsetning av kitosan gir en klart minskning av partikkeldiameter både ved 5 og 30 minutters sedimentering sammenliknet med tilsvarende målinger uten tilsetning av koagulant. Grafen for 5mg/l kitosan etter 30 minutter gir den høyeste samlede volumtettheten på i overkant av 15% for partikkelstørrelse 1,13 µm. Tilsvarende kitosan-mengde med sedimentering i 5 minutter ga høyeste

volumtetthet på 12,5% for 1,28 μm partikkeldiameter. Dette er en økning på 13% i partikkeldiameter.

Resultatene viser stor sammenheng mellom målinger med og uten kitosan uavhengig av sedimenteringstid. Det skjer nærmest ingen endring i partikkelstørrelser med hensyn på volumtetthet mellom 5 og 30 minutters sedimentering for tunnelvann uten tilsetning av kitosan. Den største forskjellen mellom prøvene med og uten tilsetning av kitosan er de største partiklene ved tilsetning av 5mg/l kitosan. For de 10% høyeste partikkelstørrelsene gir sedimentering i 5 minutter D_x (90) på 80,9 μm etter 5 minutter, mot 1,93 μm etter 30 minutter. Dersom man sammenlikner gjennomsnittstørrelsene etter 30 minutters sedimentering gir prøven uten kitosan gjennomsnittlig 66% større partikkelstørrelser.



[Figur 7.8]: Sammenlikning av kurver med ulik sedimenteringstid og kitosan-doseringer. Figuren viser partikkelstørrelser med hensyn på volumtetthet

Prøvenavn	D_x (10) (μm)	D_x (50) (μm)	D_x (90) (μm)
0 mg/l kitosan 5 min	0,982	1,85	7,04
0 mg/l kitosan 30 min	1,00	1,88	6,55
5 mg/l kitosan 5 min	0,743	1,28	80,9
5 mg/l kitosan 30 min	0,702	1,13	1,93

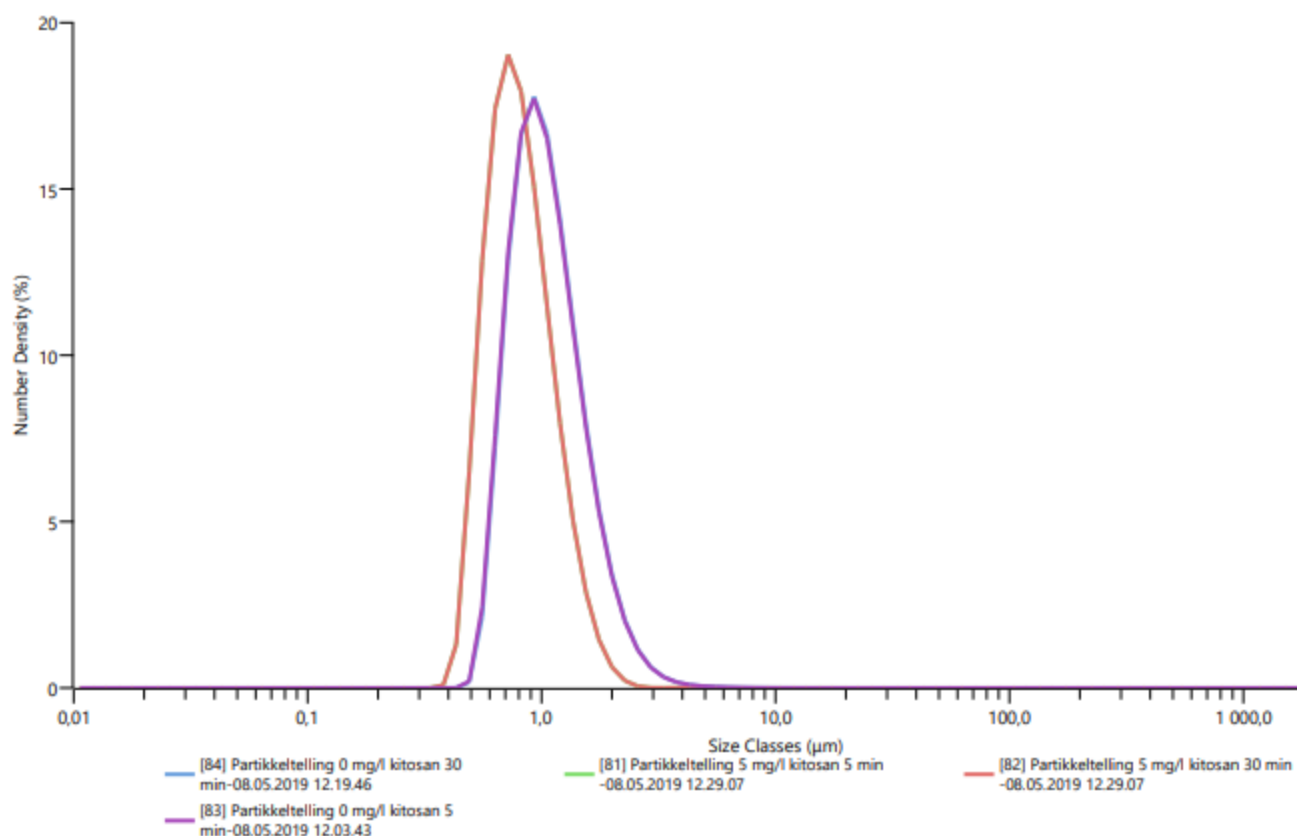
[Tabell 7.9]: oversikt over resultater for partikkelstørrelse-fordeling med hensyn på volumtetthet.

Sammenlikning av Partikkeltetthet ved ulike sedimenteringstid

Figur 7.9 og tabell 7.10 viser en sammenlikning av prøver for ulike partikkelstørrelser med hensyn på partikkel-antall. Resultatene viser tester av ubehandlede tunnelvann-prøver som er sedimentert i 5 minutter og 30 minutter, samt tester ved tilsetning av 5mg/l kitosan ved de samme sedimenteringstidene. På generelt grunnlag viser disse målingene at det er svært stor sammenheng mellom målinger med og uten kitosan. Resultatene viser minimale forskjeller i partikkeltetthet mellom 5 og 30 minutter for både prøve med og uten tilsetning av kitosan. Dette betyr med andre ord at partikkelmengden i vannet er svært lik uavhengig av sedimentering i 5 minutter eller 30 minutter.

Dersom man derimot sammenlikner prøvene med 5mg/l kitosan med prøvene uten koagulant, ser man vesentlige forskjeller i partikkelstørrelser. Resultatene viser at antallet store partikler i de 10% høyeste målingene (Dx (90), er 36% større for både prøven uten kitosan sedimentert i 5 og 30 minutter, sammenliknet med tilsvarende tider ved tilsetning av koagulant.

Dersom man ser på de gjennomsnittlige partikkelstørrelsene med hensyn på antall, gir prøvene uten kitosan 29% større partikkelstørrelse enn prøvene med kitosan.



[Figur 7.9]: Kurvene i grafen viser resultatene fra partikkeltetthets-målinger gjort av tunnelvann med ulik konsentrasjon av kitosan og varierende sedimenteringstid.

Prøvenavn	Dx (10) (µm)	Dx (50) (µm)	Dx (90) (µm)
Partikkeltelling 0 mg/l kitosan 5 min	0,695	1,01	1,70
Partikkeltelling 0 mg/l kitosan 30 min	0,690	1,01	1,69
Partikkeltelling 5 mg/l kitosan 5 min	0,548	0,783	1,25
Partikkeltelling 5 mg/l kitosan 30 min	0,548	0,782	1,24

[Tabell 7.10]: Tabellen viser resultatene fra partikkeltetthets-målinger gjort av tunnelvann med ulik konsentrasjon av kitosan og varierende sedimenteringstid.

7.2 Intervjuer

I alt deltok 4 respondenter i denne undersøkelsen med mål om å se utviklingen av miljøfokus over tid. I dette kapitlet vil den mest relevante informasjon fra intervjuene være ordnet. Resultatene vil fremkomme i form av at hvert enkelt spørsmål nevnes, etterfulgt av tilhørende svar fra alle respondenter i undersøkelsen.

Respondent	Erfaring	Intervjuform
1	Anleggsarbeider, spesialisert på tunnel	Ansikt til ansikt
2	Entreprenør, prosjektleder, Skanska	Videosamtale
3	Entreprenør, prosjektleder, Veidekke	Telefon
4	Daglig leder, Novatek	Telefon

[Tabell 7.11] Oversikt over respondenter i undersøkelsen

1. Fortell litt om deg selv og hvilken erfaring har du med rensing av tunnelvann

Respondent 1:

- Jeg har jobbet 13 år i Skanska innenfor bygg og anlegg. Jeg har erfaring fra alle fasene ved bygging av tunneler. Jeg har også jobbet i mindre anleggs-firmaer med enkelte tunnelrelaterte prosjekter i 5 år før jobben i Skanska.

Respondent 2:

- Jeg har jobber i Skanska i omtrent 25 år. Jeg er per dags dato prosjektleder for et tunnelprosjekt og har også tidligere vært prosjektleder i forbindelse med driving av tunneler ved flere anledninger. Disse prosjektene har gitt meg godt innblikk i rensing av tunnelvann.

Respondent 3:

- Jeg har jobbet som entreprenør i rundt 20 år. I løpet av denne perioden har jeg vært prosjektleder ved driving av flere tunneler. Dette gjør at jeg har vært direkte tilknyttet både renseløsninger og konkrete utslippskrav.

Respondent 4:

- Jeg var med å starte opp det som i dag er Novatek. Novatek er ledende innenfor utvikling av renseløsninger for tunnelvann her i landet. I 30 år har jeg arbeidet med renseløsninger til større og mindre entreprenører som driver tunneler. Vi tilbyr alle renseløsninger som dagens marked etterspør. Dette gjør at jeg har et godt innblikk på dette området.

2. Hvordan opplever du at renseteknologi og rens tiltak har utviklet seg i årene du har arbeidet?**Respondent 1:**

- Fra mitt perspektiv har jeg ikke opplevd noen endring når det kommer til renseteknologien. Jeg opplever mer at tiltakene endrer seg fra by til landlige omgivelser. I enkelte prosjekter må man ta hensyn til nærliggende omgivelser og blir nøye overvåkt. I tunnelprosjekter i mer avsidesliggende områder er ikke overvåkingen like stor. Jeg har erfart at vi som arbeidere ikke alltid følger de kravene som settes i slike tilfeller. Dette handler ofte om å velge de letteste og mest tidseffektive løsningene.

Respondent 2:

- Nå stiller fylket strenge krav til utslipp av tunnelvann. Dette varierer litt fra fylke til fylke og hvor utslippet kommer. Avrenning til ferskvann har mye strengere krav enn saltvann. For saltvannsutslipp er kravene mer vake, etter hvordan vi opplever det.

I dag har vi komplette vann-renselanlegg, bygd containere. Dette gjør at vi bortimot kan resirkulere vannet vårt. Det nyeste nå er å installere måleinstrumenter, som måler forurensingene av vannet som kommer. Disse tar hensyn til som pH og fungerer som et justeringsverktøy for surhetsgraden, etter kravene som er satt i hvert enkelt tilfelle. Slik var det ikke for noen år tilbake. Jeg er ikke kjent med kitosan som koaguleringsmiddel.

Respondent 3:

- Vi har i flere år benyttet oss av sedimenteringsløsninger i form av containere. Slike løsninger blir stadig bedre og mer automatiserte. pH reguleres og overvåkes konstant i tillegg til at prøver tas ut for å kontrollere renseseffekten. Vi jobber da etter ulike maksimalgrenser for suspendert stoff.

I dag drives en tunnel i Arendal hvor denne løsningen ikke holder. Vi opplever fra tid til annen at berget inneholder mye finpartikler som ikke lar seg bunnfelle ved våre vanlige løsninger. I slike tilfeller blir vi tvunget til å gjøre ytterligere tiltak. Foreløpig har vi ingen konkrete løsninger på akkurat dette prosjektet. Disse tiltakene vil variere og styres også mye av det økonomiske. I slike tilfeller er tilsetning av koaguleringsmiddel et mulig tiltak. Av erfaring er det ikke sånn at en type fellingsmiddel fungerer like bra til alle typer tunnelvann.

Vi må tilpasse mengde og type koagulant til det gitte prosjektet. Jeg er ikke kjent med bruk av kitosan i våre prosjekter.

Respondent 4:

- Dagens løsninger er svært standardiserte. De løsningene som entreprenør etterspør i dag er på ingen måte noe revolusjonerende sammenliknet med det som fantes for 10-20 år siden. Likevel utvikles det tekniske ved de allerede eksisterende løsningene. Med dette mener jeg at løsningene blir mer automatiserte. Det er også verdt å nevne at overvåkingen er bedre enn tidligere. Stort sett er det sedimenteringsbaserte containere entreprenører benytter seg av.

3. Hvordan føler du at miljøvennlige rensetiltak vurderes opp mot kostnader i norsk tunneldriving?**Respondent 1:**

- Jeg har arbeidet i flere tunnelprosjekter, hvor alle har benyttet containere for rensing av tunnelvann. Jeg ser at vannet i perioder er misfarget etter renseprosessen. Dette får meg til å tenke at det burde blitt gjort mer på dette området, og jeg vet at all rensingen ikke alltid følger de kravene vi skal jobbe etter. Entreprenørene ønsker alltid å sitte igjen med mest mulig overskudd.

Respondent 2:

- Vi har krav som vi jobbe etter. Så lenge disse kravene er like for alle og blir tilfredsstillt, gjøres det ikke noe mer enn dette fra vår side. Slik vil det naturligvis være for alle entreprenører. Vi har måtte gjøre særskilte tiltak i noen prosjekter i forbindelse med nærliggende lakseelver og andre sårbare resipienter, men ellers gjøres ikke mer enn det som kreves fra myndighetene. Alle parter ønsker naturligvis økonomisk gevinst fra sine prosjekter.

Respondent 3:

- Den mest økonomiske gunstige løsningen velges naturligvis. Fra et nøytralt perspektiv burde kanskje dyrere filter-løsninger og eventuelle nytenkninger prioriteres fremfor de standardiserte løsningene, men samtidig følger vi de kravene som er satt. Økonomisk gevinst er essensielt.

Respondent 4:

- Vi tilbyr de løsningene entreprenørfirmaene etterspør. Dette er i all hovedsak container-løsninger. Personlig synes jeg ikke noe om en slik løsning, hvor effekten ikke er like god som jeg skulle ønsket. Likevel er det dyrt å gjøre ytterligere tiltak, og jeg har inntrykk av at det er lite fokus og ønske om å tenke nytt. Penger styrer utviklingen på dette området i stor grad.

Det er viktig å nevne at i sårbare omgivelser er ikke containerløsningene gode nok pga. den begrensede renseseffekten. Da blir ytterligere tiltak gjort. Dette er også eksisterende renseteknologi og standardisert renseteknologi bestående av hovedsakelig filterløsninger.

4. Hvordan tror du renseteknologien vil utvikle seg i årene som kommer?

Respondent 1:

- Jeg tror og håper det vil bli gradvis mer overvåking ved alle tunnelprosjekter her i landet. Kravene vil bli strengere med årene. Dette vil gi rom for bedre renseløsninger enn de eksisterende containerløsningene som finnes i dag.

Respondent 2:

- Utviklingen er både avhengig av økonomi og kravene som stilles til oss. Det er mulig å gjøre ytterligere tiltak enn det som gjøres i de fleste prosjektene i dag. Likevel trenger man ikke endre noe med mindre utslippskravene blir strengere. I utgangspunktet tror jeg vi vil videreutvikle løsningene som allerede finnes.

Respondent 3:

- Jeg tror at det vil bli en gradvis utvikling på området. Vi vil kanskje få mer automatisert rensing som også tilsetter koagulant. Strengere krav kan føre til nytenkning og bruk av dyrere filtrerings og sentrifugeringsløsninger. Vi har allerede så smått begynt å rense tunnelvann ved hjelp av sentrifugering. Dette er en løsning som opprinnelig er hentet fra avløpsindustrien. Foreløpig har vi benyttet metoden som et alternativ til filterløsninger, med svært positive resultater.

Vi har også begynt å regulere pH ved hjelp av CO₂-gass tilførsel. Dette viser seg å være en mye sikrere og mer stabil form for regulering av pH, sammenliknet med løsningene som tradisjonelt er brukt. Dette er tiltak som ikke nødvendigvis er økonomisk gunstig for oss, men vi er nødt til å følge med på utviklingen for å holde oss konkurransedyktige.

Respondent 4:

- Det er rom for forbedring innenfor dagens rensing av tunnelvann. Likevel vil denne utviklingen styres av myndighetenes krav og entreprenørenes etterspørsel. Det er verdt å nevne at veidekke nylig har utprøvd rensing ved sentrifugering. Dette synes jeg er et veldig fint tiltak og viser at utviklingen i det minste går i riktig retning.

Kapittel 8. Diskusjon

I dag finnes det rensemetoder som kan håndtere alle typer tunnelvann innenfor dagens krav. Likevel er bruken av sedimenteringsløsninger i form av containere den mest brukte løsningen blant norske entreprenører. Mye av grunnen til dette skyldes ressursbruken ved en slik renseløsning. Bruk av koagulanter for å bedre sedimenteringsegenskapene til tunnelvann er heller ikke revolusjonerende og nytenkende tiltak i denne sammenheng. Likevel kan det være utfordrende å finne det optimale fellingsmiddelet fra prosjekt til prosjekt. I dag brukes mye koagulanter med jern og aluminiumforbindelser for å bedre sedimenteringsegenskapene til tunnelvann. En slik løsning kan ha en negativ innvirkning på resipienten og skape store mengder slam. Det kan derfor være aktuelt å tenke nytt. I dette prosjektet er derfor kitosan analysert som et mulig supplement eller erstatning for dagens koagulanter. Kitosan som koagulant i tunnelprosjekter er et svært lite forsket område. Likevel viser foreløpig flere positive sider ved denne koagulanten. Blant annet viser det seg at denne polymeren produserer mindre slam enn tradisjonelle koagulanter [11]. Videre vil jeg diskutere resultatene fra de ulike testene som har blitt gjennomført i dette prosjektet.

8.1 Sedimenteringstester

Det ble observert forholdsvis store forskjeller i sedimenteringshastighet mellom sedimenteringstest 1, sammenliknet med de resterende to sedimenteringstestene. På generelt grunnlag ser man en klar tendens til langsommere sedimenteringshastighet ved første forsøk enn resultatene fra de senere forsøkene. Resultatene isolert sett samsvarer likevel til en viss grad med hverandre. Resultatene viser at bruken av kitosan som koagulant har en vesentlig effekt på sedimenteringshastigheten av partikkelholdig tunnelvann. De beste sedimentasjonsegenskapene oppnås med en mengde kitosan mellom 2,5-10 mg kitosan pr. liter. Dersom man ser på forsøk 2, kan man observere minimale forskjeller på sedimenteringshastigheten mellom prøvene fra 2,5- 10 mg/l koagulant.

Selv om de tre forsøkene har den samme tendensen, viste resultatene av forsøkene store variasjoner i sedimenteringshastigheten. 5 mg/l kitosan hadde den klart beste fellingskurven i forsøk 1. Sammenlikner man derimot forsøk 1 med tilsvarende målinger for forsøk 2, kan man observere at prøven med 10mg/l koaguleringsmiddel resulterte i relativt store forskjeller i sedimenteringshastigheter.

Tunnelvannet i denne analysen var i utgangspunktet svært basisk (pH 11,1). I teorikapittelet kom det frem at alle fiskearter vil dø i løpet av svært kort tid dersom resipientens pH ville tilsvart denne pH-verdien. I dette prosjektet ble pH justert ved å tilsette syre med en konstant overvåking av surhetsgraden. En digital pH måler er svært sensitiv. Dette gjør av avlesningen ofte vil variere avhengig av hvor godt omrørt løsningen er. Dersom en sterk syre kommer i direkte kontakt med pH-føleren vil det ta lang tid før føleren vil stabilisere seg til den faktiske pH. Slike momenter ble forsøkt å ta hensyn til under forsøkene. Det kan likevel være muligheter for små avvik fra målt pH til faktisk pH i de ulike prøvene.

Forskningen rundt den optimale surhetsgraden til kitosan som koagulant er ikke samstemt. Et forskningsprosjekt gjennomført i 1996 fastslo at pH hadde en ubetydelig innvirkning på sedimenteringseffekten til kitosan [11]. Annen forskning fastslår at optimal pH for kitosan som koagulant er mellom 6,5-7,5 [29]. Det er viktig å nevne at ingen av disse studiene har blitt gjennomført på tunnelvann. Den eneste studien som er gjort på effekten av kitosan som koagulant i forbindelse med rensing av tunnelvann er gjennomført i 2014, som nevnt i teorikapittelet [14]. I nevnte forskning ble det gjort analyser av tunnelvann med pH-verdi på 7,8. Resultatene viste svært godt felings-effekt ved anvendt pH. Det ble likevel ikke gjort noen analyser av eventuelle forskjeller andre pH-verdier ville ha på renseseffekten til kitosan.

Dersom man tar denne forskningen i betraktning vil man kunne si at varierende pH-verdi i de ulike forsøkene vil kunne ha noen effekt på sedimenteringshastigheten. Dette bidraget vil likevel ikke kunne svare for hvorfor en sedimenteringsprøve med 10 mg/l kitosan sedimenterte 14cm på 1 minutt og 30 sekunder i et forsøk 2 og 1 minutt og 40 sekunder i forsøk 3, sammenliknet med 18 minutter i forsøk 1.

Det er viktig å merke seg at tunnelvannet ikke er homogent. Selv om forhåndsregler ble tatt for å gjøre alle prøver representable for vannets opprinnelige kvalitet, vil aldri partikkelinnholdet i prøvene være totalt identisk. Dette vil også kunne gi små utslag på sedimenteringsegenskapene til de ulike prøvene. Dersom man tar disse momentene i betraktning og samtidig ser på hvilket forsøk som ga de laveste sedimenteringshastighetene, ser man at det er det første forsøket som avviker fra de to andre. Tunnelvannet ble opprinnelig tappet på 20 liters beholdere. Råvannet ble alltid godt omrørt før analyser ble gjennomført. En mulig forklaring av de høye målingene i forsøk 1 er at partikler med den minste partikkelstørrelsen lettere ble rørt om til de øverste delene av beholderen. En større andel finpartikler vil naturligvis påvirke sedimenteringsegenskapen som følger av lav partikkelmasse.

Det er bevist i forsøkene at ubehandlet vann, i likhet med de resterende 5 kitosan-doseringene ga betydelig lengre sedimenteringstider i forsøk 1, sammenliknet med de resterende 2 forsøkene. Vel vitende at det er sammenheng mellom partikkelstørrelse og sedimenteringshastighet, kan man med stor sikkerhet anslå at analysene gjennomført i forsøk 1 inneholdt en større andel finpartikler. Alle testresultatene i forsøk 1 ble gjennomført samtidig. En dosering med 5mg/l kitosan viste seg å ha en markant bedre sedimenteringskurve enn samtlige andre doseringer i dette forsøket. Det kan derfor vise seg at en dosering med 5mg/l kitosan er det beste valget for å felle finpartikler i dette tunnelvannet.

8.2 Turbiditet og Suspendert stoff

Råvannet som ble benyttet i dette prosjektet inneholdt svært mye partikler. I tabell 7.1 kan man se at gjennomsnittlig partikkelmengde i vannet var hele 17300 mg/l. Grunnet vannets høye partikkelmengde var det ikke mulig å analysere turbiditet for råvannet.

Tidligere i oppgaven har det blitt vist at sedimenteringsegenskaper ble analysert med hensyn på sedimentert sjikt i cm. Dette er en metode som kan gi en god indikasjon på vannkvaliteten og effekten av koagulant. Likevel gir en slik analyse ingen konkret informasjon om vannkvaliteten. For å få dette ble også partiklene i tunnelvannets klarfase analysert med hensyn på turbiditet og suspendert stoff.

Grenseverdier for SS når det kommer til utslipp av tunnelvann vil variere med resipientens sårbarhet. I teorikapittelet kom det frem at slike grenseverdier kan i særskilte tilfeller settes ned mot 50mg/l SS. Fra resultatene av filtreringstestene kom det frem at gjennomsnittlige verdier for suspendert stoff var 219 mg/l etter 1 times sedimentering uten tilsetning av fellingskjemikalier. Dersom man måler disse verdiene opp mot det teoretiske grunnlaget, ville utslippet av tunnelvann med denne verdien SS, bidra til betydelige dårligere fiskeforhold i resipienten.

Tunnelvannet ved tilsetning av kitosan ga store utslag på analysene for turbiditet og suspendert stoff. Samtlige doseringer av koagulant ga verdier for suspendert stoff under 50 mg/l etter 1 times sedimentering. Dosering ved 5mg/l kitosan ga en renseseffekt på 95% sammenliknet med naturlig sedimentert tunnelvann ved analysene tatt etter 1 times sedimentering. Tilsvarende målinger for turbiditet gir renseseffekt på 96% for tilsetning av 5mg/l kitosan. Det er altså en klar korrelasjon mellom målinger for turbiditet og suspendert stoff. Disse funnene samsvarer med tidligere forskning [14].

Gjennomsnittet av 3 turbiditetstester som ble gjort for tilsetning av 5 mg/l kitosan i tunnelvann sedimentert i 1 time, ga et resultat på 6 FNU. Det ble også gjort turbiditetsmålinger etter 5 minutter. Resultatene fra disse målingene ga en måling på 7 FNU for prøven som inneholdt 5mg/l kitosan. Til sammenlikning kom det frem i teorikapittelet at drikkevann en turbiditetsgrense på 4 [30]. Renseeffekten av dette tunnelvannet var derfor svært tilfredsstillende allerede etter 5 minutter. Deretter ble ikke vannkvaliteten i tunnelvannets klarfase betydelig påvirket de neste 55 minuttene, med en reduksjon på 1 FNU.

8.3 Partikkeltellinger

For å få et helhetlig bilde av effekten kitosan har sammenliknet med tradisjonell sedimentering, er det aktuelt å se nærmere på partikkelsammensetningen. Etter 5 minutters sedimentering fikk man interessante funn. Resultatene av volumfordelingene viste at kitosan-prøven gjennomsnittlig hadde partikler med 32,4% mindre partikkelstørrelser. Om man derimot analyserer resultatene for gjennomsnittet av de høyeste 10% av partikkelstørrelsene med hensyn på volumtetthet, viste resultatene en 7 ganger høyere partikkelstørrelse for prøven med 5 mg/l kitosan, sammenliknet med prøven uten koagulant. Det er viktig å merke seg at denne testen ikke tar hensyn til antall partikler, men bare det totale volumet av ulike partikkelfraksjoner. Som illustrert i teorikapittelet (figur 3.11) vil kun et fåtall antall partikler med stort volum gi betydelige utslag på en slik fordeling. Likevel viser denne fordelingen at det finnes enkelte store partikler i kitosan-løsningen, som ikke fantes ved normal sedimentering. Den samme tendensen kan man se igjen ved analyse av kitosan-prøven sedimentert i 30 minutter.

For å forklare avvikene i partikkeltellingene for volumtetthet, kan en mulig løsning være å se på koagulantene. I teorikapittelet kom det frem at kitosan er polymer laget av reke og krabbeskall. Dette er videre et grovkornet pulverstoff, som må løses opp i syre. Selv om dette ble gjort ved god omrøring i dette forsøket, kan noen rester av kitosanet ha unnlatt å løse seg opp. Utslagene på volumtetthetstestene kan derfor være kitosan-rester.

Ved sammenlikning av partikkeltellinger med hensyn på antall partikler, gir alle partikkelstørrelser like utslag på resultatene. Et interessant funn fra disse testene var at det så ut til at partikkelstørrelse-fordelingen var uavhengig av sedimenteringstid mellom 5-30 minutter sedimentering. Dette gjelder både med og uten koagulant. Likevel viste målingene med tilsetning av 5 mg/l kitosan en reduksjon i gjennomsnittlig partikkelstørrelse på 22,6% sammenliknet med de ubehandlede prøvene. Sammenliknet med tidligere forskning på tunnelvann viste disse analysene generelt lavere målinger for partikkelstørrelser [14]. Dette kan skyldes at apparatet som er benyttet i tidligere analyser ikke målte mindre enn 2 mikrometer. Dette er ikke spesifisert i forskningsartikkelen. Som nevnt er tunnelvannets vannkvalitet svært avhengig av bergkvaliteten. Dette gjør at generelt sett vil få store variasjoner ved analyse av partikkeltellinger fra prosjekt til prosjekt, men også i løpet av et prosjekt.

8.4 Intervjuer

Gjennomføringen av et tunnelprosjekt berører mange aktører i ulik grad. Gjennom intervjuer av respondenter med ulik bakgrunn, står man igjen med både fellesnevner og avvik. Jeg ønsker videre å se nærmere på ulikes aktørers tanker og meninger rundt rensing av tunnelvann, satt i lys av teori som er samlet inn i prosjektperioden.

I denne undersøkelsen ble to prosjektledere, en leverandør av renseløsninger og en tunnel-arbeider intervjuet. Respondentene hadde 18-30 års erfaring med tunnelprosjekter. Av undersøkelsen kommer det frem at det ikke har vært en enorm utvikling innenfor renseteknologien de siste årene.

Prosjektlederne spesifiserer likevel at teknologien har utviklet seg ved at overvåkingen og automatiseringen er bedre i dag enn tidligere.

Tunnel-arbeideren vil naturligvis ikke ha det samme innblikket innenfor renseteknologien sammenliknet med de resterende respondentene. Likevel får vedkommende et innblikk om hvordan prosedyrer og krav fungerer i praksis. En interessant påstand respondent 1 kom med var at overvåkingen var dårligere ved prosjekter utenfor bynære strøk, og at håndteringen av tunnelvann ofte kunne bli gjort mer slurvete i slike prosjekter som følger av mangel på overvåking. Slike momenter vil kunne være med å bidra til at kritiske utslippskrav ikke nødvendigvis alltid følger de retningslinjene som er satt.

Det kommer tydelig frem fra samtlige respondenter at rensing i form av sedimentering i form containerløsninger er den absolutte foretrukne løsningen i de fleste tunnelprosjekter. Dette har stor sammenheng med det økonomiske aspektet. Respondent 1 og respondent 4 er henholdsvis anleggsarbeider og utvikler av renseløsninger. Begge mener at det er klare begrensninger med en slik rensemetode når det kommer til renseseffekt. Respondent 4 påpeker spesifikt at han gjerne skulle sett at bedre løsninger ble benyttet i mye større grad, men at etterspørselen styres av entreprenørfirmaene. Alle respondenter i undersøkelsen er klare på at økonomisk gevinst er med på å styre valg av renseløsninger i stor grad. Dersom man er innenfor kravene som er satt for et prosjekt gjøres naturligvis ikke noe mer enn dette fra prosjektlederens synsvinkel.

I spørsmålene respondentene fikk angående deres syn på rensing av tunnelvann i årene som kommer, var meningene delte. Respondent 2 mente at det er mulig å gjøre ytterligere tiltak enn det som blir gjort i dag, men at slike tiltak styres av det økonomiske. Han mente også at man kom til å videreutvikle de allerede eksisterende renseløsningene som finnes i dag. Dersom man tar utgangspunkt i denne tanken, ser man at tilsetning av kitosan som fellingsmiddel, vil være en potensiell utbedring både med tanke på sine kjemiske egenskaper som koagulant, og for sin naturlige opprinnelse fra reke og krabbeskall. Ingen av prosjektlederne i denne undersøkelsen hadde kjennskap til bruken av denne polymeren som koagulant i tunnelprosjekter. I forskningsrapporten som tidligere er gjennomført i forbindelse med bruken kitosan for rensing av tunnelvann kom det frem at kitosan er 0,12,- per 1000 liter rensed vann ved en 0,5mg/l kitosan-løsning [14]. I teorikapittelet kom det frem at vannmengder kan være 200 liter vann i minuttet ved driving av en tunnel. Dersom man går ut fra dette vil det koste 11,52 kroner å drive et sedimenterings-anlegg i 8 timer. Denne prisen vil naturligvis øke med økt dosering av kitosan. En dosering på 5mg/l viste seg å gi den beste renseseffekten i denne undersøkelsen. En slik konsentrasjon av kitosan ville gi en pris på 115,- i løpet av 8 timer med samme betingelser som nevnt for dosering med 0,5mg/l kitosan. Dersom man tar høyde for det økonomiske aspektet, viste resultatene i dette prosjektet at en 2,5mg/l kitosan dosering ga nærmest like god sedimenteringseffekt som den dobbelte doseringen. En slik dosering vil halvere kostnadene. En dosering på 2,5 mg/l kitosan vil kunne være et godt tiltak for å minimere verdiene for SS i rensed tunnelvann, ved bruk av standardiserte sedimenteringsløsninger.

I intervjuene kom det frem at veidekke har prøvd ut sentrifugering som en ny metode å behandle partikkelholdig tunnelvann med svært gode erfaringer. Dette er rensemetode som allerede finnes, men som ikke har blitt utprøvd innenfor rensing av tunnelvann før de siste årene. Dette er en renseløsning som både krever mer ressurser enn f.eks. bruk av kitosan i sedimenteringsløsninger. Likevel viser det seg at sentrifugering av tunnelvann gir svært lave verdier av SS. Dette gjør at løsningen bare brukes ved behov særskilte tiltak foreløpig. Dette er en løsning som er tatt positivt imot innenfor norsk tunneldriving. Med stadig strengere krav til kvalitetssikring er dette absolutt en rensemetode som vil kunne være med å løse problemene med utslipp av forurenset tunnelvann i årene som kommer.

8.5 Feilkilder og begrensninger

Ved gjennomføring av laboratorium-analyser ble mange forhåndsregler tatt for å minimere eventuelle feilkilder. Det ble blant annet gjennomført flere identiske tester for både filtrering og sedimentering av tunnelvannet med ulik mengde koagulant. Ingen av testene ble 100 prosent identiske. Det kan være flere grunner til små avvik i resultatene. Tunnelvannet inneholdt i utgangspunktet svært mye partikler. Selv om det ble tatt forhåndsregler ved å blande vannet godt mellom hver prøvetakning, vil aldri vannet bli totalt homogent. Man vil derfor kunne få små forskjeller i vannkvaliteten for hver enkelt prøve.

Ved gjennomføring av analyser for suspendert stoff, kreves det svært stor grad av nøyaktighet. Det ble av den grunn benyttet vekt med 4 desimalers nøyaktighet. Selv om all berøring av filtre ble gjort med pinsett og filtrene ble oppbevart i støvfrie omgivelser, er det likevel muligheter for at partikler har kunnet samle seg på filtret utenfor testperioden. Ved håndtering av våte filtre er det også mulig at små deler av filtrene vil kunne rives av. Små eksterne vektforandringer utenfor forsøket gi store utslag på resultatene i en slik analyse.

Ved gjennomføringen av intervjuer ble i alt 4 individer med ulik bakgrunn intervjuet ved kvalitativ metode. Respondentene hadde alle erfaring med tunneler. Likevel er det naturlig at deres svar ble formet ut fra deres konkrete erfaring. Ingen prosjekter er helt like og man møter ofte på ulike miljøutfordringer. Alle respondenter hadde et noe ulikt syn på renseteknikk innenfor tunneldriving. Ved å intervju enda flere respondenter med relevant bakgrunn, kunne man fått et enda bredere perspektiv på temaet, som igjen ville bidra et enda bedre diskusjonsgrunnlag.

Den varierende intervjuformen i undersøkelsen er noe som sannsynligvis har hatt innvirkning på resultatene. tre av fire intervjuer ble gjort uten fysisk tilstedeværelse, hvor to av intervjuene ble gjort uten visuell kontakt. Det kan derfor ha oppstått derfor en begrenset relasjon, spesielt ved gjennomføringen av telefonintervjuene. Telefonintervjuene resulterte i noe mindre utdypende svar enn de resterende intervjuene. Muligheten til å analysere viktigheten ved momenter i svarene ved hjelp av ansiktsuttrykk og kroppsspråk var heller ikke til stede under telefonintervjuene. Det er derfor viktig å presisere at denne intervjuformen gir større risiko for eventuelle feiltolkninger.

I denne undersøkelsen hadde respondentene 18-30års erfaring. Dette er et relativt stort spenn. Arbeidserfaring er et moment som vil påvirke hvert enkelt individs perspektiv ulikt. Ideelt sett ville det derfor vært nyttig for undersøkelsen å bare få perspektivet til individer som har jobbet med tunneler i 30-50 år. Ved undersøkelse av flere respondenter kunne man også sammenliknet svarene til respondenter med lang erfaring mot respondenter med 3-5 års erfaring. På den måten ville man lettere kunne finne konkrete svar på utviklingen, både innenfor teknologi og miljøbetydningen på området.

Kapittel 9. Konklusjon

Miljø har utviklet seg til å bli et vesentlig begrep innenfor norsk tunneldriving i de senere årene. Myndighetenes krav til kontroll på utslipp av tunnelvann gir stadig større utfordringer for entreprenører. Samtidig gir dette rom for nytenkning og forbedring av allerede eksisterende renseteknologi. Kitosan er en naturlig fremkommende koagulant som viser seg å ha en svært god effekt på sedimenteringsegenskapene til tunnelvann. I forsøk ga tilsetning av 5 mg/l kitosan en renseseffekt opp mot 95% sammenliknet med naturlig sedimentering for suspendert stoff og 96% for turbiditet.

Utviklingen går i riktig retning med stadige forbedringer av eksisterende rensemetoder, samt implementering av nye metoder som sentrifugering av tunnelvann. Det kreves likevel fortsatt en stor holdningsendring fra samtlige aktører, hvor miljø må vektles høyere i forhold til den økonomiske gevinsten enn hva som er tilfelle i dag. Dette er en utvikling som må finne sted for å møte den enorme befolkningsveksten, med de tilhørende klimakonsekvensene i årene som kommer.

Kapittel 10. Anbefalinger

Resultatene fra analysene i dette prosjektet viser at kitosan har en vesentlig effekt på sedimenteringsegenskapene til tunnelvann i laboratorieanalyser. Effektene i fullskalaforsøk kan variere fra disse resultatene. Ved mer ressurser hadde det derfor være svært interessant å undersøke effekten av ulike kitosan-doseringer i fullskala ved flere ulike tunnelprosjekter. På den måten kunne man få en bedre oversikt over den reelle effekten kitosan har på sedimenteringsegenskapene til tunnelvann ved ulike partikkelsammensetninger.

Et annet interessant moment som ville være interessant å forske mer på er Slam-produksjon ved bruk av kitosan som koagulant. Det å kunne sammenliknet denne koagulanten med andre fellingsmidler som tradisjonelt brukes ved sedimentering av tunnelvann ved hjelp av laborietester og i fullskala under samme omstendigheter, er også et aktuelt tema som var ønskelig å undersøke nærmere i dette prosjektet. Grunnet manglende ressurser lot dette ikke seg gjøre i denne prosjektoppgaven. Dette er likevel momenter som anbefales å forske mer på.

Kapittel 11. Referanser

- [1]: <http://www.worldometers.info/no/>
- [2] <http://www.yr.no/artikkel/nedbormengden-oket-og-oket-1.8241106>
- [3] <https://www.forskningsradet.no/servlet/Satellite?cid=1222932098080&pagenam e=VedleggPointer&target= blank>
- [4] <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/173228/Rapportserie%20 126.pdf?sequence=1>
- [5] <http://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15 ts.pdf> (FNs klimarapport fra oktober 2018)
- [6] <http://nff.no/wp-content/uploads/2014/01/Teknisk rapport 09.pdf>
- [7] Miljøledelse – Hvordan møter bedriften miljøutfordringene? Jan Brataas, Høyskoleforlaget AS 1999.
- [8] <https://www.norskvann.no/images/tones/PDF/Tekniske bestemmelser.pdf>
- [9] <https://www.vegvesen.no/ attachment/703548/binary/988858?fast title=5.pH- regulering+av+tunneldrivevann+ved+bruk+av+CO2.pdf>
- [10] https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2014_910118.pdf
- [11] Huang C., Chen Y. 1996. Coagulation of colloidal particles in water by chitosan. J. Chem. Tech. Biotechnol. 66, 227-232.
- [12] Vogelsang C. 2001. Felling av humus med kitosan – anvendelse av zetapotensialet til å studere koaguleringsmekanismer. VANN, 4. s 308-318.
- [13] <https://ndla.no/subjects/subject:6/topic:1:182849/topic:1:147173/resource:1:14 5326>
- [14] https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2014_910118.pdf
- [15] <https://zapdoc.site/fjerning-av-farge-med-kitosan-som-koagulant-ved- haugesund-va.html>
- [16] http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-YIRA200609001.htm
- [17] Systems and methods for treating water, United States, Patent Application Publication Pub. No.: US 2008/0314807, Junghanns et al. Pub, Dato: 25.12.2008
- [18] <https://www.miljolare.no/tema/vannressurser/artikler/fysikk kjemi/phmeter.ph p>
- [19] <https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2017/03/07-Roseth.pdf>
- [20] <https://www.atascientific.com.au/wp-content/uploads/2017/01/MRK1872.pdf>
- [21] <https://www.sysmex.nl/fileadmin/media/f102/MLS/Academy docs/5 Laser diff raction MSS MS2000 MS3000.pdf>
- [22] <https://kurs.norskvann.no/mod/glossary/showentry.php?courseid=1&concept=S uspendert+stoff>
- [23] <https://www.malvernpanalytical.com/en>
- [24] <https://www.endnote.no/>
- [25] *Hvordan gjennomføre undersøkelser?* 3 utgave, 2 opplag 2016. CAPPELEN DAMM AS 2015.
- [26] <https://docplayer.me/13451521-Tiltak-for-kontroll-og-handtering-av- forurenset-vann-slam-ved-anleggsvirksomhet.html>
- [27]: <https://www.met.no/vaer-og-klima/klima-siste-150-ar>
- [28]: <https://www.at.no/artikler/slass-mot-vannet/418446>

- [29]: <https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/chitosan>
- [30] <https://labora.no/grenseverdier-parameterne-drikkevann/>
- [31] <http://www.uco.no/produkter/pumper1/Pumper-Specialpumper/Mal-Specialpumper/sedimenteringscontainere/>

Kapittel 12. Vedlegg

1. Intervjuguide

Jeg er student ved Universitetet i Agder og skriver for tiden min masteroppgave. Temaet for min oppgave er karakterisering og rensing av tunnelvann, hvor jeg går nærmere inn på miljøproblematikken. Jeg analyserer eksisterende rensemetoder og ønsker også å se på utviklingen som har skjedd i tillegg til fokuset rensing av tunnelvann har i dag sammenliknet med tidligere. Jeg ønsker derfor å gjennomføre **åpne intervjuer** med respondenter som har erfaring på området for å få et bredere innblikk i problemstillingen min. Jeg har utarbeidet følgende problemstilling for mine intervjuer;

«Hvilket utviklingspotensial har dagens renseteknologi innenfor norsk tunneldriving?»

Jeg har videre utformet noen spørsmål som en mal for intervjuet;

1. **Fortell litt om deg selv og hvilken erfaring har du med rensing av tunnelvann**
2. **Hvordan opplever du at renseteknologi og rens tiltak har utviklet seg i årene du har arbeidet?**
3. **Hvordan føler du at miljøvennlige rens tiltak vurderes opp mot kostnader i norsk tunneldriving?**
4. **Hvordan tror du renseteknologien vil utvikle seg i årene som kommer?**

2. Sammendrag av veiledningsmøter:

04.02.19 – Rein Terje

Oppstartsmøte med gjennomgang av mål for semesteret.

Det ble diskutert mulighetene for å få tilgang til tunnelvann og diskutert aktuelle samarbeidspartnere og fremdrift.

20.02.19 – Fellesmøte

Møte med Kruse Smith, en representant fra Niva og Helge Liltved. Det ble diskutert planene og mulighetene for å få tilgang på tunnelvann mer konkret. Dette viste seg å være vanskelig ettersom det var få tunneler som ble drevet i området. Det ble besluttet at deltakerne på møtet skulle undersøke mulighetene for å få tak i tunnelvann videre, mens Martin jobbet videre på prosjektdelene som var mulig å utarbeide utenom analysene.

01.03.19 – Rein terje

Det ble gjennomgått utfordringer ved tilgang på tunnelvann. Rein Terje ga kontaktinformasjon til aktører i Rogfast prosjektet på vest-landet. Dette resulterte til slutt med at de ikke ønsket å gi fra seg vannprøver. Det ble besluttet å skrive videre på metode kapittel og intervjuer i påvente av å finne vannprøver.

07.03.19 – Helge Liltved

Helge hadde kommet i kontakt med Safe Clean som satt på vannprøver fra en Kraft tunnel i Åmli. Kontaktinformasjon ble utvekslet og konkrete analysemetoder ble diskutert.

20.03.19 – Helge Liltved

Martin hadde hentet vannprøvene. Det ble gjennomgått praktisk gjennomføring og veiledning rundt analysene av tunnelvann og doseringer av kitosan.

12.04.19 – Helge Liltved

Resultater av tester ble gjennomgått og nye tester ble planlagt. Turbiditetsmåleren på UiA var ødelagt. Det ble derfor diskutert mulige løsninger på problemet. Prosjektframgang ble også diskutert.

08.05.19 – Helge Liltved

Utfordringer ved prosjektet ble diskutert. Helge hadde kommet i kontakt med et renseanlegg i Grimstad som hadde et turbidimeter i besittelse. Dette gjorde at Martin kunne kontakte dem for undersøkelser av turbiditet. Resultater av partikkel tellinger ble også gjennomgått.

Resterende vedlegg fremkommer i egne dokumenter

Tittel:
Karakterisering og rensing av tunnelvann

Veiledere:
 Rein Terje Thorstensen
 Helge Liltved, UiA



Dagens renseteknologi utvikles i takt med stadig strengere krav for vannforurensning. Tradisjonelle renseløsninger for behandling av tunnelvann under drivefase er i mange tilfeller ikke gode nok, hvor man er avhengig av renere utslippsvann for å gjøre minst mulig skade på resipienten.

Denne rapporten er et masterprosjekt, som bygger videre på forprosjektet skrevet høsten 2018. Problemstillingen for oppgaven er: "Hvordan løse utfordringene knyttet til forurensning av tunnelvann."

Metode

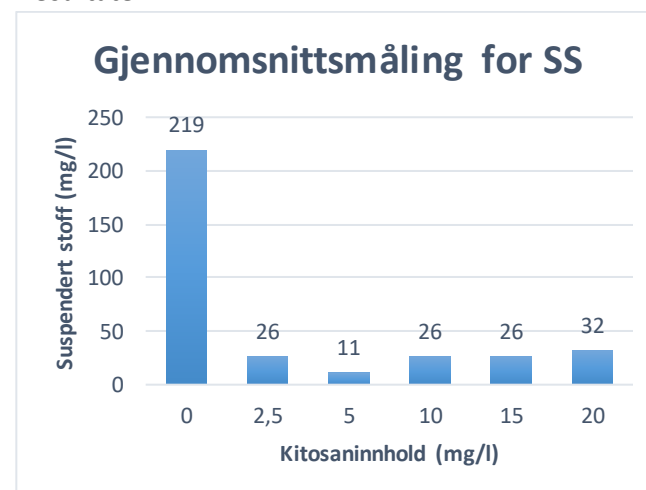
I oppgaven har eksisterende renseteknikker blitt vurdert. Det har også blitt gjort analyser for karakterisering og rensemetoder for tunnelvann. I analysene ble polymeren kitosan sine sedimenteringsegenskaper undersøkt. Det ble gjennomført analyser for sedimenteringshastigheter, suspendert stoff, turbiditet og partikkeltellinger med varierende konsentrasjon av kitosan.

Som et verktøy for å besvare forskerspørsmålet ble det også gjennomført åpne intervjuer av totalt fire respondenter med ulik bakgrunn for å kartlegge hvilket syn ulike bransjer har på dagens renseteknologi og eventuelle forbedringsmuligheter.

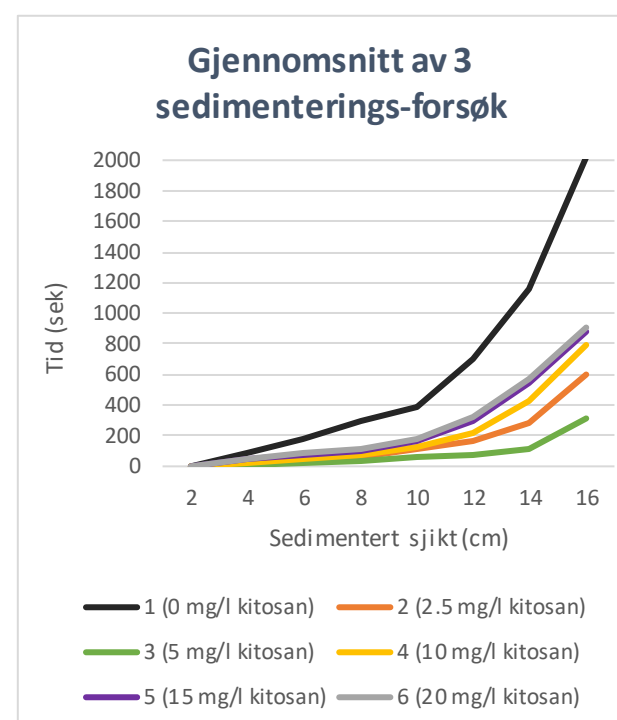
Respondent	Erfaring	Intervjuform
1	Anleggsarbeider, spesialisert på tunnel	Ansikt til ansikt
2	Entreprenør, prosjektleder, Skanska	Videosamtale
3	Entreprenør, prosjektleder, Veidekke	Telefon
4	Daglig leder, Novatek	Telefon

[Tabell 1]: Oversikt over respondenter og intervjuform

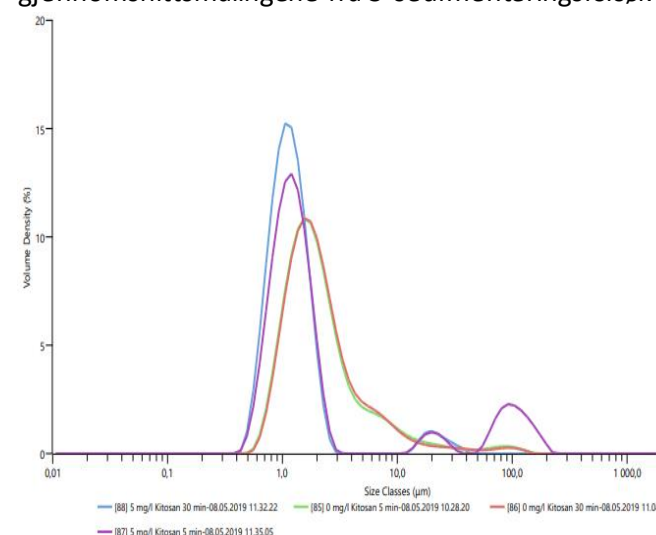
Resultater



[Figur 1]: Fremstilling av SS for gjennomsnitt av 3 målinger med kitosan-innhold 0-20 mg/l etter 1 time sedimentering.



[Figur 2]: Visuell fremstilling av gjennomsnittsmålingene fra 3 sedimenteringsforsøk



[Figur 3]: Sammenlikning av kurver med ulik sedimenteringstid og kitosan-doseringer. Figuren viser partikkelstørrelser med hensyn på volumtetthet

Forsøkene viser at tilsetning av 5 mg/l er optimal dosering med hensyn på sedimenteringshastighet, suspendert stoff og turbiditet. Resultatene av analysene viste at kitosan ga en renseseffekt på 95% med hensyn på SS og 96% med hensyn på turbiditet. Analyser av partikkelstørrelse fordelinger viser at sedimentering ved tilsetning av kitosan også gir gjennomsnittlig 32,4% mindre partikkelstørrelser etter 5 minutters sedimentering, med hensyn på volumtetthet sammenliknet med en naturlig sedimentert prøve.

Konklusjon

Utviklingen går i riktig retning med stadige utbedringer av eksisterende rensemetoder, samt implementering av nye metoder som sentrifugering av tunnelvann. Likevel er kitosan en koagulant som er lite utprøvd i forbindelse med behandling av tunnelvann, og en mulig erstatning til allerede eksisterende fellingsmidler.

Det kreves på generelt grunnlag en holdningsendring blant samtlige aktører, hvor miljø må vektas høyere i forhold til den økonomiske gevinsten enn hva som er tilfelle i dag. Dette er en utvikling som må finne sted for å møte den enorme befolkningsveksten, med de tilhørende klimakonsekvensene i årene som kommer.