Bacheloroppgave

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Ingrid Nesvold Engan
Ann-Mari Furuheim Beitdokken

# Utfordringer ved rensing av vann fra tunneldrift med utgangspunkt i Soknedalstunnelen

## Challenges in Treatment of Water from Tunnel Operations Based on the Soknedal Tunnel

Prosjekt nr.: 08-2019

Bacheloroppgave i Bygg og miljø
Veileder: Rolf Edvard Petersen
Mai 2019

NTNU
Kunnskap for en bedre verden

Ingrid Nesvold Engan
Ann-Mari Furuheim Beitdokken

# Utfordringer ved rensing av vann fra tunneldrift med utgangspunkt i Soknedalstunnelen

## Challenges in Treatment of Water from Tunnel Operations Based on the Soknedal Tunnel

Prosjekt nr.: 08-2019

Bacheloroppgave i Bygg og miljø
Veileder: Rolf Edvard Petersen
Mai 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk

NTNU
Kunnskap for en bedre verden

## Problemdefinering, prosjektbeskrivelse og resultatmål

Som tittelen på oppgaven tilsier, skal utfordringene rundt anlegget undersøkes og det skal resonneres frem til bedre løsninger rundt mobile vannrenseanlegg. På E6 Soknedal-prosjektet gjelder det i hovedsak rensing av tunnelvann. Rapporten skal omfatte både det organisatoriske og det tekniske, men vil også inneholde en diskusjonsdel med studentenes anbefalinger. Deler av rapporten vil være skrevet på grunnlag av intervjuer med sentrale personer.

Resultatmålene er å finne og drøfte løsninger på følgende problemstillinger med utgangspunkt i Soknedalstunnelen:

- Hvorfor rense driftsvann?
- Hva må renses?
- Hvilke rensemetoder finnes?
- Tekniske utfordringer ved renseanlegg
- Organisatoriske utfordringer ved renseanlegg
- Globale konsekvenser og utfordringer ved utslipp under tunneldrift


| *Stikkord:* | *Keywords:* |
|---|---|
| **Mobile vannrenseanlegg** | Mobile water treatment facilities |
| **Rensemetoder** | Treatment methods |
| **Tunnel** | Tunnel |
| **Ytre miljø** | External environment |
| **Lover og krav** | Laws and requirements |
| **Resipient** | Recipient |
| **Utfordringer** | Challenges |
| **Konsekvens** | Implications |

# Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet av studentene Ann-Mari Furuheim Beitdokken og Ingrid Nesvold Engan, som en avslutning på det 3-årige studieprogrammet bygg og miljø ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim. Bacheloroppgaven skal tilsvare en studiebelastning på 20 studiepoeng, det vil si omtrent 500 arbeidstimer per student.

Ann-Mari har spesialisering i anleggsteknikk, og Ingrid har husbyggingsteknikk som spesialiseringsretning. Ettersom vi valgte forskjellige spesialiseringsretninger i det 5.semesteret av studiet, var det viktig å finne et tema som berører oss begge. Valget falt derfor på miljøproblematikk, noe som er et meget aktuelt tema i bygg- og anleggsbransjen. Oppgaveformuleringen er utarbeidet i samarbeid med ekstern veileder, Nina Kristin Nilsen, i AF Anlegg.

Vi ønsker å takke AF Gruppen (AF) som ga oss mulighet til å se nærmere på miljøutfordringer knyttet til renseanlegget på prosjektet E6 Soknedal. I tillegg retter vi en stor takk til vår eksterne veileder, Nina Kristin Nilsen (HMS-leder på prosjektet). Hun har solid faglig kompetanse, og har bistått med god hjelp gjennom hele prosessen. Vår interne veileder, Rolf Edvard Petersen, takkes for gode retningslinjer og konstruktive innspill gjennom arbeidet med bacheloroppgaven.

Vi vil også takke alle som har tatt seg tid til å svare oss på ulike spørsmål knyttet til problemstillingen vår, både over telefon, e-post og gjennom samtaler. Dette er noe vi setter stor pris på. Her nevnes spesielt daglig leder i Slamrensing AS, Fredrik Lange Fjell, som har hjulpet oss å finne og belyse ulike løsninger knyttet til mobile vannrenseanlegg i anleggsbransjen.

Dette har vært en utfordrende og spennende oppgave, og vi hadde begrenset kunnskap om dette temaet fra før. Vi har lært mye gjennom utarbeidelsen av bacheloroppgaven, og vi håper at den også kan kommet til nytte for andre. Informasjon brukt i rapporten er samlet gjennom samtaler med nøkkelpersoner i AF og andre aktuelle bedrifter. I tillegg er det foretatt litteratursøk, samt benyttet bedriftsinterne og -eksterne rapporter og dokumenter.

Trondheim, mai 2019

Ann-Mari B

Ann-Mari Furuheim Beitdokken

Ingrid N. Engan

Ingrid Nesvold Engan

# Sammendrag

Hensikten med denne bacheloroppgaven er å belyse problemer og utfordringer knyttet til mobile vannrenseanlegg ved tunneldrift, med utgangspunkt i Soknedalstunnelen. Oppgaven tar blant annet for seg tekniske og organisatoriske utfordringer ved renseanlegg. Her inngår slamhåndtering, konsekvenser ved utilsiktede utslipp, beskrivelse av de ulike utslippsparameterne, årsaker til forhøyede verdier av parametre i elv og renseanlegg etc. I tillegg til de selvvalgte temaene om miljø inneholder oppgaven et eget kapittel om innovasjon, et krav satt av universitetet.

Oppgaven diskuterer renseanlegg for tunneldrift, og benytter samtidig AF Gruppens prosjekt E6 Soknedal som case. Vannrenseanlegget på prosjektet benytter $CO_2$ for pH-nøytralisering av prosessvannet. Dette er en relativt ny metode, og har bydd på enkelte problemer i løpet av driftstiden.

Avvanning av slam har vært et hodebry for anleggsledelsen på Soknedalsprosjektet. På grunn av manglende kapasitet og ressurser har ikke flere løsninger enn slamsugebil og sedimenteringsbasseng blitt vurdert. Til slutt endte det med bruk av slamsugebil, som er en relativt dyr metode. Avvanning ved bruk av filterbagger er en ny avvanningsmetode som ikke er utprøvd i Norge per dags dato, men som er tatt i bruk i enkelte andre land. I samarbeid med Slamrensing AS er det utarbeidet et grovt kostnadsoverslag som skal indikere kostnader og utgifter ved bruk av filterbagger, i forhold til slamsugebil. Det viser seg at bruk av filterbagger som avvanningsmetode vil gi betydelige kostnadsbesparelser i forhold til bruk av slamsugebil.

Gjennom drift av tunnelen har enkelte parametre i driftsvannet pekt seg ut, blant annet kobber. I tillegg viser resultatene av vannprøver fra elva Sokna at det forekommer kvikksølv i resipienten. Mulige årsaker til forhøyede verdier av kobber i renseanlegget og kvikksølv i elva er belyst i denne rapporten. Årsakene kan ikke slås fast uten grundigere undersøkelser. Verdiene kan skyldes forhold som ikke er knyttet til anleggsdriften.

# Abstract

The purpose of this bachelor thesis is to clarify problems and challenges related to mobile water purification plants by tunneling, based on the Soknedal tunnel. The task involves, among other things, technical and organizational challenges in water treatment plants. These include, but are not limited to: sludge handling, consequences of unintentional discharges, description of the various emission parameters, reasons for increased values of parameters in the river and the treatment plants. In addition to topics about the environment, our thesis contains one chapter about innovation as required by the university.

This bachelor's thesis discusses water treatment systems used during tunnel operations. The thesis is based on AF Gruppen's project E6 Soknedal. The water treatment system on the project uses CO2-gas for pH neutralization of the process water. This is a relatively new method and some problems have occurred during operations.

Dewatering of sludge has been a concern for the project manager at the Soknedal-project. Due to lack of capacity and resources, no other solutions than sludge suction-truck and dredging sump have been considered. Unfortunately, this is a relatively expensive method. Dewatering of sludge by using special types of filterbags is used in other countries but is a new method in Norway. In cooperation with Slamrensing AS, an approximate estimate of the price has been drawn up. This estimate is intended to indicate the costs and expenses of using filterbags compared to the sludge suction-truck. The study shows us that filter bags, in addition to sludge trucks, as dewatering methods gives us substantial cost saving.

In the production of the tunnel, some of the parameters in the service water stand out, especially copper. In addition, the results of water samples from the river Sokna show that mercury occurs in the recipient. Possible causes of high levels of copper in the water treatment system and high levels of mercury in the river is illustrated in this report. We cannot form any final conclusions without further study. The levels may be caused by other factors than construction.

# Innholdsfortegnelse

Forord ..... i

Sammendrag ..... ii

Abstract ..... iii

Innholdsfortegnelse ..... iv

Figurliste ..... vii

Tabelliste ..... viii

1. Innledning ..... 1

2. Om prosjektet, E6 Soknedal ..... 2

3. Om bedriften ..... 3

4. Hvorfor rense driftsvann ..... 4

4.1 Lovkrav ..... 4

4.2 Kontraktskrav, inkludert utslippstillatelser ..... 5

4.3 Interne krav i henhold til sertifiseringer ..... 6

4.4 Andre bedriftsinterne miljøambisjoner ..... 7

5. Hva må renses? ..... 9

5.1 Utslippstillatelse og grenseverdier ..... 9

5.1.1 Suspendert stoff ..... 11

5.1.2 pH ..... 12

5.1.3 Tungmetaller ..... 13

5.1.4 PAH ..... 14

5.1.5 Nitrogenforbindelser ..... 14

6. Hvilke rensemetoder finnes? ..... 19

6.1 Suspendert stoff ..... 22

6.2 pH ..... 24

6.2.1 Nøytralisering med syre ..... 24

6.2.2 Nøytralisering med karbondioksidgass ($CO_2$) ..... 25

6.2.3 Syre vs. $CO_2$ ..... 26
6.3 Tungmetaller ..... 28
6.3.1 Forhøyede verdier av kobber i driftsvannet ..... 28
6.3.2 Høye verdier av kvikksølv i Sokna ..... 30
6.4 PAH ..... 33
6.5 Nitrogenforbindelser ..... 34
7. Utslipp av basisk tunnelvann i Sokna ..... 35
7.1 Hendelsesforløp ..... 35
7.2 Mulige årsaker ..... 35
7.3 Noen iverksatte tiltak i etterkant av hendelsen ..... 36
7.3.1 Studentenes forslag etter hendelsen ..... 36
7.4 Konsekvenser av hendelsen ..... 37
8. Tekniske utfordringer ved mobile vannrenseanlegg ..... 38
8.1 Driftssikkerhet og vedlikehold ..... 38
8.2 Automatisert og manuell drift ..... 40
8.3 Driftsstans ..... 41
8.3.1 Konsekvenser for resipient ..... 41
8.3.2 Konsekvenser for anleggsdriften ..... 41
9. Organisatoriske utfordringer ved vannrenseanlegg ..... 42
9.1 Opplæring av personale ..... 42
9.2 Ansvarsforhold ..... 43
9.3 Konsekvensforståelse ..... 43
10. Slamhåndtering ..... 44
10.1 Slamavvanning med filterpose ..... 46
10.2 Dekantersentrifuge ..... 50
10.3 Kammerfilterpresse ..... 51
10.4 Avvanning i slambasseng på anleggsområdet ..... 52

11. Gjenbruk av driftsvann ..... 57

12. Lokale grep for global endring ..... 59

13. Innovasjon ..... 62

14. Konklusjon ..... 64

14.1 Tungmetaller og kjemikalier ..... 64

14.2 pH-nøytralisering ..... 64

14.3 Forhøyede kobberverdier ..... 64

14.4 Førhøyede kvikksølvverdier ..... 64

14.5 Organisatoriske utfordringer ..... 65

14.6 Slamhåndtering ..... 65

14.7 Gjenbruk av driftsvann ..... 65

14.8 Innovasjon ..... 65

15. Forkortelser og ordliste ..... 66

16. Skriftlige og muntlige referanser ..... 70

17. Vedlegg ..... 76

# Figurliste

Alle figurer er gjengitt med tillatelse med unntak av Figur 22. Eier av bildet er kontaktet uten respons.

Figur 1: E6 Soknedal (oversikt over tunneltraseen) (2) ..... 2

Figur 2: pH-skalaen (15) ..... 12

Figur 3 Ulike pH-verdiers effekter på fisk (4) ..... 12

Figur 4: Biomagnifikasjon - oppkonsentrering (akkumulering) av miljøgifter i næringskjeden (17) ..... 13

Figur 5: Molekylstrukturen til PAH-forbindelsen Fenantren (20) ..... 14

Figur 6: Uionisert, vannløst ammoniakk som en funksjon av pH og temperatur (27) ..... 15

Figur 7: Flytskjema av renseanlegg i Soknedal ..... 19

Figur 8: Oversiktsbilde ved påhugg nord (rensetelt nærmest kamera) (35) ..... 19

Figur 9: Oversiktsbilde med rensetelt ved påhugg sør (36) ..... 20

Figur 10: Hydrosyklon i Soknedalstunnelen ..... 21

Figur 11: Rensecontainer i rensetelt ved påhugg nord ..... 22

Figur 12: Skjermdump av nivåreguleringen til pumpe i Soknedal 18.sept. 2017 (39) ..... 23

Figur 13: Endring av pH til 200 mL anleggsvann som funksjon av økt tilførsel av $CO_2$ (27) ..... 27

Figur 14: Berggrunnskart over Soknedal (44) ..... 29

Figur 15: Utslippspunkt og prøvetakingspunkt ved påhugg sør (50) ..... 32

Figur 16: Utslippspunkt og prøvetakingspunkt ved påhugg nord (50) ..... 32

Figur 17: Lokalisering av Fossum Mølle, Soknedal Innkjøpslag og prøvetakingspunkt sør (52) ..... 32

Figur 18: Lokalisering av stikkprøver langs Sokna og omtrentlig plassering av nybrua (markert gult) (52) ..... 33

Figur 19: Hydrosyklon – prinsippskisse (56) ..... 34

Figur 20: Oppsamling av vann fra renseanlegget for ukeblandeprøver ..... 38

Figur 21: Mulig oppsett av hovedkomponenter for avvanning av slam med filterbag (64) ..... 46

Figur 22: Dekantersentrifuge (68) ..... 50

Figur 23: Kammerfilterpresse i drift på Follobaneprosjektet på Åsland utenfor Oslo (69)..... 52

Figur 24: Sedimentasjonsbasseng med påtegnede snitt (70) ..... 55

Figur 25: Sedimentasjonsbasseng med snitt, sett ovenfra ..... 55

Figur 26: Snitt A (71)..... 56

Figur 27: Snitt B (71)..... 56

Figur 28: Oversiktsbilde med drone, Hesthagtunnelen (72)..... 58

Figur 29: Kategorisering av kjemikalier (81) ..... 60

# Tabelliste

Tabell 1: Miljøaspektmatrise (utarbeidet av AF Gruppen)..... 8

Tabell 2: Gitte grenseverdier i utslippstillatelsen i Soknedal (9, s. 9) ..... 10

Tabell 3: Karakterisering av Sokna (29)..... 16

Tabell 4: Referanseverdier og klassegrenser for Total nitrogen – Elver (30)..... 17

Tabell 5: Tilstandsklasser for noen tungmetaller i vann (49) ..... 30

Tabell 6: Målte verdier av noen utslippsparametre fra 02.10.17 til 03.12.18, ved prøvetakingspunktene i Sokna ..... 31

Tabell 7: Kostnader ved slamtømming i Soknedal og deponering hos Rimol miljøpark..... 44

Tabell 8: Ulike fraksjoners kornstørrelse (65) ..... 47

# 1. Innledning

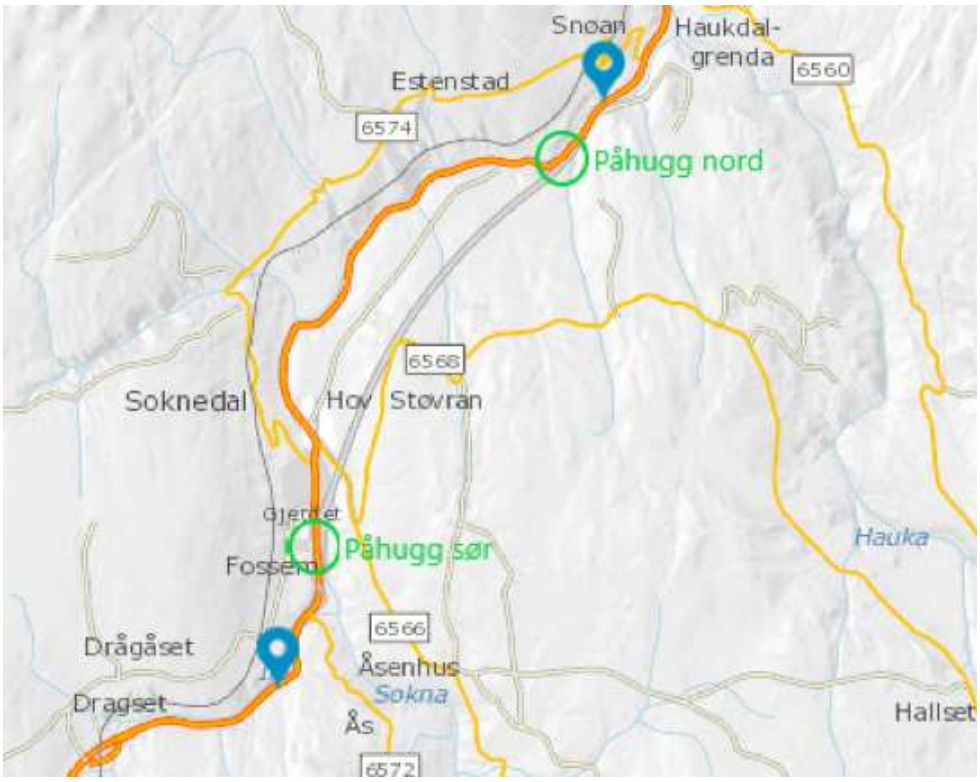
Fåtallet har tatt for seg tekniske og organisatoriske utfordringer ved mobile vannrenseanlegg i anleggsbransjen tidligere. Denne bacheloroppgaven tar utgangspunkt i nettopp dette. I denne problemstillingen inngår også de ulike parameterne som må gjennom en renseprosess, hvilke rensemetoder som finnes og benyttes, og lovverket som ligger til grunn. Rapporten tar kun for seg vann fra tunneldriving, som omfattes av en utslippstillatelse.

Studentene kom i kontakt med prosjektleder ved prosjektet E6 Soknedal med AF Gruppen som hovedentreprenør. Oppdragsgiver hadde et ønske om at oppgaven gikk dypere inn i miljøproblematikken på deres prosjekt, nærmere bestemt problemstillinger og løsninger rundt prosjektets vannrenseanlegg for tunneldrivevann.

Rapporten baserer seg i hovedsak på informativ teori. I tillegg belyses relevante metoder og løsninger som kan benyttes, men også løsninger som allerede er tatt i bruk i anleggsbransjen i dag. Ved de ulike temaene tas det også for seg metodene benyttet på prosjektet i Soknedal. I startfasen av tunneldrivingen hadde prosjektet et uheldig utslipp av basisk vann til resipienten Sokna. Denne hendelsen blir også omtalt og kommentert i rapporten.

# 2. Om prosjektet, E6 Soknedal

Utbyggingen av E6 mellom Korporalsbrua og Vindåsliene i Soknedal hadde oppstart i september 2017, og har forventet ferdigstillelse i desember 2020. Statens vegvesen (SVV) er byggherre og AF er hovedentreprenør i prosjektet. Kontraktssummen ligger på 993 millioner norske kroner. Prosjektet består av vegbygging, bygging av ny tunnel og betongarbeider i forbindelse med oppsetting av ett toplanskryss og nye bruer. Det bygges 6,5 km ny veg, hvorav 3,6 km av denne legges i tunnel. Figur 1 viser vegstrekningen mellom de to blå markørene som illustrerer Korporalsbrua (nord) og Vindåsliene (sør). Prosjektet skal bedre fremkommeligheten og øke trafikksikkerheten. I tillegg vil den nye traseen bli omtrent 1 km kortere enn nåværende, noe som vil redusere reisetiden (1).




*Figur 1: E6 Soknedal (oversikt over tunneltraseen)* (2)

# 3. Om bedriften

Oppdragsgiveren for denne oppgaven er AF Gruppen Norge AS. AF ble etablert i 1985, og selskapet har vokst my de siste årene. I 2018 hadde de rundt 4200 ansatte. Disse var hovedsakelig fordelt på Norge og Sverige, men også land som Tyskland, Litauen og Kina. AF Gruppen har flere virksomhetsområder, som bygg, miljø, energi, offshore, eiendom, og anlegg. Omsetningen i 2018 var å nesten 18,8 milliarder norske kroner.

Anleggsvirksomheten (AF Anlegg og Målselv Maskin & Transport) har pågående prosjekter av ulik størrelse i Norge. Dette inkluderer samferdsel, infrastruktur, havn, olje- og gassindustri, vannkraft, energi, kommunaltekniske anlegg, veibygging, masseforflytting, grunn- og betongarbeid. Samtidig har AF Anlegg spisskompetanse innen tunneldrift.

De har et titalls pågående prosjekter, der E6 Soknedal er ett av dem, med beliggenhet i Midtre Gauldal Kommune i Trøndelag (3).

# 4. Hvorfor rense driftsvann

I anleggsfasen inneholder driftsvann (prosessvann) fra tunnel forurensninger av ulike slag. Forurensningsgraden og mengden driftsvann varierer gjennom hele anleggsfasen. Mengden tunnelvann er avhengig av forbruket av borvann, innlekkasjer fra berggrunn, påboret vann og innlekkingen fra dagsone. Forurensningsgraden er avhengig av faktorer som sprenging og boring, bruk av anleggsmaskiner og annet utstyr, bruk av ulike typer produkter, lekkasjer, nedmalingen av steinmasser etc. Forurensing av resipienter kan få konsekvenser både for de biologiske organismene, men også for de abiotiske faktorene. Ved utslipp av drifts- og drensvann er det derfor nødvendig med vannbehandling i forkant, i tillegg til at rensingen er lovpålagt (4).

## 4.1 Lovkrav

Forurensingsloven, som er utarbeidet av Klima- og miljødepartementet, sier at forurensing blant annet er definert som: «tilførsel av fast stoff, væske eller gass til luft, vann eller i grunnen» (5, §6). Loven ble satt i kraft i 1983 og er fortsatt gjeldende, etter flere revideringer.

Poenget med loven om vern mot forurensninger og om avfall (forurensningsloven) er tydelig presisert under § 1 (lovens formål):

> Denne lov har til formål å verne det ytre miljø mot forurensning og å redusere eksisterende forurensning, å redusere mengden av avfall og å fremme en bedre behandling av avfall. Loven skal sikre en forsvarlig miljøkvalitet, slik at forurensninger og avfall ikke fører til helseskade, går ut over trivselen eller skader naturens evne til produksjon og selvfornyelse (5, §1).

Forurensingsloven (5) gjelder også for tunnelvann fra anleggsdrift, og fokusområdet i denne rapporten er rensing av driftsvann fra tunnel. I nær beliggenhet til prosjektet E6 Soknedal renner elva Sokna, som er en del av den største miljøutfordringen på prosjektet. Dette er en av elvene som inngår i Gaulavassdraget, som er et nasjonalt vassdrag med stor laksebestand. Her gjelder også lakse- og innlandsfiskeloven (6).

Forurensningsmyndighetene stiller krav til grenseverdier for ulike typer helse- og miljøfarlige stoffer. I utbyggingen av Soknedalstunnelen kan disse parameterne være suspendert stoff (SS), polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH), tungmetaller etc. Dersom konsentrasjonene blir for høye av partikulært materiale kan dette forringe leveforhold og drepe organismer som fisk

og bunndyr, samt misfarge vannkilden ved utslippspunktet. Dette kan få konsekvenser for elvas økosystem (4).

Brudd på forurensningsloven kan resultere i straff. En eventuell straffeutmåling vil blant annet avhenge av skadeomfanget og graden av bevissthet rundt handlingen. Ved overtredelse kan foretak straffes med bøter, og i enkelte tilfeller risikere å miste sin rett til utførelse av arbeidet. I verste fall kan bedriften bli fratatt rettigheter til utøvelse av entreprenørvirksomheten (7).

## 4.2 Kontraktskrav, inkludert utslippstillatelser

Gjennomføringsmodellen eller entreprisen for et prosjekt legger grunnlaget for hvordan ansvarsfordelingen mellom byggherre og entreprenør er angående utslipp (83). Det er i utgangspunktet byggherre eller tiltakshaver som skal sende inn en utslippssøknad eller en påslippssøknad (4). Samtidig kan dette være avklart i kontrakten dem imellom (83).

I februar 2016, under prosjektering av E6 Soknedal, søkte Statens vegvesen Region midt om tillatelse fra forurensningsmyndighetene om midlertidig utslipp i anleggsperioden og driftsfasen. Dette er et krav som stilles fra øverste hold, dersom det er en potensiell risiko for forurensing av vassdrag (5). Denne inneholder informasjon om prosjektets hensikt og gjennomførelse, lokalisering av aktuelt utslipp, vannbehov og ulike rensemetoder, nærmere beskrivelse av planlagt utslipp, samt områdets og resipientens miljøtilstand (8, 9).

Fylkesmannen (bindeleddet mellom stat og kommune) i Trøndelag, den gang Sør-Trøndelag, ga medhold i saken. Fylkesmannen har fått myndighetsansvaret fra Klima- og miljødepartementet (84). SVV kom i søknaden med forslag til grenseverdiene for de aktuelle forurensingsparameterne. Det var kun verdien for olje (25 mg/l) som var avvikende fra det endelige kravet (50 mg/l) i utslippstillatelsen gitt av Fylkesmannen. (8, 9) I prinsippet kan også reguleringsplanen for det aktuelle prosjektet inneholde utslippskrav (84).

I realiteten vil det være vanskelig med null-utslipp ved en anleggsvirksomhet. I utslippstillatelsen understrekes det at «all forurensing fra bedriften isolert sett er uønsket. Bedriften plikter å redusere utslippene så langt dette er mulig uten urimelige kostnader» (9, s. 1). AF har satt seg mål om at det ikke skal forekomme røde hendelser, som vist i tabell 1. Det kan hende at noe vann fra tunneldrivingen ikke føres til vannrenseanleggene. Dette kan resultere i et begrenset tilsig av partikkelholdig avløpsvann, olje- og kjemikaliesøl m.m. til grunnen. Tilsiget kan komme av vanning i tunnel ved ulike operasjoner, spyling av maskiner, utvasking av materialer, brudd i slanger, injeksjon etc.

Bakgrunnen for utslippssøknaden (8) er plasseringen av det kommunale avløpsnettet i forhold til prosjektets lokalisering. I dette tilfellet er avstanden for stor fra påhugg nord, i motsetning til påhugg sør. Andre grunner til at resipient blir valgt fremfor avløpsnett, er begrensninger i kapasitet.

Kontrakten mellom byggherre og entreprenør henviser stadig til utslippstillatelsen og til Ytre miljøplan (YM-plan) (10) som er utarbeidet av byggherren selv. Denne planen inneholder både regelverk, føringer, løsninger og tiltak. Innholdet er kategorisert etter type problematikk. Forhold gjeldende vannrenseanlegget i Soknedal kommer inn under hensyn til naturmiljø og forurensing av jord og vann.

## 4.3 Interne krav i henhold til sertifiseringer

AF Gruppen er blant annet sertifisert etter de europeiske ISO-standardene 14001 (Ledelsessystemer for miljø), 9001 (Ledelsessystemer for kvalitet) og 45001 (Arbeidsmiljø Ledelsessystem). Sertifiseringene er et kvalitetsstempel på bedriften, og sertifikatene fornyes ved jevnlige eksterne revisjoner. I løpet av hele året utfører bedriften egne interne revisjoner for egenevaluering.

14001-standarden (11) er opptatt av en kontinuerlig forbedring av rutiner og systemer som omhandler ytre miljø. Det legges derfor stor vekt på PUKK-modellen. Denne inkluderer **p**lanlegging, **u**tførelse, **k**ontroll og **k**orrigering. Modellen bygger altså på konseptet om kontinuerlig forbedring. For å oppnå dette er det viktig med god evaluering i ettertid av iverksatte tiltak. Forurensningsloven og tilhørende forskrifter styrer mye av driften på miljøsiden.

Ved sertifisering er AF forpliktet til å følge standarden(e). For å overholde de krav og regler som er satt, benytter bedriften seg av ulike prosedyrer og sjekklister. Egne samsvarsmatriser skal dokumentere at det er samsvar mellom driften og forpliktelsene. Tilstrekkelig dokumentasjon på utførelse er nødvendig gjennom hele prosjektfasen. Bedriften utarbeider egne risikoanalyser som vurderer risikoen ved ulike arbeidsoperasjoner. I forkant er det nødvendig å identifisere miljøaspekter, og hvilke tiltak som må settes inn for å redusere risikoen.

## 4.4 Andre bedriftsinterne miljøambisjoner

«AFs mål er å redusere utslipp fra virksomheten og effektivisere ressursbruken i prosjektene, samt å skape nye forretningsmuligheter innen avfallshåndtering» (12, s. 30).

Fra 2017 til 2018 gikk det totale utslippet av $CO_2$-ekvivalenter opp fra 41 743 til tonn 42 775. Dette tilsvarer en vekst på omtrent 2,5 %, som skyldes økt samferdsel og derav økt bruk av dieseldrevne anleggsmaskiner. I tillegg til de forutsette utslippene er det viktig å unngå utilsiktede utslipp. En oppdatert maskinbeholdning er et utslippsreduserende tiltak som veier tungt for AF.

AF Gruppen har etablert miljøparker i Trondheim, utenfor Lillestrøm og Nes i Akershus. Miljøparkene gir AF miljømessige gevinster. Her gjenvinnes materialer og råvarer som vanligvis ville blitt transportert direkte til deponier. 80 % av massene blir brukt om igjen ved andre prosjekter.

Ved god prosjektering og planlegging i forkant av prosjektstart, kan man unngå unødvendige kvantum med avfall. I denne fasen inngår også valg av materialer som er miljøvennlige og lar seg gjenvinne. Hensikten er å oppnå størst mulig sorteringsgrad og gjenvinningsgrad. Det er gjenvinningsgraden som gjenspeiler miljøgevinsten, men god sortering er en forutsetning for å lykkes med gjenvinning (3). AF ligger godt over kravet om Det er gjenvinningsgraden som gjenspeiler miljøgevinsten, men god sortering er en forutsetning for å lykkes med gjenvinning. AF ligger godt over kravet på 60 % sorteringsgrad som er satt i avfallsforskriften § 15-8 (13).

Tabell 1 viser en miljøaspektmatrise som AF selv har utarbeidet. Denne viser konsekvens med hensyn på sannsynligheten for en spesifikk aktivitet eller hendelse. Til sammen blir sannsynlighet og konsekvens rangert i grønt, gult og rødt, der grønt er av mindre betydning og rødt er sterkt uønsket og skal ikke forekomme. Et av miljømålene til AF er, som nevnt tidligere, å unngå røde hendelser ved sine prosjekter.

De ulike kategoriene (sårbarhet/giftighet, styrke/mengde, samfunnets- og kundens aksept, eksponeringstid) rangeres fra 1 til 3 etter grad av alvorlighet. Disse utgjør en adskilt horisontal og vertikal sum i miljøaspektmatrisen, som rangerer sannsynlighet og konsekvens for en gitt hendelse. Kombinasjonen av disse gir en total verdi som rangerer hendelsen.

*Tabell 1: Miljøaspektmatrise (utarbeidet av AF Gruppen)*

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Samfunnets- og kundens aksept | (1-3) | (1-3) | (1-3) | (1-3) | (1-3) |
| | | | | Eksponeringstid | (1-3) | (1-3) | (1-3) | (1-3) | (1-3) |
| | | | | Sum | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | Ytre miljø | | | | Arbeidsoperasjon - Sannsynlighet | | | | |
| | Sårbarhet/ Giftighet | Styrke/ Mengde | Sum | Karakter | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Arbeidsoperasjon - Konsekvens | (1-3) | (1-3) | 6 | 5 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 |
| | (1-3) | (1-3) | 5 | 4 | 25 | 50 | 75 | 100 | 125 |
| | (1-3) | (1-3) | 4 | 3 | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 |
| | (1-3) | (1-3) | 3 | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| | (1-3) | (1-3) | 2 | 1 | 1 | 5 | 10 | 15 | 20 |

# 5. Hva må renses?

Det finnes flere parametere i driftsvann som kan føre til forurensing dersom tilstrekkelige tiltak ikke tas i bruk. I utslippstillatelsen er det enkelte parametre som har fastsatte grenseverdier. Prosessvann fra anleggsområdet, i hovedsak fra tunnel, vil finne sin veg ned til en eventuell resipient. Derfor er det nødvendig med riktig vannbehandling før utslipp av driftsvann.

## 5.1 Utslippstillatelse og grenseverdier

Ved anleggsprosjekter vil driften generere mengder forurenset vann som må renses. Dette forurensede vannet omfattes av forurensningsloven (5), ergo må det ligge en utslippstillatelse til grunn ved utslipp til resipient (elv, sjø, vann etc.). Små utslipp som avrenning fra anleggsvei inngår ikke i en utslippstillatelse.

Utslippstillatelsen fastsetter blant annet spesifikke grenseverdier som ikke skal overstiges. Det er Fylkesmannen som setter verdiene og gir den endelige tillatelsen, ved utslipp til resipient. Ved påslipp på avløpsnett sendes søknad til kommunen(e). Kun ved særskilte og store anleggsprosjekter er klima- og forurensingsdirektoratet et ledd i prosessen. I godkjenningsprosessen vil aktuelle kommuner tilskrives, søknaden legges ut til offentlig høring og på Fylkesmannens hjemmeside. Dette sørger de ansatte hos Fylkesmannen for (84).

I søknaden fra tiltakshaver skal det legges ved en resipientvurdering som viser hvordan utslipp påvirker vannkilden. Kravene kan bli skjerpet ved tydelig påvirkning. Alle prosjekter blir pålagt krav om internkontroll og overvåkning av resipienten (84).

I forbindelse med tunnelutbyggingen i Soknedal er det utarbeidet et overvåkningsprogram (14) iht. Fylkesmannens krav i utslippstillatelsen. I denne entreprisen er det byggherrens miljørådgivere (Sweco) som er ansvarlig for utarbeidelse av programmet. Dette innebærer også et måleprogram som inneholder beskrivelse av hvordan prøver tas, hvor ofte og hvilke parametere som settes i fokus. Det beskrives også hvordan byggherren har tenkt på overvåking av resipienten, og hvem det skal rapporteres til ved eventuelle overskridelser. På prosjektet E6 Soknedal skal det meldes fra til Fylkesmannen ved overskridelse. AF har egne krav i henhold til ISO-standardene, og egne prosedyrer for å ha kontroll på den negative innvirkningen entreprenøren har på miljøet.

Det foreligger ingen nasjonale grenseverdier for de ulike parameterne i utslippstillatelsen, kun anbefalte verdier. Alt handler om skjørheten til resipienten, der noen tåler mer utslipp enn andre. Fagpersoner med riktig kompetanse vurderer resipienten ut fra ulike undersøkelser av floraen og faunaen i området (83). Tabell 2 viser grenseverdiene i utslippstillatelsen som ble gitt av Fylkesmannen i forbindelse med tunnelutbyggingen i Soknedal.

*Tabell 2: Gitte grenseverdier i utslippstillatelsen i Soknedal* (9, s. 9)

| **Parameter** | **Grenseverdi** |
|---|---|
| Tungmetaller: | |
| Bly | 30 µg/l |
| Kobber | 150 µg/l |
| Sink | 150 µg/l |
| Krom | 150 µg/l |
| Nikkel | 150 µg/l |
| Andre parametre: | |
| PAH | 3 µg/l |
| Olje | 50 mg/l |
| pH | 6-9 |
| SS | 400 mg/l |

### 5.1.1 Suspendert stoff

Suspendert stoff er en betegnelse på partikulært og oppslammet materiale som finnes i vann, altså mengden faste partikler. Ved tunneldriving er det i hovedsak steinstøv fra sprenging og boring som utgjør hoveddelen av det suspenderte stoffet i driftsvannet. I tillegg bidrar kjøring med anleggsmaskiner til nedknusing av stein, som er med på å øke mengden finstoff i tunnelvannet (4).

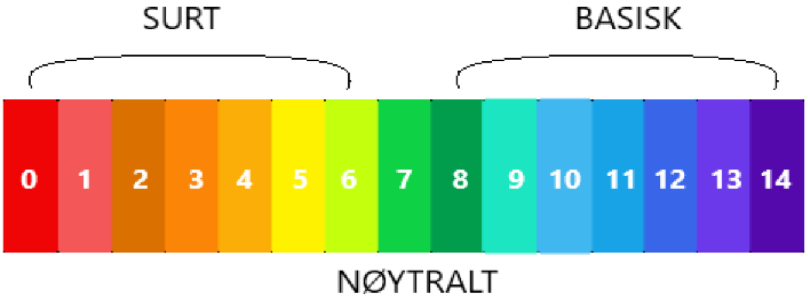
Det vil være store variasjoner i mengden suspendert stoff i tunnelvann, avhengig av type bergarter, drift og aktivitet i tunnelen. Vedlikehold av anleggsveier er også en viktig faktor for å unngå gjørmebad og økt avrenning. Fortynningen av suspendert stoff i resipienten etter utslipp, avhenger av vannføringen. Vannføring og årstid har stor innvirkning på konsekvens av utslipp i resipient. Større vannføring gir mer omrøring og fortynning av driftsvann. Ved sedimentering i renseanlegg før utslipp er det godt mulig å redusere mengden suspendert stoff ned til 400 mg SS/l. Denne verdien er derfor vanlig å bruke som grenseverdi for suspendert stoff i en utslippstillatelse, også i Soknedal. Dersom renset driftsvann skal slippes ut i en mer sårbar resipient, f.eks. små fiskeførende elver, er det i enkelte tilfeller nødvendig å redusere mengden finstoff i vannet ned til 50-100 mg SS/l. Grenseverdiene for hvert enkelt prosjekt er fastsatt i utslippstillatelsene (4).

Mengde partikulært stoff i vann, kan påvirke fisk og andre levende organismer på negativ måte. Som følge av sprenging og boring vil partiklene få en skarp struktur. Spisse og skarpe partikler kan blant annet gi mekaniske skader på gjellene til fisk. Skader på egg kan også forekomme dersom sedimenterte partikler legger seg som et lag over eggene (nedslamming). Nedslamming kan redusere oksygentilgangen. Samtidig vil suspendert stoff kunne redusere næringstilgangen og forverre leveforholdene for yngel og andre organismer i resipient (4). Partikler i vannkilden vil også kunne skape dårligere lysforhold og visuell forringelse. Dette kan redusere livsvilkårene til fisk og andre levende organismer, samt påvirke naturopplevelsen for mennesker.

Gyteperioden for villaks strekker seg fra september til november. I denne perioden er eggene og avkommene ekstra sensitive, og det er spesielt viktig å ta hensyn, begrense eller stoppe driften i og nær vannkilden. Dette gjelder både for suspendert stoff og pH (83).

### 5.1.2 pH

pH-verdi er en indikator som forteller noe om surhetsgraden til vann. Nøytralt vann har en pH-verdi på 7. Ved høyere verdi enn 7 er vannet basisk, og ved lavere verdi enn 7 er vannet surt.




*Figur 2: pH-skalaen* (15)

Det settes grenseverdier for pH i driftsvann fra tunnel før utslipp i resipient. For høy eller for lav pH i resipienten kan ha negativ innvirkning på levende organismer (se Figur 3). For eksempel vil en pH-verdi mellom 9,0-9,5 sannsynligvis kunne ha skadelig effekt på fisk ved lengre eksponering. Verdier over 9,5 vil ha betydelig større konsekvenser. pH-verdier i intervallet 5-9 har vanligvis ikke skadelig innvirkning på fisk og andre vannlevende organismer. Derfor brukes ofte et slikt pH-intervall som grenseverdi for vann etter rensing (4).

| pH: | Effekter på fisk: |
|---|---|
| 5-9 | Normalt ingen skadelige effekter. |
| 9,0-9,5 | Sannsynligvis skadelig for laksefisk og abbor over lengre tids eksponering. |
| 9,5-10,0 | Dødelig for laksefisk over lengre tids eksponering, fisken er motstandsdyktig overfor slike pH-verdier i korte perioder. Kan være skadelig overfor enkelte fiskearters utviklingsstadier. |
| 10,0-10,5 | Laksefisk og mort kan være motstandsdyktige mot slike pH-verdier i korte perioder, men fisken dør ved lengre tids eksponering. |
| 10,5-11,0 | Laksefisk er mest utsatt og dør i løpet av kort tid. Forlenget eksponering gjør at også andre fiskeslag dør. |
| 11,0-11,5 | Alle fiskearter dør i løpet av kort tid. |

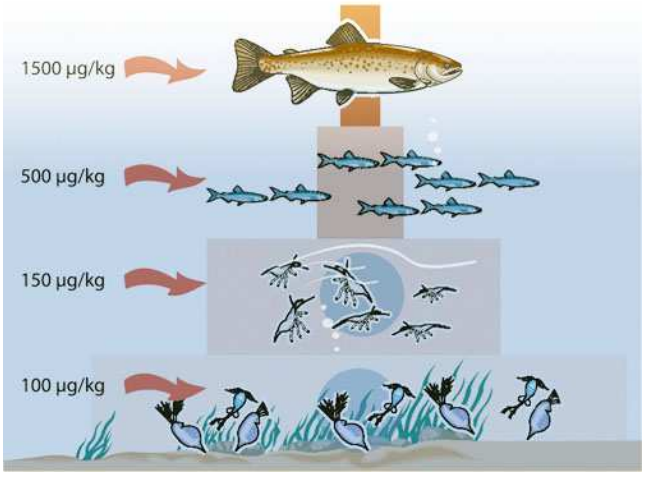
*Figur 3 Ulike pH-verdiers effekter på fisk* (4)

Ammoniakk er, ved for høye konsentrasjoner, en giftig faktor for de levende organismene i resipienten. Høye pH-verdier har innvirkning på mengden ammoniakk i vannet, noe som gir enda større grunn til å påse at pH i driftsvannet reduseres ned til den fastsatte grenseverdien (se kap. 5.1.5).

Ved driving av tunnel varierer pH-verdien i driftsvannet etter aktivitet og bruk av sementbaserte produkter. Ved høyt forbruk kan pH komme opp mot en verdi på 13 (4).

### 5.1.3 Tungmetaller

Metalliske grunnstoffer som har densitet høyere eller lik 5 g/cm$^3$ betegnes som tungmetaller. Eksempler på slike metaller er arsen, bly, kobber, kvikksølv, jern og kadmium (16). Noen tungmetaller er meget lite nedbrytbare og kan akkumulere i organismer. De vil derfor ha en helseskadelig effekt. Slike stoffer kalles for miljøgifter, og kan være skadelig for både mennesker, dyr og planter. Jo lengre opp i næringskjedene man kommer, desto mer konsentrert vil miljøgiftene være. Mennesket er i toppen av flere næringskjeder, og vil derfor være svært utsatt. Figur 4 viser hvordan konsentrasjonen av en miljøgift kan forplante seg oppover i en næringskjede (18).

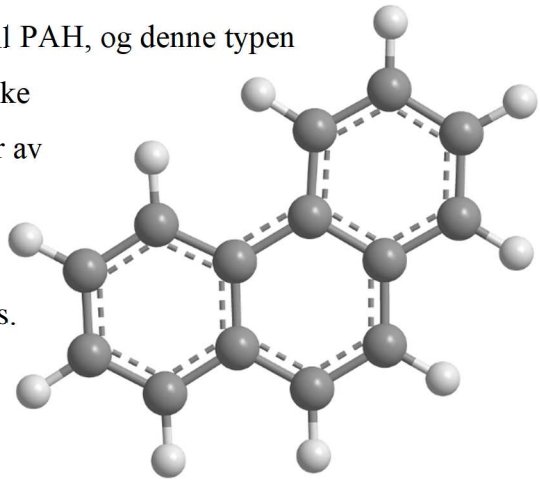


*Figur 4: Biomagnifikasjon - oppkonsentrering (akkumulering) av miljøgifter i næringskjeden* (17)

Det er i hovedsak berggrunnen som påvirker konsentrasjonen av tungmetaller i tunnelvann. Her er det en klar sammenheng mellom innholdet av suspendert stoff og konsentrasjonen av tungmetaller. Tungmetaller binder seg ofte til partikler, eller er en del av partiklene i utgangspunktet. Derfor vil en reduksjon i mengden suspendert stoff ofte redusere innholdet av tungmetaller i tillegg. Noen typer tungmetaller flyter rundt i vannet, og disse får man derfor ikke fjernet ved sedimentering. Innholdet av metall i vann er også avhengig av vannets pH-verdi (se pkt. 6.3) (83) (19).

### 5.1.4 PAH

Polysykliske aromatisk hydrokarboner forkortes ofte til PAH, og denne typen hydrokarboner forekommer som to eller flere aromatiske ringdannelser. Som navnet tilsier består hydrokarboner av grunnstoffene hydrogen (hvit) og karbon (grå) (se Figur 5). PAH er organiske miljøgifter, og oppstår ved ufullstendig forbrenning av fossile produkter (f.eks. olje) og organiske materialer. Man finner også små mengder av PAH naturlig i naturen (20).



*Figur 5: Molekylstrukturen til PAH-forbindelsen Fenantren* (20)

Graden av giftighet til de ulike PAH-forbindelsene varierer. Mange av forbindelsene er karsinogene, som betyr at de kan være kreftfremkallende stoffer. Andre helseeffekter PAH kan frambringe er svekking av immunsystem og forverring av sykdommer knyttet til sirkulasjonssystemet (22). Forhøyede verdier av PAH kan også øke sannsynligheten for leverkreft hos fisk (23). Samtidig kan utslipp av olje til resipient føre til dårlig smak på fisk (4).

For organismer som er avhengig av overflatehinna i vannet, her kan ulike typer insekter nevnes, er oljeutslipp kritisk. Oljeprodukter kan blant annet redusere overflatespenningene i vannflaten og gjøre overflatehinna tynnere, noe som resulterer i at hinna ikke lenger tåler vekten av insektenes egg. Eggene havner da på bunnen av resipienten og de kommende insektene drukner (24).

Grenseverdien for utslipp av PAH til resipienten er i utslippstillatelsen for prosjektet E6 Soknedal satt til 3 µg/l (ref. Tabell 2). Generelt for tunnelprosjekter vil det være fare for utslipp av PAH, og utslippene er i hovedsak forårsaket av oljesøl, spill av diesel fra anleggsmaskiner, eller punktering av hydraulikkslanger.

### 5.1.5 Nitrogenforbindelser

Nitrogen er et grunnstoff som forekommer naturlig i form av nitrater. Stoffet er livsviktig, da det er til stede i f.eks. arvestoff og jordsmonn. Atmosfæren består av 78 % nitrogen (25). Nitrogen inngår både i ammonium ($NH_4^+$) og ammoniakk ($NH_3$). Ved tunnelanlegg vil problemstillinger rundt de to sistnevnte parameterne være sentral, da avrenning av ammoniumnitrat fra uomsatt sprengstoff kan forekomme. $NH_4^+$ og $NH_3$ opptrer i en likevekt (Ligning 1), som er avhengig av både temperatur og pH (26).

$$NH_{4\,(aq)}^{+} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_{3\,(g)} + H_3O_{(aq)}^{+} \quad (Ligning\ 1)$$

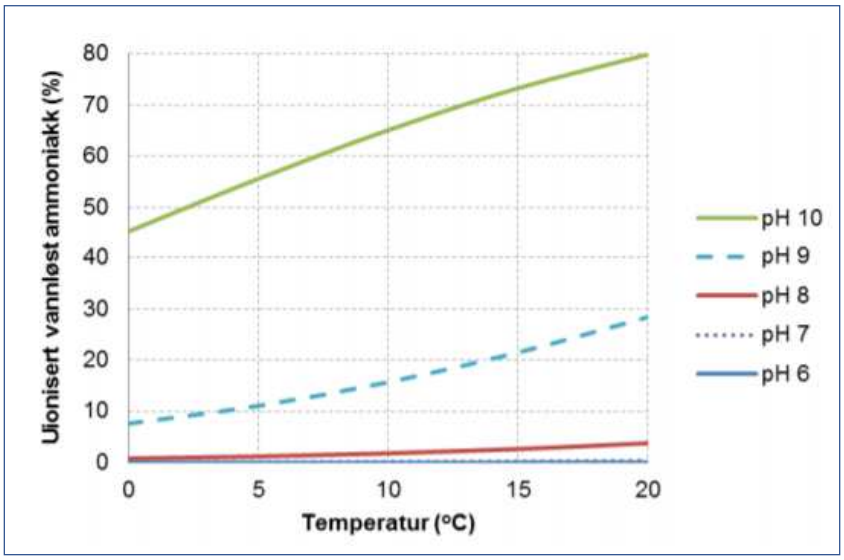
Dersom pH blir høyere og konsentrasjonen av hydroksidioner ($OH^-$) øker, vil Ligning 2 forskyves mot høyre slik at ammoniakk dominerer. Det er ønskelig med større konsentrasjon av ammonium enn ammoniakk, selv om begge stoffene har en potensiell giftvirkning.

$$NH_{4\,(aq)}^{+} + OH_{(aq)}^{-} \rightleftharpoons NH_{3\,(g)} + H_2O_{\,(l)} \quad (Ligning\ 2)$$

Ved økt temperatur vil molekyler enklere reagere med hverandre. Ligning 1 har en syrekonstant, $K_a=5{,}75 \times 10^{-10}$, ved en temperatur på 25 grader Celsius (27). Dette er en liten konstant som resulterer i at vi får mer av ammoniumionet. Denne konstanten påvirkes av temperatur. Jo lavere temperatur desto lavere vil $K_a$ bli, noe som resulterer i mindre ammoniakk og mer ammonium (86).

> Ammoniakk er både et naturlig metabolsk endeprodukt av proteinnedbrytning som de fleste fiskearter skiller ut via gjellene, og en potensiell gift. Organismer som danner ammoniakk må skille den ut for å unngå forgiftning. Utskillelsen foregår ved diffusjon med konsentrasjonsgradienten (26, s. 335).

Diffusjon med konsentrasjonsgradienten vil si at konsentrasjonen av ammoniakk rundt fisken må være lavere enn det som skilles ut. Ellers kan fisken ta opp ammoniakk fra omgivelsene og dø ved for høye konsentrasjoner. Ammonium er også en kilde til forgiftning av fiskearter. Det legges mest vekt på ammoniakk fordi dette diffunderer enklere inn i fiskens indre system (26).




*Figur 6: Uionisert, vannløst ammoniakk som en funksjon av pH og temperatur* (27)

Figur 6 tar utgangspunkt i likevekten mellom $NH_3$ og $NH_4^+$. Ved lave pH-verdier (her: pH= 6 og pH= 7) vil ikke konsentrasjonen av vannløselig ammoniakk endre seg nevneverdig ved øking av temperatur. Ligger derimot pH rundt 9 og 10, ser man en motsatt effekt. Det er viktig å finne en god balanse slik at pH-verdien og konsentrasjonen av ammoniakk er optimal.

Med unntak av bruddet på utslippstillatelsen i Soknedal (se kap. 7) er de registrerte pH-verdiene i resipienten mellom 7,2 - 8,1. pH-verdien ligger på rundt 8 når det rensede vannet forlater renseanlegget og slippes ut i Sokna. Temperaturen på vannet i vannrenseanleggene vil variere med årstiden, men det har aldri kommet under 0 grader Celsius. Ved temperatur 5 grader Celsius og pH 8 vil ca. 1 % av ammoniumioner omdannes til ammoniakk (se Figur 6). Rapport fra 1998 (29) oppgir en prosentandel på 1-2,5 med en temperatur mellom 5 og 15 grader Celsius.

Nitrogenforbindelsene vil kunne medvirke til eutrofiering i ulike vannkilder. Ifølge tiltakshavers miljørådgiver sine undersøkelser i Soknedal og antagelser rundt eutrofiering av Sokna, er denne sjansen minimal (8). Vann-Nett (30), et nettsted drevet av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) med kunnskap om ulike vannkilder i Norge, oppgir en *god* økologisk tilstand og en *ukjent* kjemisk tilstand i Sokna. Vann-Nett Portal oppgir avrenning fra spredt bebyggelse som en påvirkningskilde. Det er også viktig å ta høyde for eventuell avrenning fra landbruk. Ved tunnelutbyggingen nær Sokna er også anleggsarbeider en viktig kilde.

*Tabell 3: Karakterisering av Sokna* (29)

| | |
|---|---|
| Størrelse | Små (< 10 km2) |
| Klimasone | Middels (200-800 moh.) |
| Kalsium | Kalkfattig (Ca = 1-4mg/l, Alk = 0,05-0,2 mekv/l) |
| Humus | Klare (< 30 mg Pt/L, TOC 2-5 mg/l) |
| Turbiditet | Klare (STS < 10 mg/l) (uorganisk andel minst 80 %) |

Ut fra Vann-Nett sine opplysninger (Tabell 3) om Sokna (type, kategori, størrelse, klimasone, kalsium, humus og turbiditet) ble elva kategorisert som innsjøtype nummer **R205** i tabell 3.6 i «Veileder 02:2018 - Klassifisering av miljøtilstand i vann» (31).

I søknaden om utslippstillatelse til Sokna (8) var gjennomsnittsverdien for Total nitrogen 317 µg/l i år 2004. I senere tid ser man at gjennomsnittverdien ligger på 610 µg/l, ut fra SVVs målinger. Denne er beregnet ut fra perioden 02.10.17 - 03.12.18, med 41 verdier som grunnlag. Gjennomsnittsverdiene er beregnet med usikkerhet, fordi verdier som <1 og >1 er definert som 1 i beregningene. Tabell 4 (31) viser grenseverdier for Total nitrogen som gjelder både for innsjøer og elver, og kan benyttes for analysering av Sokna. Gjennomsnittverdien til SVV fra 2004 ligger i sjiktet *God*, og verdien fra 2017-2018 i sjiktet *Moderat.*

*Tabell 4: Referanseverdier og klassegrenser for Total nitrogen – Elver (30)*

| **Klimaregion** | **Elvetype NGIG** | **Elvetype (nr.)** | **Totalt nitrogen (Tot-N) i innsjøer og elver (µg/L)** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **Ref-verdi** | **Svært god** | **God** | **Moderat** | **Dårlig** | **Svært dårlig** |
| Lavland og skog | R-N2 | R104, R105, R207 | 200 | 1-325 | 325-475 | 475-775 | 775-1350 | >1350 |
| Lavland og skog | n.a. | R106, R208 | 175 | 1-200 | 200-400 | 400-650 | 650-1300 | >1300 |
| Lavland | R-N3 | **R107**, R109 | 275 | 1-475 | 475-650 | 650-1075 | 1075-1775 | >1775 |
| Lavland | R-N1, R-N4 | **R108**, R110 | 275 | 1-425 | 425-675 | 675-950 | 950-1425 | >1425 |
| Lavland og skog | n.a. | R101, R102, R201, R202 R204, **R205** | 325 | 1-550 | 550-775 | 775-1325 | 1325-2025 | >2025 |
| Lavland og skog | R-N5, R-N6 | R103, R203, R206 | 150 | 1-250 | 250-425 | 425-675 | 675-1250 | >1250 |
| Fjell | R-N9 | R301, R302, **R305** | 250 | 1-400 | 400-550 | 550-900 | 900-1500 | >1500 |
| Fjell | R-N7 | R303, R306 | 125 | 1-175 | 175-250 | 250-475 | 475-775 | >775 |
| | n.a. | | 150 | 1-250 | 250-425 | 425-675 | 675-1250 | >1250 |

*** typer med fet skrift er mest lik NGIG typen**

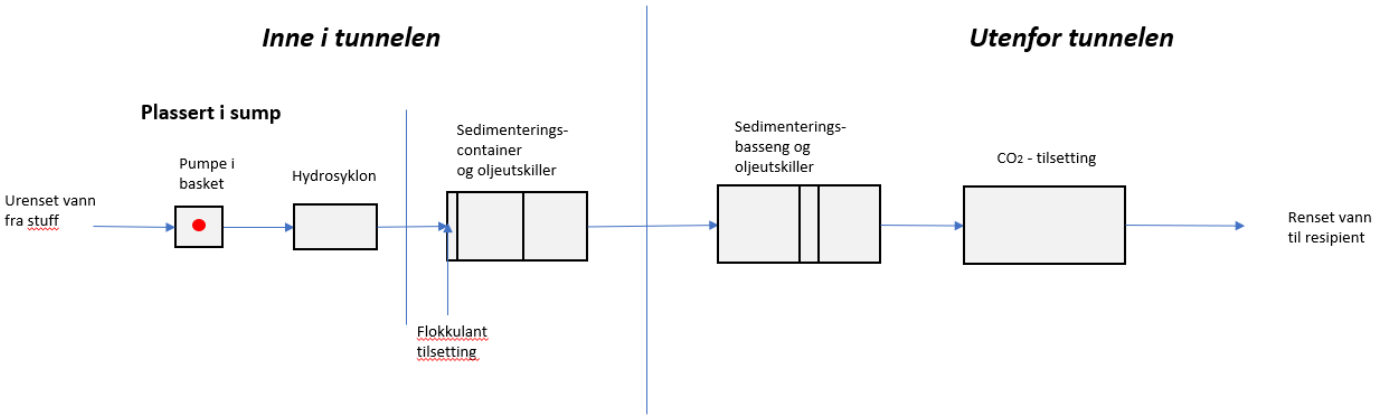
I tunneldrift blir det hovedsakelig tatt i bruk emulsjonssprengstoff (slurry) (32). Ved de første salvene på et påhugg kan patronert sprengstoff (eks. Kemix A) benyttes. Dette er tennerfølsomt og kontrollen på mengden kilo sprengstoff man lader med blir bedre (33).

Ved bruk av slurry, som også ble benyttet i Soknedalstunnelen, vil det være fare for avrenning etter søl eller uomsatt sprengstoff i enkelte borehull. Dersom disse massene blir benyttet i linja kan avrenning bidra til høyere forekomst av nitrogenforbindelse i driftsvannet.

Slurry er tyktflytende og består av en olje- og saltløsningsfase (34). Dette blir levert i bulk (blande- og ladebil). De to fasene blandes sammen på ladebilden til en emulsjon (32). En emulsjon er en væskeblanding hvor de to fasene ikke er løselig med hverandre. Under lading med bil dannes det små gassblærer etter tilførsel av gassreagens. Dette reduserer tettheten av emulsjonen og sprengstoff dannes. Slurry er ikke antennbart før stoffene blandes sammen (87).

Drevne anleggsledere i AF (87) erfarer at det var større problemer med forsagere før slurry ble tatt i bruk. Det betyr at det var mye gjenstående sprengstoff som kunne detonere i etterkant. Slurry vil ikke være farlig å pigge på i utgangspunktet, men primeren som benyttes med sprengstoffet er derimot risikabel ved eventuell detonasjon. Samtidig er det enkelt å lade denne type sprengstoff i forhold til andre. Vannbestandigheten til sprengstoffet er meget god (35).

# 6. Hvilke rensemetoder finnes?




*Figur 7: Flytskjema av renseanlegg i Soknedal*

På anlegget i Soknedal finnes det 2 mobile vannrenseanlegg. Det finnes ett ved hvert påhugg fordi tunneldrivingen skjer fra to sider. Samme prinsipp (se Figur 7) gjelder for begge sider.

*Figur 8: Oversiktsbilde ved påhugg nord (rensetelt nærmest kamera)* (35)

*Figur 9: Oversiktsbilde med rensetelt ved påhugg sør* (36)

Vannet som blir brukt ved driving av Soknedalstunnelen blir pumpet fra resipienten og inn i en stor vanntank ved hvert påhugg. Ved spyling og vanning av tunnelen, hentes vannet fra tanken med en spylebil. I søknaden om utslipp til Sokna (8) opplyses det om et maksimalt vannforbruk på ca. 430 l/min (619,2 $m^3$/døgn) for hver av de to boreriggene. Gjennom tunneldrivingen vil det gjennomsnittlige vannforbruket normalt være lavere. Ved dimensjonering av renseanleggene må det i tillegg tas hensyn til innlekkasjevann fra bergsprekker.

I det sprengte tunnelløpet er det utgravd sumper som fanger opp prosessvannet fra tunneldrivingen. Dette gjøres kontinuerlig ved behov gjennom hele anleggsfasen. I sumpene er det plassert en pumpe, i tillegg til hydrosykloner (HS) og oljeutskiller på land. Renseanlegget ble levert med oljeskimmer, som ble benyttet i starten. Første skimmer var for liten, og ble derfor tatt ut av bruk. Renseanlegget ble også levert med en større skimmer, men denne ble aldri benyttet. I stedet ble det brukt absorberende oljepølser på vannoverflaten i renseanlegget.

AF har gjort små endringer i oppsettet gitt av leverandør. Det ble f.eks. plassert containere med flokkulering i tunnelen. Dette for å få redusert finstoffinnholdet i prosessvannet før det ankommer renseanlegget plassert i telt utenfor tunnelen. Flokkulantblokkene er tunge (15 kg) og relativt store, og måtte tilføres med håndmakt. HMS-hensyn gjorde at tilsetting av

fellingskjemikalie ble flyttet fra container i rensetelt til sedimenteringskar inne i tunnelen, som ga enklere og tryggere håndtering av flokkulantblokkene (85).

Pumpen er plassert i en perforert basket, for å unngå opptak av for mye sedimenter og partikler større enn 3 mm. Ved større partikler enn 3 mm kan spenene i HS tettes til. HS har i Figur 10 fastmontert 6 spener som sentrifugerer ut finstoffet fra driftsvannet, med en kapasitet mellom 40 og 60 $m^3$/t. Hydrosyklonen fungerer også som en oljeutskiller (se pkt. 6.4) (90).

*Figur 10: Hydrosyklon i Soknedalstunnelen*

For å redusere og fordele slitasjen på hydrosyklonpattene skal tuppene vris 10-20° ukentlig. Entreprenør har selv definert prosedyre for drift av anlegget etter egne erfaringer, samt innspill fra leverandør og byggherre. Utført prosedyre skal dokumenteres av driftsleder på tunnel ved manuell utfylling av sjekkliste for kontinuerlig kontroll. På grunn av faren for opphoping av partikler og sedimenter i tuppene på HS sjekkes disse daglig. Det kan være behov for å stikke i enden av spenene eller demontere hele hydrosyklonpatten dersom den er tett.

Etter at vannet har passert gjennom hydrosyklonen blir det pumpet ned i et sedimenteringsbasseng (slambasseng) inne i tunnelen. I enden av dette bassenget befinner det seg en oljeutskiller med en tverrvegg. Oljen vil flyte på toppen på grunn av emulsjon mellom olje og vann. Vannet utveksles i bunnen av containeren, og påløpende er det et nytt kar med samme prinsipp. Etter hvert vil disse karene fylles med slam, som må tømmes, transporteres og deponeres. Optimal slamhåndtering er en utfordring på E6 Soknedal-prosjektet (se kap. 10). Videre blir driftsvannet pumpet inn i første container i renseteltene. Til sammen har én slik container en lengde på 23 fot, og et volum på 40 $m^3$. Hvert kammer er 16 $m^3$ (38).

I forkant av første container i renseteltene er det et eget rom utstyrt med digitalt måleinstrument. Før vannet ankommer prosesskammeret, som er det første kammer i sedimenteringscontaineren, måles pH-en kontinuerlig på «flow-inn». I dette prosesskammeret finnes det en doseringsenhet hvor fellingskjemikalie i form av blokker kan tilsettes. Deretter er det samme prinsipp med oljeutskiller, som i tunnelen. Videre finnes en egen container med en diffuser for $CO_2$. Diffuseren har samme prinsipp som en radiator og er plassert like over bunnen (se pkt. 6.2.2). I tillegg er det montert en pH-sensor, finstoffmåler og en vannprøvetager i denne containeren. pH måles også på «flow-ut», og pH-målerne styrer tilsettingen av $CO_2$ i renseanlegget. Det er viktig at sensorene rengjøres kontinuerlig og ved behov, slik at måleresultatene er pålitelige.

*Figur 11: Rensecontainer i rensetelt ved påhugg nord*

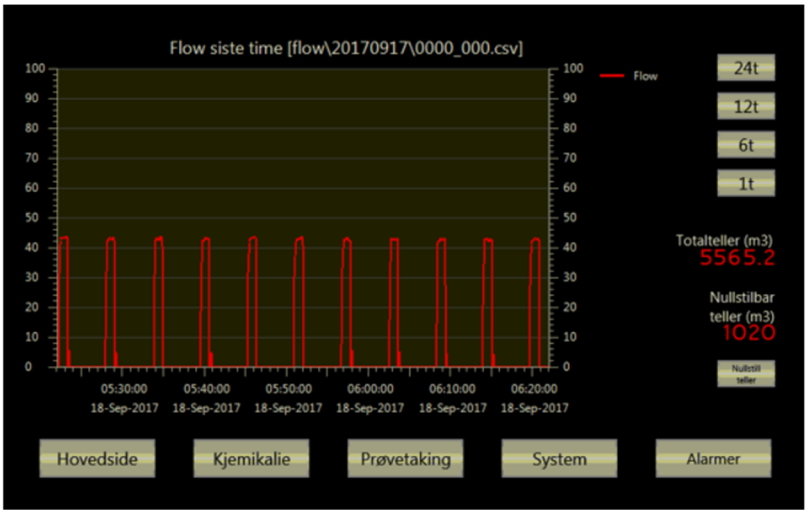
## 6.1 Suspendert stoff

I renseanleggene tilknyttet Soknedalstunnelen blir suspendert stoff skilt ut og redusert ved bruk av hydrosyklon, sedimenteringskammere og flokkulering. Fnokkene vil gå sammen i større aggregater og felles ut. Denne prosessen omdanner negativt ladde partikler til nøytrale partikler, fordi fellingskjemikaliet (aluminiumsulfat) er et positivt ladd salt. Ifølge Norsk Vann (39, s. 182-188) er optimal pH for denne typen fellingskjemikalie 6-7. pH på «flow-inn» i Soknedal har hovedsakelig ligget mellom 9 og 10, men høyere i enkelte korte perioder (85). Ifølge leverandør av renseanleggene vil ikke sedimenteringsprosessen forringes selv om pH på vannet ligger noe over optimal verdi for fellingskjemikalie.

Jevn tilsetting av fellingskjemikalie (her: aluminiumsulfat) forutsetter en jevn vannstrøm gjennom doseringsenheten. Doseringen påvirkes av «flow-inn». Jo høyere «flow-inn», desto mer vann flommer over flokkulanten som løses opp. Doseringskammeret har også en enkel flow-regulering i form av en justerbar luke. Doseringen reguleres mekanisk, avhengig av vannstanden i boksen.

Pumpa som pumper vann inn i renseanlegget via doseringsenheten må være nivåregulert. Nivåreguleringen gir den jevne vannstrømmen inn i renseanlegget, som er en forutsetning for at

hydrosyklonen skal fungere optimalt. Dersom vannstrømmen er for lav vil også trykket bli for lavt, og man får ikke sentrifugert ut finstoffet som er større enn 15 µm. Figur 12 viser at nivåreguleringen for pumpen i starten av tunneldrivingen i Soknedal var ca. 44 $m^3$/t 17. september 2017. På dette tidspunktet var det bare en pumpe i drift, fordi tunnelen kun ble drevet fra den ene siden i begynnelsen.




*Figur 12: Skjermdump av nivåreguleringen til pumpe i Soknedal 18.sept. 2017* (39)

Valg av fellingskjemikalie er etter leverandørens anbefalinger. AF selv har ikke hatt kapasitet til å se på andre alternativer. pH på prosessvannet før pH-regulering ligger, som nevnt tidligere, i sjiktet mellom 9 og 10. Ifølge Norsk Vann (39, s. 184) er PAX et fellingskjemikalie som fungerer optimalt ved en pH-verdi på 6,5-7,5. Dette kan være en mulig polymer som kan benyttes i Soknedal. PAX kan komme i flytende form, og doseringen avhenger av type og størrelse på drift, samt sammensetningen av driftsvannet. Andre kjemikalier som kan fremme sedimenteringsprosessen er jernklorid og organiske polymere (4).

Et mer miljøvennlig alternativ for flokkulant er PolyClay. Denne polymeren er basert på naturlige stoffer, og vil ikke inneholde uønskede kjemikalier. Det pulveriserte semi-granulære stoffet blir tilsatt direkte til driftsvannet etter det blir pumpet inn i renseanlegget. Fellingskjemikaliet er sammensatt av flere bestanddeler som vil reagere i en bestemt rekkefølge. Samtidig som PolyClay effektiviserer koagulering og flokkulering, vil det også pH-nøytralisere det forurensede vannet. I tillegg virker PolyClay ionebeskyttende (41).

Slam leveres når sedimenteringskarene er fulle, og slamsugebil er blitt benyttet i Soknedal. Dette er en svært kostbar løsning. AF har selv tatt sporadiske slamprøver for å vurdere avvanning og deponering av slammet. Et alternativ som Soknedalsprosjektet har vurdert er

egne basseng for slamavvanning (se pkt. 10.4). Slike slambassenger er plasskrevende, og ble dermed ikke brukt grunnet plassmangel. Alternativ slamhåndtering kunne vært slamavvanning med filterpresse (se pkt. 10.3), som krever relativ liten plass. Slike alternativer bør tas inn tidlig i planleggingsfasen, da det er utfordrende å etablere slikt etter oppstart. Grunnen til det er både tidspress, arealbruk, samordning med øvrig drift etc. Prosjektet har ikke hatt kapasitet til å se på andre løsninger enn slamsugebil, utenom slambassenger (85).

Når man skal foreta prøvetaking av SS er det viktig med god turbulens, slik at man får en god omrøring av partiklene i vannet. Dette vil gi et mest mulig realistisk bilde av hvordan konsentrasjonen av SS er ved akkurat det prøvetakingspunktet. Det benyttes to metoder for prøvetaking, vakuumprøvetakere og slangepumpeprøvetakere (4).

## 6.2 pH

Det finnes flere metoder for nøytralisering av tunnelvann med tanke på pH. Per dags dato er nøytralisering med syre den mest benyttede metoden i Norge, men bruk av karbondioksidgass er på god veg inn som en alternativ rensemetode. Utslippstillatelser stiller ofte et krav om at pH må være justert til en verdi på 6-9 før utslipp, slik at vannet som slippes ut i resipient er mest mulig nøytralt. I denne rapporten blir det sett mest på bruk av $CO_2$ til nøytralisering av tunnelvann, da denne metoden brukes på prosjektet E6 Soknedal.

### 6.2.1 Nøytralisering med syre

Det er vanlig å nøytralisere basisk tunnelvann ved hjelp av saltsyre (HCl). Svovelsyre ($H_2SO_4$) blir også brukt enkelte ganger. Nøytralt vann inneholder like stor andel av hydroksidioner som oksoniumioner ($H_3O^+$). Når vann er basisk har vi en høyere konsentrasjon av $OH^-$ enn $H_3O^+$. Ved tilsetting av syre vil det basiske vannet bli nøytralisert:

$$Basisk\ vann: H_2O + OH^-$$

$$Tilsetting\ av\ saltsyre: H_2O + OH^- + HCl \rightarrow\ 2H_2O + Cl^-$$

Ut fra ligningen over ser man at ved tilsetting av saltsyre blir et hydrogenion avspaltet, og dette ionet reagerer deretter med basen i vannet ($OH^-$). Vi står da igjen med ett vannmolekyl, i tillegg til et klor-ion.

Bruk av syre for nøytralisering av alkalisk tunnelvann har vært den mest brukte metoden i anleggsbransjen, men den har sine ulemper. Det har gjennom flere ulike studier blitt gjennomført undersøkelser rundt nøytralisering med syre. Det konkluderes med at det kan være

krevende å få regulert pH til et ønsket nivå til enhver tid, da overdoseringer og for lav pH-verdi kan forekomme (42). Sterke syrer kan gi store etseskader ved berøring, et HMS-hensyn som må tas ved valg av nøytraliseringsmetode.

### 6.2.2 Nøytralisering med karbondioksidgass ($CO_2$)

På prosjektet E6 Soknedal foregår pH-nøytraliseringen ved tilsetting av $CO_2$ i driftsvannet fra tunnelen. Dette er en forholdsvis ny metode for pH-nøytralisering av vann, og det viser seg at den har flere fordeler.

Når $CO_2$-gass tilsettes og reagerer med vann blir det dannet en svak syre. Denne svake syren kalles karbonsyre ($H_2CO_3$). Karbonsyre er bedre kjent under trivialnavnet kullsyre, og de fleste har kjennskap til kullsyre i dagliglivet. Tilsettingen av $CO_2$-gass setter altså i gang følgende prosess:

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \qquad (Ligning\ 3)$$

Ved høy pH har vi, som nevnt tidligere, et overskudd av $OH^-$ -ioner i vannet. Det som skjer etter tilsettingen av $CO_2$ og dannelsen av karbonsyre, er at $H_2CO_3$ begynner å reagere med vann etter følgende to ligninger:

$$H_2CO_3 + H_2O \rightleftharpoons HCO_3^- + H_3O^+ \qquad (Ligning\ 4)$$

$$HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons CO_3^{2-} + H_3O^+ \qquad (Ligning\ 5)$$

Karbonsyre er en såkalt toprotisk syre, noe som betyr at den kan avgi to hydrogen-ioner slik som vist i ligningene ovenfor (Ligning 4 og 5). Dermed dannes det oksoniumioner ($H_3O^+$) i vannet. Disse reagerer med hydroksidionene og danner vann ($OH^- + H_3O^+ \rightarrow 2H_2O$). På denne måten får man redusert innholdet av hydroksidioner i vannet, og pH-verdien synker (28).

Det finnes flere metoder for tilsetting av karbondioksidgass i renseanlegg. Det mest ideelle er at gassen blir tilsatt vann som er i bevegelse og under trykk, med tanke på utnyttelse. En diffusør (gassfordeler) nedsenket i en container i form av en slange eller et rør med små hull, er mest brukt. Det perforerte røret eller slangen fører til jevn og god spredning av gassen i anleggsvannet. Diffusøren bør ikke ligge i eller i umiddelbar nærhet til vannoverflaten dersom man skal ha optimal effekt av pH-nøytraliseringen. Det er derfor viktig med overvåking og kontroll av anlegget. I tillegg er det viktig å regelmessig tilse at diffusøren ikke blir tett på grunn av partikler, sedimenter eller annet som ikke er blitt fjernet tidligere i renseprosessen (28).

Tilsetting og dosering av $CO_2$ er automatisert. pH-sensorer er plassert både ved vannets inn- og utløp i containeren. pH-sensorene er koblet til elektrisk utstyr, og registrerer til enhver tid vannets pH-verdi. Dersom pH i vannet som tilføres rensebassenget overstiger angitte grenseverdier, tilføres anlegget $CO_2$-gass fram til det igjen registreres en akseptabel pH. pH-sensoren plassert ved utløpet registrerer surhetsgraden til driftsvannet før utslipp til resipient (28).

I renseanleggene i Soknedal blir flasker med $CO_2$-gass brukt. For større anlegg er det ofte lønnsomt med store gasstanker som ikke byttes ut, men etterfylles av tankbil med flytende $CO_2$. Ved bruk av gasstanker vil det være nødvendig med spesielle anlegg for å omdanne karbondioksid fra væske til gass. Sammenlignet med gassflasker, vil det være en lavere kilopris på $CO_2$ ved bruk av store tanker. Leie av tank og fordamperanlegg for å omdanne karbondioksid vil derimot være relativt kostbart. Ut fra behovene på hvert enkelt prosjekt må det derfor vurderes hvilken metode som vil være mest gunstig med tanke på kostnader, mengde vann som skal renses, tilgjengelige arealer etc. Regelmessige kontroller av innholdet i beholderne foretas for å hindre at anlegget går tom for gass. I tillegg til rutinemessige kontroller anvendes det alarmsystemer. Alarmsystemene sender ut varsler til forutbestemte ansvarspersoner ved overskridelse av grenseverdier, eller ved liten gassbeholdning i tank eller flaske. Dette for at tiltak skal kunne settes i gang snarest ved utslipp av forurenset vann (28).

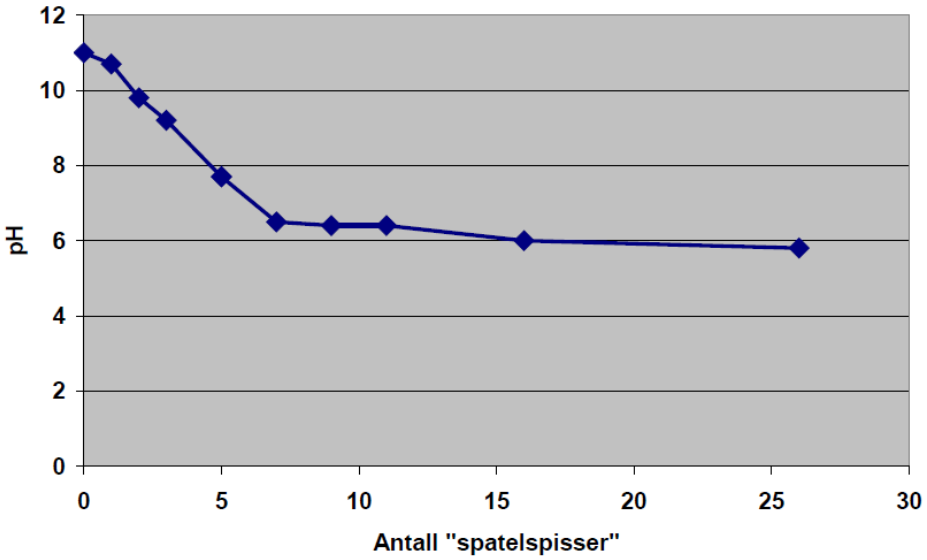
7. mars 2018 gikk gassflaskene i renseanlegget ved påhugg sør i Soknedal tom for gass. Dette medførte utslipp av alkalisk tunnelvann til resipienten Sokna. Det er sett nærmere på denne hendelsen senere i rapporten (se kap. 7).

### 6.2.3 Syre vs. $CO_2$

En av grunnene til at $CO_2$ blir foretrukket som pH-nøytraliseringsmetode er fordi effekten ved tilsetting avtar når pH-verdien er redusert ned til omtrent 6,4 (Se Figur 13). Skal pH reduseres til en enda lavere verdi, blir man nødt til å øke tilsatsen av $CO_2$-gass. Man ser en tydelig fordel i forhold til nøytralisering ved bruk av syrer, da en overdosering av syre kan medføre utslipp til resipient med alt for lav pH-verdi.

Det økonomiske aspektet er en viktig faktor ved vurdering og valg av ulike komponenter og løsninger. For anlegg som benytter seg av syre er det ikke lett å anslå en pris på generell basis, da kostnadene er avhengig av type renseanlegg og tunnel. Bruken av $CO_2$ i karbondioksidanlegg støtter seg på flere faktorer. I følge SVVs rapport nr. 244 er man blant annet avhengig av å vite mengde karbondioksid som skal brukes, varigheten på

anleggsprosjektet, geografien med hensyn på fraktkostnader og krav til gasstrykk før leverandørene kan gi et tilbud (28).




*Figur 13: Endring av pH til 200 mL anleggsvann som funksjon av økt tilførsel av $CO_2$ (27).*

Ved for høye verdier av $CO_2$ i vannet vil det kunne gi en giftig effekt. I SVVs rapport nr.244 står det:

> Kortvarig eksponering for høye $CO_2$-konsentrasjoner er rapportert å påvirke fiskens syre-base-regulering, oksygenopptak, blodsirkulasjon og nerveaktivitet. Ved svært høye $CO_2$-konsentrasjoner vil fisken bedøves og til slutt dø. Eksponering for høye $CO_2$-konsentrasjoner over lengre tid vil kunne medføre forkalkning av nyrene (28, s. 13).

Det er ikke noe fasitsvar på hvilken verdi som er mest optimal for fisken. Verdien er forskjellig ut fra hvilket stadium i livet fisken er i, og andre miljøfaktorer. Gjennom forsøk med larver og egg er det funnet ut at $CO_2$-beriket vann har en større giftvirkning på organismene enn det saltsyre-beriket vann har (28). Med tanke på fisk bør ikke innholdet av karbondioksid i vannet passere 40 mg/l i lengre tid (noen få timer) for å unngå fare for giftig effekt. Ved eksponering over et lengre tidsrom er det anbefalt at verdien ikke overskrider 20 mg/l (43). I tillegg til påvirkning på fisken har det vist seg at overdosering og forsuring av vann, kan føre til en økning i løselighet av blant annet ioner av metaller og andre toksiske stoffer som kan finnes i sedimentet. Dette gjelder både ved bruk av $CO_2$ og syre (28). På Soknedalsprosjektet slippes det rensede driftsvannet ut i Sokna. Utslippet fortynnes godt ved normal vannføring. Problemstillingen tilknyttet $CO_2$-beriket vann er derfor ikke relevant med tanke på Sokna. Ved andre tunnelprosjekter med utslipp til mindre og mer sårbare resipienter kan dette ha betydning.

Karbondioksid er ikke korrosivt og gir ikke skader ved berøring. I motsetning er de to syrene (svovelsyre og saltsyre) som benyttes til pH-justering meget korrosive. I konsentrert form kan begge syrene gi store etseskader på operatør ved feil håndtering og berøring (28).

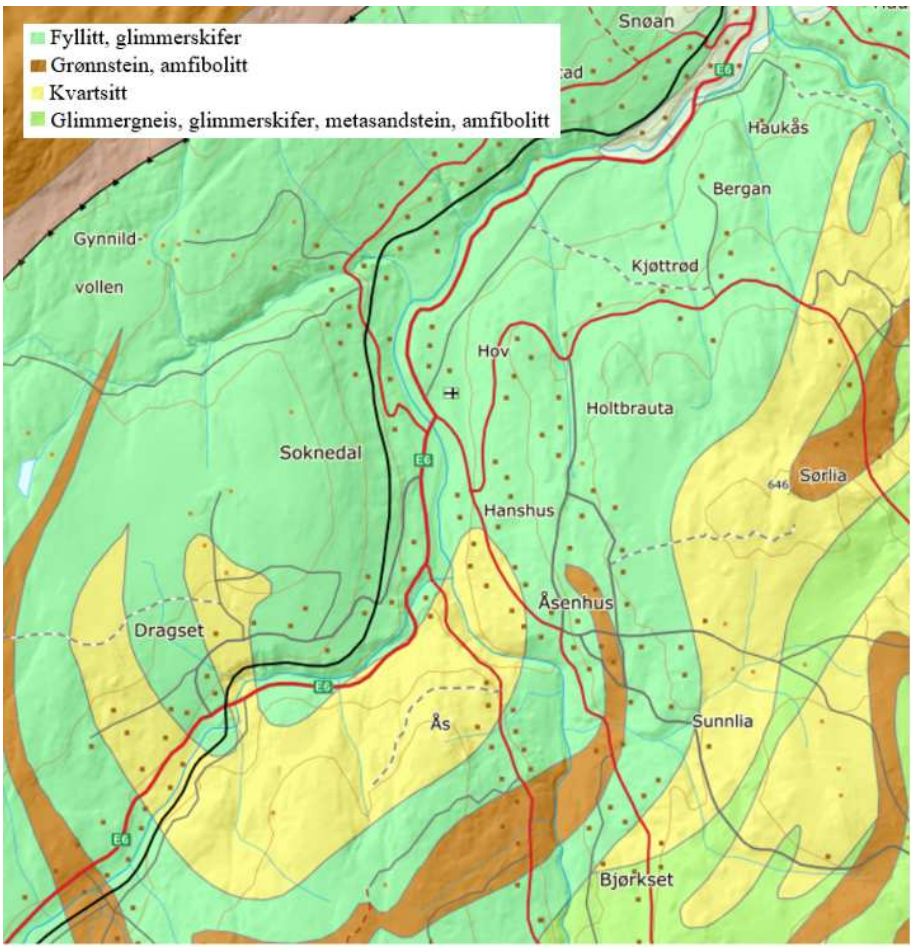
## 6.3 Tungmetaller

Daglig leder hos renseanleggsleverandøren, Fredrik Lange Fjell (90), opplyser at det finnes kjente rensemetoder for både kobber og kvikksølv. For tunneler med vannmengder på 150 til 500 $m^3$/døgn vil et slik anlegg bli meget stort og ressurskrevende. Ettersom disse komponentene sjelden finnes i store mengder i tunnelsammenheng, er det ikke vanlig å opprette renseanlegg for utskillelse av kobber og kvikksølv. De eventuelle metodene for utskillelse kan være bruk av kullfilter eller ionebyttefilter.

### 6.3.1 Forhøyede verdier av kobber i driftsvannet

15. oktober og 5. november 2018 ble det etter de regelmessige prøvetakingene registrert forhøyede verdier av kobber i renseanlegget ved det nordlige påhugget. HMS-leder på prosjektet i Soknedal, Nina Kristin Nilsen (85), opplyste at de ikke kjenner årsaken til verdiene. De kunne ikke se noe i deres produksjon som skulle gi forhøyede verdier. Det ble derfor valgt å ta for seg denne problemstillingen i oppgaven og se nærmere på hva årsaken(e) kan være.

Den geologiske rapporten for prosjektområdet (45) viser til at området har store forekomster av fyllitt og glimmerskifer. Området er en del av Gauladekket som også består i hovedsak av grafittisk granatglimmerskifre, sulfidrik grafittskifer, glimmerskifre, kvartsitt og amfibolitt.




*Figur 14: Berggrunnskart over Soknedal* (44)

Ved nærmere undersøkelser viser det seg at det er forekomster av grønnstein ved prosjektområdet, noe NGU bekrefter. De brune områdene på kartutsnittet (Figur 14) viser de største forekomstene av grønnstein i området. NGU beskriver grønnstein slik: «Grønnstein er en metamorf bergart, som dannes ved omvandling av gabbro, basalt eller diabas. Grønnstein inneholder grønne mineraler som kloritt, epidot og amfibol, derav fargen og navnet. Grønnstein finnes særlig utbredt i Trondheims-området» (46).

Av og til kan bergarten grønnstein inneholde betydelige mengder kobber (47). I tillegg kan kobber i enkelte tilfeller også forekomme i glimmer (48). Forfatterne av denne rapporten kommer derfor med innspill på at de forhøyede kobberforekomstene i driftsvannet kan skyldes en liten forekomst av kobberrik grønnstein eller glimmer i tunneltraseen.

SVV sine geologer har ikke funnet noe merkbart ved de to datoene. De har kontrollert i Novapoint og dagbøker, men kunne ikke finne noe spesifikt.

### 6.3.2 Høye verdier av kvikksølv i Sokna

Tabell 5 refererer til grenseverdier og tilstandsklasser for de oppførte tungmetallene. Verdiene er hentet direkte ut fra tabell 6 i «Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann» (49), utarbeidet av Statens forurensingstilsyn. Det er viktig å ta hensyn til at verdiene i Tabell 5 gjelder kun for ferskvannskilder.

*Tabell 5: Tilstandsklasser for noen tungmetaller i vann (49)*

| ***Parameter [µg/l]*** | ***Tilstandsklasser*** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ***I*** | ***II*** | ***III*** | ***IV*** | ***V*** |
| **Kobber (Cu)** | **< 0,6** | **0,6 - 1,5** | **1,5 - 3** | **3 - 6** | **> 6** |
| **Sink (Zn)** | **< 5** | **5 - 20** | **20 - 50** | **50 - 100** | **> 100** |
| **Kadmium (Cd)** | **< 0,04** | **0,04 - 0,1** | **0,1 - 0,2** | **0,2 - 0,4** | **> 0,4** |
| **Bly (Pb)** | **< 0,5** | **0,5 - 1,2** | **1,2 - 2,5** | **2,5 - 5** | **> 5** |
| **Nikkel (Ni)** | **< 0,5** | **0,5 - 2,5** | **2,5 - 5** | **5 - 10** | **> 10** |
| **Krom (Cr)** | **< 0,2** | **0,2 - 2,5** | **2,5 - 10** | **10 - 50** | **> 50** |
| **Kvikksølv (Hg)** | **< 0,002** | **0,002 - 0,005** | **0,005 - 0,01** | **0,01 - 0,02** | **> 0,02** |

Forklaring på tilstandsklasser:

**I:** Ubetydelig forurenset

**II:** Moderat forurenset

**III:** Markert forurenset

**IV:** Sterkt forurenset

**V:** Meget sterkt forurenset

E6 Soknedal i perioden 02.10.17 – 03.12.18:

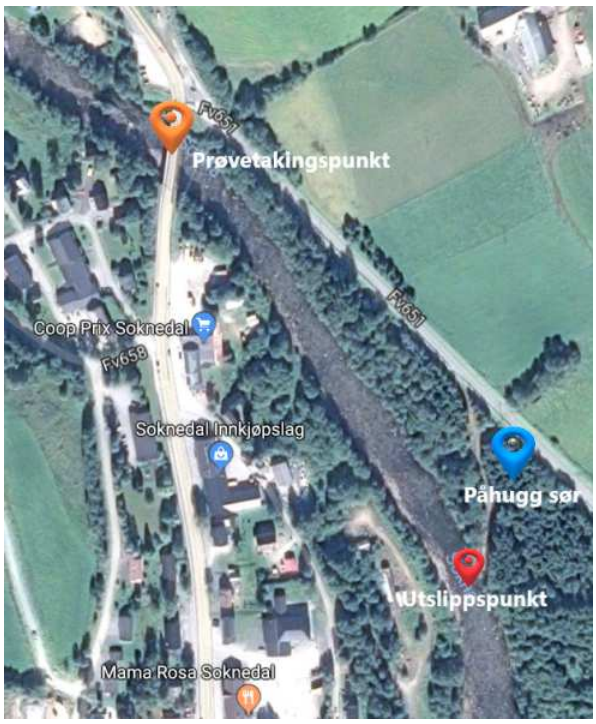
Gjennomsnittsverdiene i Tabell 6 er beregnet med usikkerhet, fordi verdier som <1 og >1 er definert som 1 i beregningene. Verdiene i Tabell 6 er beregnet ut fra prøver hentet ett lite stykke nedenfor utslippspunktene i elva, både på nord og sør (se Figur 15 og Figur 16).

*Tabell 6: Målte verdier av noen utslippsparametre fra 02.10.17 til 03.12.18, ved prøvetakingspunktene i Sokna*

| | | ***Sør*** | ***Nord*** |
|---|---|---|---|
| ***Kobber*** | Høyeste verdi og dato | **5,59** (16.04.18) | **3,47** (22.10.18) |
| | Gjennomsnittverdi | **1,4** | **1,07** |
| ***Sink*** | Høyeste verdi og dato | **206** (18.10.17) | **33,6** (18.10.17) |
| | Gjennomsnittverdi | **10,39** | **4,21** |
| ***Kadmium*** | Høyeste verdi og dato | **1,25** (18.10.17) | **0,9** (27.11.18) |
| | Gjennomsnittverdi | **0,097** | **0,088** |
| ***Bly*** | Høyeste verdi og dato | **1,03** (16.04.18) | **4** (27.11.18) |
| | Gjennomsnittverdi | **0,43** | **0,49** |
| ***Nikkel*** | Høyeste verdi og dato | **16,8** (04.12.17) | **17,7** (04.12.17) |
| | Gjennomsnittverdi | **1,8** | **1,59** |
| ***Krom*** | Høyeste verdi og dato | **7,2** (16.04.18) | **2,46** (15.10.18) |
| | Gjennomsnittverdi | **1,12** | **0,78** |
| ***Kvikksølv*** | Høyeste verdi og dato | **0,02** (kontinuerlig) | **4** (12.11.18 og 19.11.18) |
| | Gjennomsnittverdi | **0,02** | **0,24** |

Verdiene i Tabell 6 viser høye forekomster av kvikksølv i elva i forhold til Norsk institutt for vannforskning (miljødirektoratet) sine verdier i Tabell 5. Sammenligner man verdiene av kvikksølv i elva med forekomsten i renseanlegget, er det ikke noe som tyder på at de høye verdiene skyldes tunneldriften. Det er ikke påvist hva kilden til tungmetallet er, men innhold av kvikksølv i berggrunn kan forekomme, spesielt i skiferbergarter (48). Som nevnt tidligere (ref. pkt. 6.3.1) er det en del forekomster av skiferbergarter i området.

Figur 14 og 15 viser lokaliseringen av påhugg nord og sør, prøvetakingspunkt og utslippspunkt for E6 Soknedal.



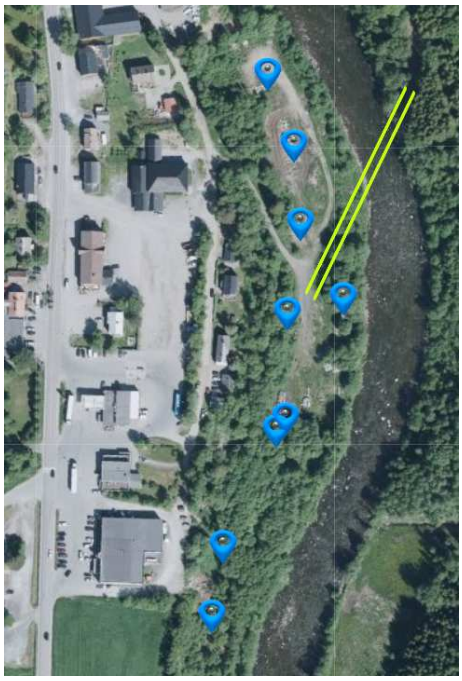

*Figur 15: Utslippspunkt og prøvetakingspunkt ved påhugg sør* (50)

*Figur 16: Utslippspunkt og prøvetakingspunkt ved påhugg nord* (50)

I 1865 ble det etablert et fargeri som holdt til i dagens sentrum i Soknedal. Dette var lokalisert like ved dagens innkjøpslag. Fargeriet ble nedlagt, og husene revet i 1967. Det er ukjent om det ble tatt i bruk kvikksølv under produksjonen som kan forårsake avrenning til Sokna (88). Fossum Mølle er lokalisert ved veien til Vagnildsgrenda, rett ned for Fossum bro. Her ble det i sin tid benyttet ceresan, som inneholder betydelige menger med kvikksølv. Ceresan-forbindelsen ble benyttet for behandling av blant annet korn (51). Mølla ble nedlagt i 1968, men kan fortsatt være en kilde til høye kvikksølvverdier i Sokna.

*Figur 17: Lokalisering av Fossum Mølle, Soknedal Innkjøpslag og prøvetakingspunkt sør* (52)

Ifølge Soknedal Historie- og Museumslag (88) var det i 2013/2014 et «raid» i Soknedal og omegn av omreisende østeuropeere. De samlet inn bilbatterier som skulle selges i hjemlandet. Det viste seg at det var blyplatene i batteriene de var ute etter, og restene av batteriene ble dumpet helt nede ved Sokna. Dette er omtrent der nybroa (markert gult i Figur 18) fra Soknedalstunnelen kommer.



*Figur 18: Lokalisering av stikkprøver langs Sokna og omtrentlig plassering av nybrua (markert gult)* (52)

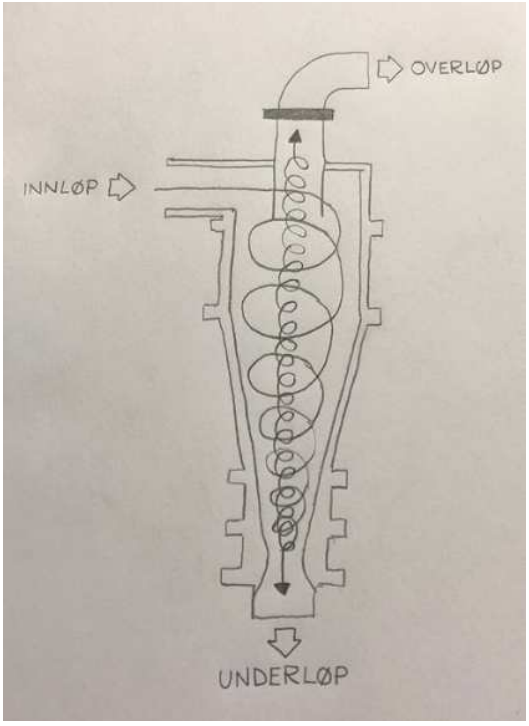
I 2015 utarbeidet Sweco Norge AS en rapport (53) for de miljøtekniske grunnundersøkelsene utført i og ved prosjektområdet. Det ble utført 9 stikkprøver langsmed elva (markert i blått i Figur 18). Det ble ikke funnet noen bemerkelsesverdige verdier av kvikksølv i prøvetakingspunktene. Det er en mulighet at batteriene er blitt dumpet i nedkant av prøvepunktene, ned mot elva. Eventuelle lekkasjer kan være en kilde til de forhøyede verdiene som ikke ble fanget opp under prøvetakingen. Det er bekreftet av anleggsleder på grunn på prosjektet (89), at det er foretatt gravearbeid i området rundt dumpingen. Dette kan ha ført til økt avrenning av kvikksølv i ettertid av «raidet».

## 6.4 PAH

Det finnes ulike metoder for rensing og fjerning av PAH. Polysykliske aromatiske hydrokarboner er, som nevnt tidligere, en komponent som finnes i bensin, olje og flere lignende produkter. Lav løselighet i vann og høy fettløselighet fører til at mesteparten av PAH-forbindelsene i driftsvann opptrer sammen med olje (54). Rensemetodene for PAH baserer seg derfor på fjerning og behandling av olje. De sporadiske slamprøvene tatt i Soknedal er analysert for PAH.

Olje i forbindelse med tunneldriving blir liggende på vannoverflaten, og inngår ikke i vannfasen. Oljeutskiller, hydrosyklon, absorberende pølser og oljeskimmer er komponenter som blir tatt i bruk for oppsamling av olje. Det er gjerne containerbaserte oljeutskillere som blir brukt i anleggsbransjen. I Soknedal er oljepølser i sedimenteringscontainer, oljeutskiller og hydrosyklon tatt i bruk.

Hydrosyklonene skal i hovedsak skille ut finstoff og partikler fra driftsvannet, men blir også brukt til utskillelse av olje. Separasjonen av vann og olje foregår ved at driftsvann blir tilført gjennom et innløp og deretter sentrifugert ved rotasjon. Olje har mindre massetetthet enn vann, og vil derfor stige opp til overflaten. Deretter blir oljen fjernet gjennom et overløp på toppen av hydrosyklonen. Sammen med oljen følger det også store mengder vann, opptil 90 %. Oppsamlingen av vann foregår i ytterkant av pattene, og vannet fjernes i et underløp nederst i hydrosyklonen (55). I Soknedal blir hydrosyklonene tilført driftsvann via en vannpumpe med kapasitet på 960-980 l/min ved 0 meter løft (90).



*Figur 19: Hydrosyklon – prinsippskisse* (56)

I Soknedalstunnelen blir det tatt i bruk vanlig 20 fots sedimenteringscontainere med oljeutskiller. Ved bruk av oljeutskiller er det viktig å dimensjonere denne med hensyn til vannmengde og oppholdstid i anlegget. Ved for kort oppholdstid vil ikke all oljen stige opp til vannflaten. I tillegg bør ikke utskilleren utsettes for ulike typer kjemikalier, da dette kan svekke dens effekt og føre til oljeemulsjon. De gitte grenseverdiene i utslippstillatelsen må overholdes til enhver tid, og det skal dokumenteres at konsentrasjonen av olje i vannet er i henhold til tillatelsen. Oljeavfallet i utskilleren tømmes ved behov, og regnes som «farlig avfall». Avfallet må derfor håndteres og deponeres deretter (57).

## 6.5 Nitrogenforbindelser

Den mest brukte og anerkjente prosessen for å regulere likevekten mellom ammoniakk og ammonium er kontrollen rundt pH-verdi. Ved norske anleggsprosjekter er det ikke blitt praktisert egne rensemetoder for ammonium og ammoniakk, kun pH-justering. Dersom det finnes resipient(er) i nærheten som er følsom(e) for oppblomstring på grunn av endrede næringsforhold, kan det være nødvendig å innføre ytterligere tiltak. Et tiltak kan være utfelling som reduserer ammoniakk og ammonium, og ikke bare påvirker likevekten av disse. Anlegget i Soknedal benytter generell pH-justering, som indirekte vil balansere likevekten mellom nitrogenforbindelsene. I enkelte land, som Sveits, har det blitt tatt i bruk behandling av prosessvann både med natriumhypokloritt, aktivt kull, stripping og lufting. Disse er prosesser som fjerner ammonium og ammoniakk (26).

# 7. Utslipp av basisk tunnelvann i Sokna

## 7.1 Hendelsesforløp

Tirsdag 6. mars 2018 kl.13:00 startet det opp injeksjonsarbeid ved stuff i tunnelen. Denne prosessen er et tiltak for å hindre eller redusere innlekkasje av vann i bergrommet etter det er sprengt ut. Her blir det tatt i bruk en basisk løsning med sement, som tilføres de forborede hullene ved høyt trykk (58). Dette arbeidet kan gi avrenning.

Utpå kvelden samme dag (20:35) ble det utsendt automatisk SMS-varsel om lavt nivå av $CO_2$ i tank («lavt nivå i $CO_2$- bank»). Renseanlegget er programmert slik at varsel om lavt karbondioksidnivå blir varslet ved gjenstående 30 %. Innstillinger i systemet førte til at kun driftsleder på tunnel mottok varslinger på SMS. Mandag samme uke (5. mars) ble det registrert og notert et innhold på 186,1 kg i manuelt kontrollskjema for renseanlegget. Dette tilsvarer omtrent 37 % av totalt volum. I samme stund ble det bestilt ny flaskebank (59).

Onsdag morgen ble det sendt ut 3 SMS-varsler fra renseanlegget («Lavt nivå i $CO_2$-bank!», «Høy pH til resipient! Sjekk årsak!», «Høyhøy pH til resipient, stans utslipp»). Driftsleder var ikke på skift, og varslene ble dermed ikke fanget opp før 05:30. Driftsleder ankom prosjektet en halvtime senere, hvor det fortsatt pågikk arbeidsoperasjon med injisering. Nivået i tankene lå da på omtrent % $CO_2$. På grunn av lite prosessvann inn til anlegget ble det ikke sluppet ut forurenset vann til resipient etter kl. 08:10. Renseanlegget ble nedstengt 08:35 (59).

## 7.2 Mulige årsaker

Hendelsen ble gransket av både utførende entreprenør (AF) og tiltakshaver (SVV). Mulige årsaker kan være:

- Manglende eller ikke tilstrekkelig opplæring av personell som også kan påvirke konsekvensforståelsen
- Uavklart ansvarsfordeling
- Aksjonsplan/beredskapsplan ikke fulgt
- Mangel på reserve av $CO_2$-tanker
- Manuell nedstenging av renseanlegget
  (59, s. 13, 60, pkt. 5.2)

## 7.3 Noen iverksatte tiltak i etterkant av hendelsen

- Varsling til flere via SMS (arbeidsledere og HMS-personale)
- Seriekoblede $CO_2$- tanker
- Automatisk nedstenging av renseanleggene ved overskridelse av grenseverdier
- Hyppigere og bedre rutiner for manuell kontroll av renseanlegg, herunder kontroll av flokkulering og $CO_2$-bank (2 ganger om dagen ved vanlig drift, og annenhver time ved injiseringsarbeid)
- Forbedret håndtering av flokkulantblokker
- Supplerende opplæring i etterkant av hendelsen og bedre kommunikasjon mellom leverandør og entreprenør
- Stans av pumper når driften er nede
- Etablering av intern prosedyre for drift, vedlikehold og oppfølging av anlegget
- Utarbeidet ansvarsmatrise, og oppdatering av stillingsbeskrivelser
  (59, s. 15)

Slamrensing AS har ikke gjort noen vesentlige endringer i sitt system eller oppbyggingen av renseanleggene. Ifølge daglig leder, Fredrik Lange Fjell, poengteres det nå bedre ved opplæring at forutsetningene for stabil drift og regularitet må ligge til rette. Det presiseres at hovedpumpen før hydrosyklon må stå i perforert basket og være nivåregulert. Det må alltid ligge flokkulant i flokkulantdoseringsboksen. Det må alltid være tilkoblet $CO_2$. Anbefalt èn i reserve (91).

### 7.3.1 Studentenes forslag etter hendelsen

Innad i AF er det benyttet flere forskjellige leverandører av ulike vannrenseanlegg. For hvert renseanlegg vil det være forskjeller i oppsett og bruk. Ansatte kan ha mange forskjellige renseanlegg å forholde seg til, som kan medføre at personell ikke har tilstrekkelig med kunnskap om hvert enkelt anlegg. Dette gir større sannsynlighet for at uønskede hendelser inntreffer.

Størrelse på renseanlegget avhenger av driften på prosjektet. En type renseanlegg i flere størrelser med samme oppsett, kan redusere faren for uønskede hendelser. Det anbefales av oppgavens forfattere å benytte kun en type renseanlegg innad i firmaet. Dette kan være med på å fremme kunnskap og skape bevissthet rundt drift og vedlikehold av anlegget. Etter hvert som nye erfaringer og kunnskap om renseanlegget opparbeides, kan driftsmanualen revideres og optimaliseres. Det samme gjelder opplæringen. Kompetanse rundt bruk av renseanlegget kan

utveksles på tvers av ulike prosjekter i AF Gruppen. I samarbeid med leverandør kan kundene bidra til forbedring av renseanlegget, som er gunstig for begge parter.

Realistisk sett vil valg av leverandør og type renseanlegg avhenge av kostnader, størrelse og brukervennlighet. Det kan ta tid å finne det mest optimale anlegget, men det vil trolig være lønnsomt i det lange løp å kun ha ett renseanlegg å forholde seg til.

## 7.4 Konsekvenser av hendelsen

Rapporten «Ungfiskundersøkelser i Gaulavassdraget» (61), utarbeidet av Norsk institutt for naturforskning (NINA) viser til konsekvensene etter uhellsutslippet mars 2018. Det er konkludert med at utslippet ikke har hatt større påvirkning på overlevelsen av rogn. Undersøkelsene av ungfisken viser at utslippet har ført til død, eller at fisken har trukket seg vekk fra utslippsområdet. Rapporten viser også til en usikker påvirkning på lakseparr. De første kilometerne nedenfor uhellspunktet er mest utsatt. Undersøkelsene viser til et godt biologisk mangfold oppstrøms utslippspunktet. Dersom mangfoldet ble svekket i tiden etter utslippet, er det nå gjenopprettet. Avslutningsvis konkluderes det med at Sokna ikke har fått varige mén, sett bort fra en mulig redusert tilbakevandring av laks de første 3 årene.

Etter utslippet av basisk vann til resipienten Sokna ble det mange oppslag i media. I tillegg fikk SVV og deres samarbeidspartnere en anmeldelse mot seg av Norges miljøvernforbund. Dette gir til sammen et negativt omdømme på både entreprenør og byggherre. Samtidig vil en granskninsprosess i etterkant ta mye tid.

En slik hendelse gir rom for læring og forbedring. Dette gjelder ikke bare E6 Soknedal-prosjektet, men også bedriftene i sin helhet (SVV/AF/Slamsrensing AS). Ved fremtidige og tilsvarende prosjekter vil det blir mer oppmerksomhet rundt farlige forhold, og man kan formidle og informere om tidligere erfaringer og uønskede hendelser.

# 8. Tekniske utfordringer ved mobile vannrenseanlegg

Mobile renseløsninger er en forutsetning på anleggsprosjekter hvor anleggsdriften kun strekker seg over et visst tidsrom, og det er krav om rensing av driftsvann. Et mobilt renseanlegg er et mindre anlegg som kan leveres i form av containere. Leverandørene kan tilpasse renseanleggene etter kundens behov.

## 8.1 Driftssikkerhet og vedlikehold

Turbiditets- og pH-måler er avgjørende for driften av renseanlegget, og disse forteller om man ligger innenfor utslippskravene. Det er viktig med tilstrekkelig og jevnlig vedlikehold av måleinstrumentene, slik at de ikke blir tilgriset av slam og gir misvisende verdier. I Soknedal foretas vedlikehold ukentlig. pH-sensorene er blitt kalibrert både ved oppstart av renseanleggene, og underveis i driftsperioden.

*Figur 20: Oppsamling av vann fra renseanlegget for ukeblandeprøver*

For kvalitetssikring leverte renseanleggsleverandøren bærbare målere for turbiditet og pH. Disse målerne er grovere instrumenter som gir et mindre nøyaktig resultat enn de fastmonterte målerne. Likevel gir de bærbare målerne en god egenkontroll. For å kontrollere konsentrasjonen av SS ved «flow-ut» og ulike steder i resipient, tas det kontrollprøver med de bærbare målerne. Prøvene testes og sammenlignes med verdiene fra de fastmonterte målerne. De bærbare pH-målerne ble brukt til å kontrollere pH i utslippspunktet.

Renseanleggene logger kontinuerlig pH, temperatur og SS. I tillegg har AF egenkontroll av renseanleggene som logges i kontrollskjema to ganger daglig. SVV tester ukeblandprøver (Figur 20) fra anlegget, som sendes inn for analysering hos et akkreditert laboratorium. Disse prøvene gir blant annet svar på innhold av ulike tungmetaller i driftsvannet. SVV har også utplassert sensorer i resipient som kontinuerlig måler pH, SS og temperatur. Vannføring varierer med årstid, som igjen vil føre til variasjoner og konsekvenser med tanke på utslipp av de ulike parameterne (85).

Flokkulantblokkene ble i starten av tunneldrivingen lastet opp på sedimentasjonscontaineren inne i de to renseteltene. Plasseringen av blokker innebar også en viss risiko, da inngangen til kontrollpanelet er lokalisert i rommet under. Pallen ble fjernet, og det ble i stedet satt i gang flokkulering i containerne inne i tunnelen.

I løpet av tunneldrivingen ble slammet i Soknedal transportert direkte til miljøparker for spesiell håndtering, grunnet kjemikalieinnholdet. Ved minimale mengder PAH og tungmetaller kunne sedimentene blitt avvannet og transportert direkte til vanlig deponi eller bruk i fyllinger/skjæringer.

Som nevnt tidligere i rapporten (ref. kap. 6.2.3) er $CO_2$ mer driftssikkert enn bruk av syre for pH-nøytralisering. Eksponering for syre kan blant annet gi etseskader og en sikrere pH-justering. $CO_2$ er derfor et godt alternativ.

Det er essensielt å til enhver tid ha kontroll på mengden rensemedium. Hendelsen som skjedde den 7. mars 2018 i Soknedal (ref. kap. 7) var blant annet på bakgrunn av dette. Ved utslippshendelsen var det redusert beholdning av rensemedium, fordi det hadde blitt dosert mer $CO_2$ enn forventet.

For å gjøre renseanlegget mer driftssikkert og fordi det stilles krav til det, blir det utfylt sjekkliste for kontroll og vedlikehold. Listen fylles ut manuelt på papirskjema inne i styringsrommet i containerne, to ganger daglig. Bruk av papirskjemaer er en mer brukervennlig metode, kontra digitale løsninger. Ulempen er lagringsmetode av kontrolldata og vanskeligere sporbarhet. Sjekklisten inneholder følgende punkter:

- Rengjøring av pH-sensorer (ukentlig)
- Rengjøring av finstoffsensor levert med automatisk visker
- Kontroll av automatisk vannprøvetaker (daglig)
- Kontroll av $CO_2$-nivå i tank (daglig)
- Kontroll av slamnivå i container/renseanlegg (jevnlig)
- Vri HS-tupper 10-20 grader (ukentlig)
- Utskifting av HS-tupper (ved behov)
- Sjekke at det kommer vann ut av de nedre tuppene på HS (daglig)

(62)

I kontakt med ansvarlig elektriker i Soknedal (98), ble det presisert at strømtilførselen ikke er krevende på store og sentrale prosjekter. På E6 Soknedal-prosjektet er det alltid tilgjengelig aggregat ved eventuelt kutt på strømforsyningen. For å unngå stans og skader på grunn av frost, er rørene for «flow-inn» og «flow-ut» omgitt av varmekabler og isolasjon. Plasseringen av renseteltene med anleggene er avhengig av nær beliggenhet til påhugg og vannkilde. Det kan ofte være plassmangel på anleggsprosjekter. Derfor er det viktig å planlegge godt, og plassere renseanleggene mest hensiktsmessig etter krav som stilles til blant annet sikkerhet.

## 8.2 Automatisert og manuell drift

Det blir stadig mer automatisering, også i bygg- og anleggsbransjen. Dette kan ha sine fordeler og ulemper.

Automatisering av trinn i renseprosessen i Soknedal ble innført etter erfaringen med det utilsiktede utslippet. Tidligere måtte anlegget stenges ned manuelt, også ved overskridelser av grenseverdier. Etter hendelsen ble nedstengningen automatisert. Ved automatisk nedstenging vil man unngå utslippene som oppstår i tiden mellom mottatt varsel og nedstenging. Sensorene for pH og turbiditet ble koblet opp mot pumpen for «flow-inn». Ved overskridelsesverdier stanses innløpsvannet. «Flow-ut» er styrt av en nivåregulert pumpe. Selv om innløpsvannet stoppes, er det ikke sagt at utløpsvannet stoppes umiddelbart. Dette kan føre til små utslipp. Det er viktig at personen som har hovedansvaret for renseanlegget har fått tilstrekkelig med opplæring og kunnskap.

Etter utslippshendelsen ble $CO_2$-beholderne seriekoblet, slik at det kontinuerlig tilføres medium selv om én beholder går tom. Det vil være viktig å kontrollere koblingen mellom tankene og mengden $CO_2$ i beholder, slik at uoppdagede og bakenforliggende feil ikke får konsekvenser.

Ved bruk av flytende fellingskjemikalie er det mulig med automatisert tilsetting. Fordi det tas i bruk flokkulantblokker i Soknedal, er ikke tilsettingen av fellingskjemikalie automatisert. Flytende fellingskjemikalie vil gi mindre forbruk, mer nøyaktig dosering og vil være et billigere alternativ (90). Kostnadene vil reduseres grunnet mindre personalbehov.

## 8.3 Driftsstans

Driftsstans er et scenario som innebærer stopp i produksjonen, og man ønsker så langt det lar seg gjøre å unngå dette. Ved en driftsstans er man avhengig av å finne en løsning på problemet så raskt som mulig.

### 8.3.1 Konsekvenser for resipient

Dersom renseanleggene for Soknedalstunnelen stenges ned over lengre tid vil ikke driftsvannet bli pumpet inn, og det kan bli opphoping av vann og slam. Dette kan gi tilsig til resipient. Som nevnt tidligere kan slam og vann inneholde ulike kjemikalier, ha varierende pH og høyt innhold av sedimenter. Dette kan påvirke livet i elva på en negativ måte.

Stans i tunneldriften vil ofte føre til redusert mengde vann som blir produsert. Renseanlegget stopper automatisk når det ikke blir pumpet inn tilstrekkelige vannmengder. Dermed vil det ikke transporteres noe vann ut i resipienten.

### 8.3.2 Konsekvenser for anleggsdriften

I dette tilfellet er det snakk om driftsstans i renseanlegget, og et slikt tilfelle vil ha flere negative konsekvenser for anleggsdriften. Så lenge vannrenseanlegget ikke er i drift, må alt arbeid i tunnelen som medfører tilsig av vann til renseanlegget stoppes. Arbeidere uten arbeid fører til både tap av tid og penger, altså vil en driftsstans kunne gi ringvirkninger. Blir anlegget nede over lengre tid kan man få problemer med å følge framdriftsplanen. Blir ikke prosjektet ferdig til riktig tidspunkt kan bedriften få dagmulkt.

Underentreprenører som er leid inn til avtalte datoer kan få problemer dersom arbeidet blir utsatt. Et firma er heller ikke glad for å få et dårlig rykte for ikke å levere til avtalt tid.

# 9. Organisatoriske utfordringer ved vannrenseanlegg

Organisering og tilpasninger er grunnleggende for at drifta skal fungere optimalt. Det tekniske fungerer ikke dersom det organisatoriske ikke er tilpasset.

I nyere tid er det satt større fokus på Lean Construction (involverende planlegging). Her blir entreprenøren satt på banen i tidlig fase, slik at det kan utveksles erfaringer og kompetanse. Lean er med på å begrense tidstap og fremme kontinuitet i produksjonen. Dette kan være med å forhindre eller redusere feil og misforståelser i tidlig fase.

## 9.1 Opplæring av personale

I Soknedal er både praktisk og teoretisk opplæring gitt av renseanleggleverandør til AF-personale. Den teoretiske undervisningen består av flere dokumenter og presentasjoner. De har i tillegg to prestenasjoner som brukes til opplæringen. På anlegget ligger også en perm som kan tas i bruk og gjennomgås ved behov. Leverandør av renseanlegget har repetert opplæringen for AF-personale gjennom prosjekttiden.

AF har senere gjentatt opplæring internt, basert på leverandørens og egne presentasjoner. Det er vanskelig å måle hvor godt et budskap forstås av de som mottar opplæring. Det er derfor essensielt med god formidlingsevne hos opplæringspersonell for å øke forståelsen. Drift og kontroll av renseanleggene er kun en liten del av arbeidshverdagen til både tunnelpersonell og HMS-personell, og det tar derfor tid å opparbeide seg god erfaring i bruk.

Et forslag hadde vært om AF hadde utarbeidet en egen internkontroll (test eller prøve) etter opplæring, som gjentas med faste intervaller utover prosjektperioden. Dette kan være en sikkerhet for å påse at personell har mottatt og oppfattet nødvendig informasjon ved drift av renseanleggene. Dette kan sikre konsekvensforståelsen rundt overskridelse av grenseverdier for ulike parametere (pH, SS, PAH etc.). Det er viktig å presisere konsekvensene som kan oppstå ved uheldige utslipp.

Denne opplæringsformen kan samtidig ha en motsatt effekt. En kontroll kan være et forstyrrelsesmoment og kan svekke folks konsentrasjon under opplæringen. Dette kan føre til at viktig informasjon ikke blir fanget opp. Ofte kan det være bedre med en praktisk opplæringsdel (85, 87).

## 9.2 Ansvarsforhold

Ansvarsforhold er viktig å avklare i en tidlig fase for å unngå misforståelser og konflikter som videre kan føre til uønskede hendelser.

I tiden før utslippet i Soknedal manglet det blant annet en ansvarsmatrise, og ansvarsfordelingen var derfor usikker. Dårlig kommunikasjon kan også være en medvirkende faktor.

Ifølge utslippstillatelsen skal det «utarbeides nødvendig driftsinstrukser for de ulike rensetrinnene. Dette skal bl.a. omfatte ettersyn og tømming av sedimenteringsbasseng og oljeutskiller» (9, s. 10). Leverandør av renseanlegget har opprettet en driftsmanual (62) som gir en grunnleggende kunnskap om sikkerhet, hovedkomponentene, tilleggskomponenter, skisser og bilder, daglige oppgaver, vedlikehold og en forklaring på igangkjøring av anlegget. Dette er kun satt opp med korte setninger, stikkord og punkter. Samme dag eller de nærmeste dagene etter utslippet fant sted, 7. mars 2018, ble det utarbeidet en mer spesifikk beredskapsplan og risikoanalyse for renseanlegget. Beredskapsplanen omfatter også aksjonsplanen. AF hadde fra starten av opprettet både risikoanalyse og beredskapsplan, men disse var ikke spesifikke nok med tanke på renseanlegget (60).

## 9.3 Konsekvensforståelse

Enhver avgjørelse vi tar, eller handling vi utfører, vil få konsekvenser. Alle valg kan få ettervirkninger, både gode og mindre heldige. Forståelsen rundt konsekvensen av valget vi tar kan i enkelte situasjoner være dårlig. I slike tilfeller kan man komme ut for en lignende situasjon som på prosjektet E6 Soknedal.

Både byggherre og hovedentreprenør i Soknedal har oppgitt at deres kunnskap rundt risikoen av et utslipp har vært begrenset. Manglende konsekvensforståelse rundt alvoret i et basisk utslipp, resulterte i at anlegget ikke ble nedstengt umiddelbart. Dette er en av de bakenforliggende årsakene til det uønskede utslippet (59, 60).

# 10. Slamhåndtering

I kontakt med Slamrensing AS er det diskutert ulike metoder og løsninger på slamhåndtering som kan være aktuelle på E6 Soknedal-prosjektet og i anleggsbransjen generelt. En av løsningene er avvanning av slam ved bruk av filterpose. De tre andre er dekantersentrifuge, kammerfilterpresse og sedimenteringsbasseng som blir omtalt i påfølgende delkapitler. Slamhåndtering har vært et fokusområde på E6 Soknedal-prosjektet. Bruk av sedimenteringsbassenger ble vurdert, men lagt bort på grunn av plassmangel. Grunnet manglende kapasitet og ressurser har ikke flere løsninger enn slamsugebil og sedimenteringsbasseng blitt vurdert. Sugebil ble det endelige valget.

Valg av metode kommer an på varighet og størrelse på et prosjekt, kapasitet på renseanlegg og tilgjengelige ressurser. Det er ikke sagt at den ene metoden alltid er bedre enn de andre, da den mest lønnsomme og optimale løsningen kan variere.

Tabell 7 viser totale kostnader som prosjektet har pådratt seg ved slamtømming med sugebil og deponering av borslam fra tunneldriften. Kostnadene gjelder fra første tømming den 19.02.18 til 01.02.19. Kjelsberg Transport AS ble først benyttet, og prisen inkluderer både henting, transport og deponering av slammet. Senere ble Gudbrandsdal Miljø & Entreprenør AS tatt i bruk for henting og transport av slammet, og Rimol Miljøpark i Trondheim ble benyttet til rensing og deponering. Miljøparken er en del av forretningsenheten AF Decom.

*Tabell 7: Kostnader ved slamtømming i Soknedal og deponering hos Rimol miljøpark*

| **Leverandør/aktør** | **Mengde slam (tonn)** | **Total kostnad (NOK, inkl. mva.)** |
|---|---|---|
| Kjelsberg Transport AS | 104,22 | 245 034 |
| Gudbrandsdal Miljø & Entreprenør AS | 329,24 | 413 364 |
| Rimol Miljøpark | - | 349 818 |
| ***Totalt:*** | ***433,46 tonn*** | ***1 008 216 kr*** |

Slaminnholdet sjekkes daglig ved å stikke en målestav ned i sedimentasjonscontainerne plassert i tunnelen. Det bestilles tømming når slaminnholdet er ca. 2/3, og den resterende delen vann. Det er ønskelig å redusere vanninnholdet i slammet før det blir transportert bort. Når vann er inkludert i den totale mengden som hentes, påløper det unødvendig høye kostnader. Den totale mengden slam, inkludert vann, som er blitt hentet fra renseanleggene i Soknedal er 433,46 tonn.

Det antas i følgende beregninger en densitet på 1,8 tonn/m$^3$ for slammet. Dette er en antagelse på grunnlag av verdier SVV har benyttet for leir- og siltmasser i byggeplan for E18 mellom Festningstunnelen og Ekebergtunnelen (63).

***<u>Utregninger på totalt volum slam hentet ut fra renseanleggene i Soknedal:</u>***

Total mengde slam og vann som er hentet ut fra containerne: *433,46 tonn*

Fordeling av slam og vann ved tømming:

Vann: *1/3*

Slam: *2/3*

Densitet til slam og vann:

Vann: *1 tonn/m$^3$*

Slam: *1,8 tonn/m$^3$*

Densiteten når 1/3 vann og 2/3 slam er blandet i samme container:

$$\frac{1}{3} * 1\frac{tonn}{m^3} + \frac{2}{3} * 1{,}8\ \frac{tonn}{m^3} \approx 1{,}53\ \frac{tonn}{m^3}$$

Den totale mengden slam inkludert vann blir:

$$\frac{433{,}46\ tonn}{1{,}53\ \frac{tonn}{m^3}} \approx 282{,}69\ m^3$$

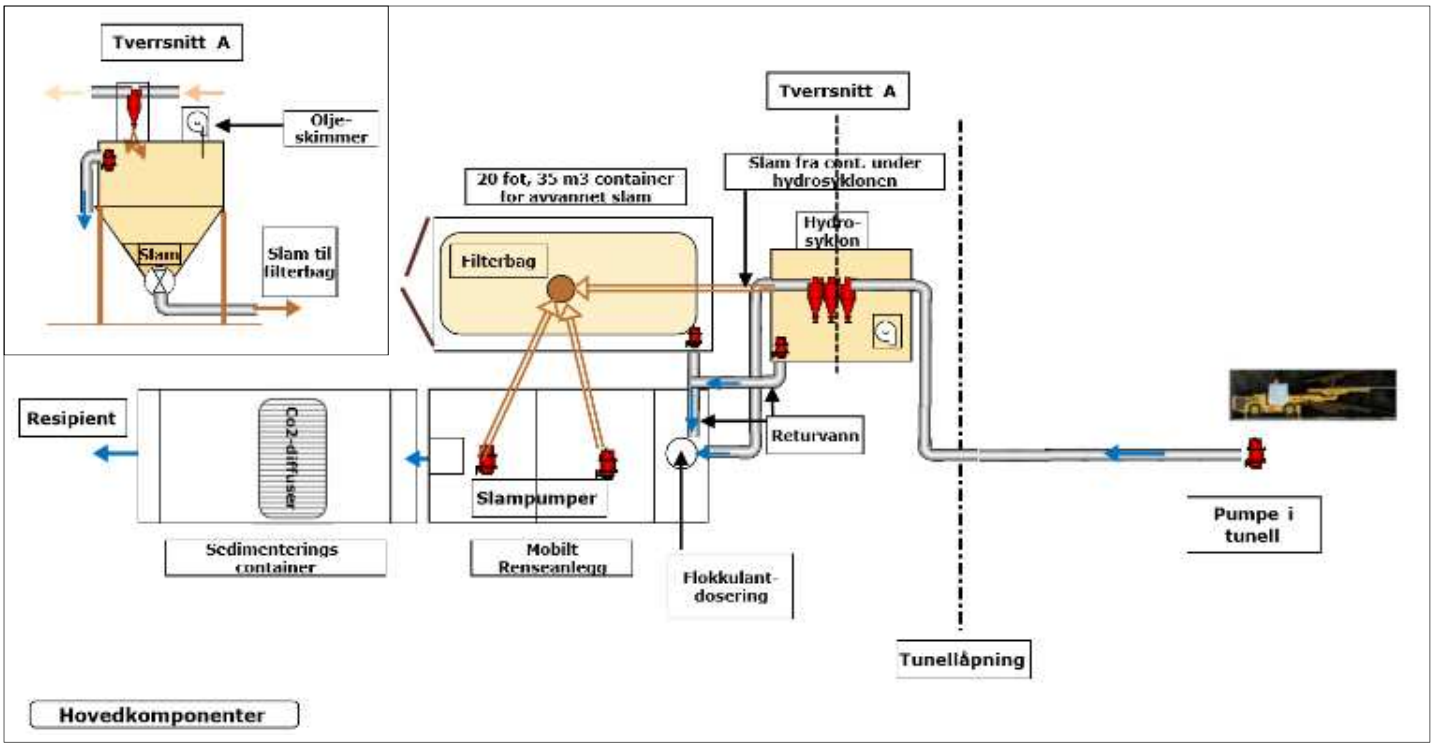
Volum slam blir dermed:

$$282{,}69\ m^3 * \frac{2}{3} = 188{,}46\ m^3 \approx \mathbf{188\ m^3}$$

Ut fra tallene på forrige side kan man si omtrent hvor stor mengde sedimenter det er i forhold til vann i en container ved tømming.

## 10.1 Slamavvanning med filterpose

Ved avvanning med filterpose vil slam bli pumpet fra det mobile vannrenseanlegget inn i filterbaggen. Hydrosykloner plasseres over en silo hvor slammet faller til bunns. Denne siloen åpnes ved behov, og slammet vil renne automatisk ned i en filterbag på grunn av trykket. Filterbaggen kan legges i en vanntett container, slik at det filtrerte vannet renner ut og blir pumpet tilbake til renseanlegget. Når en bag har nådd sin kapasitet kan man legge en ny bag på toppen. Ved bruk av 2 bagger er det mulig å oppnå en avvannet slammengde på rundt 25 $m^3$ før slammet må hentes.




*Figur 21: Mulig oppsett av hovedkomponenter for avvanning av slam med filterbag* (64)

Ved tilsetting av polymer som fellingskjemikalie, effektiviseres prosessen ved at det dannes større fnokker. Dermed er det nesten bare vann som trenger ut gjennom nettingen i posen. Under utprøving av slike sedimenteringsbagger har Slamrensing AS erfart at kun partikkelstørrelser <15µm vil trenge gjennom filterbaggen (90). Sedimentene må derfor ligge i sjiktet over den oransje streken i Tabell 8. Det er derfor viktig med tilsetting av fellingskjemikalie i forkant av sedimenteringsprosessen.

Det anbefales å plassere filterposene i en 20 fots container (ca. 6 meter lang) ved tunnelprosjekter. Filterbaggene er produsert til engangsbruk, og fås kjøpt i flere størrelser etter behov. Når baggene har nådd sin kapasitet sprettes de opp i sømmen, og innholdet hentes ut med anleggsmaskiner (64). Filterbaggen(e) kastes etter slamfjerning, og ny(e) kan tas i bruk. Ved bruk av hjullaster eller gravemaskin til opplasting av slam fra container, er det en viss risiko for forringelse av containeren.

Slamrensing AS har kommet med forslag til bruk av filterbag for slamavvanning på prosjektet i Soknedal. På grunn av redusert ressurskapasitet ble dette nedprioritert. På neste side er det gjort et overslag på hva denne løsningen ville kostet prosjektet. Priser relatert til renseanlegget er hentet fra daglig leder i Slamrensing AS (90). Kostnader knyttet til anleggsmaskiner for uthenting av slam er omtrentlige priser som blir brukt i anleggsbransjen (89, 91).

*Tabell 8: Ulike fraksjoners kornstørrelse (65)*

| Fraksjon | | Kornstørrelse [mm] |
|---|---|---|
| Grovinndeling | Fininndeling | |
| Blokk | - | > 600 |
| Stein | - | 600 – 60 |
| Grus | Grov | 60 – 20 |
| | Middels | 20 – 6 |
| | Fin | 6 – 2 |
| Sand | Grov | 2 – 0,6 |
| | Middels | 0,6 – 0,2 |
| | Fin | 0,2 – 0,06 |
| Silt | Grov | 0,06 – 0,02 |
| | Middels | 0,02 – 0,006 |
| | Fin | 0,006 – 0,002 |
| Leir | - | < 0,002 |

**Priser på komponenter til filterbag-metoden ved KJØP:**

| | |
|---|---|
| Slamfangerenhet u/tilkomstenhet: | kr 150 000 |
| Container (30 $m^3$) for filterbagger med vanntett dør i forkant: | kr 90 000 |
| Filterbag (6 m x 2,5 m) pr. stk.: | kr 12 000 |
| Returpumpe (1 stk.) og slampumper (2 stk.): | kr 35 000 |
| Slanger og koblinger (avhengig av avstanden mellom komponentene): | kr 15 000 |

Rigg, montering, frakt og mva. kommer i tillegg til de oppførte kostnadene.

**Priser på alle komponenter til filterbag-metoden ved LEIE:**

| | |
|---|---|
| Pr. mnd.: | kr 18 000 |

Filterbagger kommer i tillegg (se salgspris over)

Rigg, montering, frakt og mva. kommer også i tillegg.

Det totale volumet av slam på 188 $m^3$, vist i tidligere beregninger, inneholder fortsatt en del vann. For å kunne fortsette med videre kostnadsoverslag, antas det at mengde avvannet slam ligger på rundt 120 $m^3$. En slampose på 5,5 m x 2,1 m har en kapasitet på omtrent 6 $m^3$ (66). Det antas derfor en kapasitet på ca. 7 $m^3$ for en pose med dimensjon 6,0 m x 2,5 m.

Mengde avvannet slam i tonn: $120\ m^3 \times 1{,}8\ \frac{tonn}{m^3} = 216\ tonn$

Nødvendig antall filterbagger: $\frac{120\ m^3}{7m^3} \approx 17\ stk$

«Forskrift om bruksklasse, tillatt totalvekt og tillatt vogntoglengde for normaltransport, tømmertransport og kjøring med modulvogntog på riksveg (Vegliste riksveger)», punkt 1 (67), oppgir at E6 fra grensen til Oppland, gjennom Trøndelag og fram til grensen mot Nordland, har en bruksklasse Bk10. Riksvegliste for normaltransport i Trøndelag oppgir en maks totalvekt på kjøretøyet på 50 tonn, inkludert egenvekt.

En 4-akslet lastebil innleid på Soknedalsprosjektet har en egenvekt på 15 215 kg, og en tillatt totalvekt på 37 tonn. For å redusere kjøremengde og kostnad ved transport av avvannet slam, tas det utgangspunkt i bruk av lastebil *med* henger. Egenvekt på tilhørende henger er omtrent 4,5 tonn. En lastebil med henger rommer omtrent 20 $m^3$. Slam tømmes når 2 filterbagger har nådd sin kapasitet, det vil si ved ca. 14 $m^3$ avvannet slam. Det blir derfor ikke nødvendig med mer enn èn tur ved hver tømming. Slammet (to fulle filterposer) vil ha en tyngde på ca. 25 tonn. Bil og henger, med last, vil ikke overskride maksimal totalvekt.

Det er tidligere beregnet at det trengs ca. 17 bagger for å avvanne slammet som ble produsert ved driving av Soknedalstunnelen i perioden 19.02.18 til 01.02.19. Det er mulig å frakte innholdet av 2 bagger per tur. Det vil si at man totalt i løpet av prosjektet må kjøre 9 turer med avvannet slam.

Lastebilene har fast holdepunkt i Soknedal, og AF betaler kun tur-retur Soknedal-Trondheim ved kjøring til deponi. Avstanden fra prosjektet til Rimol Miljøpark er ca. 58 km, noe som tilsvarer omtrent 1 times kjøring hver veg. Opplasting på lastebil ved hjelp av gravemaskin vil ta ca. 1 time. I tillegg må det regnes noe tid på lossing.

**Kostnader for transport og opplasting av avvannet slam:**

| | |
|---|---|
| Transport tur-retur Soknedal-Trondheim (3,5 timer):<br>*(Inkl. timelønn, drivstoff, drift/vedlikehold og vask)* | kr 3 500 |
| Opplasting med gravemaskin (1 time):<br>*(Inkl. timelønn og vedlikehold)* | kr 900 |
| Drivstoff til gravemaskin (1 time):<br>*(9 kr/l x 15 l/time)* | kr 135 |

**Kostnader for deponering av slam:**

| | |
|---|---|
| Pr. tonn: | kr 850 |

I de endelige beregningene er det tatt utgangspunkt i at AF leier alle nødvendige komponenter, i tillegg til det opprinnelige vannrenseanlegget fra Slamrensing AS.

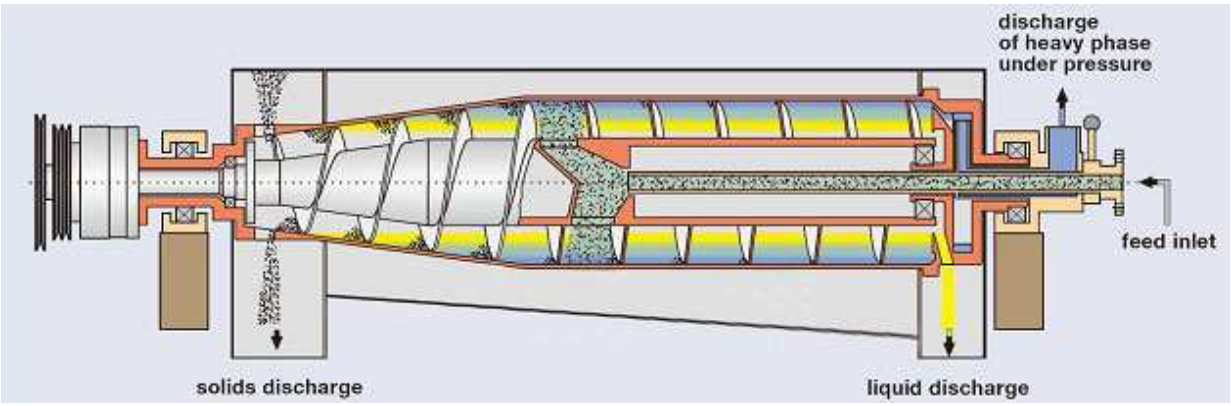
**TOTALE KOSTNADER VED BRUK AV FILTERBAGGER:**

| | |
|---|---|
| Leie av tilhørende komponenter til renseanlegg u/filterbag:<br>*(12 mnd x 18 000 kr/mnd + 25% mva)* | kr 270 000 |
| Kjøp av filterbagger:<br>*(17 stk x 12 000 kr/stk +25 % mva)* | kr 255 000 |
| Transport og opplasting av avvannet slam:<br>*((3 500 kr + 900 kr +135 kr) x 9 turer)* | kr 40 815 |
| Deponering av 216 tonn avvannet slam:<br>*(216 tonn x 850 kr/tonn)* | kr 183 600 |
| TOTALT: | kr 749 415 |

Ved bruk av filterbagger ville besparelsene ligget på rundt 260 000 kr til sammen i forhold til bruk av slamsugebil. Rigg, montering og frakt kommer i tillegg til de totale kostnadene for avvanning med filterpose.

## 10.2 Dekantersentrifuge

Dekantersentrifuge er en avvanningsmetode for slam som er blitt tatt i bruk i anleggsbransjen, og kommer opprinnelig fra kloakkindustrien. Dette er den mest konvensjonelle sentrifugen brukt til avvanning av sediment (39, s. 532).




*Figur 22: Dekantersentrifuge* (68)

Prinsippet for sentrifugen kan i stor grad sammenlignes med prinsippet for hydrosykloner (ref. kap. 6.4). I begge tilfeller blir slamvannet sentrifugert i stor hastighet, slik at slammet blir presset ut mot sylinderveggene. Vannet forblir i senter av sentrifugen og hydrosyklonpattene. Den største forskjellen er at dekantersentrifugen er horisontalliggende, mens hydrosyklonpattene er vertikalt orientert. I tillegg har sentrifugen en innebygd skrue som skraper ut slammet, på grunn av hastighetsforskjellen mellom sentrifuge og skrue. Som Figur 22 viser vil slamvannet skilles ut på innløpssiden, og det avvannede slammet føres ut ved motsatt ende. I forkant av prosessen må rejektet tilsettes flokkulant for å sikre god kvalitet på slamvannet (39, s. 532).

Løsningen er relativt dyr, vedlikeholdskrevende og energikrevende. Samtidig er ikke metoden særlig egnet for mobilitet, og erfaringsmessig vil investeringskostnadene være relativt store (90, 92).

## 10.3 Kammerfilterpresse

I en kammerfilterpresse blir ikke slammet sentrifugert som ved en dekanter. Dette er et mekanisk avvanningsprinsipp bestående av filterkamre, hvor slammet samles og blir presset ut ved høyt trykk. Slamvannet blir silt ut, og det blir liggende igjen en slamkake med et høyere totalvolum av SS i forhold til vann. Det er umulig å fjerne 100 % av vannet ved en slik prosess, men vannmengden vil reduseres betraktelig. Etter avvanningsprosessen (3-6 timer) blir avvannet slam (slamkake) hentet ut/opp (93). I enkelte tilfeller kan filterpressen konstrueres slik at slamkaken faller ned på bakken eller ned i en eventuell container. Endelig finstoffinnhold ligger i praksis mellom 30-40 % (39, s. 533).

Bruk av kammerfilterpresse krever stor personell innsats (90, 97). Ved follobaneutbyggingen på Åsland utenfor Oslo er det gjort forsøk med filterpresse. Dette var effektivt, da slammet ble nærmest helt tørt. Bruk av kammerfilterpresse fordrer at det er et større prosjekt eller en lengre driveperiode, slik at kostnadene svarer seg (93). Denne teknikken er også tatt i bruk på enkelte av AF sine prosjekter, som Follobanen Drill and Blast i Ekebergåsen i Oslo.

Ut fra leverandørs (Nordisk Vannteknikk AS) ståsted er kammerfilterpresse mest effektiv for uorganisk slam. Slike presser kan være innebygd i en container eller stå fritt, slik som i Figur 23. Kammerfilterpresser kan leveres i alle størrelser. For å kunne beregne salgspris for en type filterpresse er leverandør avhengig av å vite blant annet type slam, tørrstoffinnhold (TS-innhold), organisk/uorganisk slam, partikkelstørrelse og vannproduksjon ved drift. I kontakt med selger i Nordisk Vannteknikk AS (92) ble det opplyst at en fullautomatisk

kammerfilterpresse kan koste ca. 350 000 NOK. Denne prisen forutsetter et TS-innhold på 3% og en kapasitet på 30 $m^3$/uke. Denne kammerfilterpressen er relativt liten, og på større prosjekter må man medregne en høyere investeringskostnad. Kammerfilterpresse kan også leveres som halvautomatisk, da med lavere innkjøpspris. Samtidig er det nødvendig med større personell innsats på en halvautomatisk presse.

Ved drift av kammerfilterpresse er bruk av polymer en forutsetning for optimal slamavvanning. I dette tilfellet er PolyClay (ref. kap. 6.1) gunstig, hvor man kan oppnå et innhold på 50-60 % finstoff i avvannet slam (41). Figur 23 viser kammerfilterpresse i drift, hvor avvannet slam (nede til venstre) blir sluppet ned og fraktet på rullebånd.

*Figur 23: Kammerfilterpresse i drift på Follobaneprosjektet på Åsland utenfor Oslo* (69)

## 10.4 Avvanning i slambasseng på anleggsområdet

Avvanning i slambasseng på anleggsområdet er svært plasskrevende, noe som må tas med i vurderingen når slamhåndtering på et prosjekt planlegges. Ikke alle prosjekter har nok plasskapasitet til å benytte seg av denne metoden.

På anleggsprosjekter med stort nok riggareal, er avvanning ved hjelp av slambasseng et godt alternativ. Her etableres en grop på en gunstig plass på anleggsområdet. Gropen er enten sprengt ut, eller gravd ut ved hjelp av anleggsmaskiner. Bassenget sikres mot avsig f.eks. ved å legge ned en fiberduk, som i etterkant blir kledd med sprøytebetong. Gropen blir så tatt i bruk til avvanning av slam. Dette prinsippet kan også anvendes som det første trinnet i renseprosessen. Da er denne gropa et kombinert sedimentasjonsbasseng og

fordrøyningsbasseng. Erfaringsmessig burde et slikt basseng romme omkring 300 $m^3$, men størrelse kommer an på type prosjekt og plasskapasitet. Det er viktigere med stor overflate enn med stor dybde i bassenget med tanke på sedimentering, men bassenget må ikke bli for grunt. Bassengarealet er bundet opp i hele renseperioden, noe som er viktig å ta med i betraktningene under prosjektering.

Bruk av sprøytebetong i bunnen av bassenget er ikke alltid nødvendig. Sprøytebetong brukes i første rekke for å sikre stabil grunn i bassenget (94). Det er også vanlig å benytte sprøytebetong langs kantene av bassenget, i den hensikt å beskytte duken mot ødeleggelse ved opphenting av slam med gravemaskin (4).

Slam blir hentet fra renseanlegget på prosjektet og tømt ned i gropa. Ved bruk av slambasseng i forbindelse med avvanning av slam, er resultatet at slammet skiller seg og sedimentene bunnfeller. Vannet blir pumpet tilbake til renseanlegget for en ny runde med rensing. Slammet som synker til bunnen i bassenget vil etter en stund være relativ fast, og kan graves ut og transporteres med lastebil til deponi.

Ved å benytte seg av denne metoden unngår man utgiftene som påløper ved bruk av sugebil for transportering av slam til deponi. Her blir slammet godt avvannet, og det kan kjøres til deponi ved bruk av lastebil. I tillegg unngår man kostnader ved levering av slam med høyt vanninnhold (93).

Det er viktig å presisere at bassengene må ligge i ro i flere døgn – kanskje uker – før vann og slam skiller lag. Da vil det ofte være gunstig å ha flere bassenger slik at noen får ligge i ro og klargjøres for tømming, mens andre benyttes til etterfylling. Slambasseng fungerer best på sommerstid, da man unngår frost i bassengene. Man må også ta høyde for at det blir tilført ekstra vann til bassenget i form av nedbør (95, 97).

I kontakt med anleggsleder i AF (93) kommer det frem at prosjektet på Åsland i Oslo ikke har hatt store problemer med sedimentasjonsbassenget ved lave temperaturer. Også på vinterstid fylte de på med slam, og det var spesielt viktig å påse at bassenget ikke ble overfylt. De stoppet kun returpumpen av overflatevannet tilbake til renseanlegget. Bortpumping av vann og bunnfelling av sedimenter fortsatte som før ved høyere temperaturer. Ved lave temperaturer over lengre tid kan man få problemer med at vannet som er tilført bassenget fryser over natta. Når det da fylles på med nytt slam og vann som fryser hver natt, kan man få problemer med tømmingen av slambassenget. Det kan ta lang tid før disse lagene med slam og vann smelter og kan transporteres til deponi (97).

I prosjekteringsfasen er det derfor viktig å undersøke hvordan klimaforholdene er i prosjektområdet. Dersom prosjektet er lokalisert på et sted hvor man kan forvente lave temperaturer over lengre perioder, kan installasjon av varmekabler rundt bassenget vurderes. Slike tiltak vil øke kostnadene på basseng for slamavvanning.

Antar i følgende beregninger at mengden avvannet slam er den samme som ved bruk av filterbagger (216 tonn), slik at kostnadene til en viss grad kan sammenlignes. Prisestimatene på maskinarbeid, grunnarbeid, fiberduk og sprøytebetong er gitt av anleggsleder i AF Gruppen (93). Prisene inkluderer mva., timelønn, vedlikeholdskostnader og drivstoff.

**TOTALE KOSTNADER VED BRUK AV BASSENG FOR SLAMAVVANNING:**

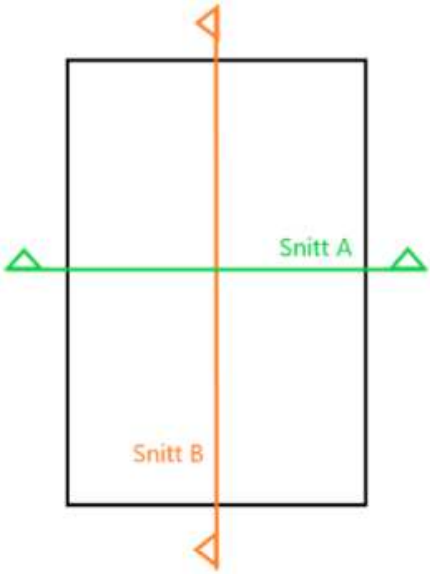
| | |
|---|---|
| Maskinarbeid: | kr 10 000 |
| Grunnarbeider: | kr 7 000 |
| Fiberduk: | kr 3 000 |
| Sprøytebetong:<br>*(Antar 300 $m^2$ à 6 cm, ca. 3 000 kr/$m^3$)* | kr 54 000 |
| Transport og opplasting av slam:<br>*((3 500 kr + 900 kr +135 kr) x 9 turer)* | kr 40 815 |
| Deponering av 216 tonn avvannet slam:<br>*(216 tonn x 850 kr/tonn)* | kr 183 600 |
| TOTALT | kr 298 415 |

Ved stor nok plasskapasitet for etablering av slambasseng i Soknedal, ville kostnadsbesparelsene ligget på rundt 700 000 kr i forhold til dagens løsning, slamsugebil. I Soknedal kan det på vinterstid forventes lave temperaturer over lengre tid, noe som kan redusere kostnadsbesparelsene grunnet nødvendige frostsikringstiltak.

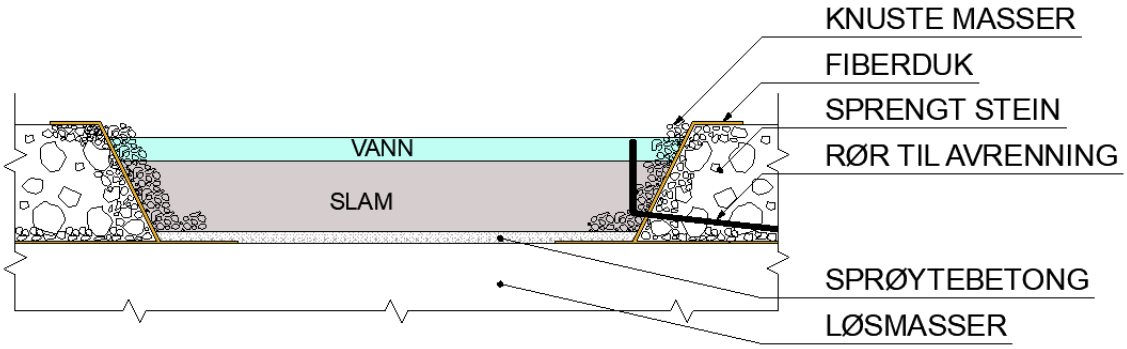
Figur 24 viser eksempel på et sedimentasjonsbasseng. I tilknytning til dette bildet er det utarbeidet to prinsippskisser i form av snitt-tegninger (Figur 26 og Figur 27). Disse illustrerer prinsippet rundt bruk av sedimentasjonsbasseng. Illustrasjonene er ikke tegnet i målestokk.

Det bør brukes både grus og knuste masser på begge sider av fiberduken, i tillegg til grovere masser som sprengt stein bak de knuste massene (se Figur 26 og Figur 27). Knuste masser over fiberduken er i første rekke for å beskytte duken når en graver ut slam. Røret for avrenning bør utformes fleksibelt slik at det kan senkes i takt med redusert vannmengde. Helningen på skråningene bør være på rundt 45 grader (94).

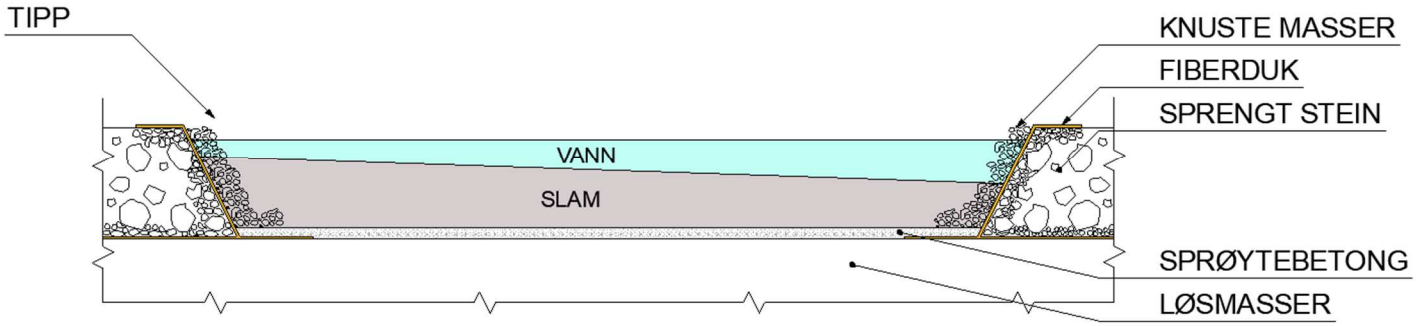
*Figur 24: Sedimentasjonsbasseng med påtegnede snitt* (70)




*Figur 25: Sedimentasjonsbasseng med snitt, sett ovenfra*




*Figur 26: Snitt A* (71)




*Figur 27: Snitt B* (71)

# 11. Gjenbruk av driftsvann

Gjenbruk av vann fra tunneldrift kan være enklere i teorien enn i praksis. Ofte vil det være nødvendig med flere rensetrinn, som f.eks. bruk av sandfilter. En mulig renseprosess er utformet slik: «Sedimenteringsanlegg og filtrering i hurtigsandfilter, evt. med tilsetning av koaguleringskjemikalier foran sedimenteringsanlegget» (4, s. 15). Her kan man redusere innholdet av SS ytterliggere til 100 mg SS/l. Er ikke gjenbruksvannet tilstrekkelig rent, kan det føre til mer slitasje, behov for utskifting av deler på borerigg og generelt hyppigere vedlikehold av maskinene. Resirkulering og gjenbruk av driftsvann vil gi et mer omfattende og plasskrevende renseanlegg med ekstra kostnader. pH-verdien på vannet må også reguleres ned til 6-8 av helsemessige årsaker til operatør.

På ett av AF sine prosjekter i Arendal var kravet om gjenbruk av tunnelvann på 70 % ved driving av en 4 kilometer lang tunnel. I praksis endte prosjektet på omtrent 90 % gjenbruk av driftsvann. Tilført vann ved nedbør og innlekkasje fra sprekker i berget var faktorer som ikke inngikk i regnskapet. Samtidig ble det brukt en del vann til spyling av røys, slik at en stor del vann ble lastet ut sammen med tunnelmassene. Det ble i Arendal tatt i bruk ett stort basseng (300-400 $m^3$) (se Figur 28) hvor mesteparten av slammet fikk satt seg. Dette er et viktig rensetrinn ved resirkulering av vann, som er avgjørende for å få tilstrekkelig bunnfelling før vannet går inn i rensecontaineren. Dersom det er for mye partikler i vannet kan boreriggen gå tett. I tillegg til slambasseng besto renseanlegget av sandfangcontainer, oljeutskiller, 2 stk. vanntanker à 38 $m^3$, samt $CO_2$-tilsetting for pH-justering. På prosjektet i Arendal ble det ikke observert en økning av vedlikeholdskostnader ved gjenbruk av tunnelvann (96).

Erfaringsmessig kan gjenbruk av tunnelvann være et positivt tiltak for resirkulering og fokus på miljø. Det er, som nevnt i dette kapittelet, nødvendig med tilstrekkelige rensemetoder for minimalt slamnivå i vannet. Slamrensing AS har resirkulert driftsvann på flere tunnelprosjekter, som ifølge deres daglige leder var vellykket. I forkant av prosjektene ble det satt krav av leverandør av boremaskinene på ønsket vannkvalitet. På noen av prosjektene ble SS-innholdet redusert ned til 30 mg SS/l vann. Slamrensing erfarer at man kan få gode resultater ved gjenbruk av driftsvann, selv om man kan støte på enkelte utfordringer (90).

Figur 28 viser et oversiktsbilde fra drivingen av Hesthagtunnelen. Nede til venstre på bildet vises et fordrøyningsbasseng med terskler.

*Figur 28: Oversiktsbilde med drone, Hesthagtunnelen* (72)

# 12. Lokale grep for global endring

Verden står i dag ovenfor flere ulike utfordringer knyttet til utslipp, og utslipp fra anleggsvirksomhet er intet unntak. Lokale grep kan gi global gevinst. Det jobbes kontinuerlig med utvikling av nye og bedre løsninger for å redusere utslipp av uønskede parametre som klimagasser, kjemikalier, tungmetaller etc., men det er fortsatt en lang vei å gå.

De globale konsekvensene av $CO_2$-utslipp er som kjent havforsuring, smelting av is ved polene, stigende havnivå, temperaturøkning, mer ekstremvær etc. Videre kan temperaturøkninger eksempelvis få konsekvenser for økosystemer og matproduksjon.

De siste 20-30 årene har utslipp av klimagasser hatt en vekst på omtrent 3 % i Norge. I motsetning til utslippet av karbondioksid, har det vært en reduksjon i utslipp av andre klimagasser (eksempelvis: fluorholdige gasser, lystgass, metangass). Mange av disse klimagassene har et mye høyere globalt oppvarmingspotensial enn $CO_2$. Reduksjonen i utslipp av disse er derfor positiv (73).

Maskiner benyttet ved anleggsdrift er en viktig kilde til utslipp av $CO_2$. Eksempler på anleggsmaskiner som benyttes er lastebiler, gravemaskin, borerigg, hjullaster, dumpere, etc. I tunneldrift er det vanlig å benytte seg av dieseldrevne maskiner (74).

> Dieselavgassens sammensetning avhenger av mange ulike parametere som motortype, dieselkvalitet, service og vedlikehold, vegbane, kjøreteknikk og overlast, hastighet, avgassrensing m.m. Men også informasjon, holdninger og motivasjon må nevnes som viktige faktorer i arbeidet med å redusere eksponeringen for dieselavgass under jord, og derved bedre luftkvaliteten (75, s. 28).

Ved å benytte seg av maskiner drevet på fornybar diesel eller elektrisitet, kan man redusere enkelte utslipp betraktelig. Dette gir også flere helsemessige gevinster for anleggsarbeiderne, og en global gevinst med tanke på redusert $CO_2$-utslipp. Den fornybare dieselen er gunstig fordi den ikke tilfører atmosfæren mer $CO_2$ (76). Plantene som brukes i produksjon av biodiesel har tatt opp $CO_2$ fra lufta gjennom fotosyntese. Tilførselen av klimagassen ved forbrenning av biodiesel utgjør derfor ingen forskjell. Dette fordi $CO_2$-innholdet i organismen uansett ville blitt ført tilbake til naturen ved naturlig nedbryting. Ulempen ved bruk av biodiesel er at partikkelinnholdet i arbeidsatmosfæren i tunnel ikke reduseres, i motsetning til innholdet av NOx-gasser. Små partikler i lufta vil ha en større helserisiko enn store partikler, fordi disse får passasje ned til lungene (75).

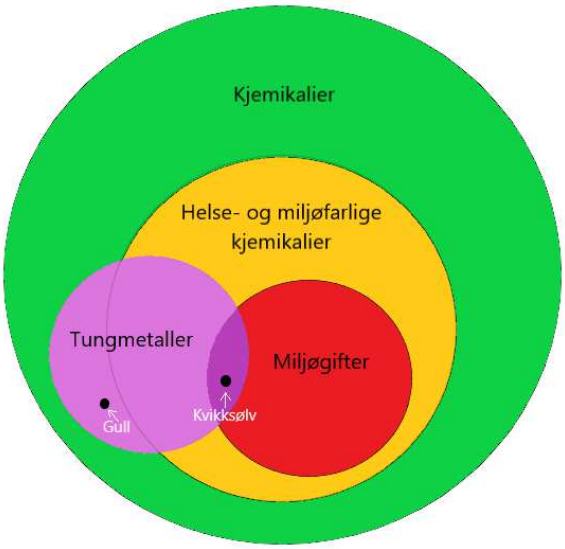
Tiltak for å redusere utslipp til atmosfæren er:

- Montering av filter i maskiner for reduksjon av partikler og NOx-gasser.
- Svovelfri eller lavsvovelig diesel på anleggsmaskiner som har montert renseutstyr.
- Opprettholde hyppig og nødvendig vedlikehold og observasjon av motorer, drivstoffsystem og tanksystem.
- Utskifting av maskinpark til maskiner med lavemisjonsmotorer og om nødvendig fabrikkinstallert avgassrensing.

(75, s. 21)

Det er krav om et fullstendig og tilgjengelig stoffkartotek på alle anlegg hvor det tas i bruk eller oppbevares kjemikalier. Ved uønskede hendelser i forbindelse med kjemikalier skal stoffkartoteket gi nødvendig informasjon om fare, tiltak og behandling (77). Mange produkter som benyttes i anleggsvirksomhet inneholder kjemikalier som kan ha negativ effekt på det ytre miljøet og levende organismer. Helseeffektene ved eksponering av kjemikalier er mange. Eksempler på dette er kreft, skader på arveanlegget, syns- og hørselstap, irritasjoner og etseskader. Arbeidstaker kan bli utsatt for kjemikalier både ved innånding, svelging og berøring (78). Innunder kjemikalier inngår også miljøgifter og tungmetaller (Figur 29).

Lokale utslipp av kjemikalier vil også kunne få globale konsekvenser. Norge er en stor nasjon innen eksport av sjømat. I 2018 eksporterte vi hele 2,7 millioner tonn til andre land (79). Dersom fisken i Norge har fått i seg kjemikalier fra ulike utslipp, kan disse kjemikaliene spres rundt til andre land ved eksport. Videre kan kjemikaliene akkumulere oppover i næringskjedene, og det kan gå flere generasjoner før parameterne er ute av systemet (80).




*Figur 29: Kategorisering av kjemikalier* (81)

For å redusere de globale konsekvensene ved lokale utslipp vil det være viktig å bruke de mest miljøvennlige kjemikaliene på markedet. I tillegg er det viktig å kun bruke det som er høyst nødvendig. Forsiktighet ved håndtering er også viktig. $CO_2$-utslipp på anleggsprosjekter kan blant annet reduseres ved å se på alternativer til maskiner og biler drevet på fossile brensler. Her er elektriske maskiner eller hybrid-maskiner et alternativ (75). Ved bruk av elektriske maskiner unngår man også søl av drivstoff, samt at støynivået vil bli redusert.

Andre små tiltak for et bedre miljø er å unngå tomgang for både biler og maskiner, og sørge for at absorbent er tilgjengelig i alle anleggsmaskiner til enhver tid. Dette er et krav iht. kontrakt mellom entreprenør og byggherre i Soknedal. Ved eventuelle oljespill benyttes absorberende medium, enten miljøvennlig bark (Zugol), matter eller pølser. Dette benyttes for å absorbere mest mulig olje eller andre kjemikalier/væsker. Absorbentene hindrer at store mengder væske trekker seg ned i undergrunnen, og de blir i etterkant kastet i godkjente avfallsbeholdere (85).

# 13. Innovasjon

«Innovasjon er å fornye eller lage noko nytt som skapar verdi for verksemd, samfunn eller innbyggarar. Forma er eksperimenterande og løysinga er ikkje kjend på førehand» (82).

En applikasjon (app) er en mulig innovativ løsning for å forbedre sikkerheten ved drift av mobile vannrenseanlegg. Dette er ikke nødvendigvis en ny oppfinnelse, men en videreutvikling av en eksisterende patent. Appen gir mulighet til både overvåking og drift av vannrenseanlegget. Gjennom denne teknologien kan man i større grad unngå uønskede hendelser, som farlig utslipp til resipient, lekkasjer, oversvømmelser etc.

Appen skal kunne brukes på alle prosjekter innad i en bedrift. Brukernavn og passord for tilgang til appen blir opprettet før prosjektoppstart for gjeldende prosjekt og renseanlegg.

Det er nødvendig med installasjon av kameraer på anleggsplassen og i tunnelen. Kameraene tar opp video og tar bilde av anlegget som blir tilgjengelige i appen, slik at personell til enhver tid kan kontrollere renseanlegget. Dette sparer personalet for mye tid med tanke på reising til og fra renseanlegget. I tillegg vil dette spare miljøet for små mengder utslipp.

På appen er det mulig å lagre kommentarer, bilder og annen informasjon. Ved rutinemessig kontroll av anlegget fylles informasjon inn i sjekklister i appen, og disse blir umiddelbart tilgjengelig for alle brukere med tilgang. Leverandør av renseanlegget vil også ha tilgang til relevant informasjon.

Ved ulike slamhåndteringsløsninger kan man gjennom appen overvåke mengde slam. Ved avvanning i filterpose varsles det automatisk i appen ved fullført avvanningsprosess. Ved bruk av sugebil for tømming av slam i sedimentasjonscontainer, vil et måleinstrument koblet opp mot appen varsle når det er på tide å bestille tømming. Det er også mulig for personell å følge med på slamnivået i container, slik at man i tillegg kan planlegge tømming selv.

Når et skift er over, eller renseanlegget skal stenges ned av andre grunner, vil det være mulig å gjøre dette via applikasjonen. Her sparer man mye tid i motsetning til manuell nedstenging.

Det blir stadig tatt i bruk mer flytende fellingskjemikalier ved sedimentering. Ved lite gjenstående kjemikaliemengde i doseringsenheten vil man få varsel i appen i god tid før det blir tomt. Samtidig vil appen varsle dersom forbruket øker eller minker betraktelig. Tiltak kan dermed settes inn i en tidlig fase av en hendelse. Alle registrerte verdier blir lagret kontinuerlig i appen, og blir liggende permanent. Som en back-up vil en versjon av applikasjon være tilgjengelig på en datamaskin. Dersom det skulle oppstå en uønsket hendelse blir det i ettertid mulig å finne tilbake til verdier og annen dokumentasjon.

I tillegg til sensorer som måler konsentrasjonen av kjemikalier, vil det også være muligheter for å installere sensorer i elva som registrerer vannføringen. Dersom det er liten vannføring, vil konsekvensene for et utilsiktet utslipp være større. Ved et slikt tilfelle vil det varsles i appen, slik at man har mulighet til å følge ekstra godt med og eventuelt stanse driften midlertidig.

# 14. Konklusjon

## 14.1 Tungmetaller og kjemikalier

Ulike kjemikalier, som tungmetaller, kan bioakkumulere oppover i næringskjeden. Inntak av planter og dyr som har vært eksponert for tungmetaller, kan påvirke mennesker negativt. Andre negative konsekvenser kjemikalier kan medbringe er skade ved innånding og hudkontakt. Derfor er det generelt viktig med forsvarlig håndtering av kjemikalier, også i anleggsbransjen. Dette gjelder også ved valg av type drivstoff, spesielt ved tunneldrift.

## 14.2 pH-nøytralisering

Med tanke på arbeidsmiljø og sikkerhet for driftsoperatører på renseanleggene, er pH-nøytralisering ved bruk av $CO_2$ klart best sammenlignet med syre. En overdosering av saltsyre/svovelsyre i driftsvannet kan føre til en meget lav pH-verdi. Effekten ved tilsetting av $CO_2$ derimot, vil avta når pH er redusert ned til ca. 6,4. Skal pH reduseres ytterligere må tilsatsen av $CO_2$ økes. Økonomisk sett vil valg av type rensemedium avhenge av flere faktorer, som geografisk orientering, størrelse, type og varighet på anlegget.

## 14.3 Forhøyede kobberverdier

Gjennom arbeidet med bacheloroppgaven har det stadig dukket opp nye utfordringer å ta tak i. Blant annet viste prøvetaking i renseanlegget to målinger med svært forhøyede verdier av kobber i driftsvannet. Anleggsledelsen i Soknedal uttrykte at de ikke hadde noen forklaring på verdiene, men at det ville vært interessant å få kjennskap til årsaken.

Gjennom lesing av rapporter og studering av geologisk kartlegging viste det seg at det er forekomster av grønnstein i utkanten av prosjektområdet. Denne bergarten kan tidvis ha et høyt innhold av kobber. Sporadiske områder med grønnstein kan også ha forekommet i tunneltraseen, med mulighet for påvirkning av kobberverdiene i driftsvannet. Forekomsten av glimmer i tunneltraseen kan også inneholde kobber, noe som kan være en alternativ forklaring. Det er ikke kommet frem andre faktorer som kan ligge bak de forhøyede kobberverdiene.

## 14.4 Førhøyede kvikksølvverdier

Det ble gjennom prøvetaking i Sokna oppdaget høye verdier av kvikksølv. Da høye verdier av denne parameteren ikke er ønsket i ferskvann, var det grunn til å se nærmere på mulige årsaker. I kontakt med Soknedal Historie- og Museumslag kom det opp flere mulige årsaker til forekomsten. Fossum Mølle (nedlagt i 1968) benyttet i sin tid Ceresan, som inneholder

betydelige mengder kvikksølv. Fossum Mølle ligger nede ved Sokna, øst for Fossum bro. I 2013/2014 ble det dumpet store kvantum av bilbatteri nede ved elva (nedstrøms ny bro). Bilbatterier kan inneholde ulike kjemikalier. Dersom disse har blitt påført skader, kan det ha ført til lekkasje av blant annet kvikksølv. Dette kan i senere tid ha ført til avrenning, spesielt ved graving i forbindelse med utbyggingen av ny E6 i Soknedal.

## 14.5 Organisatoriske utfordringer

Det er viktig med avklarte ansvarsforhold og god kommunikasjon på alle prosjekter. Før bruk av et vannrenseanlegg må det ligge en risikoanalyse til grunn. Denne bør gi innsikt i konsekvensene ved drift og vedlikehold for det spesifikke anlegget. I tillegg kan dette øke konsekvensforståelsen ved uønskede hendelser. Et eksempel på manglende konsekvensforståelse er det basiske utslippet av tunnelvann til Sokna i forbindelse med driving av Soknedalstunnelen. Opplæring ved oppstart og nødvendig repetisjon av opplæringen er også en viktig faktor for å sikre god konsekvensforståelse hos de ansatte. Dette ble erfart i Soknedal.

## 14.6 Slamhåndtering

I kostnadsoverslagene utført i denne rapporten er det avvanning i slambasseng som kommer best ut, deretter avvanning med filterbag. Det er viktig å bemerke seg at dette er to forskjellige avvanningsmetoder. Oppsettet med filterbagger er ikke like plasskrevende som slambasseng. Samtidig vil filterbagger inne i oppvarmet telt være egnet til bruk gjennom hele året, uavhengig av temperatur. Slambasseng vil ikke fungere optimalt ved lave temperaturer. Et tiltak mot frost i slambassenget kan være installasjon og drift av varmekabler i bassenget.

## 14.7 Gjenbruk av driftsvann

Byggherre kan stille krav til gjenbruk av driftsvann ved tunnelutbygging. For å unngå økte vedlikeholdskostnader på maskinene, er det nødvendig med tilstrekkelige rensemetoder. Det er viktig å redusere mengden partikler betraktelig før vannet blir brukt på ny under driving av tunnelen(e).

## 14.8 Innovasjon

Ved bruk av en applikasjon som sikrer og forenkler drift av et vannrenseanlegg, vil det være mulig å spare personell for unødvendig tidsbruk. Stans, regulering, videoovervåking og bildedokumentasjon er noen muligheter som kan inngå i løsningen.

# 15. Forkortelser og ordliste

**Forkortelser**

| | |
|---|---|
| **AFA** | AF Anlegg |
| **HMS** | Helse, miljø og sikkerhet |
| **HS** | Hydrosykloner |
| **NGIG** | Offisiell nordisk resipient-type brukt i interkalibreringen med andre land i Nord-Europa |
| **NGU** | Norges geologiske undersøkelse |
| **NINA** | Norsk institutt for naturforskning |
| **NTNU** | Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet |
| **NVE** | Norges vassdrags- og energidirektorat |
| **PAH** | Polysykliske aromatiske hydrokarboner |
| **PUKK-modell** | Planlegging, utførelse, kontroll og korrigering |
| **SS** | Suspendert stoff |
| **SVV** | Statens vegvesen |
| **TNT** | Trinitrotoluen, en type sprengstoff |
| **YM-plan** | Ytre miljøplan |

**Ordliste**

| | |
|---|---|
| **Abiotisk** | Livløs |
| **Alkalisk** | Basisk |
| **Bioakkumulering** | Opptak og opphoping av stoffer i levende organismer. |
| **Bulk** | Blande- og ladebil ved bruk av sprengstoffet slurry i tunneldrift. |
| **Ceresan** | Et soppdrepende middel basert på organiske kvikksølvforbindelser. |
| **Detonasjon** | Eksplosjon, når sprengstoffet går av. |
| **Diffuser/diffusør** | Apparat som brukes for å spre f.eks. $CO_2$ i vann. |
| **Diffusjon** | Spredning |
| **Emulsjon** | Blanding av to væsker som ikke er fullstendig løselige i hverandre, f.eks. olje og vann. |
| **Emulsjonssprengstoff** | Se slurry |
| **Eutrofiering** | Prosess der planteproduksjonen øker på grunn av økt tilførsel av næringsstoffer. |
| **Fauna** | Dyrelivet i et bestemt område og/eller periode. |
| **Flokkulering** | Sammenslåing av mindre partikler, dannelse av større partikler. |
| **Flora** | Plantelivet i et bestemt område og/eller periode. |
| **Flow-inn/-ut** | Vannets inn-/utløp i rensecontainer. |
| **Forsager** | Sprengstoffladning som ikke har gått av ved sprengning. |
| **Fotosyntese** | Kjemisk prosess som foregår i planter. Sollys omformer $CO_2$ til blant annet oksygen og karbohydrater. |
| **Hydroksidion ($OH^-$)** | Negativt ladde ionet som er bygget opp av ett hydrogenatom og ett oksygenatom, og karakteriserer baser. |

| | |
|---|---|
| **Hydrosyklon** | Komponent som kan brukes for å skille partikler fra væsker. |
| **Karsinogen** | Kreftfremkallende |
| **Koagulering** | Sammenslåing av mindre partikler, dannelse av større partikler, i forkant av flokkulering. |
| **Konsentrasjonsgradient** | Konsentrasjonsforskjell, gradienten oppstår mellom et område med høy konsentrasjon og et område med lav konsentrasjon. |
| **Metabolsk endeprodukt** | Et endeprodukt som dannes gjennom metabolisme. Metabolisme er summen av de kjemiske prosessene som foregår i en celle/organisme (oppbygging og nedbryting). |
| **Oljeskimmer** | Apparat som samler opp og fjerner olje fra væskeoverflater. |
| **Oljeutskiller** | Komponent for å skille olje fra vann, ofte containerbasert. |
| **PAX** | Prepolymerisert aluminiumklorid, fellingskjemikalie. |
| **PolyClay** | Type fellingsmiddel/flokkulant basert på naturlige komponenter. |
| **Polymer** | Stoff bestående av kjedeformede molekyler med stor molekylmasse. |
| **Primer** | En forsterkerladning (booster) for å sikre effektiv og god detonasjon. Plasthylse/-rør som inneholder sprengstoff. |
| **Påhugg** | Stedet hvor tunneldrivingen starter. |
| **Rejekt** | Slamvann |
| **Sedimentering** | Bunnfelling, når partiklene i vannet har større tetthet enn vannet. |
| **Semi-granulær** | Delvis kornete. |
| **Slurry** | Type sprengstoff som består av en olje- og saltløsningsfase. |

| | |
|---|---|
| **Stuff** | Fronten av berget under tunneldriving, hvor man borer og sprenger. |
| **Syrekonstant** | En likevektskonstant som angir hvor sterkt en syre holder på hydrogenionene. |
| **Toksisk** | Giftig |
| **Toprotisk syre** | Syre som har to hydrogenatomer den kan gi fra seg. |
| **Trivialnavn** | Dagligdagse navn på kjemiske stoffer. |
| **Turbiditet** | Et mål på mengden finpartikulært materiale i vann. |
| **Udetonert** | Når sprengstoffet ikke har gått av, ikke eksplodert. |
| **Økosystem** | Et samfunn av levende organismer i tillegg til de abiotiske faktorene i miljøet de omgis av. |

# 16. Skriftlige og muntlige referanser


1. AF Gruppen. E6 Soknedal [Internett]. AF Gruppen Norge AS; 2019 [cited 2019 17. januar]. Available from: https://afgruppen.no/prosjekter/anlegg/e6-soknedal/.

2. Statens vegvesen. E6 Soknedal [Internett]. Statens vegvesen; 2019 [cited 2019 17. januar]. Available from: https://www.vegvesen.no/Europaveg/e6soknedal.

3. AF Gruppen. Entreprenørskap og vekst. Årsrapport 2018. Oslo: AF Gruppen Norge AS; 2019.

4. Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk. Behandling og utslipp av driftsvann fra tunnelanlegg. Oslo: Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk; 2009. Report No.: Teknisk rapport 09.

5. Forurensningsloven. Lov om vern mot forurensninger og om avfall (forurensningsloven) [Lov]. Klima- og miljødepartementet; 2018 [Available from: https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1981-03-13-6.

6. Lakse- og innlandsfiskloven. Lov om laksefisk og innlandsfisk mv. (lakse- og innlandsfiskloven): Klima- og miljødepartementet; 2018 [Available from: https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1992-05-15-47.

7. Straffeloven. Lov om straff (straffeloven) [Lov]. Justis- og beredskapsdepartementet; 2019 [Available from: https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2005-05-20-28?q=straffeloven.

8. Klausen T. Statens vegvesen Region midt. E6 Vindåsliene - Korporalsbrua. Søknad om utslippstillatelse for midlertidig anleggsdrift og tunnelvaskevann. Trondheim: Sweco Norge AS; 2015.

9. Haugen T, Lorvik M. Utslippstillatelse for anleggsvirksomhet i forbindelse med tunnelvirksomhet på E6 ved Soknedal sentrum i Midtre Gauldal kommune. Trondheim: Fylkesmannnen i Sør-Trøndelag; 2016.

10. Mørch H. Ytre miljøplan: E6 Vindåsliene - Korporalsbrua. u.s.: Statens vegesen; 2016.

11. International Organization for Standardization. ISO 14001. Miljøledelse [Internett]. Brussel: ISO; 2015 [updated september 2015; cited 2019 19. mars]. Available from: https://www.standard.no/fagomrader/miljo-og-barekraft/miljostyring----iso-14000/.

12. AF Gruppen. Verdibasert vekst. Årsrapport 2017. Oslo: AF Gruppen ASA; 2018.

13. Endr. i avfallsforskriften. Forskrift om endring i forskrift om gjenvinning og behandling av avfall (avfallsforskriften): Miljøverndepartementet; 2008 [Available from: https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2007-09-20-1086.

14. Sweco Norge. Overvåkningsprogram for tunneldrivevann E6 Soknedalen. u.s.: Sweco Norge AS; 2017. Report No.: 2.

15. Hetland M. Syrer og basar [Internett]. u.s.: Nettskulen; 2018 [updated 17. januar 2018; cited 2019 08. februar]. Available from: http://nettskulen.no/syrer-og-basar/.

16. Pedersen B. tungmetaller [Internett]. Oslo: Store norske leksikon; 2019 [updated 04. april 2019; cited 2019 8. februar ]. Available from: https://snl.no/tungmetaller.

17. NIVA, SFT. Biomagnifikasjon [Internett]. u.s.: Nasjonal digital læringsarena; 2019 [cited 2019 08. februar]. Available from: https://ndla.no/subjects/subject:24/topic:1:183751/topic:1:184790/topic:1:3946/resource:1:114121.

18. St.meld. nr. 21 (2004–2005). Regjeringens miljøvernpolitikk og rikets miljøtilstand. u.s.: Klima- og miljødepartementet; 2005.

19. Wist I. Ulrikken tunnel - Søknad om midlertidig utslipp av tunnelvann [Internett]. Sandvika: Norconsult AS; 2012 [cited 2019 18. mars]. Available from: http://www3.bergen.kommune.no/BKSAK_filer/bksak%5C0%5CVEDLEGG%5C2012257656-3631459.pdf.

20. Miljødirektoratet. Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) [Internett]. u.s.: Miljøstatus; 2017 [updated 09. juni 2017; cited 2019 14. februar]. Available from: https://www.miljostatus.no/tema/kjemikalier/prioritetslisten/pah/.

21. Olaya M. Fenantren [Internett]. u.s.: Pixabay; 2019 [updated 22. oktober 2017; cited 2019 14. februar]. Available from: https://pixabay.com/sv/illustrations/fenantren-kolv%C3%A4ten-aromatiska-kemi-2876288/.

22. Folkehelseinstituttet. PAH [Internett]. Oslo: Folkehelseinstituttet; 2018 [updated 13. februar 2018; cited 2019 18. februar]. Available from: https://www.fhi.no/nettpub/luftkvalitet/pah/pah/.

23. Økland IH, Edseth YG, Engdahl AK, Olsen SK. En oversikt over forurensningsstatusen til oljesand i Alberta, Canada [Internett]. Oslo: Universitetet i Oslo; 2012 [cited 2019 28. februar]. Available from: http://anders.gebweb.net/wp-content/uploads/2012/05/Prosjektoppgave-i-milj%C3%B8kjemi-27.04.12Endelig.pdf.

24. Pedersen B. overflatehinne [Internett]. Oslo: Store norske leksikon; 2017 [updated 13. september 2017; cited 2019 28. februar]. Available from: https://snl.no/overflatehinne.

25. Kofstad PK, Pedersen B. nitrogen [Internett]. Oslo: Store norske leksikon; 2018 [updated 15. november 2018; cited 2019 04. april ]. Available from: https://snl.no/nitrogen.

26. Vikan H. Avrenning av ammoniumnitrat fra uomsatt sprengstoff til vann - Giftvirkninger i resipient og renseløsninger [Internett]. Norsk vannforening; 2013 [cited 2019 14. februar]. Available from: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2013_882436.pdf.

27. Blackman A, Gahan LR, Aylward GH, Findlay TJV. Aylward and Findlay's SI Chemical Data. 7th ed. Milton: John Wiley & Sons; 2014.

28. Torp M, Vikan H. pH-regulering av tunneldrivevann med CO2-gass. Statens vegvesens rapporter No. 244. [Internett]. Oslo: Statens vegvesen; 2013 [cited 2019 21. februar]. Available from: https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/publikasjoner/Statens+vegvesens+rapporter/_attachment/528628?_ts=1414fbbd5a0&fast_title=SVV+rapport+244+pHregulering+av+tunneldrivevann.pdf.

29. Bækken T. Avrenning av nitrogen fra tunnelmasse [Internett]. Oslo: Norsk institutt for vannforskning; 1998 [cited 2019 22. februar ]. Available from: https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/210080/3920_72dpi.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

30. Norges vassdrags- og energidirektorat. Sokna, tilløpsbekker [Internett]. u.s.: VannNett - Portal; 2007 [updated 19. oktober 2007; cited 2019 14. februar]. Available from: https://vann-nett.no/portal/#/waterbody/122-323-R.

31. Iversen A, Sandøy S. Klassifisering av miljøtilstand i vann: Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver. Veileder 02. [Internett]. Trondheim: Direktoratsgruppen for gjennomføringen av vannforskriften; 2018 [cited 2019 14.

februar]. Available from: http://www.vannportalen.no/globalassets/nasjonalt/dokumenter/tema-a-a/klassifisering/klassifiseringssystemet-veileder/klassifiseringsveileder_print_02.2018.pdf.

32. Fagermo JI, Messelt H, Birkeland Ø, Seland G, Johannesen OT, Halvorsen M, et al. Sikkerhet ved arbeid i tunnler og bergrom. Håndbok nr. 10. [Internett]. Oslo: Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk; 2016 [cited 2019 28. april]. Available from: http://nff.no/wp-content/uploads/2016/12/Ha%CC%8Andbok-nr.-10-Web.pdf.

33. Orica Norway. Teknisk informasjon: Kemix A, Rørladninger [Internett]. Gullaug: Orica Norway AS; 2018 [updated 12. mars 2018; cited 2019 28. april]. Available from: http://www.oricaminingservices.com/no/nn/product/products_and_services/packaged_explosives/page_packaged_explosives/kemix_a/400.

34. Blix JE, Fjeldberg L, Seland G. Håndbok for utfører av bergsprengningsarbeid. Teknisk rapport 08. [Internett]. Sandvika: Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk; 2014 [cited 2019 28. april]. Available from: http://nff.no/wp-content/uploads/2014/11/Haandbok_08.pdf.

35. Orica Norway. Teknisk informasjon: Civec Control, Norge [Internett]. Gullaug: Orica Norway AS; 2019 [updated 12. februar 2019; cited 2019 28. april]. Available from: http://www.oricaminingservices.com/no/nn/product/products_and_services/bulk_systems/page_bulk_systems/civec_control/1067.

36. AF Gruppen. Oversiktsbilde ved påhugg nord (rensetelt nærmest kamera) [Bilde]. AF Gruppen Norge AS; 2018.

37. AF Gruppen. Oversiktsbilde med rensetelt ved påhugg sør [Bilde]. AF Gruppen Norge AS; 2018.

38. Slamrensing. Mobilt og kompakt vannrenseanlegg for entreprenørbransjen. Nøtterøy: Slamrensing AS; 2017.

39. Ødegaard H, Norheim B, Norsk Vann BA, editors. Vann- og avløpsteknikk. 2. utg. Hamar: Norsk Vann; 2014.

40. Fjell FL. Skjermdump av nivåreguleringen til pumpe i Soknedal [Bilde]. Fredrik Lange Fjell; 2017.

41. Nordisk Vannteknikk. Polyclay [Internett]. Drammen: Nordisk Vannteknikk AS; 2018 [cited 2019 02. mai]. Available from: https://www.nordiskvannteknikk.no/polyclay/.

42. Qader HJ. Utslippsreduserende tiltak av spyle-og drensvann i forbindelse med bygging av Bodøtunnelen [bacheloroppgave]. Narvik: Universitetet i Tromsø; 2017.

43. Garmo Ø, Escudero C. Using CO2-gas to lower the pH of tunnelling waste water. Rapport Nr. 298. [Internett]. Hamar: Statens vegvesen; 2014 [cited 2019 21. januar]. Available from: https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/publikasjoner/Statens+vegvesens+rapporter.

44. Norges geologiske undersøkelse. Berggrunnskart N250. Midtre Gauldal kommune [Internett. Kart]. Norges geologiske undersøkelse; 2019 [cited 2019 14. februar ]. Available from: http://geo.ngu.no/kart/minkommune/?kommunenr=5027.

45. Langåker MØ. Soknedalstunnelen - Ingeniørgeologisk rapport til konkurransegrunnlag. Trondheim: Sweco Norge AS; 2015.

46. Norges Geologiske Undersøkelse. Norske bergarter [Internett]. Norges Geologiske Undersøkelse; u.å. [Available from: https://www.ngu.no/sites/default/files/Norsk%20bergarter_poster_screen.pdf.

47. Norconsult. Søknad om utslipp av tunnelvann i anleggsfasen: E6 Helgeland sør, Kulstaddalen nord - Åkvik. E02. [Internett]. u.s.: Norconsult AS; 2017 [updated 08. september 2017; cited 2019 26. februar ]. Available from:

https://www.fylkesmannen.no/contentassets/30bc555558c5412a9b7e189cea207e1e/soknad-anleggsarbeider-e6-helgeland-sor.pdf.

48. Andersson M, Eggen O, Finne TE, Ottesen RT. Områder i Norge med naturlig høyt bakgrunnsnivå (over normverdi) -betydning for disponering av masser. Rapport nr.: 2011.035. [Internett]. Trondheim: Norges geologiske undersøkelse; 2011 [cited 2019 05. mars ]. Available from: https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2011/2011_035.pdf.

49. Andersen JR, Bratli JL, Fjeld E, Faafeng B, Grande M, Hem L, et al. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. SFT-veiledning. Nr. 97: 04. [Internett]. Trondheim: Statens forurensningstilsyn; 1997 [cited 2019 13. februar ]. Available from: https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/klif/publikasjoner/1468/ta1468.pdf.

50. Google. Midtre Gauldal [Internett. Satelittkart]. Google Maps; 2019 [cited 2019 4. mars]. Available from: https://www.google.com/maps/place/Midtre+Gauldal/@62.949727,10.1870136,1636m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x466cbff838d73809:0x1ec394b9c14df0ba!8m2!3d62.9094483!4d10.4693493.

51. Grant W, Schuman JS. Toxicology of the eye [Internett]. Springfield: Charles C. Thomas; 1993 [cited 2019 13. mars]. Available from: https://books.google.no/books?id=mDLYCQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=no&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.

52. Kartverket. Norge i bilder [Internett. Flybilde]. Norgeskart; 2019 [cited 2019 29. april ]. Available from: https://www.norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1003&zoom=13&lat=6989257.53&lon=256022.95&sok=sokned&markerLat=6989257.525936755&markerLon=256022.94996606497&panel=searchOptionsPanel.

53. Willersrud R. Miljøtekniske grunnundersøkelser Soknedal. u.s.: Sweco Norge AS; 2015.

54. Rueslåtten RM. Søknad om utslippstillatelse - anleggsvirksomhet Tolga kraftverk [Internett]. Hamar: Eidsiva Vannkraft AS; 2018 [cited 2019 27. februar ]. Available from: https://www.fylkesmannen.no/contentassets/67ba3290b7bf4c418b919ce2bc6ec452/soknad-om-utslippstillatelse---tolga-kraftverk.pdf.

55. Seperation Technology. Hydrosykloner [Internett]. u.s.: Seperation Technology AS; 2019 [cited 2019 09. mai]. Available from: https://www.septec.no/HYDROSYKLONER.php.

56. Thylander EK. Utredning av beste tilgjengelige teknikker for rensing av produsert vann som slippes ut fra petroleumsvirksomheten til havs [Internett]. Høvik: DNV GL AS Oil & Gas BDL Environmental Risk Management; 2015 [updated 06. november 2015; cited 2019 07. mai]. Available from: https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M444/M444.pdf.

57. Miljødirektoratet. Drift av oljeutskillere [Internett]. Trondheim: Miljødirektoratet; 2013 [cited 2019 27. februar ]. Available from: https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M30/M30.pdf.

58. Statens vegvesen. Injeksjon [Internett]. u.s.: Statens vegvesen; 2016 [updated 22. desember 2016; cited 2019 01. mars]. Available from: https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/tunneler/bygging-og-sikring/injeksjon.

59. Kruse P. Granskingsrapport - Soknedal, Utslipp tunnelvann med høy pH. Oslo: AF Gruppen Norge AS; 2018.

60. Johansen L. Undersøkelsesrapport: Utslipp av basisk vann fra anleggsarbeider i Soknedalstunnelen til Sokna. Molde: Statens vegvesen; 2018.

61. Solem Ø, Bergan MA, Bremset G, Havn TB, Jensås J, Ulvan E, et al. Ungfiskundersøkelser i Gaulavassdraget. Årsrapport 2018. . Trondheim: Norsk institutt for naturforskning; 2018. Report No.: NINA 1619.

62. Slamrensing. Operatørmanual for vannrenseanlegg og igangkjøring av anlegget. Nøtterøy: Slamrensing AS; 2017.

63. Laugesen J, Nestaas I, Jensen T, Østbøll H, Emaus K, Francingues N. Byggeplan: E18 mellom Festningstunnelen og Ekebergtunnelen (etappe 1). Disponering av rene leir- og siltmasser. [Internett]. Høvik: Statens vegvesen; 2003 [cited 2019 05. mars]. Available from: https://www.vegvesen.no/_attachment/63711/binary/19846.

64. Fjell FL. Slambehandling. Avvanning av slam. Nøtterøy: Slamrensing AS; 2018.

65. Statens vegvesen. Vedlegg 1 Jordartsklassifisering. Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser. [Internett]. u.s.: Statens vegvesen; 2005 [updated mars 2005; cited 2019 12. mars]. Available from: https://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Kvalitetsikrede%20_filer/Vedlegg/VEDLEGG_1_april_2005.pdf.

66. Siltbuster Limited. Siltbuster Siltstoppa Bags Specs [Internett]. u.s.: Siltbuster Limted; 2019 [cited 2019 12. mars]. Available from: https://www.siltbuster.co.uk/sb_prod/siltbuster-siltstoppa-bags/.

67. Vegliste riksveger. Forskrift om bruksklasse, tillatt totalvekt og tillatt vogntoglengde for normaltransport, tømmertransport og kjøring med modulvogntog på riksveg (Vegliste riksveger): Samferdselsdepartementet; 2019 [Available from: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2019-03-22-360

68. Decanter Centrifuge and three phase centrifuge [Internett]. GN Solids Control; 2019 [cited 2019 07. mars]. Available from: http://oilfield.gnsolidscontrol.com/decanter-centrifuge-and-three-phase-centrifuge/.

69. Acciona Ghella Joint Venture. Kammerfilterpresse i drift på Follobaneprosjektet på Åsland utenfor Oslo [Bilde]. Acciona Ghella Joint Venture; 2016.

70. Vigre KS. EIGANESTUNNELEN: BRAKKERIGGEN PÅ PLASS: Sedimenteringsbassenget (slambassenget) begynner å ta form. [Internett. Bilde]. Stangeland Maskin AS; 2014 [updated 18. juni 2014; cited 2019 27. mars]. Available from: https://www.tsmaskin.no/eiganestunnelen-brakkeriggen-pa-plass/.

71. Tveiten V. SNITT A-A, SNITT B-B. Vidar Tveiten AS; 2013.

72. AF Gruppen. Oversiktsbilde med drone, Hesthagtunnelen [Bilde]. AF Gruppen Norge AS.

73. Miljødirektoratet. Norske utslipp av klimagasser [Internett]. u.s.: Miljøstatus; 2018 [updated 11. desember 2018; cited 2019 28. februar]. Available from: https://www.miljostatus.no/tema/klima/norske-klimagassutslipp/?fbclid=IwAR3gVC3OThtooaLPJ_jhfRk-h7WR43b84bXxiz1plT7rRbRF2tS0fJBYL50.

74. Elvøy J, Fagermo JI. Luftkvalitet ved tunneldriving, helsemessig eksponering og mulige tiltak: del 2 praktiske råd for ventilering av underjordsanlegg. Teknisk rapport 13. [Internett]. Oslo: Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk; 2012 [cited 2019 28. februar]. Available from: http://nff.no/wp-content/uploads/2014/01/Teknisk_rapport_13.pdf.

75. Otterstad R, Engdahl S, Lima J, Hermann R, Johansen Å, Kaasa T, et al. Dieseldrift under jord. Teknisk rapport 07. [Internett]. Oslo: Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk; 2006 [cited 2019 28. februar]. Available from: http://www.nff.no/wp-content/uploads/2014/01/Teknisk_rapport_07.pdf.

76. Eco-1 Bioenergi. Et fossilfritt valg som ivaretar nærmiljøet [Internett]. u.s.: Eco-1 Bioenergi AS; 2019 [cited 2019 28. februar]. Available from: https://eco-1.no/anleggsplass/.

77. Arbeidstilsynet. Stoffkartotek [Internett]. u.s.: Arbeidstilsynet; 2019 [cited 2019 28. februar]. Available from: https://www.arbeidstilsynet.no/tema/kjemikalier/stoffkartotek/.

78. Arbeidstilsynet. Kjemikalier [Internett]. u.s.: Arbeidstilsynet; 2019 [cited 2019 28. februar ]. Available from: https://www.arbeidstilsynet.no/tema/kjemikalier/.

79. Norges sjømatråd. Sjømateksport for 99 milliarder i 2018 [Internett]. Tromsø: Norges sjømatråd; 2019 [updated 7. januar 2019; cited 2019 28. februar]. Available from: https://seafood.no/aktuelt/nyheter/sjomateksport-for-99-milliarder-i-2018-/.

80. Miljøstatus. Miljøstatus i Norge. Miljøutfordringer før og nå. M-2 [Internett]. u.s.: Miljødirektoratet; 2013 [cited 2019 8. februar]. Available from: https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M2/M2.pdf.

81. Miljødirektoratet. Miljøgifter [Internett]. u.s.: Miljøstatus; 2017 [updated 09. juni 2017; cited 2019 28 februar]. Available from: https://www.miljostatus.no/tema/kjemikalier/.

82. Direktoratet for forvaltning og ikt. Kva er innovasjon? [Internett]. u.s.: Direktoratet for forvaltning og ikt; 2018 [updated 31. mai 2018; cited 2019 13. mai]. Available from: https://www.difi.no/fagomrader-og-tjenester/innovasjon/hvordan-jobbe-med-innovasjon/hva-er-innovasjon.

83. Randi Andersen Lekanger, miljøsjef, Skanska Norge AS

84. Tore Haugen, senioringeniør, Fylkesmannen i Trøndelag

85. Nina Kristin Nilsen, HMS-leder, AF Anlegg

86. Cecilie Tynes Riksem, universitetslektor, NTNU

87. Siri Todnem, anleggsleder tunnel, AF Anlegg

88. Per Eilif Ekle, leder, Soknedal Historie- og Museumslag

89. Jon Korstad, anleggsleder grunn, AF Anlegg

90. Fredrik Lange Fjell, daglig leder, Slamrensing AS

91. Torbjørn Andre Schei, driftsleder grunn, AF Anlegg

92. Kenneth Jørgensen, selger, Nordisk Vannteknikk AS

93. Arnt Helge Åbø, anleggsleder tunnel, AF Anlegg

94. Vidar Tveiten, miljø- og prosjetrådgiver, Vidar Tveiten AS

95. Charlotte Dammen, HMS/KS-leder, AF Anlegg

96. Vegard Solhaug, anleggsleder tunnel, AF Anlegg

97. Thomas Jølstad Henriksen, forretningsutvikler, AF Decom

98. Torstein Hermansen, elektriker, AF Anlegg

# 17. Vedlegg

Vedlegg 1 – Artikkel («Slamhåndtering skaper hodebry»)

Vedlegg 2 - Plakat

# Slamhåndtering skaper hodebry

***Slamhåndtering er en stor utfordring og et av de største hodebryene for anleggsledelsen i AF Gruppen i Soknedal. Bedriften gikk bort fra metoden med slambasseng fordi den er plasskrevende. Valget falt på bruk av slamsugebil.***

Slamhåndtering er en prosess knyttet til rensing av vann fra blant annet tunneldrift. Det foreligger krav om rensing av driftsvann før utslipp til avløpsnett eller resipient, for å redusere ulike parametre som tungmetaller, suspendert stoff, olje, samt justering av pH. Slamhåndtering ved tunnelanlegg er diskutert i bacheloroppgaven «Utfordringer ved rensing av vann fra tunneldrift med utgangspunkt i Soknedalstunnelen».

**Alternative løsninger**

Plassmangel og ressurskapasitet er to av hovedgrunnene til at slamsugebil ofte blir brukt til henting og deponering av slam fra renseanlegg. Dette gir en høy kostnad som bedrifter gjerne skulle vært foruten. Alternative metoder for slamhåndtering kan være dekantersentrifuge, kammerfilterpresse, slambassenger og avvanning med filterbag anbefalt av Slamrensing AS. Sistnevnte metode er per dags dato kun i utprøvingsfasen i Norge. Bacheloroppgaven belyser både positive og negative aspekter ved de ulike slamhåndteringsmetodene.

**Hodebry**

Ett av de største hodebryene for anleggsledelsen i Soknedal har vært slamhåndtering. Hovedentreprenøren, AF Gruppen, gikk etter nøye vurderinger bort fra metoden med slambasseng, fordi denne er svært plasskrevende. Det ble ikke benyttet ytterliggere ressurser for nærmere vurdering av filterbag-metoden. Valget falt derfor på bruk av slamsugebil.
Da vi spurte prosjektleder Lars om hvorfor dette har vært et hodebry for ham, svarte han følgende:

*- Det er rett og slett fordi det å benytte seg av sugebil koster mye penger. Det er uvisst hvor mye slam som blir produsert, og slik sett kan vi jo gå på en smell.*

*Lars Wadahl, prosjektleder for AF Gruppen på E6 Soknedal-prosjektet (Foto: A.M. Beitdokken)*

**Kostnadsbesparelser**

Enkle kostnadsoverslag i bacheloroppgaven viser at bruk av filterbagger for avvanning av slammet ville gitt en betydelig redusert kostnad, sammenlignet med slamsugebil. I samarbeid med leverandør av renseanlegg på prosjektet i Soknedal, Slamrensing AS, er det gjennom utarbeidelsen av bacheloroppgaven sett på ulike løsninger for å unngå den økonomiske byrden. Gjennom overslaget kommer slambasseng best ut, dersom tilstrekkelig mengde areal er tilgjengelig.

Dekantersentrifuge er relativt dyr, vedlikeholdskrevende og energikrevende, og kammerfilterpresse krever stor personell innsats. Disse metodene er av den grunn ikke tatt med i vurderingen.

**Filterbagger for avvanning**

Prinsippet med filterbagger for avvanning er at man skal redusere vanninnholdet i slammet. Grunnen til den økonomiske besparelsen er at henting og bortkjøring med sugebil er kostbart, da slammet inneholder store mengder vann. Slam fra renseanlegget pumpes inn i filterbaggene som består av små hull som vannet trenger ut gjennom. Når en filterbag har nådd sin kapasitet, blir den liggende i en container i noen dager for avvanning. Deretter kan baggen (engangs) sprettes opp langs sømmene, og slammet hentes ut ved hjelp av anleggsmaskiner. Man er ikke lenger avhengig av slamsugebil for bortkjøring av slammet. Avvannet slam kan transporteres bort med lastebil, grunnet fastere konsistens.

*Utprøving av slamavvanning med liten filterpose. (Foto: Slamrensing AS)*

*- Avvanning ved bruk av filterbagger er absolutt en aktuell metode for framtidige prosjekter. Med litt mer kunnskap og informasjon om metoden til grunn, tror jeg nok den vil fungere. Vi vurderte avvanning med filterbagger ved et tidlig stadium i prosjektet, men usikkerhet rundt besparelsen og hvor godt metoden fungerte gjorde at vi kuttet det ut. Filterbagger er i utprøvingsfasen, og vi har ikke nok ressurser her til å være et prøveprosjekt*, forteller prosjektleder Lars Wadahl ved E6 Soknedal.

---

Artikkel på grunnlag av bacheloroppgave: *(Beitdokken og Engan. Utfordringer ved rensing av vann fra tunneldrift med utgangspunkt i Soknedalstunnelen. 2019)*

NTNU
*Institutt for bygg- og miljøteknikk*

**Vedlegg 2**

AF GRUPPEN

# Utfordringer ved rensing av vann fra tunneldrift med utgangspunkt i Soknedalstunnelen

## *Challenges in Treatment of Water from Tunnel Operations Based on the Soknedal Tunnel*

### PROSJEKTBESKRIVELSE

Oppgaven diskuterer renseanlegg for tunneldrift på et generelt grunnlag, og benytter AF Gruppens prosjekt E6 Soknedal som case.

I denne bacheloroppgaven blir det blant annet sett nærmere på følgende:

- pH-nøytralisering av driftsvann med syre vs. $CO_2$
- Alternative metoder for slamavvanning
- Årsaker til forhøyede verdier av kobber i driftsvannet i Soknedal
- Årsaker til forhøyede verdier av kvikksølv i resipienten Sokna
- Konsekvenser ved uheldige utslipp av tunnelvann fra vannrenseanlegg
- Gjenbruk av driftsvann
- Utslippshendelsen som fant sted under tunnelutbyggingen i Soknedal

### UTFORDINGER I SOKNEDALSTUNNELEN

Vannrenseanlegget tilknyttet Soknedalstunnelen benytter $CO_2$ for pH-nøytralisering av driftsvannet. Dette er en relativt ny metode, og har bydd på enkelte problemer og utfordringer i løpet av anleggstiden.

Slamhåndtering har vært et hodebry for anleggsledelsen på Soknedalsprosjektet. Grunnet for liten kapasitet er ikke andre metoder for slamhåndtering enn henting med sugebil tatt i bruk. Dette er en relativt kostbar metode. Sedimentasjonsbasseng ble vurdert, men tanken ble raskt avslått på grunn av plassmangel.

### FUNN

- Forhøyede kobberverdier i renseanlegg
- Høye kvikksølvverdier i Sokna
- Besparelser ved slamhåndtering

**Prosjektnr.:** 2019-08
**Intern veileder:** Rolf Edvard Petersen
**Studenter:** Ann-Mari F. Beitdokken & Ingrid N. Engan
**Ekstern kontakt:** Nina Kristin Nilsen - AF Gruppen

NTNU

Kunnskap for en bedre verden