

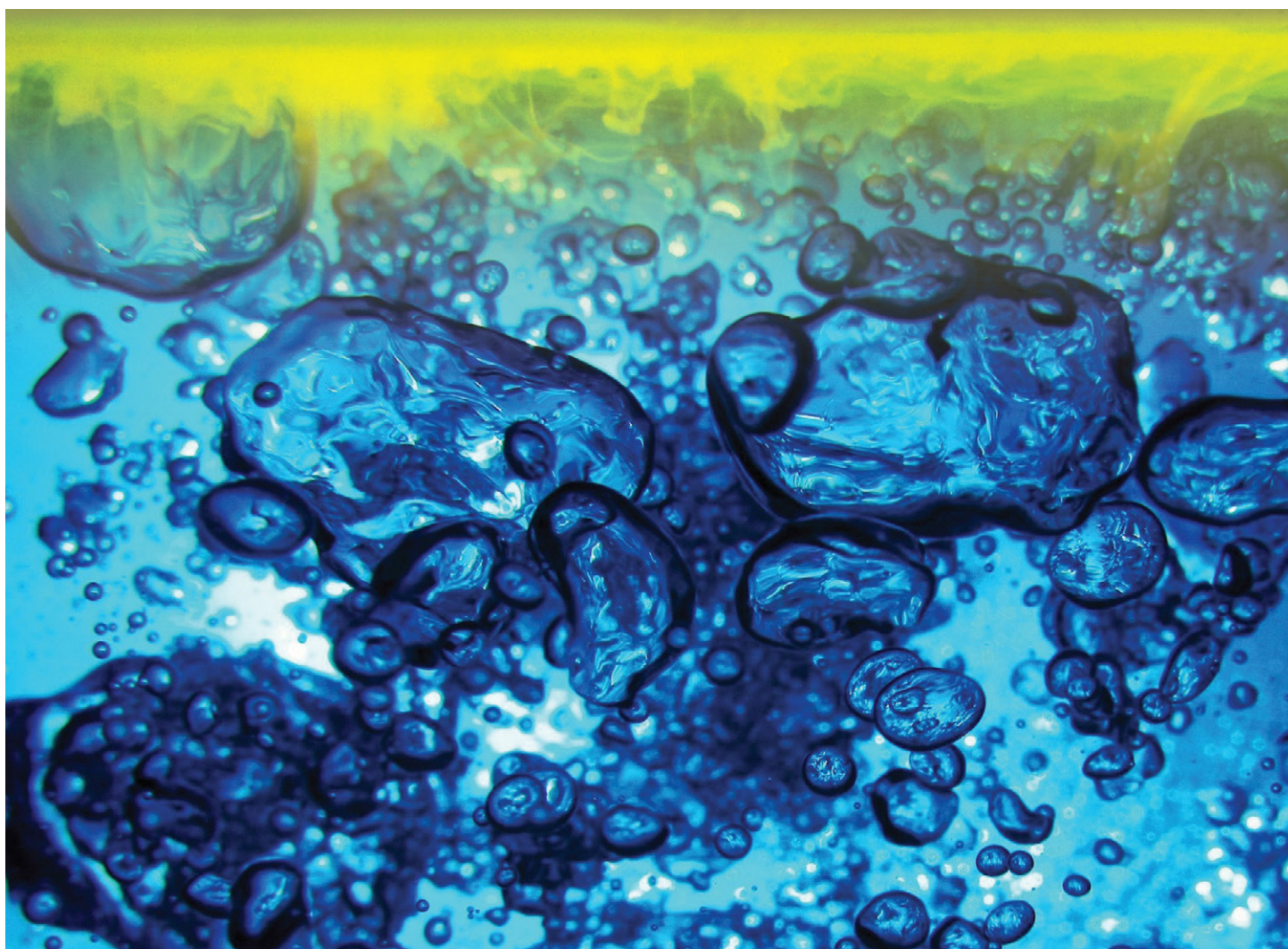


Litteraturundersøkelse – mobile renseløsninger

For vaskevann fra veitunneler

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 498



NORWAT - Nordic Road Water

Tittel

Litteraturundersøkelse –
mobile renseløsninger

Undertittel

For vaskevann fra veitunneler

Forfatter

Eilen Arctander Vik, Ashish K. Sahu, Frøydis K.
Garshol

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Miljø

Prosjektnummer

603019

Rapportnummer

Nr. 498

Prosjektleder

Kjersti Wike Kronvall

Godkjent av

Sondre Meland

Emneord

Mobile renseløsninger, tunnelvaskevann,
forurensing

Sammendrag

Det er ønskelig å finne rensemetoder for tunnelvaskevann der det ikke er etablert faste renseløsninger for dette i eller utenfor tunneler. Løsningene bør være fleksible slik at de kan benyttes for ulike tunneler som driftes ulikt. Det har vært gjennomført en litteraturgjennomgang og tatt kontakt med leverandører av mobile renselanlegg for å lage en oversikt over hvilke løsninger som kan egne seg i ulike sammenhenger. Leverandørene har bidratt med forslag til løsninger, presentert kostnader (investering og drift) og informasjon om hvilken rensesgrad de ulike løsningene kan oppnå.

Title

Literature review –
mobile treatment systems

Subtitle

For wash water from road tunnels

Author

Eilen Arctander Vik, Ashish K. Sahu, Frøydis K.
Garshol

Department

Traffic Safety, Environment and Technology
Department

Section

Miljø

Project number

603019

Report number

No. 498

Project manager

Kjersti Wike Kronvall

Approved by

Sondre Meland

Key words

Mobile treatment systems, tunnel wash water,
pollutants

Summary

It is desirable to find treatment methods for tunnel wash water in relation to tunnels where no permanent treatment systems are established, either inside or outside of tunnels. The systems should be flexible allowing usage for different tunnels that are operated differently. A literature review has been conducted and suppliers of mobile treatment systems have been contacted to give an overview of different treatment systems that may be suitable under different conditions. The suppliers have contributed with suggestions to systems, costs (investment and operational) and information on the treatment performance the different systems may provide.

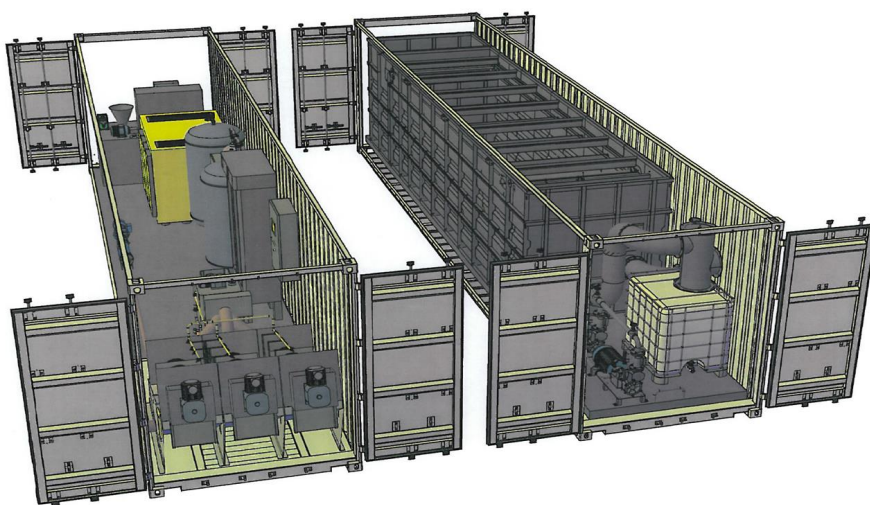
FORORD

NORWAT er et fireårig etatsprogram (2012-2015) som gjennom ny kunnskap skal bidra til at Statens vegvesen planlegger, bygger og drifter vegnettet uten å påføre vannmiljøet uakseptabel skade. Med dette programmet ønsker vi å redusere risikoen for biologisk skade forårsaket av avrenningsvann, redusere utslipp av miljøgifter til resipient og lage renseløsninger som er tilpasset landskap og resipient. Dette skal vi oppnå ved å utvikle anvendbare metoder for når, hvor og hvilke renseløsninger skal iverksettes. I tillegg skal vi etablere forslag til retningslinjer og rutiner for drift og vedlikehold av renseløsningene. Ytterligere informasjon om NORWAT inkludert publiserte rapporter finnes på våre nettsider www.vegvesen.no/norwat.

NORWAT RAPPORT – LITTERATURUNDERSØKELSE - MOBILE RENSELØSNINGER

FOR VASKEVANNN FRA VEITUNNELER





Foto: eksempel på konteinerbasert anlegg fra teknologileverandør




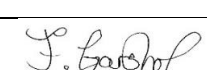
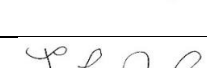
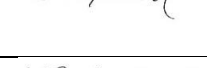
Aquateam COWI AS

Rapport nr: 15-036
Prosjekt nr: A066280

Prosjektleder: Eilen Arctander Vik, PhD
Medarbeidere: Ashish K Sahu, PhD
Frøydis K Garshol, Cand. scient.

Rapportens tittel NORWAT Rapport Mobile renseløsninger for vaskevann fra veitunneler. Litteraturundersøkelse og leverandørinnspill	Dato
	03.03.2016
	Antall sider og bilag
	30
Forfatter(e) sign.	Ansv. sign.
Frøydis K Garshol 	
Ashish Sahu 	Eilen Arctander Vik
Eilen Arctander Vik 	Prosjektnummer
	A066280

Oppdragsgiver	Oppdragsgivers ref.
Statens Vegvesen, Vegdirektoratet	Kjersti Wike Kronvall Sondre Meland

Rapport versjon	Dato	Signatur
1	26.12.2015	
2	01.02.2016	
3	29.02.2016	
4	03.03.2016	

Innholdsfortegnelse

Forkortelser	4
Sammendrag.....	5
1. Bakgrunn.....	8
2. Mål	9
3. Gjennomførte aktiviteter og resultater.....	9
3.1. Informasjon fra leverandører	9
3.2. Beskrivelse av mobile renseløsninger og mulig rensegrad	10
3.2.1. Prosessløsninger	11
3.2.2. Renseeffektivitet.....	14
3.3. Kostnader knyttet til renseløsningen.....	14
3.3.1. Investeringskostnader	14
3.3.2. Driftskostnader	15
3.4. Praktisk gjennomførbarhet av de foreslåtte løsningene	16
3.4.1. Foreslåtte logistikkalternativer	16
3.4.2. Kapasitet på foreslåtte renseløsninger	17
3.4.3. Avfallsproduksjon og -håndtering	17
3.4.4. Miljøaspekter.....	18
3.5. Anbefaling av renseløsninger	19
4. Konklusjon og forslag til videre arbeid	20
5. Referanser	22
6. Vedlegg: Notat sendt til teknologi leverandører (Norsk og Englesk)	23

Forkortelser

Forkortelse	Forklaring
Aerob	Aerob nedbrytning (med oksygen tilstede)
AN, anaerob, nedbrytning	Anaerob nedbrytning (uten oksygen tilstede)
AOP	Avanserte oksidasjonsprosesser
BAT	Beste tilgjengelige teknologi (Best available technology)
CAPEX	Investeringskostnader (Capital expenditure)
CO ₂	Karbondioksid
DOC	Løst organisk stoff (Dissolved organic carbon)
GAC	Granulært aktivert karbon (brukes oftest i et filter)
HC; THC	Hydrokarboner og totale hydrokarboner
H ₂ O ₂	Hydrogenperoksid
IX	Ionebytte resin
KOF	Kjemisk oksygenforbruk
MBBR; MBR	Moving Bed Biofilm Reactor; Membrane Biofilm Reactor (to ulike aerobe biologiske renseanlegg med biofilmbærere hvorav MBR benytter membraner for å separere fast stoff fra væsken.)
MF	Membranfiltrering
NaOH; HCl	Base, Natriumhydroksid; Syre, Hydrogenklorid
NF	Nanofiltrering
OiV	Olje i vann
OPEX	Driftskostnader (Operational expenditure)
P&ID	Flytskjema (Piping and instrument diagram)
PAX; Al	Polymerisert aluminiumsalt; Aluminium
PIX; Fe	Polymerisert jernsalt; Jern
TS; TSS	Tørrstoff (slam, jord etc); Totalt suspendert stoff (vann)
UF	Ultrafiltrering
UV	Ultrafiolett
VS; VSS	Flyktig stoff (slam, jord etc.); Flyktig suspendert stoff (vann)
ÅDT	Årsdøgntrafikk

Sammenheng

Statens vegvesen (SVV) er en av Norges største byggherrer og planlegger, bygger, drifter og vedlikeholder riks og fylkesveiene. SVV har et selvstendig miljøansvar (sektoransvar) som blant annet innebærer at SVV skal ha oversikt over miljøpåvirkninger og problemomfang forårsaket av egen virksomhet, samt foreslå og gjennomføre tiltak. Norge har i dag mer enn 1000 veitunneler med ulik utforming, overflate og veitrafikkbelastning lokalisert over hele landet. For å opprettholde god trafikksikkerhet og øke tunnelenes levetid vaskes tunnelene. Rengjøringshyppigheten varierer betydelig mellom ulike tunneler, hovedsakelig som følge av ulik trafikkmengde. Høytrafikkerte tunneler med årsgjennsnitts trafikk over 20 000 kjøretøy pr tunnellopp vaskes 6-12 ganger pr år, mens lavtrafikkerte tunneler med mindre enn 1 500 kjøretøy pr tunnellopp vaskes sjeldnere enn én gang pr år. Utslipp av forurenset tunnelvaskevann til sårbare resipienter kan medføre skader på vannlevende organismer. Til tross for dette så er det i de fleste tunnelene (ca. 90%) ingen form for rensing utover det som fjernes i sandfangene og i oljeutskillere.

Det er ønskelig å finne rensemetoder for tunnelvaskevann der det ikke er etablert faste renseløsninger for dette i eller utenfor tunneler. Løsningene bør være fleksible slik at de kan benyttes for ulike tunneler som driftes ulikt.

Det har vært gjennomført en litteraturgjennomgang og tatt kontakt med leverandører av mobile renselanlegg for å lage en oversikt over hvilke løsninger som kan egne seg i ulike sammenhenger. Leverandørene har bidratt med forslag til løsninger, presentert kostnader (investering og drift) og informasjon om hvilken rensesgrad de ulike løsningene kan oppnå.

Internasjonalt finnes det mange mobile renseløsninger som benyttes til rensing av ulike typer avløpsvann. Mobile løsninger for rensing av tunnelvaskevann finnes det lite erfaring med. Dette markedet er ikke utviklet og i kontakten med leverandørene kom det klart fram at de store leverandørene ikke ville bruke tid på henvendelsen fordi de ikke oppfattet dette markedet som modent. Vi fikk imidlertid informasjon fra 10 leverandører og fant ytterligere informasjon på internett fra en rekke andre. Denne informasjonen har vært verdifull. Mange av leverandørene er involvert i utviklingsarbeid og mye av den mottatte informasjonen er konfidensiell. Denne informasjonen er utelatt i denne rapporten, men er sammenstilt i et separat internt notat tilgjengelig for kontaktpersonene i SVV.

Leverandørene har erfaring med de prosessene de foreslår, men ikke for rensing av den type avløpsvann. Litteraturgjennomgangen understreker at det er mangelfull erfaring med hvor store vannkvalitetsvariasjoner vi kan oppleve i en og samme tunnel, hvilke forurensinger man kan finne i slammet etter rensing, hvor stor produksjonen av slam det vil bli, og hvordan man skal sluttdisponere det.

De foreslåtte prosessene er robuste, men har sannsynligvis svakheter mht. den vanntypen som her skal behandles, spesielt nevnes fra mange leverandører behovet for å motta vannprøver og undersøke nærmere hvordan de skal sette sammen prosessene sine for å oppnå tilstrekkelig fjerning av løste metaller. Det er forholdsvis kjent teknologi som er foreslått, men også flere "nye" teknologier som vil kreve behov for kvalifisering er foreslått. Kun kjemisk felling er tidligere benyttet til rensing av tunnelvaskevann i fullskala anlegg. Optimalisering/uttesting av separasjonsteknologier og slamavvanningsløsninger er midlertidig ikke godt nok dokumentert i fullskala.

Aquateam COWI har valgt å oppsummere de ulike rensetekniske løsningene som er foreslått som konteinerbaserte løsninger. Som mobile eller konteinerbaserte løsninger har svært mange leverandører foreslått løsninger som skal:

1. Forbehandle tunnelvaskevannet ved fjerning av store partikler (sedimentering, separasjonsenhet, flotasjon, grovfiltrering).
2. Fjerne mindre partikler (kjemisk felling, flotasjon, membranfiltrering)
3. Fjerne løste tungmetaller og vaskemiddel (oksidasjon, ionebytte, pH justering, kjemisk felling, nanofiltrering, Granulært aktivt karbon (GAC), biologisk rensing)
4. Håndtere slam

Leverandørene har også foreslått at SVV bør vurdere å benytte strategisk plasserte stasjonære anlegg, sentrale enheter som mottar vaskevann fra flere tunneler i et område/region, og for disse er det foreslått å benytte biologisk rensing av vaskevannet. Spesielt foreligger et interessant forslag fra to leverandører. Denne løsningen er ikke tidligere benyttet for rensing av tunnelvaskevann og bør derfor testes og inkluderer, biologisk rensing i to trinn; aerob nedbrytning etterfulgt av anaerob nedbrytning etter samme prinsipp som benyttes i kommunalteknikk og i rensing av oljeholdig avløpsvann (MBBR).

Renseeffektivitet av de foreslåtte prosessene er oppgitt fra 4 av leverandørene og de oppgir renseeffekter som:

- TSS 87-99 % fjerning
- KOF 83 -90 % og Vaskemiddel: > 85-90 % fjerning.
- Hydrokarboner 60-99 % fjerning
- Tungmetaller 95->99 % fjerning

Leverandørene har varierende grad av praktiske erfaringer med de foreslåtte konteinerbaserte løsningene. Det foreslås derfor at SVV vurderer å benytte innovasjonsbaserte prosesser der man tillater seg å teste ut både ulike logistikk-løsninger og prosesser med stort potensiale, samt nye løsninger som kan gi store besparelser. Det er flere norske bedrifter som har kommet med svært konstruktive løsningsforslag.

Leverandørene har oppgitt kostnader, både investeringskostnader (CAPEX) og driftskostnader (OPEX), men forslagene har ulike forutsetninger og kan derfor ikke sammenlignes. Det er spesielt stor usikkerhet knyttet til operasjonelle kostnader. Disse kan først bli realistiske når vi behandler en reel renseløsning.

Renseløsninger som er konteinerbasert, kan i hovedsak inndeles i løsninger egnet for en 20" og en 40" konteiner. Leverandørene oppgir at som grunnprinsipp er en 20" konteiner egnet til å behandle 10-15 m³/t og en 40" konteiner ca. 30 m³/t. Dersom det er behov for biologisk rensing eller andre mer plasskrevende prosesser som gir bedre renseeffektivitet, vil vannvolum måtte reduseres for at et anlegg skal passe inn i en konteiner. Noen leverandører foreslår bruk av flere konteinere.

Det foreslås også at mobile renseløsninger kan være semi-mobile, eller at de plasseres utenfor en tunnel med resipient med lav sårbarhet og med plass til å drifte en felles løsning for flere tunneler. Vann fra nærliggende tunneler kan fraktes til denne lokaliteten. Vaskingen koordineres i disse tunnelene for optimalt å kunne utnytte driftspersonell, biler til frakt av rent og skittent vaskevann og rensekapasitet. Hvor avanserte renselanlegg man trenger og hvilke vannmengder de skal behandle avhenger av hvilken logistikk SVV velger. Følgende logistikk-løsninger anbefales vurdert:

Strategisk plasserte sentraliserte løsninger i enkelte strøk med mange tunneler med begrensede arealmuligheter for eget renselanlegg:

- a. Skittent vaskevann etter vasken bringes tilbake med bilene som har vært benyttet til å frakte rent vann
- b. Man bygger rørledning mellom tunneler som egner seg å koble sammen til et strategisk plassert renselanlegg

Konteinerløsning kan være egnet for:

- c. Lokalitet med moderate og strenge renskrav
- d. Rensing av oppsamlet og forsedimentert vann
- e. Behandling av vannet når det produseres (anlegg med god kapasitet; 30 m³/t.)

Størrelsen på anlegget og renskrav vil avhenge av hvilke logistikk-løsninger man velger. Investeringskostnader til rensanlegg med kapasitet på 10-30 m³/t ligger i størrelsesorden fra 2-5 millioner NOK. Driftskostnadene ligger i størrelsesorden fra 20-40 kr/m³ vaskevann. Kjemikalier og avfallshåndtering er viktige bidragsytere i driftskostnadene. Behovet for driftspersonale kan også bli en viktig faktor i beregning av driftskostnader. Transportbehovet for vann og slam er en viktig miljø- (CO₂) og kostnadsdriver.

Det anbefales at SVV diskuterer logistikken knyttet til håndtering av tunnelvaskevann. En workshop med deltagere fra entreprenører, leverandører, miljømyndigheter og andre sentrale aktører kan være et godt utgangspunkt for å bringe prosessen videre. Det finnes gode løsninger som er egnet som mobile anlegg og videre utvikling bør settes i sammenheng med kost/nytte vurderinger og hvilke krav som stilles til rensing. Mange leverandører har kommet med meget gode innspill og ønsker å fortsette samarbeidet med SVV. Mulig videreføring av dette arbeidet kan være testanlegg der teknologier testes ut. Mange av aktørene samarbeider på tvers av Europa, så med et samarbeid mellom SVV som bruker og evt. andre europeiske brukere, leverandører og FoU partnere fra flere EU land ligger det vel til rette for å etablere EU - og nasjonale miljøteknologiutviklingsprosjekter. Informasjonen fra leverandørene kan benyttes til å lage forslag til et testprogram for å teste/kvalifisere renseløsninger for tunneler uten faste renseløsninger.

1. Bakgrunn

Statens vegvesen (SVV) er en av Norges største byggherrer og planlegger, bygger, drifter og vedlikeholder riks og fylkesveiene. SVVs aktiviteter er regulert gjennom en rekke lovverk. I tillegg har SVV et selvstendig miljøansvar (sektoransvar) som blant annet innebærer at SVV skal ha oversikt over miljøpåvirkninger og problemomfang forårsaket av egen virksomhet, samt foreslå og gjennomføre tiltak. Norge har i dag mer enn 1000 vegtunneler med ulik utforming, overflate, veitrafikkbelastning, lokalisert over hele landet.

For å opprettholde god trafikksikkerhet og øke tunnelenes levetid vaskes tunnelene. Rengjøringshyppigheten varierer betydelig mellom ulike tunneler hovedsakelig som følge av ulik trafikkmengde. Høytrafikkerte tunneler med årsdøgntrafikk (ÅDT) over 20 000 kjøretøy pr tunnellopp vaskes 6-12 ganger pr år, mens lavtrafikkerte tunneler med ÅDT mindre enn 1 500 kjøretøy pr tunnellopp vaskes sjeldnere enn én gang pr år (Torp og Meland, 2013 og Statens vegvesen, 2014). Selve vaskeprosedyren er relativt lik. Skitt og større partikler fjernes med suge-/feiebil før selve vaskingen med vann og eventuelt såpe starter. Rengjøringen avsluttes med at suge-/ feie bilen suger opp skitt og udrenert overskuddsvann fra vegbanen. I tillegg skilles det mellom helvask og halvask. Helvask, som normalt skjer 1-2 ganger pr år, inkluderer vask av alle flater samt teknisk utstyr, mens halvask inkluderer kun vask av vegger, skilt og lysrekker og skylling av vegbane. I tillegg tømmes sandfang for partikler ved behov. Forurensningsgraden avgjør hvorvidt massene deponeres eller ikke. Vannforbruket under selve rengjøringen varierer mellom de ulike entreprenørene bl.a. i forhold til valg av vaskeutstyr og fremdriftshastighet (Meland, 2012). Med unntak av såpestoffer er det kjemiske innholdet i vaskevannet svært sammenfallende med hva som finnes i avrenningsvann fra veg i dagen, og kan karakteriseres som en cocktail av flere miljøgifter samt en betydelig mengde partikler (Meland, 2012). Kildekarakterisering av vaskevann fra Nordbytunnelen viste at forurensningene i vaskevannet kan tilskrives både slitasje og avgasser fra kjøretøyene, samt slitasje av selve vegbanen og eventuelt selve tunnelkonstruksjonen (f.eks. betongelementer) (Meland *et al.*, 2010).

Ved rengjøring av tunneler vil forurensningene fordele seg hovedsakelig mellom:

- 1) Urenset vaskevann,
- 2) Masser i sandfang og
- 3) Masser fanget opp av suge-/feiebil

Fordelingen varierer imidlertid betydelig mellom tunneler. Variasjonen kan bl.a. tilskrives faktorer som forurensningsstoffenes ulike kjemiske og fysiske egenskaper, tunnelens utforming samt materialvalg, ulike såpeprodukter og sesongvariasjoner (piggdekk/sommerdekk).

Utslipp av forurenset tunnelvaskevann til sårbare resipienter kan medføre skader på vannlevende organismer. Begrensning av miljørisiko for vannlevende organismer er dekket av Vannforskriften og Forurensningsforskriften. Til tross for dette så er det i de fleste tunnelene (ca 90%) ingen form for rensing utover det som sedimenterer i sandfangene og i oljeutskillere (selv om det ved nybygging stort sett inkluderes).

Det er derfor behov for å se på renseløsninger som kan tas i bruk både for nye tunneler og ikke minst eksisterende tunneler. Det er ønskelig å finne rensemetoder for tunnelvaskevann der det ikke er etablert faste renseløsninger for dette i eller utenfor tunneler. Løsningene bør være mobile og fleksible slik at de kan benyttes for ulike tunneler som driftes ulikt.

Det ble gjennomført laboratorieforsøk med vaskevann fra Nordbytunnelen for å undersøke effekten av ulike rensesprosesser. Sedimentering, biologisk nedbrytning (aerob og anaerob), filtrering, kjemisk felling ionebytte og oksidasjon ble testet. Testene ble utført i to faser; Fase

1 vaskevann fra vask i sommersesongen (august 2014) og Fase 2 vaskevann fra vask i vintersesongen (mars 2015). Garshol *et al.* (2015) har rapportert alle resultatene fra forsøkene i Fase 1 og 2. Resultatene fra laboratorieforsøkene ble gitt til leverandørene som eksempel på vaskevannkvalitet fra tunnelvask, i tillegg til resipientkrav fra innsjø/bekker (ferskvann), kystfarvann (marint) og påslipp på kommunalt nett (Tabell 2).

2. Mål

SVV utlyste en anbudskonkurranse på gjennomføring av en litteraturundersøkelse for å kartlegge hvilke mobile løsninger som foreligger per i dag for rensing av tunnelvaskevann. Det skulle utarbeides en rapport som skulle anbefale renseløsninger for tunnelvaskevann der det ikke er etablert faste renseløsninger. Renseløsningen skulle kunne tilpasses ulike resipienter. Denne rapporten inneholder resultatet av det arbeidet som er gjennomført.

Prosjektet har fem mål oppført i anbudsbeskrivelsen

- A. Prosjektet skal hente inn informasjon fra entreprenører/produsenter/leverandører i forhold til hva som finnes tilgjengelig i markedet i dag, i inn- og utland.
- B. Det skal foreligge en beskrivelse av aktuelle mobile renseløsninger og mulig oppnådd rensegrad. Rensegraden til renseløsningene må overholde gjeldende lovverk og kunne tilpasses ulike resipienters sårbarhet (f.eks. høy rensegrad og middels rensegrad). Renseløsningen må også kunne tilpasses ulike driftsrutiner, samt type, utforming og alder på tunnelen. Forutsetningene for at renseløsningen skal fungere optimalt må framkomme.
- C. Det skal foreligge en beskrivelse av kostnader knyttet til renseløsningen. Det må gjøres en vurdering av kostnader knyttet til innkjøp kontra innleid renseløsning. Det skal også gjøres et miljøregnskap. I dette ligger det f.eks. behov for tilførsel av kjemikalier til renseløsningen, kostnader knyttet til deponering av avfallet, energi for drift av renseløsningen og frakt og utslipp av CO₂.
- D. Prosjektet skal beskrive praktisk gjennomførbarhet av de foreslåtte løsningene.
- E. Arbeidet skal sammenfattes i en rapport hvor det anbefales hvilke renseløsning som egner seg i ulike situasjoner som beskrevet under B. Rapporten skal brukes som et grunnlag for å teste ut renseløsningene i tunneler uten fast renseløsning.

3. Gjennomførte aktiviteter og resultater

3.1. Informasjon fra leverandører

I prosjektet har Aquateam COWI innhentet informasjon fra entreprenører/produsenter/leverandører om hva som finnes tilgjengelig i markedet i dag, i inn- og utland. For å utføre denne oppgaven har flere leverandører blitt kontaktet, noen er sentrale innen all type vannrensing, og noen er ledende innen ny teknologi. Noen leverandører har også tatt direkte kontakt med SVV og kontakten har vært fulgt opp gjennom dette prosjektet. Informasjon om prosjektet ble også presentert i etablerte norske nettverk som bl.a. Vannklyngen, Tekna, Norsk Vann og Vannforeningen, hvor leverandører og andre ble invitert til å bidra med innspill/forslag. Aquateam COWI holdt blant annet et foredrag på Norsk Vannforenings fagtreff om tunnelvask, hvor prosjektet ble presentert. Kontakt med internasjonale teknologileverandører ble gjort på Aquatechmessen i Amsterdam i begynnelsen av november 2015. Det ble utarbeidet et notat

som beskrev SVVs behov, samt en presentasjon med bakgrunnsinformasjon. Begge dokumentene ble utarbeidet på både norsk og engelsk for å nå bredt ut (Se vedlegg).

Vi har mottatt informasjon fra følgende teknologileverandører (Tabell 1). Informasjonen mottatt fra de ulike leverandørene varierer veldig i detaljeringsgrad, fra detaljerte innspill til løsninger med flytskjema over prosessen (P&ID) og kostnader for kjøp/leie av anlegg, til oversendelse av informasjon om selskapet og teknologien.

Tabell 1 Leverandører som har svart på forespørselen om mobile renseløsninger.

Selskap	Nasjonalitet	Kontaktperson	Epost	Norsk erfaring	Levert mobil renseløsning
Due Miljø	Norsk	Eddy Torp	Eddy.torp@duemiljoe.no	Ja	
Gavita Watertech	Norsk	Jonas Ntiako	jonas@gavita.com	Ja	
Hydroclean	Norsk	Tor Jarle Kransberg	Tor-jarle@hydroclean.no	Ja	
Inwatec	Polsk	Dr Andrzej Mroz	Andrzej.mroz@inwatec.pl	Ja	Avløp
Logisticon	Tysk	Willem Wouter-Aantjes	water@logisticon.com	Vet ikke	Avløp
Nijhuis WaterTechn	Nederlandsk	Christian ter Horst	Christian.terHorst@nijhuisindustries.com	Ja	Avløp
Norenavi	Britisk	Kurt Berggrund	kurtberg@norenavi.com	Ja	Avløp
NorFluids AS/ IEC	Norsk	JanOve Knutsen	Janove.knutsen@norfluids.com	Ja	
OiWProcess/AFGruppen	Norsk	Susan Heldal	Susan.heldal@oiwp.no	Ja	
SWGroup	Italiensk	Stefano Biondi	s.biondi@swigroup.eu	Nei	

3.2. Beskrivelse av mobile renseløsninger og mulig rensesgrad

I notatet til leverandørene ble de bedt om å foreslå mobile renseløsninger og mulige rensesgrader. Rensesgraden til renseløsningene burde overholde gjeldende lovverk og kunne tilpasses ulike resipienters sårbarhet (f.eks. høy rensesgrad og middels rensesgrad). Leverandørene ble også bedt om å beskrive hvordan renseløsningene kunne tilpasses ulike driftsrutiner og type tunneler/vaskerutiner. Forutsetningene for en velfungerende renseløsning skulle også presenteres. Leverandørene ble bedt om å legge ved informasjon om tidligere erfaringer, case-studier og data-ark, hvis dette var tilgjengelig.

I forbindelse med laboratorieforsøkene fra Nordbyttunnelen (Garshol *et al.*, 2015) ble det utført en detaljert litteraturgjennomgang av innholdet av miljøgifter i tunnelvaskevann, resipientkrav og ulike rensesprosesser for tunnelvaskevann, denne er lagt til grunn for den generelle vurderingen av rensesprosessene i dette arbeidet.

Leverandørene fikk utlevert følgende vannkvalitetsdata for vurderingene (Tabell 2).

Tabell 2. Vannkvalitet i tunnelvaskevann fra Nordbytunnelen etter to vaskinger i 2014/2015 (Garshol et al., 2015) sammenlignet med "God kvalitet" i ferskvannsresipient (bekker/innsjø) (SFT, 1997a, Weideborg et al., 2012) og kystfarvann (SFT, 1997b, Bakke et al., 2007) samt krav til kvalitet ved påslipp til kommunalt ledningsnett i Oslo (Miljøkommune, 2015).

Vannkvalitet	Konsentrasjon							
	THC (mg/l)	PAH (µg/l)	pH	Tot-P (mg/L)	Tot-N (mg/L)	NH ₄ /NH ₃ (mgN/L)	TOC (mg/l)	Toksisitet TU
Vaskevann sommer	3,2	5	8,4	5,6	11,5	0,1	155	5
Vaskevann vinter	27	120	9	35	15	0,7	654	2
Bekker/innsjø, god kvalitet ^{1), 2), 3)}	0,07**	11,3**	6-8	11	0,4		3,5	0,1
Påslipp kommunalt nett i Oslo	50		6,0-10	8	60		200***	2 (nitrifikasjonshemming)
Kystfarvann (marint)	0,07**	2,4***		12 ⁴⁾	0,25 ⁴⁾	19/12 ⁴⁾		0,01
Vannkvalitet	Konsentrasjon							
	TSS (mg/l)	Zn (µg/l)	Cu (µg/l)	Cr (µg/l)	Pb (µg/l)	Hg (µg/l)	Cd (µg/l)	Ni (µg/l)
Vaskevann sommer	544	2400	350	44	20	0,02	0,4	33
Vaskevann vinter	28000	44000	4400	1100	500	0,3	56	660
Bekker/innsjø, god kvalitet ^{1), 2), 3)}	3	11	7,8	3,4	1,3	0,05	0,08	1,7
Påslipp kommunalt nett i Oslo	400	500	200	50	50	2	2	50
Kystfarvann (marint)	2,9	0,64	3,4	2,2	0,05	0,24	2,2	

*vannet som slippes på nett skal være < ** OSPAR PNEC verdi; EQS sum av enkeltforbindelser *** Naftalen

**** nitrifikasjonshemming

¹⁾Tungmetaller EQS ferskvann (2012) ²⁾ Organisk stoff, fosfor, nitrogen, solids fra veileder SFT, 1997. ³⁾ Toksisitetsenhet (TU), TU i resipient er basert på en sikkerhetsfaktor på 100 for å ta hensyn til mulige kroniske effekter. SFT 1750/2000 ⁴⁾ Overflatelag sommer

3.2.1. Prosessløsninger

Det er foreslått en rekke ulike prosessløsninger fra de ulike leverandørene. Flere av leverandørene har foreslått sammenfallende renseprosesser, men med noe forskjellige teknologiske løsninger. Forslagene er oversendt med ulik detaljeringsgrad og med ulike forutsetninger for utarbeidelsen av forslaget. Noen har kun benyttet informasjonen sendt fra Aquateam COWI, men andre i tillegg har benyttet publiserte data fra tunneler i Norge.

Flere av leverandørene har beskrevet sine foreslåtte prosessløsninger og overlatt til leseren å integrere dem i en endelig løsning. Flere nevner behov for konkrete vurderinger knyttet til utslippskrav og vannkvalitet, og etterspør vannprøver og mer informasjon.

Noen leverandører ga detaljerte forslag med prosesstegninger og alternative løsninger. Noen oppga enhetspriser og noen ga pris på fullt ferdige anlegg. Leverandørene har valgt ulike ståsted, dvs. ulike tunneler som grunnlag for sine vurderinger. Mange av leverandørene har bedt om at deres detaljerte informasjon ikke må gjøres tilgjengelig i denne rapporten på grunn av konfidensialitet, men bare gjøres tilgjengelig overfor Statens vegvesen.

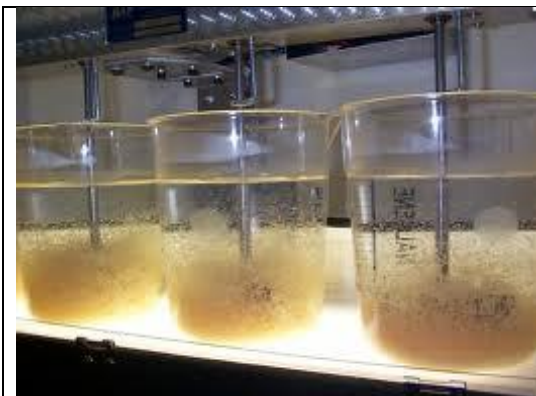
Aquateam COWI har valgt å oppsummere de ulike rensetekniske løsningene som er foreslått som konteinerbaserte løsninger.

Som mobile eller konteinerbaserte løsninger har svært mange leverandører foreslått løsninger som skal:

1. Forbehandle tunnelvaskevannet ved fjerning av store partikler (sedimentering, separasjonsenhet, flotasjon, grovfiltrering).
2. Fjerne mindre partikler (kjemisk felling, flotasjon, membranfiltrering)
3. Fjerne løste tungmetaller og vaskemiddel (oksidasjon, ionebytte, pH justering, kjemisk felling, nanofiltrering, Granulært aktivt karbon (GAC), biologisk rensing)
4. Håndtere slam

Ved en sentralisert løsning er det av flere leverandører foreslått å benytte biologisk rensing med bruk av Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) eller Membrane Biofilm Reactor (MBR) reaktor, og vi antar at forslagene inkluderer både aerob og anaerob biologisk rensing. Figur 1

viser prinsippsskisser for mange av de foreslåtte prosessene. Illustrasjonene er hentet fra Internett og ikke fra de leverandørene som har sendt oss forslag til løsninger.



a. Kjemisk felling med tilsats av PAX eller polymer



b. Rørflokkulering



c. Ionebytte prosessen (IX= Ion eXchange); under rensing (produksjon) for fjerning av f.eks. tungmetaller



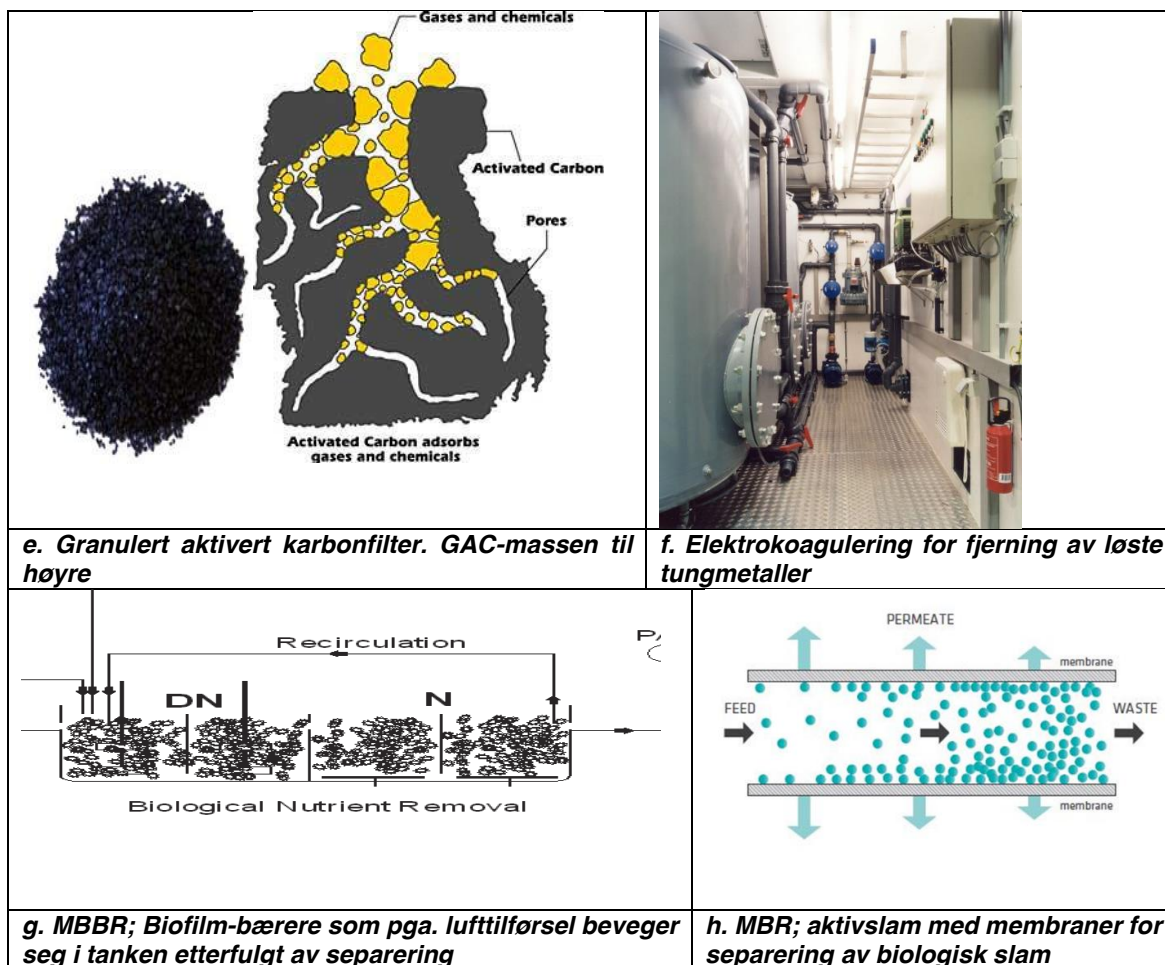
d. Membranfilteranlegg; her kan benyttes nanofiltrering (NF), ultrafiltrering (UF; $0,1-5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$), mikrofiltrering (MF) eller omvendt osmose (RO, fjerning av salt)



Sandfiltrering



Ulike typer slamavvanning er foreslått



Figur 1. Eksempler på ulike foreslåtte prosesser fra teknologileverandørene

Flere "nye" teknologier som vil kreve uttesting og kvalifisering er foreslått. Kun kjemisk felling er tidligere benyttet for eksisterende rensing av tunnelvaskevann. Optimalisering/uttesting av separasjonsteknologi og slamavvanningsløsning er foreløpig ikke godt nok dokumentert i fullskala.

Følgende foreslåtte løsninger som er egnet for mobile renseløsninger er ikke tidligere benyttet i fullskala for rensing av vaskevann fra veitunneler og krever en form for kvalifisering, og kan være aktuelle løsninger å teste/utvikle/undersøke videre:

- Elektrokoagulering skal gi en forenkling av håndtering av kjemikalier (krever kun strøm og bytting av anoder med jevne mellomrom), enklere håndtering av slam og en effektiv fjerning av tungmetaller. Kan kombineres med separering av små sulfidpartikler fra anaerobt behandlet vann
- Nanopartikler spesielt designet for adsorpsjon eller ionebytte for fjerning av løste tungmetaller. Fokus på mulig gjenbruk av tungmetaller og reduksjon av bruk av kjemikalier
- Avansert oksidasjon i ulike former, anbefalt for å bryte ned vaskemidler og forbedre fjerningen av tungmetaller
- Membranfiltering, ultrafiltrering foreslått av flere
- Avanserte utgaver av flotasjon med mikrobobler av gass

- Ionebytte, både anionisk og kationisk. En ionebytter ble testet i laboratorieforsøk, men var ikke vellykket (Garshol *et al.*, 2015). Her er det i så fall behov for å finne mer spesifikke ionebytttemasser
Adsorpsjon med GAC filter, dette var lite effektivt i tidligere gjennomførte laboratorieforsøk (Garshol *et al.*, 2015)

3.2.2. Renseeffektivitet

Renseeffektivitet av de foreslåtte prosessene er oppgitt fra 4 av leverandørene og det nevnes renses effekter som:

- TSS 87-99 % fjerning
- KOF 83 -90 % fjerning (Aquateam COWI oppnådde aldri så god renses effektivitet i laboratorie-forsøkene (Garshol *et al.*, 2015))
- Hydrokarboner 60-99 % fjerning
- Tungmetaller 95->99 % fjerning
- Vaskemiddel: > 85-90 % fjerning (Aquateam COWI oppnådde aldri så god renses effektivitet i laboratorieforsøkene (Garshol *et al.*, 2015))

3.3. Kostnader knyttet til renseløsningen

Leverandørene ble bedt om å beskrive kostnader knyttet til renseløsningen. Typiske kostnader for mobile systemer, både CAPEX (investering) og OPEX (drift) ble etterspurt. Tilbud fra selskaper basert på leasing eller innkjøp skulle vurderes. De operasjonelle kostnadene (OPEX) inklusive deponering av avfall og andre utslipp (til luft), kjemikaliebehov, energibehov, drift- og vedlikeholdsutgifter skulle oppsummeres. Det ble også bedt om informasjon som muliggjorde utarbeidelse av et slags miljøregnskap, f.eks. behov for kjemikalier, avfallsmengder og evt. type avfall, energibehov (for beregning av utslipp av CO₂) og andre miljørelaterte forhold (gjenvinning av ressurser, energi etc.).

3.3.1. Investeringskostnader

Fire leverandører har oppgitt investeringskostnader, men det er litt uklart eksakt hvilke prosesskombinasjoner og vannmengder man har inkludert. Tre av disse oppgir at de også kan leie ut anlegget. To har oppgitt leiepris. Leverandørene har oppgitt data under litt ulike forutsetninger og for å få sammenlignbare tall har vi forsøkt å benytte samme forutsetninger for alle. Noen av leverandørene har ikke spesifisert eksakt hvilke prosesser som inngår i forslaget som er priset. Dataene er ikke direkte sammenlignbare, men gir et inntrykk av hvilket nivå det er snakk om. Anleggene som er dimensjonert håndterer ifølge leverandørene en vannmengde på 10-15 m³/t. Investeringskostnadene er oppgitt fra ca 1,3 mill. NOK til 5 mill. NOK.

Tabell 3 oppsummerer investeringskostnader oppgitt av leverandørene.

Det var ikke mulig å stadfeste om kostnadene for containere ble tatt med. Et par leverandører har inkludert slambehandlingsanlegg og andre har ikke det. Et par leverandører har tatt med pumpe for å pumpe inn vannet på anlegget. Det er store ulikheter i hvilken detaljeringsgrad som ligger til grunn for kostandsberegningene. En leverandør har levert mange lignende anlegg (ikke til tunnelvaskevann), og har derfor et godt erfaringsgrunnlag for å oppgi priser.

Tabell 3. Investerings- og leasingkostnader for ulike foreslåtte løsninger.

Selskap	Prosesskombinasjoner	Vannføring i anleggene	Investering (mNOK)*			Forutsetning
			CAPEX	Kjøpe	Lease per rensing (kNOK/100 m ³)	
B1	MBBR (aerob, anaerob), kjemisk felling (PAX/polymer, sedimentering) +UF (0,5 eller 0,02µm)	2,5 m ³ /t	2,07	3,1	108	36 rensinger per år. En rensing er 100 m ³
B2	Forfilter kjemisk felling, sedimentering + UF (0,02 µm)	15 m ³ /t	2,11	3,17	60	
B3	Forfilter + UF (0.02 µm)	30 m ³ /t	2,58	3,88	108	
F1	Filtrering evt. kjemisk felling & DAF, (MBBR) & UF	15 m ³ /t	5,0			
G1	Sedimenteringsbasseng, minihydroyklon, elektrokoagulering, mini-DAF, multimediafiltrering, GAC	10 m ³ /t	1,3			
G2	Sedimenteringsbasseng, minihydroyklon, elektrokoagulering, mini-DAF, multimediafiltrering, GAC	30 m ³ /t	1,95			
H1	Sandfilter, Trykfilter TSS fjerning & Trykfilter OIV fjerning, anione- (DOC), katione-bytter tungmetall)	10 m ³ /t	3,57		66	
H2	Sandfilter, UF, anione- & katione-bytter	10 m ³ /t	7,0		66	

*Benyttet følgende valutakurs; 1 £ = 13 NOK; 1 € = 10 NOK

3.3.2. Driftskostnader

Under driftskostnader kommer arbeidstid for driftspersonale, kjemikalier, slamhåndtering, kostnader til avfall og energi. Tabell 4 oppsummerer data mottatt fra leverandørene. Vedlikeholdskostnader var bare tatt med fra én leverandør og vi har valgt å benytte samme beløp for alle. En operatør har oppgitt at det bør være to personer til å drifte anlegget. Denne kostnaden er ikke tatt med i noen av driftskostnadene. Kostnadene til håndtering av avfall spriker. Det er vanskelig å finne ut hvilke kostnader som leverandørene har tatt med i sine beregninger. Kostnader til bytting av posefilter, nytt ionebyttemedium, aktivert karbon og membraner er heller ikke tatt med i noen av regnestykkene. Beregning av kostnader knyttet til energien som trengs er også mangelfull. Oversikten over kostnader knyttet logistikken ved transport av vann og slam er mangelfull og tilfeldig.

Kostnadene til håndtering av slam er ikke inkludert. Slammengdene som må håndteres er neppe riktige. Det finnes veldig lite informasjon tilgjengelig om hvor mye slam som dannes bare fra sedimentering.

Tabell 4. Driftskostnader oppsummert fra ulike leverandører.

Selskap/prosess	Ant. operatører	Rensetid (d)	Forutsetning prising	OPEX NOK/gang				
				Total NOK	Avfall NOK	Kjemikalier NOK	Vedlikehold NOK	Energi kWh*
B1	2*	2	36xvask/år (100 m ³ /gang) 1 uke vedlikehold/år	3980	2110	200	1670	169
B2		<0,5		3145	1275	200	1670	63
B3		0,1 (3 t)		3750	1500	0	1670	48
F1	i.a.	0,6		3170			1670	
G1	i.a.	0,4		2170			1670	
G2	i.a.	0,1		2170			1670	
H1	i.a.	0,4		3840	670	1500	1670	40
H2	i.a.	0,4		3470	300	1500	1670	40

* ikke inkludert i prisingen av driften; i.a. =ikke angitt

3.4. Praktisk gjennomførbarhet av de foreslåtte løsningene

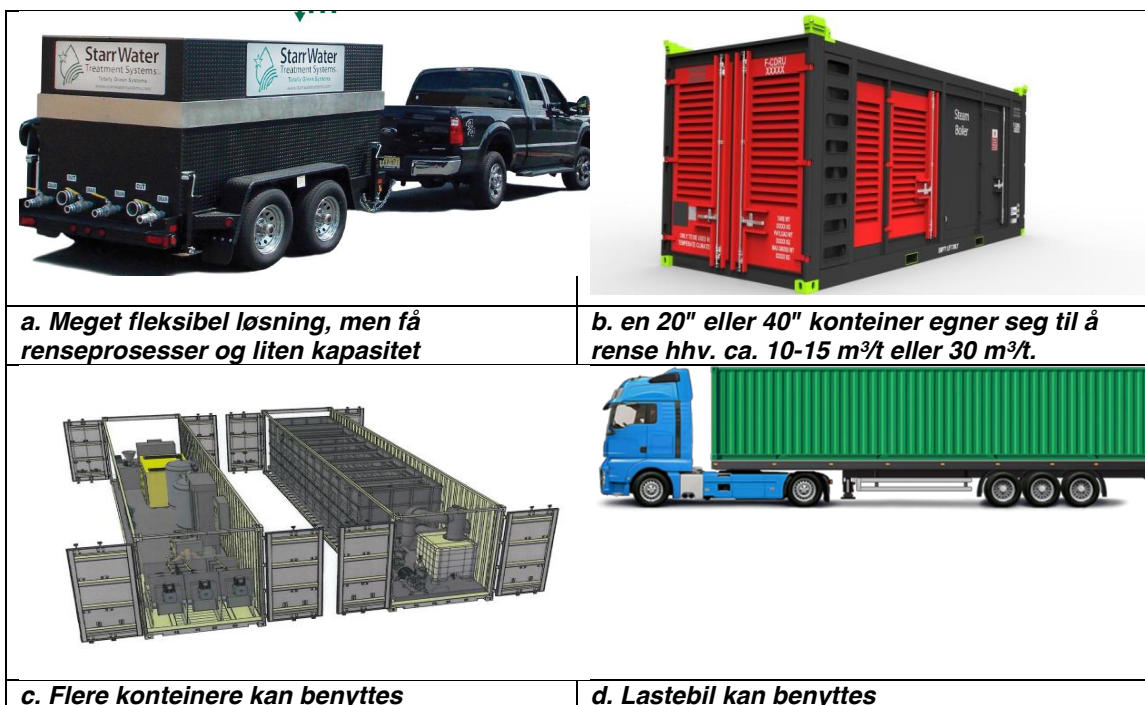
Leverandørene har foreslått ulike løsninger knyttet til praktisk gjennomføring av de foreslåtte løsningene. Renseløsningenes krav til logistikk er vurdert. Noen løsninger er planlagt bygget på lastebil/trailer og er fullstendig mobile, mens andre krever at vannet hentes og transporteres til egnet sted for rensing. Mange løsninger forutsetter at det foreligger en oppsamling og sedimentering i tilknytning til tunnelen før rensing. Det ble etterspurt informasjon om renseløsningenes robusthet mht. vannkvalitetsvariasjoner og endringer i krav, tilgjengelig reserveutstyr og krav til kompetanse for drift og vedlikehold, renseløsningens modenhet (finnes den på markedet i dag eller kreves der videre utvikling av teknologien (FoU-behov)), samt leverandørens erfaring med behandling av vaskevann

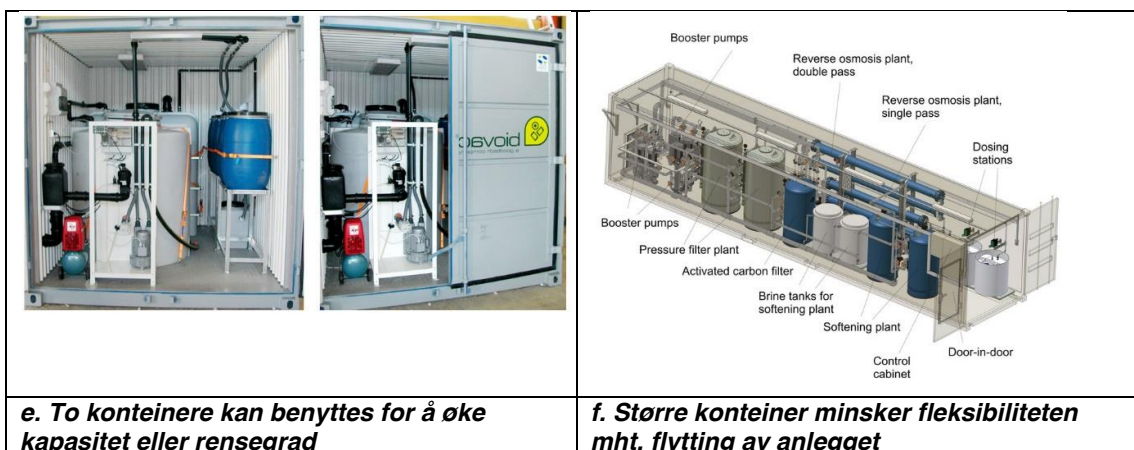
3.4.1. Foreslåtte logistikkalternativer

Leverandørene ble det bedt om innspill til mobile løsninger, og følgende forslag ble gitt:

1. Strategisk plasserte sentraliserte løsninger:
 - a. Skittent vaskevann fraktes med bil til sentraliserte løsninger. Samme bil benyttes til å frakte rensert vann til vask av tunnelen
 - b. Man bygger et VA-system mellom tunneler som egner seg å koble sammen til et strategisk plassert renseanlegg
2. Konteinerløsning som er egnet for:
 - a. Lokalitet med moderate rensekrav
 - b. Lokalitet med strenge rensekrav
 - c. Oppsamlet og forsedimentert vann
 - d. Oppsamlet og semi-aerobt rensert vann
 - e. Oppsamlet og anaerobt rensert vann
 - f. Behandling av vannet når det produseres.

Størrelsen på anlegget og rensekrav vil avhenge av hvilke løsninger man velger. Figur 2 illustrerer ulike grader av fleksibilitet og størrelser på mobile og konteinerbaserte anlegg.





e. To containere kan benyttes for å øke kapasitet eller rensesgrad

f. Større containere minsker fleksibiliteten mht. flytting av anlegget

Figur 2. Mobile og containerbaserte løsninger kan variere i størrelse og grad av mobilitet.

Gjennomgang av leverandørdata på internett viser at de aller fleste større vannrenseselskap leverer mobile eller containerbaserte renseløsninger for rensing av kommunalt avløpsvann, drikkevann og industriavløpsvann. Norske leverandører har også levert mobile renselanlegg for å rens tunnelvann (til bruk for rensing av vann under byggeprosessen eller for rensing av overvann).

Å gjøre anlegget mobilt er en løsning som kan leveres av de fleste leverandører. Vi var i kontakt med en av de store leverandørene, men denne leverandøren ville kun levere forslag til løsning dersom forespørselen gjaldt en spesiell leveranse.

3.4.2. Kapasitet på foreslåtte renseløsninger

Leverandørene påpeker at renseløsninger som er containerbaserte i hovedsak kan inndeles i løsninger egnet for en 20" og en 40" container. Disse vil som grunnprinsipp kunne behandle følgende vannmengder:

- 20" containere kan behandle 10-15 m³/t
- 40" containere kan behandle 30 m³/t

Noen leverandører har antydnet at de har behov for flere containere. Det antydnes også at mobile renseløsninger kan være semi-mobile. Med semi-mobile løsninger menes å etablere en renseløsning som kan motta vaskevann fra flere tunneler innen et avgrenset geografisk område. Med det foreslås også at de kan plasseres utenfor en tunnel med resipient med lav sårbarhet og plass til å lokalisere løsningen. Vann fra nærliggende tunneler fraktes til denne lokaliteten. Vaskingen i disse tunnelene koordineres for å kunne utnytte driftspersonell, biler til fraktning av rent vann/skittent vaskevann og renskapasitet på en optimal måte.

Sentraliserte løsninger må designes og dimensjoneres i forhold til vannmengdene som de skal motta.

3.4.3. Avfallsproduksjon og -håndtering

Kun et fåtall leverandører har gjennomgått og diskutert produksjon og håndtering av avfall som f.eks. slam, restkjemikalier etc. Hvordan dette skal håndteres og hvilke mengder det er snakk om er selvsagt avhengig av hvilken forbehandling vannet har hatt i den lokale tunnelen. Den viktigste avfallsmengden er tilknyttet mengde slam som dannes fra prosessen.

Slam/avfall vil dannes i følgende prosesser:

- I forsedimentering eller grovseparasjonstrinn
 - I tunnelen eller
 - I sentralisert løsning eller
 - I mobilt anlegg
- I anlegg som benytter biologisk rensing
 - I tunnelen dersom aerob, semi-aerob eller anaerob nedbrytning benyttes
 - I strategisk plasserte anlegg med biologisk rensing (MBBR, MBR etc)
- I anlegg som benytter fellingskjemikalier
 - PIX og PAX dosering (i laboratorieforsøkene ble det benyttet ca.70 mg Fe/l for å få en effektiv felling ved normal pH, Ved høy pH, doseringen var 23 mg Fe/l)
 - Elektrokoagulering
- I anlegg som benytter pH justering (høy pH).
- I anlegg som benytter ionebytte (syre eller andre kjemikalier som benyttes for regenerering)
- I anlegg som benytter filtrering
 - Vaskevann fra membranfilteranlegg
- I anlegg som benytter Fenton's reagens som oksidasjonsmetode

Ingen av de kjemikaliene som leverandørene har foreslått å benytte forventes å inneholde miljøgifter som krever spesiell håndtering, men i de slamfraksjoner der tungmetallinnholdet og oljeinnholdet forventes å være høyt, vil det kunne bli behov for håndtering av slammet på godkjent deponi. Det er særlig høyt innhold av olje som er problematisk.

Hvorvidt det kan være økonomisk interessant å gjenvinne Zn eller Cu er ikke vurdert, men bør vurderes før man velger teknologiske løsninger. Laboratorieforsk har vist at innholdet av organisk stoff i slammet etter forsedimentering var ca. 50 % (Garshol *et al.*, 2015). Hvorvidt slammet er egnet til biogassproduksjon bør vurderes. Antageligvis er slammengdene for små til at det er regningsssvarende å utnytte det til biogassproduksjon eller til gjenvinning av tungmetaller.

3.4.4. Miljøaspekter

Følgende miljøaspekter må inkluderes i en miljøvurdering av de ulike renseprosessene:

- Kjemikaliebruk; som varierer med type prosess
 - Kjemisk felling: PIX; PIX (70 g Fe/m³ eller 23 g Fe /m³ da pH var justert til 12 før felling)
 - pH justering til høy pH: NaOH
 - Ionebytte: Syre eller base eller annet kjemikalie benyttet i regenereringsprosessen (ca. 30 l syre /m³).
 - Vaskekjemikalier til vaskeprosessen av membraner; normalt NaOH og HCl
 - Polymerer til slamavvanning
 - Næringsstoff (N og P) til biologiske prosesser og kanskje C til den anaerobe prosessen (i laboratorieforsøkene var det tilstrekkelig P og N i vaskevannet (Garshol *et al.*, 2015))
 - Til oksidasjonsprosesser; H₂O₂, Fe (Fenton's reagent)
 - Energiforbruk
 - Pumping (kjemikalier, vann, slam etc.)
 - Lufttilførsel til biologisk renseanlegg
 - Oksidasjonsprosesser; generering av Ozon, bruk av UV
- Transportbehov for vann, slam, kjemikalier
 - Dette avhenger av logistikken; valg av prosessløsning og plasseringen av renseløsningen i forhold til tunnelen som genererer vaskevannet.
- Utslipp til luft; CO₂, sulfid, andre flyktige organiske forbindelser

- CO₂ utslippene avhenger av energibehov og transportbehov samt energibærere (diesel, biobrennstoff, elektrisitet fra nettet eller fra ren vannkraft)
- Sulfid, avhenger av at anaerob nedbrytning er inkludert som renseprosess
- Flyktige organiske forbindelser må vurderes i tilknytning til AOP
- Ozonutslipp til luft må vurderes når ozon benyttes

3.5. Anbefaling av renseløsninger

Optimal løsning for ulike tunneler må vurderes på bakgrunn av: 1) oppnåelse av akseptable utslippsgrenser, 2) kostnader (CAPEX og OPEX), 3) gjennomførbarhet (tidligere erfaringer, relevante case-studier, stabiliteten i selskapet, slik at det er mulig for SVV å få oppfølging fra leverandøren til videre forbedringer av renseløsningene, tilgjengelig dokumentasjon etc.).

Det vil være en rekke ulike renseløsninger som egner seg for ulike tunneler. I dette dokumentet har vi oppsummert forslag mottatt fra ulike leverandører og vurdert fordeler og ulemper med ulike teknologier og forslag. På bakgrunn av tilgjengelig informasjon er det laget et forslag til SVV om videre framgangsmåte for å kunne benytte "mobile renseløsninger til å løse problemene med utslipp av forurenset vaskevann til lokale resipienter.

Leverandørene har erfaring med de prosessene de foreslår, men ikke for tunnelvaskevann. Litteraturgjennomgangen understreker at det er mangelfull erfaring med hvor store variasjoner i vannrate, vaskefrekvens og konsentrasjoner av miljøgifter vi kan oppleve i en og samme tunnel. Informasjon om hvor mye slam og hvilken kvalitet slam som faktisk produserer finnes det svært lite data om. De foreslåtte prosessene er robuste, men har sine svakheter mht. den vanntypen som her skal behandles. Stort sett er det forholdsvis kjente prosesser som er foreslått:

- Filtrering
- Kjemisk felling
- Flokkulering
- Granulert aktivt karbon
- Biologisk rensing (MBBR/MBR)

Noen nye løsninger for rensing av tunnelvaskevann er også foreslått:

- Anaerob nedbrytning
- Elektrokoagulering
- Membranfiltrering
- Oson-flotasjon
- Oksidasjon
- Forbehandling med mekaniske separasjonsløsninger
- Hydroykloner
- Ionebytteprosesser
- Slamhåndtering/avvanningsprosesser
- Nanopartikler designet for adsorpsjon og ionebytte

Leverandørene har varierende grad av praktisk erfaring. Det er nærliggende å foreslå at man bør vurdere innovasjonsbaserte prosesser der man tillater seg å teste ut både ulike logistikk-løsninger og prosesser med stort potensiale. Det er flere norske SME bedrifter som har kommet med svært konstruktive løsningsforslag.

4. Konklusjon og forslag til videre arbeid.

Internasjonalt finnes det mange mobile renseløsninger som benyttes til rensing av ulike typer avløpsvann. Mobile løsninger for rensing av tunnelvaskevann finnes det lite erfaring med. Dette markedet er ikke utviklet, og i kontakten med leverandørene kom det klart fram at de store leverandørene ikke ville bruke tid på henvendelsen fordi de ikke oppfattet dette markedet som modent. Vi fikk imidlertid informasjon fra 10 leverandører og fant ytterligere informasjon på internett om en del andre. Denne informasjonen har vært verdifull. Mange av leverandørene er involvert i utviklingsarbeid og mye av den mottatte informasjonen er konfidensiell. Denne informasjonen er ikke med i denne rapporten, men er sammenstilt i et separat internt notat tilgjengelig for kontaktpersonene i SVV.

Leverandørene har erfaring med de prosessene de foreslår, men ikke for rensing av tunnelvaskevann. Litteraturgjennomgangen understreker at det er mangelfull erfaring med hvor store variasjoner i vannrate, vaskefrekvens og konsentrasjoner av miljøgifter vi kan oppleve i en og samme tunnel. Informasjon om hvilke forurensinger man kan finne i slammet etter rensing, hvor stor produksjonen av slam det vil bli, og hvordan man skal slutttdisponere det finnes det svært lite data om. De foreslåtte prosessene er robuste, men har sine svakheter mht. den vanntypen som her skal behandles. Det er foreslått forholdsvis kjent teknologi, men også flere "nye" teknologier som vil kreve behov for kvalifisering. Kun kjemisk felling er tidligere benyttet til eksisterende rensing av tunnelvaskevann. Optimalisering/uttesting av separasjonsteknologier og slamavvanningsløsninger er midlertidig ikke godt nok dokumentert i fullskala. Følgende foreslåtte løsninger er ikke tidligere benyttet i fullskala for rensing av vaskevann fra veitunneler:

- Elektrokoagulering som skal gi en forenkling av håndtering av kjemikalier (kun strøm og bytting av offeranoder med jevne mellomrom), enklere slamhåndtering og en effektiv fjerning av tungmetaller. Kan kombineres med separering av små sulfidpartikler fra anaerobt behandlet vann.
- Nanopartikler spesielt designet for adsorpsjon eller ionebytte for fjerning av løste tungmetaller. Fokus på mulig gjenbruk av tungmetaller og reduksjon av bruk av kjemikalier er interessante forslag.
- Avansert oksidasjon i ulike former anbefalt for å bryte ned vaskemidlet og bedre fjerningen av tungmetaller.
- Membranfiltrering, ultrafiltrering foreslått av flere, men aldri brukt på denne typen vann.
- Avanserte utgaver av flotasjon med mikrobobler av osongass er også foreslått.
- Ionebytte, både anionisk og kationisk er foreslått. En ionebytter er testet i laboratorieforsøk med tunnelvaskevann, men var ikke vellykket. Her er det behov for å finne mer spesifikke ionebytte materialer.
- Adsorpsjon med GAC filter er foreslått, men var lite effektivt i tidligere gjennomførte laboratorieforsøk.
- Det er behov for mer kunnskap om slamhåndteringsprosessene.

Renseeffektivitet av de foreslåtte prosessene er oppgitt fra 4 av leverandørene og det nevnes renseeffekter som:

- TSS 87-99 % fjerning
- KOF 83 -90 % og Vaskemiddel: > 85-90 % fjerning. Så god renseeffektivitet er aldri oppnådd i laboratorie-forsøk med tunnelvaskevann, men med bruk av AOP eller MBBR (aerob og anaerob kombinasjon) kan dette muligens oppnås
- Hydrokarboner 60-99 % fjerning
- Tungmetaller 95->99 % fjerning. Dette er også foreslått for andre prosesser enn kjemisk felling

Leverandørene har varierende grad av praktiske erfaringer med de foreslåtte konteinerbaserte løsningene. Det foreslås derfor at SVV vurderer å benytte innovasjonsbaserte prosesser der man tillater seg å teste ut både ulike logistikk-løsninger og prosesser med stort potensiale, samt nye løsninger som kan gi store besparelser. Det er flere norske SME bedrifter som har kommet med svært konstruktive løsningsforslag.

Leverandørene har oppgitt kostnader, både CAPEX og OPEX, men forslagene har ulike forutsetninger og kan derfor ikke sammenlignes. Det er spesielt stor usikkerhet knyttet til operasjonelle kostnader. Disse kan først bli realistiske når vi behandler et reelt renseanlegg.

Renseløsninger som er konteinerbasert, kan i hovedsak inndeles i løsninger egnet for en 20" og en 40" konteiner. Som grunnprinsipp er en 20" konteiner egnet til å behandle 10-15 m³/t og en 40" konteiner ca. 30 m³/t. Dersom det er behov for biologisk rensing eller andre plasskrevende prosesser, vil vannmengdene som skal behandles måtte reduseres for at et anlegg skal passe inn i en konteiner. Noen leverandører har antydnet at de har behov for flere konteinere. Det antydes også at mobile renseløsninger kan være semi-mobile. Det foreslås at de plasseres utenfor en tunnel med god resipient og plass til å lokalisere en felles løsning for flere tunneler. Vann fra nærliggende tunneler kan fraktes til denne lokaliteten. Vaskingen koordineres i disse tunnelene for optimalt å kunne utnytte driftspersonell, biler til frakting av rent og skittent vaskevann og renskapasitet. Hvor avanserte renseanlegg vi trenger og hvilke vannmengder de skal behandle avhenger av hvilken logistikk SVV velger. Følgende løsninger anbefales vurdert:

Strategisk plasserte sentraliserte løsninger i enkelte strøk med mange tunneler med begrensede arealmuligheter for eget renseanlegg:

- Skittent vaskevann etter vasken bringes til sentralisert renseløsning med bilene som har vært benyttet til å frakte rent vann
- Man bygger rørledning mellom tunneler som egner seg å koble sammen til et strategisk plassert renseanlegg

Konteinerløsning som er egnet for:

- Lokalitet med moderate/strengt renskrav
- Oppsamlet og forsedimentert/aerobt/anaerobt rensset vann
- Behandling av vannet når det produseres

Størrelsen på anlegget og renskrav vil avhenge av hvilke logistikk-løsninger man velger. Investeringskostnader til renseanlegg med kapasitet på 10-30 m³/t ligger i størrelsesorden fra 2-5 mill NOK. Driftskostnadene ligger i størrelsesorden 20-40 kr/m³. Kjemikalier og avfallshåndtering er viktige kostnadsdrivere. Behovet for driftspersonale kan også bli en viktig faktor. Transportkostnader for vann og slam vil bli viktige parametere.

Det anbefales at SVV diskuterer logistikken knyttet til håndtering av tunnelvaskevann. En workshop med deltagere fra entreprenører, leverandører, miljømyndigheter og andre sentrale aktører kan være et godt utgangspunkt for å bringe prosessen videre. Det finnes gode løsninger som er egnet som mobile anlegg og videre utvikling bør settes i sammenheng med kost-/nyttevurderinger og hvilke krav som stilles til rensing. Mange leverandører har kommet med meget gode innspill og ønsker å fortsette samarbeidet med SVV. Mulig videreføring av dette arbeidet kan være testanlegg der teknologier testes ut. Mange av aktørene samarbeider på tvers av Europa, så med et samarbeid mellom SVV som bruker og evt. andre europeiske brukere, leverandører og FoU partnere fra flere EU-land ligger det vel til rette for å etablere europeiske - og nasjonale miljøteknologiutviklingsprosjekter.

5. Referanser

Bakke, T., Breedveld, G., Källqvist, T., Oen, A., Eek, E., Ruus, A., Kibsgaard, A., Hellan, A. og Hyllan, K. (2007): Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Revisjon av klassifisering av tungmetaller og organisk stoff. NIVA

Garshol, F.K., Estevez, M.M., Eftekhar Dadkhah, M., Stang, P., Rathnaweera, S.S., Sahu, A., Vik, E.A. (2015): NORWAT Rapport. Laboratorietester – rensing av vaskevann fra Nordbyttunnelen. Inklusive datarapport og resultater med vann hentet 31.08. 2014 og 18.03.2015. Aquateam COWI Rapport No. 15-032.

Meland, S. (2012a): Kjemisk karakterisering av sediment fra Vassum sedimenteringsbasseng. Rapport fra Statens Vegvesen Rapport nr 94.

Meland, S. (2012b): Tunnelvaskevann – En kilde til vannforurensning, Vann I 02 2012

Meland S, Borgstrøm R, Heier LS, Rosseland BO, Lindholm O, Salbu B.(2010a): Chemical and ecological effects of contaminated tunnel wash water runoff to a small Norwegian stream. Science of The Total Environment 2010; 408: 4107-4117.

SFT (1997a): Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. SFT 97:04. TA-1468/1997.

SFT, (1997b): Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. SFT Veiledning 97:03; TA-1497/1997

Statens vegvesen (2014): Standard for drift og vedlikehold av riksveger Håndbok nr. R610 ISBN: 978-82-7207-655-8

Torp, M. and S. Meland, 2013, Estimering av forurensning i tunnel og tunnelvaskevann, Statens vegvesens rapportnr. 99.

Weideborg, M., Blytt, L.D., Stang, P., Henninge, L.B. og Vik, E.A. (2012): Bakgrunnsdokument for utarbeidelse av miljøkvalitetsstandarder og klassifisering av miljøgifter i vann, sediment og biota. Aquateam-rapport, O-12055, Klif TA -3001/2012

6. Vedlegg: Notat sendt til teknologi leverandører (Norsk og Engelsk)

AQUATEAM COWI OG STATENS VEGVESEN

MOBILE RENSELØSNINGER

TIL ALLE TEKNOLOGILEVERANDØRER

ADDRESS Aquateam COWI AS
Hasleveien 10
Postboks 6875 Rodelekkje
504 Oslo

TEL +47 02694
WWW COWI.NO

INNHOOLD

1	Bakgrunn	1
2	Rengjøring av tunneler	1
3	Rensing av tunnelvaskevann	2
4	Løsninger vi ser etter	2
5	Forslag til løsninger	3
6	Vedlegg	3

1 Bakgrunn

Norge har i dag mer enn 1000 vegtunneler med ulik utforming og overflate. Statens Vegvesen (SVV) er en av Norges største byggherrer, og har ansvar for bygging, drift og vedlikehold av alle riks-, fylkes- og europaveger. SVVs aktiviteter er regulert gjennom en rekke lovverk.

2 Rengjøring av tunneler

For å opprettholde god trafiksikkerhet og øke tunnelenes levetid vaskes tunnelene. Rengjøringshyppigheten varierer betydelig mellom ulike tunneler hovedsakelig som følge av ulik trafikkmengde. Høytrafikkerte tunneler med årsdøgnetrafikk (ÅDT) over 20 000 kjøretøy pr. tunneløp vaskes 8-12 ganger pr. år, mens lavtrafikkerte tunneler med ÅDT mindre enn 1 500 kjøretøy pr. tunneløp vaskes sjeldnere enn én gang pr. år.

OPPDRAGSNR.
DOKUMENTNR.
VERSJON
UTGIVELSESDATO
UTARBEIDET
KONTROLLERT
GODKJENT

C:\User\ASHSD\Documents\COWI\Project\Tunnel\design\PP\Til\Notat til leverandør.docx

Selve vaskeprosedyren er relativt lik. Skitt og større partikler fjernes med sugesuge-/feiebil før selve vaskingen med vann og eventuelt såpe starter. Rengjøringen avsluttes med at sugesuge-/feie bilen suger opp skitt og udrenert overskuddsvann fra vegbanen. I tillegg skilles det mellom helvask og halvask. Helvask, som normalt skjer 1-2 ganger pr. år, inkluderer vask av alle flater samt teknisk utstyr, mens halvask inkluderer kun vask av vegger, skilt og lysrekker og skylling av vegbane. I tillegg tømmes sandfang for partikler ved behov. Forurensningsgraden avgjør hvorvidt massene deponeres eller ikke. Vannforbruket under selve rengjøringen varierer mellom de ulike entreprenørene bl.a. i forhold til valg av vaskeutstyr og fremdriftshastighet. Med unntak av såpestoffer er det kjemiske innholdet i vaskevannet svært sammenfallende med hva som finnes i avrenningsvann fra veg i dagen, og kan karakteriseres som en cocktail av flere miljøgifter samt en betydelig mengde partikler.

Aquateam COWI har tatt prøver av tunnelvaskevann i løpet av sommeren og sist vinter, og resultatet fra testene av dette tunnelvaskevannet er presentert i Power Point-presentasjonen. Se vedlagte Power Point-presentasjon.

3 Rensing av tunnelvaskevann

Utslipp av forurenset tunnelvaskevann til sårbare resipienter kan medføre skader på vannlevende organismer. Til tross for dette så er det i de fleste tunnelene (ca. 90%) ingen form for rensing utover det som sedimenterer i sandfangene og i oljeutskillere.

Det er ønskelig å finne rensemetoder for tunnelvaskevann der det ikke er etablert faste renseløsninger for dette i eller utenfor tunneler. Løsningene bør være fleksible slik at de kan benyttes for ulike tunneler som driftes ulikt.

4 Løsninger vi ser etter

Det er to forhold som er viktige å vurdere ved valg av type teknologi:

- 1 Avstanden mellom tunnelene der renseløsningen skal benyttes samt frekvensen av renhold i de ulike tunnelene og evt. andre forhold
- 2 Resipienten for utslippet fra anlegget (renseanlegg, innsjø, fjord, elv)

Det er flere måter vann kan slippes ut på etter behandling, og dette vil være avhengig av strømmingen og konsentrasjonen av forskjellige forbindelser som er tilstede i vannet. En lav flyt med fortykning kan være en løsning forutsatt at utslippskravene oppfylles. Disse kravene er fremhevet i presentasjonen.

Mengden av vann som produseres per tunnel per år kan estimeres for tunneler. Som et eksempel har bare tunnelene i Østfold blitt fremhevet i den vedlagte presentasjonen.

Følgende kriterier må tas i betraktning, i de foreslåtte løsningene:

- › Det skal foreligge en beskrivelse av aktuelle mobile renseløsninger og mulig oppnådd rensegrad.
- › Rensegraden til renseløsningene må overholde gjeldende lovverk og kunne tilpasses ulike resipienters sårbarhet (f.eks. høy rensegrad og middels rensegrad).
- › Renseløsningen må også kunne tilpasses ulike driftsrutiner, samt type, utforming og alder på tunnelen. Forutsetningene for at renseløsningen skal fungere optimalt må framkomme.
- › Det skal foreligge en beskrivelse av kostnader knyttet til renseløsningen. Det må gjøres en vurdering av kostnader knyttet til innkjøp kontra innleid renseløsning. Det skal også gjøres et miljøregnskap. I dette ligger det f.eks. behov for tilførsel av kjemikalier til renseløsningen, kostnader knyttet til deponering av avfallet, energi for drift av renseløsningen og frakt og utslipp av CO₂.
- › Prosjektet skal beskrive praktisk gjennomførbarhet av de foreslåtte løsningene.

5 Forslag til løsninger

Aquateam COWI skal presentere forslag fra flere teknologileverandører for Statens Vegvesen i november. Alle spørsmål og forslag til løsninger sendes til Ashish Sahu (ashs@aquateam.no) og Eilen Arctander Vik (eav@aquateam.no).

6 Vedlegg

Oversikt over tunneler i Østfold. Estimering vaskevann (L/år)

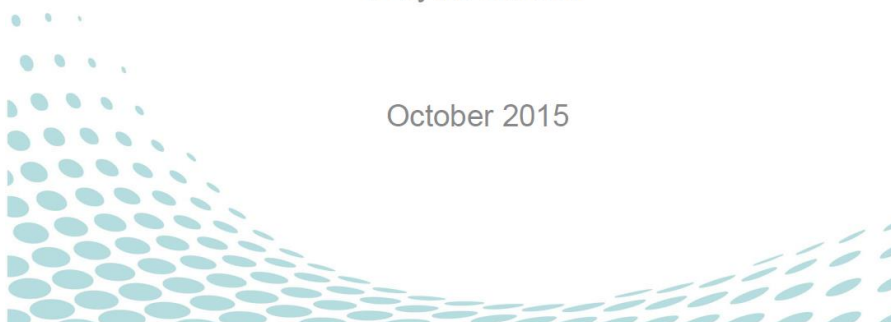
Oversikt over tunneler i Østfold								
Alle er med rensing								
Veg	Navn	Tunnellengde	ÅDT	Typ renseløsning	Resipient	Estimering		
						Helvask	Halvvaske	Vaskevann
		m				L	L	L/år
E18	Askimporten	1000	9436	Sedimenteringbasseng	Glomma	100000	70000	240000
RV160	Bekkestutunnelen	745	9621	Sedimenteringbasseng		44700	31290	107280
FV159	Blåkollentunnelen	450	10600	Renseanlegg	Sagelva	27000	18900	64800
E16	Brennetunnelen	1093	13143	Våtmark/infiltrasjon	Isi-elven	109300	76510	448130
RV23	Frogntunnelen	1564	11377	Sedimenteringbasseng	Krøkle	93840	65688	225216
RV4	Hagantunnelen	2591	14019	Sedimenteringbasseng	Skyssetbekken eller	155460	108822	637386
E6	Nordbyttunnelen	3867	32600	Sedimenteringbasseng	Årungselva	386700	270690	1856160
E6	Nøstvetunnelen	3723	37516	Sedimenteringbasseng	Bunnefjorden	372300	260610	1787040
EV6	Pinnåsen-miljøtunnel	82	37362	Sedimenteringbasseng	Assuren/Assur tjern	8200	5740	39360
RV159	Rælingstunnelen	1791	29334	Renseanlegg	Nitelva	179100	125370	859680
E16	Skuittunnelen	1421	12370	Sedimenteringbasseng	Dalsbakken og Isi-elven	142100	99470	582610
E6	Smiehagen	923	38292	Sedimenteringbasseng	Årungselva	55380	38766	265824
E16	Vassumtunnelen	368	11300	Sedimenteringbasseng	Årungselva	51520	36064	123648
E6	Bjørvikalokket/Bjørvikatunnelen	1200	69783	Sedimenteringbasseng	Loelva	168000	117600	806400
E6	Ekebergtunnelen	1539	77017	Sedimenteringbasseng	Loelva	215460	150822	1034208
E6	Svartdaltunnelen	1264	27907	Sedimenteringbasseng	Loelva	126400	88480	606720

C:\Users\ASHISH\Documents\COWI\Project\Tunnel_cleaning\PP\Til\Notat til Eilen Arctander.docx

Mobile renseløsninger – vaskevann fra veitunneler

Eilen Arctander Vik, Ashish Sahu,
Frøydis Garshol

October 2015



AQUATEAM COWI AND STATENS VEGVESEN

MOBILE WASHING SOLUTION

TO ALL TECHNOLOGY PROVIDERS

ADDRESS Aquateam COWI AS
Haslevelen 10
Postboks 6875 Rodeløkke
504 Oslo

TEL +47 02694
WWW COWI.NO

TABLE OF CONTENTS

1	Background	1
2	Cleaning of tunnels	1
3	Purification/Treatment of tunnel washwater	2
4	Solutions we are looking for	2
5	Proposed solutions	3
6	Appendix	3

1 Background

Norway currently has more than 1,000 tunnels with different design and finish. Statens Vegvesen (SVV) is one of the largest builders, and has responsibility for construction, operation and maintenance of all national, county and European roads in Norway. SVVs activities are regulated by numerous legislations.

2 Cleaning of tunnels

To maintain good traffic and increase the lifetime of the tunnels, washing of tunnels is carried out. Cleaning frequency varies considerably between different tunnels mainly due to varying traffic volumes. High traffic tunnels with average annual daily traffic (ADT) of 20,000 vehicles per tunnel are washed 6-12 times a year, while low-traffic tunnels with ADT less than 1,500 vehicles per tunnel are washed less frequently than once per year.

OPPDRAGSNR.
DOKUMENTNR.
VERSJON
UTGIVELSEDATO
UTARBEIDET
KONTROLLERT
GODKJENT

C:\Users\ASH91\Documents\COWI Project\Tunnel cleaning\PP\TilNetel til leverandere in English.docx

The washing procedure is somewhat similar. Dirt and larger particles are removed by suction / feie-bil before the washing with water and optionally use of detergent. Cleaning ends with suction / sweep car sucks up dirt and undrained excess water from the roadway. In addition, a distinction is made between full-wash and half-wash. Full-wash, which normally occurs 1-2 times/ year, includes washing of all surfaces and equipment, while half wash only includes washing walls, signs and light-lines and rinsing of the roadway. In addition, emptying sand traps for particles is carried out occasionally. Pollution degree determines whether the masses are deposited or not. Water consumption during actual cleaning varies between the various contractors among others in relation to the choice of cleaning equipment and forward speed. With the exception of detergents is the chemical content in the washwater very congruent with what is contained in the runoff water from the open road, and can be characterized as a cocktail of several pollutants and a significant amount of particles.

Aquateam COWI has sampled tunnel washwater during the summer and last winter, and the results from tests of this tunnel washwater are presented in Power Point presentation. See attached Power Point presentation.

3 Purification/Treatment of tunnel washwater

Polluted tunnel washwater to vulnerable recipients can be detrimental to aquatic organisms. Despite this, as there are in most tunnels (approximately 90%) no form of purification beyond that settles in sandtrap and oil separators. It is desirable to find treatment methods for tunnel washwater since there is no established permanent treatment solutions for this in or outside tunnels. The solutions should be flexible so that they can be used for different tunnels, which are operated and washed differently (frequency).

4 Solutions we are looking for

There are two factors that are important to consider when selecting the type of technology:

1 Spacing/distance between the tunnels where cleaning solution to be used and frequency of cleaning in the various tunnels and any other conditions that may prevail

2 Where and how will the treated washwater will be discharged (municipal wastewater treatment plants, lake, sea, river)

There are several ways water can be discharged on treatment, and this will depend on the flow and concentration of the different compounds present in the water. A low flow dilution may be a solution provided that emission standards are met. These requirements are highlighted in the presentation.

The amount of water produced per tunnel per year can be estimated for tunnels. As an example, only tunnels in Østfold been highlighted in the attached presentation.

The following criteria must be taken into account in the proposed solutions:

- › There must be a description of the mobile treatment systems and possible achieved degree of purification.
- › The capture rate of the cleaning solutions must comply with applicable laws and could be adapted to different recipients vulnerability (eg. High degree of purification and medium degree of treatment).
- › Cleaning solution must also be adaptable to different operating procedures, as well as type, shape and age of the tunnel. The assumptions for the cleaning solution to work properly should be clearly stated.
- › There must be a description of the costs associated with cleaning solution. There must be an assessment of the costs related to purchasing versus hired cleaning solution. There will also be an environmental audit. This implies for example, need for additional chemicals to purify the solution, expenses related to the disposal of waste, energy for operation of the cleaning solution and freight and CO2 emissions.
- › The project will describe the practical feasibility of the proposed solutions.

5 Proposed solutions

Aquateam COWI will present proposals from several technology providers for the Statens Vegvesen in November. All issues and proposed solutions submitted to Ashish Sahu (ashs@aquateam.no) and Eilen Arctander Vik (eav@aquateam.no).

6 Appendix

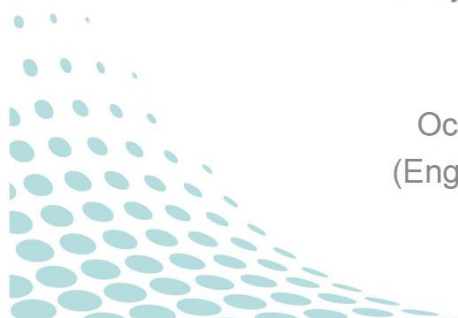
Overview of tunnels in Østfold. Estimation washwater produced (L/yr)

Overview of tunnels in Østfold region								
All er with Washing						Estimations		
Road	Name	Tunnel length	g daily traf	Type of treatment	Recipient	Full wash	Half wash	water produ
		m				L	L	L/år
E18	Askimporten	1000	9436	Sedimentation basin	Glomma	100000	70000	240000
RV160	Bekkestutunnelen	745	9621	Sedimentation basin		44700	31290	107280
FV159	Blåkollentunnelen	450	10600	Wastewater treatment	Sagelva	27000	18900	64800
E16	Brennetunnelen	1093	13143	Våtmark/infiltration	Isi-elven	109300	76510	448130
RV23	Frogntunnelen	1564	11377	Sedimentation basin	Krøkle	93840	65688	225216
RV4	Hagantunnelen	2591	14019	Sedimentation basin	Skysetbekken eller	155460	108822	637386
E6	Nordbytunnelen	3867	32600	Sedimentation basin	Årungselva	386700	270690	1856160
E6	Nøstvetunnelen	3723	37516	Sedimentation basin	Bunnefjorden	372300	260610	1787040
EV6	Pinnåsen-miljøtunnel	82	37362	Sedimentation basin	Assuren/Assurtern	8200	5740	39360
RV159	Rælingstunnelen	1791	29334	Wastewater treatment	Nitelva	179100	125370	859680
E16	Skuitunnelen	1421	12370	Sedimenteringbasseng	Dalsbakken og Isi-elven	142100	99470	582610
E6	Smiehagen	923	38292	Sedimentation basin	Årungselva	55380	38766	265824
E16	Vassumtunnelen	368	11300	Sedimentation basin	Årungselva	51520	36064	123648
E6	Bjørvikalokket/Bjørvikatunnelen	1200	69783	Sedimentation basin	Loelva	168000	117600	806400
E6	Ekeberg tunnelen	1539	77017	Sedimentation basin	Loelva	215460	150822	1034208
E6	Svartdaltunnelen	1264	27907	Sedimentation basin	Loelva	126400	88480	606720

Mobile Cleaning Solutions Washwater from Road Tunnels

Eilen Arctander Vik, Ashish Sahu,
Frøydis Garshol

October 2015
(English Version)





Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen