

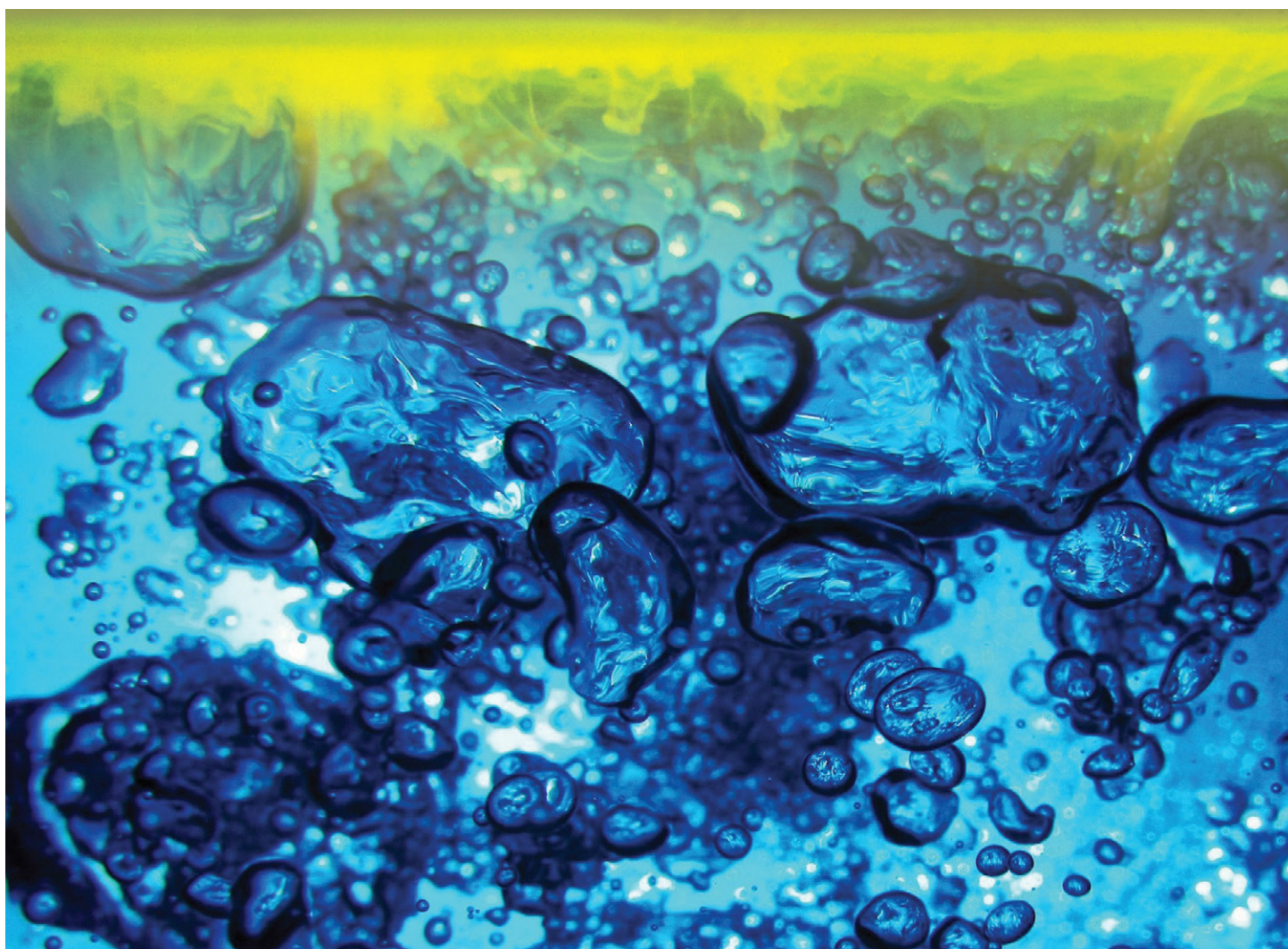


Nytt rensetrinn i Vassum rensebasseng

Mulighetsstudie

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 201



Tittel

Nytt rensetrinn i Vassum rensedbasseng

Undertittel

Mulighetsstudie

Forfatter

COWI AS for SVV

Avdeling

Vegavdeling Akershus

Seksjon

Trafikk Akershus

Prosjektnummer

603019

Rapportnummer

Nr. 201

Prosjektleder

Elisabeth Støhle Rødland

Godkjent av

Sondre Meland, Kjersti W. Kronvall

Emneord

Tunnelvaskevann, avrenning, sedimentasjonsbasseng, miljø

Sammendrag

Formålet med rapporten er å vurdere mulighetene for å etablere en tilleggsrensning for Vassum rensedbasseng ved E6. Dagens rensedbasseng mottar avrenning fra dagsone og fra tunnelvask fra tunnelene Nordby, Vassum, Smihagan. Bassenget fjerner i hovedsak partikkelbundne forurensninger. I rapporten er det foretatt en gjennomgang av aktuelle renseløsninger som kan etableres som en tilleggsrensning til dagens rensedbasseng.

Title

Prospects of a new treatment step in Vassum sedimentation basin

Subtitle**Author**

COWI AS for NPRA

Department

Roads Department - Akershus

Section

Traffic Section Akershus

Project number

603019

Report number

No. 201

Project manager

Elisabeth Støhle Rødland

Approved by

Sondre Meland, Kjersti W. Kronvall

Key words

Tunnelwash, run-off, sedimentation basin, environment

Summary

The purpose of this report is to evaluate the possibilities of establishing additional treatment steps in Vassum sedimentation basin by E6. The sedimentation basin receives run-off from the road area around the basin as well as from tunnelwash from the tunnels Nordby, Vassum and Smihagan. The report reviews possible treatment solutions that can be established as additional treatments to the current sedimentation basin.



Statens vegvesen

NORWAT
Nordic Road Water

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 rens tiltak 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.

Statens vegvesen har over 150 naturbaserte renseløsninger for forurenset vegvann langs vegnettet. Disse er relativt enkle og billige i drift, og er hovedsakelig knyttet mot partikkelbundne forurensninger som kan sedimenteres ut og dermed redusere forurensningsbelastningen i resipienten.

Vassum rensedbasseng er lokalisert langs E6 (Frogn kommune, Akershus) og er bygget som et vått overvannsbasseng bestående av et støpt forsedimenteringskammer etterfulgt av et hovedbasseng med justerbar vannhøyde. Bassenget mottar vaskevann fra tre tunneler; Nordby-, Smihagan- og Vassumtunnelen. I tillegg mottar bassenget avrenning fra vegarealet i mellom de nevnte tunnelene. Hensikten med bassenget er å redusere bidraget av forurensende stoffer til den 2,5 km lange Årungselva som blant annet er viktig som gyte- og oppvekstområde for sjøørret.

Til tross for at det er etablert en renseløsning er det dokumentert negative effekter i form av redusert vekst hos en-somrig sjøørret nedstrøms E6. I tillegg er det dokumentert utslipp av høye konsentrasjoner av løste forurensningsstoffer i utløpet av rensedbassenget under vaskeepisoder. Med bakgrunn i dette fikk COWI AS i 2012 i oppdrag å lage en rapport for Statens vegvesen og NORWAT hvor formålet var å vurdere mulighetene for å etablere en tilleggsgrensing for Vassum rensedbasseng.



DESEMBER 2012
STATENS VEGVESEN REGION ØST

NYTT RENSETRINN I VASSUM RENSEBASSENG - MULIGHETSSTUDIE



Vassum rensebasseng, E6 og Nordbytunnelen

DESEMBER 2012
STATENS VEGVESEN REGION ØST

NYTT RENSETRINN I VASSUM RENSEBASSENG - MULIGHETSSTUDIE

OPPDRAGSNR. A031177/137970
UTGIVELSESDATO 14.12.2012
OPPDRAGSGIVERS KONTAKTPERSON Elisabeth Rødland
OPPDRAGSANSVARLIG I COWI: Svein Ole Åstebøl
UTARBEIDET Svein Ole Åstebøl, Jon Trandem, Thorkild Hvitved-Jacobsen (HV-Consult)
KONTROLLERT Thorkild Hvitved-Jacobsen
GODKJENT Stein Broch Olsen

INNHOOLD

1	Sammendrag	7
2	Innledning	9
3	Status dagens rensedbasseng	10
3.1	Størrelse og tilrenningsarealer	10
3.2	Avrenning fra tunnelvask	13
3.3	Rensedbassengets funksjon	14
4	Oversikt over renseløsninger for videregående rensing	15
4.1	Innledende oversikt	15
4.2	Beskrivelse av mulige metoder	17
5	Vurdering av renseløsninger	26
5.1	Kriterier for rensing	26
5.2	Alternative renseløsninger	26
5.3	Oppsummering og anbefaling	36
6	Filtermaterialer	37
6.1	Innledning	37
6.2	Generelle forhold ved valg av filtermateriale	37
6.3	Aktuelle sorpsjonsmaterialer	38
6.4	Sammenligning av sorpsjonsmaterialer	40
6.5	Materialkostnader	41
7	Referanser	42

1 Sammendrag

Formålet med foreliggende prosjekt er å vurdere muligheten for å etablere en tilleggsrensing ved E6 Vassum rensebasseng for ytterligere å redusere forurensningsbelastningen til Årungselva. Dagens rensebasseng mottar avrenning fra dagsone og fra tunnelvask og fjerner i hovedsak partikkelbundne forurensninger.

Det er foretatt en gjennomgang av aktuelle relevante renseløsninger som kan etableres som tilleggsrensing til dagens rensebasseng. Foreliggende kunnskap om videregående rensing er mer omfattende for overvannsavrenning enn tilfellet er for tunnelvaskevann. Da stoffinnholdet i sistnevnte vanntype med unntak av konsentrasjonsnivåer og bruk av vaskemidler, er sammenlignbar med overvann, vurderes det generelt at de omtalte renseløsningene er relevante i den aktuelle sammenhengen.

Rensemetoder basert på filtrering (sorpsjonsfilter) og kjemisk felling fremheves som særlig interessante for rensing av vaskevann og veivann.

For den aktuelle situasjonen på Vassum er tre renskonsepter vurdert som særlig aktuelle:

1. Tilleggsrensing etableres ved dagens rensebasseng. Vaskevann og veivann tilføres anlegget som i dag. Tilleggsrensingen baseres på filterløsning (sandfilter og sorpsjonsfilter) kombinert med felling av vaskevann (gjelder vaskevann fra Nordbytunnelen)
- 2a. Separat oppsamling og rensing av tunnelvaskevann i ny bassengløsning kombinert med felling og filterløsning (gjelder vaskevann fra Nordbytunnelen). Veivannet samt vaskevann fra de 2 korteste tunnelene føres til dagens rensebasseng.
- 2b. Separat oppsamling og rensing av tunnelvaskevann i dagens rensebasseng med tilleggsrensing basert på felling og filterløsning (rensing av vaskevann fra alle

tunnelene). Veivannet infiltreres og renses i veigrøftene (massettskifting i grøftene, tilføring av filtermasse)

Separat rensing av tunnelvaskevannet kombinert med rensing av veivannet i dagens basseng, anses for å være den beste løsningen (2a). Separate renseløsninger gir gode muligheter for optimalisering av rensesprosessene og kontrollert testing av løsninger som gir god overføringsverdi.

Separat renseløsning for vaskevann fra Nordbytunnelen kan etableres i grøntområdet mellom teknisk bygg for Nordbytunnelen og fylkesvegen. Arealet er tilstrekkelig for å kunne etablere et lukket basseng med volum ca 500m³, tilsvarende volum for helvask, og med muligheter for etablering av etterfølgende filterenheter før utslipp mot Årungsella. Anlegget blir da liggende i nærheten av eksisterende pumpestasjon for vaskevann fra tunnelen.

Det anbefales bygget pilotanlegg for uttesting av renseløsninger for fullskala anlegg designes. Følgende pilotanlegg anbefales:

- › Et pilotanlegg for tunnelvaskevann foreslås etablert ved Nordbytunnelen.
- › Et pilotanlegg for uttesting av åpent rensfilter foreslås etablert ved dagens rensbasseng.

Det er foretatt en gjennomgang av filtermaterialer til sorpsjonsfiltrering. En rekke kriterier som sorpsjonskapasitet, sorpsjonshastighet, rensesmessig og fysisk stabilitet og kornfordeling (hydraulisk ledningsevne) er viktige for vurdering av filtermaterialenes egnethet til rensformål. Aktuelle sorpsjonsmaterialer er gruppert etter egnethet på følgende måte:

Gruppering egnethet	Type sorpsjonsmateriale			
	Anbefalte sorpssjonsmaterialer	Granulert kalk	Skjellsand	
Brukbare sorpssjonsmaterialer	Olivin			
Sorpssjonsmaterialer med bra potensiale	Zeolit	Metalloksyder	Modifiserte sandfiltere	Organiske fibermaterialer

2 Innledning

Statens vegvesen har over 150 naturbaserte renseløsninger for forurenset vegvann langs vegnettet. De fleste løsningene er av typen våte rensedbasseng som er relativt enkle og rimelige i drift og som hovedsakelig fjerner partikkelbundne forurensninger ved sedimentasjon. Vassum rensedbasseng ble bygget i 2000 og er lokalisert langs E6 i Frogn kommune (Akershus) og er bygget som et vått rensedbasseng (fig. 1/2). Bassenget mottar overvann fra dagsone (4- felt) og vaskevann fra 3 tunneler (Nordby-, Smiehagen- og Vassumtunnelene). Hensikten med rensedbassenget er å redusere forurensningsbelastningen til Årungsaelva som blant annet er viktig gyte- og oppvekstområde for sjørret.

Til tross for etablert renseløsning er det i ettertid dokumentert negative effekter i vassdraget i form av redusert vekst hos en-somrig sjørret nedstrøms E6. I tillegg er det dokumentert utslipp av høye konsentrasjoner av løste forurensningsstoffer i utløpet av rensedbassenget når tunnelvask pågår (Meland, S. 2010).

Formålet med foreliggende prosjekt er å vurdere muligheten for å etablere en tilleggsgrensing for å redusere forurensningsbelastningen til vassdraget ytterligere.



Figur 1. Oversiktsbilde fra Vassum med E6, rensedbasseng, tunnelene og Årungsaelva (Statens vegvesen, 2012).

3 Status dagens rensedbasseng

3.1 Størrelse og tilrenningsarealer

Bassengets størrelse er sammenstilt i tab. 1 (Scandiaconsult/Rambøll, 1997/Roseth et.al, 2002). Det bemerkes at grunnlagsmaterialet opererer med ulike volumtall i forhold til dybde.

Tabell 1. Størrelse dagens rensedbasseng.

Komponent	Overflate, m ²	Volum sommer, m ³ (0,6 m dyp)	Volum vinter, m ³ (1,2 m dyp)
Slambasseng	50	30	75
Hovedbasseng	500	250	500
Magasinering	550	295	0
Sum	550	280	575

Tilrenningsarealene til rensedbassenget er sammenstilt i tab. 2 (Scandiaconsult/Rambøll, 1997). Det bemerkes at Bioforsk (2002) oppgir veiarealet til å være 17 dekar. Det er usikkert hvor stort veiareal som faktisk har avrenning til rensedbassenget. Store deler av veistrekningen ligger på fylling med diffus avrenning til sideterreng (ingen oppsamling av veivannet). Foto fra veistrekningen er vist i figur 3.

Tabell 2. Dagsone og tunneler med avrenning til rensedbassenget.

Arealtype	Lengde, km	Asfaltareal, m ²	Grasdekt areal, m ²	Redusert areal, ha (%)
Vei i dagen, 4 felt	0,8	13000	22000	1,33 (0,38)
Nordbytunnelen, 4 felt	3,85			
Smiehagentunnelen, 2 felt	0,95			
Vassumtunnelen, 4 felt	0,85			



Figur 2. Skisse dagens bassengløsning



A-B: E6 sett fra Nordbyttunnelen mot sør. Hovedparten av veistrekningen har avrenning til midtdeler. I begge bildene ligger rensebassenget til høyre for veien.



C: E6 sett mot sør i retning Smiehagentunnelen. Påkjøringsrampe fra Vassumtunnelen i venstre bildekant.

D: E6 sett mot nord i retning Nordbyttunnelen. Avkjøringsrampe til Vassumtunnelen i venstre bildekant.

Figur 3A-D. Foto fra E6 Vassum.

Dimensjoneringen av bassenget er sammenholdt med anbefalt dimensjonering for rensebasseng med avrenning fra dagsonen (tab.3). Anbefalt dimensjonering for høy rensegrad tilsier 25 m³/red.ha for slambassenget og 220 m³/red.ha for hovedbassenget (Statens vegvesen, 2006). Sommervannstanden i bassenget tilsvarer omtrent anbefalt dimensjonering, mens vintervannstanden har et volum som ligger godt over anbefalingen. Det maksimale volumet i bassenget må sees i sammenheng med behovet for magasinering av vaskevann fra tunnelene.

Tabell 3. Dagens dimensjonering av bassenget (reduisert areal = 1,33 ha) (Scandiaconsult/Rambøll, 1997).

Basseng	Dimensjonering sommer m ³ /red.ha	Dimensjonering vinter, m ³ /red.ha	Dimensjonering høy rensegrad, m ³ /red.ha
Slambasseng	25	55	25
Hovedbasseng	190	375	220
Basseng totalt	210	430	245

3.2 Avrenning fra tunnelvask

I tab. 4 er vannforbruk og avrenning fra tunnelvask sammenstilt. Vannmengdene baserer seg på tallgrunnlag fra Statens vegvesen (2006):

Vannforbruk:

Helvask: 40 -70 l/m tofelts tunnel, settes lik 140 m³/km for fire-felts tunnel

Veggvask: 20-30 l/m tofelts tunnel, settes lik 60 m³/km fire-felts tunnel

Avrenning:

Avrenning fra tunnelvask (vask ved lavt trykk): 75 – 95 % av vannforbruket, settes lik 85% .

Til sammenligning er vannforbruket for helvask i Nordbytunnelen sommeren 2012 oppgitt til 500 m³ (pers.medd. Sondre Meland, Statens vegvesen).

Tabell 4. Vannforbruk og avrenning fra tunnelvask.

Tunnel	Veggvask		Helvask		Andel vaskevann %
	Vannforbruk m ³	Avrenning m ³	Vannforbruk m ³	Avrenning m ³	
*Pr km, 4-felt	60	50	140	120	
Nordbytunnelen, 4 felt	230	200	540	460	74
Smiehagentunnelen, 2 felt	30	25	70	60	10
Vassumtunnelen, 4 felt	50	40	120	100	16
Sum alle tunneler pr vask, m ³	310	265	730	620	100

** 2 x 2-felts tunnel*

Vaskevannet fra Nordbytunnelen pumpes til rensesbassenget mens vaskevannet fra de øvrige tunnelene renner med selvføll til bassenget.

I driftskontraktene skal alle de tre tunnelene ha 1 helvask i året, 3 halvvasker (veggvask m/ vegbane/bankett) og vask av vegbane/banketter 4 ganger per år. Sandfangene skal tømmes ved helvasken og slamnivået skal sjekkes før hver vask.

Vaskerutinen innebærer at tunnelene vaskes 6 ganger pr år (tab. 5). Ved de fleste vaskeomgangene vaskes tunnelene etter hverandre på påfølgende dager eller med få dagers mellomrom.

Tabell 5. Program for vask av tunnelene (Statens vegvesen,2012).

Tunnel	Uke 1-17				Uke 18-35			Uke 36-52
Vassum	12.jan	13.feb	21.mar		10.mai	06.jun	14.aug	07.nov
Nordby syd		14.feb	27.mar	25.apr		12-14.juni	15.aug	19.nov
Nordby nord		15.feb	28.mar	26.apr		13.jun	15.aug	20.nov
Smiehagen		16.feb	23.feb	26.mar	26.apr	24.jun		29.nov

Alle typer vask utføres med bruk av vann. I tillegg brukes det gjerne såpestoffer for økt vaskeeffekt. Tidligere undersøkelser har vist at vaskevann fra vegtunneler inneholder såpekomponenter som er akutt giftige for vannlevende organismer. Dessuten inneholder vaskevannet en blanding av trafikkskapt forurensningskomponenter i form av tungmetaller og organiske miljøgifter. Såpestoffene som brukes er i hovedsak vaskestoffer som skal være biologisk nedbrytbare. Mange av disse stoffene har likevel en akutt gifteffekt på vannlevende organismer før de blir brutt ned. Utslipp av urensset vaskevann fra vegtunneler kan gi akutte forurensningseffekter. Sommeren 2012 ble det observert akutt dødelighet hos amfibier i Vassum rensebasseng etter vask av tunnel (Sondre Meland, pers. medd., 2012).

3.3 Rensebassengets funksjon

Utfordringen med rensing av vaskevann og overvann fra dagsone i et felles åpent rensebasseng som på Vassum, er at vannstrømmene setter ulike kriterier for optimale forløp av rensesprosessene. Dessuten er tidspunktene for tilrenning av de to vanntypene bestemt av to uavhengige forhold. For veivannet er tilrenningen bestemt av klima (nedbør) og for vaskevannet er det bestemt av gitte driftsavhengige vaskerutiner.

Hovedrensprosessen i bassenget er sedimentasjon. Dimensjoneringskravet for optimal sedimentering av trafikkproduserte partikler er ca 3 døgn oppholdstid under tørrvær. Dette kravet gjelder i prinsippet for begge vanntypene og er innebygget i dimensjoneringen av bassenget. I tillegg setter rensing av vaskevannet krav om 2 uker oppholdstid for å sikre nedbrytning av vaskestoffer (Statens vegvesen, 2006).

Gjennomføres det tunnelvask rett etter en nedbørepisode (innen 3 døgn) forstyrres sedimenteringsprosessen og dårlig rensedagsonevann tilføres vassdraget. Inntreffer det nedbør etter tunnelvask (innen 2 uker) tilføres vassdraget ufullstendig rensedagsonevann. Nedbørforholdene skaper tidvis (og tilfeldige) ugunstige betingelser for rensing av vannstrømmene.

Dessuten viser observasjoner under vask at vaskevann bryter gjennom i rensebassenget dvs. at vaskevann observeres i utløpet fra bassenget (Sondre Meland, SVV, pers.medd.). Dette skjer selv om bassenget i teorien har tilstrekkelig volum for å magasinere vaskevannet. Renseeffekten for vaskevannet som bryter gjennom under vask er marginal. Når tunnelene ofte vaskes på påfølgende dager forverrer dette ytterligere betingelsene for god rensing av vaskevannet (øket utslipp av dårlig rensedagsonevann).

I forbindelse med *EU LIFE-TREASURE* prosjektet (2009) samt et forskningsprosjekt på lufting av bassenger, ble det også observert at det meget hurtig etter tilrenning av vann til bassenget oppstår omtrent full innblanding. Ønskes en mere «plug flow- strømning» vil det være mulig å forsyne bassenget med ledeplater/-voller.

4 Oversikt over renseløsninger for videregående rensing

4.1 Innledende oversikt

Formålet med beskrivelsen er å gi en kort og innledende oversikt samt grunnlag for vurdering av muligheter for etablering av et nytt rensetrinn for veivann og tunnelvaskevann i dagens rensedbasseng i Vassum.

Med videregående rensing av veivann og tunnelvaskevann skal det i dette tilfellet forstås en teknologi som supplerer dagens rensing som finner sted i et tradisjonelt utformet overvannsbasseng. I et slikt basseng er rensingen hovedsakelig forbundet med sedimentasjon av suspenderte partikler som er større enn ca. 10 μm (0,01 mm) (Hvitved-Jacobsen et al., 2010).

Rensingen skal skje med et nytt rensetrinn som ytterligere reduserer stoffmengden i utløpet fra hovedbassenget. Videregående rensing er dermed typisk et element i en rensingsprosess som fungerer etter følgende prinsipp:

- 1 De groveste partiklene, typisk sandpartikler, fjernes i et forbasseng. Dette er normalt et mindre basseng som mottar tilrenning fra veiarealet og hvor oppholdstiden av vannet under tilløpet er i størrelsesordenen få minutter.
- 2 Stoffjerning i hovedbassenget skjer ved fjerning av forurensende stoffer som er knyttet til partikler som kan fjernes ved sedimentasjon, altså partikler $>$ ca. 10 μm . De forurensende partiklene akkumuleres dermed i sedimentet i hovedbassenget, hvorfra de bør fjernes med et tidsintervall på 15-25 år.
- 3 Rensetrinnet for videre rensing etableres i forlengelse av hovedbassenget. Formålet med dette rensetrinnet er å fjerne kolloide og oppløste partikler som i mindre grad blir fjernet ved de prosessene som finner sted i hovedbassenget.

For å få en effektiv og forholdsvis vedlikeholdelsesfri videre rensing, er det vesentlig at følgende forhold helt eller delvis kan oppfylles:

- › De foregående rensetrinnene, trinn 1 og 2, er velfungerende og designet etter velkjente prinsipper.
- › Den hydrauliske oppholdstiden i hovedbassenget er designet i overensstemmelse med en kapasitet som er i overensstemmelse med kapasiteten av det nye rensetrinnet, slik at det 3. rensetrinnet ikke overbelastes.
- › Funksjonen av den videre rensingen blir stabil over tid. Det er derfor sentralt at en potensiell opphoping av stoff i dette rensetrinnet i minst mulig omfang vil påvirke effektiviteten av rensingen.
- › Teknologien for rensing er generelt velkjent fra annen form for rensing, eksempelvis avløpsrensing og behandling av drikkevann. Når dette fremheves, skyldes det at erfaring fra fullskala rensing er forholdsvis begrenset for overvann.

Det vurderes at potensielt brukbare metoder for videre rensing av veivann og tunnelvaskevann primært skal finnes blant følgende metoder:

Mekaniske metoder:

A) Mindre driftskrevende teknologier (eksempelvis sandfiltrering)

B) Tilsyns- og anleggskrevende metoder (eksempelvis trommelfiltrering, høyratefiltrering, flokkulering og flotasjon)

Fysisk-kjemiske metoder:

C) Filtrering (sorpsjonsfiltrering med en lang rekke filtertyper, uorganiske og organiske)

Kjemiske metoder:

D) Felling med en lang rekke ulike fellingskjemikalier

De ovennevnte fire metodene, A – D, beskrives kortfattet i etterfølgende avsnitt 4.2.

4.2 Beskrivelse av mulige metoder

I det etterfølgende beskrives grunnleggende karakteristiske forhold for de 4 rensemetodene. Det fremheves at metodene må betraktes som ”hovedmetoder” som ikke kan vurderes detaljert i forhold til de mange spesifikke utformingene av prosessløsninger som er mulige.

Det må forventes at det i forhold til tradisjonell bassengrensing, vil oppnås en vesentlig fjerning av oppløste og kolloide fraksjoner som direkte kan redusere en uønsket effekt i resipienten i form av opptak i levende organismer.

I forbindelse med den videregående rensingen søkes det teknologier som er effektive overfor et bredt spekter av forurensende stoffer. I denne saken er det særlig pekt på tungmetallene Cu og Zn som forekommer i særlig høye konsentrasjoner samt PAH (pers. medd. Sondre Meland, Statens vegvesen).

Det er hensiktsmessig å benytte et tradisjonelt rensebasseng i forbindelse med videregående rensing, fordi et slikt basseng utover å rense partikler samtidig magasinerer vannet. Dette gir forutsetninger for et optimalt prosesstrinn i form av en mer spesifikk utformet prosess, samt utjevning og økt oppholdstid av vannet. Det bemerkes at bassenget på Vassum ved høy vannstand ikke har magasineringsvolum med dagens utforming.

4.2.1 Sandfiltrering (type A)

Sandfiltrering er et eksempel på en velkjent teknologi som generelt er lite driftskrevende. Til gjengjeld er teknologien i motsetning til de mer driftskrevende teknologiene under type B, vanskelig justerbar i forhold til for eksempel en varierende belastning hvilket kan være ønskelig i forbindelse med rensing av tunnelvaskevann. Sandfiltrering er dermed en teknologi med en kapasitet som bestemmes i designfasen.

Teknologien er velkjent og dens funksjon vil derfor heller ikke bli beskrevet detaljert i denne sammenhengen. Det er imidlertid nødvendig å gi en rekke kommentarer til både utforming og funksjon, da denne type filtrering kan inngå i metodene C og D.

Sandfiltrering er i utgangspunktet ikke å betrakte som en videregående renseteknologi for veivann og tunnelvaskevann, selv om den vil kunne gi en tilleggsrensing i forhold til rensingen i et tradisjonelt utformet basseng. Resultatene i tabell 6 gir eksempler på renseseffekter i forhold til tradisjonell bassengrensing (EU LIFE-TREASURE, 2009). Ved vurdering av dette tallmaterialet bør ikke rensegrader i prosent vektlegges, men heller den faktisk oppførte tallverdi for oppnådd konsentrasjon. Begrunnelsen er at beregning av en prosentuell angitt verdi på basis av en lav verdi (konsentrasjonen i bassenget), er lavere enn hvis prosentverdien ble bestemt ut fra en høyere verdi, eksempelvis konsentrasjonen i innløpet til bassenget.

Følgende forhold er sentrale for å oppnå en gunstig funksjon av et sandfilter i kombinasjon med et tradisjonelt dimensjonert og designet vått overvannsbasseng:

- > Overflatearealet av sandfilteret bør være forholdsvis stort, bl.a. fordi algeveksten i hovedbassenget samt potensiell utfelling av jern kan påvirke tilslamming av filteroverflaten. Tilslammingen forventes å forekomme i et millimeter tynt lag på overflaten av sandfilteret. En forventet hydraulisk ledningsevne ved dimensjonering av et sandfilter blir muligens så lav som ca. 0,3 m/døgn (1,2-1,3 cm/time). Dette gir eksempelvis et arealkrav på ca. 285 m² filter pr. redusert ha overflate for å oppnå en utløpsvannføring fra bassenget på 1 L/s*ha.
- > Sandfilteret bør utformes slik at det ikke konstant er dykket, men vekselvis vått og tørt (aerobt) slik at gjenslammingen dermed reduseres.
- > Sandfilteret bør beplantes med vannplanter med et rotsystem som danner transportveier for vannet i filterlaget.

Tabell 6. Resultater fra rensing i sandfilter. For anleggene i Århus og Silkeborg er data bare tatt med frem til det tidspunktet hvor henholdsvis jern- og aluminiumdosering er skjedd. Resultatene er angitt som middelkonsentrasjoner med rensesgrader anført i prosent (EU LIFE-TREASURE, 2009).

Stoff (enhet)	Utløp basseng i Odense	Etter filter i Odense	Utløp basseng i Århus	Etter filter i Århus	Utløp basseng i Silkeborg	Etter filter i Silkeborg
TSS (mg L ⁻¹)	18	14 (18%)	6	6 (-6%)	3	3 (18%)
Bly, Pb (µg L ⁻¹)	6,7	0,4 (94%)	0,5	0,3 (39%)	2,2	0,6 (72%)
Kadmium, Cd (µg L ⁻¹)	0,06	0,05 (16%)	<0,05	<0,05	0,05	<0,05
Krom, Cr (µg L ⁻¹)	1,2	<0,5	0,6	<0,5	0,5	1,1 (-112%)
Kobber, Cu (µg L ⁻¹)	200	25 (87%)	3	2 (33%)	8	5 (38%)
Kvikksølv, Hg (µg L ⁻¹)	0,06	0,06 (-3%)	<0,05	0,10	<0,05	<0,05
Nikkel, Ni (µg L ⁻¹)	12	6 (53%)	21	10 (53%)	2	81 (-4009%)
Sink, Zn (µg L ⁻¹)	272	28 (90%)	47	20 (57%)	104	20 (81%)

Stoff (enhet)	Utløp basseng i Odense	Etter filter i Odense	Utløp basseng i Århus	Etter filter i Århus	Utløp basseng i Silkeborg	Etter filter i Silkeborg
ΣPAH (µg L ⁻¹)	0,13	0,01 (89%)	0,04	0,01 (64%)	0,05	<0,01
Tot. olje/fett (mg L ⁻¹)	0,3	0,2 (48%)	1,1	0,2 (84%)	0,7	0,2 (77%)
Total N (mg L ⁻¹)	2,22	1,30 (41%)	0,85	0,65 (23%)	2,33	0,58 (75%)
Ortho-P, filt. (mg L ⁻¹)	0,046	0,038 (18%)	0,014	0,019 (-41%)	<0,005	<0,005
Total P (mg L ⁻¹)	0,152	0,175 (-15%)	0,068	0,171 (-150%)	0,026	0,019 (28%)

4.2.2 Driftskrevende mekaniske teknologier (type B)

Det eksisterer en rekke metoder som baserer seg på fjerning av partikulært stoff hvor forurensende stoffer i større eller mindre grad er bundet. Jo mindre partiklene er, desto større er bindingen av disse stoffene. Den oppnåelige rensegraden blir derfor generelt øket jo bedre teknologien evner å fjerne de små partiklene.

Innenfor de mer eller mindre driftskrevende mekaniske metodene til rensing av overvann og forventelig også tunnelvaskevann, skal følgende fremheves:

- > Trommelfiltrering med finmasket filterduk
- > Høyratefiltrering
- > Flotasjon
- > Ballastet flokkulering

Det bemerkes at metodene betegnes mekaniske dvs. primært basert på fysiske prosesser selv om det kan forekomme støttedosering med kjemikalier. Ved flotasjon og ballastet flokkulering er dette en nødvendig del av renseprosessen og ved trommelfiltrering og høyratefiltrering er det hensiktsmessig med kjemikaliedosering.

Når det i denne forbindelsen skjelles mellom renseteknologienes krav til tilsyn og drift, skyldes det primært to forhold:

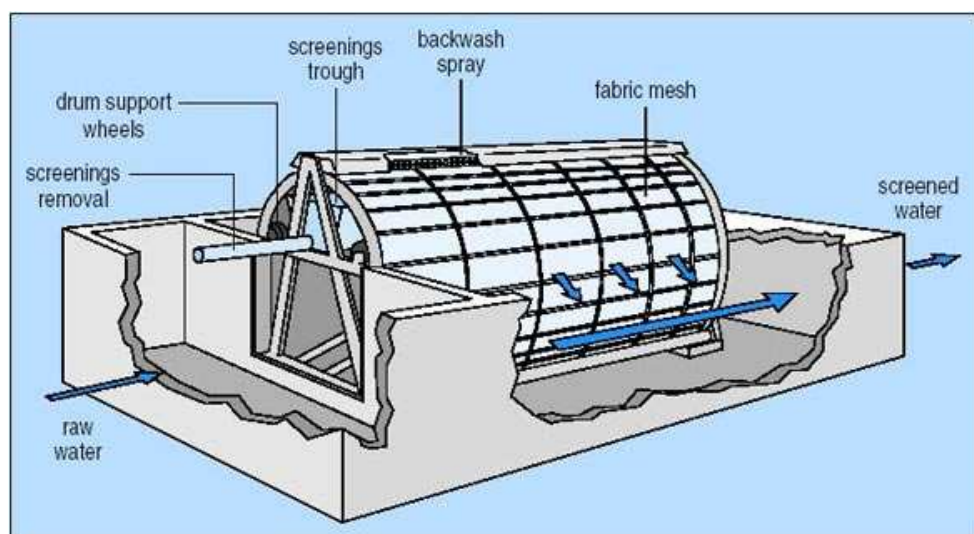
- › Driftskrevende metoder er i sakens natur de mest kostnadskrevende.
- › Samtidig er det viktig å fremheve at de er de mest fleksible i form av mulighet for endring av driftsbetingelser. I denne konkrete saken må dette ikke undervurderes på grunn av ønsket om en hensiktsmessig omstilling i de situasjoner hvor systemet tilføres vaskevann fra tunnelene.

De nevnte 4 metodene er anleggs- og funksjonsmessig vidt forskjellige. Det er i denne sammenheng valgt å beskrive en enkelt teknologi, trommelfiltrering, for å illustrere prinsippet.

Metodene kan ved justering av anleggs- og driftsmessige detaljer, utformes slik at det oppnås større eller mindre grad av stoffjerning. Helt generelt vil kravet til stoffjerning gi seg tilsvarende utslag i anleggs- som driftskostnadene, eksempelvis i form av doseringsutstyr, kjemikalieforbruk og driftskostnader i form av tidsforbruk.

Trommelfiltrering med finmasket filterduk er en teknologi som er velkjent fra avløpsrensing og drikkevannsbehandling. Videre har metoden i en lang rekke tilfeller vært brukt i forbindelse med rensing av både overvann og overløpsvann fra fellessystemer i byområder.

Filtreringen finner sted i en lukket, sylindrisk beholder som roterer med en hastighet på ca. 5 omdreininger pr. sekund (figur 4). Partiklene i det forurensete vannet utsettes dermed for et gravitasjonsfelt og hopper opp på innsiden av trommelen som består av et finmasket filter av rustfritt stål. Filteret har en maskestørrelse på typisk 20-40 µm. Det partikulære materialet fjernes av en høytrykksvannstråle i en "backwash" prosess.

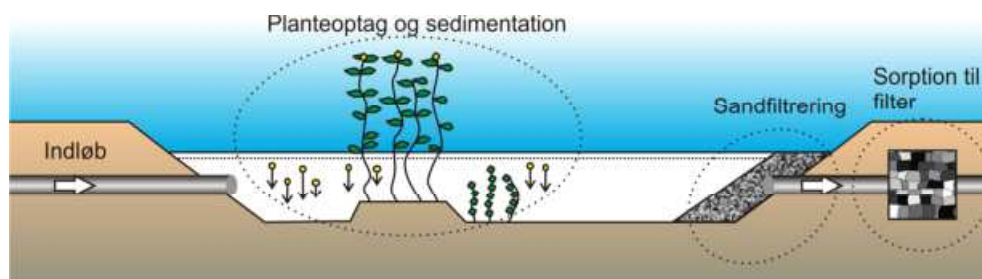


Figur 4. Skisse av trommelfilter med tilløp av forurenset vann samt utløp av rensert vann og oppkonsentrert forurenset vann.

Maskestørrelsen i filteret betyr eksempelvis at alger kan fjernes ved drikkevannsbehandling av overflatevann. I forbindelse med rensing av overvann og tunnelvaskevann vil fjerning av partikler bl.a. være bestemt av maskestørrelsen og graden av eventuell støttedosering med kjemikalier. For eksempel refererer USEPA (1977) at rensegraden for TSS ved en innløpskonsentrasjon på 300 mg L er 82 % og 50 % for en maskestørrelse på henholdsvis 23 μm og 35 μm . Brukes støttedosering med kjemikalier, vil stoffjerning kunne økes ytterligere. Er tilløpskonsentrasjonen lavere, må det forventes lavere fjerningsgrad.

4.2.3 Sorpsjonsfiltrering (type C)

Ved sorpsjonsfiltrering (adsorpsjonsfiltrering) kombineres et sandfilter med et etterfølgende (underliggende) filter til sorpsjon. Ved denne teknologien vil både finpartikulært stoff og oppløste og kolloide stoffer kunne fjernes fra vannfasen via kombinerte fysiske og fysisk-kjemiske prosesser. Figur 5 viser en prinsippskisse av oppbygging av et slikt anlegg.



Figur 5. Prinsippskisse av anlegg til sorpsjonsfiltrering der de sentrale deler av bassenget hvor renseprosesser finner sted er angitt. I praksis vil sandfilter og sorpsjonsfilter anleggsmessig være utformet i en "sandwichkonstruksjon".

Sandfilteret i et sorpsjonsanlegg fjerner mindre partikler for å beskytte selve sorpsjonsfilteret som eksempelvis kan bestå av skjellsand eller olivin (Wium-Andersen et al., 2012). Sistnevnte materiale er særlig effektivt ved fjerning av tungmetaller, men er også et dyrere materiale.

Tabell 7 viser et eksempel på oppnådde rensegrader i prosent, samt konsentrasjonsverdier for et sorpsjonsfilter bestående av skjellsand (EU LIFE-TREASURE, 2009). Som nevnt i tilknytning til tabell 6, bør det i forbindelse med vurdering av dette tallmaterialet ikke legges avgjørende vekt på rensegrader oppgitt i prosent, men på den faktiske oppførte tallverdi for oppnådd konsentrasjon.

Tabell 7. Middelkonsentrasjoner og rensegrader (i prosent) for et sorpsjonsfilter bestående av skjellsand (EU LIFE-TREASURE, 2009).

Stoff (enhet)	Konsentrasjon etter sandfilter	Konsentrasjon etter sorpsjonsfilter
TSS (mg L ⁻¹)	14	4 (72%)
Bly, Pb (µg L ⁻¹)	0,4	0,6 (-42%)
Kadmium, Cd (µg L ⁻¹)	0,05	<0,05
Krom, Cr (µg L ⁻¹)	<0,5	0,5
Kobber, Cu (µg L ⁻¹)	25	4 (83%)
Kvikksølv, Hg (µg L ⁻¹)	0,06	<0,05
Nikkel, Ni (µg L ⁻¹)	6	5 (7%)
Sink, Zn (µg L ⁻¹)	28	4 (85%)
ΣPAH (µg L ⁻¹)	0,01	0,01 (-3%)
Tot. olje/fett (mg L ⁻¹)	0,2	0,1 (21%)
Total N (mg L ⁻¹)	1,30	1,08 (17%)
Ortho-P, filt. (mg L ⁻¹)	0,038	0,006 (84%)
Total P (mg L ⁻¹)	0,175	0,025 (86%)

Behovet for aktivt sorpsjonsmateriale vil avhenge av en lang rekke forhold, bl.a. det dimensjonsgivende forurensningsstoffets adsorpsjonsevne og ønsket levetid. Følgende eksempel som stammer fra EU LIFE-TREASURE (2009) er basert på resultater fra et overvannsbasseng i Odense og kan benyttes som illustrasjon på størrelsesordener:

Det skal fra nedbørfeltet til bassenget fjernes opp til 600 g P/ ha*år fra overvannet. Med en forventet kapasitet på sorpsjonsmediet på 1 g P/kg tilsvarer dette et kapasitetsforbruk av filteret på 600 kg/ha* år (skjellsand/kalsitt/dolomitt). Over en 100-års periode blir det et forbruk på 60.000 kg filter. Såfremt denne mengden fordeles over hele sandfilteret (285 m² filter pr. redusert ha nedbørfelt), blir den arealspesifikke materialemengden 210 kg/ m², som tilsvarer et lag på ca. 14 cm fordelt under hele sandfilteret.

I tabell 8 er renseeffektene for hvert av rensetrinnene sedimentasjon, sandfilter og sorpsjonsfilter i samme renseanlegg sammenstilt (bassenganlegg i Odense kfr. tab. 6).

Tabell 8. Utløpskonsentrasjoner og rensegrader (%) for ulike rensetrinn i samme renseanlegg (EU LIFE-TREASURE, 2009).

Rensemethode	TSS mg/L	Cu µg/L	Zn µg/L	PAH µg/L
Rensedam innløp	39	310	324	0,25
Rensedam utløp	18 (54%)	200 (35%)	272 (16%)	0,13 (50%)
Etter sandfilter	14 (20%)	25 (87%)	28 (90%)	0,01 n.d. (92%)
Etter sorpsjonsfilter (skjellsand)	4 (72%)	4 (83%)	4 (85%)	0,01 (0%)
Kombinert sand- og sorpsjonsfilter	4 (78%)	4 (98%)	4 (98%)	0,01 (92%)

4.2.4 Felling (type D)

Bruk av fellingskjemikalier direkte tilført det eksisterende hovedbassenget, er et eksempel på en kjemisk fellingsteknologi. Typisk brukes aluminium- eller jernsalter som fellingskjemikalier. Ved kjemikalietilsetningen dannes partikler i form av fnokker, hvor forurensende stoffer er bundet slik at innholdet av oppløste og kolloide stoffer i overvannet reduseres.

Følgende kommersielt tilgjengelige kjemikalier kan brukes:

- Basisk natriumaluminiumhydroksyd
- Surt polyaluminiumklorid
- Surt ferrichloridsulfat
- Surt ferrosulfat

I forbindelse med et fullskalaprojekt beskrevet i Vollertsen et.al (utkast 2012), er det på basis av laboratorieundersøkelser med de 4 fellingskjemikaliene valgt å bruke førstnevnte kjemikalie, natriumaluminiumhydroksyd. De oppnådde resultatene har vist følgende ved en middelkonsentrasjon i bassenget på 2 g Al/m³:

- › Det kan konstateres en effektiv fjerning av tungmetaller, deriblant både kobber og sink.

- › Det er ikke oppnådd en merkbar fjerning av PAH, muligens på grunn av en allerede oppnådd lavt konsentrasjonsnivå i bassengvannet.

Ytterligere detaljer fremgår av tabell 9. Tabellen viser data for de totale konsentrasjonene i forbindelse med stoffjerningen. For kobber og sink er utløpskonsentrasjonene for oppløst stoff henholdsvis 2,75 µg/L og 7,00 µg/L.

Tabell 9. Totale middelkonsentrasjoner ved utløp fra basseng, henholdsvis før og etter felling med aluminiumsalt. Data fra et overvannsbasseng i Lemming, Danmark (Vollertsen et.al, utkast 2012).

Stoff (enhet)	Konsentrasjon i utløp før tilsetning av fellingskjemikalier	Konsentrasjon i utløp etter tilsetning av fellingskjemikalier
Cd (µg L ⁻¹)	0,29	0,05
Cr (µg L ⁻¹)	2,66	0,82
Cu (µg L ⁻¹)	7,06	3,89
Fe (µg L ⁻¹)	4265	1092
Ni (µg L ⁻¹)	4,65	2,05
Pb (µg L ⁻¹)	3,12	1,99
Zn (µg L ⁻¹)	115	35
P (µg L ⁻¹)	281	100

4.2.5 Oppsummerende merknader

Samtlige 4 renseløsninger (A – D) som er beskrevet, kan betegnes som ”robuste og stabile”. Dette gjelder de generelle egenskaper og forventninger til teknologiene.

Det bemerkes at den foreliggende kunnskapen om videregående rensing er mer omfattende for overvannsavrenning enn tilfellet er for tunnelvaskevann. Da stoffinnholdet i sistnevnte vanntype med unntak av konsentrasjonsnivåer og bruk av vaskemidler, er sammenlignbar med overvann, vurderes det generelt at de omtalte teknologiene er relevant i den aktuelle sammenhengen.

I utgangspunktet er samtlige renseløsninger (B, C og D) mulige i den aktuelle situasjonen, forutsatt at en rekke dimensjonsgitte kriterier overholdes. En vesentlig forutsetning er at den aktuelle teknologien helt eller delvis er støttet av kjemiske eller fysisk-kjemiske prosesser, eksempelvis kjemikaliedosering som virker fnokkdannende og dermed muliggjør fjerning av oppløste stoffer fra vannfasen.

Når teknologiløsning A (sandfilter) er tatt med, skyldes det primært at sandfiltrering normalt må anbefales i kombinasjon med teknologiene C (sorpsjonsfilter) og D (felling). Det bemerkes videre at sandfiltrering koblet til utløpet fra bassenget i seg selv øker rensegraden av stoff. Avhengig av rensekravet kan denne metoden i prinsippet være tilstrekkelig (tabell 6).

De omtalte teknologiene vurderes ikke innbyrdes i detalj. Det skyldes primært to forhold:

- › En lang rekke detaljerte designparametere for den enkelte teknologitype bestemmer den oppnåelige rensegraden. I praksis betyr det at en bestemt teknologitype vil kunne designes og dimensjoneres til høyere eller lavere grad av rensing.
- › Det ønskede konsentrasjonsnivået i det rensede vannet skal bestemmes i detalj siden rensegraden for de forskjellige stoffene avhenger av teknologitype samt dimensjoneringskriteriene.

Oppsummert gjøres følgende vurderinger av alternative renseløsninger:

- › Teknologiene C (sorpsjonsfiltrering) og D (felling) fremheves som særlig interessante på grunn av de aktive kjemiske og fysisk-kjemiske prosessene. Løsningene forutsettes kombinert med sandfilter (A)
- › Det er særlig relevant å fremheve teknologier under D (felling), da konsentrasjonen av doseringskjemikaliet kan varieres når det utføres tunnelvask. Felling forutsetter doseringsutstyr og krever tilsyn som kan sammenlignes med tilsynet av pumpestasjoner. Med hensyn til kjemikaliebehov (type D) og sorpsjonsmediet (type C) er behovet henholdsvis tidsmessig fordelt og bestemt av anleggsutformingen.

5 Vurdering av renseløsninger

5.1 Kriterier for rensing

Statens vegvesen (SVV) har 2 hovedmål for rensertiltaket: Beskytte Årungselva og skaffe erfaringer med rensemetoder (testanlegg) som har overføringsverdi til andre anlegg. SVV har mange tunneler uten rensing der aktuelle løsninger er under vurdering. Det er et stort behov for kunnskap om egnede løsninger.

Statens vegvesen har definert følgende kriterier for rensingen:

- › Viktig å rense tunnelvaskevann (høy akutt giftighet)
- › Veivannet fra dagsonen har lav giftighetsgrad
- › Mål for rensert vann: Cu= 10 µg/L, Zn = 50 µg/L, PAH₁₆ = 0,05 µg/L
- › Utprøving av renseløsninger på separate vannstrømmer. Gir mer kontroll på rensresultater og bedre overføringsverdi til andre anlegg.

Med bakgrunn i aktuelle rensemetoder beskrevet i kap. 4, er det særlig 2 metoder som kan oppfylle de gitte renseskriterier: sorpsjonsfilter og felling.

Nedbrytningen av såperester setter i tillegg spesielle krav til magasinerings av vaskevannet (2 uker).

5.2 Alternative renseløsninger

Det fremheves 2 hovedløsninger for rensing:

1. Etablere en tilleggsrensing ved dagens rensedbasseng. Tilrenningen av vaskevann og veivann til bassenget opprettholdes som i dag.
2. Separere vannstrømmene; tunnelvaskevann og veivann renses adskilt

For sistnevnte konsept kan man tenke seg 2 alternative løsninger:

- 2a. Tunnelvaskevannet renses i nye separate løsninger, mens veivannet tilføres rensebassenget som i dag
- 2b. Veivannet infiltreres og renses i veigrøftene ved å bygge om veigrøftene til infiltrasjonsgrøfter (dagens grøftemasser erstattes med rense-/filtermedium). Dagens basseng kombinert med en tilleggsrensing benyttes til magasinering og rensing av tunnelvaskevann fra alle tunnelene.

5.2.1 Tilleggsrensing i dagens basseng (løsning 1)

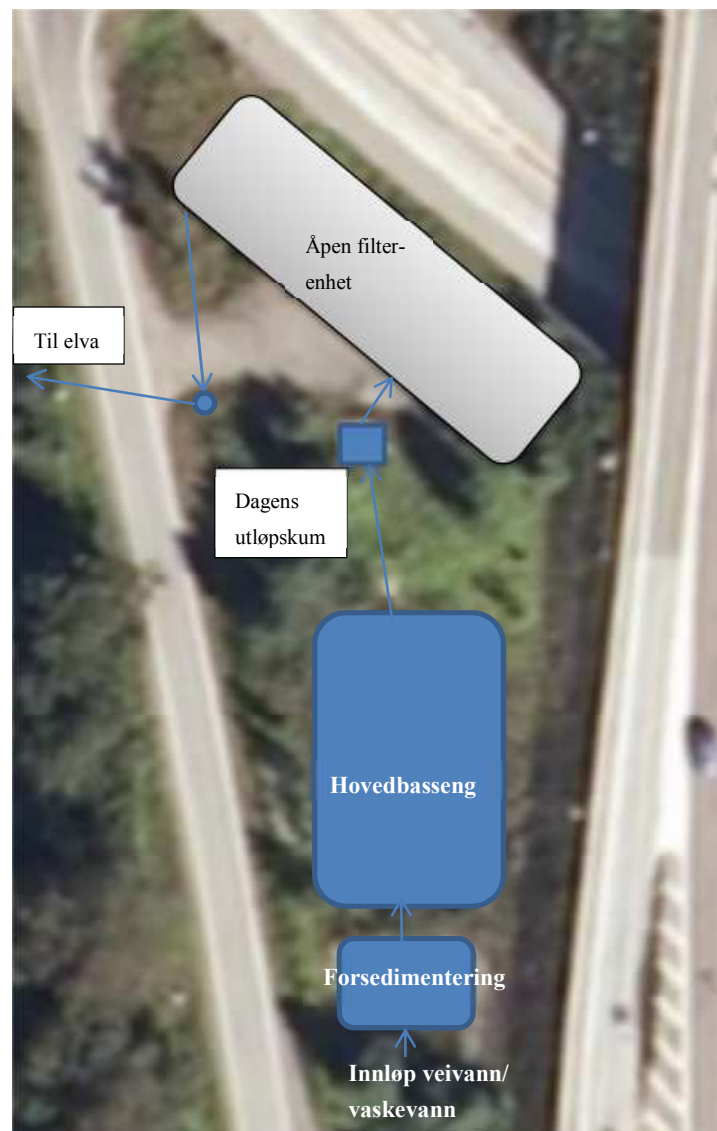
Med henvisning til kap. 4 kan en tilleggsrensing i dagens basseng bestå av en filterløsning kombinert med felling. En filterløsning vil rense både vaskevann og veivann som tilføres bassenget. En fellingsløsning er mest aktuelt for tunnelvaskevannet siden dette er mest giftig (dosering når vask pågår). Nordbytunnelen tilfører mest vaskevann og det ligger godt til rette for dosering av kjemikalier med dagens anleggsløsning med pumping av vaskevannet til bassenget (volumproporsjonal dosering i pumpestasjonen).

En filterløsning vil bestå av en kombinasjon av sandfilter og sorpsjonsfilter (figur 6). Dimensjonerende arealbehov til filteret er 285 m² pr redusert hektar for å oppnå en utløpsvannføring fra bassenget på 1 l/s*ha (permeabilitet i filteret = 0,3 m/døgn). Filterstørrelsen på Vassum vil således bli ca 380 m² som gir et utløp på 1,3 l/s. Filterarealet utgjør ca 70 % av bassengarealet. Tilgjengelig areal på nordsiden av bassenget er ca 450 m² slik at det er teoretisk mulig å plassere et filter her. Lav utløpskapasitet på filteret gjør at det er et stort behov for magasinering av vann når vask pågår. Magasineringsbehovet utgjør ca 300 m³ for vask av Nordbytunnelen. Dette tilsvarer omtrent volumforskjellen mellom sommer- og vintervannstand i bassenget.

Erfaringer fra vask av tunnelene viser at man har gjennombrudd av vaskevann når Nordbytunnelen vaskes. Dessuten er det vanlig praksis at alle tunnelene vaskes på påfølgende dager og ved fullvask er avrenningen fra tunnelene høyere en totalvolumet i bassenget. Sedimentasjonsbetingelsene for partikulært materiale generelt og for fnokkene fra felling spesielt, vil derfor være dårlige. Dette vil medføre en økt partikkelbelastning på et etterfølgende sandfilter.

Et mulig tiltak for å bedre sedimenteringsforholdene samt for å magasinere vaskevannet over tid (nedbrytning av såpe), er å tømme bassenget i forkant av tunnelvask slik at man har tilstrekkelig ledig lagringsvolum til vaskevannet (gjelder spesielt ved vask av Nordbytunnelen). Dette forutsetter at det er oppholdsvær under og etter vask og at vask av de øvrige tunnelene ikke utføres de påfølgende dagene utover den lagringskapasiteten bassenget har. Som tidligere nevnt bør vaskevannet ha en oppholdstid i bassenget på min. 2 uker for å sikre nedbrytning av toksiske såpekomponenter (Statens vegvesen, 2006). Med hensyn til nedbør og avrenning til dammen er dette et kriterie som i visse situasjoner ikke oppfylles. I praksis vil det ikke være mulig å planlegge vaskerutinen i forhold til dette kriteriet. Med nevnte

tiltak lagres vaskevannet i bassenget inntil regn inntreffer og tilrenning av veivann skyver vaskevannet videre til filterbassenget.



Figur 6. Prinsipp for tilleggsrensing til dagens rensbasseng basert på filterløsning.

5.2.2 Separat rensing av tunnelvaskevann (løsning 2a)

En separat rensing av vaskevann kan skje ved oppsamling av vaskevannet i et stort basseng kombinert med rensiltak. En slik løsning gir god tid for behandling av vaskevannet frem til neste vask (ca 3 mnd). Løsningen gir også gode muligheter for kontrollert testing av ulike rensprosesser uavhengig av værforholdene for øvrig. Med en slik løsning står i praksis alle rensprosesser beskrevet i kap. 4 til rådighet. Sedimentasjon vil utgjøre en basisrensing som kan kombineres med felling og filtrering som de mest aktuelle metodene.

Løsningen er mest aktuell å etablere for Nordbytunnelen som har det største volumet av vaskevann. Løsningen baserer seg på at veivann fra dagsonen og

vaskevann fra de øvrige tunnelene fortsatt tilføres eksisterende rensebasseng som i dag.

Oppsamlingsvolumet for Nordbytunnelen bør tilsvare avløpsmengden ved helvask som utgjør ca 460 m³. Tilgjengelig tid for rensing av vaskevannet gjør at dimensjonerende vannføring til en filterløsning blir lav. Forutsatt at vaskevannet skal renses i løpet av 2 mnd gir dette en midlere vannføring på 0,1 l/s.

Overslagsberegninger for filterløsning (Nordbytunnelen):

Vannføring til filter: 0,1 l/s

Hydraulisk ledningsevne i sandfilter: 0,3 m/døgn = 0,003 l/s*m²

Overflateareal sandfilter: 0,1/ 0,003 = 30 m²

Sedimenteringsbetingelsene ved magasinerings av vaskevann i tanker antas å være langt bedre enn i en åpen dam. Dessuten kan partikkelfjerningen forbedres med bruk av fellingskjemikalier. Det forventes derfor mindre tilslamming av filteroverflaten og en høyere ledningsevne enn det som er benyttet i beregningen. (og et tilhørende mindre sandfilter).

Forbruk av sorpsjonsmateriale for 1 års vask (overslag):

Middelavrenning pr vask (veggvask/helvask): 330 m³

Avrenning pr år: 330 m³/vask * 5 vask = 1650 m³

Antatt total metallkonsentrasjon i vaskevannet etter sandfilter: 100 µg/L

Metall avrenning pr årlig vask: 100 µg/L * 1650 000 L = 165 g

Sorpsjonskapasitet for filtermateriale: 250 µg/g materiale

Forbruk sorpsjonsmateriale pr år: 660 kg

Tetthet sorpsjonsmateriale: 1000 kg/ m³

Forbruk volum sorpsjonsmateriale pr år: 0,7 m³

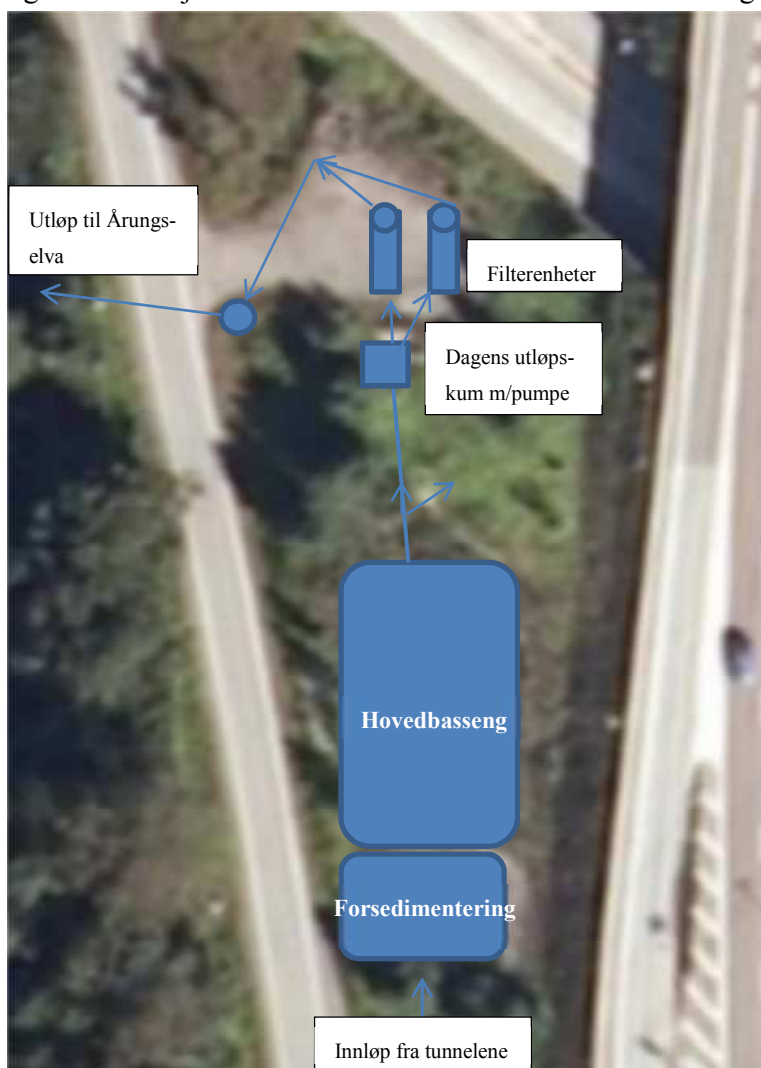
Måledata i tab. 7/8 og Roseth (2012) indikerer at det er realistisk å oppnå de oppgitte kriterier for rensing av tunnelvaskevann med omtalte løsning.

Lokalisering og design av løsning (flytskjema) er vist i kap. 5.2.4.

5.2.3 Infiltrasjon av veivann (løsning 2b)

En alternativ separat behandling av vaskevannet kan utføres ved å benytte dagens rensbasseng kombinert med at veivannet behandles på alternativ måte. Veivannet kan renses ved infiltrasjon i veigrøft. Dette forutsetter at dagens antatt leirholdige masser i grøftene skiftes ut med et selvdrenerende filtermedium basert på en sandholdig jord med grasdekke. Slike filtergrøfter har vist seg å opprettholde god infiltrasjonsevne over mange år (>15 år) (Åstebøl, 2010). Tiltaket vil i hovedsak omfatte midtdeler.

Med nevnte løsning magasineres vaskevannet i bassenget mellom hver vask. Rensingen av vaskevannet utføres med de samme prosessene og filterstørrelsene som beskrevet i kap. 5.2.2 (fig. 7). Med denne løsningen er det ingen tilrenning til bassenget ved nedbør annet enn den nedbøren som faller direkte på bassengoverflaten. Bassenget kan benyttes slik det er i dag for felling og sedimentasjon eventuelt med en viss utvidelse av bassengvolumet.



Figur 7. Prinsipp rensing av vaskevann i dagens rensbasseng.

5.2.4 Stedlige muligheter for lokal oppsamling og rensing av vaskevann fra Nordbytunnelen

Eksisterende forhold:

Vaskevann fra Nordbytunnelen har i dag tilrenning til separat pumpestasjon. Vannet pumpes fra pumpestasjonen og til dagens rensesbasseng. Pumpestasjonen har overløp som antas å ha direkte utslipp til Årungselva. Det vil si at ved driftsstans i stasjonen eller at tilrenningen er større enn pumpekapasiteten, så vil vann fra tunnelen gå til direkte utslipp (er observert flere ganger, S. Meland, pers. medd.). Med denne løsningen ligger det veldig godt til rette for separat behandling av vaskevannet fra Nordbytunnelen.

Det er gjennomført en befaring av eksisterende pumpestasjon (fig. 8). Befaringen ble utført utenfor vaskperiode og ved oppholdsvær. Det var litt tilrenning av rent drens vann til stasjonen. Innløpet til pumpestasjonen kom inn ca 2,6 m under terreng. Terrengmessig ligger pumpestasjonen en del lavere enn vegbanen på E6, og det er ukjent hvorfor innløpet kom inn på et så stort dyp. Høyder på rør oppstrøms pumpestasjonen bør kartlegges nærmere før man eventuelt skal detaljprosjekttere en vaskevannsløsning.

Ved fullvask av tunnel vil vaskevannsmengden, opp mot 500m³ ved fullvask, komme i løpet av ca 2 - 3 døgn.



Figur 8. Pumpestasjon for vaskevann fra Nordbytunnelen.

Løsningen baseres på følgende:

Det vil ikke være naturlig å dimensjonere renseprosessen ut fra den hydrauliske tilrenningen når vask pågår. Det er lang tid til neste vask og så lenge vaskevannet er ferdig behandlet innen neste vask, så er dette tilstrekkelig. Dersom den hydrauliske kapasiteten på rensenheten skal holdes nede, så må vaskevannet fordrøyes/samles opp. Som beregnet i kap 5.2.2, så har man ca 3 måneder til neste vask, og fordrøyningsvolumet for vaskevannet skal tømmes i løpet av denne tidsperioden. Det vil si at rensenhetens hydrauliske kapasitet kan være veldig begrenset.

Fellingskemikalier tilsettes før innløp til bassenget og alt vaskevann magasineres i bassenget. Etter magasinerings (2-4 uker) pumpes vannet videre til sandfilter og sorpsjonsfilter (se størrelse i kap. 5.2.2). Fra filter ledes rensed vann til Årungselta med selvføll. Sandfilter og sorpsjonsfilter etableres separat slik at det praktisk legges til rette for enkel drifting av filterene og testing av ulike sorpsjonsfiltere (fig. 9-12).

Det legges inn målepunkter (vannmengde/prøvetaking) ut fra pumpeasjon, dvs før basseng, i bassenget (prøvetaking), mellom basseng og filter og etter filter (utløp til vassdrag). Renset vaskevann føres ikke til dagens rensesbasseng, men til direkte utløp til Årungselta.



Figur 9. Tilgjengelig areal mellom fylkesvei og teknisk bygg for tunnelen for magasinerings og rensing av vaskevann (basseng+filter). Pumpeasjon og E6 sees i bakgrunnen.



Figur 10. Prinsipputforming av rensenhet for vaskevann fra Nordbytunelen.

Dersom ledningen kan heves vil tilrenningen til et eventuelt fordrøyningsvolum/basseng kanskje kunne skje ved gravitasjon. Vannet pumpes fra fordrøyning til filter og selvfall/gravitasjon fra filter til utløp i Årungselva.

Skal det tilsettes fellingskjemikalier, kan det være en fordel å pumpe til fordrøyning/basseng. Kjemikalier tilsettes mengdeproposjonalt direkte i pumpeledningen ved pumping. Dette gir en god innblanding av fellingskjemikaliene og gode forutsetninger for flokkdannelse.

Bassengvolum bør være på ca 500 m³. Det kan etableres f.eks Brimer basseng eller tilsvarende, dybde/høyde på 2,5 m, gir diameter på 16m. Areal mellom fylkesveg og teknisk bygg for tunnelen er tilstrekkelig for etablering av et basseng av denne størrelsen.

For å redusere gravedybder, kan bassenget graves 1,5 m ned i terreng og stikke 1,0 m over terreng. Dersom bassenget etableres med torv/gras på taket, vil det kunne gli fint inn i terrenget, og fremstå kun som en liten graskledd haug i terrenget. Det må etableres inspeksjonsluker i taket for drift/rengjøring av bassenget.

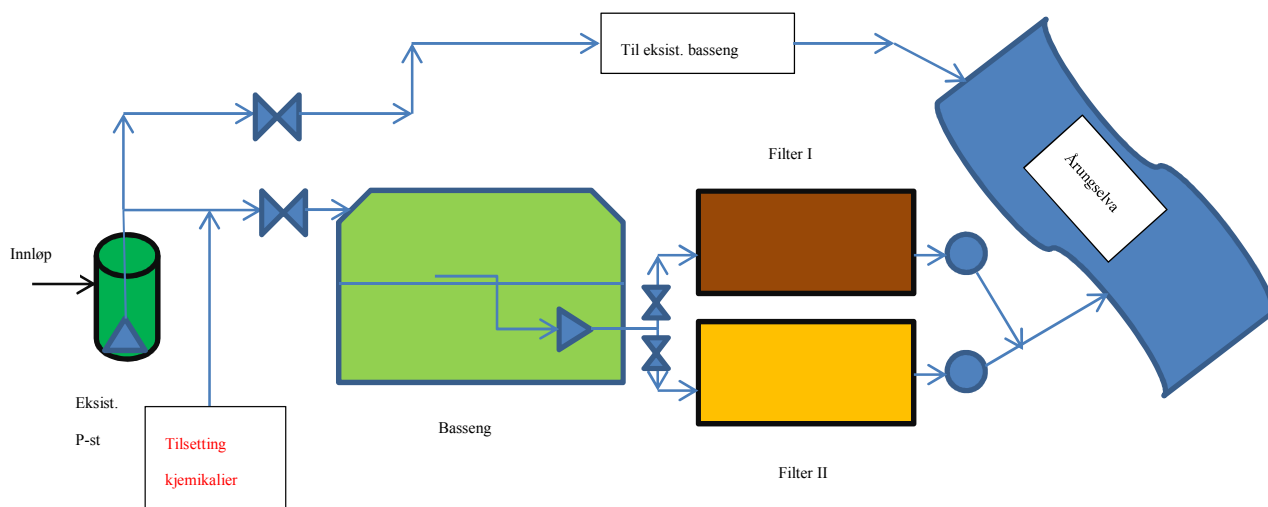


Figur 11. Eksempel på Brimer basseng.

Som nevnt ble pumpe-stasjonen befart utenfor vaskeperiode og det ble registrert noe tilrenning av rent drensvann i vaskevannsledningen til pumpe-stasjonen. Det er ikke ønskelig å ta dette rene vannet til vaskevannsbehandling. Dvs det bør etableres ventilstyring slik at pumpe-stasjonen utenfor vaskeperioder pumper drens og regn/smeltevann fra tunellen til eksisterende rensebasseng. Ventilene bør stå omstilt 3 - 5 dager etter vask for samling/tilrenning av vaskevann.

Fra basseng og til filter pumpes vaskevannet. Inntaket til pumpe bør utformes som en flotør, slik at man ikke risikerer å pumpe sedimentert slam inn i filteret.

I figur 12 er det som prinsipp lagt inn 2stk alternative filtre. Filtre kan f.eks etableres i isolerte containere som står oppe på bakken. Filtrene vil bli lett tilgjengelige for oppfølging, prøvetaking, og eventuelt for utskifting og utprøving av alternative filtermedier.



Figur 12. Flytskjema renseløsning vaskevann Nordbytunnelen.

5.2.5 Pilotanlegg

Det er begrenset erfaring med videregående rensing av veivann og tunnelvaskevann. Det foreslås derfor at man etablerer og tester renseløsninger i et pilotanlegg før fullskala anlegg designes.

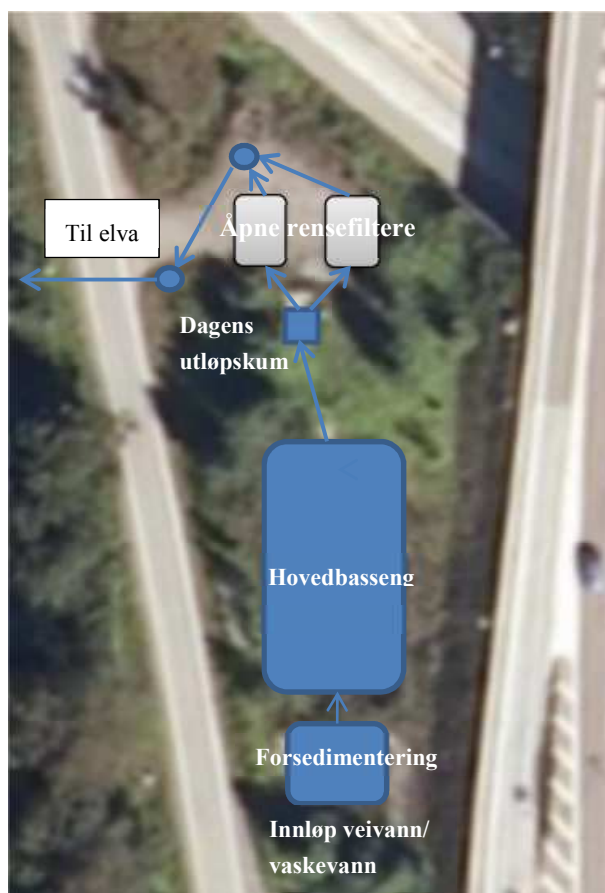
Pilotanlegg kan etableres for:

- › Utprøving av filterløsning i kombinasjon med dagens rensedbasseng (kfr. 5.2.1)
- › Utprøving av renseløsning for tunnelvaskevann fra Nordbytunnelen (kfr. 5.2.4)

Begge pilotanleggene baseres på tilsvarende utforming som beskrevet i kap. 5.2. Et pilotanlegg for vaskevann kan baseres på bruk av containere. En plassering ved pumpestasjonen for Nordbytunnelen vil ligge godt til rette for et slikt anlegg. Prinsipputforming er vist i fig. 13. Et åpent rensfilter i pilotskala ved nåværende rensedbasseng bør også inkluderes i utprøvingen (fig.14). Blandingen av veivann og vaskevann gjør forsøksbetingelsene mindre gunstige mht. renseseffektivitet for ulike filtere, men det ligger godt til rette for utprøving av den praktiske driftsfunksjonen for en åpen filterløsning i ulike årstider. En slik filterløsning er interessant som tilleggrensing ved åpne rensedbasseng som det finnes mange av langs norske hovedveier.



Figur 13. Prinsipputforming av pilotanlegg for rensing av tunnelvaskevann fra Nordbytunnelen.



Figur 14. Prinsipputforming av pilotanlegg for utprøving av åpne filterløsninger som tilleggrensing ved dagens rensbasseng.

5.3 Oppsummering og anbefaling

Oppsummering av hovedrenseløsningene er foretatt i tab. 10. Generelt vil en separering av vannstrømmene (2a/2b) gi de beste forutsetningene for å optimalisere renseprosessene samt å fremskaffe erfaringer med god overføringsverdi. Konsept 2a vil være den løsningen som gir best kontroll mht. rensing og belastning av vassdraget samt muligheter for videre testing av renseløsninger for både vaskevann og overvann. Konsept 2b tilsvarer i hovedtrekk løsning 2a og antas å være en rimeligere løsning.

Tabell 10. Oppsummering av aktuelle renseløsninger.

Konsept	Rensemetode	Fordeler	Ulemper
1. Tilleggsrensing ved dagens basseng (vaskevann fra alle tunnelene+ veivann)	*Felling (vaskevann) og sorpsjonsfilter	Utnytter dagens basseng og infrastruktur	Arealkrevende filter, usikker drift av sandfilter, vanntypene har ulike prosessmessige krav til rensing, nedbør vanskeliggjør optimal rensing av vaskevann, lite overførbare erfaringer til andre anlegg
2a. Separat rensing av vaskevann i nytt anlegg (Nordbytunnelen) og rensing av veivann til dagens basseng	Felling og sorpsjonsfilter for vaskevann. Sedimentasjon av veivann	Rensing av vaskevann og veivann under kontrollerte betingelser, godt egnet til testing av rensemetoder	Bygging av ny oppsamlingsløsning for vaskevann. Vaskevann fra Smiehagen + Vassum renses sammen med veivannet.
2b. Separat rensing av vaskevann fra alle tunnelene i dagens basseng, infiltrasjon av veivann	Felling og sorpsjonsfilter for vaskevann, infiltrasjon av veivann i grøft	Utnytter dagens basseng, kontrollerte rensingebetingelser, separat rensing for alle tunnelene, lite anleggsmessig tiltak	Anleggsarbeide på E6

6 Filtermaterialer

6.1 Innledning

Filtermateriale for rensing av overvann og tunnelvaskevann kan inndeles i 2 grupper:

- › Filtermateriale der renseprosessen primært baserer seg på fysisk tilbakeholdelse av partikler tilsvarende som ved sandfiltrering.
- › Filtermateriale der renseprosessen primært baserer seg på en sorpsjon av forurensningsstoffer i filteret ved en fysisk-kjemisk prosess der materialets overflateegenskaper aktivt medvirker i rensingen.

I det etterfølgende er det kun sorpsjonsmaterialer som omtales. En viktig forutsetning for rensing i sorpsjonsfilter er at partikkelinnholdet i innløpsvannet er redusert ved en forbehandling basert på f.eks. sedimentasjon eller sandfiltrering. Erfaringer med rensegrad i sorpsjonsfiltere er i hovedsak basert på overvann og ikke tunnelvaskevann. Med unntak av konsentrasjonsnivå og innhold av såpemidler har vanntypene mange likhetstrekk som gjør at det anses akseptabelt å vurdere materialenes egnethet basert på erfaringene fra overvann.

6.2 Generelle forhold ved valg av filtermateriale

En rekke egenskaper er sentrale for filtermaterialets praktiske funksjon. Materialet skal bl.a. fungere over lang tid og resultater fra tester i laboratorie- og pilotskala gir derfor bare tilnærmet informasjon om materialets egentlige egenskaper. I forbindelse med valg av materiale må det utføres ytterligere konkrete vurderinger av egenskapene. Den informasjonen som gis her er kun å betrakte som retningsgivende.

De aktuelle filtermaterialer er i mange tilfelle naturlig forekommende materialer som har variable egenskaper avhengig av opprinnelse. På tross av dette vil det være akseptabelt å vurdere egenskapene basert på gruppering av materialer.

Viktige egenskaper som bør hensyntas i forbindelse med valg av materiale er:

- › Sorpsjonsmaterialets renseevne:
 - materialets sorpsjonskapasitet målt som adsorbent stoffmengde pr mengdeenhet materiale
 - hvor raskt sorpsjonen finner sted og hvor lang kontakttid vannet må ha med filteret (vanligvis er hastigheten høy og foregår ved en kontakttid < 1 time)
 - sorpsjonsegenskapene for ulike forurensningsstoffer
- › Materialets kostnad
- › Materialets stabilitet med hensyn til renseeffekt
- › Materialets fysiske stabilitet
- › Materialets kornfordeling – har betydning for gjentetting og vanntransporten gjennom filteret

6.3 Aktuelle sorpsjonsmaterialer

De tilgjengelige opplysninger om sorpsjonsmaterialers egnethet er varierende. Beskrivelsen vil derfor ha ulik detaljering avhengig av dette. Det bemerkes at flere materialtyper ofte kan inneholde forurensninger slik at materialene særlig i starten avgir en høyere konsentrasjon enn innløpskonsentrasjonen.

6.3.1 Granulert kalk

Materialet består av kalsiumkarbonat og benyttes blant annet til behandling av drikkevann. Materialet har en moderat sorpsjonshastighet og –kapasitet, men vurderes som akseptabel. Til gjengjeld er den fysiske stabiliteten høy og pH-verdien i utløpet fra filteret er akseptabelt i forhold til normal resipientkvalitet (Wium-Andersen et al, 2012).

6.3.2 Skjellsand

Skjellsand er et naturlig forekommende karbonatholdig materiale. Materialet er velkjent i Norge (Roseth, 2000). Materialet er bl.a. benyttet i et stort åpent rensefilter på 350 m² i Blåveisbekken rensepark i Ski kommune (Åstebøl & Trandem, 2004).

Sorpsjonskapasiteten vurderes som akseptabel. Sorpsjonshastigheten er forholdsvis langsom, men allikevel akseptabel i forhold til vanlige oppholdstider i filtere. Den fysiske stabiliteten er moderat og pH i utløpet fra filteret er akseptabel.

6.3.3 Metalloksyder

En rekke metalloksyder og metallhydroksyder har sorpsjonsegenskaper for en rekke forurensningsstoffer deriblant metaller. Jernhydroksyd (oker) er trolig mest kjent i denne gruppen. Roseth et al. (2012) finner at materialet gir rimelige gode rensegrader, men med risiko for utlekking av kadmium og nikkel. Genç-Fuhrman et al. (2007) har utprøvd et magnesium-aluminiumoksyd og funnet gode sorpsjonsegenskaper.

6.3.4 Zeolit

Zeolit er et aluminiumsilikat som har en meget stort spesifikt overflateareal i størrelsesorden 60 m²/g. Materialet har derfor et meget stort potensiale for sorpsjon. Wium-Andersen et al. (2012) har vurdert at sorpsjonsegenskapene med unntak av bly, er forholdvis begrensede. Videre er den fysiske stabiliteten dårligere enn for granulert kalk. Färm (2002) har imidlertid funnet gode sorpsjonsegenskaper hos zeolit. Sannsynligvis skyldes dette materialenes ulike opprinnelse.

6.3.5 Olivin

Olivin er som zeolit et silikat som primært inneholder metallene magnesium og jern. Materialet utvinnes i Norge. Det knuses til et fint pulver og med hjelp av et bindemiddel produseres det et granulert med varierende hydraulisk ledningsevne og overflateareal. Produksjonsprosessen har tidligere medført utlekking av krom og høy pH i avløpet fra filteret (Forsvarsbygg, 2009). I følge produsenten skal disse problemene være løst.

Olivin har både høy sorpsjonskapasitet og –hastighet (Wium-Andersen et al, 2012). Den fysiske stabiliteten er moderat. Det må tas høyde for en viss økning av kromkonsentrasjon og forhøyet pH (opp mot 10). Det forventes at disse egenskapene avtar i løpet av driftstiden.

6.3.6 Modifiserte sandfiltere

De gode egenskapene til sandfiltere i form av fysisk stabilitet kan utvides til å omfatte sorpsjon ved innblanding av stoffer med sorpsjonsegenskaper. En slik filtersammensetning kan sammenlignes med et filter bestående av ulike materialer i en sandwichkonstruksjon.

Stoffer som er undersøkt i denne sammenheng er bl.a. kompost (Seelsaen et al., 2006), flyveaske (Genç-Fuhrman, 2007), torvmateriale (Roseth et al., 2012) samt granulerte bildekk (Wanielista and Chang, 2008). Både kompost og flyveaske har vist seg å ha gode fysisk-kjemiske egenskaper for sorpsjon, men med en risiko for forhøyet utløp av oppløst organisk stoff fra filter med kompost. Undersøkelse av torvmaterialer gav gode rensegrader, men samtidig en viss risiko for utløp av nitrogen, arsen og kadmium fra filteret.

En annen type modifiserte sandfiltere er basert på at sandmaterialet er coated med stoffer med sorpsjonsegenskaper. Filtersand kan eksempelvis være coated med jernoksyder eller aluminiumholdige stoffer (Genç-Fuhrman, 2007).

6.3.7 Organiske fibermaterialer

En lang rekke organiske fibermaterialer, modifiserte og naturlige, har sorpsjonsegenskaper (Han, 1999). Spesialbehandlet torv, barkprodukter, aktivt karbon og ligninholdige fibere er eksempler (Roseth, 2007 og 2012/Åstebøl et.al, 2007). Materialene er lett tilgjengelige fordi de ofte forekommer som avfall.

6.4 Sammenligning av sorpsjonsmaterialer

De omtalte materialer blir i det etterfølgende gruppert etter egnethet. Det er lagt vekt på materialenes sorpsjonsegenskaper og øvrige relevante egenskaper. Kostnader er omtalt i etterfølgende kapittel. Det er lagt vekt på egenskaper som forventes å sikre en ønsket funksjon. Det er fokusert på materialer som det foreligger rimelig god informasjon om. Dette betyr at i gruppen av alternative materialer dvs. mindre anbefalte materialer, meget godt kan etableres filtere som vil kunne ha en bedre funksjon.

Grupperingen (1-3) av materialer etter egnethet er som følger:

Gruppe 1, anbefalte sorpsjonsmaterialer:

- › Granulert kalk
- › Skjellsand

Materialene er anbefalt fordi de for en rekke egenskaper har gitt rimelig gode resultater for fjerning av forurensninger i overvann. Granulert kalk er et typisk meget ensartet materiale, mens derimot skjellsand har varierende egenskaper fra lokalitet til lokalitet.

Gruppe 2, brukbare sorpsjonsmaterialer

- › Olivin

Olivin har generelt høy kvalitet som sorpsjonsmateriale. Det må imidlertid forventes en viss risiko for utløsning av uønskede stoffer fra filteret og høy pH i utløpet spesielt i starten av driftsperioden.

Gruppe 3, sorpsjonsmateriale med bra potensiale

- › Zeolit
- › Metalloksyder
- › Modifiserte sandfiltere
- › Organiske fibermaterialer

Materialene kan kun anbefales forutsatt at de testes før bruk. Begrunnelsen er at det kan forventes vesentlige variasjoner fra materiale til materiale avhengig av opprinnelse.

Avslutningsvis skal det nevnes at sorpsjonsfiltere ikke nødvendigvis består av bare ett materiale, men at to eller flere materialer kan kombineres. Dermed kan manglende egenskaper hos en sorbent kompenseres av tilsvarende gode egenskaper fra et annet materiale.

6.5 Materialkostnader

Det er kun mulig å gi tilnærmede priser på sorpsjonsmaterialer. Både leverandør, tilgjengelighet og transport påvirker prisen. Følgende kostnader kan oppgis:

- › Skjellsand: kr 100 – 200 pr tonn
- › Granulert kalk: kr 600 – 800 pr tonn
- › Olivin : kr 5 000 pr tonn

Generelt vurderes at samtlige materialpriser med unntak av olivin ligger i størrelsesorden $< 1\,000$ kr pr tonn (Wanielista and Chang, 2008).

I et konkret prosjekt er ikke bare materialkostnadene bestemmende, men også kostnaden knyttet til levetid og drift. Det vil være nyttig å sammenligne kostnaden pr m³ rensset vann for ulike sorpsjonsmaterialer i den videre planleggingen av renssetiltaket.

7 Referanser

A. Renseløsninger for overvann/tunnelvaskevann

Snilsberg, P., Roseth, R. og Amundsen, C.E., (2002): Naturbaserte behandlingsanlegg for vegavrenning. Undersøkelse av rensesgrad og anleggsfunksjon for tre anlegg på ny E6 Korsegården – Vassum i Ås kommune i 2000 og 2001. Bioforsk rapport 13/02.

EU LIFE-TREASURE (2009), Funktion, Dimensionering og Drift af Våde Bassiner for Videregående Rensning af Afstrømmet Regnvand i Byer – Teknisk Vejledning, Rapport fra EU LIFE-TREASURE projektet: EU LIFE2006 ENV/DK/229-TREASURE, pp 48.

Hvitved-Jacobsen, T., J. Vollertsen and A.H. Nielsen (2010), Urban and Highway Stormwater Pollution – Concepts and Engineering, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp 347.

Meland, S. (2010). Ecotoxicological Effects of Highway and Tunnel Wash Water Runoff. 2010:25. Doktorgradsavhandling ved Universitetet for Miljø og Biovitenskap (UMB), Ås, 2010, pp. 86.

Vollertsen, J., Juul, M.C., Haaning Nielsen, A., Veldt, A. og Hvitved-Jacobsen, T. (udkast 2012), Opgradering af Våde Regnvandsbassiner for Videregående Rensning, udkast til rapport fra Miljøstyrelsen vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, pp 91.

Scandiaconsult/Rambøll, 1997: E6 Korsegården – Vassum, DP4 Vassumkrysset. Basseng for behandling av avrenning fra veganlegg og vaskevann fra tunneler.

Sondre Meland, SVV (pers. medd.): Vannforbruk i Nordbytunnelen sommeren 2012.

Sondre Meland, SVV (pers. medd.): Observasjon av dødelighet hos amfibier i Vassum rensesbasseng etter tunnelvask, juni 2012.

USEPA (1977), Urban Stormwater Management and Technology: update and users' guide, US Environmental Protection Agency, Report No. 600/8-77-014, pp 313.

Åstebøl, S.O. og Hvitved-Jacobsen, T. 2006. Vannbeskyttelse i vegplanlegging og vegbygging. Statens vegvesen håndbok 261.

Åstebøl, S.O. (2010). Undersøkelse av infiltrasjon og forurensning i veggrøft. Rapport til Statens vegvesen Region øst.

Wium-Andersen, T., A.H. Nielsen, T. Hvitved-Jacobsen, N.K. Kristensen, H. Brix, C. Arias and J. Vollertsen (2012), Sorption media for stormwater treatment – a laboratory evaluation of five low-cost media for their ability to remove metals and phosphorus from artificial stormwater, Water Environment Research, 84, 605-616.

B. Filtermaterialer for videregående rensing

Forsvarsbygg (2009), Test with Blueguard olivine granulates as treatment media for runoff containing heavy metals from the Tverrfjellet mines, Report from Forsvarsbygg Utvikling, Norway, pp 18.

Färm, C. (2002), Metal sorption to natural filter substrates for storm water treatment – column studies, Science of the Total Environment, 298(1-3), 17-24.

Genç-Fuhrman, H., P.S. Mikkelsen and A. Ledin (2007), Simultaneous removal of As, Cd, Cr, Cu, Ni and Zn from stormwater: Experimental comparison of 11 different sorbents, Water Research 41, 591-602.

Han, J.S. (1999), Stormwater filtration of toxic heavy metal ions using lignocellulosic materials selection process, fiberization, chemical modification, and mat formation, Proceedings of the 2nd Inter-Regional Conference on Environment-Water 99, Lausanne, Switzerland, pp 16.

Roseth, R. (2000), Shell sand: A new filter medium for constructed wetlands and wastewater treatment, J. Environmental Science Health Part A – Toxic Hazardous Substances Environmental Engineering, 35(8), 1405-1417.

Roseth, R. (2007). Utprøving av rensefilter for behandling av vaskevann fra vegtunneler. Rapport til Statens vegvesen, UTB 2007/01.

Roseth, R., K. Berggrund og J.E. Einarsen (utkast 2012), Renseanlegg for vaskevann fra vegtunneler – Dokumentasjon av renseanlegg og utprøving av rensefilter, Bioforsk Rapport Vol. 7 Nr.115-2012, pp 133 (publiseres i 2013).

Seelsaen, N., R. McLaughlan, S. Moore, J.E. Ball and R.M. Stuetz (2006), Pollutant removal efficiency of alternative filtration media in stormwater treatment, Water Science & Technology, 54(6-7), 299-305.

Wanielista, M. and N.-B. Chang (2008), Alternative stormwater sorption media for the control of nutrients, Final Report: Project #B236, Stormwater Management Academy, University of Central Florida, USA, pp 51.

Wium-Andersen, T., A.H. Nielsen, T. Hvitved-Jacobsen, N.K. Kristensen, H. Brix, C. Arias and J. Vollertsen (2012), Sorption media for stormwater treatment – a laboratory evaluation of five low-cost media for their ability to remove metals and phosphorus from artificial stormwater, *Water Environment Research*, 84, 605-616.

Åstebøl, S.O. og Trandem J. (2004). Blåveisbekken rensesepark i Ski kommune. Lokalisering og utforming av renseløsning.

Åstebøl, S.O., Simonsen, Ø., Østeraas, T. og Hvitved-Jacobsen, T. (2007). Rensing av overvann i byområder – kompakte renseløsninger. Rapport til Statens vegvesen.



Statens vegvesen
Region øst
Vegavdeling Akershus
Postboks 1010 2605 LILLEHAMMER
Tlf: (+47 915) 02030
firmapost-ost@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen