



Statens vegvesen

Utprøving av rensfilter for behandling av vaskevann fra vegtunneler

RAPPORT

Utbyggingsavdelingen

nr: UTB 2007/01



Vegdirektoratet
Utbyggingsavdelingen
Miljøseksjonen



Statens vegvesen

Utprøving av rensfilter for behandling av vaskevann fra vegtunneler

Oppdragsgiver	Oppdragstaker	ISSN-nummer 1890-2472
Statens vegvesen Vegdirektoratet Utbyggingsavdelingen Miljøseksjonen Jørn Arntsen 22 07 34 64 jorn.arntsen@vegvesen.no	Bioforsk Jord og miljø Roger Roseth 64 94 81 52 roger.roseth@bioforsk.no	Rapportnr UTB 2007/01
		Arkivnummer 2005-29273

Utprøving av rensfilter for behandling av vaskevann fra vegtunneler

Sammendrag

Vaskevann fra vegtunneler og elektrostatfiltere inneholder en kompleks blanding av forurensningskomponenter, som de miljøfokuserede metallene sink, bly, kobber, krom og nikkel samt PAH-forbindelser og olje. Størparten av forurensningskomponentene er normalt knyttet til partikler og kan fjernes i sedimentasjonsbassenger/-dammer. Den "løste" og mer biotilgjengelige fraksjonen av forurensningskomponentene fjernes ikke gjennom sedimentasjon og kan i verste fall gi akutte eller kroniske gifteffekter på ferskvannsorganismer i små og sårbare vassdrag. Tidligere undersøkelser har vist at kommersielt tilgjengelige filtermaterialer kan fjerne slike forurensningskomponenter. Det har derfor blitt gjennomført et kolonneforsøk med testing av fire ulike filtermaterialer basert på bark, cellulose og torv for behandling av forsedimentert vaskevann fra en vegtunnel (Hanekleivtunnelen i Vestfold). Resultatene viste at et kombinasjonsfilter med filtermaterialene, **PROLup BLÅ (oil) og Metal bark**, ga de beste behandlingsresultatene for miljøfokuserede metaller. For PAH og olje ga det torvbaserte filteret fra **Axon** de beste resultatene.

Vaskevann fra elektrostatfilteret (Bragernestunnelen i Drammen) inneholdt høye konsentrasjoner av forurensningsstoffer. En spesiell filtersekk (Teknobag - Draimad) ble prøvd ut for rensing av dette vaskevannet. Filtersekken ble prøvd ut med og uten filtermateriale (**kombinasjonsfilteret PROLup BLÅ (oil) og Metal bark**). Fylt med filtermaterialet ga filtersekken god tilbakeholdelse av miljøfokuserede metaller, PAH og olje, mens kun filtersekk ga lav tilbakeholdelse.

Resultater og erfaringer fra gjennomførte forsøk er brukt til å foreslå en mulig fullskala renseløsning for vaskevann fra tunneler og elektrostatfilter før utslipp til sårbare resipienter.

Emneord

Vegtunneler, vask, såpestoffer, tungmetaller, PAH, rensfilter

Forord

Overvann fra veg og tunnelvaskevann renses der det er nødvendig ved bruk av sedimentasjonsbasseng. Sedimentasjonsbassengene feller ut små partikler av sand og forurensning og renses på den måten vannet for store deler av den samlede forurensningen.

Imidlertid er en del av forurensningen løst i vannet eller bundet til så små partikler at et normalt dimensjonert sedimentasjonsbasseng ikke klarer å rense det bort. Det er ikke utenkelig at man i fremtiden vil se behov for å rense overvann eller tunnelvaskevann bedre enn i dag ved spesielt sårbare eller spesielt verdifulle naturområder.

Statens vegvesen Vegdirektoratet har derfor bedt Bioforsk om å undersøke noen aktuelle filtermaterialer for å finne ut om filtere kan være et mulig tiltak der hvor sedimentasjonsbasseng ikke gir tilstrekkelig rensing.

Denne rapporten er i sin helhet skrevet av Bioforsk Jord og miljø, ved Roger Roseth, Adam Paruch og Roald Aasen.

Bioforsk har valgt ut hvilke materialer som skal testes. Filtermaterialene som har blitt prøvd ut har blitt stilt til rådighet av disse firmaene: Arcon AS (Axon Miljøteknik AB), Stadspartner AB og Prolup Absorbenter AB. **Metal bark** brukt i forsøket produseres og leveres idag av Kålarne Miljøprodukter AB.

Oslo, januar 2007
Miljøseksjonen



Sidsel Kålås
seksjonsleder



Hovedkontor
Frederik A. Dahls vei 20,
1432 Ås
Tel.: 64 94 70 00
Fax: 64 94 70 00
post@bioforsk.no

Bioforsk Jord og miljø
Ås
Frederik A. Dahls vei 20
Tel.: 64 98 81 00
Fax: 64 94 81 10
jord@bioforsk.no

Tittel/Title:

Utprøving av rensefilter for behandling av vaskevann fra vegtunneler
Test of filter media for treatment of wash water from road tunnels

Forfatter(e)/Autor(s):

Roger Roseth, Adam M. Paruch og Roald Aasen

Dato/Date: 04.09.2006	Tilgjengelighet/Availability: Lukket	Prosjekt nr./Project No.: 4254	Arkiv nr./Archive No.: 6.05.22
Rapport nr./Report No.: 59/06	ISBN-nr.:	Antall sider/Number of pages: 23	Antall vedlegg/Number of appendix:

Oppdragsgiver/Employer:

Statens vegvesen, Vegdirektoratet
The Norwegian Public Roads Administration

Kontaktperson/ Contact person:

Jørn Ingar Arntsen

Stikkord/Keywords:

Vegtunneler, vask, såpestoffer, tungmetaller, PAH, rensefilter
Road tunnels, wash, surfactants, heavy metals, PAH, filter systems

Fagområde/Field of work:

Naturbasert renseteknologi
Ecological engineering

Sammendrag:

Vaskevann fra vegtunneler og elektrostatfiltere inneholder en kompleks blanding av forurensningskomponenter, som de miljøfokuserte metallene sink, bly, kobber, krom og nikkel samt PAH-forbindelser og olje. Storparten av forurensningskomponentene er normalt knyttet til partikler og kan fjernes i sedimentasjonsbassenger/-dammer. Den "løste" og mer biotilgjengelige fraksjonen av forurensningskomponentene fjernes ikke gjennom sedimentasjon og kan i verste fall gi akutte eller kroniske gifteffekter på ferskvannsorganismer i små og sårbare vassdrag. Tidligere undersøkelser har vist at kommersielt tilgjengelige filtermaterialer kan fjerne slike forurensningskomponenter. Det har derfor blitt gjennomført et kolonneforsøk med testing av fire ulike filtermaterialer basert på bark, cellulose og torv for behandling av forsedimentert vaskevann fra en vegtunnel (Hanekleivtunnelen i Vestfold). Resultatene viste at et kombinasjonsfilter med filtermaterialene, **PROLup BLÅ (oil) og Metal bark**, ga de beste behandlingsresultatene for miljøfokuserede metaller. For PAH og olje ga det torvbaserte filteret fra Axon de beste resultatene.

Vaskevann fra elektrostatfilteret (Bragernestunnelen i Drammen) inneholdt høye konsentrasjoner av forurensningsstoffer. En spesiell filtersekk (Teknobag - Draimad) ble prøvd ut for rensing av dette vaskevannet. Filtersekken ble prøvd ut med og uten filtermateriale (**kombinasjonsfilteret PROLup BLÅ (oil) og Metal bark**). Fyllt med filtermaterialet ga filtersekken god tilbakeholdelse av miljøfokuserede metaller, PAH og olje, mens kun filtersekk ga lav tilbakeholdelse.

Resultater og erfaringer fra gjennomførte forsøk er brukt til å foreslå en mulig fullskala renseløsning for vaskevann fra tunneler og elektrostatfilter før utslipp til sårbare resipienter.

Summary:

Wash water from cleaning of road tunnels and electrostatic filters contains a complex mix of pollutants, including metals of environment concern like sink, lead, copper, chromium and nickel and also organic compounds like PAHs and oil. Most of the pollutants are normally attached to particles and can be removed in sedimentation tanks/ponds. The "solved" fraction of the pollution components are not removed by sedimentation and can cause acute or chronic effect on aquatic organisms in streams receiving this runoff. Based on earlier investigations a polishing filter system based on commercially available filter media could be expected to remove focused pollutants. A laboratory experiments involved testing of four filter media based on bark, cellulose and peat has revealed the efficiency of treatment of wash water from a road tunnel. Regarding focused metals, the highest efficiency was provided by a combination of two filter materials; PROLup BLÅ (oil) and Metal bark. In context of PAHs and oil, the peat based Axon filter provided the best efficiency.

Wash water from electrostatic filters contained higher concentrations of pollutants and were tested in a separate experiment involved filtrations by a special filter sack (Teknobag - Draimad) and the sack containing a combination of Metal bark and PROLup BLÅ (oil). The filter sack (bag) filled in with the combined filters provided a high removal of focused metals and organic compounds, while the empty bag had a low removal.

Achieved results and experiences are used to suggest design and dimensions of a full-scale treatment filter for polishing wash water from heavily trafficked road tunnels before outlet to vulnerable recipients.

Land/fylke: Norge/Akershus
Kommune: Ås
Sted/Lokalitet: Bioforsks forsøkslab (Bioforsk research laboratory)

Ansvarlig leder/Responsible leader

Trond Mæhlum

Prosjektleder/Project leader

Roger Roseth

Innhold

1. SAMMENDRAG	5
2. INNLEDNING	6
3. MATERIALER OG METODER	7
3.1 KOLONNEFORSØK MED VASKEVANN FRA HANEKLEIVTUNNELEN	7
3.2 RENSING AV VASKEVANN FRA BRAGERNESTUNNELEN I FILTERPOSER	10
3.3 ANALYSER	11
4. RESULTATER OG DISKUSJON	12
4.1 KOLONNEFORSØK	12
4.1.1 Uorganiske komponenter.....	12
4.1.2 Organiske komponenter.....	16
4.2 RENSING I FILTERPOSER	17
4.2.1 Uorganiske komponenter.....	17
4.2.2 Organiske komponenter.....	19
5. KONKLUSJONER.....	22
5.1 KOLONNEFORSØK MED ULIKE FILTERMATERIALER	22
5.2 RENSING I FILTERPOSER	22
5.3 VIDERE ARBEID	22
6. FULLSKALA RENSELØSNING	23
7. REFERANSER	24

1. Sammendrag

På oppdrag fra Statens vegvesen Vegdirektoratet har Bioforsk jord og miljø gjennomført laboratorieforsøk for å klarlegge renseseffekt av ulike filterløsninger for behandling av forsedimentert vaskevann fra vegtunneler. Det har også blitt gjennomført laboratorieforsøk med rensing av vaskevann fra elektrostatfilter gjennom filterposen "Teknobag - Draimad" samt en kombinasjon av denne filterposen og utvalgte filtermaterialer.

Følgende fire filtermaterialer har blitt prøvd ut i kolonneforsøk med behandling av vaskevann fra vegtunneler: (1) **Metal bark**, (2) **PROLup BLÅ - oil**, (3) **PROLup BLÅ - mix** og (4) **Axon (torv)**. Gjennomført forsøk omfattet 8 kolonner. Tre kolonner ble kjørt med hhv. **Metal bark**, **PROLup BLÅ - oil** og **PROLup BLÅ - mix**. De to antatt mest aktuelle filterløsningene, dvs. et kombinasjonsfilter av **PROLup BLÅ - oil + Metal bark** og et filter med **Axon** ble kjørt med to paralleller, dvs. til sammen 4 kolonner. En kolonne ble kjørt uten filtermaterialer (blank) for å beskrive bakgrunnsverdier. Kolonneforsøket omfattet tre forsøksperioder med ulik hydraulisk belastning, og hele forsøket ble gjennomført i løpet av en måneds tid.

Vaskevann fra elektrostatfilter ble behandlet i en filtersekk (**Teknobag - Draimad**) og i en filtersekk fylt med kombinasjonsfilteret **PROLup BLÅ - oil** og **Metal bark**. Forsøket ble gjennomført med manuell tilførsel av væske over en periode på 6 timer og med prøvetaking med økende tid etter start.

Oppnådd renseseffekt for de ulike filtermaterialene ble beregnet på bakgrunn av inn- og utløpskonsentrasjoner av utvalgte og miljøfokuserede parametre: bly (Pb), kobber (Cu), sink (Zn), krom (Cr), kadmium (Cd) og nikkel (Ni), 16 PAH og summen av disse, upolar olje og totalt organisk karbon (TOC).

Av filterløsningene som ble prøvd ut for vaskevann fra Hanekleivtunnelen, ga kombinasjonsfilteret av **PROLup BLÅ - oil** og **Metal bark** best rensesgrad for de miljøfokuserede metallene, mens **Axon** ga best rensesgrad for upolar olje og PAH.

En filtersekk fylt med kombinasjonsfilteret **PROLup BLÅ - oil** og **Metal bark** ga god rensesgrad for miljøfokuserede metaller, upolar olje og PAH i tilført vaskevann fra elektrostatfilter.

Resultatene og erfaringene fra gjennomførte forsøk er brukt til å foreslå utforming og dimensjonering av et fullskala rensesfilter for vaskevann fra sterkt trafikkerte vegtunneler.

2. Innledning

På oppdrag fra Statens vegvesen Vegdirektoratet har Bioforsk Jord og miljø prøvd ut ulike filtermaterialer for å fjerne miljøfokuserte metaller, PAH og olje fra forsedimentert vaskevann fra (1)vegtunneler og (2)elektrostatfiltre i slike tunneler.

Kommersielt tilgjengelige filtermaterialer er stilt til rådighet av Arcon AS (Axon Miljøteknik AB), Stadspartner AB og Prolup Absorbenter AB.

Gjennomførte forsøk har omfattet utprøving av fire ulike filtermaterialer for behandling av forsedimentert vaskevann fra Hanekleivtunnelen i Vestfold. I tillegg er det gjort forsøk med rensing av forsedimentert vaskevann fra elektrostatfilteret i Bragernes-tunnelen i Drammen gjennom en filtersekk (Teknobag - Draimad) og en filtersekk fylt med utvalgte filtermaterialer.

Tidligere undersøkelser har vist at vaskevann fra vegtunneler inneholder en kompleks blanding av mange ulike forurensningsstoffer, som sink, bly, kobber, krom, PAH, olje, vaskestoffer og lett nedbrytbart organisk materiale (Andersen *et al.*, 1995, Roseth *et al.*, 2003, Roseth og Amundsen, 2003).

Ved vask av vegtunneler har det over tid blitt brukt ulike typer av vaskemidler for å fjerne olje- og tjæreholdig støv som avsettes på vegger og tak i tunnelen. For mer enn 15 år tilbake ble det stedvis brukt løsemiddelbasert avfetting ved rengjøring av tunneler, noe som ga et svært miljøproblematisk utslipp. Det har imidlertid vært en utvikling mot gradvis mer miljøvennlige vaskestoffer, og i dag brukes det i hovedsak vaskestoffer som er biologisk nedbrytbare (Roseth og Søvik 2006). Noen av disse vaskestoffene er likevel akutt giftige for akvatiske organismer før nedbryting.

Vaskevannet fra vegtunnelene inneholder en blanding trafikkskapt forurensning akkumulert inne i tunnelen og tilsatte såpestoffer. Direkte utslipp av vaskevann kan gi akutte og/eller kroniske miljøeffekter i små vassdrag nær vegen. Den trafikkskapte forurensningen fra vegtunneler fordeles på minst tre fraksjoner; vaskevann, sandfangsmasser og masser tatt opp av suge- og feiebler (Roseth *et al.*, 2005). Undersøkelser har vist at den totale produksjonen av trafikkskapt forurensning langs veg og i tunneler er proporsjonal med trafikk tettheten (Roseth *et al.*, 2005, Amundsen og Roseth, 2004).

Vaskevann fra vegtunneler er sterkt forurenset med partikler, trafikkskapte metaller, PAH og olje og må behandles før utslipp til resipient eller avløpsnett. Tilfredstillende behandling vil sikre at det ikke oppstår akutte eller kroniske effekter på akvatiske organismer i små vassdrag og redusere tilførsler av miljøfokuserte metaller og organiske stoffer til avløpslam fra renseanlegg (Roseth og Amundsen, 2003).

En stor del av forurensningskomponentene i vaskevann fra vegtunneler og elektrostatfiltre er bundet til partikler og vil derfor bli fjernet i sedimentasjonsbassenger eller -dammer. I slike bassenger vil det også kunne skje en viss nedbrytning av akutt giftige såpestoffer. Graden av nedbrytning vil være avhengig av vanntemperatur og såpestoffenes nedbrytningsegenskaper. Deler av såpestoffene vil kunne binde seg til partikler og sedimentere med disse.

Noen av forurensningskomponentene i vaskevannet er løst i vannet eller knyttet til ørsmå partikler, og vil ikke kunne fjernes gjennom sedimentasjon. Slike tilstandsformer er ofte mest biotilgjengelig og gir størst fare for akutte gifteffekter på vannlevende organismer (Andersen *et al.*, 1995).

Tidligere undersøkelser har demonstrert at filtermaterialer basert på bark, cellulose og torv kan fjerne miljøfokuserte metaller, PAH og olje i overvann fra veg (Roseth og Amundsen, 2004). Målsettingen for forsøkene som har blitt gjennomført i dette prosjektet har vært å undersøke filteregenskapene til fire kommersielt tilgjengelige filtermaterialer med hensyn til å binde og fjerne "ikke partikkeltilknyttede" forurensningskomponenter i forsedimentert vaskevann fra vegtunneler og elektrostatfiltre. Med utgangspunkt i resultater og erfaringer fra gjennomførte forsøk er det gitt forslag til utforming og dimensjonering av en fullskala renseløsning for forsedimentert vaskevann fra sterkt trafikkerte tunneler.

3. Materialer og metoder

3.1 Kolonneforsøk med vaskevann fra Hanekleivtunnelen

Renseeffekten til fire ulike kommersielt tilgjengelige filtermaterialer har blitt undersøkt ved belastning med forsedimentert vaskevann fra Hanekleivtunnelen i Vestfold.

Hanekleivtunnelen er en 1765 m lang tunnel på ny E18 Gutu - Helland. Det er en toløps tunnel med fire kjørefelt. Midlere trafikkbelastning er på rundt 20 000 biler per døgn. Tunnelen vaskes 3-4 ganger per år, dvs. 1 helvask og resten veggvasker. Som moderne vegtunneler har tunnelen to separate dreneringssystemer, et for rent vann fra fjellet og et for forurenset overvann og vaskevann. Rent vann ledes til direkte utslipp i bekk. Forurenset overvann og vaskevann ledes til forsedimentasjon i en sedimentasjonstank dimensjonert for å lagre inn hele vannmengden som produseres ved en helvask. Forsedimentert vaskevann til forsøket ble hentet fra denne sedimentasjonstanken. Vannet hentet til forsøket ble tilført sedimentasjonstanken ved en veggvask i Hanekleivtunnelen.

Rapporterte kolonneforsøk har blitt utført i laboratoriet til Bioforsk Jord og miljø, Ås.

Kolonneforsøket ble gjennomført i 8 kolonner av PVC med diameter 6,8 cm, lengde 40 cm og med et volum på 1,45 dm³. Kolonnene ble fylt med ulike filtermaterialer presentert i figur 1 og beskrevet nedenfor:

- 1) **M - Metal bark** - kommersielt tilgjengelig filtermateriale basert på furubark med tilsetningsstoffer for å forbedre bindingsegenskapene for metaller.
- 2) **P - PROLup BLÅ (oil)** - kommersielt tilgjengelig filtermateriale basert på cellulose optimalisert for opptak og binding av oljeforbindelser
- 3) **Pm - PROLup BLÅ (mix)** - kommersielt tilgjengelig blanding av filtermaterialer optimalisert for opptak og binding av både metaller og oljeforbindelser.
- 4) **A - Axon** - kommersielt tilgjengelig filtermateriale basert på varmebehandlet torv optimalisert for fjerning av oljeforbindelser, men som også vil kunne binde og fjerne metaller.



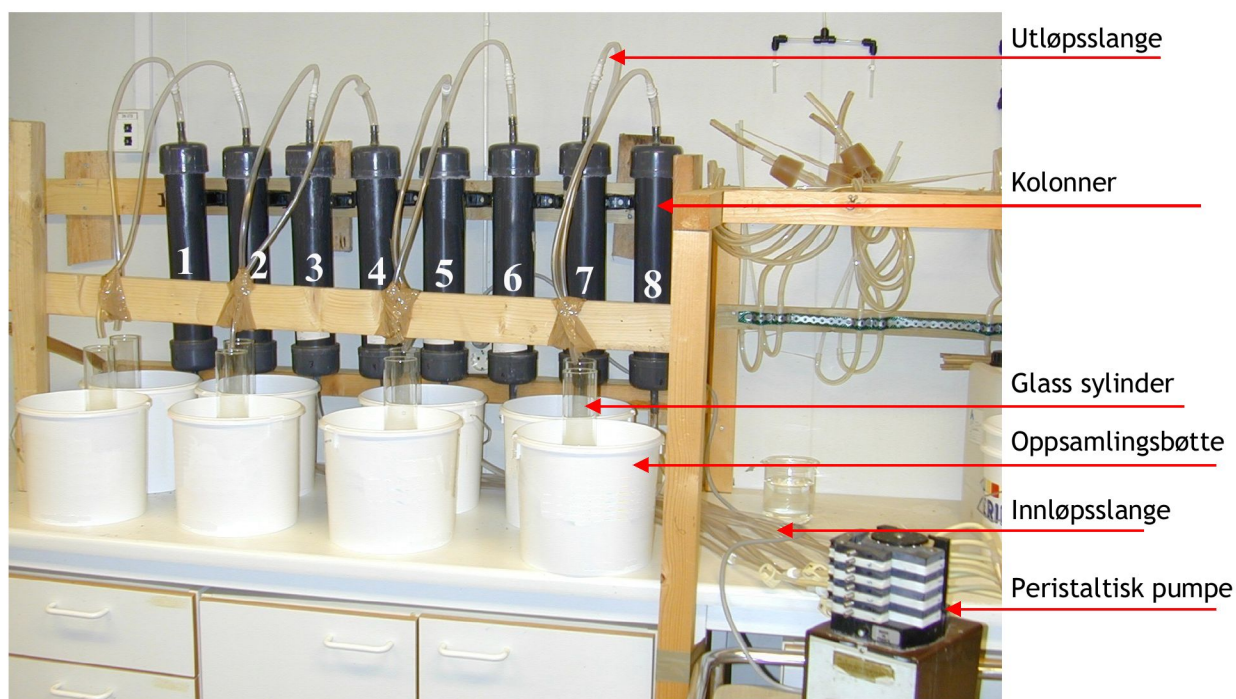
Figur 1. Filtermaterialer: 1) M - Metal bark, 2) P - PROLup BLÅ (oil), 3) Pm - PROLup BLÅ (mix) og 4) A - Axon, prøvd ut i kolonneeksperimentet.

Tre (a, b, c) uavhengige og tilfeldige prøver tatt av de aktuelle filtermaterialene har blitt analysert for innhold av tørrstoff (TS) og glødetap (VS) før kolonnene ble pakket. Resultatene av disse analysene er presentert i tabell 1 både som enkeltverdier (a, b, c) og som gjennomsnitt for hvert enkelt filtermateriale.

Tabell 1. Tørrstoffinnhold (TS) og gløderest (VS) for filtermaterialene.

Filtermaterialer	Verdier [%]				
	TS	VS	Gjennomsnitt		
			TS	VS	
M	a	28,05	70,80		
	b	28,16	71,09	28,39	71,40
	c	28,96	72,29		
Pm	a	87,99	99,22		
	b	87,95	99,18	87,95	99,21
	c	87,91	99,22		
P	a	90,54	99,37		
	b	90,48	99,36	90,51	99,34
	c	90,51	99,28		
A	a	86,07	94,95		
	b	86,10	94,95	86,11	94,89
	c	86,17	94,78		

Oppsettet for kolonneforsøket er vist i figur 2. Kolonne 4 ble ikke fylt med filtermaterialer, siden denne skulle tjene som en referansekolonne (blank). Utløpskonsentrasjonene fra denne skulle dokumentere hvilke endringer som skjedde med vannkvaliteten som følge av oppholdstid og kontakt mot plastmaterialer i slanger og kolonner. Denne kolonnen ble kjørt uten filtermaterialer gjennom hele forsøket.



Figur 2. Oppsett for gjennomført kolonneforsøk

Kolonne 3 ble pakket med **PROLup BLÅ (mix) - Pm**, kolonne 7 ble pakket med **PROLup BLÅ (oil) - P** og kolonne 8 ble pakket med **Metal bark - M** (Figur 2).

De siste fire kolonnene ble brukt til å sjekke ut filtermaterialer og kombinasjoner av filtermaterialer som ble anbefalt av produsenter/leverandører, og det ble derfor valgt å pakke to paralelle kolonner for hver filterløsning. Kolonne 1 og 2 ble pakket med det torvbaserte filtermaterialet fra **Axon - A** (figur 2). Kolonne 5 og 6 ble pakket med en anbefalt kombinasjon av to filtermaterialer, **PROLup BLÅ (oil) - P** og **Metal bark - M** (figur 2).

Kombinasjonsfilteret (**PM**) ble ikke pakket som en blanding av de to filtermaterialene, men som to separate lag med **P** og **M**. Halvparten av kolonnen (20 cm fra bunnen) ble pakket med **PROLup BLÅ (oil) - P**, mens den andre halvparten (fra 20 cm til 40 cm) ble pakket med **Metal bark - M**. Et finmasket nett ble lagt mellom filtermaterialene for å separere disse.

For å unngå tiltetting ble det laget et filter av to finmaskede nett som ble lagt ved henholdsvis innløp og utløp av alle kolonnene.

Volumet av anvendte filtermaterialer var likt, men vekten av de ulike filtermaterialene varierte. Det letteste materialet var **PROLup BLÅ (oil) - P**, mens det tyngste var **Metal bark - M** (tabell 2).

Kolonneforsøket ble gjennomført med tre forsøksperioder. Før hver forsøksperiode (ca. 10 dager) ble det hentet vaskevann fra sedimentasjonstanken i Hanekleivtunnelen. De tre påfølgende forsøkene ble startet på disse tidspunktene: 08.11.2005, 18.11.2005 og 28.11.2005. Forsedimentert vaskevann fra tunnel ble ikke tilført kolonnene før det hadde stått i ro i et døgn, slik at partikler med rask sedimentasjonshastighet hadde bunnfelt.

Tabell 2. Egenvekt til kolonner og filtermaterialer brukt i kolonneforsøket.

Kolonne nummer	Filter-materiale	Vekt[g] av:	
		Kolonne	Materiale
1	A	669,20	530,00
2	A	676,30	510,00
3	Pm	671,20	619,00
5	P	669,90	180,00
	M		580,00
6	P	669,40	176,00
	M		565,00
7	P	674,30	336,00
8	M	678,30	975,00

Forsøksperiode 1 startet kl. 13:35 den 10.11.2005. Kolonnene ble belastet med forsedimentert vaskevann over en uke og forsøket ble avsluttet kl. 17:00 16.11.2005. Hydraulisk belastning til hver kolonne var 12-15 liter per dag. Samlet hydraulisk belastning til hver kolonne gjennom hele forsøksperioden var mellom 84 og 105 liter vaskevann.

Forsøksperiode 2 startet kl. 16:40 den 19.11.2005 og ble avsluttet kl. 17:10 den 27.11.2005, dvs. en periode på 9 døgn. Hydraulisk belastning var 12-15 liter per døgn, noe som ga en samlet hydraulisk belastning på mellom 108 og 135 liter gjennom forsøksperioden.

Forsøksperiode 3 startet kl. 10:50 den 30.11.2005 og ble avsluttet kl. 12:30 den 09.12.2005, dvs. en periode på 10 døgn. I denne forsøksperioden ble den hydrauliske belastningen økt til mellom 19 og 25 l per kolonne og dag. Samlet hydraulisk belastning tilført hver enkelt kolonne gjennom forsøksperioden var mellom 190 og 250 l.

Samlet sett, for alle tre forsøkene, ble hver kolonne tilført rundt 450 l forsedimentert vaskevann.

Forsedimentert vaskevann ble tilført kolonnene med en 8-kanals peristaltisk pumpe (figur 2). Vaskevannet ble tilført i bunnen av kolonnene slik at filtermaterialene ble belastet med en mettet oppstrøms strømning.

Behandlet vaskevann kom ut via utløpsslanger fra toppen av kolonnene, og ble samlet opp av en glass-sylinder med overløp til en plastbøtte (figur 3). Vann samlet i glass-sylinder ble brukt til analyse av olje og PAH, mens vann i plastbøtte ble brukt til analyser av miljøfokusede metaller og totalt organisk karbon. Prøvetaking av utløpsvannet fra hver kolonne ble utført daglig. Ved prøvetaking ble glass-sylinder og plastbøtte tømt for oppsamlet væske, slik at neste prøve skulle være representativ for et døgn.



Figur 3. Kolonneforsøk med glass-sylindere og plastbøtter for oppsamling av behandlet vaskevann fra Hanekleivtunnelen.

3.2 Rensing av vaskevann fra Bragernestunnelen i filterposer

Filterposen “Teknobag-Drainad” brukes normalt til å samle opp og avvanne slam knyttet til ulike renseprosesser. Med bakgrunn i at posen har vært brukt til rensing av vann fra røykgassrensing ønsket Vegdirektoratet å prøve ut dette produktet i forhold til fjerning av forurensede partikler i vaskevann fra elektrostatfilter. Forsedimentert vaskevann ble hentet fra sedimentasjonstank for vaskevann fra elektrostatfilteret i Bragernestunnelen i Drammen.

Filterposen “Teknobag-Drainad” er behandlet med “TNT”, som er et vannavstøtende stoff, noe som skal forbedre filtereffekten til produktet.

Renseeffekten til filterposen ble prøvd ut i et enkelt forsøk ved laboratoriet til Bioforsk jord og miljø. Det ble også gjort forsøk med en filterpose fylt med filtermaterialer. For å kunne utføre forsøket med en begrenset vannmengde ble bredden til filterposen redusert til 5 cm, mens opprinnelig lengde på 118 cm ikke ble endret. Innvendig volum for filterpose brukt til forsøk var dermed 2,32 l.

Forsøket ble utført med to parallelle filterposer, hvorav den ene var tom og den andre var fylt med filtermaterialer (figur 4). Filtermaterialet som ble brukt var kombinasjonsfilteret (PM) brukt i kolonneforsøket, som bestod av PROLup BLÅ (olje) - P og Metal bark - M. Kombinasjonsfilteret bestod av to separate lag, dvs. 50 cm metallbark i bunnen (584 g) og 50 cm PROLup BLÅ (olje) på toppen (73

g). Filtermaterialene ble separert av et finmasket nett og et tilsvarende nett ble lagt på toppen av filteret for å gi en bedre fordeling av vannet som ble tilført søylene.



Figur 4. Rensing av vaskevann fra elektrostatfilter i filterpose med og uten filtermaterialer.

Forsøket ble gjennomført i løpet av 6 timer og omfattet 7 prøvetakingsomganger. Det startet 09:15 og ble kjørt med prøvetakingsintervall på 1 time fram til 15:15. Utløpsvannet fra de to filterposene ble samlet i begerglass (figur 4). Utløpsprøvene tatt med ulik tid fra start ble blandet til en representativ utløpsprøve som ble analysert for aktuelle parametre beskrevet nedenfor.

3.3 Analyser

Alle prøvene som ble prioritert analysert fra kolonne- og filterposeforsøket ble analysert for de samme uorganiske og organiske parametrene. Analysene ble utført på Bioforsk Lab.

Følgende uorganiske parametre ble analysert: **bly (Pb), jern (Fe), kobber (Cu), sink (Zn), krom (Cr)**, kadmium (Cd), nikkel (Ni), natrium (Na), kalium (K), magnesium (Mg), kalsium (Ca), **fosfor (P)**, svovel (S), aluminium (Al), mangan (Mn), vanadium (V), titan (Ti), barium (Ba), molybden (Mo), arsen (As), antimon (Sb) og kobolt (Co). Av disse er det relevante parametre som jevnt over har gitt målinger over aktuelle kvantifikasjonsgrenser for stoffene (fete typer) som har blitt vektlagt i denne rapporten. En engelsk utgave av rapporten (Paruch et al. 2006) gir en vurdering av alle parametre.

Følgende organiske parametre har blitt analysert: 16 PAH (polysykliske aromatiske hydrokarboner), upolar olje og TOC (totalt organisk karbon).

Analysene av miljøfokuserte metaller og andre uorganiske parametere er kun gjort på ICP for å begrense kostnadene knyttet til analyser. For metaller som bly og kadmium hadde det vært ønskelig å bruke analysemetoder (grafittovn) med lavere deteksjonsgrense, men dette har det ikke vært rom for i budsjettet. Av et stort antall prøver har det også blitt prioritert strengt hvilke prøver som faktisk har blitt analysert.

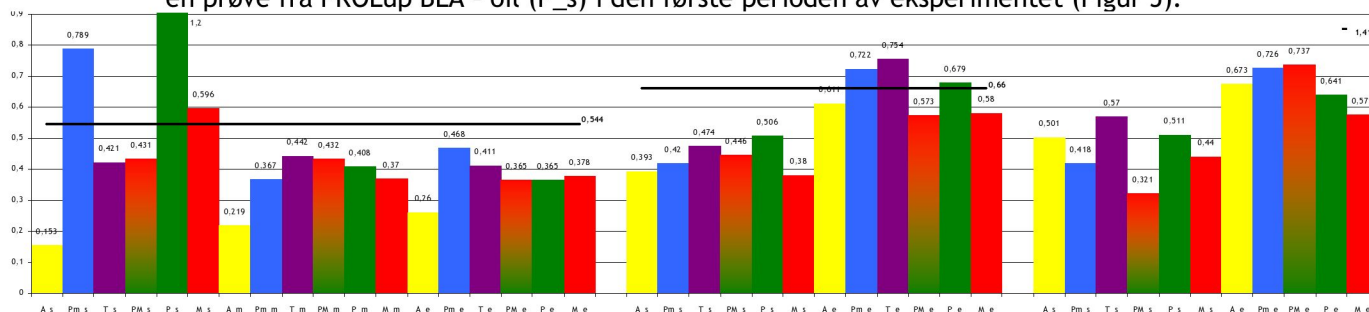
4. Resultater og diskusjon

4.1 Kolonneforsøk

4.1.1 Uorganiske komponenter

Figurene under presenterer konsentrasjoner av uorganiske komponenter i vannprøver fra de ulike kolonnene gjennom de tre periodene av eksperimentet. Innenfor første forsøksperiode ble det utført analyser av utløpsprøver i starten (_s), midt (_m) og ved slutten (_e) av forsøket. Innenfor de to neste forsøksperiodene ble det utført analyser av utløpsprøver bare i starten (_s) og i slutten (_e) av forsøket. Ved hvert forsøk ble det tatt en representativ prøve av forsedimentert vaskevann tilført kolonnene (svart strek eller punkt i figurer). Utløpskonsentrasjonene fra kolonnene har blitt sammenlignet med konsentrasjoner fra referansekolonne uten filtermaterialer (T) og konsentrasjoner i vaskevann tilført kolonnene.

- Den maksimale konsentrasjonen av fosfor i utløpsvann fra kolonnene var 1,2 mg P/l og ble funnet i en prøve fra PROLup BLÅ - oil (P_s) i den første perioden av eksperimentet (Figur 5).



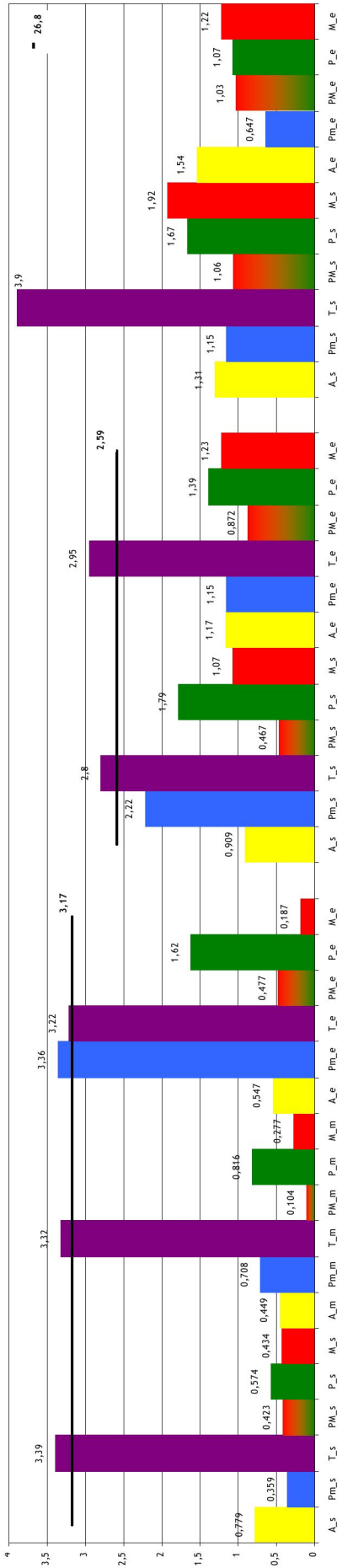
Figur 5. Konsentrasjon av fosfor(mg P/l) i prøver fra kolonneforsøket.

Den høyeste fosforkonsentrasjonen i tilført vaskevann ble funnet i den tredje perioden, dvs. 1,41 mg P/l. De laveste fosforkonsentrasjonene ble funnet i utløpsvann fra kolonner med filtermaterialer fra Axon(A_s,m,e) og kolonner som inneholdt Metal bark(M_s).

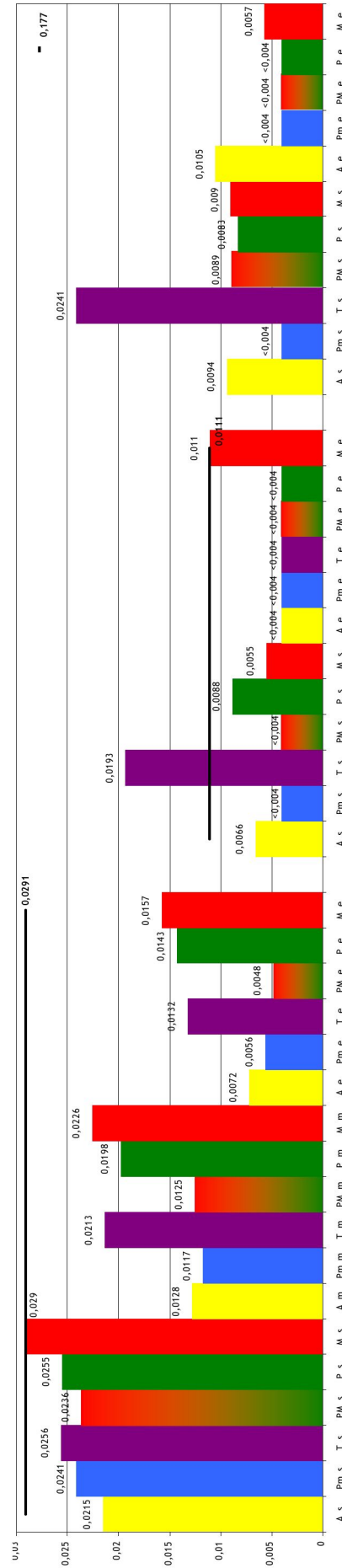
- Konsentrasjonene av kadmium (ikke vist i figur) var, med unntak av to prøver, lavere enn deteksjonsgrensen på 0,0012 mg Cd/l. Prøvene som ga deteksjon av kadmium i lave konsentrasjoner ble funnet i utløpet av kolonner med filtermaterialene PROLup BLÅ - mix (Pm) og PROLup BLÅ - oil (P) i den første forsøksperioden, og påviste konsentrasjoner var hhv. 0,0023 mg og 0,0032 mg Cd/l. Disse konsentrasjonene av kadmium er høyere enn grenseverdier for tillatt påslipp på avløpsnett, dvs. 0,002 mg Cd/l, og tilsvarer klasse 5 "Meget sterkt forurenset" i vannkvalitetskriterier for ferskvann (SFT veiledning 97:04).
- Konsentrasjonene av nikkel var lavere enn deteksjonsgrensen på 0,006 mg Ni/l for alle utløpsprøvene fra kolonner fylt med filtermaterialer. I 2 prøver fra referansekolonnen (0,0197 og 0,0079 mg Ni/l) og i 2 prøver av tilført vaskevann (0,0066 og 0,0525 mg Ni/l) ble det imidlertid påvist nikkel. I henhold til vannkvalitetskriteriene for ferskvann er vannet "Meget sterkt forurenset" når nikkelkonsentrasjonen overstiger 0,01 mg/l. Grenseverdi for påslipp til avløpsnett er 0,05 mg Ni/l.
- Konsentrasjonene av bly har vært lavere enn deteksjonsgrensen på 0,018 mg Pb/l for alle utløpsprøver fra kolonnene. En konsentrasjon av bly over denne deteksjonsgrensen ble påvist bare for vaskevann tilført kolonnene i den tredje og siste forsøksperioden (0,053 mg Pb/l). Grenseverdien for påslipp av bly til avløpsnett er 0,05 mg Pb/l.
- Figur 6 viser at utløpsvannet fra kolonnene med filtermaterialer i hovedsak hadde lave konsentrasjoner av jern i den første forsøksperioden, og at konsentrasjonene gjennomgående økte i andre og tredje forsøksperiode. Referansekolonnen uten filtermateriale viste høye konsentrasjoner av jern gjennom alle forsøksperiodene. Utløpskonsentrasjonene for jern fra kolonner med filtermaterialer varierte fra 0,104 mg til 3,36 mg Fe/l. Maksimumsverdien ble funnet

i utløpsvann fra **PROLup BLÅ - mix (Pm_e)**. De absolutt høyeste konsentrasjonene av jern ble imidlertid funnet i utløpsvann fra referansekolonnen (3,9 mg Fe/l) og vaskevann (26,8 mg Fe/l) tilført i den tredje forsøksperioden. I den siste forsøksperioden var det filtermaterialet **PROLup BLÅ - mix (Pm)** som ga best tilbakeholdelse av tilført jern, men for de to første forsøksperiodene ga det samme materialet de dårligste resultatene. Dersom en vurderer de tre forsøkene under ett synes det kombinerte filteret med **PROLup BLÅ - oil og Metal bark (PM)** å gi de beste resultatene med hensyn til fjerning av jern. For jern er grenseverdiene for påslipp til avløpsnett på 5 mg Fe/l, mens konsentrasjoner over 0,6 mg Fe/l vurderes som "meget sterkt forurenset" i vannkvalitetskriteriene for ferskvann (SFT veiledning 97:04).

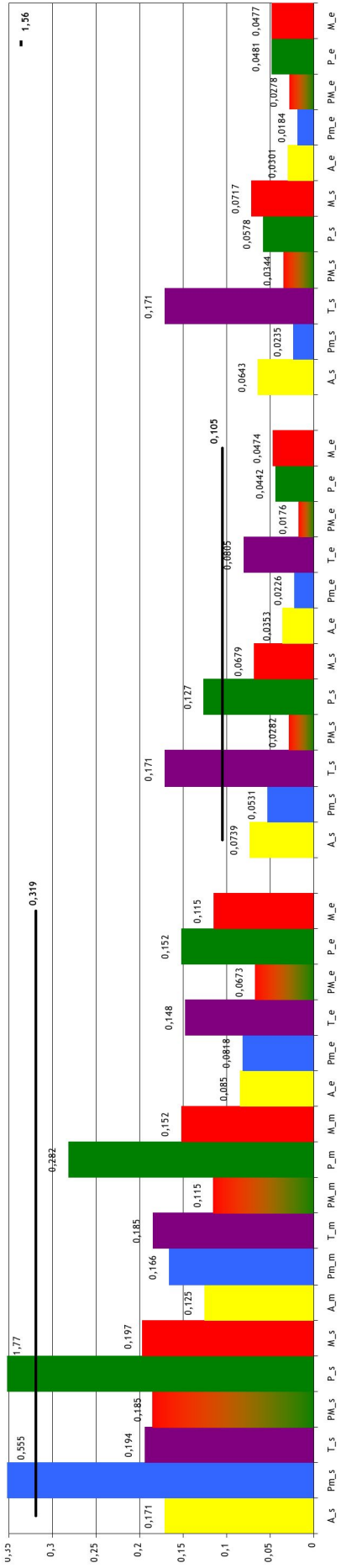
- Konsentrasjonene av **kobber** i utløpsprøver fra kolonnene med filtermaterialer er generelt lavere enn i tilført vaskevann og utløpsvann fra referansekolonnen (Figur 7). Gjennom den første forsøksperioden (spesielt første prøvetaking), ble det funnet høye konsentrasjoner av kobber sammenlignet med andre og tredje forsøksperiode. Maksimumskonsentrasjonen for kobber ble funnet i vaskevann tilført kolonnene gjennom den første forsøksperioden, dvs. 0,0291 mg Cu/l. For forsøkene vurdert under ett ble de laveste utløpskonsentrasjonene av kobber funnet for filtermaterialene **PROLup BLÅ - mix (Pm)** og kombinasjonsfilteret **PROLup BLÅ - oil og Metal bark (PM)**. Konsentrasjonen av kobber i utløpsprøvene fra disse filtermaterialene var under deteksjonsgrensen (0,004 mg Cu/l) gjennom hele andre og tredje forsøksperiode. Disse filtermaterialene synes derfor å være mest effektive mht. fjerning av kobber i tilført vaskevann. Grenseverdien for påslipp til avløpsnett er 0,2 mg Cu/l, mens ferskvann vurderes som "meget sterkt forurenset" når konsentrasjonene av kobber overstiger 0,003 mg Cu/l.
- Den høyeste konsentrasjonen av **sink** (1,77 mg Zn/l) gjennom hele forsøket ble funnet i det første utløpsvannet fra kolonnen med **PROLup BLÅ - oil (P_s)** - figur 8. Gjennom hele forsøket gir dette filtermaterialet stort sett høyere utløpsverdier av sink enn de andre filtermaterialene. Maksimal fjerning av sink ble oppnådd for filtermaterialet **PROLup BLÅ - mix (Pm_e)** i den tredje forsøksperioden, der tilført vaskevann inneholdt 1,56 mg Zn/l mens konsentrasjonen i utløpsvannet fra dette filtermaterialet var 0,0184 mg Zn/l. For de to foregående forsøksperiodene var **PROLup BLÅ - mix (Pm)** mindre effektivt enn **kombinasjonsfilteret PROLup BLÅ - oil og Metal bark (PM)** mht. fjerning av sink. I en totalvurdering for alle tre forsøksperioder synes **kombinasjonsfilteret PROLup BLÅ - oil og Metal bark (PM)** å gi den mest stabile fjerningsraten for sink. Konsentrasjonene av sink i utløpet fra denne kolonnen er stabilt lavere enn konsentrasjonene i utløpet fra filtermaterialene **Axon, PROLup BLÅ - oil og Metal bark**. For sink er grenseverdien for påslipp til avløpsnett på 0,5 mg/l. Ferskvann vurderes som "meget sterkt forurenset" når konsentrasjonen av sink overstiger 0,1 mg Zn/l.
- Konsentrasjonene av **krom** presentert i figur 9 viser at maksimumskonsentrasjonene ble funnet i tilført vaskevann og utløp fra referansekolonnen i den tredje forsøksperioden, henholdsvis 0,0094 og 0,107 mg Cr/l. I den tredje perioden ble det funnet lave konsentrasjoner av krom i utløpet av alle kolonner fylt med filtermaterialer. For kombinasjonsfilteret **PROLup BLÅ - oil og Metal bark (PM)** var utløpskonsentrasjonene av krom under kvantifikasjonsgrensen på 0,0025 mg Cr/l både i forsøksperiode 2 og 3. For de tre analysene i forsøksperiode 1 ble det funnet to konsentrasjoner av krom rett over deteksjonsgrensen og en konsentrasjon på 0,041 mg Cr for den første prøven. I en total vurdering synes kombinasjonsfilteret **PROLup BLÅ - oil og Metal bark (PM)** å gi den beste og mest stabile fjerningen av krom tilført med forsedimentert vaskevann. For krom (treverdige) er grenseverdien for påslipp til avløpsnett på 0,05 mg Cr/l. Ferskvann vurderes som "meget sterkt forurenset" når konsentrasjonen av krom overstiger 0,05 mg Cr/l.



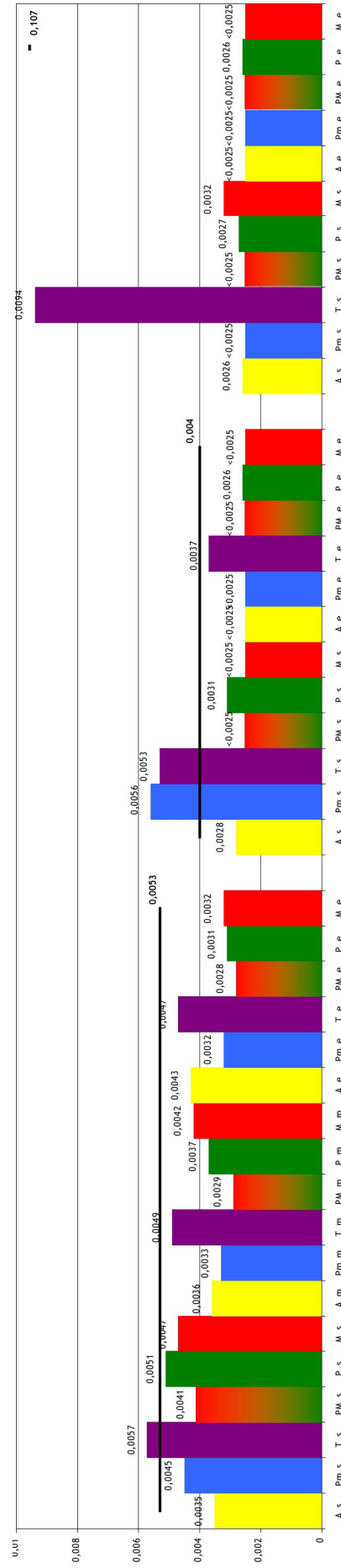
Figur 6. Konsentrasjon av jern (mg Fe/l) i tilført vaskevann (svart strek) og i utløpsprøver fra kolonnene gjennom de tre forsøksperiodene.



Figur 7. Konsentrasjon av kobber (mg Cu/l) i tilført vaskevann (svart strek) og i utløpsprøver fra kolonnene gjennom de tre forsøksperiodene.



Figur 8. Konsentrasjon av sink (mg Zn/l) i tilført vaskevann (svart strek) og i utløpsprøver fra kolonnene gjennom de tre forsøksperiodene.

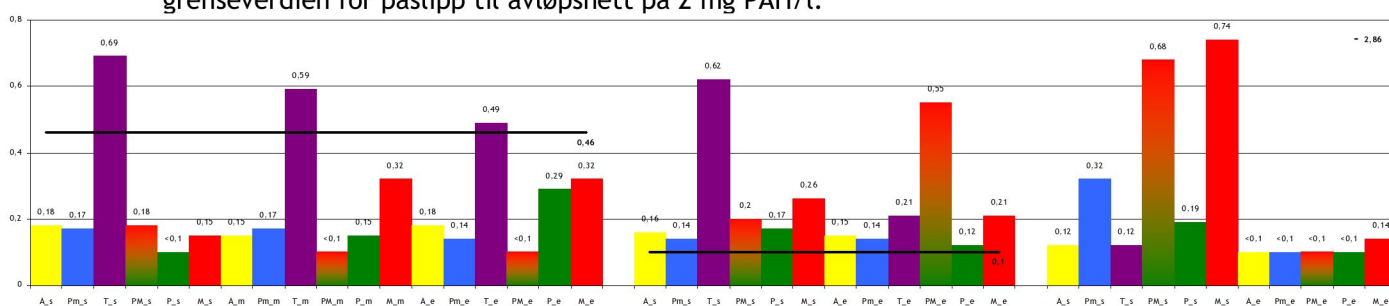


Figur 9. Konsentrasjon av krom (mg Cr/l) i tilført vaskevann (svart strek) og i utløpsprøver fra kolonnene gjennom de tre forsøksperiodene.

4.1.2 Organiske komponenter

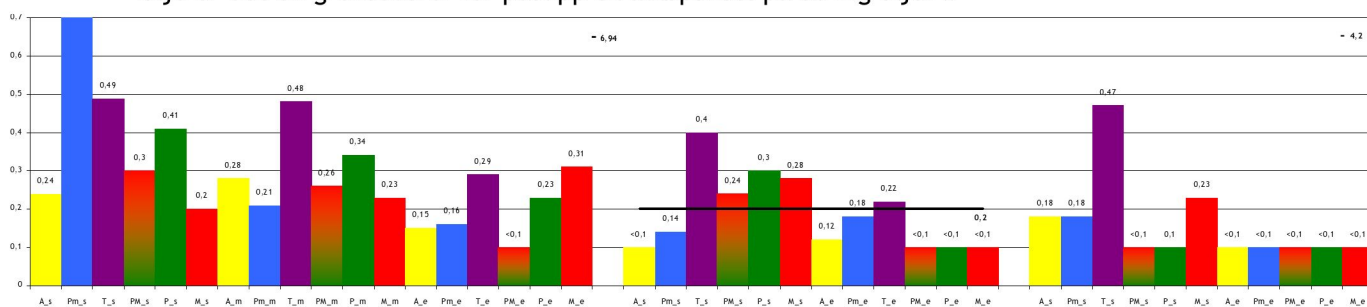
Figurene under viser konsentrasjoner av 16 PAH, upolar olje og TOC i tilført vaskevann, i utløp fra referansekolonne og utløp fra kolonner fylt med ulike filtermaterialer. Kun sum 16 PAH er vist i denne rapporten, da de individuelle PAH forbindelsene som hovedregel foreligger i konsentrasjoner som er lavere enn kvantifikasjonsgrensen i utløpet fra kolonner med filtermateriale (Paruch et al. 2006). Den miljøfokuserte PAH-forbindelsen benzo(a)pyren (BaP), ble funnet i forsedimentert vaskevann i den tredje forsøksperioden, og da i en konsentrasjon på 0,36 µg/l. BaP ble ikke funnet i noen av utløpsprøvene fra kolonneforsøket.

- Konsentrasjonene av $\Sigma 16$ PAH er vist i figur 10. Maksimumsverdien på 2,86 µg/l ble funnet i vaskevann tilført kolonnene i tredje forsøksomgang. Den høyeste konsentrasjonen i utløpsvann fra kolonner med filtermaterialer (0,74 µg/l) ble funnet for **Metal bark (M_s)**, ved starten av den tredje forsøksperioden. Tilsvarende ble det funnet en høy konsentrasjon (0,68 µg/l) i utløpet fra kombinasjonsfilteret **PROLup BLÅ - oil og Metal bark (PM_s)**, mens konsentrasjonen fra **PROLup BLÅ - oil (P_s)** var lav (0,19 µg/l). I en total vurdering viser filtermaterialet **Axon** lave og stabile utslippskonsentrasjoner av $\Sigma 16$ PAH gjennom alle tre forsøksperiodene. For $\Sigma 16$ PAH er grenseverdien for påslipp til avløpsnett på 2 mg PAH/l.



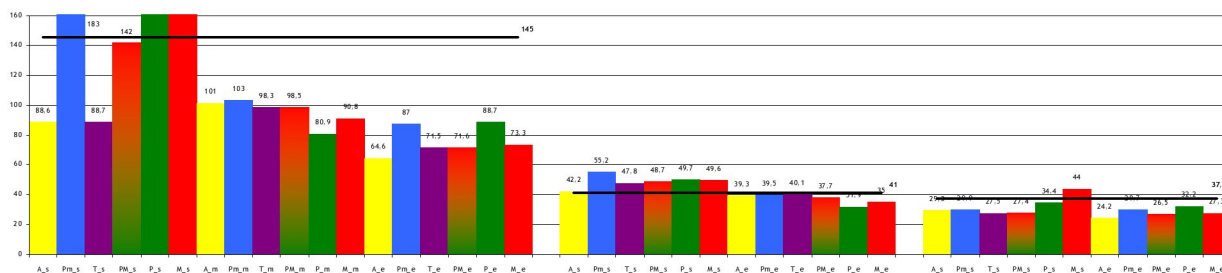
Figur 10. Konsentrasjon av $\Sigma 16$ PAH (µg/l) i tilført vaskevann (svart strek) og i utløpsprøver fra kolonnene gjennom de tre forsøksperiodene.

- Konsentrasjonene av upolar olje er vist i figur 11, og viser at de høyeste verdiene opptrer i første forsøksperiode. Maksimumskonsentrasjonen på 6,94 mg upolar olje/l ble funnet i tilført vaskevann. Den høyeste utløpskonsentrasjonen (0,7 mg/l) fra kolonner fylt med filtermaterialer ble funnet for filtermaterialet **PROLup BLÅ - mix (Pm_s)** i begynnelsen av den første forsøksperioden. Ved avslutningen av forsøksperiode 3 ga alle filtermaterialene en utløpskonsentrasjon av upolar olje under deteksjonsgrensen på 0,1 mg /l. I en total vurdering av resultatene fra alle tre omganger synes filtermaterialet **Axon** å gi den beste og mest stabile fjerningen av upolar olje. For olje er det en grenseverdi for påslipp til avløpsnett på 50 mg olje/l.



Figur 11. Konsentrasjon av upolar olje i tilført vaskevann (svart strek) og i utløpsprøver fra kolonnene gjennom de tre forsøksperiodene.

- Utløpskonsentrasjonene av **totalt organisk karbon (TOC)** er vist i figur 12. TOC har vist en variasjon fra 24,2 mg TOC/l (**Axon** i tredje forsøksperiode) til 219 mg TOC/l (**PROLup BLÅ - oil** i første forsøksperiode). I alle de tre forsøksperiodene var utløpsverdiene fra **Axon** lave mht. TOC.



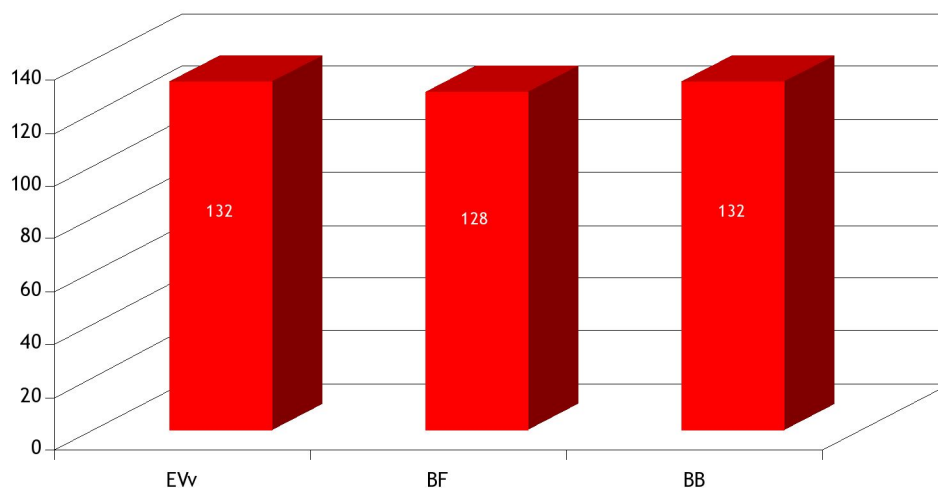
Figur 12. Konsentrasjon av totalt organisk karbon (mg/l) vaskevann og utløp fra kolonner.

4.2 Rensing i filterposer

4.2.1 Uorganiske komponenter

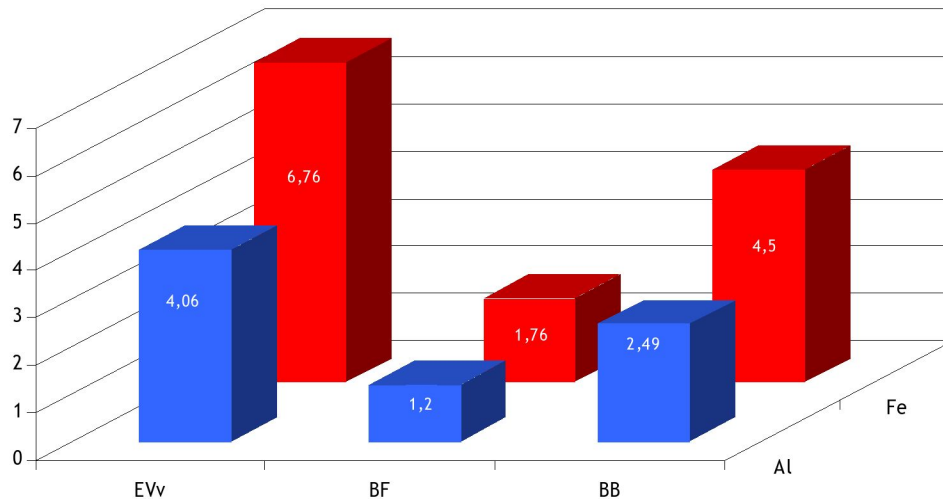
Figur 13 - 17 viser resultatene for uorganiske komponenter og totalt organisk karbon i utløpsvann fra filterposer. Resultatene er sammenlignet med verdier for vaskevann tilført filterposene.

- Figur 13 viser konsentrasjonene av **fosfor** (P) i vannprøver av tilført vaskevann og i utløp fra filterposene. Behandling i filterpose (BB) og filterpose med filtermateriale (BF) ga ingen effekt på fosforkonsentrasjonen i tilført vaskevann. Analysene viste at vaskevannet fra elektrostatfilteret inneholdt ekstremt høye fosforkonsentrasjoner, noe som kan forklares med at anvendt vaskemiddel inneholder fosfater.
- Figur 14 viser konsentrasjonene av **aluminium** (Al) og **jern** (Fe). Både Al og Fe viser det laveste konsentrasjonene (henholdsvis 1,2 og 1,76 mg/l) i utløpsvann fra filterposen med filtermateriale (BF). Sammenlignet med konsentrasjonene i tilført vaskevann (EVv - hhv. 4,06 og 6,76 mg/l) gir BF en rensegrad på rundt 75 % for både aluminium og jern. Filterposen uten filtermateriale (BB) gir et dårligere resultat, dvs. en rensegrad på mellom 40 og 50 %.

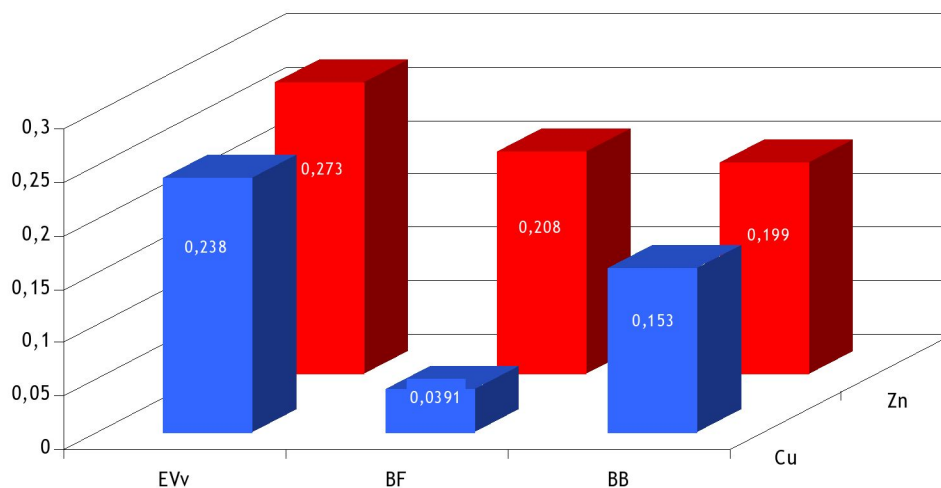


Figur 13. Konsentrasjon av fosfor (mg P/l) i vannprøver av vaskevann (EVv), filterpose med (BF) og uten (BB) filtermateriale.

- Figur 15 viser konsentrasjoner av **kobber** (Cu) og **sink** (Zn). Filterposen med filtermateriale (BF) ga en rensegrad på rundt 85 % for kobber (fra 0,238 mg Cu/l til 0,0391 mg/l), mens filterposen uten filtermateriale (BB) ga en rensegrad på rundt 35 %. For Zn var rensesresultatene dårligere, dvs. rundt 25 % både for filterpose med (BF) og uten filtermateriale (BB).

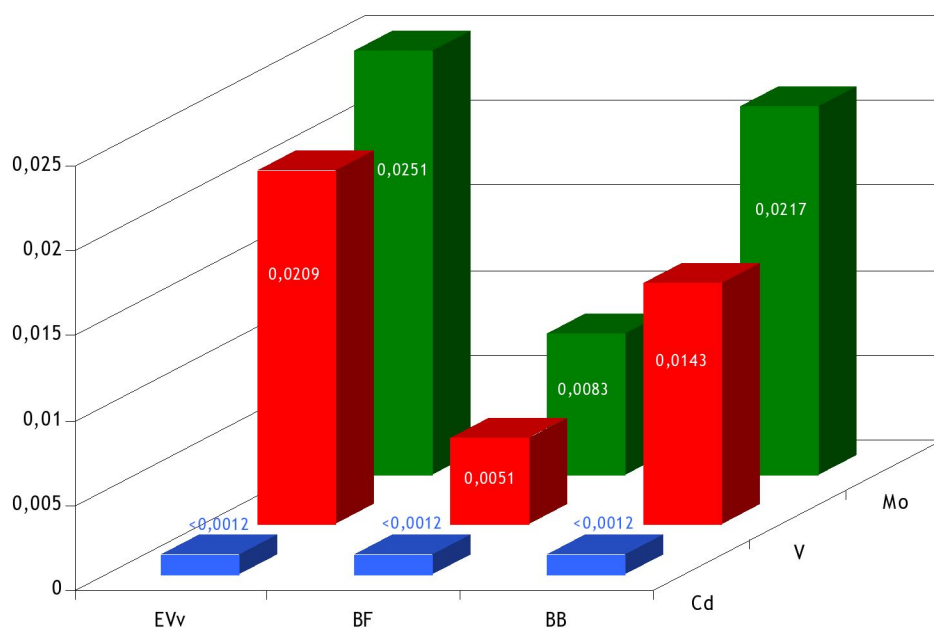


Figur 14. Konsentrasjon av aluminium (mg Al/l) og jern (mg Fe/l) i vannprøver av vaskevann (EVv) og fra filterpose med (BF) og uten (BB) filtermateriale.

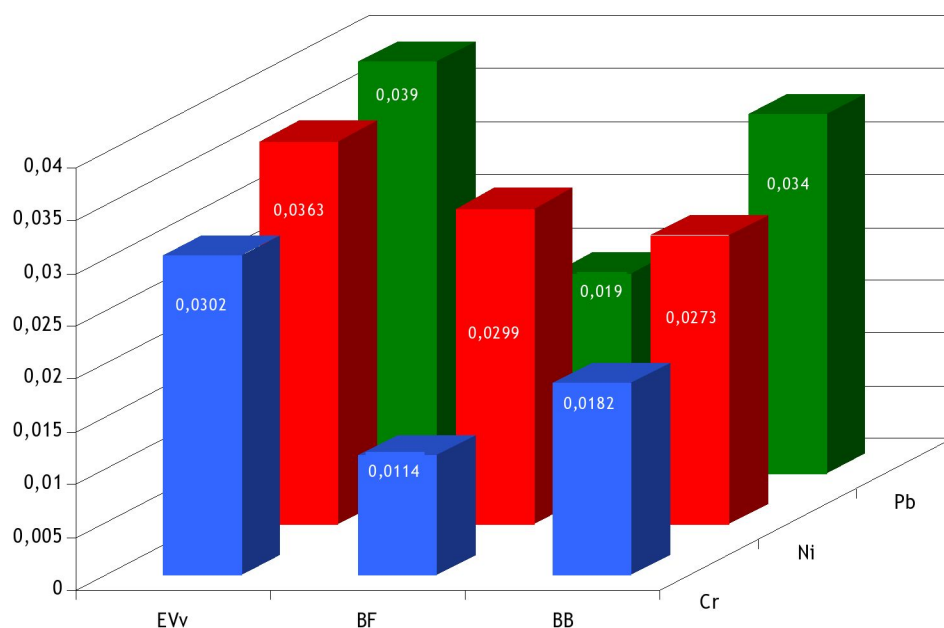


Figur 15. Konsentrasjon av kobber (mg Cu/l) og sink (mg Zn/l) i vannprøver av vaskevann (EVv) og fra filterpose med (BF) og uten (BB) filtermateriale.

- Figur 16 viser konsentrasjoner av **kadmium (Cd)**, **vanadium (V)** og **molybden (Mo)** i tilført vaskevann og utløp fra filterposer. For Cd ble det ikke funnet konsentrasjoner over deteksjonsgrensen. For V og Mo ble de laveste konsentrasjonene funnet i utløpsprøven fra filterpose med filtermateriale (henholdsvis 0,0143 og 0,0217 mg/l). Sammenlignet med resultatene fra filterpose uten filtermateriale var disse konsentrasjonene tre til fire ganger lavere.
- Figur 17 viser konsentrasjoner av **krom (Cr)**, **nikkel (Ni)** og **bly (Pb)** i tilført vaskevann og utløp fra filterposer. De høyeste konsentrasjonene ble funnet i tilført vaskevann, med en viss reduksjon etter behandling i filterpose og med en større reduksjon etter behandling i filterpose med filtermateriale. For nikkel er det et unntak. Her ble den laveste konsentrasjonen funnet i utløpsprøven fra filterpose uten filtermateriale, men forskjellene var relativt små. Rensegrad for Cr, Pb og Ni i filterpose med filtermateriale (BB) var hhv. 60, 50 og 20 %.



Figur 16. Konsentrasjon av kadmium (mg Cd/l), vanadium (mg V/l) og molybden (mg Mo/l) i vannprøver av vaskevann (EVv) og fra filterpose med (BF) og uten (BB) filtermateriale.



Figur 17. Konsentrasjon av krom (mg Cr/l), nikkel (mg Ni/l) og bly (mg Pb/l) i vannprøver av vaskevann (EVv) og fra filterpose med (BF) og uten (BB) filtermateriale.

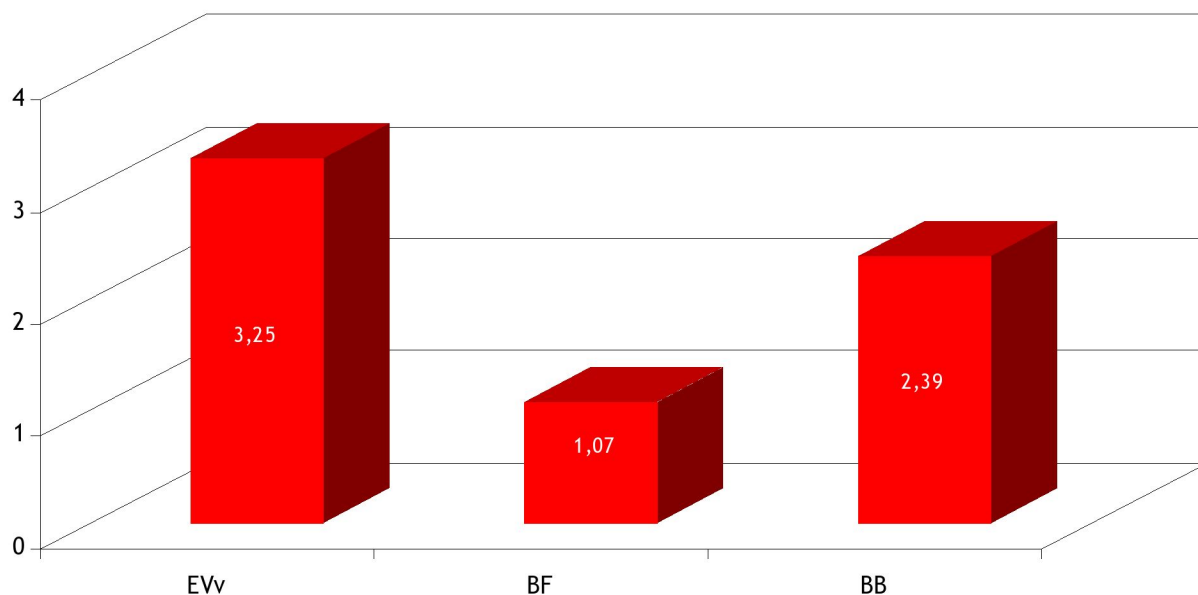
4.2.2 Organiske komponenter

Figur 18, 19, 20 og 21 viser konsentrasjoner av organiske komponenter i tilført vaskevann og utløpsvann fra filterpose med og uten filtermaterialer.

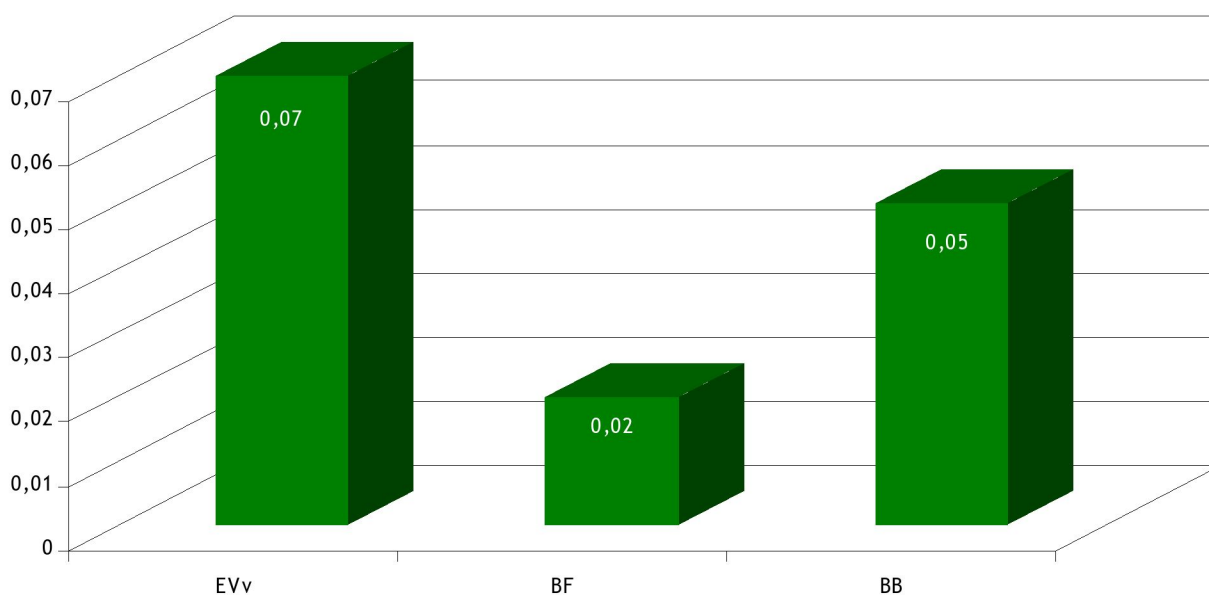
Figur 18 viser konsentrasjonene av $\Sigma 16$ PAH (Polysykliske aromatiske hydrokarboner) i vaskevann og utløp fra filterpose med (BF) og uten (BB) filtermateriale. Filterposen med filtermateriale (BF) ga en rensegrad for $\Sigma 16$ PAH på rundt 70 %, mens filterposen uten filtermateriale (BB) ga en rensegrad på

rundt 25 %. Tilført vaskevann inneholdt 3,25 $\mu\text{g PAH/l}$, mens utløpet av filterpose med filtermateriale inneholdt 1,07 $\mu\text{g PAH/l}$.

Figur 19 viser konsentrasjonene av den miljøfokuserte (kreftfremkallende) PAH-forbindelsen benso(a)pyren (BaP). Tilført vaskevann inneholdt 0,07 $\mu\text{g BaP/l}$. I utløpsvannet fra filterposen med filtermateriale (BF) var innholdet redusert til 0,02 $\mu\text{g BaP/l}$, dvs. en rensegrad på rundt 70 %. I utløpsvannet fra filterpose uten filtermateriale (BB), var innholdet redusert til 0,05 $\mu\text{g BaP/l}$, dvs. en rensegrad på rundt 30 %.



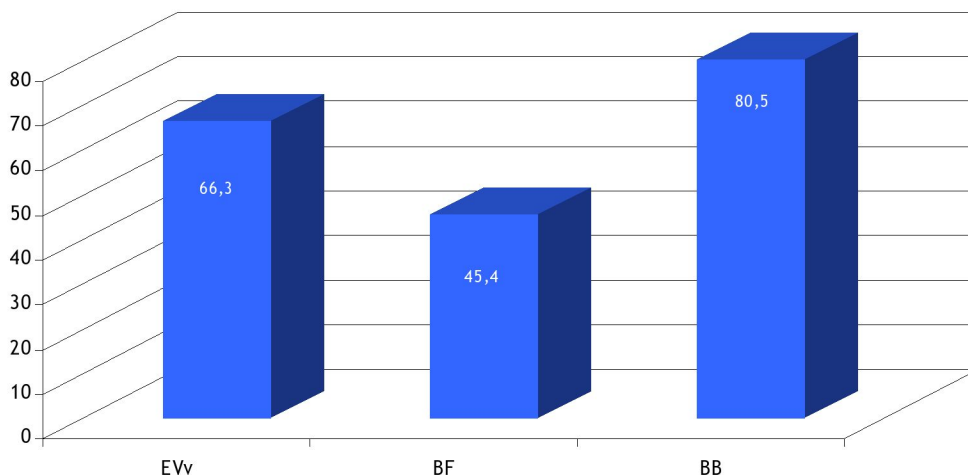
Figur 18. Konsentrasjon av $\Sigma 16$ PAH ($\mu\text{g/l}$) i vannprøver av vaskevann (EVv) og fra filterpose med (BF) og uten (BB) filtermateriale.



Figur 19. Konsentrasjon av benso(a)pyren ($\mu\text{g/l}$) i vannprøver av vaskevann (EVv) og fra filterpose med (BF) og uten (BB) filtermateriale.

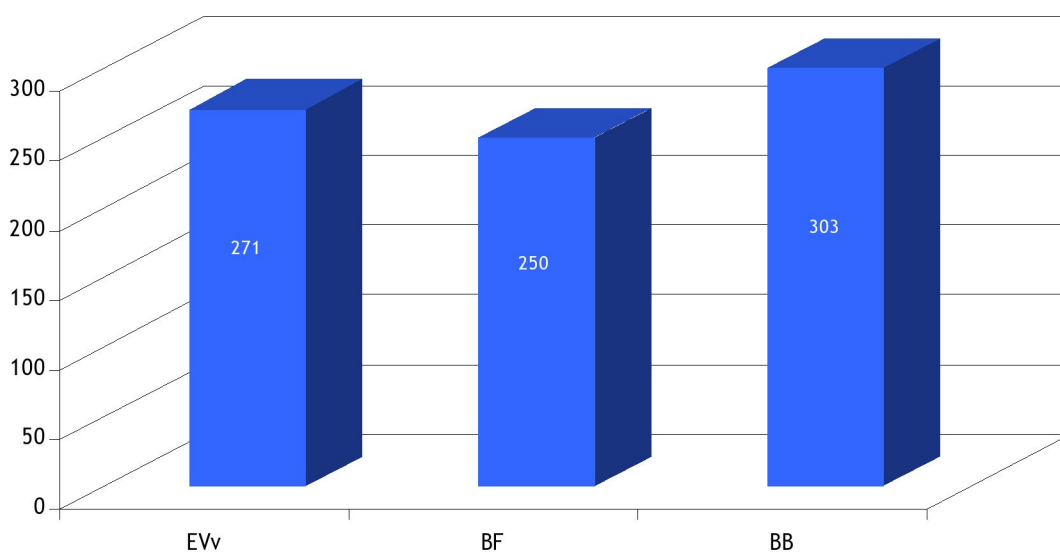
Figur 20 viser konsentrasjonene av upolar olje (mg/l) i prøver av tilført vaskevann og utløp fra filterposer med (BF) og uten (BB) filtermateriale. Konsentrasjonene av upolar olje ble noe redusert i filterposen med filtermateriale. I filterposen uten filtermateriale var konsentrasjonen høyere enn i tilført vaskevann, noe som tyder på at prøvetakingen ikke har gitt representative prøver.

Filterposen med filtermateriale ga en rensegrad for upolar olje på rundt 30 %, noe som er overraskende lavt, siden vaskevannet passerer et filtermateriale med stor opptakskapitet for olje. Dårlig rensegrad antas å ha sammenheng med at anvendt såpe bidrar til å redusere filtermaterialets opptak av olje.



Figur 20. Konsentrasjon av upolar olje (mg/l) i vannprøver av vaskevann (EVv) og fra filterpose med (BF) og uten (BB) filtermateriale.

Figur 21 viser konsentrasjonene av totalt organisk karbon (TOC) i prøver av tilført vaskevann og utløp fra filterposer med (BF) og uten (BB) filtermateriale. Det var små forskjeller i konsentrasjoner av TOC mellom vaskevann og utløpet fra filterposer med og uten filtermateriale. Generelt er TOC-konsentrasjonen i alle vanntypene ekstremt høy, og stammer sannsynligvis fra organiske komponenter i anvendt såpe.



Figur 21. Konsentrasjon av totalt organisk karbon (mg/l) i vannprøver av vaskevann (EVv) og fra filterpose med (BF) og uten (BB) filtermateriale.

5. Konklusjoner

Gjennomførte kolonneforsøk har gitt grunnlag for å vurdere renskapasiteten til utvalgte kommersielt tilgjengelige filtermaterialer ved kontrollert tilførsel av forsedimentert vaskevann fra en vegtunnel (Hanekleivtunnelen i Vestfold). Renskapasiteten for de ulike filtermaterialene er vurdert gjennom sammenligning med utløpskonsentrasjoner fra referansekolonnen uten filtermaterialer. Analysene av vaskevann tilført gjennom de tre forsøksomgangene er kun brukt som informasjon om tilført vannkvalitet.

Forsøket med rensing av vaskevann fra elektrostatfilter i filterpose (Drainad teknobag) skulle klarlegge renseseffekt av filterpose med og uten filtermateriale. Her er rensesgraden beskrevet ved å sammenligne konsentrasjonene i tilført vaskevann med utløpskonsentrasjonene fra filterpose med og uten filtermateriale.

5.1 Kolonneforsøk med ulike filtermaterialer

For de **miljøfokuserte metallene** presentert i denne rapporten, bly (Pb), jern (Fe), kobber (Cu), sink (Zn) og krom (Cr), har **kombinasjonsfilteret (PROLup BLÅ - oil og Metal bark)** samlet sett gitt de beste renseresultatene. I den stabile perioden i slutten av forsøket ble følgende rensesgrader oppnådd for dette filteret: 73 % Fe, 63 % Cu, 80 % Zn og mer enn 70 % Cr.

For de **organiske komponentene**, $\Sigma 16$ PAH, upolar olje og TOC, har **filtermaterialet Axon** samlet sett gitt de beste og mest stabile resultatene. Filtermaterialene **PROLup Blå - oil** ga også gode renseresultater for de organiske komponentene.

5.2 Rensing i filterposer

Renseresultatene for miljøfokuserte metaller viste at filterposen fylt med **kombinasjonsfilteret PROLup BLÅ - oil og Metal bark** ga bedre renseresultater enn kun filterpose. Unntaket var sink og nikkel der renseresultatene var omtrent på samme nivå. Følgende rensesgrad ble oppnådd i filterpose fylt med filtermateriale: 51% Pb, 74% Fe, 84% Cu, 24% Zn og 62% Cr.

Også for de organiske parametrene ga filterposen fylt med kombinasjonsfilteret de beste resultatene, og fjernet 67 % av $\Sigma 16$ PAH, 71 % BaP og 32 % av upolar olje.

5.3 Videre arbeid

For økt sikkerhet knyttet til utforming og dimensjonering av en fullskala renseløsning bør det vurderes gjennomført et **supplerende kolonneforsøk** med høyere hydraulisk belastning og vaskevann med høyere konsentrasjoner av metaller, PAH og olje for de to filtermaterialene som ga best resultater i dette kolonneforsøket, dvs. kombinasjonsfilteret (PROLup BLÅ - oil og Metal bark) og filtermaterialet Axon. Erfaringer med høyere hydraulisk belastning i kombinasjon med mer konsentrert vaskevann vil kunne gi økt sikkerhet med hensyn til rensesgrad og endelig valg av filtermaterialer til en fullskala utprøving av et rensesfilter for forsedimentert vaskevann fra tunnel.

Utprøving av en fullskala renseløsning bør utføres etter supplerende kolonneforsøk, alternativt så snart som mulig. Innsamlede resultater demonstrerer at en kan oppnå en god bedring av vannkvaliteten ved bruk av slike rensesfiltre, og bruk av slike filtre vil kunne være nyttige for å behandle forsedimentert vaskevann fra vegtunneler før utslipp til verdifulle og sårbare resipienter eller avløpsnett.

6. Fullskala renseløsning

Gjennomførte forsøk tilsier at en kan oppnå en betydelig forbedring av forsedimentert vaskevann fra vegtunneler og elektrostatfilter i et riktig dimensjonert rensfilter med gode filtermaterialer. Rensegraden i et fullskala rensfilter vil være avhengig av konsentrasjoner av miljøproblematiske forbindelser, om disse foreligger som løste eller partikkeltilknyttede former, vannmengden som skal behandles, type og mengde såpeforbindelser i vannet og hvor langt nedbrytningen av såpekomponentene har kommet.

I gjennomførte kolonneforsøk har rensfiltrene med et volum på 1,45 l behandlet rundt 450 l forsedimentert vaskevann fra Hanekleivtunnelen. For de beste filtermaterialene var det ingen indikasjoner på at rensgraden ble redusert mot slutten av forsøket. For noen parametere var imidlertid rensgraden ustabil i starten, dvs. innenfor perioden de første 10-20 l forsedimentert vaskevann ble tilført.

I en praktisk tilnærming antar vi at 1 liter av de beste filtermaterialene kan rense rundt 500 l med forsedimentert vaskevann uten at rensgraden forringes vesentlig. For å rense forsedimentert vaskevann tilsvarende en helvask i en 1 km vegtunnel med to løp og fire kjørefelt (100 m³), vil det isåfall kreves et rensfilter på 200 l. Dersom en ønsker å dimensjonere filteret for å behandle forsedimentert vaskevann gjennom et helt år (1 helvask og 4-6 veggvaske) bør rensfilteret ha et totalt volum på 1 m³. Gitt disse forutsetningene blir forbruket av filtermateriale svært beskjedent og prisen til filtermaterialet vil utgjøre bare en liten del av driftskostnadene ved filterløsningen.

En fullskala renseløsning foreslås etablert som et oppstrøms filter med et fordelingslag i innløpssonen og et oppsamlingslag i utstrømningssonen. Innenfor hver driftsperiode (etter hver vask) bør filteret belastes med en kontinuerlig tilførsel av forsedimentert vaskevann. Praktisk kan dette gjøres ved at en trykkskapende pumpe pumper forsedimentert vaskevann fra sedimentasjonsbasseng opp gjennom rensfilteret. Pumping startes en uke etter vask slik at vaskevannet får tid til sedimentasjon og slik at det evt. skjer en begynnende nedbrytning av såpekomponentene i vannet. Pumpehastigheten tilpasses slik at den hydrauliske belastningen ligger mellom 10 og 20 ganger volumet av filtermaterialet per døgn (maksimalt 20 m³ per døgn ved et samlet filtervolum på 1 m³). Pumping fra sedimentasjonsbasseng stoppes når aktuelt volum med vaskevann er behandlet.

Behandlet vaskevann føres til utslipp i resipient eller avløpsnett.

Etablerings- og driftskostnader for en slik renseløsning vil avhenge av hvor mange enheter som settes i drift. Dersom markedet er tilstrekkelig interessant forventes det at en eller flere leverandører vil kunne levere komplette renseløsninger med prefabrikerte rensfiltre som kan byttes ut. Brukte filtermaterialer leveres til godkjent mottak for brenning eller kompostering, avhengig av innhold av miljøproblematiske forbindelser.

Ved salg av et større volum av slike enheter forventes etablerings- og driftskostnader å være omtrent som for minirenselanlegg for eneboliger. Ved salg av få enheter vil kostnadene kunne være betydelig høyere. Driftsavtalen kan evt. bygges inn som en del av avtalen med vaskeentreprenør, som utfører dette i samarbeid med leverandør av filterløsningen.

En mer detaljert beskrivelse av en fullskala renseløsning vil omfatte pumpe, pumpestyring, container/boks for filtermateriale, pakking av filter, evt. tilslag av andre filtermaterialer for å økt vannledningsevne, oppbygging av fordelingslag og oppsamlingslag og evt. bruk av filternett for å separere ulike filtermaterialer. Ved en fullskala utprøving av en slik filterløsning må dette detaljeres ut fra lokale forhold og forutsetninger.

7. Referanser

- Amundsen, C. E. og Roseth, R. 2004. Utslippsfaktorer for forurensninger fra veg til vann og jord i Norge. Rapport fra Vegdirektoratet UTB 2004/08.
- Andersen, S., Snilsberg, P., Amundsen, C.E. og R. D. Olsen. 1995. Miljøkjemisk undersøkelse av tunnelvasking. Jordforsk rapport 31/95.
- Paruch, A., Roseth, R. og Aasen, R. 2006. Test of filter media for treatment of wash water from road tunnels. Bioforsk report Vol. 1, nr 37 2006.
- Roseth, R. og Amundsen, C. E. 2003. Vaskevann fra vegtunneler - forurensningsstoffer og behandling. Kommunalteknikk nr. 5 2003: s 16-19.
- Roseth, R. og Amundsen, C. E. 2004. Vann og veg. Filterløsninger for overvann og vaskevann fra vegtunneler. Rapport fra Vegdirektoratet. UTB 2004/09.
- Roseth, R. og Søvik, A. K. 2006. Nedbryting av såper til tunnelvask. Rapport fra Vegdirektoratet. UTB 2006/01.
- Roseth, R., Amundsen, C. E. og Meland, S. 2005. Forurensningsproduksjon i sterkt trafikkerte vegtunneler - sluttrapport Festnings-, Granfoss- og Nordbytunnelen. Jordforsk rapport 93/05.
- Roseth, R., Amundsen, C. E., Snilsberg, P., Langseter, A. M og Hartnik, T. 2003. Wash water from road tunnels - content of pollutants and treatment options. In: Proceedings 1st International Conference on Urban Drainage and Highway Runoff in Cold Climate, 25-27 March 2003, Riksgränsen Sweden: s 109-117.



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo
Tlf. (+47 915) 02030
E-post: publvd@vegvesen.no

ISSN 1890-2472