Rensing av partikkelholdig tunnelvann med kitosan

Av Helge Liltved, Christian Vogelsang og Atle Hindar

Helge Liltved er professor ved Institutt for ingeniørvitenskap ved Universitetet i Agder. *Christian Vogelsang* og *Atle Hindar* er henholdsvis forsker og regionleder i Norsk institutt for vannforskning.

Abstract

Treatment of particle containing tunnel-water with chitosan. During tunnel construction work at Feda in Kvinesdal, Norway, discharge of particle containing tunnel-water to a local stream created pollution problems. To remove particles from the tunnel-water, 2 containers in series were used as sedimentation tanks. The removal efficiency was marginal. To improve the treatment efficiency, trials with the biopolymer chitosan were conducted.

The results showed that the majority of the particles in the tunnel-water were small, with a diameter of less than 3 µm and a low settling velocity. By a dosage of 0.5 mg/l chitosan, rapid particle coagulation and sedimentation were observed. In average, 74% of suspended solid (SS) and 82% of the turbidity were removed during full-scale treatment. The treatment process can be further optimized. The chitosan cost was NOK 0.12 per m^3 treated water (NOK 15 per day). Compared to traditional Fe- and Al-coagulants used for treatment of tunnel-water, chitosan may have several advantages, including high efficiency at low dosage, less pH-dependency, and low sludge production.

Sammendrag

I forbindelse med bygging av en tunnel ved Feda i Kvinesdal oppstod problemer med utslipp av partikkelholdig tunnelvann til et lite vassdrag. For å fjerne partikler ble det benyttet 2 seriekoblede konteinere som sedimenteringstanker. Effekten av rensetiltaket var dårlig. For å bedre effekten ble det gjennomført forsøk med biopolymeren kitosan som koaguleringsmiddel.

Resultatene viste at hovedmengden av partiklene i tunnelvannet var mindre enn 3 µm og hadde svært lav sedimenteringshastighet. Ved dosering av 0,5 mg/l kitosan ble det vist rask partikkelkoagulering og sedimentering. Gjennomsnittlige renseeffekter i fullskala var 74 % med hensyn på suspendert stoff (SS), og 82 % med hensyn på turbiditet. Renseprosessen kan optimaliseres ytterligere. Under forsøksdriften var kitosankostnadene 0,12 kr pr m^3 renset vann (ca. 15 kr/døgn). Sammenliknet med tradisjonelle jern- og aluminiumskoagulanter som har blitt benyttet for rensing av tunnelvann synes kitosan å ha flere fortrinn, inkludert høy effekt ved lav dose, mindre pH-avhengighet og lav slamproduksjon.

Innledning

Ved bygging av tunneler blir det generert betydelige mengder forurenset vann, såkalt tunnelvann. Forurensningene består i hovedsak av partikler fra boring og sprengning, tilførsler av nitrogen fra sprengstoff, høy pH fra sementbaserte tetningsmidler, og eventuelle oljerester fra borerigger og anleggsmaskiner.

Vann må tilføres boreriggen for fjerning av borekaks og for kjøling. Vannmengden fra en borerigg er normalt 200-300 l/min (Norsk forening for fjellsprengningsteknikk 2009). I tillegg kommer innlekking av grunnvann og vann som trenger inn i forbindelse med boringen. Mengden vil variere avhengig av geologi, tunnellengde og effekten av tetning. Mengden partikler i tunnelvannet vil variere med anleggsaktiviteten. Størst partikkelbelastning oppleves i forbindelse med boring, sprengning og transport av steinmasser. Det er anslått variasjoner i området 100 til 20.000 mg/l målt som suspendert stoff (Norsk forening for fjellsprengningsteknikk 2009).

Også annen anleggsvirksomhet, slik som utsprengning for vegtraseer og næringstomter, fører til partikkelproduksjon. Ved pukkverk og steinbrudd vil det dannes store mengder steinstøv som kan ende opp i omkringliggende vannforekomster. Ved denne typen virksomhet er det generelt vanskelig å holde konsentrasjonen av partikler lav (under grenseverdier) over lengere tid fordi oppsamlede partikler vaskes ut ved regnskyll og fordi det blir støtbelastning på renseanlegg.

Mineralske partikler kan gi negative effekter på alle ledd i akvatiske næringskjeder. For fisk er det observert tre ulike partikkeleffekter; adferdsendringer, vevskader og tilslamming av gyteområder (Hessen 1992). Adferdsendringer og tilslamming vil være en funksjon av partikkelkonsentrasjon og partikkelstørrelse. Tilslamming av gyteområder kan medføre økt dødelighet av rogn og yngel grunnet redusert oksygentilførsel. Vevsskader vil avhenge av partikkeltype, og er spesielt påvist i tilfeller med kantete og flisete sprengningspartikler (Hessen 1992).

I tillegg til partikkelforurensningen kan tunnelvann ha høyt innhold av ammonium som stammer fra sprengstoff, og høye pH-verdier fordi det benyttes sementbaserte tetningsmidler. Kombinasjonen høy ammoniumskonsentrasjon og høy pH-verdi kan gi akutt dødelighet hos laksefisk da en stor andel av ammoniumet vil foreligge som giftig ammoniakk (NH_3) ved høy pH. Det er derfor tilrådelig med justering av pH i tunnelvannet før utslipp til sårbare resipienter.

Vanndirektivet stiller krav til miljøtilstanden i vannforekomster. For å unngå redusert miljøtilstand i sårbare resipienter er det nødvendig med rensing av tunnelvann før utslipp. For å redusere partikkelinnholdet er det normalt å benytte sedimenteringstanker. Erfaringer tilsier at partikkelmengden kan reduseres til ca. 400 mg suspendert stoff (SS) per liter som ukesmiddel ved tilsats av koaguleringsmiddel med etterfølgende sedimentering (Norsk forening for fjellsprengningsteknikk 2009). Dersom det er behov for ytterligere rensing kan filtrering eller infiltrasjon benyttes (Statens vegvesen 2013). I tillegg til kravet om partikkelreduksjon, stilles det ofte også krav om pH-justering og bruk av oljeutskiller.

I forbindelse med bygging av en tunnel ved Feda i Kvinesdal oppstod problemer med utslipp av partikkelholdig vann til et lite vassdrag. I et forsøk på å rense tunellvannet ble vannet ført til 2 seriekoblede konteinere som skulle fungere som sedimenteringstanker. Det var åpenbart at renseløsningen ikke virket etter hensikten, da bekken nedenfor var svært blakket av tunnelvannet. Målinger viste at partikkelinnholdet (målt som suspendert stoff og turbiditet) var tilnærmet likt i utløpet som i innløpet til konteinerne. For om mulig å komme fram til enkle tiltak for å bedre renseeffekten ble det gjennomført en todelt undersøkelse av tunnelvannet:

1. Det ble gjennomført analyser og forsøk i laboratorieskala for å studere tunnelvannets fysiske og kjemiske egenskaper, og for å finne fram til egnede metoder for rensing av tunnelvann.
2. Basert på laboratorieforsøkene ble det gjennomført forsøksdrift i fullskala hvor den naturlige biopolymeren kitosan ble benyttet for å koagulere partiklene, og derved øke effekten av sedimenteringstankene.

Kitosan er en naturlig nedbrytbar polymer som fremstilles i industriell skala fra avfallsprodukter (reke- og krabbeskall). Det er et delvis eller fullstendig deacetylert derivat av kitin som har vist seg å være effektiv for koagulering av små partikler i vann ved lave koagulantdoser (Roussy et al. 2005, Renault et al. 2009). Kitosan er også blitt benyttet for koagulering av naturlig organisk materiale (NOM) i drikkevann (Liltved og medarb. 2001, Eikebrokk og Saltnes 2002, Rizzoa et al. 2008), og for rensing av ulike typer avløpsvann (Norgaard et al. 1998, No and Meyers 2000). Den er virksom i et bredt pH-området, og krever derfor ikke nøyaktig pH-styring, og gir lite slam sammenliknet med tradisjonelle koagulanter som jern- og aluminiumsalter (Huang og Chen 1996, Renault et al. 2009). Mekanismen for partikkelkoagulering kan være en kombinasjon av ladningsnøytralisering og brobygging (Vogelsang 2001). Kitosan er løselig ved lav pH, og må derfor løses opp og doseres som en tynn syreløsning (gjerne HCl).

Materialer og metoder

Renseanlegget for behandling av tunnelvann

Vannet fra tunnelen ble pumpet opp i en steindam like utenfor tunnelåpningen (figur 1). Fra denne dammen ble vannet pumpet videre ved hjelp av en dykkpumpe til sedimenteringstankene som bestod av 2 konteinere satt opp i serie (hver med et effektivt volum på ca. 15 m^3), figur 1. Fra sedimenteringstankene ble vannet ledet til resipienten som var Kleivsbekken som renner ut i Fedafjorden ved Øye Smelteverk.

Kitosan

Kitosan fra Primex, Island (TM 324, 94 % deacetylert, molekylmasse på 110 kD) ble benyttet både i laboratorietestene og i fullskala forsøksdrift. Kitosan ble dispergert i vann til en 0,5 % løsning og deretter løst ved tilsats av 2 M HCl.

Innledende laboratorieforsøk

Innledningsvis ble det hentet ut vannprøver fra innløpet til den første sedimenteringstanken (innløp) og fra utløpet av den siste sedimenteringstanken (utløp). Vannføringen var da ca. 1 l/s, noe som ga en lang total oppholdstid i tankene (ca. 8 timer) og lav overflatebelastning. Det ble gjennomført tester i NIVAs laboratorium i Oslo for å se på hvilken effekt det eksisterende renset rinnet hadde og hvilken potensiell effekt annen type behandling ville kunne ha på fjerningen av partikler. Følgende ble undersøkt:

i) Effekt av eksisterende rensing uten bruk av koaguleringsmiddel: Endringen i turbiditet og partikkelstørrelsesfordeling mellom innløp og utløp ble bestemt.
ii) Sedimenteringsegenskapene til partiklene i innløpet ble bestemt ved å la dem sedimentere i et 5 liter begerglass over en periode på 91 timer med jevnlig uttak av prøver for bestemmelse av turbiditet og partikkelstørrelsesfordeling.
iii) Koagulering med kitosan: Testingen ble gjort i 1 L begerglass der testvannet ble tilsatt kitosan under kraftig omrøring (400 rpm) i 1 min til en konsentrasjon på 0,1-2,0 mg/l, og deretter satt på rolig omrøring for flokkulering i 10 min. Etter 3 min sedimentering ble det tatt ut prøver for bestemmelse av turbiditet og partikkelstørrelsesfordeling.

Partikkelstørrelsesbestemmelsene ble gjort med en Coulter Counter (Multisizer 3 fra Bechman Coulter med et 100 µm apertur med et måleområde på 2-60 µm).

Fullskala forsøksdrift med kitosandosering

Med basis i resultatene fra laboratorietestene ble det gjennomført forsøksdrift i fullskala med kitosandosering. Utstyret for dosering av kitosan, bestående av en 200 liters plastdunk med røreverk for kitosanløsning (0,5 % løsning) og en doseringspumpe (Prominent), ble montert i en liten kontainer. Kitosan ble dosert direkte på innløpsledningen 15 m før innløpet til den første sedimenteringstanken (figur 1). De dagene prøvetaking pågikk varierte vannmengdene fra 3 til 3,6 liter/sek, og kitosandoseringen var 0,5 mg/l ved gjennomsnittlig vannmengde. Vannmengden ble jevnlig målt ved hjelp av et stort plastkar og stoppeklokke. Med et samlet volum i de 2 konteinerne på ca. 30 m^3, ble vannets gjennomsnittlige totale oppholdstid beregnet til ca. 2,5 timer. Som figur 1 viser ble innløpsledningen lagt over kanten i første sedimenteringstank uten noe tilpasset innløpsarrangement. Manglende innløps- og utløps-

Figur 1. Steindam med partikkelholdig vann fra tunneldriving (bildet til venstre). Sedimenteringstanker med dosering av kitosan på innløpsrøret (bildet til høyre).

soner, samt enkel rørføring mellom konteinerne resulterte i suboptimale sedimenteringsforhold. Overflatebelastningen var lav (ca. 0,3 m/h i hver av konteinerne).

Prøvetaking

Det ble tatt ut prøver fra innløp og utløp fra tankene for å dokumentere renseeffekten med og uten kitosandosering. Prøver ble tatt på10 forskjellige arbeidsdager (8 dager med kitosandosering og 2 dager uten kitosandosering) for å speile variasjonene i innløpskonsentrasjon, avhengig av type aktivitet (boring, sprengning, og utkjøring av sprengstein). I løpet av en prøvetakingsdag ble det tatt ut flere stikkprøver som ble slått sammen til en blandprøve for å få en representativ prøve. Det var lite eller ingen nedbør på prøvetakingsdagene, så tilførslene av vann utenfra tunnelen var ubetydelig.

Analyser

Vannprøver for kjemisk analyse ble fraktet til NIVAs laboratorium i Oslo eller Analycen AS i Oslo, og analysert m.h.p. pH-verdi, turbiditet, suspendert stoff og ammonium i henhold til akkrediterte standarder.

Resultater og diskusjon

Analyse av tunnelvannet

Tallene i tabell 1 viser variasjonene i tunnelvannet. Som det fremgår, var det store variasjoner avhengig av hvilken anleggsaktivitet som var dominerende på de ulike dagene. De høyeste partikkelkonsentrasjonene synes å komme på dager med mye boring.

Verdiene for ammonium i perioder med sprengning og utkjøring av sprengstein var høye. Høyeste målte verdi var 46,7 mgN/l. Som tidligere nevnt er kombinasjonen høy pH og høy ammoniumkonsentrasjon uheldig for ferskvannsfisk da en stor andel av ammoniumet da vil foreligge som giftig ammoniakk (NH_3). Det kan derfor være aktuelt å justere ned pH i tunnelvannet før utslipp til resipient.

Parameter	Laveste	Høyeste	Middel
pH	6,2	11,3	7,7
Suspendert stoff (SS), mg/l	260	2600	1284
Turbiditet, FTU	198	4944	2338
Ammonium, mgN/l	0,013	46,7	14,2

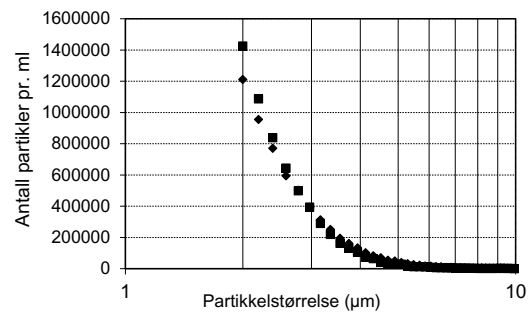
Tabell 1. Konsentrasjoner i tunnelvannet (innløpsvannet til sedimenteringstankene). Høyeste verdi, laveste verdi og middelverdi er angitt (n=10).

Laboratorieforsøk

Vannet som ble benyttet til laboratorieforsøkene hadde en turbiditetsverdi på 527 FNU, SS på 415 mg/l, og pH verdi på 7,8.

Partikkelstørrelsesfordeling i innløp og utløp til sedimenteringstankene uten kitosandosering

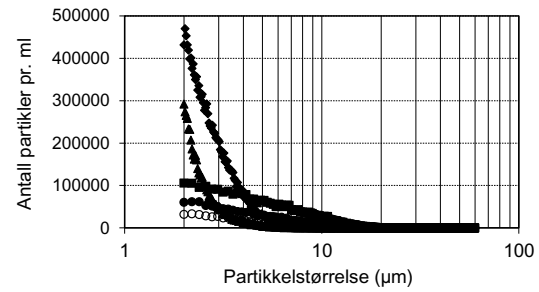
Som det framgår av figur 2 var hoveddelen av partiklene små (<3 µm), noe som indikerer lave sedimenteringshastigheter. Uten kitosandosering var det liten endring i partikkelmengde mellom innløp og utløp fra sedimenteringstankene, figur 2. I innløpsvannet ble det målt $5{,}3\times10^6$ partikler per ml i størrelsesområdet 2-60 µm, mens det i utløpet var $5{,}5\times10^6$ partikler per ml i det samme størrelsesområdet. Middelverdi for turbiditeten inn på tankene var 527 FNU, mens den var 579 FNU ut fra tankene, altså ble det ikke registrert noen målbar renseeffekt ved prøvetakingstidspunktet.



Figur 2. Partikkelstørrelsesfordelingen i innløp (◆) og utløp (■) fra sedimenteringstankene uten kitosandosering.

Partiklenes sedimenterbarhet uten kitosandosering

Tunnelvannet ble satt til å sedimentere i et 5 liter begerglass. Sedimenteringen gikk meget langsomt. Figur 3 viser hvordan partikkelstørrelsesfordelingen endret seg i klarfasen (vannfasen over sedimentet) i løpet av en periode på 91 timer. De største partiklene falt ut i løpet av det første døgnet, men over tid skjedde det også en aggregering av partikler (økende partikkelstørrelser) som førte til ytterligere sedimentering. I figur 4 (figuren til venstre) viser turbiditetsutviklingen i klarfasen i løpet av de samme 91 timene. Resultatene viser at hovedmengden av partiklene hadde lav sedimenteringshastighet, og at det måtte svært lange holdetider til for høy reduksjon i turbiditet.

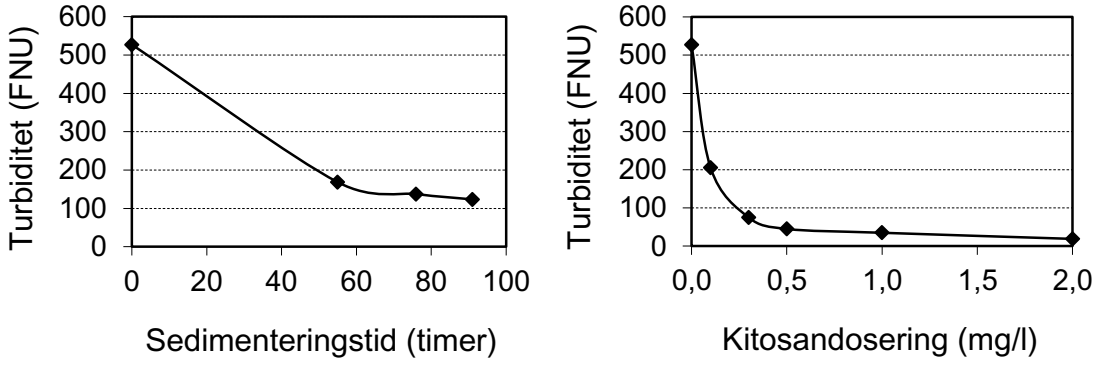


Figur 3. Partikkelstørrelsesfordelingen i klarfasen ved sedimentering av tunnelvannet uten kitosandosering. Ved start (◆), etter 24 timer (▲), etter 55 timer (■), etter 76 timer (●) og etter 91 timer (o).

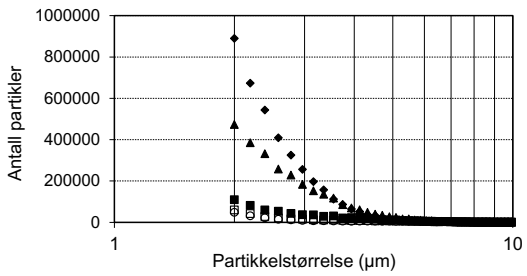
Utfelling av partikler ved dosering av kitosan

Effekten av å tilsette kitosan til tunnelvannet ble undersøkt. Dosering av kitosan resulterte i fnokker med gode sedimenteringsegenskaper, selv ved den laveste doseringen (0,1 mg/l). Effekten på turbiditeten i klarfasen med økende dosering av kitosan er vist i figur 4 (høyre side), mens figur 5 viser den tilsvarende endringen i partikkelstørrelsesfordeling ved økende kitosandose.

Partikkelfjerningen var god allerede ved en kitosandosering på 0,3 mg/l (86 % turbiditetsfjerning, 88 % færre partikler i området 2-60 µm), men ble ytterligere bedret ved høyere doser. Ved 1,0 mg kitosan/l var turbiditetsfjerningen 93 %, og fjerningen av partikler i størrelsesområdet 2-60 µm var 96 %.



Figur 4. Turbiditeten i klarfasen etter ulike tider uten kitosandosering (venstre figur), og med ulike kitosandoser etter 3 min sedimentering (figuren til høyre).



Figur 5. Partikkelstørrelsesfordelingen i klarfasen etter 3 min sedimentering etter tilsats av ulike doser kitosan. Uten kitosan (◆), 0,1 mg/l kitosan (▲), 0,3 mg/l kitosan (■), 0,5 mg/l kitosan (□) og 1,0 mg/l kitosan (o).

Fullskala forsøk

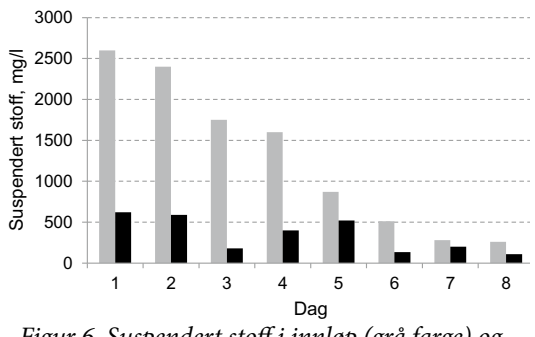
Innledningsvis ble det tatt prøver fra innløp og utløp fra sedimenteringstankene uten kitosandosering. Det var ingen signifikant renseeffekt, verken med hensyn på suspendert stoff eller turbiditet (data ikke vist). Det var heller ingen visuelle forskjeller på innløpsvann og utløpsvann. Ammoniumkonsentrasjonene var også tilnærmet lik i innløp og utløp.

Ved dosering av en gjennomsnittlig kitosanmengde på 0,5 mg/l ble det oppnådd god fjerning av partikler. Resultatene fra dagprøvene med hensyn på SS og turbiditet, ordnet etter avtakende partikkelmengde, er vist i figur 6 og figur 7. Verdiene for SS i innløpet varierte fra 2600 til 260 mg/l, mens utløpsverdiene var fra 620 til 110 mg/l, noe som gir en gjennomsnittlig renseeffekt på 74 %. Gjennomsnittlig utløpsverdi var 344 mg/l, noe som er godt under verdien på 400 mg/l som er angitt som krav i tiltaksgruppe I fra tunnelanlegg med tilsetning av koagulerings-kjemikalier foran sedimenteringsanlegget (Norsk forening for fjellsprengningsteknikk 2009).

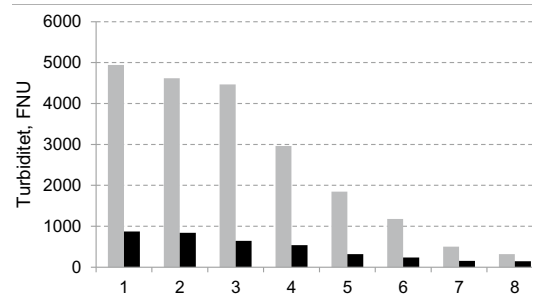
Variasjonene i verdiene for turbiditet er svært like variasjonene for suspendert stoff, både i innløpsvann og utløpsvann, noe som gir en god korrelasjon mellom parameterne. Verdiene i innløpet varierte fra 4944 NTU til 198 NTU, og i utløpet fra 873 NTU til 109 NTU. Gjennomsnittlig renseeffekt var 82 % med hensyn på turbiditet.

Vannkvaliteten nede i bekken (etter innblandingspunktet) så bra ut med svært lite synlig partikkelforurensning i perioden kitosan ble dosert.

Dersom man regner en vannmengde gjennom anlegget på 120 m³/døgn (10 timers arbeidsdag) og en gjennomsnittlig partikkelbelastning



Figur 6. Suspendert stoff i innløp (grå farge) og utløp (sort farge) med dosering av ca. 0,5 mg/l kitosan på ulike dager ordnet etter avtagende partikkelmengde.



Figur 7. Turbiditet i innløp (grå farge) og utløp (sort farge) med dosering av ca. 0,5 mg/l kitosan på ulike dager ordnet etter avtagende partikkelmengde.

på 1284 mg/l, vil partikkelmengden inn på anlegget være 154 kg/døgn. Av dette holdes 74 % tilbake i renseanlegget, d.v.s. 114 kg/døgn, mens 40 kg/døgn føres til bekken.

Det skal bemerkes at resultatene i fullskala ble oppnådd i et renseanlegg som ikke var optimalisert på grunn av økonomiske og tidsmessige stramme rammer. Resultatene fra laboratorieskala tyder på at det er mulig å oppnå bedre resultater ved optimalisering av anlegget på flere punkter:

1) Under prøvedriften ble det dosert en konstant kitosanmengde uavhengig av variasjonene i partikkelinnholdet. De store variasjonene tilsier at doseringen i perioder var noe lav. Ved å etablere en sammenheng mellom optimal kitosandose og partikkelinnhold kan doseringen bli riktig dersom doseringen styres etter partikkelkonsentrasjonen.
2) Det var heller ingen pH-regulering under prøvedriften. Ved å justere pH til mellom 6 og 7 vil kitosan har høyere positiv ladning, noe som sannsynligvis vil gi økt partikkelfjerningen. En pH-senkning vil også redusere eventuelle gifteffekter av ammonium overfor fisk i resipienten.
3) Det var ikke optimal utjevning av innkommende vannmengde i anlegget. Renseprosesser med dosering av koagulerings-middel og sedimentering er følsomme for svingninger i vannmengde. Dette kan rettes på ved å etablere et fordrøyningsbasseng som beskrevet i Norsk forening for fjellsprengningsteknikk (2009).
4) Manglende inn- og utløpsarrangementer i konteinerne medførte suboptimal strømning med fare for redusert sedimenteringseffekt. Det er viktig at anlegg dimensjoneres riktig med innløps- og utløpssoner, samt store åpninger mellom seriekoblede konteinere (vannhastigheten skal ikke overskride 0,01 m/s ved Qdim) (Norsk forening for fjellsprengningsteknikk 2009).

Konklusjoner

Resultatene fra forsøkene har vist at hoveddelen av partiklene i tunnelvannet var svært små (diameter <3 µm) og hadde lave sedimenteringshastigheter. Selv med en anbefalte overflatebelastning på < 0,5 m/time kan sedimenteringen være liten eller fraværende.

Ved bruk av den naturlige biopolymeren kitosan ble det vist rask koagulering og sedimentering av partikler. I fullskala forsøksdrift ble det vist effektiv rensing av tunnelvann med en kitosandosering på 0,5 mg/l. I gjennomsnitt ble renseeffekten målt til 74 % med hensyn på SS, og 82 % med hensyn på turbiditet. Uten kitosandosering var effekten svært lav eller fraværende. Forsøksdriften viste også at kostnadene for kitosan ved et anlegg som beskrevet her vil være beskjedne. Med en kilopris på 230 kr/kg, vil kitosankostnadene være 0,12 kr pr m³ renset vann. Resultatene ble oppnådd under betingelser som var suboptimale med hensyn til kitosandosering og strømningsforhold i sedimenteringstankene. Ved optimalisering vil man trolig kunne oppnå enda bedre renseresultater. Sammenliknet med tradisjonelle koagulanter som benyttes for rensing av partikkelholdig vann (jern- og aluminiumskoagulanter) synes kitosan å ha flere fortrinn, inkludert høy effekt ved lav dose, mindre pH-avhengighet og lav slamproduksjon. Kitosan er også en naturlig nedbrytbar forbindelse uten gifteffekter.

Referanser

Eikebrokk B., Saltnes T. 2002. NOM removal from drinking water by chitosan coagulation and filtration through light-

weight expanded clay aggregate filters. J Water SRT - Aqua 51, 323-332

Hessen D. 1992. Uorganiske partikler i vann. Effekter på fisk og dyreplankton. NIVA rapport OR-2787 ISBN: 82-577-2172-7, 42 sider.

Huang C., Chen Y. 1996. Coagulation of colloidal particles in water by chitosan. J. Chem. Tech. Biotechnol. 66, 227-232.

Liltved H., Frydenberg T., Brandt J., Vogelsang C. 2001. Bruk av biopolymerer for fjerning av humus fra drikkevann i fem Sørlandskommuner. NIVA-rapport 4361-2001, 32s.

No H. K, Meyers S.P. 2000. Application of Chitosan for Treatment of Wastewaters.
Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, Vol. 163, 1-27.

Norgaard E., Liltved H. , Skåra T. 1998. Produksjon av lavkvalitetskitosan fra rekeavfall og anvendelse i rensing av prosessavløp fra rekepillebedrift. NIVA-rapport 3888, 41 s

Norsk forening for fjellsprengningsteknikk 2009. Behandling og utslipp av driftsvann fra tunnelanlegg. Teknisk rapport 09. 35 sider.

Renault F., Sancey B., Badot P. M., Crini G. 2009. Chitosan for coagulation/flocculation processes – An eco-friendly approach. European Polymer Journal 45, 1337–1348.

Rizzoa L., Di Gennarob A., Gallob M., Belgiornoa V. 2008. Coagulation/chlorination of surface water: A comparison between chitosan and metal salts. Separation and Purification Technology, Vol. 62, 79–85.

Roussya J., Van Vooren M., Dempseyc B.A., Guibala E. 2005. Influence of chitosan characteristics on the coagulation and the flocculation of bentonite suspensions. Water Reseach 39, 3247-3258.

Statens vegvesen 2013. Rensing av vann fra veg og anlegg. En sammenstilling av metoder og praksis i 12 land. Statens Vegvesens rapporter nr. 195, 95 sider.

Vogelsang C. 2001. Felling av humus med kitosan – anvendelse av zetapotensialet til å studere koaguleringsmekanismer. VANN, 4. s 308-318.