



DIV. SAMHÄLLSBYGGNAD  
URBAN WATER MANAGEMENT



## Slutrapport: Rening av näringsämnen i överskottsvatten i infrastrukturentreprenader

Maria Hübinette, Marcus Ahlström, Elin Flodin, Solveig  
Johannesdottir & Madelen Malm

Ansvarig handläggare på Trafikverket: Tove Olsson, [tove.olsson@trafikverket.se](mailto:tove.olsson@trafikverket.se)

Projektledare på RISE: Maria Hübinette, [maria.hubINETTE@ri.se](mailto:maria.hubINETTE@ri.se)

Ärendenummer: TRV 2020/27836

Dokumentdatum: 2022-10-31

Omslagsfoto taget av Trafikverket



RISE Research Institutes of Sweden AB Box 857, 501 15 BORÅS Telefon: 010-516 50 00 E-post: <a href="mailto:info@ri.se">info@ri.se</a> , Internet: <a href="http://www.ri.se">www.ri.se</a>	Urban Water Management
---	---------------------------

# Sammanfattning

Sprängmedel som används vid infrastrukturprojekt innehåller kväve som vid ofullständig detonering eller spill riskerar att spridas med överskottsvattnet till närliggande vattendrag. Detta överskottsvatten behöver tas om hand och renas för att inte riskera att skada recipienten. I dagsläget saknas dock metoder för lämplig kväverening av överskottsvatten hos den svenska anläggningsbranschen i stort.

Syftet med detta projekt är att bidra till utvecklingen av behandlingstekniker för kväverikt överskottsvatten vid infrastrukturentreprenader hos Trafikverket. I denna slutrapport sammanfattas resultaten från projektets två delrapporter; litteraturstudien och laborationsstudien. I litteraturstudien identifierades möjliga tekniker för att rena kväve och utifrån ett antal urvalskriterier valdes tre intressanta tekniker ut för att undersökas vidare. Dessa var ammoniakstrippning, adsorption/ionbyte och elektrokemisk rening. Dessa tre valdes tack vare bland annat teknikernas korta uppstartstid och förmåga att hantera varierande flöden samt varierande kvävehalter. Inför laboratiestudien gjordes ett reviderat urval med hänsyn till praktisk genomförbarhet samt teknikernas förmåga att rena både ammonium och nitrat. De tekniker som utvärderades i laboratieförsöken var jonbyte med regenerering av jonbytesmassan, kapacitativ avjonisering (CDI) och biologisk rening med en köldtålig mikrobiell kultur. Resultaten i laboratieförsöken visade på en god potential för jonbyte och CDI att rena både nitrat och ammonium till låga koncentrationer. Dock sker ingen fullständig reduktion av kväve med dessa tekniker utan ett koncentrerat rejektivatten uppstår vilket behöver hanteras på lämpligt vis. Biologisk rening har möjlighet att fullständigt reducera kväve, men de biologiska försöken i denna studie kunde vid de undersökta temperaturerna (5-10 °C) inte rena ammonium och endast till viss del rena nitrit och nitrat. För fullständig rening inom en byggarbetsplats skulle därför en kombination av CDI och biologisk rening kunna vara ett möjligt alternativ utifrån studiernas resultat.

Nästa steg för att utveckla en lämplig behandlingsteknik för kväverikt överskottsvatten är att utvärdera en eller flera tekniker i pilotskala. För att kunna föreslå den bäst lämpade tekniken att utvärdera i pilotskala krävs dock mer kunskap om vilken kravställning på rening som är att förvänta från prövnings- eller tillsynsmyndigheten och vilka faktorer som är avgörande för val av teknik från Trafikverkets sida. Utöver detta är mer information om överskottsvattnets sammansättning och variation över tid nödvändig för att kunna dra en slutsats om den mest lämpliga reningsmetoden. Inför ett pilotprojekt är därför ett karakteriseringsprojekt ett naturligt nästa steg.

# Summary

Explosives containing nitrogen are used for rock blasting at construction sites for infrastructure projects. When detonation is incomplete, soluble nitrogen can reach surrounding water bodies through the excess water produced. Management of nitrogen rich water from construction sites is a frequently recurring problem where insufficient handling can cause delays and economic as well as environmental losses within large infrastructure projects. Currently, there is insufficient knowledge about and experience from nitrogen reduction in such excess water in the Swedish context of infrastructure projects.

The aim of this project is to contribute to the development of nitrogen treatment methods for excess water from construction sites where rock blasting is performed by the Swedish Transport Administration. In this final report, the results of the project are summarized. First, a literature review of potential technologies for nitrogen treatment was performed. The three most promising technologies were chosen based on an evaluation score model; ammonia stripping, electrochemical treatment, and adsorption/ion-exchange. These three were chosen partly because they have short start-up time and can handle variations in water characteristics. Before laboratory experiments were started, a second iteration of selection was made considering practical aspects and the fact that the excess water in general had lower nitrogen concentrations than expected, when viewing prior analysis results. The final selection for laboratory studies were ion-exchange with regeneration of resins, capacitive deionization (CDI) and biological treatment with cold-resistant bacteria. Results of the experiments showed good potential for ion-exchange and CDI to treat nitrogen in the excess water. However, a concentrated reject water is produced which needs to be managed in an appropriate way. Biological treatment has the potential of complete treatment on site, but in this study the bacteria could not reduce ammonium and only partly reduce nitrogen and nitrite at the studied temperatures (5-10 °C). For complete nitrogen treatment on site, a combination of CDI and biological treatment could be a viable option based on the results of this study.

The next step in developing a suitable treatment technology for the nitrogen rich excess water is to evaluate one or more technologies on pilot scale. To suggest the most suitable technology for a pilot study, more knowledge is needed regarding expected requirements from authorities and determining factors from the Swedish Transport Administration. Additionally, more knowledge about the characteristics of the excess water, both composition and flows, and its variation over time is necessary to conclude anything regarding most suitable technology. Therefore, a characterization project is the natural next step before a pilot project can be undertaken.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Bakgrund .....</b>	<b>1</b>
1.1	Tidigare studier.....	2
1.2	Syfte och mål.....	2
1.3	Avgränsningar.....	2
<b>2</b>	<b>Litteraturstudie .....</b>	<b>3</b>
2.1	Urvalsprocess.....	3
2.2	Identifierade tekniker .....	4
2.2.1	Biologisk rening.....	5
2.2.2	Fysiokemisk rening .....	5
2.2.3	Elektrokemisk rening .....	6
2.2.4	Kemisk rening.....	7
2.3	Utvalda tekniker att utvärdera i laboratorieförsöken.....	8
<b>3</b>	<b>Laboratorieförsök.....</b>	<b>8</b>
3.1	Överskottsvattnets sammansättning .....	8
3.2	Jonbytesförsök.....	9
3.3	Elektrokemisk rening.....	10
3.4	Biologisk rening .....	10
3.5	Teknikernas potential utifrån resultatet i laboratorieförsöken.....	10
<b>4</b>	<b>Rekommendationer till fortsatt arbete.....</b>	<b>11</b>
	<b>Referenser .....</b>	<b>12</b>
	<b>Bilaga 1 Poängsättningsmodell.....</b>	<b>14</b>

# 1 Bakgrund

Sprängning förekommer vid flera typer av infrastrukturprojekt, såsom vid exempelvis tunneldrivning och bergsskärningar. De sprängmedel som används innehåller kväve, primärt i form av nitrat- och ammonium. När sprängmedlet detonerar övergår kväveinnehållet till kvävgas, men allt sprängmedel detonerar inte. Det odetonerade sprängmedlet ger upphov till kväveföreningar som kan spridas med överskottsvattnet<sup>1</sup> på byggarbetsplatsen. Nitrat och ammonium ingår i flera biogeokemiska system och ett överskott av dessa ämnen i akvatiska och markbaserade ekosystem medför negativa konsekvenser för växt- och djurliv. Det typiska överskottsvattnet från denna typ av verksamhet kan enligt 9 kapitlet i miljöbalken klassas som avloppsvatten. Detta ställer krav på en lämplig bortledning och/eller rening av vattnet innan det kan ledas till recipient.

Beroende på vilka volymer som måste behandlas samt dess (fysio)kemiska sammansättning kan i vissa fall överskottsvattnet ledas via spillavloppsledningsnätet till kommunala avloppsreningsverk. För detta krävs va-huvudmannens godkännande. Om karaktären väsentligen avviker från hushållslignade spillvatten (exempelvis genom betydande skillnad i pH-värde eller kvävehalter) tenderar va-huvudmannen att inte vilja ta emot vattnet med hänvisning till risken för negativ påverkan på anläggningen. Avvikande pH eller höga halter ammonium kan exempelvis ge korrosionsskador på det kommunala ledningsnätet, och hög kvävebelastning eller höga hydrauliska flöden kan bland annat medföra sämre rening samt större utsläpp till recipient och eventuellt till och med äventyra villkorade utsläppsnivåer. De kommunala avloppsreningsverkens uppdrag är primärt att rena spillavloppsvatten från hushåll och har därför ingen skyldighet att omhänderta överskottsvatten från infrastrukturprojekt. Vidare kan avledning av vatten från infrastrukturprojekt medföra en försämrad kvalitet på avloppsslammet på grund av ökad tillförsel av metaller samt låg tillförsel av fosfor. Detta försvårar det återförande av fosfor till åkermark som genomförs inom ramen för va-organisationernas ordinarie verksamhet.

Ett av Trafikverkets projekt där överskottsvatten från tunneldrivning släpps till ett kommunalt avloppsreningsverk är Projekt Västlänken i Göteborg. Detta kräver villkor genom tillstånd och avtal med avloppsreningsverket vilket medför att Trafikverket inte själva kan styra över vattenhanteringen och blir beroende av andra parter.

I projekt som genomförs på landsbygden nyttjas ibland anlagda våtmarker och liknande naturbaserade reningssystem. Dessa metoder för rening kräver dock oftast att projektet har tillgång till och kan nyttja stora ytor. Det är inte tillämpligt för alla typer av anläggningsprojekt, exempelvis de som sker i tät bebyggelse.

Om va-huvudmannen inte vill ta emot överskottsvattnet, och konstruerade eller naturliga våtmarker inte finns att tillgå, behöver överskottsvattnet tas om hand inom byggarbetsplatsen av entreprenörer och/eller Trafikverket. Detta ställer krav på kompakta och robusta reningstekniker. Idag saknas metoder för adekvat kväverening av

---

<sup>1</sup> Med överskottsvatten avses det vatten som uppstår vid byggnation till följd av ytvattentillrinning, grundvattenintrång och vid användande av processvatten. Detta vatten innefattar så kallat länshållningsvatten och benämns enligt AMA Anläggning 20 som byggproduktionsvatten.

överskottsvatten hos den svenska anläggningsbranschen i stort. Detta projekt genomförs som en del i arbetet med att komma till rätta med denna problematik.

## 1.1 Tidigare studier

Under de senaste åren har flera forsknings- och utvecklingsprojekt utförts för att belysa de problem som kan uppstå kopplat till överskottsvatten. I Sverige har två rapporter tagits fram med stöd från Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF). Rapporterna beskriver ursprung av vatten i byggprocessen, dess föroreningsinnehåll, effekter på miljö samt vissa metoder för rening av vattnet (SBUF 2007, 2013). Under 2017 genomfördes en förstudie beställd av Trafikverket (Hamel 2018) för att identifiera behov av vidare forskning för hantering av överskottsvatten, och kunskapsluckor baserat på genomförandet av litteraturstudier och intervjuer med intressenter. Inom ramen för ett regeringsuppdrag för att beakta transportsystemets påverkan på yt- och grundvattentillgångar genomfördes en förstudie av Bångman et al. (2018) där det konstateras att framgångsfaktorer för att skydda yt- och grundvatten från föroreningar är god planering av nya anläggningar, ändamålsenliga skyddsåtgärder och försiktighetsmått under byggprocessen. I det arbetet har effektiva reningsprocesser en viktig roll.

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med detta forskningsprojekt är att bidra till utvecklingen av behandlingstekniker för kväverikt överskottsvatten vid Trafikverkets infrastrukturentreprenader. Det första målet för projektet var att sammanställa befintlig kunskap om möjliga behandlingstekniker och identifiera de mest lämpliga teknikerna för kväverening att undersöka i laborationsförsök. Detta gjordes genom en litteraturstudie som sammanfattas i kapitel 0 och presenteras i sin helhet i projektets första delrapport: *Rening av näringsämnen i överskottsvatten i infrastrukturentreprenader – Litteraturstudie och urval* (Johannesdottir et al. 2021). Det andra målet var att genomföra laborieförsök och utifrån försöken identifiera en lämplig behandlingsteknik för utvärdering i pilotskala. Laborieförsöken sammanfattas i kapitel 3 och presenteras i sin helhet i projektets andra delrapport *Rening av näringsämnen i överskottsvatten från infrastrukturentreprenader – Laborieförsök* (Hübinette et al. 2022). Resultaten från projektet ska på sikt bidra till att Trafikverket kan behandla överskottsvatten innehållande kväve. Behandlingsmetoden ska även kunna nyttjas av andra beställare/utförare av anläggningsprojekt.

## 1.3 Avgränsningar

I detta projekt begränsas utvärderingen till metoder för separat kväverening. Det är dock sannolikt mer gynnsamt att inkludera kvävereningen som en sammansatt del i hela reningsprocessen av överskottsvattnet vid fullskalig implementering. Tekniker för kvävereningen bör även utvärderas i relation till vilka krav som ställs på driftsäkerhet och underhåll.

Att optimera processerna ligger inte inom ramen för detta projekt och hänsyn tas inte till vilken rening av överskottsvattnet som sker innan kvävereningen, gällande exempelvis halten av suspenderat material, pH eller olja.

Förutom att rena kväve som redan hamnat i överskottsvattnet är förebyggande åtgärder av stor vikt för att minska behovet av rening, dels kopplat till spill i samband med laddning, dels vid sprängning. Att undersöka dessa aspekter ligger dock inte inom ramen för projektet.

## 2 Litteraturstudie

I detta kapitel sammanfattas litteraturstudien och den urvalsprocess som ledde fram till valet av de tekniker som sedan studerades i laboratorieförsöken. För en mer detaljerad beskrivning se projektets första delrapport *Rening av näringsämnen i överskottsvatten i infrastrukturentreprenader – Litteraturstudie och urval* av Johannesdottir et al. (2021).

### 2.1 Urvalsprocess

Litteraturstudien följde konceptet för systematisk kartläggning (eng. *systematic mapping*) av litteratur (Pullin et al. 2018). Metoden valdes för att den möjliggör en transparent och systematisk genomgång av litteratur vilket minskar risken för partiskhet (bias) och följer en rigorös och spårbar vetenskaplig metodik.

Mängden litteratur på tekniker för rening av överskottsvatten är liten (Hamel 2018) och därför inkluderades rening av andra typer av vatten, främst från gruvverksamhet, deponier samt övriga vatten med liknande karaktär (låg halt organiskt kol och låg biologisk nedbrytbarhet).

Relevansen av studier, artiklar och rapporter bedömdes utifrån inkluderingskriterierna nedan, vilka alla behövde uppfyllas för att studien skulle anses vara relevant:

- Vattentyp – Relevanta typer av vatten att inkludera var exempelvis vatten från: gruvindustri, sprängning, sprängmedelstillverkning, lakvatten, vatten med låg halt organiskt kol och hög halt av kväve.
- Process – Beskriver en metod för att reducera koncentrationen av kväve i vattnet.
- Resultat – Reduktion av någon av kväveformerna ammonium, ammoniak, nitrat eller nitrit eller reduktion av totalkvävehalten.

En urvalsmodell baserad på "*Evaluation Score Model*" för innovationsupphandling (Vinnova Rapport VR 2013:09 n.d.) togs fram under en workshop med projektets referensgrupp och representanter från Trafikverket. Workshopen resulterade i följande slutsatser kring val av teknik:

Reningsmetoden ska:

- Minska halten icke-partikulärt totalkväve i vatten med lågt organiskt innehåll (förutsätter att det finns förbehandling som tar det partikulära innehållet).



Reningsmetoden bör (i prioriterande ordning):

1. Klara varierande flöden.
2. Fungera för både låga och höga inkommande kvävehalter samt varierande halter.
3. Ta liten plats. Containerlösning är optimalt, upp till 100 kvadratmeter kan vara acceptabelt (ungefär 7 st 20-fots-containrar).
4. Inte producera oönskade biprodukter i större mängder. Exempelvis svavel, nitrit och lustgas.
5. Fungerar även med kallt vatten i svenska förhållanden ner till 0 °C.

Reningsmetoden har ett mervärde om den:

1. Inte kräver hög energiåtgång.
2. Inte kräver stora mängder tillsatskemikalier.
3. Inte kräver en frekvent tillsyn och expertis för drift.
4. Är en mobil lösning.
5. Inte kräver lång uppstartsfas.

Modellen med urvalskriterier finns beskriven i Bilaga 1. Varje teknik utvärderades utifrån hur väl den bemöter utmaningen, det vill säga projektets syfte, teknisk mognadsgrad samt genomförbarhet för laboratoriestudier.

För genomförbarhet ställdes följande kriterier upp:

1. Metod för laboratorieförsök finns beskrivet
2. Har bevisligen testats på vatten med låg kolhalt
3. Lättillgängliga material, resurser och utrustning
4. Väl etablerad teknik/metod
5. Har bevisligen testats på överskottsvatten

Lämpligheten av varje teknik poängsattes utifrån hur många av de olika kraven, mervärdena och kriterier som den uppfyllde, se Bilaga 1.

## 2.2 Identifierade tekniker

I Tabell 1 visas den kategorisering av identifierade tekniker och metoder som gjordes. Notera dock att inte alla tekniker renar både nitrat- och ammoniumkväve. Teknikerna som listas i Tabell 1 presenteras kortfattat i efterföljande avsnitt.

Tabell 1: Reningstekniker som identifierats för att rena kvävehaltigt vatten.

Processtyp	Metod
Biologisk	Nitrifikation och denitrifikation
	Anaerob ammoniumoxidation (anammox)
	Odling av mikroalger
Fysiokemisk	Adsorption och jonbyte
	Ammoniakstrippning
	Membranfiltrering
Elektrokemisk	Oxidation, reduktion och avjonisering
	Bioelektrokemisk bränsle- och elektrolyscell
Kemisk	Utfällning
	Oxidation och denitrifikation

## 2.2.1 Biologisk rening

### Nitrifikation och denitrifikation

Den vanligaste kväverenningsprocessen vid kommunala reningsverk är nitrifikation, ofta i kombination med denitrifikation. När båda processerna används uppnås en reduktion av totalkväve. Om endast nitrifikation används sker enbart en omvandling av ammoniumkväve till nitratkväve. Det finns olika processdesigner för biologisk kväverening med nitrifikation och/eller denitrifikation där aktivslamprocess, satsvis biologisk reaktor (SBR) och biofilm är de vanligaste.

Generellt gynnas mikroorganismer av en vattentemperatur kring 20–35 °C. För nitrifikation krävs luftning (syretillförsel) och för denitrifikation krävs ofta tillsats av kolkälla. Från processen uppstår ett överskottsslam som behöver tas om hand. Eftersom biologisk kväverening är en mycket vanligt förekommande metod, och har varit det länge, finns mycket forskning, kunskap och olika processdesigner. Uppstartstiden för biologisk rening är lång, men kan kortas ned om en existerande bakteriekultur används. Viss tidsåtgång kan förväntas för att kulturen ska anpassa sig till det aktuella vattnet och vid en allvarligare driftstörning där den mikrobiella kulturen tagit skada är även en viss ställtid att förvänta.

### Anammox

Förutom denitrifikation/nitrifikation finns även en grupp bakterier som kan utföra anammox (anaerob ammoniumoxidation). Vid anammox renas totalkväve utan den konventionella nitrifikation/denitrifikationsprocessen. Istället bildas kvävgas direkt från ammonium och nitrit. Processen lämpar sig väl för ammoniumrika avloppsvatten (Szatkowska 2007) och är en väletablerad process för temperaturer över 15 °C (Nsenga Kumwimba et al. 2020). Jämfört med den konventionella nitrifikation/denitrifikationsprocessen kräver anammox lägre syretillförsel samt mindre kolkälla, vilket sparar energi och minskar miljöpåverkan.

### Odling av mikroalger

Mikroalger kan användas för att rena vatten genom att näringsämnen binds in i biomassan vid tillväxt. Dock krävs en stor area för att tillräckligt med ljus ska nå alla delar av odlingen, och reningsgraden varierar under året som följd av årstiderna (Nordlander et al. 2017).

## 2.2.2 Fysiokemisk rening

### Adsorption och jonbyte

Adsorption är ett ytkemiskt fenomen och kan beskrivas som en process där lösta ämnen ackumuleras på en yta (Tchobanoglous et al. 2002; Hermassi et al. 2018). Adsorbenter har en viss kapacitet att adsorbera ämnen och när adsorbenten är mättad behöver den bytas ut eller regenereras. Det finns flera typer av adsorbenter med egenskaper som gör dem lämpade för olika typer av vatten, föroreningar och förutsättningar.

Jonbyte baseras på adsorptionsfenomenet och principen för jonbyte är att det oönskade ämnet, i joniserad form, byter plats med ett ämne med samma laddning på adsorbentens

yta, som i sin tur går i lösning som jon. Jonbytare adsorberar positiva joner (katjonbytare) eller negativa joner (anjonbytare) på specifika positioner på jonbytarens yta. Eftersom jonbytare adsorberar alla joner av respektive laddning kan närvaron av andra konkurrerande joner minska jonbytarens förmåga att adsorbera specifikt kvävejoner. Vid regenerering av jonbytare uppstår ett koncentrerat rejektvatten som behöver tas om hand på lämpligt vis.

### **Ammoniakstrippning**

Strippning av ammoniak från förorenat vatten är en mycket vanlig metod inom industrin. Vid strippning höjs pH-värdet i vattnet för att ammonium ska omvandlas till löst ammoniak, och tillsammans med en höjning av temperaturen drivs den lösta ammoniak till gasfas (Jermakka et al. 2015). Utsläpp direkt till omgivningen av den extraherade ammoniak kan vara problematisk ur miljösynpunkt. Processen kan därför kompletteras med ett adsorptionstorn där ammoniak fångas, vanligtvis med hjälp av svavelsyra. Reaktionen i adsorptionstornet bildar ammoniumsulfat vilket har ett ekonomiskt värde som växtnäring (Capodaglio et al. 2015).

Ur ett kostnadsperspektiv är ammoniakstrippning framför allt lämpligt för mindre volymer vatten med höga ammoniumkoncentrationer eftersom mycket kemikalier och energi krävs för processen. I det fall vattnet har lägre koncentrationer av kväve kan en uppkoncentrering göras som ett inledande processteg, exempelvis genom omvänd osmos eller jonbyte.

### **Membranfiltrering**

Vid membranfiltrering används ett membran genom vilket en vätska leds med hjälp av en tryckgradient. De oönskade ämnena passerar inte genom membranet, vilket leder till att de koncentreras på ena sidan i ett koncentrat. På andra sidan av membranet samlas den vätska och ämnen som passerat membranet vilket utgör den reade vätskan som kallas permeat. Det finns flera typer av membran vilka har olika porstorlekar och därmed är impermeabla för olika storlekar av ämnen, molekyler och joner. I minskande porstorlek, och därmed högre reningspotential, är mikrofilter, ultrafilter och nanofilter. Utöver dessa membran kan omvänd osmos eller osmos uppnås med semi-permeabla membran.

De största nackdelarna med membranfiltrering är den höga energiåtgång som krävs för att skapa tillräckligt tryck för att få vattnet att passera genom membranet. Ju mindre porstorlek, desto mer energi krävs för att skapa tillräcklig tryckgradient. Med tiden sker en igensättning av membranens porer. När porerna börjar sätta igen minskar flödet genom membranet, vilket innebär att ett högre transmembrant tryck måste appliceras för att upprätthålla samma vattenflöde genom membranerna. Backspolning och kemisk rengöring av membranet krävs därför oftast för att behålla membranens funktion över tid.

## **2.2.3 Elektrokemisk rening**

### **Oxidation, reduktion och avjonisering**

Elektrokemisk kväverening kan ske genom att nitrat och nitrit reduceras till ammonium vid den ena elektroden (katoden) och ammonium sedan oxideras till kvävgas vid den

andra elektroden (anoden) i en elektrokemisk cell. Elektrokemisk rening kan kombineras med exempelvis jonbytare för att öka effektiviteten av processerna. Denna typ av reaktor kan även kombineras med ammoniakstrippning vilket möjliggör återanvändning av ammoniumkväve från vattnet. Det är möjligt att uppnå hög reningsgrad, men en nackdel är hög el- och energikonsumtion. Vidare kan det utgående vattnet innehålla bland annat klorföreningar som behöver renas i ett efterföljande steg.

Under behandling med kapacitativ avjonisering (CDI) avlägsnas laddade ämnen från en lösning genom elektrisk potentialskillnad mellan ett par elektroder. Jonbytarmembran används för att separera vattenkanalen från katoden och anoden. Som ett resultat av denna behandlingsprocess genereras två olika strömmar: en utspädd ström (ren lösning) där jonerna avlägsnas, och en koncentrerad ström där jonerna släpps ut. En följd av dessa två steg representerar en cykel. I en satsvis process recirkuleras den utspädda lösningen genom matningsströmmen medan koncentratströmmen samlas upp separat som ett rejektivatten.

### **Bioelektrokemisk bränsle- och elektrolyscell**

En mikrobiell bränslecell är ett bioelektrokemiskt system i vilket kemisk energi omvandlas av bakterier till elektrisk energi. En variant av en mikrobiell bränslecell är användning av elektroner från anoden för att inducera en reduktion av nitrat vid katoden och således även rena kväve (Virdis et al. 2008).

En mikrobiell elektrolyscell är designad med två celler separerade av ett jonbytesmembran. En koncentrerad ammonium vid katoden kan uppnås genom processen av laddningsutjämning i lösningen (Barua et al. 2019). Mikrobiella bränsleceller har i huvudsak utvärderats på vatten innehållande organiskt material, och tekniken är främst studerad på liten skala.

## **2.2.4 Kemisk rening**

### **Utfällning**

Ett fåtal studier i kartläggningen innehöll beskrivningar av kemiska reningsmetoder. Ett par studier beskrev kemisk utfällning av kväve i form av struvit (magnesiumammoniumfosfat,  $MgNH_4PO_4$ ). För tillämpning på överskottsvatten är struvitutfällning mindre lämpligt eftersom vattnet inte innehåller fosfor eller magnesium, vilket skulle behöva tillsättas för att ge upphov till signifikant struvitutfällning. Vidare används struvitutfällning generellt för att återvinna fosfor och vanligtvis inte som en kväverensningsmetod.

### **Oxidation och denitrifikation**

Studier av kemisk oxidation med exempelvis väteperoxid för att rena kväve återfinns i kartläggningen, men i dessa studier används metoden främst för att förbättra nedbrytbarheten av lakvatten, medan kvävet i huvudsak renas med andra metoder, exempelvis med filtrering genom aktivt kol (Kurniawan & Lo 2009). Vid kemisk denitrifiering är det ett katalyserande ämne och/eller särskilda förhållanden som gör att reduktionen av nitrat till kvävgas sker och inte mikrobiologisk metabolism.

## 2.3 Utvalda tekniker att utvärdera i laboratorieförsöken

De mest intressanta teknikerna att gå vidare med till laboratoriestudien var enligt urvalsmodellen ammoniakstrippning, adsorption/ionbyte och elektrokemisk rening. Anledningen var att dessa metoder har kort uppstartstid och kan hantera varierande flöden samt varierande kvävehalter.

En revidering av valda tekniker gjordes dock innan laboratoriestudierna påbörjades. Anledningen var att tidigare analysrapporter av överskottsvatten från infrastrukturentreprenader visade att vattnet hade ett väsentligt lägre genomsnittligt kväveinnehåll än förväntat (se Tabell 2). Ammoniakstrippning uteslöts vid revideringen som en av de mest lovande teknikerna eftersom tekniken är mer lämpad för rening av vatten med högre kvävekoncentrationer. Projektet uppmärksammades även på att en grupp forskare på RISE hade en befintlig bakteriekultur anpassad för låga temperaturer som visat på goda resultat för kväverening av gruvvatten. Biologisk rening med denna köldtåliga bakteriekultur inkluderades därför istället i laboratorieförsöken. För adsorption/ionbyte gällde urvalet fastläggning av kväve i adsorptionsmassa vilken sedan bortskaffas i sin helhet. Det beslutades dock att inkludera regenerering av adsorptionsmassorna i laboratorieförsöken som ett separat steg i reningsprocessen.

De tre tekniker som slutligen valdes för utvärdering i laboratoriemiljö var således:

- Jonbyte med separata adsorptionsmassor för nitrat respektive ammonium
- Elektrokemisk rening med kapacitativ avjonisering
- Biologisk rening med nitrifikation och denitrifikation

## 3 Laboratorieförsök

Resultaten som presenteras i de kommande avsnitten är sammanfattningar av de tre laboratorieförsöken som genomföres inom projektet. Försöken är beskrivna i djupare detalj i projektets andra delrapport *Rening av näringsämnen i överskottsvatten från infrastrukturentreprenader – Laboratorieförsök* av Hübinette et al. (2022).

Jonbyte, biologisk rening och elektrokemisk rening valdes ut för laboratorieförsöken och tre olika laboratorier utförde försöken. För att ge en indikation om de utvalda teknikerna kunde uppnå tillräcklig rening användes en gräns på 8 mg totalkväve/L för vad utgående vatten från reningsprocessen får innehålla. Gränsen baseras på utsläppskrav för Ryaverket i Göteborg dit överskottsvattnet från projekt Västlänken leds i dagsläget.

### 3.1 Överskottsvattnets sammansättning

Överskottsvatten från Trafikverkets projekt Västlänken har analyserats vid flertalet tillfällen under 2019 och 2020. Ett urval av dessa analysresultat presenteras i Tabell 2 för att få en uppfattning om hur innehållet i överskottsvattnet kan variera. Dessa analyser, genomförda inom ramen av Trafikverkets egenkontroll, visade på en stor spridning gällande innehåll av såväl anjoner som katjoner, och denna variation gav också

en stor variation i halten av totalkväve, vilken varierade mellan 11-128 mg/L i vattnet. Projektet har inte delgetts information om när sprängningar har genomförts på byggarbetsplatsen.

Tabell 2: Historiska data för överskottsvatten från Västlänkenprojektet.

	NO <sub>3</sub> -N mg/L	NO <sub>2</sub> -N mg/L	SO <sub>4</sub> mg/L	Cl mg/L	NH <sub>4</sub> -N mg/L	Na mg/L	K mg/L
2019-12-11	74	25	81	29	29	82	49
2019-12-12	34	1	56	27	12	85	26
2019-12-12	53	8	63	40	34	69	36
2020-01-03	7	1	97	26	2,6	65	44
2020-02-10	35	2	400	38	12	77	100
2020-02-21	41	1	120	24	15	81	49
Medelvärde	40	6	136	31	17	76	50

Överskottsvattnet som användes i laboratorieförsöken var ett orenat stickprov hämtat från en tunnelarbetsplats, inom projekt Västlänken, där det har genomförts borrhings- och sprängningsarbeten. Detta överskottsvatten benämns i denna rapport som "Västlänksvatten". Analyserna av innehåll i Västlänksvattnet utfördes av respektive laboratorium och även om överskottsvattnet togs från samma plats gav respektive analys något varierande resultat (se Tabell 3).

Tabell 3: Analysresultat för Västlänksvattnet. "-" indikerar att parametern inte har analyserats av genomförande laboratorium.

	NO <sub>3</sub> -N mg/L	NO <sub>2</sub> -N mg/L	SO <sub>4</sub> mg/L	Cl mg/L	NH <sub>4</sub> -N mg/L	Na mg/L	K mg/L
Jonbyte	18	4	50	50	11	-	-
Elektrokemiska	26	-	59,6	51	8	46,4	26,2
Biologiska	14	3,6	-	-	11	-	-

## 3.2 Jonbytesförsök

Reningstekniken med jonbyte utvärderades genom att undersöka hur mycket kväve som kunde adsorberas per gram jonbytare (jonbytarens kapacitet). Försöken utfördes vid rumstemperatur (22 °C) och låg temperatur (5 °C). I försöken användes en syntetisk lösning med kvävehalter omkring 10 gånger högre än i Västlänksvattnet.

Resultatet från jonbytesförsöken tyder på att jonbytare kan rena vatten med ammonium och nitrat ner till kvävehalter under 2 mg N/L. Jonbytarens kapacitet vid låg temperatur var omkring 80 % av kapaciteten vid rumstemperatur. Resultatet hade troligtvis varit annorlunda om Västlänksvattnet använts istället för en syntetisk lösning. Detta i och med att Västlänksvattnet innehåller högre koncentrationer av andra joner som konkurrerar med kvävet om adsorptionsplatserna.

### 3.3 Elektrokemisk rening

Vid de elektrokemiska reningsförsöken utvärderades teknikens lämplighet genom att studera vattenåtervinning, energiförbrukning och antal behandlingscykler. Försöken utfördes vid 5 °C och 20 °C. Både syntetiska lösningar med olika kvävekoncentrationer och Västlänksvatten spetsat med kväve användes vid försöken. Under samtliga försök genomfördes det antal cykler som krävdes för att utgående koncentration skulle understiga 8 mg N/L.

Baserat på resultatet kunde elektrokemisk rening uppnå en tillräcklig reduktion av totalkväve efter 1-6 cykler, både för de syntetiska lösningarna och Västlänksvatten. Processens effektivitet för att reducera jonkoncentrationen påverkades inte av temperaturen inom intervallet 5 °C till 20 °C. I försöken med en lägre initial kvävekoncentration behövdes mindre ström, en kortare behandlingstid, och mer av vattnet kunde återanvändas. Jämförelsen mellan prestandan för den syntetiska lösningen och Västlänksvatten tyder på att matrisen hade en viss hämmande effekt på kvävereningen.

### 3.4 Biologisk rening

Till de biologiska försöken användes en köldtålig mikrobiell kultur som berikats under de senaste 2–3 åren. Försöken utfördes vid 5 °C och 10 °C. I försöken användes dels en syntetisk lösning med flertalet tillsatser, dels Västlänksvatten spetsat med kväve.

I försöken med den syntetiska lösningen kunde nitratkväve renas till mycket hög grad (>97 %) men med Västlänksvatten var reningsgraden betydligt mer varierad (26-94 %). Inget av försöken visade på betydande reduktion av ammoniumkväve. Vid höjning av temperaturen uppstod en initial, men ej ihållande, ökning av reningsgraden för nitratkväve och nitritkväve. Ingen anammox observerades, vilket inte heller var att förvänta vid temperaturer under 15 °C.

### 3.5 Teknikernas potential utifrån resultatet i laborieförsöken

Resultaten från laborieförsöken visar att det finns god potential för både jonbyte och CDI att rena kväve. Vid jonbyte och regenerering eller CDI sker dock ingen fullständig reduktion av kväve. Dessa metoder resulterar istället i ett kväverikt rejektivatten som behöver omhändertas. Med biologisk rening kan kväve reduceras fullständigt, men den biologiska reningstekniken bedöms inte vara aktuell som enskild metod för rening av överskottsvatten vid dessa låga temperaturer (<10 °C). Om fullständig rening inom byggarbetsplatsen önskas måste därför tekniker kombineras, exempelvis CDI följt av biologisk rening (vid högre temperatur så att både ammonium och nitrat renas, eller SBR med nitrifikation och denitrifikation).

## 4 Rekommendationer till fortsatt arbete

Genom litteraturstudien identifierades ett flertal tekniker som kan vara lämpliga för att behandla kväverikt överskottsvatten från anläggningsprojekt. Valet av tekniker för utvärdering i laboratoriemiljö baserades på ett antal krav och mervärden formulerade av projektgruppen. Om förutsättningar förändras eller andra önskemål för reningsteknikerna blir aktuella kan prioriteringen av urvalskriterier revideras och fler tekniker komma att vara relevanta. För att avgöra om det finns behov av att utvärdera ytterligare tekniker, samt bestämma vilken eller vilka tekniker i kombination som är lämpligast att utvärdera i pilotskala, krävs mer kunskap om vilken kravställning som är rimlig att förvänta från prövnings- eller tillsynsmyndigheternas sida, samt hur miljöambitionen ser ut från Trafikverkets håll. Hur viktigt exempelvis kostnad, platsbehov, reningsgrad och transportbehov för reningsteknikerna är, påverkar även i hög grad viktningen av olika teknikers fördelar och nackdelar. Framöver är det därför nödvändigt att identifiera detta för att kunna rekommendera en viss teknik för vidare studier.

För att kunna göra väl underbyggda val av tekniker för utvärdering i pilotskala krävs mer information om överskottsvattnets sammansättning och variation över tid. I synnerhet hur sprängcykler och andra byggaktiviteter påverkar vattnets karaktär och flöde. En påbörjan till denna typ av arbete har genomförts (Hallberg 2021), men vidare studier krävs för att få en större förståelse för olika typer av projekt och överskottsvatten. Ett sådant karakteriseringsprojekt kan utformas med dynamiska mätningar över tid för flera olika byggprojekt där sprängning förekommer.

I framtida studier bör helhetsperspektivet vara i fokus, både kopplat till förebyggande åtgärder som kan minska utsläppen av kväveföroreningar och hur tekniken för kväverening kan kopplas till övriga reningsprocesser av överskottsvattnet. Även en optimering av kvävereningstekniken med hänsyn till förhållanden på byggarbetsplatser är av stor vikt för att utveckla den mest lämpade behandlingstekniken för kväverikt överskottsvatten.



## Referenser

- Bångman, G., Forsstedt, S., Grudemo, S., Therése, O. & Sundqvist, B. (2018). *Samhällsekonomisk metod för att beakta transportsystemets påverkan på vatten. En förstudie.* (Regeringsuppdrag N2018/02189/TS)
- Barua, S., Zakaria B S, Chung T, Hai F I, Haile T, Al-Mamun A, & Dhar B R (2019). Microbial electrolysis followed by chemical precipitation for effective nutrients recovery from digested sludge centrate in WWTPs. *Chemical Engineering Journal*, 361, 256–265. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.12.067>
- Capodaglio, A., Hlavinek, P. & Raboni, M. (2015). Physico-chemical technologies for nitrogen removal from wastewaters: A review. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, Vol 10. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1618>
- Hallberg, M. (2021). Studiebesök Varbergstunneln – Pilotförsök reduktion av kväve i länsvatten från tunneldrivning. [Publicerad].
- Hamel, L. (2018). *Byggproduktionsvatten I Sverige.* (Ärende id: 6443). Göteborg: Trafikverket.
- Hermassi, M., Dosta J, Valderrama C, Licon E, Moreno N, Querol X, Batis N H, & Cortina J L (2018). Simultaneous ammonium and phosphate recovery and stabilization from urban sewage sludge anaerobic digestates using reactive sorbents. *Science of the Total Environment*, 630, 781–789. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.243>
- Hübinette, M., Ahlström, M., Flodin, E., Johannesdottir, S., Sundberg, P., Pawar, S. & del Pilar Castillo, M. (2022). *Rening av näringsämnen i överskottsvatten i infrastrukturentreprenader – Laboratorieförsök.* Trafikverket.
- Jermakka, J., Merta, E., Mroueh, U.-M., Arkkola, H., Eskonniemi, S., Wendling, L., Laine-Ylijoki, J., Sohlberg, E., Heinonen, H., Kaartinen, T., Puhakka, J., Peltola, M., Papirio, S., Lakaniemi, A.-M., Zou, G., Ylinen, A., Di Capua, F., Neitola, R., Gustafsson, H. & Mörsky, P. (2015). *Solutions for control of nitrogen discharges at mines and quarries.* <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3507.5043>
- Johannesdottir, S., Lundin, E., Ahlström, M., Sundberg, P. & Arnell, M. (2021). *Rening av näringsämnen i överskottsvatten i infrastrukturentreprenader - Litteraturstudie och urval*
- Kurniawan, T.A. & Lo, W. h (2009). Removal of refractory compounds from stabilized landfill leachate using an integrated H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oxidation and granular activated carbon (GAC) adsorption treatment. *Water Research*, 43 (16), 4079–4091. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.06.060>
- Nordlander, E., Olsson, J., Thorin, E. & Nehrenheim, E. (2017). Simulation of energy balance and carbon dioxide emission for microalgae introduction in wastewater treatment plants. *Algal Research*, 24, 251–260. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.03.026>
- Nsenga Kumwimba, M., Lotti, T., Şenel, E., Li, X. & Suanon, F. (2020). Anammox-based processes: How far have we come and what work remains? A review by bibliometric analysis. *Chemosphere*, 238, 124627. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124627>
- Pullin, A., Frampton, G., Livoreil, B. & Petrokofsky, G. (2018). *Guidelines and Standards for Evidence Synthesis in Environmental Management. Version 5.0.*
- SBUF (2007). *Rening av länsvatten vid schaktning i finkornigt material.* (Utvecklingsprojekt 11735)
- SBUF (2013). *Hantering av länsvatten i anläggningsprojekt. Användbar teknik och upphandlingsfrågor.* (Utvecklingsprojekt 12655)
- Szatkowska, B. (2007). *Performance and control of biofilm systems with partial nitrification and Anammox for supernatant treatment. Trita-LWR. PHD.*

- <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:12390/FULLTEXT01.pdf>  
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-4462>
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L. & Stensel, H.D. (2002). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th edition. Boston: McGraw-Hill Science/Engineering/Math.
- Vinnova Rapport VR 2013:09 (n.d.). *Förkommersiell upphandling - En handbok för att genomföra FoU-upphandlingar*. (Vinnova Rapport, Vinnova Rapport VR 2013:09)
- Virdis, B., Rabaey, K., Yuan, Z. & Keller, J. (2008). Microbial fuel cells for simultaneous carbon and nitrogen removal. *Water Research*, 42 (12), 3013–3024. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.03.017>

# Bilaga 1 Poängsättningsmodell

## Poängsättningsmodell urvalsprocess

Trafikverket saknar idag ett lämpligt sätt att hantera näringsrikt överskottsvatten från sina infrastrukturprojekt. Detta dokument är ämnat att bistå i urvalsprocessen av metoder för att behandla överskottsvatten innehållande höga halter kväve, kompulerade i en systematisk litteraturstudie. Målet är att välja ut de tre mest lovande metoderna utefter Trafikverkets behov och önskemål. Behandlingsmetoden ska kunna användas inom alla Trafikverkets framtida anläggningsprojekt som behöver behandla vatten med liknande (fysio)kemisk sammansättning men även kunna nyttjas av andra beställare/utförare av anläggningsprojekt.

### Skall-krav

Reningsmetoden skall:

- Minska halten icke-partikulärt totalkväve i avloppsvatten med lågt organiskt innehåll (förutsätter att det finns förbehandling som tar det partikulära innehållet).

### Bör-krav

Reningsmetoden bör (i prioriterade ordning):

1. Klara varierande flöden, samt varierande förhållanden i stort.
2. Fungerar för både låga och höga inkommande kvävehalter samt varierande halter.
3. Tar liten plats. Containerlösning är optimalt, upp till 100 kvadratmeter kan vara acceptabelt (ungefär 7 st 20-foots-containrar). *Att reningsmetoden tar liten plats är viktigt men det är också en planeringsfråga som bör tas upp i arbetsplatsdispositionen – prioritering bland andra krav. Trafikverket kan ta den yta som behövs i anspråk, men behövs göras från början i planerings- och kravställningsskedet.*
4. Ej producera oönskade biprodukter i större mängder. Exempelvis svavel, nitrit och N<sub>2</sub>O. *Om det inte framgår i studien ska denna inte ses som uppfyllt på grund av osäkerheten, dvs alla bör-krav kan inte uppfyllas för metoden.*
5. Fungerar även med kallt vatten, ska fungera i svenska förhållanden ner till 0 °C. *Denna aspekt står i relation till ytbehovet.*

### Mervärde

Reningsmetoden har ett mervärde om den:

1. Inte kräver hög energiåtgång. *Kopplar både till hållbarhet och kostnad*
2. Inte kräver en stora mängder tillsatskemikalier. *Kopplar både till hållbarhet och kostnad.*
3. Inte kräver en frekvent tillsyn och expertis för drift. *Ska antingen fungera utan tillsyn eller att kostnad för underentreprenör ingår.*
4. Är en mobil lösning.
5. Inte kräver lång uppstartsfas. *En rimlig uppstartsfas på några dagar förutsätts. Om man vet i planerings- och kravställningsfasen att uppstartsfasen är lång går det att planera därefter.*

# Urvalskriterier

## Hur väl metoden bemöter utmaningen

I. Hur väl metoder uppfyller Trafikverkets behov och de utmaningar som följer på en byggarbetsplats.	
Maxpoäng i denna kategori är 100	
20 poäng	Uppfyller SKALL-kravet och använder ej otillåtna kemikalier*
40 poäng	Uppfyller bör-krav 1 samt 2.
60 poäng	Uppfyller bör-krav 1, 2 och 3.
80 poäng	Uppfylla alla bör-krav (1-5)
100 poäng	Uppfylla alla bör-krav och ger minst 1 mervärde

\*REACH-klassade kemikalier

## Teknisk mognadsgrad

Teknisk mognadsgrad (Technology Readiness Level, TRL<sup>2</sup>):

*TRL 1 – basic principles observed*

*TRL 2 – technology concept formulated*

*TRL 3 – experimental proof of concept*

*TRL 4 – technology validated in lab*

*TRL 5 – technology validated in relevant environment*

*TRL 6 – technology demonstrated in relevant environment*

*TRL 7 – system prototype demonstration in operational environment*

*TRL 8 – system complete and qualified*

*TRL 9 – actual system proven in operational environment*

II. Teknisk mognadsgrad (TRL-nivå)	
Maxpoäng i denna kategori är 20	
4 poäng	TRL 4
8 poäng	TRL 5
12 poäng	TRL 6
16 poäng	TRL 7
20 poäng	TRL 8-9

<sup>2</sup> [https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014\\_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf)

## Tekniskt tillvägagångssätt (kopplar till projektets genomförbarhet)

Kriterier:

1. Metod för labbförsök finns beskrivet
2. Har bevisligen testats på vatten med låg kolhalt
3. Lätt tillgängliga material, resurser och utrustning
4. Väl etablerad teknik/metod
5. Har bevisligen testats på överskottsvatten

III. Finns tillräckligt med underlag, material och utrustning för att genomföra labbförsök?	
Maxpoäng i denna kategori är 30	
6 poäng	Uppfyller kriterium nr 1
12 poäng	Uppfyller kriterier nr 1 och 2
18 poäng	Uppfyller kriterier nr 1, 2 och 3
24 poäng	Uppfyller kriterier nr 1, 2, 3 och 4.
30 poäng	Uppfyller samtliga kriterier (1-5)