
Svenskt Vatten

UTVECKLING

Rapport

Nr 2021-5

Biologisk förbehandling på ledningsnätet

En förstudie av ett nytt koncept

Mark de Blois

Karolin Gunnarsson

Sebastian Engström

Svenskt Vatten

UTVECKLING

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området.

Författarna är ensamt ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten AB

POSTADRESS BOX 14057, 167 14 Bromma

BESÖKSADRESS Gustavslundsvägen 12, 167 51 Bromma

TELEFON 08-506 002 00

E-MAIL svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se

RAPPORTENS TITEL	Biologisk förbehandling på ledningsnätet. En förstudie av ett nytt koncept
TITLE OF THE REPORT	Biological pre-treatment in the sewer system. A pre-study of a new concept
FÖRFATTARE	Mark de Blois, Karolin Gunnarsson och Sebastian Engström, H2OLAND AB
RAPPORTNUMMER	2021-5
ANTAL SIDOR	76
SAMMANDRAG	Avloppsledningsnätet kan användas på annat sätt än för bara vattentransport. Biologisk förbehandling på ledningsnätet är en ny metod för att utnyttja ledningsvolymen för reduktion av organiskt material och kväve. Det centrala reningsverket avlastas samtidigt som uppkomsten av svavelväte förebyggs utan kemikalietillsats. Två praktikfall har beskrivits och kostnadsuppskattats. Metoden förväntas kunna ge besparingar för VA-organisationerna.
SUMMARY	Biological pre-treatment in the sewer is a new method for using the sewer volumes for BOD and nitrogen reduction while at the same time the formation of hydrogen sulphide can be prevented. Two potential full-scale plants are described, and costs and savings have been evaluated. The method is expected to generate savings depending on the local conditions.
SÖKORD	Biologisk förbehandling, ledningsnät, svavelväte, nitrifikation, denitrifikation, kalciumnitrat
KEYWORDS	Pre-treatment, sewer, hydrogen sulphide, nitrification, denitrification, calcium nitrate
MÅLGRUPPER	VA-organisationer
RAPPORT	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
UTGIVNINGÅR	2021
UTGIVARE	© Svenskt Vatten AB
REFERENS	de Blois M., Gunnarsson K. och Engström S. (2021). Biologisk förbehandling på ledningsnätet. En förstudie av ett nytt koncept. SVU-rapport 2021-5. Stockholm, Svenskt Vatten.

Om projektet

PROJEKTNUMMER	18-128
PROJEKTETS NAMN	Förbehandling på ledningsnätet – en förstudie
PROJEKTETS FINANSIERING	Svenskt Vatten Utveckling, H2OLAND AB

Förord

Redan för tio år sedan började jag fundera på om ledningsnätet kunde utnyttjas på annat sätt än enbart som transportvolym. Nitrat kan produceras i nedlagda reningsverk med t ex kompakt MBBR-teknik, och denitrifikation kan sedan ske i ledningsnätet på väg till det centrala reningsverket. BOD- och N-avskiljning sker då i ”gratis” volymer på ledningsnätet och det centrala reningsverket avlastas. Samtidigt minimeras svavelväteproduktionen och kalciumnitratdosering till ledningsnätet blir därmed överflödigt.

En av de första studier som H2OLAND genomförde inom detta ämne (2012) var för Tjörns kommun som då planerade föra över sitt avloppsvatten till Ryaverket i Göteborg. Det gamla reningsverket Ängholmen utreddes som biologisk delflödesbehandling för nitrifikation följt av denitrifikation i den långa överföringsledningen till Göteborg. Överföring blev dock inte av och projektet rann ut i sanden.

Olika VA-organisationer har genom åren haft intresse i konceptet. Västvatten bibehöll i flera år volymer i det nedlagda verket i Ljungkile med syfte att omvandla det till biologisk förbehandling men politiskt låg det inte rätt i tiden. Strömstad har, som den första anläggningen i Sverige, anpassat intaget på det centrala verket för en möjlig förbehandlingsanläggning. Idén var att det inkommande avloppsvattnet från den biologiska förbehandlingen skulle bräddas först. Förbehandlingsanläggningen var tänkt att ligga på Kosteröarna som dock aldrig överfördes.

Mera ingående förstudier gjordes i närtid för Uppsala Vatten och Tanums kommun. Studierna ingår i anpassad form i denna rapport. I Fjällbacka, Tanum, står det fortfarande och väger och här är tillståndsfrågan central. Betraktas en biologisk förbehandling som ett reningsverk eller bara en utökad pumpstation?

Projektet har genomförts av Karolin Gunnarsson, Sebastian Engström och under-tecknad, samtliga från H2OLAND AB. Vi tackar Hallvard Ødegaard (Professor emeritus NTNU, CEO SET AS) och bidragande VA-organisationer för de värdefulla synpunkter som lämnats på rapporten och för tid och engagemang. Ett särskilt tack utgår till Michael Viberg och Jesper Olsson (Tanums kommun respektive Uppsala Vatten) som gav oss förtroende att titta närmare på konceptet som är, så vitt vi vet, unikt i Norden och kanske till och med i världen.

Trevlig läsning!
H2OLAND AB
Mark de Blois

Innehåll

Förord.....	2
Sammanfattning.....	4
Summary	5
1 Inledning, mål och metod	6
2 Bakgrund	9
2.1 Svavelvätebildning.....	9
2.2 Nitrifikation.....	10
2.3 Denitrifikation.....	11
2.4 Förhållanden i ledningsnäten.....	11
2.5 Metoder för behandling av svavelväte på ledningsnätet	13
2.6 Nitratbehov på ledningsnätet.....	14
2.7 Litteraturstudie om förbehandling på ledningsnätet.....	14
3 Förväntade effekter av biologisk förbehandling.....	16
4 Förbehandlingsanläggning.....	19
4.1 Processutformning	20
4.2 Dimensionering	22
5 Bräddvattenrening	25
5.1 Utjämning.....	27
6 Tillstånd.....	29
7 Praktikfall.....	31
7.1 Fjällbacka ARV.....	31
7.2 Jälla ARV	40
8 Diskussion	46
9 Slutsatser	51
Referenser	52
Bilaga A Processbeskrivning Praktikfall.....	54
Bilaga B Kostnadskalkyler.....	63
Bilaga C Känslighetsanalys	73

Sammanfattning

Avloppsledningsnätet kan användas på annat sätt än för bara vattentransport. Biologisk förbehandling på ledningsnätet är en ny metod för att utnyttja ledningsvolymen för reduktion av organiskt material och kväve. Det centrala reningsverket avlastas samtidigt som uppkomsten av svavelväte förebyggs utan kemikalietillsats. Två praktikfall har beskrivits och kostnadsuppskattats. Metoden förväntas kunna ge besparingar för VA-organisationerna.

Reduktion av kväve i avloppsvatten sker i två steg, först genom nitrifikation då ammoniumkväve (NH_4^+) övergår till nitrat (NO_3^-), därefter genom denitrifikation då nitrat omvandlas till kvävgas (N_2).

Svavelväte (H_2S) är en illaluktande och hälsofarlig gas som bildas under de syrefria förhållanden som ofta råder i avloppsledningsnätet. En vanlig metod att förebygga svavelväte är att dosera kalciumnitrat till ledningsnätet. Det tillsatta nitraten gynnar bildningen av kvävgas framför svavelvätebildning. Men metoden innebär att nytt kväve tillförs vattnet, kväve som sedan behöver avlägsnas igen i ledningsnätet och eventuellt i reningsverket.

H2OLAND AB har utvecklat ett nytt koncept baserat på etablerad reningsteknik, en metod som kan vara ett alternativ till dosering av kalciumnitrat och som utnyttjar det kväve och det organiska material som redan finns i avloppsvattnet. Idén är att en anläggning på ledningsnätet – en pumpstation eller ett nedlagt reningsverk – används för att behandla ett delflöde av avloppsvattnet biologiskt och på så sätt producera eget nitrat av avloppsvattnets ammoniumkväve. MBBR-tekniken (bioreaktor med rörliga biofilmbärare) bedöms som lämpligast för den nitrifierande förbehandlingen. Ledningsnätet utnyttjas sedan som en processvolym där nitrat omvandlas till kvävgas, och där kvävereduktion således sker redan innan vattnet kommer fram till det centrala reningsverket.

Biologisk förbehandling på ledningsnätet kan alltså utnyttjas för produktion av nitrat med två målsättningar, dels för att förebygga svavelvätebildning i stället för att dosera kalciumnitrat, dels för att minska belastningen på det centrala reningsverket genom att denitrifikation möjliggörs på det efterföljande ledningsnätet. Ledningsnätet utnyttjas därmed även som processreaktor och inte bara som transportvolym.

Två praktikfall har studerats: Fjällbacka i Tanums kommun och Jälla i Uppsala kommun. Kostnadsanalyser har gjorts för att undersöka hur stor investering som skulle kunna göras för att bygga om och anpassa en anläggning till förbehandling, med tanke på de besparingar som görs i form av utebliven dosering av kalciumnitrat och minskat investeringsbehov i kväverening på det centrala reningsverket. Förstudien visar att det även i små anläggningar (<2000 pe) går att tillverka tillräckligt med nitrat för att förhindra uppkomst av svavelväte. Anläggningen ska vara rätt placerad med en tillräckligt hög inkommande kvävebelastning för nitratproduktion, och nedströms med tillräckligt tillförsel av nytt organiskt material som kan fungera som kolkälla för denitrifikationen.

Summary

Biological pre-treatment can be used for the following purposes:

1. Production of nitrate to prevent formation of hydrogen sulphide instead of dosing calcium nitrate.
2. Production of nitrate to enable denitrification on the following sewer system. The sewer is then used as a process reactor for denitrification instead of only as a transport volume and it will hereby decrease the loads to the central wastewater treatment plant.

Normally both purposes are combined in application of biological pre-treatment.

Hydrogen sulphide (H_2S) is an odorous and toxic gas that forms in the anaerobic environment that often prevail in the wastewater sewer systems. A common method to prevent hydrogen sulphide is to add calcium nitrate to the water. The added nitrate (NO_3-N) gives anoxic conditions and enable denitrification to take place and form nitrogen instead of hydrogen sulphide. The method means that nitrogen is added to the water and needs to be removed again preferably in the sewer or, in case of overdosing, in the wastewater treatment plant (WWTP).

H2OLAND AB has developed a new method based on established treatment techniques that can be an alternative to the dosing of calcium nitrate by utilizing the existing nitrogen and organic material in the wastewater. The idea is that a treatment volume connected to the sewer system, a pumping station or an old treatment plant, is used to produce nitrate through nitrification. The MBBR-technique will normally be used for the nitrifying pre-treatment. The sewers are then utilized as a process reactor for denitrification where nitrogen and BOD are reduced before the water reaches the central treatment plant.

A literature study has been conducted that has shown that denitrification of a nitrate-rich water in pressure sewers resulted in the prevention of hydrogen sulfide. Denitrification rates were measured to 10 g/m³ sewer volume or 2,5 g/m² sewer surface. Biological pre-treatment can thus be an effective method for preventing hydrogen sulphide while reducing nitrogen.

Two case-studies, Fjällbacka and Jälla, has been assessed and cost analysis has been made to evaluate if it is cost-effective to invest in rebuilding an existing plant into a nitrifying pre-treatment in comparison with the situation at which calcium nitrate is dosed.

The nitrate production in the pre-treatment should correspond to the nitrate that would have been needed in form of calcium nitrate dosing to prevent hydrogen sulphide. To get a favourable cost analysis for the biological pre-treatment, the reduction of nitrogen through denitrification in the sewer needs to be high enough so that there is a notable saving in treatment costs for nitrogen removal at the central WWTP. The case studies also show that small plants around 2 000 pe can be big enough for producing sufficient nitrate to prevent formation of hydrogen sulphide. To get the most out of the pre-treatment plant it needs to be strategically placed with an appropriate incoming load for nitrate production and a sewer system downstream which is big enough, regarding to the available carbon and residence time, for complete denitrification of the produced nitrate.

Biological pre-treatment and denitrification in the sewer contribute to the use of wastewater as a resource and reduce the consumption of chemicals. The expectation is that the method can give positive effects that can be beneficial for VA-organisations nationwide in Sweden.

1 Inledning, mål och metod

Inom många VA-organisationer sker centralisering av avloppsreningen. När belastningen till reningsverken ökar skärps kraven på utsläppen. I de fall som reningsverk passerar gränsen för att omfattas av kvävekrav ($\geq 10\ 000$ pe) krävs ny teknik och ofta nya volymer vilket medför stora investeringar. I samband med miljökvalitetsnormerna kan utsläppskraven ibland bli oerhört stränga, även för mindre reningsverk. När mindre reningsverk läggs ned och överförs till större reningsverk resulterar det ofta i långa trycksatta överföringsledningar. Nedbrytningen av organiskt material påbörjas redan i ledningarna där syresättningen är begränsad vilket resulterar i uppkomst av vätesulfid, även kallad svavelväte. Den illaluktande gasen är toxisk och kan ge allvarliga hälsoeffekter vid exponering av höga koncentrationer. Svavelväte på ledningsnätet blir således en arbetsmiljörisk och kan även vara orsak till klagomål från allmänheten på grund av lukten. Dessutom orsakar svavelväte betongkorrosion vilket ger stora skador på ledningar och brunnar.

För att förhindra uppkomst av svavelväte doseras vanligen kalciumnitrat som är en relativt dyr kemikalie som kan innebära en stor utgift för en VA-organisation. Detta skapar anoxiska förhållanden vilket gynnar denitrifikation till skillnad från anaeroba förhållanden som gynnar svavelvätebildning. Genom dosering av kalciumnitrat tillsätts kväve i form av $\text{NO}_3\text{-N}$ som omvandlas till kvävgas under förbrukning av kolkälla (uppmätt som BOD eller COD). Paradoxalt nog så tillsätts alltså kväve på ledningsnätet som, om det inte förbrukas helt, sedan behöver tas bort i reningsverket.

H2OLAND har utarbetat ett koncept baserat på befintlig teknik som syftar till att VA-organisationerna ska producera sitt eget nitrat från det kväve som finns i spillvattnet och på så sätt förhindra uppkomsten av svavelväte. Genom att utnyttja en anläggning på ledningsnätet t ex en pumpstation eller ett nedlagt reningsverk kan biologisk rening tillämpas för nitrifikation som sedan möjliggör denitrifikation på ledningsnätet. På så sätt kan behovet av kalciumnitrat ersättas. Som en effekt av förbehandlingen kommer den inkommande belastningen av kväve och BOD₇ till det centrala reningsverket att minska. Ledningsnätet utnyttjas därmed inte bara som en transportvolym men även som en processreaktor för denitrifikation.

En förbehandlingsanläggning kan även kompletteras med utjämning och utnyttjas för bräddvattenrening vilket ger en minskad belastning på recipienter genom minskade bräddflöden och ett delvis renat vatten. I och med ökad medvetenhet om klimatförändringarna och de extremvädersistuationer som förutspås bli allt vanligare ökar kraven på VA-organisationerna att kunna hantera vatten från kraftiga skyfall. Kraftiga regnväder orsakar inte sällan direkta flödestoppar in till reningsverken på grund av högt inläckage till avloppsnätet.

Mängden ovidkommande vatten på ledningsnäten ligger ofta över 50 % av det totala inkommande flödet till reningsverken. Tillsynsmyndigheterna ställer krav på VA-organisationerna att minska bräddningarna och sanering av ledningsnäten är ett kostsamt och omfattande arbete som pågår löpande. I många VA-organisationer är det ett arbete som tar många år att åtgärda.

Denna förstudie syftar till att beskriva och undersöka potentialen av biologisk förbehandling av avloppsvatten. Vidare beskrivs hur förbehandlingsanläggningar även kan fungera som utjämningsmagasin och bräddvattenrening på ledningsnätet. Det kan fungera som komplement till sanering av ledningsnäten (minska inläckage av ovidkommande vatten) för att minska utsläppen till recipient. Något som är aktuellt när bl a miljökvalitetsnormer i recipienten ställer höga krav på att minska utsläppen från reningsverken.

Mål

I förstudien belyses och utvärderas ett, inom svensk avloppsvattenhantering, nytt sätt att betrakta de ledningar som transporterar spillvatten. Det finns en outnyttjad potential i ledningsnätet som förstudien syftar till att undersöka nyttan av. Förhoppning är att tillämpningen i framtiden kan komma till gagn för Sveriges VA-organisationer. Förstudiens problemställningar och mål specificeras nedan.

- Beskriva de pågående processerna i ledningsnätet, med och utan förbehandling.
- Beskriva processutformning av olika typer av nitrifierande förbehandlingsanläggningar och dess för- och nackdelar.
- Beskriva de förväntade resultaten av en förbehandling och dess för- och nackdelar (vad gäller BOD7-, totalkväve- och svavelvätereduktion på ledningsnätet).
- Beskriva hur en förbehandlingsanläggning kan användas som bräddvattenrening för att minska eventuell påverkan på recipienten.
- Dimensionera och kostnadsberäkna en förbehandlingsanläggning för två praktikfall som baseras på lämpliga objekt i deltagande organisationernas upptagningsområde.

Avgränsningar

Ett mål med projektet var i ursprungsskedet att utreda hur en biologisk förbehandling betraktas ur ett tillståndsperspektiv. I samråd med Länsstyrelsen och Naturvårdsverket ville vi ta reda på om anläggningen skulle kräva ett separat tillstånd eller bara en anmälan. Länsstyrelsen vill och kan dock inte föregripa en prövning. I kapitel 6 finns därför endast en översiktlig genomgång av lagtext och ett resonemang kring möjlig tolkning vid en tillståndsansökan av en föreslagen biologisk förbehandlingsanläggning.

Metod

Alla moment beskrivna under mål har genomförts genom litteraturstudier, och beskrivning samt dimensionering med hjälp av egen kunskap/erfarenhet. Driftkostnads- och break-even investeringsberäkningar har gjorts av H2OLAND medan Sweco Enviroment (Bengt Mattsson) har uppskattat investeringar för exemplen med fullskalanläggningar. Ett relativt färdigt utkast av rapporten har skickats till några VA-organisationer för synpunkter. Dessa synpunkter bearbetades sedan. VA-organisationerna är:

- Strömstads kommun: Jerry Johansson (VA-chef) & Jan Simonsson (VA-Tekniker)
- Tanums kommun: Karin Görfelt (VA-Ingenjör) & Michael Viberg (driftchef)
- Västvatten: Annmarie Erlandsson (driftchef)
- Orust kommun: Björn Martinsson (chef affärsdrivande verksamhet) & Tony Karlsson (driftledare)
- Trollhättan Energi: Per Rundahl (processingenjör)
- Ale kommun, Gunnel Borgström (VA-chef)
- Uppsala Vatten: Anna Maria Sundin (utvecklingsingenjör) & Johanna Andersson (utredningsingenjör)
- Chalmers Tekniska Högskola: Britt-Marie Wilén (professor)

Av alla tillskrivna fick vi kommentarer från Uppsala Vatten och Tanums kommun. Med samtliga organisationer har biologisk förbehandling diskuterats i projektform under tidigare år och resultaten/synpunkter från dessa diskussioner har tagits i beaktande vid upprättande av denna rapport.

Till slut fick även referensgruppen rapporten. Referensgruppen bestod av:

- Hallvard Ødegaard, Professor emeritus NTNU, CEO SET AS
- Alexander Keucken, Teknisk utvecklingschef, VIVAB

Hallvard lämnade många detaljerade, värdefulla kommentarer inte bara direkt i dokumentet utan även i ett separat notat (Ødegaard, 2020).

En litteraturstudie har genomförts för att sammanfatta de processer som ligger till grund för den biologiska behandlingen i en förbehandlingsanläggning och för att få en bakgrund till de processer som sker i ledningsnätet och vilka faktorer som påverkar dem. Två anläggningar som lämpar sig för förbehandling har valts ut som praktikfall. Fjällbacka avloppsreningsverk (ARV) i Tanums kommun som ska läggas ned och föras över till Bodalens ARV samt Jälla ARV utanför Uppsala som redan är nedlagt. Möjlig tillämpning av förbehandling i dessa två anläggningar beskrivs och kostnadsuppskattas för att utreda om det är ekonomiskt lönsamt att investera i att anpassa dem till förbehandling.

För att dimensionera och kostnadsberäkna en förbehandlingsanläggning för två praktikfall som baseras på lämpliga objekt i de deltagande organisationernas upptagningsområde beräknas den minskade inkommande belastningen och det minskade behovet av större volymer på reningsverket. Drifts- och investeringskostnader tas fram och jämförs med och utan förbehandling.

2 Bakgrund

2.1 Svavelvätebildning

Luktproblem med anledning av svavelvätebildning är ett bekymmer inom många VA-organisationer. Långa överföringsledningar och relativt låga flöden är vanliga förutsättningar för svavelvätebildning. Mikroorganismer i ledningsnätet behöver energi för att upprätta livsnödvändiga funktioner och för att producera ny biomassa. Som energi används i första hand lättnedbrytbara kolkällor. För att bryta ned kolkällan använder sig processen i första hand av löst syre om det finns tillgängligt i vattnet (aeroba förhållanden). Mikroorganismerna använder då syret som elektronacceptor i sin respirationsprocess genom vilken de utvinner energi. Om halten löst syre är låg råder anoxiska förhållanden och syret bundet i nitrat (NO_3^-) används istället. Om även nitrat saknas råder anaeroba förhållanden och syret bundet i sulfat (SO_4^{2-}) används vilket ger upphov till svavelväte.

När avloppsvatten transporteras långa sträckor bildas en anaerob miljö, det vill säga att syrehalten är mycket låg. Nitrat finns sällan i höga halter i avloppsvatten varför sulfat kommer att vara elektronacceptorn i respirationsprocessen. I vilken ordning mikroorganismerna väljer elektronacceptor bestäms av redoxpotentialen för respektive mikrobiologisk process. Ju mer energi som bildas av processen desto mer är den att föredra varför aeroba processer sker före anoxiska som i sin tur sker före anaeroba.

Andra faktorer som påverkar mikrobiologiska processer och resultaten av dessa är pH och temperatur. pH påverkar fördelningen av jonerna i lösningen. Temperatur påverkar i vilken hastighet reaktionerna sker. Själva ledningsnätets utformning och vattnets flöde påverkar också de mikrobiologiska processerna i ledningsnätet.

Eftersom tillväxthastigheten hos sulfatreducerande bakterier är långsam förekommer de framförallt i biofilm och sediment dit sulfat kan diffundera (Hvitved-Jacobsen, 2002). En begränsande faktor för svavelvätebildningen är tillgången på organiskt nedbrytbart material. Därför kan vatten med högt innehåll av organiskt nedbrytbart material t ex vatten från livsmedelsindustri orsaka en högre svavelvätebildning. Andelen svavelväte av den totala sulfidmängden ökar med sjunkande pH-värde (Ledskog, Larsson och Lindqvist 1994).

Vätesulfid bildas av sulfatreducerande bakterier, framförallt av *Desulfovibrio* och *Desulfotomaculum*. Sulfatreducerande bakterier existerar framförallt mellan pH 5,5 och 9 (Hvitved-Jacobsen, 2002).

Faktorer som påverkar hastigheten av sulfidproduktion under anaeroba förhållanden är

- Sulfatkoncentration
- koncentration av (löst) organiskt material som kolkälla
- hydrauliska förhållanden i ledningsnätet
- temperaturen på spillvattnet

Svavelvätebildning i ledningen under anaeroba förhållanden kan beräknas genom ekvation 1 och 2 (om inte syre eller nitrat finns a).

$$\Delta S = r_a \times (A/V) \times t \quad (1)$$

$$r_a = k \times (COD_s - 50)^{0,5} \times 1,07^{(T-20)} \quad (2)$$

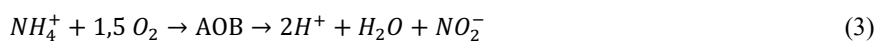
ΔS	g/m^3 (mg/l)	ökning av svavelvätehalten i ledningsnätet
r_a	$\text{g/m}^2 \cdot \text{h}$	
A/V	l/m	invändig röryta/rörvolym (= 4/ D (invändig diameter ledning))
t	h	uppehållstid
COD_s	g/m^3 (mg/l)	löst COD-halt
T	grad Celsius	temperatur
k	konstant	0,0015 om endast hushållspillvatten transporteras

(Bäckström et al. 2010)

2.2 Nitrifikation

Nitrifikation är den biologiska process där mikroorganismer omvandlar ammonium (NH_4^+) till nitrat (NO_3^-), en reaktion som förbrukar syre. Reaktionen sker i två steg där ammoniumoxidation till nitrit sker först följt av nitritoxidation till nitrat, se ekvation 3-4.

Bakterierna som huvudsakligen är aktiva i nitrifikationen samlas under namnen Ammonia Oxidizing Bacteria (AOB) och Nitrite Oxidizing Bacteria (NOB) (Svenskt Vatten 2007).



Totalreaktionen blir som i ekvation 5.



Teoretiskt förbrukas 4,57 mg O_2 per mg NH_4^+-N . Nitrifikation sänker alkaliniteten med 8,67 mg HCO_3^- för varje mg NH_4^+-N som oxideras.

Faktorer som påverkar nitrifikationen är:

- Ammoniumkoncentration
- Näringsämnen
- Giftiga ämnen
- pH
- Temperatur
- Löst syre
- Belastning av organiskt material

Bakteriestammarna är autotrofa och kräver specifika förutsättningar för att föröka sig. Jämfört med heterotrofa bakterier, som utnyttjar oxidation av organiskt kol, använder sig autotrofa bakterier av oorganiskt kol och reproducerar sig därför mycket långsamt. Ökad temperatur, syrehalt och/eller ammoniumkoncentration påverkar de nitrifierande bakteriernas tillväxthastighet positivt. För optimala förhållanden ska pH ligga omkring 7,5-8,5. Bakteriestammarnas reproduktion är känslig för vissa metaller och organiska ämnen (Cheremisinoff 1996. Svenskt vatten 2007).

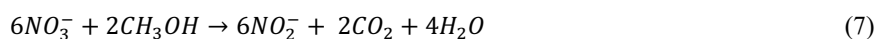
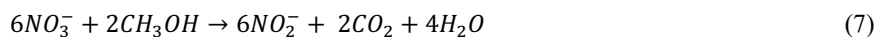
Eftersom de nitrifierande bakteriestammarna växer långsamt kan de inte konkurrera med de heterotrofa bakteriestammarna om lättnedbrytbart kol finns tillgängligt i en aerob miljö. I aktivslamsystem betyder det att det krävs en hög slamålder för att de nitrifierande bakteriestammarna ska hinna tillväxa tillräckligt. Blir belastningen av kol i ett aktivslamsystem hög finns risk för att slamproduktionen ökar så mycket att en hög slamålder inte kan upprätthållas. I ett biofilmssystem är nitrifierande bakteriestammar inte lika känsliga då det inte finns någon risk för att de spolas ut eftersom de växer på ett fast material som hålls kvar i reaktorn. Vid en hög kolbelastning försämras dock nitrifikationskapaciteten då de nitrifierande bakteriestammarna blir utkonkurrerade av heterotrofa bakteriestammar som tillväxer i högre takt.

2.3 Denitrifikation

Denitrifikation är den biologiska process där nitrat omvandlas till kvävgas, N_2 . Denitrifikation sker stegvis enligt ekvation 6 där några av ämnena vid normala förhållanden endast är kortlivade mellanprodukter.



Denitrifikationen sker i två huvudsakliga steg, ekvation 7-8 (exempel metanol).



Denitrifikationsreaktionen avlägsnar vätejoner vilket höjer alkaliniteten med 4,4 mg HCO_3^- per mg NO_3^- -N som omvandlas till N_2 .

Det är i huvudsak fakultativt anaeroba bakterier som i brist på syre använder nitrat som elektronacceptor i denitrifikationen. Om löst syre finns närvarande i koncentrationer högre än ca 0,5 mg/l kommer denitrifierarna att använda det istället för nitrat eftersom syre har en högre redoxpotential och därmed genererar mer energi till mikroorganismen (Cheremisinoff 1996). Förutom en syrefri miljö krävs även tillgång till organiskt material. Denitrifikation kan ske med det organiska material som förekommer i spillvattnet men med en tillsatt kolkälla, vanligtvis metanol eller etanol, kan högre denitrifikationshastigheter uppnås. Vid 15°C kan reaktionshastigheten bli 5 gånger högre än med kolkälla från avloppsvattnet. Även högre temperatur har stor påverkan på denitrifikationshastigheten (Svenskt Vatten 2007).

Flera faktorer påverkar denitrifikationen:

- Nitratkoncentration
- koncentration av (löst) organiskt material som kolkälla
- pH
- Temperatur
- Löst syre

2.4 Förhållanden i ledningsnäten

I ledningarna sker processer som förändrar sammansättningen på det spillvatten som transporteras i dem. Vilka processer som sker beror på vilka förhållanden som råder i ledningarna. Normalt råder aeroba eller anaeroba förhållanden. Om nitrat förekommer

så är förhållandet anoxiskt. Vid uppkomst av svavelväte råder strikt anaerob miljö där löst syre och nitrat inte finns tillgängligt. Under anaeroba förhållanden sker även fermentation som utöver svavelväte är en betydande källa till illaluktande gaser. Även lättflyktiga organiska ämnen orsakar illaluktande gaser. Fermentation och lättflyktiga organiska ämnen beskrivs inte i denna rapport. Svavelväte är vanligast förekommande i tryckledningar men finns även i självfallsledningar där flödes hastigheterna är låga och luftningen otillräcklig (Mathiodakis, 2005).

Ledningarna domineras av heterotrofa mikroorganismer som genom redox-reaktioner förändrar sammansättningen av de ingående ämnena i vattnet. Redoxförhållanden i ledningsnäten är mycket viktiga för utvecklingen av det mikrobiella samhället och påverkar därmed processerna som sker. Både elektrondonatorerna och elektronacceptorerna förändrar egenskaperna i miljön i ledningsnätet. Formationen av vätesulfid från sulfat är ett tydligt exempel på en sådan förändring. (SO_4^{2-} blir H_2S).

Faktorer som påverkar processerna i ledningsnätet är:

- Biologisk nedbrytbarhet av det organiska materialet i vattnet
- Mängden aktiv biomassa
- pH
- Temperatur

Inkommande vatten till reningsverken och bräddat vatten på ledningsnätet påverkas således av vilka förhållanden som råder i ledningarna. Även miljön kring pumpstationer och avluftningar påverkas vid bildning av illaluktande gaser.

Processerna i ledningarna sker i någon eller några av följande faser; bulkvattnet, biofilmen, sedimentet, atmosfären i ledningarna eller väggarna i ledningarna. Aktiv biomassa förekommer till stor del på väggarna i ledningsnätet som biofilm men kan även finnas på ytan av sedimentet och i bulkvattnet. Tjockleken på biofilmen på ledningsnätets väggar påverkas av framförallt av tillväxthastigheten hos bakterierna och flödet. En hög bakterietillväxt ökar tjockleken på biofilmen medan ökat flöde orsakar stress hos bakterierna vilket minskar tillväxthastigheten och kan påverka tjockleken. Det är en förenklad beskrivning och påverkan på biofilmens tjocklek är i realiteten mer komplex.

Biofilmens egenskaper skiljer sig mellan självfalls- och tryckledningar. I självfallsledningar är hastigheterna normalt lägre och biomassan blir några mm tjock och har en ojämn, lite fluffig yta. Ytan på biofilmen är därmed högre än den beräknade innerytan av ledningen. Däremot kan en tjock biofilm bli mindre aktiv och till stor del bestå av icke aktiva avsättningar. I tryckledningar där hastigheterna normalt är högre är biofilmen endast några hundra μm och ytan är mer slät. Vid flöden över ca 0,8 m/s reduceras tjockleken på biofilmen betydligt (Hvitved-Jacobsen, 2002).

På ytan av biofilmen, där den är i kontakt med vatten, förbrukas syre under oxidation. I den djupare biofilmen dit syre inte diffunderar reduceras först nitrat till kvävgas och om nitrat inte finns reduceras organiska svavelföreningar och sulfat till svavelväte. Om vattnet inte innehåller något löst syre eller nitrat bildas sulfid även i ytskikten av biofilmen (Ledskog, Larsson och Lindqvist 1994).

Svavelväte orsakar även korrosion av betong i ledningar och pumpstationer. Korrosion sker endast ovan vattenytan och tryckavloppsledningar som ofta är fyllda utsätts inte. Vid aeroba förhållanden i gasfasen ovan vattnet blir även biofilmen på ledningsväggarna aerob. När svavelväte som bildats under anaeroba förhållanden i vattnet diffunderar upp till gasfasen oxideras den i biofilmen på ledningarnas väggar till svavelsyra vilket orsakar korrosion. Ett par mg svavelväte per liter kan ge betydande skador på betongledningar. Även metallkorrosion skapar problem i framförallt pumpstationer och inloppen på reningsverken. (Ledskog, Larsson och Lindqvist 1994).

2.5 Metoder för behandling av svavelväte på ledningsnätet

Genom att tillämpa kunskaper om de biologiska och kemiska processerna i ledningsnätet redan i projekteringsstadiet av nya ledningar och pumpstationer kan uppkomsten av svavelväte förebyggas.

Några åtgärder som kan tillämpas är:

- minskad dimensionering på ledningen
- kortare uppehållstider
- luftning på brunnar närmast tryckledningar
- val av icke korrosionskänsligt material exempelvis plast
- övergång från tryckledning till självfall bör anläggas på platser där allmänheten inte vistas och eventuella luktproblem inte orsakar störningar
- förbereda för åtgärder såsom pigging* eller dosering av kalciumnitrat
- utforma pumpgrop och ledningar så att minsta möjliga turbulens uppstår

Åtgärderna kan delas upp i de åtgärder som förebygger uppkomsten av svavelväte och de åtgärder som minskar konsekvenserna av svavelväte då det bildats. Förebyggande åtgärder kan vara minskad dimensionering och kortare uppehållstider i ledningarna, pigging och dosering av kalciumnitrat.

Pigging innebär att ledningen rensas från beläggningar och på så avlägsnas biomassa där produktion av svavelväte sker.

Åtgärder som hanterar konsekvenserna av svavelväte kan vara val av plastmaterial i ledningarna, luftning i pumpstationer, minskad turbulens och avskild placering av pumpstationer.

Vid dimensionering av ledningar finns möjlighet att sträva efter att minska förutsättningarna för uppkomst av svavelväteproduktion såsom minskad ledningsdimension för att korta ned uppehållstiden i självfallsledningar. Det är dock fler faktorer som påverkar dimensioneringen av ledningarna. Ledningsnätet ska klara kraftiga skyfall utan för stora bräddningar vilket gör att dimensionen är för stor under stora delar av året när normala flöden förekommer. Ledningarna måste även dimensioneras med kapacitet för framtiden vilket kan innebära att uppehållstiden initialt blir lång innan nyanslutningar har kopplats på.

På befintliga ledningsnätet där problem med svavelväte finns är det vanligt att tillämpa dosering av kalciumnitrat. Salterna i kalciumnitratet löses upp och nitrat blir tillgängligt som elektronacceptor i avloppsvattnet. Genom att tillföra nitrat så finns det en elektronacceptor med högre redoxpotential än sulfat vilket innebär att denitrifikation sker och omvandlar nitrat till kvävgas istället för att sulfat reduceras till svavelväte.

Behandling av svavelväte genom dosering av kalciumnitrat är en väl beprövad metod som haft goda resultat. Historiskt har det funnits problematik med att doseringen inte har varit kontrollerad vilket kunde öka inkommande kväve till reningsverken. Med kontrollerad dosering av kalciumnitrat som tar hänsyn till flöde, uppehållstid, temperatur och koncentration av H₂S kan effektiv minskning av svavelväte erhållas (Bentzen et al. 1995).

Kvävgasen som bildas vid denitrifikationen vid kalciumnitratdosering kan orsaka gasblåsor vilket kan ha negativa konsekvenser i t ex sjöledningar som riskerar flyta upp. Dosering av nitrat före sådana ledningar ska därför göras med försiktighet (Ledskog, Larsson och Lindqvist 1994). Det finns exempel på kommuner som de senaste åren angett att de har problem med gasbildning i ledningsnätet och därför fått minska eller till och med avsluta doseringen av kalciumnitrat i vissa pumpstationer.

2.6 Nitratbehov på ledningsnätet

Genom kontrollerad dosering av kalciumnitrat på ledningsnätet så kan behovet av nitrat tillgodoses så att svavelvätebildning undviks. En utav de vanliga kalciumnitratlösningarna, innehåller 55 % kalciumnitrat och dess densitet är 1,44 kg/l. Det ger en NO₃-N mängd om 0,11 kg per liter.

Enligt Ledskog, Larsson och Lindqvist (1994) kan kalciumnitrat doseras enligt nedanstående bestämmelse:

5-8 ml kalciumnitrat per m³ avloppsvatten och timmes uppehållstid. Detta är samma som 5-8 ml kalciumnitrat per timme och m³ ledningsnät.

Under följande förhållanden rekommenderas en dubbelt så hög dosering (10-16 ml/m³. h):

- Upphållstider över 24 timmar
- Vid extremt höga BOD-halter, t.ex. industriellt avloppsvatten
- Vattentemperaturer runt 20°C

När den erforderliga doseringen av kalciumnitrat har beräknats kan mängden nitrat-N som det motsvarar beräknas eftersom en liter motsvarar 0,11 kg NO₃-N.

En dosering om 120 ml kalciumnitrat per m³ ledningsvolym per dag (5 ml kalciumnitrat per timme och m³ ledningsnät) motsvarar en denitrifikationshastighet om 13 g NO₃-N/m³ledningsnät·d. Om slamhalten i ledningsnätet vore 0,5 kg/m³ (500 mg/l) innebär detta en denitrifikationshastighet om 0,026 kg NO₃-N/kgslam·d vilket är en vanlig denitrifikationshastighet i aktivslamsystem (vid 10 oC). Vidare bidrar ledningsnätet med biofilm där hastigheter omkring 0,3–0,5 g NO₃-N/m²biofilmyta·d vid 10oC kan uppnås. T ex skulle en m³ ledning där ledningen har en diameter om 0,4 m ge en denitrifikation om ca 4 g NO₃-N/d genom biofilmen. En ledning med hälften av diametern (0,2 m) skulle erbjuda dubbelt så mycket biofilmsyta (per m³ ledningsvolym) vilket ger en beräknad denitrifikation om 8 g NO₃-N/d.

2.7 Litteraturstudie om förbehandling på ledningsnätet

De flesta studier som har gjorts på att förbehandla vattnet på ledningsnätet för att använda ledningsnätet för önskvärda reaktioner har syftat till att minska det organiska materialet in till det centrala reningsverket. Däremot är det inte lika vanligt förekommande med artiklar som undersöker kvävereduktion på ledningsnätet. I Hongkong har studier gjorts för att undersöka potentialen för system där urin kan separeras och nitrifieras nära uppkomstkällan för att erhålla denitrifikation på ledningsnätet. Det som drivit utvecklingen är att markbrist gör det svårt att bygga ut befintliga reningsverk som inte är anpassade för kväverening. Nitrifikation i bostadsbyggnader med denitrifikation i ledningarna skulle kunna stå för en värdefull platsbesparing i tätbefolkade områden. Modellering av denitrifikation på ledningsnätet efter att urin separerats och nitrifierats visade på att heterotrof denitrifikation kan reducera NO_x-N med 60,8 % och N-tot reduceras med 33,7 % i det specifika fallet. Denitrifikationshastigheten beräknades till 2,7 mg N/lavloppsvatten·h (avloppsflöde 1500 m³/h, ledningsnät 7 500 m³) vilket motsvarar 13 g N/m³ledningsnätvolym·d. I huvudsak var det partikulär N-tot som fanns kvar efter ledningssträckan (Jiang et al. 2011).

I en senare studie (Jiang et al. 2013) har kalciumnitrat använts för att simulera förhållanden i ett ledningsnät så att det motsvarar ett scenario där urin separerats och nitrifierats. Dosering av kalciumnitrat skedde till en nitratkoncentration motsvarande 15,6 mg N/l i en 6,5 km lång tryckavloppsledning med en beräknad volym på ca 7 350 m³. En denitrifikationshastighet på 2,3 mg N/l·h (beräknat avloppsflöde 1094 m³/h) uppmättes

vilket motsvarar 8,3 g N/m³ledningsvolym·d (pH 7,7 och temperatur 28 °C). Sannolikt är kapaciteten underskattad eftersom all nitrit och nitrat konsumerades på ledningsnätet. Nitratkoncentrationen efter dosering av kalciumnitrat fluktuerade mellan 6,6–56,8 mg N/l på grund av fast dosering och fluktuerande flöden. I medel togs 15,6 mg N/l bort i ledningsnätet där uppehållstiden i medel var 6,72 h (Jiang et al. 2013).

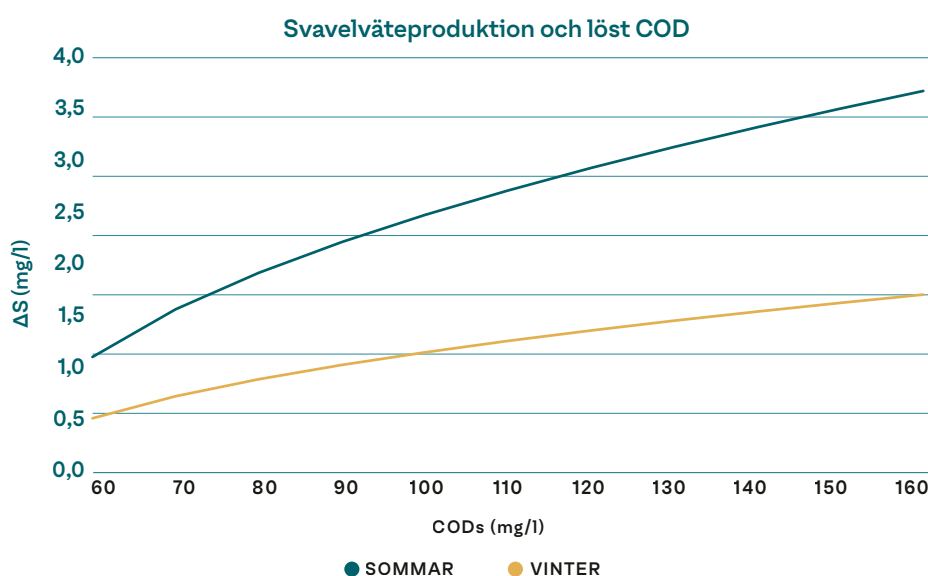
3 Förväntade effekter av biologisk förbehandling

I teorin har förbehandlingen två huvudsakliga fördelar som ligger i fokus för rapporten och det är att utnyttja ledningsnätet som en processvolym för biologisk rening samt att förebygga uppkomst av svavelväte.

Förbehandlingen leder till att en del av kvävereningen sker på ledningsnätet. Vid optimala förhållanden har nästan allt kväve som leds till förbehandlingen (förutom de 20–30 % som assimilerats och bundits partikulärt) nitrifierats och beroende på BOD-tillgången och uppehållstiden i ledningsnätet har mycket av den producerade nitraten kunnat denitrifieras. De kvävemängder som behöver behandlas på huvudreningsverket blir då mindre. Även det kväve som assimilerats i förbehandlingen blir lättare att avskilja eftersom det bundits partikulärt (observera att detta slam dels skulle det kunna hydrolyseras och lösas upp igen i ledningsnätet). Det kan därmed sedimentera och tas ut med slammet.

Vad gäller uppkomsten av svavelväte på ledningsnätet så kan biologisk förbehandling ha en större effekt än dosering av kalciumnitrat. Detta kan ses i ekvation 1 och 2 i avsnitt 2.1 där ΔS minskar när halten CODs minskar. Figur 3.1 illustrerar hastigheten på svavelvätebildningen vid olika koncentrationer av CODs enligt ekvationen. För beräkningen har uppgifter om ledningsnät och uppehållstider för Fjällbacka använts. Temperaturerna har antagits till 20°C under sommaren och 8°C under vintern. Notera att högre halter av CODs än 150 mg/l är ovanliga i Norden (Ødegaard, 2020), förutom i de fall där inläckaget är mycket begränsat.

När nitraten har förbrukats och svavelvätebildningen påbörjas sker svavelvätebildningen långsammare med en förbehandlingsanläggning än med en kalciumnitratdosering eftersom den lösta COD-halten är betydligt lägre om en väsentlig del av vattnet har förbehandlats. Effekterna av en förbehandlingsanläggning på svavelväteproduktionen blir därför större än för en kalciumnitratlösning vid en och samma dosering. En pilotanläggning eller fullskaleförsök med förbehandling skulle kunna ge klarhet i hur svavelväteproduktionen påverkas i praktiken.



Figur 3.1

Svavelvätebildning (ΔS) i relation till löst COD-halt (CODs).

När nitrat produceras ur det egna avloppsvattnet i tillräcklig utsträckning behöver inget kalciumnitrat doseras. Det innebär ett cirkulärt system där de ingående ämnena i avloppsvattnet kan nyttjas som en resurs och på så sätt minska eller helt ta bort behovet av en framställd kemikalie. Något som blir allt viktigare när samhället strävar efter att ställa om till ett cirkulärt resursutnyttjande. Miljömässigt är det positivt och minskar även behovet av transporter för kalciumnitrat. Observer att vi inte kunnat göra en livscykelanalys i samband med denna studie.

Dosering av kalciumnitrat innebär en tillsats av kväve till vattnet och på det centrala reningsverket ska kvävet sedan avlägsnas. Att kunna utnyttja det kväve som finns i det egna vattnet för samma syfte som kemikaliedoseringen blir värdefullt och minskar behovet av volymer och resurser för kväverening på reningsverket. Om överdosering av kalciumnitrat sker på ledningsnätet skulle restkväve kunna finnas kvar i inkommande vatten till reningsverket och då behöva avlägsnas i anläggningen. Med en kontrollerad dosering minskar denna risk: En studie har visat att ingen signifikant ökning av inkommande totalkväve kunde konstateras vid kontrollerad dosering av kalciumnitrat (inte heller ökning av ammonium eller nitrit). Andra effekter som kunde noteras i studien var att doseringen resulterade i minskad andel löst BOD men ingen signifikant minskning av BOD-total. Tillsats av kalciumnitrat hade ingen inverkan på sammansättningen av det uttagna överskottsslammet eller fosforhalterna. En oväntad effekt som doseringen fick var att nitrifikationen i de biologiska filtren förbättrades under tiden då kalciumnitrat doserades. Detta berodde enligt författarna på en minskad uppkomst av svavelväte i försedimenteringen som annars hämmat nitrifikationen i efterföljande steg (Bentzen et al. 1995).

En nackdel som finns, både med förbehandling och med dosering av kalciumnitrat är att BOD₇:N-kvoten på det inkommande vattnet till det centrala reningsverket minskar. När lättillgänglig kolkälla minskar i inkommande vatten blir effektiviteten på fördenitrifikationen lägre. Hur mycket BOD:N-kvoten minskar till följd av förbehandling beror på hur stor andel av flödet som behandlas i förbehandlingen, hur mycket denitrifikation som sker på det efterföljande ledningsnätet och hur stor andel av det totala flödet till det centrala reningsverket som förbehandlats.

Om 10 % av det totala avloppsvattnet förbehandlas och vi antar att BOD₇-reduktionen i förbehandlingen är 100 % så sänks BOD₇:N-förhållandet för ett typiskt avloppsvatten (70 g BOD₇ resp. 14 g N per person och dygn) från 5 till 4,5 ($0,9 \times 70/14$) direkt efter förbehandlingen och inblandning med det övriga icke behandlade vattnet. Om 20 % av avloppsvattnet förbehandlas sänks BOD₇:N-kvoten enligt detta resonemang ytterligare till 4,0. Samtidigt har nitrat producerats i förbehandlingen vilket inte enbart möjliggör denitrifikation på det centrala reningsverket utan även på ledningsnätet.

Om i stället för förbehandling (10 resp. 20 %) samma mängd nitratkväve doseras i form av kalciumnitrat (1,4 resp. 2,8 g NO₃-N per person och dygn) sänks BOD₇:N-förhållandet till 4,55 ($70/(14 + 1,4)$) resp. 4,17 ($70/(14 + 2,8)$) m a o är sänkningen av BOD₇:N-kvoten något mindre vid dosering av kalciumnitrat än vid biologisk förbehandling. Om man dock betänker att den erforderliga nitratmängden för att hämma svavelvätebildning blir något större vid kalciumnitratdosering än vid biologisk förbehandling (pga. att även löst COD reduceras i en biologisk förbehandling, se ekvation 2) blir den teoretiska slutsatsen att båda metoderna ger ungefär samma sänkning av BOD₇:N-förhållandet.

Om endast en mindre del av det totala flödet till reningsverket förbehandlas blir påverkan på BOD₇:N-kvoten liten. Däremot så kan förbehandling ha betydande effekt om vattnet utgör en större andel av det totala flödet. Likaså kan förbehandlings påverkan på BOD₇:N-kvoten bli stor om det inkommande vattnet till det centrala reningsverket redan har ett lågt BOD₇:N-förhållande. En ytterligare sänkning kan då påverka processerna på reningsverket.

Om sänkningen av BOD7:N-kvoten på det centrala reningsverket är betydande skulle en brist på kolkälla kunna uppstå och åtgärder såsom dosering av externt kol eller hydrolys av slam kan bli nödvändiga. Om nackdelen av ett lägre BOD7:N-kvot väger tungt skulle förbehandlingen kunna förses med fördenitrifikation där en del av den producerade nitraten fördenitrifieras i förbehandlingen. Fördenitrifikationen kan dock ej drivas för hårt eftersom det ska finnas nitrat kvar för att verka på ledningsnätet. Fördenitrifikation skulle dels kunna ta bort nackdelen av en sänkning av BOD7:N-kvoten men gör samtidigt den biologiska förbehandlingen och styrningen av denna mer komplicerad. Vi bedömer därför att fördenitrifikation normalt inte kommer att tillämpas i en biologisk förbehandling.

Förbehandlingen blir en tillkommande enhet på nätet med ett visst investeringsbehov som måste skötas och underhållas vilket ger ökade driftkostnader. För praktikfallen har kostnadskalkyler gjorts som jämför besparingar och driftkostnader till följd av biologisk förbehandling på ledningsnätet.

Besparingar till följd av förbehandling:

- Minskad/utebliven dosering av kalciumnitrat
- Lägre personalbehov för hantering av kalciumnitratdoseringen
- Lägre personalbehov för att hantera klagomålsärenden om lukt
- Minskat resursbehov på det centrala reningsverket för kväverening, t ex:
 - Minskat energibehov framförallt i form av luftning för BOD-rening och nitrifikation
 - Minskat behov av volymer för BOD- och kväverening

Tillkommande behov till följd av förbehandling:

- Ökat personalbehov för drift av förbehandlingsanläggningen
- Ökat resursbehov för förbehandlingsanläggningen i form av:
 - Ökat energibehov för t ex luftning, pumpning, omrörning samt uppvärmning och ventilation av lokaler
- Investering i ombyggnation till förbehandlingsanläggning

Dosering av kalciumnitrat på ledningsnätet ger produktion av kvävgas i ledningarna vid denitrifikationen. I sjöledningarna har förekommit att gasbildningen orsakar att ledningarna flyter upp. Den risken finns även när nitrat produceras i en förbehandlingsanläggning före en sjöledning eftersom det även då förväntas ske denitrifikation i ledningarna. Gasbildning i sjöledningarna behöver dock inte bli ett problem. En korrekt dimensionerad sjöledning som viktats till 100 % ska kunna vara helt tom och ändå tyngas ned av vikterna som håller den på plats. Gas i ledningen ska då inte kunna orsaka att den flyter upp. När denitrifikation ska eftersträvas i en sjöledning, såväl av förbehandling som dosering av kalciumnitrat, bör det göras med medvetenhet om att gasbildning kan ske och den problematik det skulle kunna leda till i den aktuella ledningen. Med förbehandling kan gasbildning motverkas genom att det lättillgängliga kolet reduceras i förbehandlingen vilket sänker denitrifikationshastigheten. En effekt som inte erhålles med dosering av kalciumnitrat.

Fokus i denna rapport ligger på att titta på de ekonomiska aspekterna av biologisk förbehandling. Det finns även miljövinster att ta hänsyn till som inte inbegrips i en ekonomisk kalkyl och som endast berörs kortfattat inom ramen för projektet. Att utnyttja en befintlig anläggning för biologisk förbehandling innebär ett förbättrat resursutnyttjande. Istället för att lägga ned ett reningsverk och låta det stå tomt och oanvänt (som i många fall sker vid nedläggning) så kan lokalerna, bassängerna och i viss mån även befintlig maskinell utrustning komma till nytta för VA-organisationen. Om den biologiska förbehandlingen kan bidra till ett minskat investeringsbehov i nya volymer på det centrala reningsverket så minskar resursåtgången av bl a betong som vid produktion orsakar koldioxidutsläpp och bidrar till klimatpåverkan.

4 Förbehandlingsanläggning

Tanken bakom biologisk förbehandling är att genom biologisk rening uppnå nitrifikation där ammonium omvandlas till nitrat. Det nitrifierade vattnet pumpas sedan ut på ledningsnätet där det blandas med obehandlat spillvatten som innehåller organiskt material. I den punkt där det nitratrika vattnet pumpas ut på ledningsnätet uppnås liknande förhållanden som när kalciumnitrat doseras i en pumpstation. Nitrat tillförs ett vatten rikt på organiskt material med målet att denitrifikation ska ske i ledningsnätet för att förhindra uppkomsten av svavelväte. Principen bakom förbehandling dvs. att se till att nitrat finns tillgängligt i spillvattnet skiljer sig således inte från den beprövade metoden att tillsätta kalciumnitrat. Många VA-organisationer använder sig av kalciumnitrat för att förhindra uppkomsten av svavelväte i ledningsnätet och metoden ger goda resultat. Kostnaden för kalciumnitrat är dock hög vilket ger incitament till att hitta ett alternativ till doseringen.

Med biologisk förbehandling omvandlar man ledningsnätet som normalt endast används som transportvolym till en processvolym där nitratkväve och organiska ämnen avlägsnas.

En förbehandlingsanläggning består i sin enklaste form av ett rensgaller och ett biologiskt reningssteg till exempel MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor). Processen på förbehandlingsanläggningen ska vara enkel för att minimera behovet av skötsel och övervakning. Befintliga volymer på ledningsnätet såsom nedlagda reningsverksvolymer, utjämningsmagasin eller stora pumpstationer kan användas. Vilken biologisk renings-teknik som tillämpas i förbehandlingen kan anpassas efter de förutsättningar som finns på den befintliga anläggning som ska utnyttjas. Om det finns ett nedlagt reningsverk där konventionell aktivslam har tillämpats så kan det innebära minst åtgärder att fortsätta tillämpa den tekniken även om driftbehovet är högre för den typen av reningsteknik.

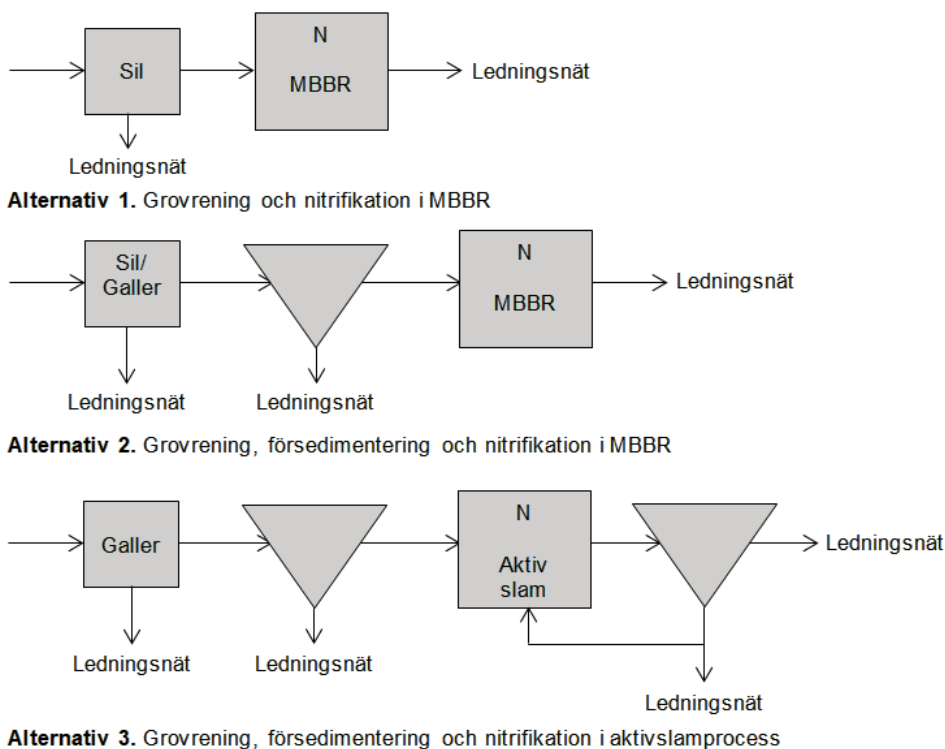
Belastningen av BOD på den biologiska reningen ska vara tillräckligt låg för att all BOD ska brytas ned och nitrifikation ska kunna ske. Samtidigt ska det efter förbehandling finnas BOD på ledningsnätet som fungerar som substrat för denitrifikationen. Genom att endast leda in ett delflöde till förbehandling kan dessa förhållanden erhållas. Storleken på delflödet anpassas till nitratbehovet på ledningsnätet och de volymer som finns tillgängliga så att belastningen av BOD på förbehandlingen blir tillräckligt låg. Förbehandlingsanläggningen bör dimensioneras så att en tillräcklig mängd nitrat kan produceras för att ge effekt på svavelvätebildningen. Nyttan av förbehandlingen beror bl.a. på sammansättningen av vattnet (framförallt BOD- och kvävekoncentrationerna), förhållandena som råder i den efterföljande ledningen och dess dimension. När kalciumnitrat doseras på ledningsnätet ska doseringen anpassas efter ledningen till det centrala reningsverket så att allt nitrat förbrukas på sträckan och inte bidrar med extra kvävebelastning till reningsverket. När nitrat har producerats i en förbehandlingsanläggning är detta inte längre en risk eftersom inget extra kväve har tillsatts. Det är därför inte så känsligt om förbehandlingsanläggningen är överdimensionerad utan ju mer nitrat som kan produceras desto bättre för processerna i ledningsnätet och även på det centrala reningsverket (upp till en viss grad, BOD:N-kvoten sänks genom förbehandling vilket kan försämra förutsättningar för denitrifikation på det centrala verket, se kapitel 6).

I förbehandlingsanläggningen är målsättningen att underhållet och behandlingsstegen ska minimeras. Därför finns normalt ingen behandling av rens utan det kan överföras tillsammans med det obehandlade vattnet. Renset skiljs då från vattnet i ett rensgaller och släpps tillbaka till vattnet efter förbehandlingsanläggningen till reningsverket för avskiljning (om så önskas kan dock renshantering ske lokalt genom uppsamling i en ett renskärl). Slam som produceras i förbehandlingen överförs också till det centrala reningsverket via ledningsnätet där avskiljning och slambehandling sker.

4.1 Processutformning

I Figur 4.1 visas tre olika exempel på utformningar av förbehandlingsanläggningar. I detta fall illustreras den biologiska behandlingen med MBBR- och aktivslamteknik. Den biologiska reningen kan även ske med andra tekniker såsom t ex biobädd, biorotor eller MBR där anläggningen dimensioneras och anpassas efter den valda reningstekniken. Om det är en befintlig anläggning som byggs om till förbehandlingsanläggning så kan den biologiska reningstekniken bibehållas för att minska investeringskostnaderna. Det ska då vägas mot det underhåll som krävs för anläggningen. Exempelvis kräver aktivslamanläggningar sedimenteringsbassäng och returslamåterföring vilket ökar driftunderhållet. Men om det är volymer som redan finns på anläggningen kan det vara värt att bibehålla. Tanken med förbehandlingsanläggningen är att den ska vara driftsäker och kräva lite underhåll vilket bör beaktas vid valet av teknik. En MBR reaktor kan vara mindre lämplig i en förbehandling med tanke på risken för igensättning, hög energiförbrukning och relativt komplicerad teknik. Det gäller helt enkelt att göra medvetna teknikval som är anpassade efter anläggningens och VA-organisationens förutsättningar. Förbehandlingen kan varieras utefter de volymer och den utrustning som redan finns tillgänglig om en befintlig anläggning används.

Om en ny anläggning ska byggas har MBBR-tekniken fördelar i jämförelse med andra tekniker då tekniken är kompakt och relativt enkel (ingen returslamföring, inga membran som kan sättas igen) samt flexibel (nitrifikationshastigheten går lätt att höja/sänka genom att höja/sänka syrehalten).



Figur 4.1

Flödesschema för tre olika grundutformningar av förbehandlingsanläggningar.

Alternativ 1 är den enklaste utformning som kräver minst volym och består av en sil och en MBBR-volym. Spillvatten från ledningsnätet leds in genom silen där rensat avskiljs. Rensat leds direkt tillbaka till ledningsnätet utan behandling och pumpas vidare till det centrala reningsverket (alternativt tas om hand lokalt).

Det silade vattnet leds till en bassäng för biologisk rening. I alternativ 1 utgörs den biologiska reningen av en MBBR. Tekniken är en biofilmt teknik där själva biofilmen växer på rörliga bärare i plast i en bassäng (med en specifik yta om 500–1200 m²/m³

beroende på bärare). Bärarna hålls på plats genom silburar som hindrar dem från att följa med vattnet ut från bassängen. Tekniken är kompakt på så sätt att kapaciteten per volym och yta är högre än vad som gäller för den mer konventionella aktivslamtekniken.

Den kräver inte heller att returslam återförs till bassängen där den biologiska aktiviteten finns och är i allmänhet mindre känslig för störningar i form av belastningstoppar och toxiska ämnen. I en förbehandlingsanläggning med begränsat antal bassänger och bassängvolym är MBBR-tekniken ett bra val. Det som krävs är en blåsmaskin som tillgodoser den biologiska processen med syre och håller bärarmaterialet suspenderat och i rörelse.

En nackdel med MBBR-tekniken är att det finns en viss risk för igensättning av silburarna om det kommer in för höga halter fett och fibrer. Det finns flera åtgärder som kan vidtas för att minska/undvika igensättningsrisken t ex korrekt dimensionering av burarna med tillräckligt stor silyta och håldiameter. Installation av intensiv luftning under burarna för att förhindra att bärare packas kring silen samt en god inkommande rensavskiljning som med fördel utgörs av en sil med tillräckligt liten håldiameter (2–4 mm). Risken för igensättning av silburarna kan i en förbehandling enkelt minskas ytterligare genom en styrning som säkerställer att höga flöden inte leds in till förbehandlingen och belastningen på silburarna kan på så sätt hållas nere. Om silburarna trots dessa åtgärder skulle tätna någon gång kan en nivåvakt i MBBR-bassängen stoppa inpumpningen till bassängen vid hög nivå. Inkommande vatten till anläggningen leds då vidare på ledningsnätet obehandlat och ett larm utgår.

När vattnet behandlats i den biologiska bassängen pumpas det ut på ledningsnätet till det centrala reningsverket. Sedimenteringsegenskaperna hos slammet som produceras i en MBBR är generellt något sämre än hos slammet i konventionell aktivslam men efter transport och flockning i ledningsnätet förväntas detta inte ha någon större effekt på sedimenteringen på det centrala reningsverket.

Alternativ 2 består av grovrening i sil eller galler, försedimentering och MBBR. Eftersom detta alternativ har en försedimentering är kraven på rensavskiljningen inte lika höga och därmed skulle en sil med större håldiameter eller ett galler kunna användas. Renset leds tillbaka ut på ledningsnätet utan behandling och pumpas till det centrala reningsverket. Det rensade vattnet leds till en försedimenteringsbassäng. I bassängen finns en skrapa på botten som skrapar slammet till slamfickor. Från slamfickorna pumpas det tillbaka ut på ledningsnätet och vidare till det centrala reningsverket utan behandling. Vattnet rinner in i en MBBR-bassäng för biologisk rening. Genom försedimentering kan ca 30 % av inkommande BOD₇ avskiljas (om förfällning tillämpas reduceras än mer BOD₇) vilket minskar belastningen på MBBR-bassängen. Denna utformning ger således möjlighet att leda ett högre flöde in till förbehandlingen utan att belasta nitrifikationsvolymen med mer BOD₇ än i alternativ 1. Det behandlade vattnet pumpas ut på ledningsnätet och vidare till det centrala reningsverket.

Alternativ 3 består av grovrening, försedimentering, aktivslam och eftersedimentering. Grovrening sker i galler där rens avskiljs och leds tillbaka till ledningsnätet för att pumpas till det centrala reningsverket. Vattnet leds genom en försedimentering där slam avskiljs och leds ut på ledningsnätet för att pumpas obehandlat till det centrala reningsverket. Vattnet från försedimenteringen rinner in i en aktivslambassäng för biologisk rening. Aktivslambassängen luftas för att tillgodose den biologiska processen med syre och hålla slammet suspenderat. Den aeroba slamåldern ska vara tillräckligt hög för att säkerställa nitrifikation.

Aktivslambassängen följs av en sedimenteringsbassäng där bioslam sedimenterar och pumpas som returslam tillbaka till aktivslambassängen. Returslampumpningen ska dimensioneras så att det kan styras mot inkommande flöde med förhållandet ca 1:1. Överskottsslam pumpas ut på ledningsnätet till det centrala reningsverket. Vattnet från eftersedimenteringen pumpas ut på ledningsnätet och blandas med obehandlat vatten.

Det kan diskuteras om en aktivslamanläggning är lämplig som förbehandling-sanläggning med tanke på sedimentering och returslamåterföring som kräver visst underhåll samt de relativt stora volymer som krävs. I Sverige är aktivslamtekniken utbredd och tillämpas på många äldre reningsverk som kan bli aktuella för överföring till ett centralt reningsverk. Det kan därför vara av intresse att beröra aktivslamtekniken för förbehandling eftersom det kan krävas mycket liten anpassning av en sådan anläggning om en VA-organisation är intresserad av att testa förbehandling i praktiken.

För att uppnå nitrifikation i det biologiska reningssteget behöver belastningen av BOD₇ vara tillräckligt låg så att de nitrifierade bakterierna inte konkurreras ut. Detta säkerställs genom att begränsa flödet som pumpas in till förbehandlingen. När vattnet renats biologiskt innehåller det en mycket lägre andel BOD₇ och en mycket högre andel NO₃-N än det obehandlade spillvattnet. Vattnet pumpas ut på ledningsnätet och blandas med obehandlat spillvatten. Förbehandlingsanläggningen har nu producerat nitrat som är tillgängligt för denitrifikation. Som nämnts tidigare krävs för denitrifikation förekomst av nitrat, organiskt material, avsaknad av syre, denitrifikare i biofilm etc. Förutsättningarna för denitrifikation förväntas nu uppfyllas i ledningsnätet. Målet med förbehandlingen är att denitrifikation kan ske på ledningsnätet och på så vis bryts organiska ämnen ner vilket resulterar i att innehållet av BOD₇ minskar. Samtidigt omvandlas nitrat till kvävgas som avgår med luften. Med förbehandling renas vattnet som transporteras till det centrala reningsverket i ledningsnätet så att inkommande mängd BOD₇ och N-tot minskar.

4.2 Dimensionering

Vid dimensioneringen av en förbehandlingsanläggning finns det ett par viktiga faktorer att ta hänsyn till:

- Vad är förhållandena på ledningsnätet nedströms förbehandlingen fram till det centrala reningsverket? Tryckledningar eller självfallsledningar? Hur lång är överföringsledningen? Hur stort är eller förväntas problemet med svavelväte bli?
- Vilka förutsättningar finns på den plats där förbehandlingen ska byggas? Om det är en befintlig anläggning eller pumpstation, vad finns det då för volymer och utrustning som kan nyttjas?

Förbehandlingen syftar bland annat till att förhindra svavelvätebildning som framförallt uppkommer i långa trycksatta överföringsledningar där anaeroba förhållanden råder. Genom att studera ledningsnätet där förbehandling ska tillämpas kan den mängd kalciumnitrat beräknas som skulle behöva doseras på ledningsnätet. Det i sin tur ger möjlighet att beräkna den mängd nitrat som tillsätts på ledningsnätet och som således behöver produceras i förbehandlingsanläggningen för att ersätta dosering av kalciumnitrat. För att beräkna mängden nitrat som behövs på ledningsnätet kan uppgifterna i avsnitt 3.6 användas. För varje m³ ledningsnät erfordras en dosering om 120 ml kalciumnitrat per dygn vilket motsvarar 13 g NO₃-N/m³ledningsnät-dygn när nitratinnehållet är 0,11 kg NO₃-N/lkalciumnitrat. Behovet av NO₃-N i en tryckledning kan således beräknas enligt ekvation 9.

$$B = V_{\text{tryckledning}} \times M_{\text{NO}_3-\text{N}} \quad (9)$$

där:

B	=	Behovet av NO ₃ -N (g/d)
V _{tryckledning}	=	Volym tryckledning nedströms förbehandlingen där svavelväte ska förhindras (m ³)
M _{NO₃-N}	=	Mängd NO ₃ -N som erfordras (13 g NO ₃ -N/m ³ ·d)

Med denna vetenskap kan storleken på den biologiska behandlingen bestämmas. I ett biofilmssystem t ex MBBR dimensioneras den biologiska volymen för att belastningen maximalt ska uppgå till 3 g BOD/m²·d (räknat på hela den biologiska volymen). Det är en dimensionering som har valts för att nitrifikationen ska kunna ske parallellt med BOD-reningen i den biologiska volymen. Hastigheten på nitrifikationen antas maximalt uppgå till 0,4 g NH₄-N/m²·d vid denna belastning (räknat på hela volymen). När den erforderade nitrifikationshastigheten beräknas antas att 23 % av N-tot har assimilerats av bakteriemassan och att 77 % av inkommande N-tot kvarstår som kan nitrifieras. Åtminstone 90 % nitrifikation antas kunna uppnås vid en BOD₇-belastning mellan 2 g och 3 g BOD₇/m²·d (vid 10 oC). Vid en antagen nitrifikationshastighet om maximalt 0,4 g NH₄-N/m²·d innebär detta att belastningen av N-tot kan uppgå till maximalt 0,58 g N/m²·d ($0,4 / (0,9 \cdot 0,77)$) för att uppnå långtgående nitrifikation. Nitrifikationshastigheten kan ökas genom att tillämpa en högre syrehalt i MBBR-bassängen vilket skyndar på nitrifikationen (Ødegaard, 2004). Vi räknar här med en syrehalt om 4-5 mg/l som ska kunna höjas till åtminstone 6-7 mg/l.

Dimensioneringsanvisningarna ovan kan jämföras med dimensioneringsreglerna som används i Norge (Norsk Vann, 2020; Ødegaard, 2020). Här räknar man först bort den biofilmsyta som behövs för BOD-reningen. BOD-belastningen på denna yta antas vara 5 g BOD₅/m²·d (ca 6 g BOD₇/m²·d). På den resterande ytan kan sedan nitrifikation ske där man dimensionerar för en maximal belastning om 0,5 g NH₄-N/m²·d (om ej försedimentering tillämpas, vid 10 oC).

Om 1000 pe (70 kg BOD₇ och 14 kg N-tot/d) ska förbehandlas innebär detta enligt de dimensioneringsregler vi tillämpar en biofilmsyta om minst 24 000 m² (vid 23 % assimilation samt 90 % nitrifikation) medan enligt de norska reglerna minst 40 000 m² kan behövas. Detta är naturligtvis en stor skillnad som behöver utredas närmare.

Våra dimensioneringsregler är baserade på ett fyrtal MBBR-verk längs västkusten. För denna tillämpning är de mest intressanta Ängholmens ARV (Tjörns kommun) och Munkedals ARV då de ofta är belastade i intervallet 2-5 g BOD₇/m² samtidigt som det pågår nitrifikation. För Ängholmens ARV finns det flera års mätserier där löst och partikulärt BOD samt nitrat, nitrit, ammonium och N-tot har mätts. Slutsatsen från dessa mätningar är att upp till en BOD₇-belastning om 3 g BOD₇/m²·d kan låga kvävehalter åstadkommas (oftast < 3 mg NH₄-N/l, även vid temperaturer omkring 10 oC). Typiska nitrifikationshastigheter om 0,3 – 0,4 g NH₄-N/m²·d har beräknats vid dessa belastningar, normalt vid höga syrehalter (> 5 mg/l). Medelvärdet uppgår till 0,35 g NH₄-N/m²·d vid en BOD₇-belastning mellan 2 och 3 g/m²·d (några driftstörningar som sänker medelvärdet något inkluderas). Även vid högre BOD-belastningar pågår parallell nitrifikation vid än högre nitrifikationshastigheter (> 0,5 g NH₄-N/m²·d) men det är på bekostnad av högre ammoniumhalter. MBBR-volymen på Ängholmens ARV består av två lika stora luftade fack. Det är möjligt att dimensioneringsreglerna skulle behövas justeras något om man även tar hänsyn till erfarenheten av de norska verken. Inom denna studie har vi ej kunnat göra detta men för praktikfallet Fjällbacka har vi kort angett vad det skulle innebära för designen om de norska dimensioneringsreglerna hanteras i stället.

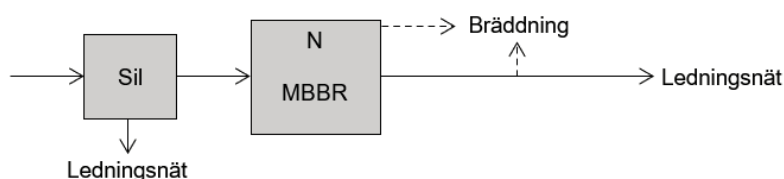
Den biologiska volymen bör ha en uppehållstid på i medel ca 4 h eller längre för att långtgående nitrifikation ska kunna förväntas vid ovan nämnda förutsättningar. Längre uppehållstid är fördelaktigt men erfarenhetsmässigt har goda resultat uppnåtts på anläggningar där uppehållstiden är omkring 4 h, exempelvis Ängholmens och Höviksnäs ARV på Tjörn samt Omholmens ARV i Sotenäs. Storleken på det flöde som leds in till förbehandlingen bestäms av kväve- respektive BOD-belastningen och uppehållstiden i den biologiska volymen. Flödet in till förbehandlingen kan styras genom att begränsa det maximala flödet som pumpas in. Resterande flöde leds förbi förbehandlingen direkt till det centrala reningsverket utan behandling. Styrning kan även ske genom en online ammoniummätning. Om ammoniumhalten överskrider en viss halt, t ex 2 mg NH₄-N, leds per automatik mindre vatten in till förbehandlingen för att kunna upprätthålla långtgående nitrifikation. Man skulle även kunna tänka sig att flödet in till förbehandlingen också styrs på en nitrathaltsmätare på det centrala verket (alternativt en lämplig plats nedströms förbehandlingen på ledningsnätet). Om nitrathalten in till verket t ex överskrider 0,5 mg NO₃-N/l har ej allt nitrat förbrukats på ledningsnätet och delflödet in till förbehandlingen kan minskas.

Blåsmaskinerna har dimensionerats för att vid medelbelastning hålla en syrehalt på 4 mg/l i MBBR-bassängerna och en syreöverföring per meter på 4 %. Om syrehalten höjs till 6 mg/l i medel och syreöverföringen sänks till 3 % per meter (andra dimensioneringsregler som nämns i Norsk Vann, 2020) innebär det en ökad energiförbrukning och behov av en större blåsmaskin. Det ökade energibehovet har inkluderats i känslighetsanalysen som gjorts för praktikfallet Fjällbacka.

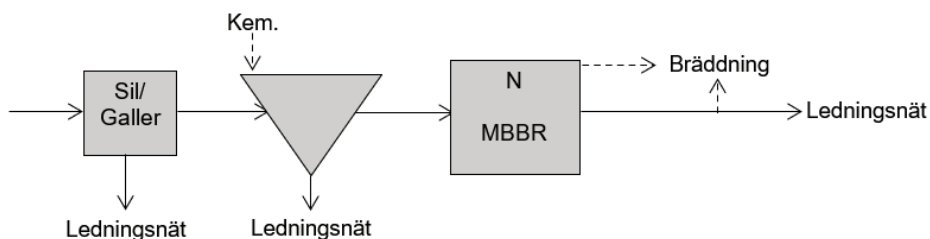
Dimensioneringen av praktikfallen i rapporten har tagits fram enligt ovan.

5 Bräddvattenrening

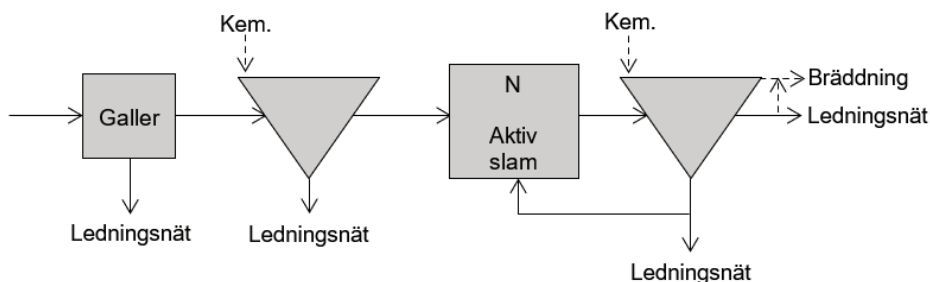
En förbehandlingsanläggning kan även utnyttjas för att minska utsläppen av näringsämnen till recipienten vid bräddning. Förbehandling och bräddvattenrening kombineras då i en och samma anläggning. När flödena är höga finns risk för bräddningar, antingen från förbehandlingen eller på ledningsnätet. I förbehandlings-/bräddvattenanläggningen renas som tidigare beskrivits ett delflöde från ledningsnätet mekaniskt och biologiskt. Beroende på typen av anläggning kan flödet även renas kemiskt genom att tillämpa fällning i sedimenteringsbassänger om sådana finns. För att minska utsläppen och påverkan på recipienten kan i första hand vatten från förbehandlingen bräddas. I Figur 5.1 visas flödesschema med kemfällning och bräddning från de olika förbehandlingsanläggningarna som beskrivs i avsnitt 4.1.



Alternativ 1. Grovrening och nitrifikation i MBBR



Alternativ 2. Grovrening, försedimentering och nitrifikation i MBBR



Alternativ 3. Grovrening, försedimentering och nitrifikation i aktivslamprocess

I alternativ 1 och 2 genomgår vattnet mekanisk rening och biologisk rening i MBBR. I alternativ 2 och 3 finns sedimenteringsbassänger. Vid höga flöden kan fällning tillämpas i inloppet till sedimenteringsbassängerna för att förbättra fosfor och susp-avskiljningen.

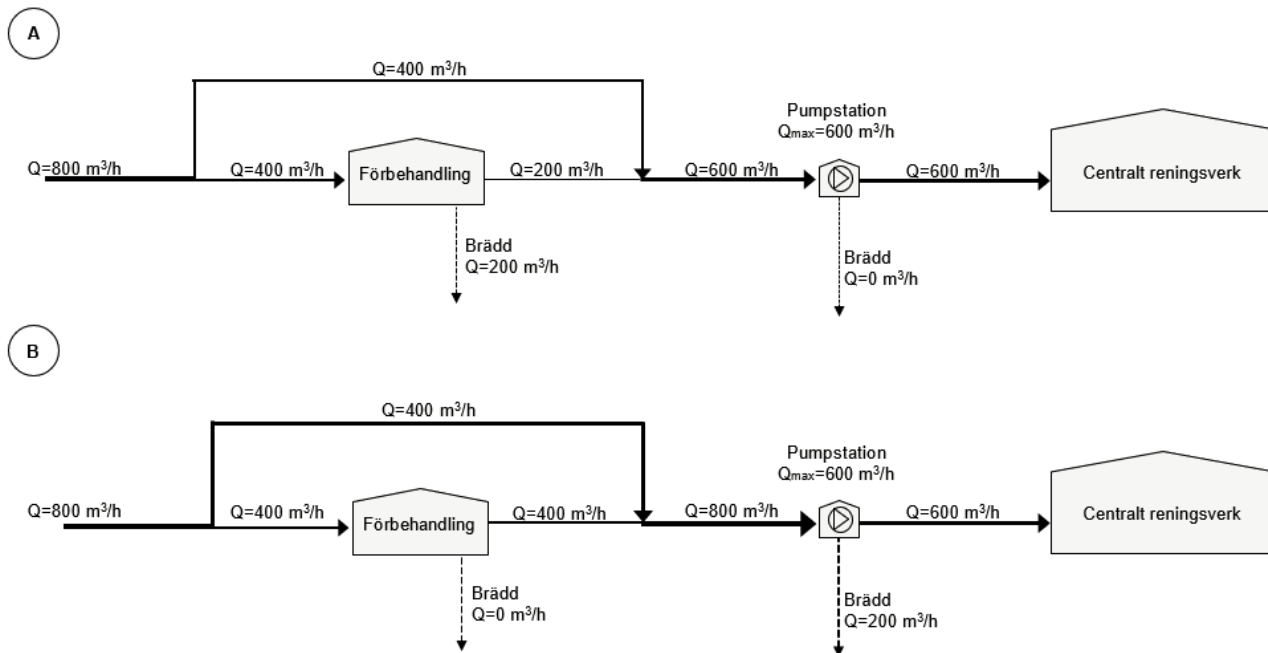
Ett delflöde från förbehandlingen kan bräddas från utloppet till recipienten vid höga flöden. Detta sker för att undvika bräddning av helt obehandlat avloppsvatten nedströms på ledningsnätet om kapaciteten där är begränsad.

Genom bräddning från den kombinerade förbehandlings- och bräddvattenanläggningen avlastas ledningsnätet från ett redan delvis renat vatten och det delflöde som inte har genomgått förbehandling kan pumpas till det centrala reningsverket och renas där med minskad bräddning på vägen. Beroende på vilka förutsättningar som råder, vad som prioriteras inom verksamheten och vilka krav som finns kan ett aktivt val göras för

Figur 5.1

Flödesschema för tre olika grundutföranden av förbehandling med bräddvattenrening.

var vattnet ska bräddas. I Figur 5.2 visas en principskiss över hur bräddning kan styras på ett fiktivt ledningsnät som består av en förbehandlings-/bräddvattenanläggning, en pumpstation och ett centralt reningsverk.



Pumpstationen har en maximal pumpkapacitet på $600 \text{ m}^3/\text{h}$. Flödet på ledningsnätet är $800 \text{ m}^3/\text{h}$. Bräddmöjligheter finns både från förbehandlings-/bräddvattenanläggningen och från pumpstationen. Till förbehandlings-/bräddvattenanläggningen leds i båda fall 50 % av flödet, dvs $400 \text{ m}^3/\text{h}$. Resterande $400 \text{ m}^3/\text{h}$ leds direkt vidare på ledningsnätet.

I fall A bräddas $200 \text{ m}^3/\text{h}$ till recipient direkt från förbehandlings-/bräddvattenanläggningen. $600 \text{ m}^3/\text{h}$ leds till pumpstationen och kan pumpas till det centrala reningsverket. 100 % av bräddflödet är mekaniskt, biologiskt och kemiskt renat. BOD-halten är låg och NH_4 har omvandlats till NO_3 i nitrifikationen. För recipienten innebär det att bräddningen inte orsakar någon större syreförbrukning eftersom den skett i det luftade steget i förbehandlings-/bräddvattenanläggningen.

I fall B bräddas inget vatten från förbehandlings-/bräddvattenanläggningen. Det renade vattnet blandas med obehandlat vatten och rens som förbiletts anläggningen. Det renade vattnet innehåller nitrat som kan denitrifieras på ledningsnätet. $800 \text{ m}^3/\text{h}$ kommer in till pumpstationen där $200 \text{ m}^3/\text{h}$ bräddas till recipient. Vattnet har delvis renats från BOD och kväve, nitrifikation har skett i förbehandlings-/bräddvattenanläggningen och denitrifikation på ledningsnätet. Resterande $600 \text{ m}^3/\text{h}$ pumpas till det centrala reningsverket. Denitrifikation kan fortgå på sträckan så länge nitrat och BOD finns tillgängligt och övriga förutsättningar för denitrifikation uppfylls. På ett ledningsnät där problemen med svavelväte är stora kan alternativ B lämpa sig bäst. Då finns en större mängd nitrat tillgänglig för denitrifikation på ledningsnätet till det centrala reningsverket vilket ger större förutsättningar för att denitrifikation sker istället för svavelvätebildning. Notera att uppehållstiderna på ledningsnätet är mindre vid större flöden och därmed blir även svavelväteproduktionen mindre. Större flöden kan även minska nitratproduktionen pga. kortare uppehållstid och lägre ammoniumhalter.

Normalt skulle alternativ A väljas eftersom de höga flödena är tillfälliga och det då är viktigare att skydda den lokala recipienten från föroreningarna i bräddningarna.

Figur 5.2

Flödesschema över ett fiktivt ledningsnät med förbehandling.

A – Förbehandlingen utnyttjas även i samband med bräddning.

B – Förbehandlingen utnyttjas helt för att minska svavelväte på ledningsnätet.

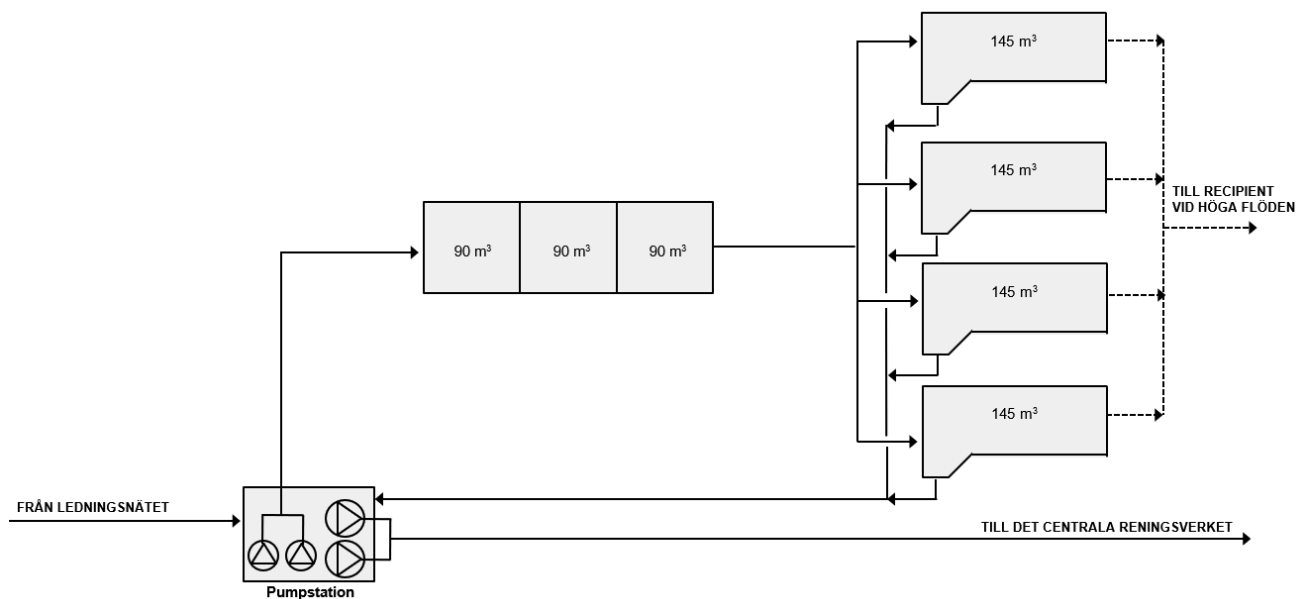
5.1 Utjämning

Om det finns ytterligare volymer kan den tilltänkta biologiska förbehandlingsanläggningen kompletteras med utjämning. Vid låga flöden kan det nitrifierade behandlade vattnet pumpas till ledningsnätet utan att utnyttja utjämningen. Vid höga flöden fylls utjämningsmagasinen med nitrifierat vatten. Om de höga flödena fortsätter kan utjämningsbassängerna brädda till den lokala recipienten. När de höga flödena upphör kan utjämningen tömmas till ledningsnätet och föras vidare till det centrala reningsverket. Detta ger en fördröjning som kan vara värdefull för att lindra stora flödesbelastningar in till det centrala reningsverket vid regnväder.

Utjämning kan med fördel kombineras med en efterbehandling i form av fällning och sedimentering särskilt om det finns kvarvarade flocknings- och sedimenteringsbassänger i det nedlagda verket.

Notera att nästa alla verk som läggs ned kan omvandlas till förbehandlingsverk med kompakt MBBR-teknik för nitrifikation av ett delflöde därför att de flesta nedlagda verk har varit baserade på aktivslamverk vilket innebär relativt stora volymer för åtminstone BOD-rening och sedimentering.

Fjällbacka ARV, som är ett av praktikfallen för denna studie, kan användas som exempel på hur ett nedlagt reningsverk på ledningsnätet skulle kunna utnyttjas för utjämning. Tanums kommun planerar att lägga ned reningsverket och föra över det till Bodalens ARV. Fjällbacka ARV kommer då att anpassas till att fungera som en stor pumpstation där höga flöden kan fördröjas innan de pumpas till Bodalen. I Figur 5.3 visas ett förenklat blockschema över hur Fjällbacka kan utnyttjas för utjämning av höga flöden. I avsnitt 7.1 beskrivs praktikfallet Fjällbacka mer detaljerat med bl a processchema över hur förbehandling och utjämning kan kombineras på anläggningen.



Vattnet från Fjällbackas upptagningsområde leds till det som idag är inkommande pumpstation till reningsverket. Pumpstationen är utrustad med 4 pumpar, 2 mindre och 2 större. Vid normala torrväderflöden fungerar det som en vanlig pumpstation och de två stora pumparna pumpar vattnet vidare på överföringsledningen till Bodalens ARV. Vid högre flöden som överskrider ledningsnätets kapacitet används två mindre pumpar för att pumpa upp en del av flödet till den gamla aktivslambassängen. Volymen är uppdelad i tre fack och har en sammanlagd volym på 270 m³. Om volymen fylls så

Figur 5.3

Fjällbacka ARV efter nedläggning och anpassning till utjämningsmagasin.

rinner vattnet vidare och fördelas över fyra volymer som idag är sedimenteringsbassänger och har en total volymen på ca 580 m³. Om dessa bassänger fylls upp så bräddas vattnet via dagens utloppsledning till recipienten. Om flödet på ledningsnätet minskar innan bassängerna fyllts så kan ventiler öppnas i botten av bassängerna och vattnet rinner tillbaka till pumpstationen och pumpas till Bodalens ARV. På så sätt kan de gamla volymerna användas för att lagra upp till 850 m³ vatten under perioder då ledningsnätet är överbelastat. Utjämningsvolymen motsvarar ett normalt dygnsflöde från Fjällbackas upptagningsområde.

6 Tillstånd

En avgörande faktor för att kunna tillämpa förbehandling på ledningsnätet är vilken typ av tillstånd som krävs för att nyttja ett gammalt reningsverk eller annan anläggning för biologisk rening. Inom ramen för projektet var målet att föra en diskussion med Länsstyrelsen som skulle ge vägledning om hur en förbehandlingsanläggning skulle kunna betraktas ur tillståndsperspektiv samt vilka krav som skulle ställas på en sådan verksamhet. Länsstyrelsen har meddelat att de inte kan föregripa en prövning och inte kan bidra till rapporten. I detta avsnitt diskuteras därför möjliga tolkningar av lagstiftningen. För att få tillståndsfrågan klargjord i praktiken behöver en förbehandlingsanläggning prövas hos en tillståndsmyndighet.

Under arbetet med denna rapport har två tänkbara scenarion övervägts för hur förbehandlingen skulle kunna betraktas ur ett tillståndsperspektiv:

- som ett avloppsreningsverk där tillstånd krävs
- som en pumpstation eller anläggning på ledningsnätet för vilken inget tillstånd krävs men som omfattas av det centrala reningsverkets tillstånd

Att släppa ut avloppsvatten avses som en miljöfarlig verksamhet enligt 9 kap. 1 § miljöbalken (1998:808) och för avledning och rening av vattnet ska lämpliga avloppsanordningar inrättas enligt samma kapitel 7 § miljöbalken. För avloppsreningsanläggning som tar emot en belastning som motsvarar mer än 2 000 personekvivalenter och omfattas av lagen (2006:412) om allmänna vattentjänster krävs tillstånd enligt 28 kap. 1 § miljöprövningsförordningen (2013:251). Om föroreningsmängden som tas emot av avloppsreningsanläggningen motsvarar mer än 200 men mindre än 2 000 pe så krävs endast en anmälan (28 kap. 4 § 2013:251). Om förbehandlingsanläggningen definieras som en avloppsreningsanläggning så krävs därmed tillstånd eller en anmälan för verksamheten.

Vad är det då som definierar en avloppsreningsanläggning? Vanligt förekommande anläggningsdelar på ett avloppsreningsverk är:

- rensavskiljning och förvaring av rens för borttransport
- sedimentering med överskottsslam som följd
- slambehandling och slamlagring för borttransport
- rening som normalt omfattar grovrening, kemisk rening och biologisk rening
- utsläpp av renat vatten till recipient

En förbehandlingsanläggning består enligt metoden i denna rapport av:

- rensavskiljning men ej förvaring av rens
- slamavskiljning (eventuellt) men ingen behandling eller lagring eftersom slammet pumpas bort via ledningsnätet
- rening genom grovrening och biologisk rening. Eventuell kan sedimentering och kemisk rening tillämpas

Miljöfarlig verksamhet omfattar även användning av byggnader eller anläggningar som kan innebära olägenhet för människors hälsa eller miljön enligt 9 kap. 1 § 2 punkten miljöbalken. Lukt och buller är exempel på olägenheter som kan bli aktuella i detta fall. Förbehandlingen kommer inte att behandla eller lagra något rens eller slam som är en vanlig källa till lukt. Rens och slam kommer att pumpas till det centrala reningsverket vilket innebär att det inte kommer att förekomma några tunga transporter som orsakar buller i omgivningen. Förbehandlingen har inte heller något kontinuerligt utsläpp av avloppsvatten till recipient och bör inte av den anledningen klassas som miljöfarlig verksamhet. Bräddningar kan komma att ske men i det avseendet skiljer sig inte

förbehandlingsanläggningen från en pumpstation. Med detta resonemang är den biologiska förbehandlingen i mångt och mycket en pumpstation utrustad med luftning.

Pumpstationer på ledningsnätet innefattas normalt av reningsverkets tillstånd och regleras genom villkor i det. Detta gäller även för pumpstationer där även utjämning och kemisk bräddvattenrening tillämpas. Luftade, nitrifierande pumpstationer har dock ej prövats ännu. Om en biologisk förbehandlingsanläggning skulle betraktas som en pumpstation så borde den då regleras genom det centrala reningsverkets tillstånd. Det är även tänkbart att anläggningen inte strikt definieras som en pumpstation men ändå betraktas som en del av det centrala reningsverkets ledningsnät och därigenom omfattas av reningsverkets tillstånd.

Tillståndsfrågan blir även aktuell i takt med att bebyggelse kryper närmre reningsverken. Mark som tidigare utnyttjas för industriellt ändamål blir alltmer eftertraktat som exploateringsområden. Reningsverken ligger ofta attraktivt placerat i närhet av hav, sjö eller annat vatten och blir därför intressant att utnyttja för rekreativa ändamål. Många reningsverk har problem med klagomål från allmänheten på framförallt lukt. Traditionellt sett har det funnits rekommendationer om skyddsavstånd på 500 m runt reningsverk med anslutning mellan 5 000 och 20 000 pe enligt Boverkets allmänna råd om skyddsavstånd för verksamheter. Det ligger därför nära till hands för VA-organisationerna att lägga ned reningsverk med luktproblem och föra över till större reningsverk med mer lämplig placering. Om ett reningsverk läggs ned för att kommunen vill exploatera inom skyddsavståndet så minskar möjligheterna att utnyttja anläggningen till förbehandling om det betraktas som ett reningsverk. Om det däremot skulle betraktas som en pumpstation är Boverkets rekommenderade skyddsavstånd 50 m.

Vid nedläggning av ett befintligt reningsverk som byggs om till en förbehandlingsanläggning skulle sannolikt befintligt tillstånd kunna behållas och förbehandlingen drivas inom ramen för det.

Enbart med denna förstudie kan tillståndsfrågan för en förbehandlingsanläggning inte utredas till fullo eftersom Länsstyrelsen inte kan/vill föregå en prövning. Om ett pilotförsök med förbehandling genomförs skulle frågan kunna utredas vidare. För ett pilotförsök skulle kommunikation ske med berörd tillsyns- och/eller tillståndsmyndighet. De skulle då behöva göra en bedömning i frågan som skulle kunna vara ge en fingervisning om hur förbehandlingen ska betraktas ur ett tillståndsperspektiv.

Anläggning och uppstart av en förbehandlingsanläggning bör ske i samråd med berörd tillsyns- och tillståndsmyndighet.

7 Praktikfall

Förutsättningar för biologisk förbehandling med hänsyn till produktion av nitrat, kapacitet i befintliga volymer och ledningslängd har studerats närmare för två praktikfall. I båda fallen har VA-organisationerna visat intresse för en närmare studie om biologisk förbehandling som ett möjligt alternativ till dosering av en kalciumnitratlösning. Praktikfallen är:

- Fjällbacka ARV i Tanums kommun. Avloppsvattnet från Fjällbacka kommer att föras över till ett större verk i Tanums kommun under 2021. Det gamla verket i Fjällbacka lämpar sig väl för att bygga om till en förbehandling.
- Jälla ARV i Uppsala Vatten & Avfalls upptagningsområde. Ett litet verk som redan har lagts ned (volymerna är dock kvar) men där det nedströms nu uppstått problem med svavelvätebildning.

7.1 Fjällbacka ARV

Bakgrund

Fjällbackas avloppsreningsverk ligger i ett mindre kustsamhälle med samma namn i Tanums kommun längs Bohuskusten. Reningsverket byggdes 1970 och kompletterades med biologisk rening genom en ombyggnad 1997/1998. Avloppsreningsverket behandlar idag avlopp från Fjällbacka tätort och fritidsområdena Backa, Bräcke, Oddan, Valö, Kalvö och Korsö. Fjällbacka avloppsreningsverk är idag dimensionerat för 6 000 pe med ett högt satt Q-dim på 115 m³/h. Den inkommande belastningen är avsevärt lägre och motsvarar i medel ca 1 100 pe (70 g BOD₇/p-d) och flödet ca 700 m³/d (ca 30 m³/h). Reningen idag består av galler, sandfång, aktivslam och eftersedimentering. Den biologiska reningen sker i tre lika stora delvolymer med en sammanlagd volym på 270 m³. Slammet från anläggningen avvattnas i en gravimetrisk förtjockare och en centrifug. Anläggningen ligger i nära anslutning till det lilla kustsamhället och klagomål på lukt har varit ett stort problem. Luktreducering sker därför genom en våtskrubber, kompostfilter och kolfilter.

Tanums kommun planerar att lägga ned reningsverket och föra över belastningen till Bodalens ARV som ligger en dryg mil norr om Fjällbacka. En trycksatt sjöledning anläggs till Kämpersvik för att sedan pumpa vidare vattnet i en befintlig tryckledning till Bodalens ARV. Kämpersvik är redan idag ansluten till Bodalens ARV. Samhället har ca 110 invånare (SCB, 2015) och flödet som leds via Kämpersviks huvudpumpstation är litet i förhållande till flödet från Fjällbackas upptagningsområde. Uppgifter om överföringsledningar och flöden som använts för beräkningar visas i Tabell 7.1. Samtliga ledningar på det aktuella ledningsnätet är trycksatta ledningar.

	Enhet	Till Kämpersvik	Från Kämpersvik	Totalt
Belastning i framtiden	pe	2 000	2 000	2 000
Flöde i framtiden medel över året	m ³ /d	900	900	900
Längd	m	7 000	3 300	10 300
Diameter	m	0,34	0,4	
Area	m ²	7 477	4 147	11 624
Volym	m ³	636	415	1 050
Uppehållstid medel över året	h	17	11	28

Tabell 7.1

Uppgifter om ledningsnätet från Fjällbacka ARV till Bodalens ARV.

Reningsverket har tre luftade volymer för biologisk rening som följs av fyra parallellkoppade sedimenteringsbassänger. Anläggningen lämpar sig väl som praktikfall för förbehandlingsanläggning eftersom det finns gott om volymer. I anläggningen kan även utjämning och bräddvattenrening tillämpas.

Den totala medelbelastningen på Fjällbacka i framtiden antas bli omkring 2 000 pe. På sommaren är belastningen märkbart högre i samband med turistsäsongen vilket kan beräknas från provtagningar på inkommande vatten till verket. Det registrerade flödet in till reningsverket skiljer sig inte från när medelflöde beräknas för sommarperioden och övrig tid på året. Normalt förväntas ett lägre flöde (per person) under sommaren när torrväderförhållanden råder och inläckaget på ledningsnätet är lågt. För Fjällbacka tycks ökat flöde från turismen under sommaren kompensera för minskat inläckage så flödena under sommar och resten av året skiljer sig inte mycket.

Vi har studerat tre alternativ för Fjällbackas ARV:

1. Verket byggs om till en pumpstation inkl. utjämningsbassänger och möjlighet till fällning och sedimentering (bräddvattenrening). Kalciumnitrat doseras för att motverka svavelväte.
2. Verket byggs om till en pumpstation med utjämning och bräddvattenrening (som ovan) men hälften av vattnet nitrifieras dessutom i en liten MBBR-bassäng (90 m³) för att motverka svavelvätebildning och för att avlasta det centrala reningsverket.
3. Ett helt hypotetiskt Fjällbacka: Som alternativ 2 men i detta alternativ utnyttjas potentialen av två befintliga luftningsvolymer (180 m³) till fullo. MBBR-volymen bedöms då kunna belastas med åtminstone 3 000 pe (i stort sett allt tillfört kväve kan nitrifieras, förutom den assimilerade delen). I praktiken inträffar dessa belastningar ej på Fjällbacka ARV (förutom möjligtvis under framtida högsäsongsbetingelser) idag men alternativet tas med för att illustrera den biologiska förbehandlings fulla potential. Här antar vi således att vi har ett stort anslutningsområde nedströms så att den nitratmängden som produceras leder till en besparing av lika mycket doserad kalciumnitrat (i kg NO₃-N/d).

Dimensionering

Alternativ 1

För att beräkna den mängd kalciumnitrat som behövs på ledningsnätet för att undvika svavelvätebildning mellan Fjällbacka och Bodalen (om ej förbehandling tillämpas) så används doseringsberäkningen som beskrevs i avsnitt 2.6. Vid långa uppehållstider, extremt höga BOD-halter och vattentemperaturer omkring 20°C så krävs en dubbel så hög dosering.

Under sommartid antas temperaturen på spillvattnet vara högre än övrig tid på året. I detta specifika fall är temperaturen på vattnet som kommer in till Fjällbacka ARV relativt låg med en medeltemperatur omkring 10°C. Till Bodalen, efter överföringen, är temperaturerna än lägre och vintertid kan låga temperaturer omkring 3–5°C uppnås. Sommarförhållanden har antagits råda under perioden 16 juni till 15 augusti med högre vattentemperaturer och för den tiden har en dubbel dosering antagits. Upphållstiden på ledningsnätet från Fjällbacka till Bodalen är 28 h över hela året vilket är relativt långt. Det har bedömts att det inte är befogat med dubbel dosering hela året. Ledningen från Fjällbacka till Kämpersvik kommer att vara en sjöledning vilket talar för låga temperaturer på vattnet. Det sänker hastigheten på svavelvätebildningen så att en högre dosering inte är erforderlig under icke sommartid.

I Tabell 7.2 visas beräknat behov av kalciumnitrat vid den förväntade medeldoseringen. Över hela året krävs det en dosering på ca 190 l kalciumnitrat per dygn. I en kalciumnitratlösning som har en densitet på 1,44 kg/l och där innehållet av Ca(NO₃)₂ uppgår till 45 % motsvarar den beräknade doseringen drygt 20 kg NO₃-N/d. Beräknat som pe motsvarar kvävemängden ca 1 500 pe dagligen. Den beräknade doseringen är i samma storleksordning som leverantörens rekommendationer för det aktuella ledningsnätet.

Doseringsberäkning kalciumnitrat				
	Till Kämpersvik	Från Kämpersvik	Totalt	Enhet
Dosering 13 ml sommartid & 6,5 ml övrig tid per timme & m ³ ledningsnät	116	75,7	192	l kalciumnitrat/d
Motsvarande NO ₃ -N	12,8	8,4	21,2	kg NO ₃ -N/d
Motsvarande N-belastning	917	598	1 515	Pe

Tabell 7.2

Kalciumnitratdosering och nitratbehov på överföringsledningen.

Alternativ 2

Den framtida belastningen beräknas motsvara 2 000 pe i medel och medelflödet 900 m³/d (ca 40 m³/h). För alternativet antas att varje pe bidrar med 70 g BOD₇/p-d och 50 % av flödet leds till förbehandlingen. För biologisk rening i MBBR används en volym på 90 m³ som fylls till ca 50 % med bärare av typ K5 som har en specifik yta på 800 m²/m³. I Tabell 7.3 sammanfattas de antaganden och beräkningar som gjorts för alternativet.

	Enhet	Alternativ 2	Alternativ 3
Belastning	pe (70 g BOD ₇ /p-d)	2 000	3 000
Utnyttjad biologisk volym	m ³	90	180
Andel av flödet till förbehandlingen	%	50	100
Medelflöde till förbehandlingen	m ³ /h	20	46
Maxflöde till förbehandlingen	m ³ /h	50	50
Uppehållstid i MBBR (vid medelflöde)	h	4,5	3,9
Inkommande BOD ₇ till förbehandlingen	kg/d	70	210
Inkommande N-tot till förbehandlingen	kg/d	14	42
Erfordrad dosering av kalciumnitrat Fjällbacka-Bodalen	l/d	192	192
Motsvarande mängd NO ₃ -N	kg/d	21	21
Belastning på MBBR-volymen BOD	g/m ² ·d	1,9	3
Belastning på MBBR-volymen N-tot	g/m ² ·d	0,39	0,58
Maxproduktion NO ₃ -N (23 % assimilation)	kg/d	11	32
Nitrifikationshastighet vid 90 % nitrifikation	g/m ² ·d	0,27	0,40
Nitratproduktion vid 90 % nitrifikation	kg/d	10	29

Tabell 7.3

Antaganden och beräkningar för Fjällbacka som förbehandlingsanläggning enligt alternativ 2 och 3.

Belastningen på MBBR-volymen blir ca 2 g BOD₇/m²·d och 0,4 g N/m²·d vid ovan nämnda antaganden, vilket är låga belastningar. Nitrifikationshastigheten har beräknats med antagandet att 23 % av kvävet assimilerats (som således inte behöver nitrifieras) och 90 % nitrifikation. Uppehållstiden i den biologiska volymen blir 4,5 h vid medelflöde.

Hallvard Ødegaard, expert på MBBR och uppfinnare av denna teknik, tillämpar andra dimensioneringsregler och räknar först bort den ytan som erfordras för BOD-reduktion för att sedan se vad kvävebelastningen blir på resterande yta (Norsk Vann, 2020; Ødegaard, 2020): Om den specifika ytan som krävs för reduktion av BOD₇ räknas bort (11 700 m² vid 6 g BOD₇/m²·d) krävs en nitrifikationshastighet på 0,40 g NH₄-N/m²·d på resterande yta för att få åtminstone 90 % nitrifikation. Det är enligt vår erfarenhet fortfarande hastigheter som är möjliga att uppnå.

Mängden $\text{NH}_4\text{-N}$ som ska kunna nitrifieras är ca 10 kg N/d när 50 % av flödet från upptagningsområdet leds in till förbehandlingen. Produktionen av 10 kg $\text{NO}_3\text{-N/d}$ motsvarar inte det behov av nitrat som finns på ledningsnätet utan räcker endast till första ledningssträckan, fram till Kämpersvik, om man jämför med den uppskattade kalciumnitratdoseringen rakt av. Nitratproduktionen i förbehandlingen räcker då inte på långa vägar för att ersätta det nitratbehovet som skulle krävas vid dosering av kalciumnitrat. Här ska man dock betänka att för att svavelväte ska uppkomma på ledningsnätet så måste rätt förhållanden uppfyllas bl. a. anaerob miljö och tillgång till nedbrytbart organiskt material. Vid lägre koncentrationer av lättnedbrytbart COD och BOD₇ är hastigheten av svavelväteproduktionen lägre. Gällande förutsättningar för Fjällbacka är: 2 000 pe, 70 g BOD₇/p-d, och 140 g COD/p-d varav 50 % behandlas i förbehandlingen. Vid de låga belastningarna kan antas att nära nog allt av löst BOD₇ och även större delen av löst COD bryts ner i den biologiska förbehandlingen.

I det vatten som förbileds förbehandlingen och inte behandlas antas andelen löst och därmed lättnedbrytbart BOD₇ och COD vara ca 30 % vilket baseras på provtagningsdata på inkommande vatten till ett antal reningsverk i västra Sverige. Det skulle innebära att endast ca 20 kg BOD₇ och ca 40 kg COD/d är löst/lättnedbrytbart i ledningsnätet från Fjällbacka till Kämpersvik. För att reducera den nitrat som produceras i förbehandlingen krävs normalt tillgång till 3–4 kg löst BOD₇ per kg N. För att reducera de 10 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ som pumpas ut på ledningsnätet förbrukas därmed i princip hela den lösta, lättnedbrytbara BOD- och COD-mängden genom denitrifikation. När mängden lättnedbrytbart organiskt material är begränsad så begränsas även hastigheten på svavelväteproduktionen. Eftersom förbehandlingen både reducerar BOD-tillgången samt producerar nitrat hämmas svavelvätebildningen genom att ta bort två av de förutsättningar som krävs för uppkomst; löst BOD/COD samt frånvaro av nitrat som elektronacceptor. Observera att en del löst BOD kan uppstå i ledningsnätet igen pga. slamhydrolys, särskilt vid låga flöden och höga temperaturer.

De 20 kg löst BOD₇ som finns tillgängligt efter förbehandling från Fjällbackas upptagningsområde förbrukas genom denitrifikation och löst BOD är därmed begränsande för svavelvätebildningen. Dessutom reduceras nitraten mycket långsammare om den lättnedbrytbara mängden BOD och COD har förbrukats. I Kämpersvik tillkommer visserligen nytt spillvatten vilket innebär nytt tillskott av BOD. Flödet från Kämpersviks upptagningsområde är dock litet. På orten fanns vid SCB:s senaste uppskattning från 2015 ca 110 invånare. Under sommaren antas belastningen öka med ca 50 % vilket är vanligt på mindre orter längs Bohuskusten. Det ger en medelbelastning över hela året på 117 pe/d vilket motsvarar ca 8 kg BOD₇/d varav 2,5 kg är löst. Tillsammans med belastningen från Fjällbackas upptagningsområde blir då ca 23 kg BOD/d tillgängligt för denitrifikation på ledningsnätet och vi kan konstatera att den lösta BOD-mängden fortfarande är begränsad för fullständig denitrifikation på ledningsnätet.

Reduktionen av BOD₇ i förbehandlingen och på ledningsnätet innebär en lägre inkommande belastning till det centrala reningsverket. Upp till 1 000 pe/d (70 kg BOD₇/d) reduceras i förbehandlingen och ytterligare 300–600 pe/d (20–40 kg BOD₇/d) genom denitrifikation på ledningsnätet. Med antagandet att denitrifikationen fortgår i ledningsnätet så att all löst och även en del partikulär BOD₇ bryts ned så motsvarar det ca 10 kg N som omvandlas till N_2 . Det innebär att inkommande N-belastning till det centrala reningsverket sänks med ca 700 pe/d.

För att denitrifiera 10 kg $\text{NO}_3\text{-N/d}$ på det aktuella ledningsnätet krävs en denitrifikationshastighet på 10 g/m³ ledningsvolym och dygn. Om hela ledningsnätsytan antas vara täckt med biofilm (högt antagande) och denitrifikation endast sker i denna biofilm så blir den erforderade hastigheten 0,9 g N/m²·d vilket är högt. I MBBR-bassänger kan den specifika denitrifikationshastigheten uppgå till över 2 g N/m²·d med etanol/metanol som kolkälla. Att utnyttja befintlig kolkälla i vattnet innebär generellt betydligt lägre reaktionshastigheter, maximalt 0,5 g $\text{NO}_3\text{-N/m}^2\text{-d}$. Det innebär denitrifikation av

knappt 6 kg NO₃-N/d om hela ledningens yta är täckt med biofilm. Den hastighet som krävs för fullständig denitrifikation är därmed hög. Denitrifikation kommer dock även att ske i bulkvattnet och för att denitrifiera ytterligare 4-5 kg NO₃-N erfordras endast låga hastigheter (<0,01 kg NO₃-N/kgslam·d). Det antas här att fullständig denitrifikation kan uppnås fram till Bodalens ARV. Hastigheten kan även jämföras med hastigheten som räknas med vid en kalciumnitratdosering: 13 g/m³ledningsvolym·d (i detta exempel blir hastigheten 9,5 g/ m³ledningsvolym ·d).

Sannolikt kan man höja den producerade nitratmängden i förbehandlingen, särskilt på sommaren, eftersom belastningen på MBBR-bassängen fortfarande är låg. Vi menar dock att detta inte är nödvändigt i och med att en förbehandlingsanläggning minskar även den lösta BOD-mängden i ledningsnätet och därmed ger en kraftigare verkan än enbart kalciumnitrat för att motverka svavelväteproduktion.

Att producera mer nitrat skulle däremot kunna generera en större besparing på det centrala reningsverket om kväve- och BOD₇-reduktionen ökade. Om i stället för en, två biologiska volymer á 90 m³ utnyttjas på Fjällbacka kommer belastningen på dem att bli låg när anläggningen tar emot 2 000 pe där 50 % av flödet leds in till förbehandlingen. Det finns då potential för att belasta volymerna högre och därmed behandla mer vatten. Det ska då vägas in att denitrifikationshastigheten på ledningsnätet kan bli begränsande i detta fall där ledningsnätet nedströms är relativt kort.

Alternativ dimensionering (norska dimensioneringsregler, Norsk Vann, 2020)

Enligt de norska dimensioneringsregler skulle biofilmens yta som vi beräknat inte räcka till och i stället för en totalyta om 36 000 m² skulle en erforderlig yta om 40 000 m² räknas fram. I detta fall är skillnaden icke så stor och genom att fylla bassängen med 56 % bärare i stället för 50 % skulle även de norska dimensioneringsgrunderna uppnås. Detta har ingen märkbar effekt på kostnadskalkylerna och slutsatserna.

Alternativ 3

Om den maximala belastningen på MBBR-volymen begränsas till 3 g BOD₇/m²·d (beräknat på två luftade volymer, 180 m³, 50 % fyllnadsgrad med K₅ eller likvärdig bärartyp) motsvarar det en belastning om ca 216 kg BOD₇/d eller drygt 3 000 pe. Vid en sådan BOD₇ belastning förväntas långtgående nitrifikation kunna erhållas. Kvävebelastningen på hela den biologiska volymen blir ca 0,58 g N/m²·d. Nitrifikationshastigheten, vid 90 % reduktion, som krävs blir då 0,40 g N/m²·d om 23 % antas ha assimilerats i slammet (och 14 g N per pe). Om vi antar att BOD-nedbrytningen sker i första facket och att nitrifikationen sker i andra facket erfordras en nitrifikationshastighet om 0,8 g N/m²·d i andra facket vilket är fortfarande en nåbar hastighet.

Uppehållstiden blir 3,9 h vid medelflödet 46 m³/h. Vid dessa antaganden kan ca 30 kg NO₃-N/d produceras. När hela flödet leds till förbehandlingen för nitrifikation sker även BOD₇-reduktion ned till låga halter. Det innebär att mängden löst BOD som kan fungera som kolkälla för denitrifikationen är försumbar. Eftersom tillförseln av spillvatten nedströms förbehandlingen är begränsad så hämmas denitrifikationen på ledningsnätet av brist på kolkälla. Optimalt hade varit om ledningsnätet nedströms Fjällbacka hade varit längre och att det tillkommit åtminstone 100 kg löst BOD₇/d så att kolkällan varit obegränsad och fullständig denitrifikation av de 30 kg nitrat som producerats i förbehandlingen kunnat ske. I Tabell 7.3 visas antaganden och belastningar för Fjällbacka som förbehandlingsanläggning enligt alternativ 3.

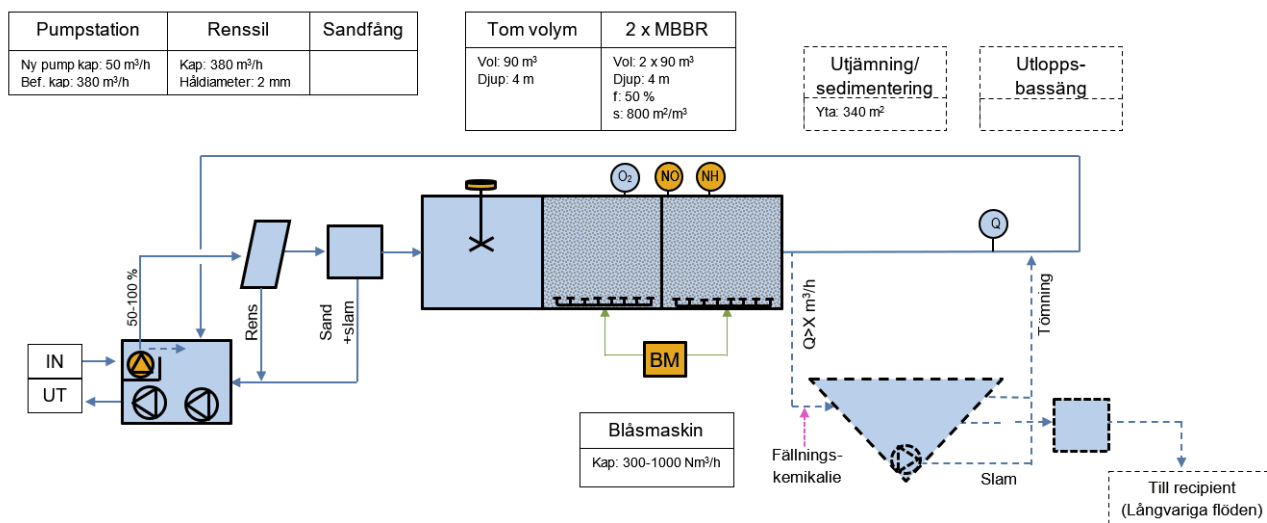
Än bättre hade varit om Fjällbacka hade belastats med 6 000 pe varav 3 000 pe hade förts till förbehandlingen. De 3 000 pe som inte leds in i förbehandlingen hade då bidragit med kolkälla i form av BOD/COD. Det är ej verklighetsförankrade tal för Fjällbacka men vi vill ändå ange potentialen av förbehandling bestående av två luftade MBBR-volymer.

Alternativ dimensionering (norska dimensioneringsregler, Norsk Vann, 2020)

Med de norska dimensioneringsregler skulle en biofilmsyta om ca 119 000 m² behövas i stället för de framräknade 72 000 m² ovan. Detta kan åstadkommas genom att använda tre delvolymmer med en fyllnadsgrad om 55 %.

7.1.3 Processutformning

Processchema över Fjällbacka som förbehandlingsanläggning enligt alternativ 3 visas i Figur 7.1. Belastningen uppgår för alternativet till 3 000 pe och medelflödet till förbehandlingsanläggningen är 46 m³/h. Maxflödet in tillförbehandlingen begränsas till 50 m³/h. I Bilaga A finns en mer detaljerad beskrivning.



Inkommande vatten från Fjällbacka upptagningsområde kommer in till en separat låda i inlopps/utloppspumpstationen. Från lådan pumpas ett delflöde in till den biologiska förbehandlingsanläggningen. Flödet (normalt omkring 50 % av torrväderflödet) begränsas till 50 m³/h och resterande flöde pumpas ut på ledningsnätet till det centrala reningsverket. Ett befintligt galler används för avskiljning av rens. Renset leds tillbaka till utloppsfacket i pumpstationen och pumpas till det centrala reningsverket. Vattnet rinner genom ett sandfång och vidare in i en genomströmningsvolym på 90 m³ där en omrörare finns installerad för att förhindra sedimentering. Den biologiska reningen består av två MBBR-volymer á 90 m³ som är fyllda till 50 % med bärare av typ K5 eller liknande typ med en specifik yta på 800 m²/m³. En blåsmaskin förser volymerna med syre via ett grovbåligt luftarsystem. Silburar med intensiv luftning längs burarna installeras för att hålla kvar bärarna i bassängerna. Vid medelflödet 46 m³/h blir uppehållstiden i biologin 3,9 timmar.

Om utjämnings- och bräddvattenrening tillämpas så rinner vattnet vid höga flöden från den biologiska reningen och fördelas över två sedimenteringsbassänger där fällningskemikalier kan tillsättas för att förbättra reduktionen av partikulära föroreningar. Om de första två bassängerna fylls upp vid långvarigt höga flöden rinner vattnet vidare till ytterligare två sedimenteringsbassänger. Om samtliga fyra sedimenteringsbassänger fylls upp rinner vattnet via avdragsrännor i sedimentering 3 och 4 till en separat utlopps-bassäng och därifrån vidare till recipient via en bräddvattenledning (dagens utloppsledning från Fjällbacka). När inkommande flöde sjunker och utjämnings- och bräddvattenrening inte behövs finns befintliga pumpar i slamfickorna som används för att tömma vattnet utloppspumpstationen så att vattnet kan pumpas till det centrala reningsverket.

Om ingen utjämnings- och bräddvattenrening tillämpas så rinner vattnet med självfall från biologin till utloppspumpstationen och pumpas ut på ledningsnätet till det centrala reningsverket.

Figur 7.1

Processchema över Fjällbacka som förbehandlingsanläggning (vid utnyttjande av 2 av tre luftningsvolymerna). I blått visas befintligt och i gult nytt.

Instrumenteringen som tillämpas på verket kan läggas på en miniminivå för att minska investeringskostnaden. Viss instrumentering är att förespråka t ex nivåvakter och syrehaltsmätare i MBBR. Rekommendabelt är även en ammoniumhaltsmätare i volym 2. Om ammoniumhalten mäts online kan det flödet som leds in i den biologiska förbehandlingen även styras på denna mätare. Instrumenteringen kan skalas upp beroende på hur mycket styrning och övervakning som VA-organisationen efterfrågar. Mer instrument innebär ett större underhåll särskilt om instrumenten kräver regelbunden kalibrering. Däremot så kan rätt instrumentering innebära att driftövervakningen i högre grad kan ske på distans och antalet besök på reningsverket kan minskas. Rätt instrumentering kan även förhindra stora driftstörningar t ex översvämning av bassänger om nivån i en MBBR-bassäng stiger.

7.1.4 Förutsättningar på Bodalens ARV

Bodalens ARV är det centrala reningsverk som Fjällbacka ARV ska föras över till. Verket är dimensionerat för 20 000 pe och omfattas av kväverening. Den biologiska reningen sker i tre parallella SBR-volymer (Satsvis Biologisk Rening).

Tanums kommun har för avsikt att föra över flera av de små reningsverken till Bodalen vilket gör att kapaciteten kommer att behöva utökas. Genom att tillämpa förbehandling på Fjällbacka kan belastningen till Bodalen minska vilket innebär att behovet av utbyggnad av nya reningsvolymers minskas. För förbehandling tillkommer kostnader för bl a energi (pumpning, luftning och uppvärmning) och underhållsarbete.

Som beskrevs i avsnitt 3 så kan BOD:N-förhållandet komma att försämrats vilket kan komma att påverka processen på Bodalens ARV där fördenitrifikation tillämpas i SBR-processen. Flödet från Fjällbackas upptagningsområde skulle med dagens anslutning till Bodalens ARV utgöra en stor andel av det totala flödet till verket. En lösning på det skulle kunna vara att tillämpa fördenitrifikation i den första delvolymen på Fjällbacka som inte utnyttjas för luftning/nitrifikation, se Figur 7.1. Facket skulle behövas fyllas med bärare och en omrörare samt en nitratrecirkulation skulle behöva installeras. Detta är ett sätt att utnyttja tillgängliga volymer maximalt och därmed avlastas även det centrala reningsverket maximalt möjligt. Naturligtvis bör fördenitrifikation begränsas för att ha nitrat kvar för denitrifikationen på ledningsnätet. I de flesta fall blir det dock enklast att leda ett mindre delflöde in till förbehandlingen (utan fördenitrifikation) om BOD:N-kvoten befaras bli för lågt.

7.1.5 Kostnadskalkyl – 2 000 pe, 50 % av flödet

För att utreda om en förbehandling är lönsam har kostnadskalkyler upprättats. I bilaga B finns en mer utförlig metodbeskrivning och resultat av de kostnadskalkyler som gjorts till rapporten. Två investeringskostnader finns för samtliga processalternativ. En beräkning har gjorts för hur stor investering som kan göras för att uppnå break-even mellan besparing av att tillämpa förbehandling och kostnader som förbehandlingen innebär. Kostnaderna delas upp i driftskostnader, underhållskostnader och investering för ombyggnad till förbehandling.

Förbehandlingen förväntas innebära besparingar för kommunen framförallt i form av utebliven dosering av kalciumnitrat och minskade behandlingskostnader i kväverening på det centrala reningsverket, i detta fall Bodalens ARV. Skillnaden mellan besparingarna och driftskostnaderna för förbehandlingen visar hur mycket som kan investeras i att anpassa Fjällbacka till biologisk förbehandlingsanläggning.

En kostnadsuppskattning har gjorts (av Sweco Environment) för hur stor investering som krävs för att bygga om respektive reningsverk till förbehandling.

Driftkostnaderna för förbehandlingsanläggningen inkluderar energiförbrukning för luftning och pumpning samt personalkostnad för drift och underhåll av anläggningen. Kapitalkostnader för investeringarna beräknas med annuitetsmetoden.

Nedan presenteras kostnadskalkylen för förbehandling på Fjällbacka med den framtida belastningen 2 000 pe enligt alternativ 2 där 10 kg N/d avlägsnas genom förbehandling och denitrifikation på ledningsnätet.

Besparingarna beräknas uppgå till 639 000 kr/år för utebliven dosering av kalciumnitrat och minskade behandlingskostnader på Bodalens ARV.

Driftkostnaderna för förbehandlingen uppgår till 119 000 kr/år. Hänsyn har inte tagits till ventilations- och uppvärmningskostnader för utrymmena men här ska betänkas att utrymmena i detta praktikfall oavsett kommer att utnyttjas för utjämning och kemisk behandling så dessa kostnader skulle även finnas utan biologisk förbehandling.

Besparingen efter att driftkostnader för förbehandlingen har dragits av är 520 000 kr/år. Summan utgör det investeringsutrymme som finns för att kostnaden för förbehandling och besparingen ska ta ut varandra. Investeringskostnaden har itererats tills summan av kapitalkostnaden och underhållskostnaden uppgår till 0,520 MSEK/år och break-even uppnås. Kostnaderna för biologisk förbehandling Fjällbacka (break-even, uppskattade kostnader, driftkostnader) enligt alternativ 2 redovisas i Tabell 7.4.

Biologisk förbehandling Fjällbacka		
	Break-even	Uppskattad Investering
Investeringskostnad	5,50	4,36 MSEK*
Driftkostnader	0,119	0,119 MSEK/år
Underhållskostnader	0,110	0,087 MSEK/år
Kapitalkostnader	0,410	0,337 MSEK/år
Totalt	0,639	0,543 MSEK/år

* Uppskattat av Sweco Environment

Tabell 7.4

Kostnader biologisk förbehandling Fjällbacka i break-even punkt och vid uppskattad investeringskostnad.

Med investeringskostnader på 5,50 MSEK vid break-even blir kapitalkostnaden 410 000 kr/år och underhållskostnaden 110 000 kr/år. Tillsammans med driftkostnaden på 119 000 kr/år motsvarar summan av de årliga utgifterna den beräknade besparingen på 639 000 kr/år. Vid en investering på 5,50 MSEK för att anpassa Fjällbacka ARV till förbehandlingsanläggning uppnås således nollpunkten där förbehandlingen beräknas gå plus minus 0.

Den uppskattade investeringen uppgår till 4,36 MSEK vilket är lägre än Break-even och tyder på att förbehandlingen lönar sig ekonomiskt.

Om den årliga kostnaden på 0,639 MSEK för break-even slås ut på mängden kväve som avlägsnas (ca 3,6 ton/år) landar kostnaden på omkring 180 kr/kg N. Det ska dock tilläggas att den kostnaden inte bara avser reduktion av kväve utan även rening av ca 40 ton BOD/år samt att uppkomst av svavelväte förhindras på ledningsnätet. Med den uppskattade investeringen blir den specifika kostnaden 150 kr/kg N.

För detta dimensioneringsalternativ har en känslighetsanalys gjorts där en parameter har förändrats i taget för att se hur kalkylen påverkas. Genom analysen undersöks vilka parametrar som har stor inverkan på resultatet av kostnadskalkylen och därmed blir extra viktiga. Känslighetsanalysen redovisas i bilaga C. De parametrar som har negativ inverkan på kostnaderna för förbehandlingen är ökat personalbehov, ökad underhållskostnad och en ökad investering. Även syrebehovet har viss påverkan på energikostnaderna. Stor positiv inverkan på resultatet har en lägre investeringskostnad.

De parametrar som har negativ inverkan på besparingarna är en lägre erforderlig dosering av kalciumnitrat och en mindre besparing av kvävebehandlingskostnader på det centrala verket pga. kvävereningen på ledningsnätet.

I samtliga beräkningsfall underskrider inte break-even punkten den uppskattade investeringen vilket innebär att förbehandlingen är lönsam.

7.1.6 Kostnadskalkyl – 3 000 pe, 100 % av flödet

En kostnadskalkyl har även gjorts för det hypotetiska fallet där förbehandlingsanläggningen i Fjällbacka producerar maximalt med nitrat och kolkällan på ledningsnätet nedströms är obegränsad så att fullständig denitrifikation uppnås. I det fallet minskar kvävebelastningen på det centrala reningsverket med 30 kg N/d. Enligt alternativet förbehandlas hela flödet på i medel 1 100 m³/d som innehåller 210 kg BOD₇ från Fjällbackas upptagningsområde vilket motsvarar 3 000 pe (70 g BOD₇/p.d).

Besparingarna till följd av utebliven kalciumnitratdosering och minskade behandlingskostnader på det centrala reningsverket uppgår till 1 280 000 kr/år. Här antar vi att all egen producerad nitrat skulle behövas även som kalciumnitratdosering om ledningsnätet nedströms är betydligt större och det finns svavelväteproblem. De 30 kg NO₃-N/d som produceras motsvarar en dosering av 266 l kalciumnitrat per dygn. Besparingen har jämförts med föregående alternativ ökat både för doseringen av kalciumnitrat och för de minskade behandlingskostnaderna i kväverening på det centrala verket eftersom betydligt mer nitrat produceras och reduceras till kvävgas i ledningsnätet.

Driftkostnaderna för förbehandlingen uppgår till 216 000 kr/år. Besparingen efter att driftkostnader har dragits av är 1 060 000 kr/år. Enligt samma metod som i föregående kostnadsanalys har nollpunkten beräknats. Kapital och underhållskostnaderna har itererats fram så att summan av dem motsvarar besparingen på ca 1,06 MSEK. I Tabell 7.5 redovisas samtliga kostnader för förbehandlingen beräknat för break-even och uppskattningen av investeringen.

Biologisk förbehandling Fjällbacka		
	Break-even	Uppskattad investering
Investeringskostnad	11,2	5,28 MSEK*
Driftkostnader	0,216	0,216 MSEK/år
Underhållskostnader	0,224	0,106 MSEK/år
Kapitalkostnader	0,836	0,405 MSEK/år
Totalt	1,28	0,726 MSEK/år

* Uppskattat av Sweco Environment

Med investeringskostnader på 11,2 MSEK blir kapitalkostnaden 836 000 kr/år och underhållskostnaden 224 000 kr/år. Tillsammans med driftkostnaden på 216 000 kr/år motsvarar summan av de årliga utgifterna den beräknade besparingen på 1 280 000 kr/år. Med investeringar på 11,2 MSEK kan Fjällbacka ARV anpassas till förbehandlingsanläggning så att kostnader och besparingar går plus minus noll.

Kostnadsuppskattningen för ombyggnaden uppgår till 5,28 MSEK vilket är betydligt lägre än investeringen vid break-even. Den årliga kostnaden beräknas då uppgå till ca 730 000 kr/år.

Om den årliga kostnaden på ca 1,28 MSEK slås ut på mängden kväve som avlägsnas (11 ton/år) hamnar kostnaden omkring 120 kr/kg N. Den årliga kostnaden avser även rening av ca 120 ton BOD/år samt att svavelväteproduktion förhindras på ledningsnätet. Samma beräkning för kostnadsuppskattningen resulterar i en specifik kvävereningskostnad på 70 kr/kg N.

7.2 Jälla ARV

7.2.1 Bakgrund

Reningsverket i Jälla, norr om Uppsala, lades ned för 6–7 år sedan och spillvattnet från samhället leds numera till Kungsängsverket i Uppsala. Jälla avloppsreningsverk tog

Tabell 7.5

Kostnader förbehandling Fjällbacka max nitratproduktion i break-even punkt och vid uppskattad investering.

tidigare emot avloppsvatten från samhället Jälla där det bodde närmare 1 800 personer enligt uppgifter från april 2019. Reningsverket behandlade då avloppsvatten genom galler och sandfång till en luftad aktivslambassäng, 34 m³, med efterföljande mellan- och slutsedimentering med fällning till slutsedimenteringen. Det avskilda slammet luftades och förtjockades i en gravimetrisk förtjockare innan det lagrades i två volymer á 20 m³ vardera.

Reningsverket är numera fränkopplat från ledningsnätet. Allt vatten från samhället pumpas från en pumpstation som står i anslutning till Jälla avloppsreningsverk mot Kungsängsverket. På en ledningssträcka in mot Uppsala har problem med svavelvätebildning uppstått då flödet från Jälla och övriga anslutningar tidigare på nätet är relativt lågt. I detta praktikfall behandlas den del av ledningsnätet som gett upphov till problem. Praktikfallet har baserats på uppgifter som togs fram inför en utredning 2019 och vissa förutsättningar kan ha ändrats sedan dess. Detta praktikfall fungerar som exempel för att förtydliga principen med biologisk förbehandling och om projektet i framtiden skulle förverkligas behöver ett aktuellt underlag tas fram.

Uppgifter om den del av ledningsnätet som ligger till grund för beräkningar visas i Tabell 7.6. Totalt är ledningslängden ca 4,7 km från Jälla till Vaksala och ca 2 570 pe tillkommer på vägen. Uppehållstiden på den studerade sträckan är ca 12 h.

	Enhet	Jälla till huvudledning	Huvudledning till påkoppling Skölsta	Självfall	Påkoppling Eke till släppunkt SNB18469	Totalt
Tillkommande	pe	2 000	70	0	500	2 570
Längd	m	1 961	437	99	2 241	4 738
Diameter	m	0,22	0,22	0,22	0,28	-
Area	m ²	1 355	302	69	1 950	3 676
Volym	m ³	75	17	3,8	135	230
Flöde	m ³ /d	400	414	414	514	-
Uppehållstid	h	4,5	0,96	0,22	6,3	12

Processutformningen och dimensioneringen av en förbehandling vid Jälla avloppsreningsverk kan utföras på två sätt beroende på vilket syfte som ska uppnås. Syftet med förbehandlingsanläggningen är framförallt att förhindra uppkomst av svavelväte på ledningsnätet. Genom att beräkna behovet av nitrat på ledningsnätetssträckan för att undvika svavelvätebildning kan volymerna anpassas efter det. Ett andra alternativ är att utnyttja anläggningen för att erhålla så mycket nitrifikation som möjligt för att tillgodose nitratbehovet på ledningsnätet och dessutom erhålla en vinst i minskad inkommande belastning av kväve och BOD₇ till det centrala reningsverket genom att utnyttja ledningsnätet som en processreaktor för denitrifikation.

Tabell 7.6

Uppgifter om ledningsnätet från Jälla ARV till Kungsängsverket (april 2019).

7.2.2 Dimensionering

Storleken på förbehandlingsanläggningen beror på behovet av nitrat för att förhindra svavelvätebildning vilket i sin tur beror på ledningsnätets längd och flöde av avloppsvatten.

Med en befolkning om ca 1 800 personer i Jälla kan förbehandlingsanläggningen dimensioneras för en belastning om 2 000 pe. Schablonvärde för flödena har antagits vara 200 liter per ansluten person. Det förväntade framtida flödet blir 400 m³/d på ledningsnätet uppströms Jälla och 514 m³/d nedströms efter påkopplingen av Eke (ytterligare 570 personer tillkommer). Efter ledningssträckan på 4,7 km från Jälla till Vaksala har således totalt 2 570 personer tillkommit. Under perioden februari-april 2019 var det uppmätta flödet ca 450 m³/d efter Eke så det beräknade, förväntade flödet är ganska sannolikt.

För att beräkna nitratbehovet på ledningsnätet används metoden i avsnitt 2.6. Nitratbehovet för ledningssträckan redovisas i Tabell 7.7.

Doseringsberäkning kalciumnitrat		
	Värde	Enhet
Dosering 13 ml sommartid & 6,5 ml övrig tid per timme & m ³ ledningsnät	41	l kalciumnitrat/d
Motsvarande NO ₃ -N	4,6	kg NO ₃ -N/d
Motsvarande N-bel	325	Pe

Tabell 7.7

Kalciumnitratdosering och nitratbehov på ledningsnätet.

För den undersökta ledningssträckan från Jälla avloppsreningsverk till släppunkten i Vaksala behöver det doseras ca 40 liter kalciumnitratlösning per dag. Det motsvarar 4,6 kg nitrat per dag. En processlösning som benämns "lägsta nitratbehov" har tagits fram och dimensionerats för att producera ca 5 kg NO₃-N/d. Mängden nitrat förväntas då räcka för att undvika svavelvätebildning på ledningssträckan. Eftersom en del BOD reduceras i förbehandlingen och även genom denitrifikation när nitraten bryts ned så sänks tillgången på kolkälla i ledningsnätet vilket som tidigare beskrivits sänker hastigheten på svavelvätebildningen om nitraten skulle förbrukas helt.

Alternativet där förbehandlingen utnyttjas maximalt benämns max nitratproduktion. I det alternativet leds hela flödet in till förbehandlingen, 400 m³/d (medelflöde) vid maximal belastning motsvarande 2 000 pe (70 g BOD₇/p.d.). De biologiska volymerna fylls i båda alternativen till 50 % med bärare av typ K5 eller motsvarande som har en specifik yta på 800 m²/m³. I alternativet lägsta nitratbehov utnyttjas en volym på 34 m³ för biologisk rening och i max nitratproduktion två volymer på sammanlagt 124 m³. I Tabell 7.8 sammanfattas de antaganden och beräkningar som gjorts för de båda alternativen lägsta nitratbehov och max nitratproduktion.

	Enhet	Lägsta nitratbehov	Max nitratproduktion
Belastning	pe (70 g BOD ₇ /p.d)	2 000	2 000
Utnyttjad biologisk volym	m ³	34	124
Andel av flödet till förbehandlingen	%	25	100
Medelflöde till förbehandlingen	m ³ /h	4,2	16,7
Maxflöde till förbehandlingen	m ³ /h	10	30
Uppehållstid i MBBR (vid medelflöde)	h	8,2	7,4
Inkommande BOD ₇ till förbehandlingen	kg/d	35	140
Inkommande N-tot till förbehandlingen	kg/d	7	28
Erfordrad dosering av kalciumnitrat	l/d	41	41
Motsvarande mängd NO ₃ -N	kg/d	4,6	4,6
Belastning på MBBR-volymen BOD	g/m ² .d	2,6	2,8
Belastning på MBBR-volymen N-tot	g/m ² .d	0,51	0,56
Maxproduktion NO ₃ -N (23 % assimilation)	kg/d	5,4	22
Nitrifikationshastighet vid 90 % nitrifikation	g/m ² .d	0,36	0,39
Nitratproduktion vid 90 % nitrifikation	kg/d	4,9	20

Tabell 7.8

Antaganden och beräkningar för Jälla som förbehandlingsanläggning.

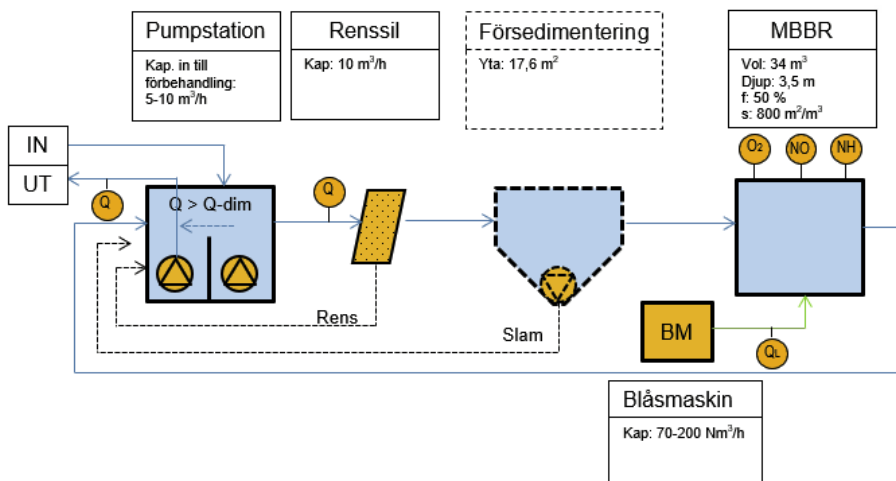
I båda fallen (lägsta nitratbehov samt max nitratproduktion) är den specifika BOD₇- och N-belastningen och uppehållstiden vid medelflöde snarlika. I alternativet max nitratproduktion leds hela flödet in till förbehandlingen. I en sådan situation skulle belastningen på den biologiska volymen bli 2,8 g BOD₇/m²·d vilket är nära de 3 g BOD₇/m²·d som bedöms vara den maximala belastningen för att uppnå långtgående nitrifikation. Upphållstiden i MBBR-bassängen blir 7,4 h vid medelflöde vilket är betydligt längre än de 4 timmar som bedömts vara den undre gränsen för dimensioneringen. BOD₇ kommer då att reduceras till låga koncentrationer och den lösta halten BOD₇ som finns tillgängligt på ledningsnätet efter förbehandlingen kan antas vara försumbar. Det innebär att inga förutsättningar finns för varken uppkomst av svavelväte eller denitrifikation innan kolkälla finns tillgängligt vilket sker när nytt avloppsvatten tillförs. För detta praktikfall tillkommer spillvatten från motsvarande 70 pe efter 2,4 km och efter ytterligare 2,2 km tillkommer 500 pe. Längre nedströms på ledningsnätet tillkommer ytterligare belastning från Uppsala som bidrar med mer kolkälla. När vattnet då innehåller nitrat, som i detta fall när det förbehandlats, så förhindras svavelväteproduktion och istället kan denitrifikation ske.

Om de 20 kg nitrat som producerats i alternativet max nitratproduktion denitrifieras på ledningsnätet innebär det en minskad kvävebelastning till Kungsängsverket motsvarande ca 1 500 pe/d (14 g N/p·d.). Med en förbrukning av kolkälla på 3–4 kg BOD₇/kg N blir minskningen av BOD₇ motsvarande ca 1 000 pe/d. Utöver det har BOD₇ motsvarande ca 2000 pe redan avlägsnats i förbehandlingen vilket ger en total minskning på ca 3 000 pe till Kungsängsverket. Eftersom betydligt mer BOD₇ än kväve (i pe) reduceras genom förbehandling och denitrifikation på ledningsnät kommer BOD₇:N-förhållandet in till det centrala verket att sänkas. I detta fall är sänkningen marginell då en bråkdel av allt vatten in till Kungsängsverket skulle förbehandlas. Så länge det finns ett överskott av organiskt material i det inkommande vattnet till det centrala verket blir sänkningen av BOD:N kvoten inget problem men om överskottet är litet kan förbehandlingen leda till kolkällebrist på det centrala verket.

7.2.3 Processutformning – lägsta nitratbehov

Dimensioneringsalternativet Lägsta nitratbehov producerar vid full belastning ca 5 kg nitrat per dag. I detta alternativ behandlas högst ca 240 m³ avloppsvatten per dag. Nedan följer en kort beskrivning av anläggningsdelarna, en mer detaljerad beskrivning finns i bilaga A. Ett processschema över dimensioneringsalternativet presenteras i Figur 7.2.

I rapporten har antagits att det är tillräckligt med en pumpstation som är uppdelad i två fack enligt processchemat. Försedimentering är inritat som option men antas inte behövas och alla beräkningar är därför exklusive försedimentering.



Figur 7.2

Processchema över dimensioneringsalternativ Jälla Lägsta nitratbehov. I blått visas befintligt och i gult nytt.

Dagens pumpstation vid Jälla delas upp i två fack där vatten från upptagningsområdet kommer in till ett fack och ett flöde på maximalt på 10 m³/h pumpas in till förbehandlingsanläggningen. Om flödet in till pumpstationen överskrider maxflödet rinner det med ett överfall till nästa fack (utloppsfacket) i stationen varifrån det pumpas ut på ledningsnätet till Kungsängsverket.

Vattnet som pumpas in till anläggningen grovrenas i en renssil med en håldiameter på 2–3 mm. Det avskilda rensset leds till utloppsfacket i pumpstationen för att ledas till det centrala reningsverket.

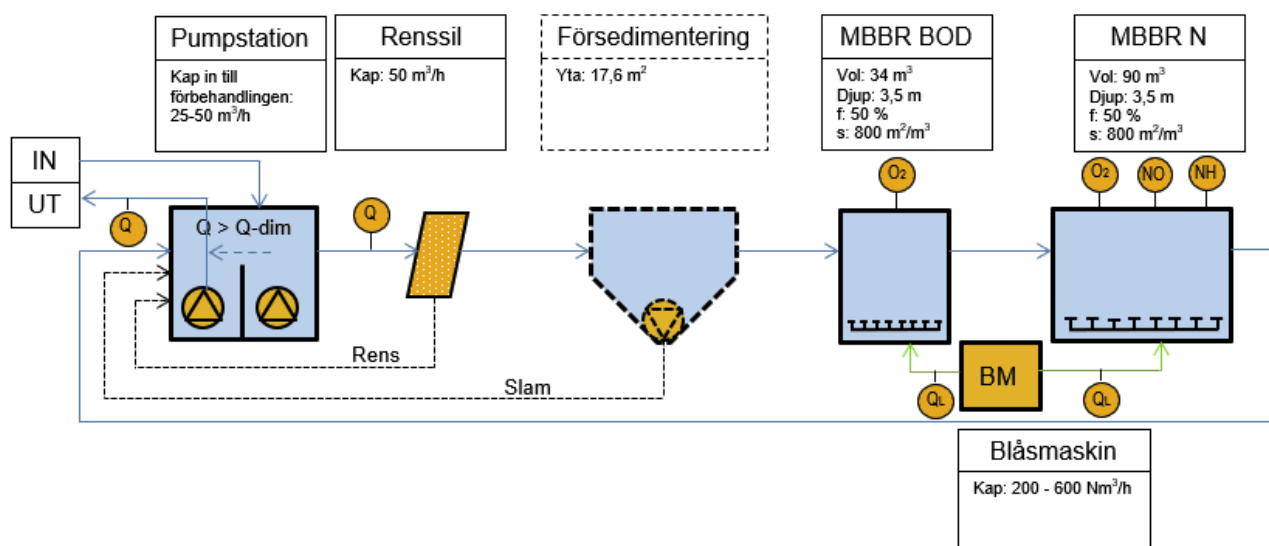
En befintlig sedimenteringsbassäng kan användas för att minska belastningen på den biologiska reningen i efterföljande MBBR-bassäng. Slam tas i så fall ut och pumpas från utloppsfacket i pumpstationen till Kungsängsverket. Sedimenteringen är inte strikt nödvändig och har inte inkluderats i beräkningar av belastningar och inte heller i kostnadskalkylerna.

Vattnet behandlas biologiskt i en volym på 34 m³ som fylls till 50 % med rörligt bärarmaterial av typ K5 eller liknande typ med en specifik yta på 800 m²/m³. En blåsmaskin förser via ett grovblåst luftningssystem vattnet med syre. Silburar med mer intensiv luftning längs burarna installeras. Från MBBR-bassängen rinner vattnet till utloppsfacket i pumpstationen och pumpas ut på ledningsnätet mot Kungsängsverket.

Den instrumentering som visas i processchemat är förslag och kan skalas upp eller ned beroende på vad VA-organisationen har för behov av övervakning.

7.2.4 Processutformning – max nitratproduktion

Dimensioneringsalternativet Max nitratproduktion producerar vid full belastning ca 20 kg nitrat per dag. I detta alternativ behandlas allt avlopp vid torrväderflöde i förbehandlingsanläggningen, ca 400 m³/d i medel. Ett processchema över dimensioneringsalternativet presenteras Figur 7.3 följt av en kort beskrivning av anläggningen. En mer detaljerad beskrivning finns i bilaga A.



Figur 7.3

Processchema över dimensioneringsalternativ Jälla Max nitratproduktion. I blått visas befintligt och i gult nytt.

Vid torrväderflöde pumpas hela flödet från Jälla upptagningsområde in till anläggningen från inloppsfacket i pumpstationen som är uppdelad i två fack. Grovrening sker genom en renssil med 2–3 mm håldiameter. Rensset leds tillbaka till utloppsfacket i pumpstationen och pumpas till Kungsängsverket. En befintlig sedimenteringsbassäng kan användas för partikelavskiljning men är inte strikt nödvändig och har därför inte inkluderats i beräkningar och kostnadsuppskattningar. Slam från en eventuell sedimentering pumpas från utloppsfacket i pumpstationen till Kungsängsverket. Vattnet leds efter silen eller en eventuell sedimentering till en första MBBR-bassäng på 34 m³ som fylls till 50

% med rörliga bärare av typ K5 eller liknande med en specifik yta på 800 m²/m³. En andra bassäng på 90 m³ utformas på samma sätt med 50 % fyllnad av K5 bärare eller liknande. Bassängerna har grovblåsiga luftarsystem och silar med mer intensiv luftning längs burarna. En blåsmaskin förser vattnet i de båda bassängerna med syre. Efter den biologiska reningen rinner vattnet till utloppsfacket i pumpstationen och pumpas ut på ledningsnätet mot Kungsängsverket. Den instrumentering som visas i processchemat är förslag och kan anpassas efter VA-organisationens behov.

7.2.5 Förutsättningar på Kungsängsverket

Idag leds vattnet från Jälla upptagningsområde till Kungsängsverket i Uppsala för rening. Verket är dimensionerat för mottagande av 200 000 pe och omfattas av kväverening. Den biologiska reningen sker i aktivslambassänger och fördenitrifikation tillämpas (stegbeskickning).

Ett försämrat BOD:N-förhållande till följd av förbehandlingen skulle kunna påverka effektiviteten i denitrifikationen negativt men effekterna i detta fall kommer att vara små då endast en mycket liten andel av det totala flödet till Kungsängsverket förbehandlas.

7.2.6 Kostnadskalkyl – lägsta nitratbehov

För de två alternativen till förbehandling i Jälla har kalkyler tagits fram för kostnader och besparingar till följd av biologisk förbehandling. Två investeringskostnader har tagits fram där den ena är en beräkning av vid vilken investering som break-even mellan besparingar och utgifter uppnås och den andra är en kostnadsuppskattning av vilken utrustning och vilka ombyggnader som krävs för att anpassa Jälla till förbehandlingsanläggning. Kostnadsuppskattningen har tagits fram av Bengt Mattsson på SWECO Environment.

Kostnaderna för förbehandling delas upp i driftkostnader, underhållskostnader och investering för ombyggnad till förbehandlingsanläggning. En mer utförlig metodbeskrivning finns i bilaga B tillsammans med resultat av de kostnadskalkyler som gjorts till rapporten. Driftkostnaderna för förbehandlingsanläggningen inkluderar energiförbrukning för luftning och pumpning samt personalkostnad för drift och underhåll av anläggningen. Kapitalkostnader för investeringarna beräknas med annuitetsmetoden.

För alternativet där lägsta nitratbehov där 5 kg nitrat produceras i förbehandlingsanläggningen och sedan denitrifieras i ledningsnätet presenteras kostnaderna i Tabell 7.9. Investeringskostnaderna redovisas som break-even och för den kostnadsuppskattning som gjorts. Driftkostnaderna och besparingarna är samma för båda beräkningarna. Besparingarna beräknas uppgå till 205 000 kr/år för utebliven dosering av kalciumnitrat och minskade behandlingskostnader för kvävereningen. Driftkostnaderna för förbehandlingsanläggningen uppgår till 89 000 kr/år.

För att beräkna break-even vilket innebär hur mycket som kan användas till investeringar i anläggningen dras driftkostnaderna bort från besparingarna vilket resulterar i 108 000 kr/år. Beloppet ska täcka investeringen beräknad som kapital- och underhållskostnader. Investeringskostnaden har itererats fram så att utgifterna och besparingarna blir lika stora.

Förbehandling Jälla ARV		
	Break-even	Uppskattad investering
Investeringskostnad	1,24	2,61 MSEK*
Driftkostnader	0,089	0,089 MSEK/år
Underhållskostnader	0,025	0,052 MSEK/år
Kapitalkostnader	0,092	0,197 MSEK/år
Totalt	0,205	0,338 MSEK/år

* Uppskattat av Sweco Environment

Tabell 7.9

Kostnader förbehandling Jälla lägsta nitratbehov i break-even punkt och med uppskattad investering.

Med investeringskostnader på 1,24 MSEK uppnås break-even och kapitalkostnaden blir 92 000 kr/år och underhållskostnaderna 25 000 kr/år. Tillsammans med driftskostnaden på 89 000 kr/år uppgår summan till 205 000 kr/år vilket motsvarar den beräknade besparingen.

Om den årliga kostnaden på 0,205 MSEK för break-even slås ut på de ca 1,8 ton N som reduceras årligen blir specifika kostnaden 110 kr/kg N. Då renas även ca 20 ton BOD/år samt att uppkomsten av svavelväte förebyggs.

Enligt kostnadsuppskattningen från Sweco beräknats investeringen uppgå till 2,61 MSEK för förbehandling lägsta nitratbehov. Kapital- och underhållskostnaderna blir då 249 000 kr/år. Tillsammans med de beräknade driftkostnaderna blir den totala årliga kostnaden 338 000 kr. Det resulterar i en kväverenkingskostnad på knappt 190 kr/kg N.

Den uppskattade investeringen överskrider den investeringskostnad på 1,24 MSEK som beräknades för att uppnå break-even. Investeringen i en förbehandling enligt detta alternativ tycks därmed inte vara lönsam.

7.2.7 Kostnads kalkyl – max nitratproduktion

I detta avsnitt presenteras kostnads kalkyler för förbehandling vid Jälla där de tillgängliga volymerna utnyttjas för en maximal nitratproduktion på 20 kg NO₃-N/d och fullständig denitrifikation sker på ledningsnätet. Även för detta alternativ finns en investeringskostnad för break-even och en kostnadsuppskattning.

Besparingarna till följd av förbehandling beräknas uppgå till 845 000 kr/år för utebliven dosering av kalciumnitrat och minskade behandlingskostnader (se bilaga B). Här förutsätts att om ingen förbehandling skulle finnas, kalciumnitrat skulle behövas doseras i samma mängd som produceras i förbehandlingen för att undvika svavelväteproblem. Driftkostnaderna för anläggningen uppgår till 175 000 kr/år.

När driftkostnaderna har dragits av från besparingarna återstår 661 000 kr/år som kan användas till kapital- och underhållskostnad för att uppnå nollpunkten. Resultaten av kostnads kalkylerna redovisas i Tabell 7.10

Förbehandling Jälla ARV		
	Break-even	Uppskattad investering
Investeringskostnad	7,09	4,38 MSEK*
Driftkostnader	0,175	0,175 MSEK/år
Underhållskostnader	0,142	0,088 MSEK/år
Kapitalkostnader	0,529	0,326 MSEK/år
Totalt	0,845	0,589 MSEK/år

* Uppskattat av Sweco Environment

Tabell 7.10

Kostnader förbehandling Jälla max nitratproduktion i break-even punkt och vid uppskattad investering.

Med investeringskostnader på 7,09 MSEK blir kapitalkostnaden 529 000 kr/år och underhållskostnaden 142 000 kr/år. Tillsammans med driftskostnaden på 175 000 kr/år uppgår summan till 845 000 kr/år vilket motsvarar den beräknade besparingen och break-even uppnås.

Om den årliga kostnaden på ca 0,845 MSEK slås ut på mängden kväve som avlägsnas (7,3 ton/år) hamnar kostnaden omkring 120 kr/kg N. Den årliga kostnaden avser även rening av 80 ton BOD/år samt att svavelväteproduktion förhindras på ledningsnätet.

Enligt kostnadsuppskattningen erfordras 4,38 MSEK för att anpassa Jälla till förbehandling enligt dimensioneringsalternativet max nitratproduktion. Det är en betydligt lägre investeringskostnad än den som itererades fram till nollpunkten vilket gör att förbehandlingen i detta fall kan bedömas vara lönsam. När kapital- och underhållskostnader för investeringen beräknas landar de på 414 000 kr/år. Tillsammans med driftkostnaderna summeras det till 588 000 kr/år. Kostnaden för kvävereningen blir då ca 80 kr/kg N.

8 Diskussion

Biologisk förbehandling kan utnyttjas för följande ändamål (antingen eller, eller en kombination av dessa ändamål):

1. Produktion av nitrat för att förebygga uppkomst av svavelväte i stället för dosering av kalciumnitrat
2. Produktion av nitrat för att möjliggöra denitrifikation på efterföljande ledningsnät. Ledningsnätet utnyttjas därmed även som en processreaktor för denitrifikation i stället för enbart som transportvolym.

En förbehandlingsanläggning blir mest attraktiv/lönsam om förhållandevis stora mängder nitrat kan produceras (behandlingsvolymerna utnyttjas maximalt) samtidigt som båda målen ovan kan uppnås. Detta behöver studeras från fall till fall.

På ledningsnätsträckor med svavelväteproblem är det en vanlig metod att dosera kalciumnitrat för att förebygga uppkomst av den illaluktande och hälsofarliga gasen. Syftet med kalciumnitrat är att tillgängliggöra nitrat för att skapa en anoxisk miljö istället för den anaeroba miljö där svavelväte kan bildas. Man kan lika väl producera egen nitrat genom biologisk förbehandling enligt den metodik som denna rapport beskriver. Den litteraturstudie som har genomförts inom ramen för projektet har visat att det gjorts studier där denitrifikation på ledningsnätet både har modellerats och testats i praktiken genom dosering av kalciumnitrat. Resultaten visade att denitrifikation kan uppnås och att metoden fungerar effektivt för att hämma uppkomsten av svavelväte. Denitrifikationshastigheterna låg omkring 10 g/m^3 ledningsvolym, vilket ligger i samma storleksordning som hastigheten som beräknas vid användning av tumreglerna för dosering av kalciumnitrat. Erfarenheter om att tillämpa biologisk förbehandling i fullskala för att producera egen nitrat och erhålla denitrifikation på ledningsnätet tycks däremot saknas.

De praktikfall som valts för projektet, Fjällbacka och Jälla, har utgjort ett bra underlag för utvärdering av förutsättningarna för förbehandling och bidragit till viktiga lärdomar.

Fjällbacka

Utredningen av att anpassa Fjällbacka ARV till en förbehandlingsanläggning visar på att med den framtida belastningen motsvarande 2 000 pe kan långtgående nitrifikation förväntas vid förbehandling av 50 % av flödet i en av de biologiska volymerna.

Vid den framtida belastningen motsvarande 2 000 pe kan ca 10 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ produceras i den biologiska förbehandlingen som pumpas ut på ledningsnätet. Beräkningar av nitratbehovet på ledningsnätet för att undvika svavelväteproduktion visar att vid dosering av kalciumnitrat skulle drygt 20 kg nitrat behövas. Det är betydligt högre än vad som produceras i förbehandlingen enligt alternativet där ett fack luftas. Vi ska dock betänka att svavelvätebildningen även hämmas av att tillgången på lättnedbrytbart organiskt material har begränsats när det bryts ned i förbehandlingen. Det kan i sin tur även begränsa denitrifikationen på ledningsnätet. För att förhindra svavelväteproduktion så är bristen på tillgängligt organiskt material och ett litet överskott på nitrat positivt eftersom det då finns två förutsättningar för svavelväteproduktion som inte uppfylls. Däremot så utnyttjas då inte den fulla potentialen av de gynnsamma effekter som förbehandling kan ha för det centrala reningsverket (lägre kväverenkinskostnader).

Genom att denitrifikationen begränsas så finns nitrat kvar i det vatten som kommer in till det centrala reningsverket. Optimalt är om allt nitrat precis hunnit omvandlas till kvävgas så att denitrifikationen inte behöver ske på reningsverket.

Kostnadskalkylen visar att för dimensioneringsalternativet med 2 000 pe och 50 % till förbehandlingen så uppnås nollpunkten, där besparingarna motsvarar utgifterna för

förbehandling, när investeringarna uppgår till 5,5 MSEK. För de åtgärder som skulle behövas för att få till biologisk förbehandling på Fjällbacka bedöms investeringskostnaden bli ca 4,4 MSEK. Förbehandlingen bedöms i det fallet vara ekonomiskt fördelaktig. Marginalen är dock inte så stor vilket gör kalkylen känslig om något av antagandena skulle vara felaktiga. Känslighetsanalysen (bilaga C) visar på att ökat personalbehov, behov av kalciumnitrat trots förbehandlingen, och ökad underhållskostnad påverkar kalkylen negativt men inte i en sådan omfattning att förbehandlingen skulle bli olönsam. Naturligtvis innefattar även den av Sweco gjorda investeringskalkylen en del osäkerheter som kan slå uppåt och nedåt.

Personalbehovet kan initialt bli något större när förbehandlingen ska trimmas in men när stabil drift har uppnåtts så bedöms personalbehovet maximalt uppgå till 10 % av en heltidstjänst eller till och med lägre. Det bedöms att inget kalciumnitrat ska behöva doseras eftersom det finns ett överskott av nitrat på ledningsnätet i kombination med att tillgången på biologiskt nedbrytbart material är begränsat och därmed även produktionen av svavelväte. Om en liten dosering ändå sker, skulle kalkylen fortfarande gå på ett ut med en dosering av kalciumnitrat på 50 l/d om investeringen är i storleksordningen 4,4 MSEK. Viss negativ påverkan har även energiförbrukningen för luftningen. Om de antaganden som använts vid beräkningarna av energikostnaderna för luftningen är för positiva så skulle driftkostnaderna kunna öka. Med antaganden om 6 mg O₂/l och 3 % överföring av syre per m (jämfört med 4 mg/l och 4 %) så minskar investeringsutrymmet vid break-even till ca 5 MSEK. Det är dock fortfarande högre än vad har kostnadsuppskattats anläggningen till och förbehandling torde fortfarande vara lönsamt.

De beräknade besparingarna påverkas i huvudsak av om den uteblivna doseringen av kalciumnitrat inte är så stor som antagits samt om de specifika kväverenkingskostnaderna på det centrala reningsverket är lägre än antagits. Med de rådande förhållandena på Bodalens ARV är det dock mer sannolikt att den specifika kväverenkingskostnaden är underskattad. Detta eftersom det råder kapacitetsbrist på verket och utökad belastning riskerar att medföra extra investeringar om inte verket avlastas genom t ex biologisk förbehandling.

Den biologiska behandlingen bedöms kunna belastas högre vilket beskrevs i dimensioneringsalternativ 3 där belastningen motsvarar 3 000 pe och 100% av flödet leds in till förbehandlingen. Det är ett helt hypotetiskt scenario som inte förväntas inträffa för just Fjällbacka utan har tagits fram för att visa på potentialen av en förbehandlingsanläggning på ett annat ställe där dessa förhållanden skulle råda. Vid en sådan belastning kan ca 30 kg NO₃-N/d produceras. Med ett hypotetiskt tillskott av spillvatten nedströms på ledningsnätet som bidrar med minst 100 kg löst BOD/d så kan hela mängden NO₃-N avlägsnas från vattnet vid fullständig denitrifikation i ledningsnätet. Kostnadskalkylen visar att de minskade behandlingskostnaderna på Bodalens ARV i det fallet ger utrymme för en investering i förbehandling på ca 11 MSEK. Den uppskattade investeringskostnaden är 5,3 MSEK vilket innebär att förbehandlingen skulle innebära en tydlig besparing i ett sådant fall. Ju större besparingar desto större utrymmet för investering blir.

I båda fallen ger en nitrifierande förbehandlingsanläggning med efterföljande denitrifikation på ledningsnätet således besparingar jämfört med att dosera kalciumnitrat, särskilt med tanke på att det centrala reningsverket redan idag är högt belastat och kan behöva byggas ut om Fjällbacka ansluts utan förbehandling.

Något som inte berörts är att i praktikkallet Fjällbacka planeras en sjöledning för att pumpa vattnet från Fjällbacka till Kämpersvik. När svavelväte behandlas med kalciumnitrat så kan det få effekten att den kvävgas som bildas vid denitrifikationen orsakar att sjöledningar flyter upp. Även med biologisk förbehandling finns denna risk eftersom målet är att få denitrifikation på samma sätt som med kalciumnitrat. Med en korrekt dimensionerad ledning som är 100 % viktad för att hållas på plats på botten så ska gas i ledningen inte kunna orsaka problem. Om risk finns att gasbildning i sjöledningen skulle kunna orsaka problem så kan en större del av flödet behandlas biologiskt

i förbehandlingen. Då minskar gasbildningen genom att denitrifikationshastigheten i den första ledningssträckan (sjöledning) begränsas eftersom BOD7 och COD till stor del brutits ned. BOD7:N-förhållandet i det inkommande vattnet till det centrala verket kan dock bli för lågt för kväverening beroende på det specifika fallet.

I båda de utredda dimensioneringsalternativen för Fjällbacka ARV bedöms svavelväte kunna förhindras på ledningsnätet. Det sker genom att tillgodose att nitrat finns tillgängligt i ledningarna i kombination med att koncentrationen av lättnedbrytbart organiskt material minskar och därmed också hastigheten på svavelväteproduktionen. För att få ut maximalt av förbehandlingen i form av kväverening och en så gynnsam kostnadskalkyl som möjligt är det viktigt att förbehandlingsanläggningen kan belastas högt och att tillgången på löst organiskt material inte begränsar denitrifikationen på ledningsnätet. Då kan den största vinsten göras både ekonomiskt och miljömässigt.

Även med de norska dimensioneringsreglerna skulle utfallet för båda alternativen bli positivt. För alternativ 2 är kalkylresultatet i princip detsamma som den redovisade då enbart fyllnadsgraden skulle höjas från 50 till 55 % vilket påverkar kalkylen marginellt. För alternativ 3 skulle även den tredje delbassängen fyllas med bärare och luftas. Detta skulle höja investeringsvolymen med upp till 1 Mkr och även höja driftkostnaderna något men oavsett skulle break-even punkten fortfarande hamna märkbart över den uppskattade investeringen.

Tanums kommun har i projektering av ombyggnad av Fjällbacka ARV till utjämning/bräddvattenrening förberett verket för att lätt kunna komplettera det med biologisk förbehandling i framtiden. Avgörande för Tanum är om Fjällbacka inkl. biologisk förbehandling fortfarande kan betraktas som en (utökad) pumpstation eller om ett separat tillstånd behövs för den biologiska förbehandlingen. I det första fallet kan kommunen komma att bygga om Fjällbacka till biologisk förbehandling särskilt om kapacitetsproblemet på det centrala verket uppstår efter anslutning av Fjällbacka och/eller om allvarliga svavelväteproblem uppkommer på överföringsledningen och längre nedströms.

Jälla

För att förebygga svavelvätebildning på den utvalda ledningsnätssträckan från Jälla in mot Kungsängsverket motsvarar den erforderade doseringen av kalciumnitrat ca 4,6 kg NO₃-N/d. Två dimensioneringsalternativ har tagits fram för anläggningen där det ena syftar till att endast producera den mängd nitrat som behövs för att förebygga svavelvätebildning (5 kg NO₃-N/d) på den mest problematiska ledningssträckan och det andra syftar till att få en så hög nitratproduktion som möjligt. På det nedlagda reningsverket i Jälla finns tillräckliga volymer för att leda in hela flödet och förbehandlingsanläggningen kan med denna belastning producera maximalt ca 20 kg NO₃-N/d. Då blir BOD7- och kvävebelastningen på de biologiska volymerna nära nog fullt utnyttjade för att kunna erhålla långtgående nitrifikation.

För praktikfallet Jälla råder andra förutsättningar än för Fjällbacka. Jälla ligger inom upptagningsområdet för det stora Kungsängsverket i Uppsala som har tillstånd att ta emot 200 000 pe. Det innebär att nedströms Jälla tillkommer stora mängder spillvatten på ledningsnätet som innebär att det finns tillräckligt med löst BOD/COD för denitrifikation. Uppskattningarna av investeringskostnaderna som tagits fram av Sweco har jämförts med de beräkningar av driftkostnader och besparingar som gjorts av H2OLAND.

Investeringen som kan göras för lägsta nitratbehov innan nollpunkten uppnås beräknades till ca 1,2 MSEK. Det är drygt 1 MSEK lägre än den investeringskostnad som uppskattades. I detta fall är den biologiska förbehandlingen således för liten för att bli lönsam. För alternativet max nitratproduktion ligger däremot den beräknade investeringen ca 3 MSEK under den beräknade investeringen vid nollpunkten och en biologisk förbehandling är således mycket lönsam med de antaganden som gjorts.

Den högre produktionen av nitrat gör att den beräknade besparingen av kalciumnitrat blir högre. För alternativet lägsta nitratproduktion behövdes på den undersökta

sträckan 5 kg NO₃-N för att tillgodose samma nitratmängd som vid en kalciumnitratdoser. Som beskrevs i början av detta avsnitt så tillhör Jällas ledningsnät ett stort upptagningsområde där belastning tillkommer nedströms den undersökta ledningssträckan. Bedömningen är att det även på efterföljande ledningssträckan sannolikt finns viss svavelväteproblematik och att kalciumnitrat även skulle kunna utnyttjas där. Det gör att även om det endast behövs 5 kg NO₃-N på ledningssträckan omedelbart nedströms Jälla (motsvarande nitratmängd som vid en kalciumnitratdoser) så finns det en vinst i att producera mer för ett behov längre nedströms. Om ett nitratbehov för svavelvätebestridning inte skulle finnas minskar besparingsutrymmet och anledningen för en förbehandlingsanläggning är då enbart för att kunna utnyttja ledningsnätet som en denitrifikationsvolym.

En högre nitratproduktion ger även potential för en högre kväveavskiljning i ledningsnätet som minskar belastningen på Kungsängsverket. Kväverenkinsningskostnaden har antagits till 70 kr/kg N med rapporter från IVL och Naturvårdsverket som underlag (Ek et al. 2003; Naturvårdsverket, 2009). Litteraturen visar på stora variationer i kväverenkinsningskostnader mellan olika reningsverk. För Kungsängsverket som är ett stort reningsverk dimensionerat för 200 000 pe kan 70 kr/kg N vara ett högt satt antagande. De kostnader som angivits i rapporterna varierar mellan ca 40 kr/kg N upp till 1 000 kr/kg N eller än högre.

I båda dimensioneringsalternativen för Jälla kan svavelväte förebyggas på ledningsnätet. Det är däremot först när nitrat produceras i högre utsträckning och ledningsnätet utnyttjas för en högre kväveavskiljning som en förbehandlingsanläggning förväntas löna sig ekonomiskt. Uppsala Vatten och Avfall har efter en inledande studie om förbehandling på Jälla (som i anpassad form använts i denna rapport) beslutat att avvakta med projektet. Kalkylen ansågs då innebära en del osäkerheter och investeringen utgjorde en för stor risk.

Kostnader

I Tabell 8.1 visas en sammanställning över resultaten av kostnadskalkylerna för Fjällbacka och Jälla. Två investeringskostnader anges där den ena är en faktisk kostnadsuppskattning av vilken utrustning och vilka anpassningar som behöver genomföras på respektive anläggning för att få till en biologisk förbehandling och den andra är en beräknad investering vid break-even. Om den faktiska investeringen är lägre än break-even (nollpunkten) är biologisk förbehandling lönsam och om den är högre är det, ur en kostnadsaspekt, mer lönsamt att dosera kalciumnitrat i stället. Betänk att kostnadsuppskattningen är baserad på många antaganden och att slutsatserna kan ändras om förutsättningarna anpassas.

Sammanställning					
		Fjällbacka		Jälla	
		2 000 pe 50 % av flödet	3 000 pe 100 % av flödet	Lägst nitratbehov	Max nitratproduktion
Förbehandling					
Uppskattad investering*	MSEK	4,36	5,28	2,61	4,38
Investering Break-even	MSEK	5,50	11,2	1,24	7,09
Driftkostnad	MSEK/år	0,119	0,216	0,089	0,175
Underhållskostnad	MSEK/år	0,110	0,224	0,025	0,142
Kapitalkostnad	MSEK/år	0,410	0,836	0,092	0,529
Totalt	MSEK/år	0,639	1,28	0,205	0,845
Besparing					
Kalciumnitratdosering	MSEK/år	0,389	0,525	0,080	0,345
Minskade behandlingskostnader	MSEK/år	0,250	0,751	0,125	0,501
Totalt	MSEK/år	0,639	1,28	0,205	0,845
Kväverenkingskostnad	kr/kg N	180	120	110	120

* Uppskattat av Sweco Environment

Nollpunktsberäkningarna för Fjällbacka och Jälla ARV är inte direkt jämförbara. För Jälla har förbehandlingens nitratproduktion likställts med den kalciumnitratdosering som skulle doseras på ledningsnätet. För Fjällbacka ARV har det gjorts i alternativ 3 (högbelastning) men inte i alternativ 2 (lågbelastning). I det fallet (alt. 2) har hänsyn tagits till BOD-reduktionen i förbehandlingen. Det innebär att en mindre mängd nitrat behöver produceras i förbehandlingen än den beräknade doserade nitratmängden i fall av kalciumnitrat.

Känslighetsanalysen (bilaga C) som gjorts visar på att ökat personalbehov, högre energiförbrukning än beräknat och eventuellt kompletterande behov av kalciumnitratdosering har märkbar inverkan på kostnaderna för förbehandlingen. Vid rätt dimensionering ska en extra kalciumnitratdosering dock ej behövas samtidigt som vi bedömer att vi snarare överskattat personalbehovet något (vilket skulle utöka investeringsutrymmet). De parametrar som har negativ inverkan på besparingarna är en lägre dosering av kalciumnitrat (om ej förbehandling tillämpas) och en lägre behandlingskostnad per kg kväve på det centrala verket. Denna behandlingskostnad per kg kväve är en av de största osäkerheterna i kalkylerna. Varje kalkyl bör därför utvärderas mot bakgrund av rådande förhållanden på det mottagande centrala reningsverket.

För praktikfallet Fjällbacka där Bodalens ARV är mottagande reningsverk är kostnaden sannolikt underskattad och en större besparing skulle kunna antas. Detta eftersom en ökad inkommande belastning ställer krav på att utöka kvävereningen på ett verk som redan har begränsad kapacitet. För praktikfallet Jälla som har ett av Sveriges största reningsverk som mottagande verk är situationen däremot omvänd. Där kan besparingen i form av den förväntade kväverenkingskostnaden vara överskattad. På ett större reningsverk finns ofta mer möjligheter till optimering av processen utan att det krävs lika stora ingrepp och därmed kostnader som på ett mindre verk. Det mindre alternativet, lägsta nitratproduktion Jälla, var enligt kostnads-kalkylerna inte lönsamt så där gör en lägre antagen kväverenkingskostnad ingen skillnad för beslutet (om endast kostnaden bedöms). I alternativet max nitratproduktion fanns hög marginal i kalkylen men om den antaga kväverenkingskostnaden sänks från 70 till 40 kr/kg kväve blir investering vid break-even i samma storleksordning som kostnadsuppskattningen för förbehandlingen men a o en biologisk förhandling innebär då inga ekonomiska fördelar längre.

Tabell 8.1

Sammanställning kalkyl: Den uppskattade investeringen samt investeringen och driftkostnader i break-even punkten redovisas.

9 Slutsatser

Biologisk förbehandling på ledningsnätet bedöms vara en metod som kan hindra uppkomst av svavelväte samtidigt som det har flera andra positiva effekter såsom reduktion av kväve och BOD på ledningsnätet. Förstudien har bidragit till ökade kunskaper om var en förbehandlingsanläggning lämpligen placeras på ledningsnätet och vilka belastningsförhållanden som bör råda för att erhålla en större effekt av behandlingen och således större besparing. Förbehandling är generellt mest ekonomiskt fördelaktig om förbehandlingen belastas så högt som möjligt samtidigt som en långtgående nitrifikation kan erhållas (nitratproduktion maximeras) och samtidigt som det finns ett större ledningsnät nedströms mot det centrala reningsverket så att den producerade nitraten kan denitrifieras på ledningsnätet.

Litteraturstudien visar på att det saknas praktisk erfarenhet av den här typen av tillämpning. Det vore därför lärorikt att studera en fullskaleanläggning där effekterna av en förbehandling kan utvärderas i praktiken. Riskerna med att pröva denna idé bedöms vara små då processerna i princip är exakt desamma som vid en dosering av kalciumnitrat som tillämpas på otaliga ställen i Sverige. I samband med en fullskaleanläggning kan man även utreda om ett separat tillstånd erfordras för en biologisk förbehandlingsanläggning eller ej. Vidare kan dimensioneringsreglerna närmare fastställas med hjälp av en fullskaleanläggning. I denna rapport presenteras två dimensioneringssätt, en mera aggressiv dimensionering baserad på fullskaleresultat från några anläggningar längs västkusten och ett mera försiktigt alternativ baserat på norska dimensioneringsregler. En fullskalestudie kommer att leda till mera precisa dimensioneringsregler.

I rapporten ligger mycket fokus på kostnaderna och att förbehandlingen ska innebära en ekonomisk besparing. Det ska dock poängteras att en biologisk förbehandling även har värden utöver de ekonomiska som kan vara viktiga att betänka och väga in i bedömningen. Förbehandlingen bidrar till ett cirkulärt resursperspektiv genom att ämnen i avloppsvattnet kan utnyttjas för att ersätta en kemiskt framställd produkt och ett minskat behov av bassänger på det centrala reningsverket. Ledningsnätet utnyttjas inte enbart som transportvolym men även som en aktiv processvolym för denitrifikation.

Referenser

- Bentzen, G., Smith, A.T., Bennet, D., Webster, N.J., Reinholt, F., Sletholt, E., Hobson, J. (1995). Controlled dosing of nitrate for prevention of H₂S in a sewer network and the effects on the subsequent treatment process. *Water Science and Technology*, vol. 31 (7), ss. 293-302.
- Bäckström, M., Johansson, D., Marklund, S., Ylinenpää, J-E. (2010). Luftspolning av tryckavloppsledning för bekämpning av svavelväte (2010-01) Stockholm: Svenkt Vatten AB.
- Cheremisinoff, N.P.. 1996. *Biotechnology for waste and wastewater treatment*. Westwood: Noyes Publications.
- Ek, M., Olshammar, M., Rahmberg, M., Bark, U. (2003). Underlag för val av policy för krav på kväverening i avloppsreningsverk i södra Sverige. (Rapport B1522). Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet AB. <https://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb-of58b743c/1445515532904/B1522.pdf> (Hämtad 2020-04-07)
- Hvitved-Jacobsen, T. (2002). *Sewer Processes Microbial and Chemical Process Engineering of Sewer Networks*. CRC Press LLC.
- Jiang, F., Chen Y., Mackey, H. R., Chen, G. H. och van Loosdrecht, M. C. M. (2011). Urine nitrification and sewer discharge to realize in-sewer denitrification to simplify treatment in Hong Kong. *Water Science and Technology*, vol. 64 (3), ss. 618-626.
- Jiang, F., Liang, Z. S., Peng, G. L., Qian, J. och Chen, G.H. (2013). Nitrogen removal capacity of simultaneously autotrophic and heterotrophic denitrification in a sewer receiving nitrified source-separated urine. *Water Practise and Technology*, vol. 8 (1), ss. 33-40.
- Ledskog, A., Larsson, S-G, Lindqvist, B-G. (1994). Svavelväteproblem i avloppsledningar -drifterfarenheter och tillämpbara anvisningar (1994-07). Stockholm: Svenska vatten- och avloppsverksföreningen VAV.
- Mathioudiakis, V.L., Aivasidis, A. (2009). Heterotrophic denitrification kinetics in a pressurized sewer biofilm reactor. *Desalination*, vol. 248 (1-3), ss. 696-704.
- Mathioudiakis, V.L., Vaiopoulou, E. och Aivasidis, A. (2006). Addition of nitrate for odor control in sewer networks: laboratory and field experiments. *Global NEST Journal* 8 (1): 37-42.
- Norsk Vann (2020). Veiledning for dimensjonering av avløpsrenseanlegg, Rapport 256.
- Miljöprövningsdelegationen Länsstyrelsen Uppsala län. (2018). Slutliga villkor för utsläpp till vatten av fosfor, BOD₇ samt kväve, Brandholmens reningsverk Nyköpings kommun. Beslut 2018-10-11. Dnr: 551-6259-17. <https://www.lansstyrelsen.se/download/18.76f16c3d1665eba4c3ea2de/1539960369441/2018-10-11%20Slutliga%20villkor%20of%C3%B6r%20utsl%C3%A4pp%20till%20vatten%20av%20fosfor,%20BOD7%20samt%20kv%C3%A4ve,%20Brandholmens%20reningsverk%20Ny%C3%B6pings%20kommun%20551-6259-17.pdf> (Hämtad 2020-04-09)
- Naturvårdsverket. (2009). Sveriges åtagande i Baltic Sea Action Plan Konsekvensanalyser. (Rapport 5984). Bromma: Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-5984-2.pdf> (Hämtad 2020-04-07)
- Svenkt Vatten AB. (2010). Avloppsteknik 2 Reningsprocessen. 2. uppl.
- Ødegaard, H., B. Rusten, F. Wessman (2004). State of the art in Europe of the moving bed biofilm reactor (MBBR) process. WEFTEC 2004
- Ødegaard, H. (2020). NOTAT Vedrørende: Kommentarer til rapporten: Biologisk förbehandling på ledningsnätet - En förstudie av ett nytt koncept, internt dokument

Bilagor

Bilaga A

Processbeskrivning Praktikfall

I denna bilaga presenteras mer detaljerade beskrivningar och uppgifter för förbehandlingsanläggningarna vid de två praktikfallen Fjällbacka och Jälla.

Processutformning Fjällbacka

Processschema över Fjällbacka som förbehandlingsanläggning enligt alternativ 3 visas i Figur A.1 och anläggningsdata visas i Tabell A.1. Belastningen uppgår för alternativet till 3 000 pe och medelflödet till förbehandlingsanläggningen är 46 m³/h. Maxflödet in till förbehandlingen begränsas till 50 m³/h. Förbehandling enligt alternativ 2 (1000 pe) kan genomföras genom att endast ha en MBBR-bassäng och två genomströmningsbassänger.

Tabell A.1

Anläggningsdata Fjällbacka.

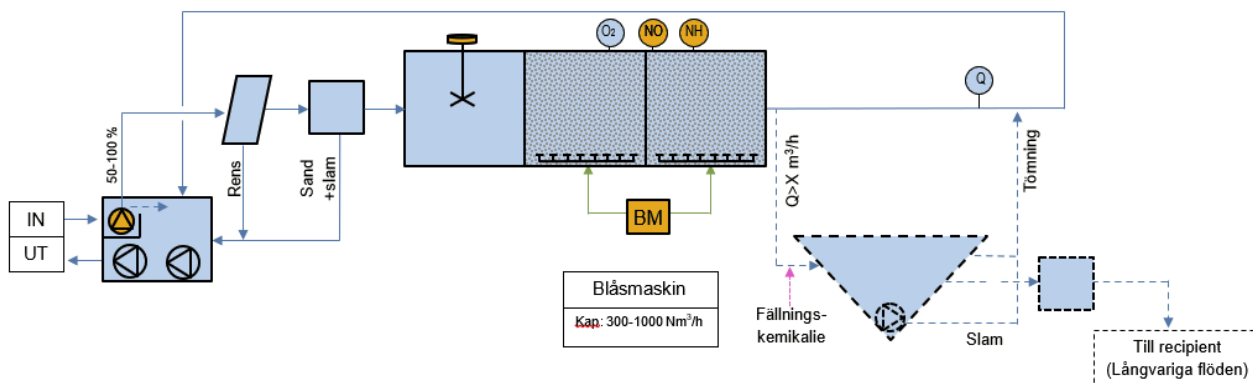
Anläggningsdel	Uppgift	Värde	enhet	Övrigt
VATTENBEHANDLING				
Pumpstation	antal pumpar: kapacitet totalt: volym:	2 ca 380 -	st. m ³ /h m ³	Dagens: 2 x 190 m ³ /h
Sil (galler)	antal: spaltvidd: kapacitet:	1 2 -	st. mm m ³ /h	Sil: 2 mm (max 3 mm) Dagens galler: Meva, kapacitet 380 m ³ /h
Sandfång	antal bassänger: volym (totalt): yta (totalt): djup:	1 - - -	st. m ³ m ² m	
Genomströmningsbassäng (tom)	antal bassänger: volym (totalt): yta (totalt): djup:	1 90 22,5 4	st. m ³ m ² m	Avställd volym som ej behöver utnyttjas
MBBR-bassänger	antal bassänger: volym (totalt): yta (totalt): djup:	2 180 45 4	st. m ³ m ² m	2 x 90 m ³ Grovblåsigt luft Bärarmaterial av typ K5 (el. likvärdigt) 800 m ² /m ³
Blåsmaskiner	antal: kapacitet:	2 300 -1000	st. Nm ³ /h	
Slutsedimentering/ Utjämning	antal bassänger: volym (totalt): yta (totalt): djup:	4 ca 580 340 ca 1,7	st. m ³ m ² m	Option
Kemikaliedosering	dosering: densitet: vikt-% Al/Fe	- - -	ml/m ³ kg/m ³ %	Option
Utlopps-bassäng	antal bassänger: volym (totalt): yta (totalt): djup:	1 - - -	st. m ³ m ² m	Option
Utloppspumpstation	antal pumpar: kapacitet totalt: volym:		st. m ³ /h m ³	

Pumpstation	Renssil	Sandfång
Kap: 380 m ³ /h	Kap: 380 m ³ /h Håldiameter: 2 mm	

Tom volym	2 x MBBR
Vol: 90 m ³ Djup: 4 m	Vol: 2 x 90 m ³ Djup: 4 m f: 50 % s: 800 m ² /m ³

Utlämnings/ sedimentering
Yta: 340 m ²

Utlöppsbassäng



Figur A.1

Processschema över Fjällbacka som förbehandlingsanläggning (vid utnyttjande av 2 av tre luftningsvolymerna).

Inloppspumpstation

Vattnet från Fjällbacka upptagningsområde kommer till en kombinerad inkommande och utgående pumpstation. In till förbehandlingen pumpas 50–100 % av torrväderflödet (inställbart, 100 % enligt detta alternativ, 50 % enligt alternativ 2). Samma station pumpar obehandlade flöden från upptagningsområdet vidare till det centrala reningsverket Bodalens ARV. Vattnet som kommer in till stationen samlas i en låda varifrån det pumpas upp till förbehandlingen. Om lådan fylls vid höga flöden så rinner vattnet med överfall ned i pumpstationen och kan pumpas till Bodalens ARV. På så sätt hålls det obehandlade vattnet separerat från utgående, behandlat vatten från förbehandlingen.

Sil/galler

En inloppssil (alternativt ett galler) med kapacitet om minst 100 m³/h och 2 mm spaltvidd används för rensavskiljning. Renset leds till utloppspumpstationen och ut på ledningsnätet tillsammans med det behandlade avloppsvattnet.

Sandfång

Sandfånget har två sedimenteringsfickor med varsin mammutpump. Sedimenterat material pumpas till utloppspumpstationen och ut på ledningsnätet. Det finns möjlighet till luftning i sandfånget som eventuellt kan bibehållas.

Genomströmningsbassäng

Avställd bassäng som vattnet rinner genom. Omrörare installeras för att förhindra sedimentering. Det finns potential att utnyttja volymen i framtiden och av den anledningen kan den finnas kvar.

MBBR-bassäng

MBBR-bassängen består av två lika stora sammankopplade bassänger i serie med en totalvolym på 180 m³. Det finns en tredje delbassäng men den bedöms ej behövas vid de dimensionerande belastningarna. Bassängerna fylls upp till 50 % med bärarmaterial som har en specifik yta på förslagsvis 800 m²/m³.

I alternativ 2 kan delbassänger eventuellt fyllas med mindre bärare (en mindre fyllnadsgrad) eller att endast en bassäng används. Bassängerna har ett djup på cirka 4 m. Luftarsystemet byts ut från dagens finblåsiga till ett grovblåsigt.

Silburar med mer intensiv luftning längs burarna installeras. Från bassängen rinner vattnet med självfall till utloppspumpstationen som är kombinerad med inloppspumpstationen.

Som option kan sedimentering/bräddvattenrening tillämpas vid höga flöden. Då rinner flöden över ledningsnätets kapacitet till sedimenteringsbassänger för utjämning och kemisk fällning/sedimentering.

Blåsmaskin

En blåsmaskin med en maximal kapacitet om omkring 1 000 Nm³/h krävs för att förse MBBR:en med luft. Blåsmaskinen ska vara möjlig att varva ner till minst 300 Nm³/h (30 % av max).

Sedimentering/utjämning (option)

På Fjällbacka finns 4 sedimenteringsbassänger som kan användas för utjämning och bräddvattenrening. Flöden över pumpstationens/ledningsnätets kapacitet leds från MBBR-bassängen till en sedimenteringsbassäng för utjämning och sedimentering. Fällningskemikalie doseras till inloppet av bassängen för bättre reduktion av partikulära föroreningar. Om den sedimenteringsbassäng 1 fylls upp vid långvarigt höga flöden rinner vattnet vidare till sedimenteringsbassäng 2 osv. Om samtliga fyra bassänger fylls upp rinner vattnet via avdragsrännor i sedimentering 4 till en utlopps-bassäng och därifrån vidare till recipient via en bräddvattenledning (dagens utloppsledning från Fjällbacka).

Befintliga pumpar i slamfickorna används för tömning till utloppspumpstationen när flödena sjunker under ledningsnätets kapacitet.

Sedimenteringsbassängerna på Fjällbacka ARV har en volym på ca 150 m³ vilket innebär att ca 600 m³ kan utjämnas på verket. Genom att tillämpa utjämning/bräddvattenrening kan bräddningar på ledningsnätet minskas. Om bräddningar behöver ske så är det ett mycket väl renat vatten (biologiskt/kemiskt) som släpps till recipienten. I detta specifika praktikfall finns det en ytterligare vinst i att ha utjämningsmöjligheter på ledningsnätet eftersom Bodalens ARV redan idag tar emot höga inkommande flöden vid regnförhållanden. Med utjämning kan de högsta flödestopparna minskas.

Utlopps-bassäng (option)

Vid höga flöden rinner vatten från sedimentering/utjämning till utlopps-bassängen varifrån befintlig utloppsledning nyttjas som bräddutlopp när utjämningskapaciteten i anläggningen överskrids.

Utloppspumpstation

I utloppspumpstationen blandas det biologiskt renade vattnet med rens, sand och slam från galler/sil och sandfång. Vattnet pumpas ut på ledningsnätet där det tillsammans med det obehandlade vattnet som förbiletts förbehandlingen går till Bodalens ARV. Utlopps- och inloppspumpstationen kan i detta fall kombineras och pumpstationen har en fördelningslåda som tar emot inkommande vatten så att obehandlat och behandlat vatten hålls separerat.

Om utjämning tillämpas pumpas vatten från sedimenteringsbassängen till utloppspumpstationen när flödena sjunker och det finns kapacitet för att pumpa ut det på ledningsnätet.

Instrument

Följande instrument kan bli aktuella (ej fullständig lista):

- Nivågivare/vakt i pumpstation
- Flödesmätare in till förbehandlingen
- Flödesmätare ut till ledningsnät
- Syrehalsmätare i MBBR
- NH₄-N och eventuellt NO₃-N i MBBR. Dessa mätare kan användas för att styra inflödet till förbehandlingen t ex om ammoniumhalten går upp och nitrifikationen tappas kan inflödet till förbehandlingen minskas.

- Nivåvakt i MBBR. Vid hög nivå pga. igensatta silburar stängs inpumpningen till förbehandlingen.
- Luftflödesmätare till MBBR.

Instrumenteringen kan skalas ned eller upp beroende på hur mycket styrning och övervakning som VA-organisationen efterfrågar. Mer instrument kan innebära ett högre underhåll om instrumenten kräver kalibrering. Däremot så kan rätt instrumentering innebära att driftövervakningen i högre grad kan ske på distans och antalet besök på reningsverket kan minskas. Rätt instrumentering kan även förhindra stora driftstörningar t ex översvämning av bassänger om nivån i en MBBR-bassäng stiger.

Processutformning Jälla – lägsta nitratbehov

Dimensioneringsalternativet Lägsta nitratbehov producerar vid full belastning ca 5 kg nitrat per dag. Det innebär att ca 25 % av belastningen från upptagningsområdet ska ledas in i den biologiska förbehandlingen vilket motsvarar ett medelflöde på omkring 100 m³/d. Anläggningen behandlar maximalt ca 240 m³ avloppsvatten per dag. Nedan följer en beskrivning av anläggningsdelarna.

I Tabell A.2 visas anläggningsdata enligt dimensioneringsalternativ Lägsta nitratbehov. Ett processchema och ett flödesschema över dimensioneringsalternativet presenteras i Figur A.2 och Figur A.3. I rapporten har antagits att det är tillräckligt med en pumpstation som är uppdelad i två fack enligt processchemat. Försedimentering är inritat som option men antas inte behövas och alla beräkningar (belastningar och kostnadskalkyler) är därför exklusive försedimentering.

Anläggningsdel	Uppgift	Värde	Enhet	Övrigt
VATTENBEHANDLING				
Inloppspumpstation	Antal pumpar: Inpumpning till förbehandling	2 5 – 10	st. m ³ /h	
Renssil	Antal: Hålstorlek: Kapacitet:	1 2-3 10	st. mm m ³ /h	Helst 2 mm, högst 3 mm
Försedimentering	Volym: Yta: Djup:	- 17,6 4,5	m ³ m ² m	Option
MBBR	Volym: Yta: Djup:	34 9,7 3,5	m ³ m ² m	Grovblåsigt luft Bärarmaterial av typ K5 (el. likvärdigt) 800 m ² /m ³
Blåsmaskin	Antal: Kapacitet:	1 70 – 200	st. Nm ³ /h	

Tabell A.2

Anläggningsdata Jälla enligt dimensioneringsalternativ Lägsta nitratbehov.

Inloppspumpstation

Dagens pumpstation antas kunna delas upp i två fack och från det ena facket, inloppsfacket pumpas flöden upp till (5-) 10 m³/h (inställbart) in till förbehandlingen. Vid högre flöden leds vattnet vidare på ledningsnätet genom ett överfall i pumpstationen och pumpas från ett separat utloppsfack vidare på ledningsnätet. Behandlat avloppsvatten och rens avskilt i inloppssilen leds till utloppsfacket och pumpas vidare på ledningsnätet mot Kungsängsverket.

Om dagens pumpstation är för liten för att delas upp i två fack kan avloppsvattnet i stället ledas till en pumpstation som byggs in i en ledig volym i det befintliga verket men för övrigt är principen densamma. Kostnader för en anläggning av en ny pumpstation har inte inkluderats.

Renssil

En rensil med en kapacitet om 10 m³/h och en spaltvidd om 2-3 mm. Avskilt rens leds till utloppsfacket i pumpstationen tillsammans med det behandlade avloppsvattnet. Ett alternativ är att rensen tas om hand lokalt.

Försedimentering (option)

Den tidigare mellansedimenteringsbassängen kan användas som försedimentering för att fungera som ett extra skydd mot fibrer och annat som kan sätta igen silburarna i MBBR-volymer. Ny kättingskrapa och en primärslampump som pumpar slam till pumpstationen och vidare på ledningsnätet behövs.

En försedimentering är ej strikt nödvändig men kan enkelt tillämpas eftersom det finns en ledig sedimenteringsbassäng finns på Jälla ARV. I rapporten antas att sedimentering inte tillämpas och det är inte inkluderat i beräkningar av belastningen på biologin eller i kostnadskalkylen.

MBBR

I detta alternativ är en MBBR på 34 m³ tillräcklig för att både behandla BOD₇ och nitrifiera inkommande ammonium. Den gamla luftningsbassängen används och volymen fylls till 50 % med rörliga bärare av typen AnoxKaldnes K5 eller liknande typ som har en specifik yta om 800 m²/m³. Ett grovblåst luftarsystem installeras och en blåsmaskin förser MBBR:en med luft. Silburar med mer intensiv luftning längs burarna installeras. Den specifika BOD- resp. N-belastningen beräknas till 2,6 g BOD₇/m².d resp. 0,51 g N/m².d. Kvävebelastningen är beräknad efter en antagen assimilation av 23 % av inkommande N-tot. Vid en 90 % nitrifikationsgrad blir nitrifikationshastigheten 0,36 g NH₄-N/m².d.

Blåsmaskin

En blåsmaskin med en maximal kapacitet om 200 Nm³/h krävs för att förse MBBR:en med luft. Blåsmaskinen ska vara möjlig att varva ner till minst 70 Nm³/h.

Instrument

Följande instrument kan bli aktuella (beroende på VA-organisationens önskemål):

- Nivågivare/vakt i pumpstation i båda facken
- Flödesmätare in till förbehandlingen
- Flödesmätare ut till ledningsnät
- Syrehalsmätare i MBBR
- NH₄-N och eventuellt NO₃-N i MBBR. Dessa mätare kan användas för att styra inflödet till förbehandlingen t ex om ammoniumhalten går upp och nitrifikationen tappas kan inflödet till förbehandlingen minskas.
- Nivåvakt i MBBR. Vid hög nivå pga. igensatta silburar stängs in pumpningen till förbehandlingen.
- Luftflödesmätare till MBBR.

Processutformning Jälla – max nitratproduktion

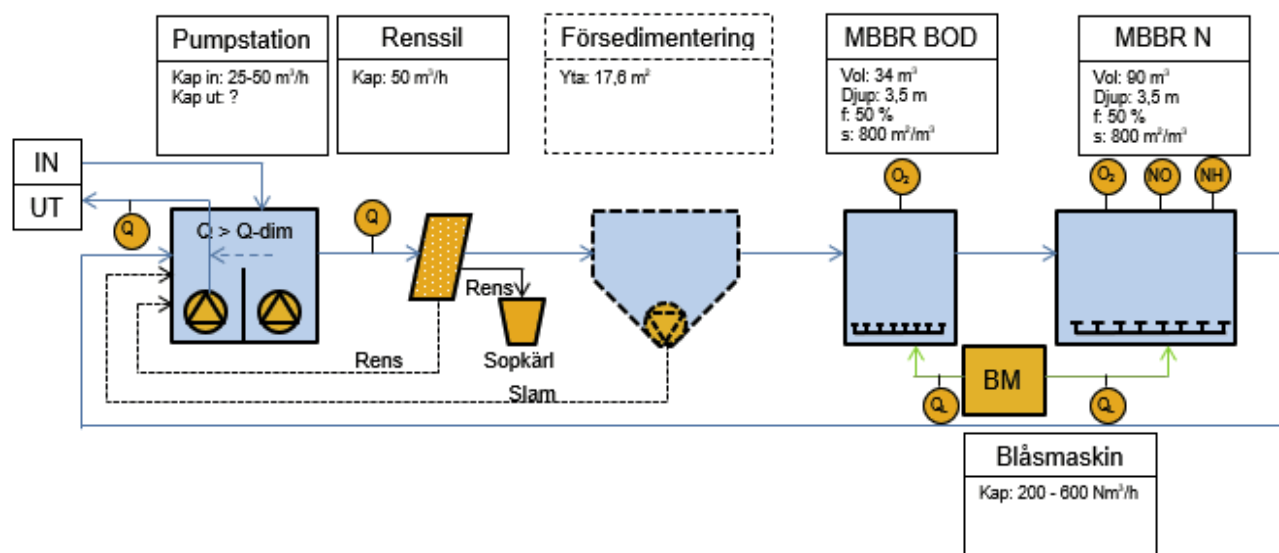
Dimensioneringsalternativet Max nitratproduktion producerar vid full belastning ca 20 kg nitrat per dag. I detta alternativ behandlas allt avlopp vid torrväderflöde i förbehandlingsanläggningen vilket i medel är ca 400 m³/d.

I Tabell A.3 redovisas anläggningsdata enligt dimensioneringsalternativ Max nitratproduktion. Ett processchema och ett flödesschema över dimensioneringsalternativet presenteras i Figur A.4 och Figur A.5.

Tabell A.3

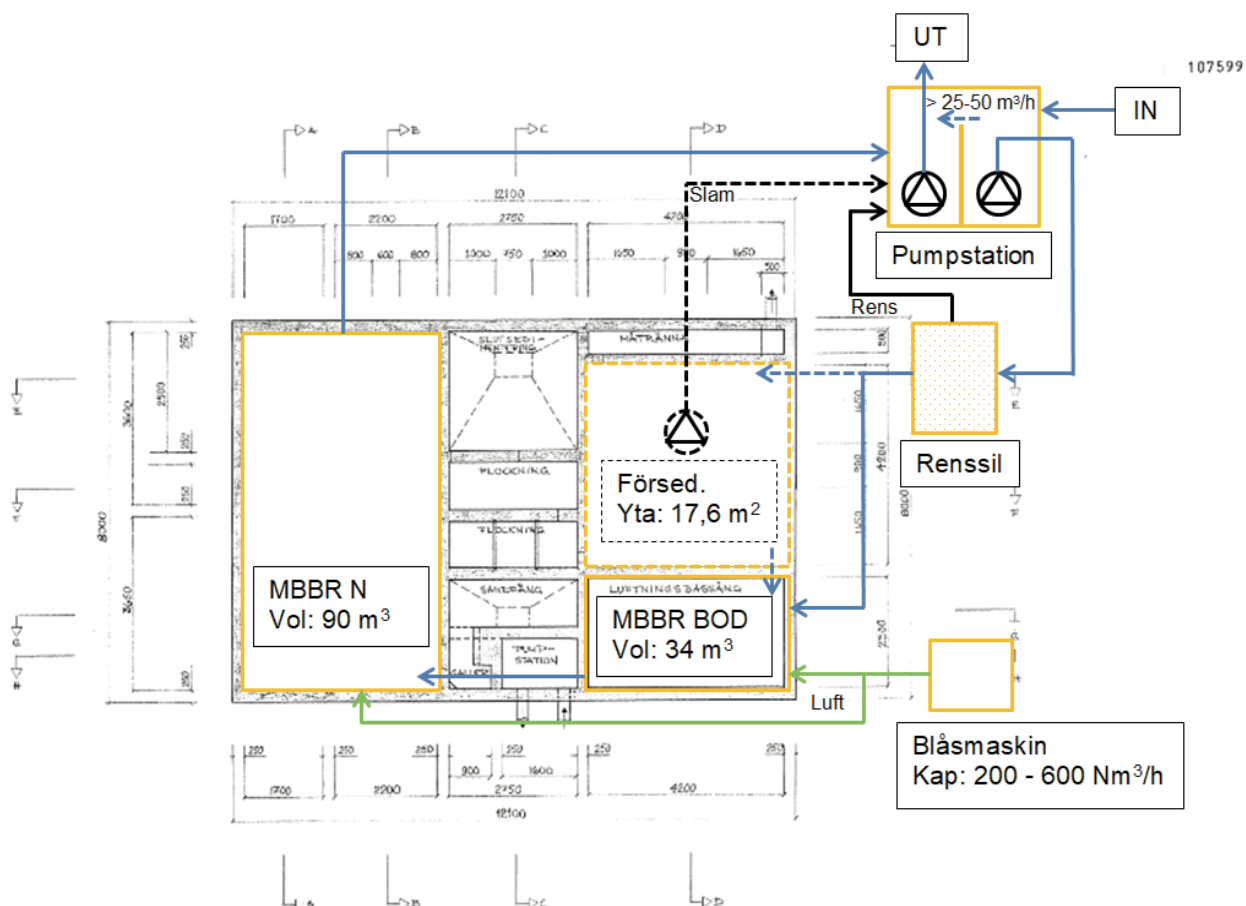
Anläggningsdata enligt dimensioneringsalternativ Jälla Max nitratproduktion.

Anläggningsdel	Uppgift	Värde	Enhet	Övrigt
VATTENBEHANDLING				
Inloppspumpstation	Antal pumpar: Inpumpning till förbehandling till ledningsnät	2 25 - 50 25 - 50	st. m ³ /h m ³ /h	
Renssil	Antal: Hålstorlek: Kapacitet:	1 2-3 50	st. mm m ³ /h	Högst 3 mm, helst 2 mm
Försedimentering	Volym: Yta: Djup:	- 17,6 4,5	m ³ m ² m	Option
MBBR-BOD	Volym: Yta: Djup:	34 9,7 3,5	m ³ m ² m	Grovblåsigt luft Bärarmaterial av typ K5 (el. likvärdigt) 800 m ² /m ³
MBBR-N	Volym: Yta: Djup:	90 26 3,5	m ³ m ² m	Grovblåsigt luft Bärarmaterial av typ K5 (el. likvärdigt) 800 m ² /m ³
Blåsmaskin	Antal: Kapacitet:	1 200 - 600	st. Nm ³ /h	



Figur A.4

Processchema över dimensioneringsalternativ Jälla Max nitratproduktion. I blått visas befintligt och i gult nytt.



Inlopps/utloppspumpstation

Dagens pumpstation antas kunna delas upp i två fack och från det ena facket, inloppsfacket pumpas flöden upp till $25\text{--}30\text{ m}^3/\text{h}$ (inställbart) in till förbehandlingen. Vid högre flöden leds vattnet vidare på ledningsnätet genom ett överfall i pumpstationen och pumpas från ett separat utloppsfack vidare på ledningsnätet. Behandlat avloppsvatten och rens avskilt i inloppssilen leds till det utloppsfacket och pumpas vidare på ledningsnätet mot Kungsängsverket.

Om dagens pumpstation är för liten för att delas upp i två fack kan avloppsvattnet i stället ledas till en pumpstation som byggs in i en ledig volym i det befintliga verket men för övrigt är principen densamma. Kostnader för en anläggning av en ny pumpstation har inte inkluderats.

Renssil

En rensil med en kapacitet om $50\text{ m}^3/\text{h}$ och hålstorlek om $2\text{--}3\text{ mm}$. Avskilt rens leds till utloppsfacket i pumpstationen tillsammans med det behandlade avloppsvattnet, alternativt tas rensen om hand lokalt.

Försedimentering (option)

Den tidigare mellansedimenteringsbassängen kan användas som försedimentering för att fungera som ett extra skydd mot fibrer och annat som kan sätta igen silburarna i MBBR-volymer. Ny kättingskrapa och en primärslampump som pumpar slam till pumpstationen vidare på ledningsnätet behövs.

En försedimentering är ej strikt nödvändig men kan enkelt tillämpas eftersom det finns en ledig sedimenteringsbassäng finns på Jälla ARV. I rapporten antas att sedimentering inte behöver tillämpas och det är inte inkluderat i beräkningar av belastningen på biologin eller i kostnadsalkylen.

Figur A.5

Flödesschema över dimensioneringsalternativ Jälla Max nitratproduktion.

MBBR-BOD

En MBBR för nedbrytning av biologisk nedbrytbar organisk substans krävs som första reningssteg för att minska belastningen på efterföljande nitrifierande MBBR. Den gamla luftningsbassängen med en volym om ca 34 m³ fylls till hälften med rörliga bärare av typen AnoxKaldnes K5 eller liknande med en specifik yta om 800 m²/m³. Ett grovblåsig luftarsystem installeras. En blåsmaskin förser båda MBBR:erna med luft. Silburar med mer intensiv luftning längs burarna installeras. Den specifika BOD-belastningen beräknas till 2,8 g BOD₇/m².d (beräknat på hela volymen, utan försedimentering).

MBBR-N

En MBBR för nitrifikation, ca 90 m³, kan erhållas genom att kombinera de gamla slam-lagren, slamluftningsbassängen och slamförtjockaren. Volymen fylls till hälften med rörliga bärare av typen AnoxKaldnes K5 eller liknande med en specifik yta om 800 m²/m³. Ett grovblåsig luftarsystem installeras. En blåsmaskin förser båda MBBR:erna med luft. Silburar med mer intensiv luftning längs burarna installeras. Den specifika N-belastningen beräknas till 0,56 g N/m².d (beräknat på hela volymen, utan försedimentering). Den erforderliga nitrifikationshastigheten vid 23 % assimilation och 90 % nitrifikation blir därmed 0,39 kg NH₄-N/m².d.

Blåsmaskin

En blåsmaskin med en maximal kapacitet om 700 Nm³/h krävs för att förse båda MBBR:erna med luft. Blåsmaskinen ska vara möjlig att varva ner till minst ca 200 Nm³/h.

Instrument

Följande instrument kan bli aktuella (ej fullständig lista):

- Nivågivare/vakt i pumpstation i båda facken
- Flödesmätare in till förbehandlingen
- Flödesmätare ut till ledningsnät
- Syrehalsmätare i MBBR-BOD och MBBR-N
- NH₄-N och NO₃-N i MBBR-N. Dessa mätare kan användas för att styra inflödet till förbehandlingen t ex om ammoniumhalten går upp och nitrifikationen tappas kan inflödet till förbehandlingen minskas.
- Nivåvakt i MBBR-BOD och MBBR-N. Vid hög nivå pga. igensatta silburar stängs inpumpningen till förbehandlingen.
- Luftflödesmätare till MBBR-BOD resp. MBBR-N. Dessa kan användas för att ställa luftflödet till MBBR-BOD resp. MBBR-N.

Bilaga B

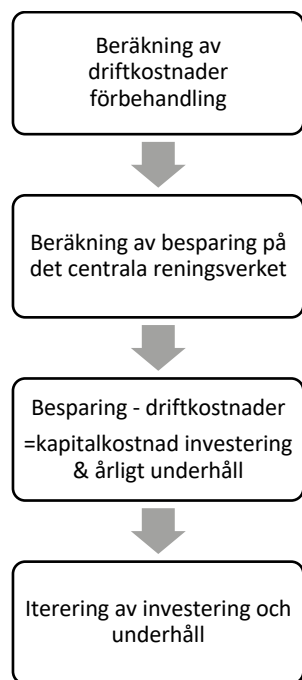
Kostnadskalkyler

Metod

I detta avsnitt presenteras metod för framtagande av kostnadskalkyl för de olika praktikfallen. För att utreda om en förbehandling är lönsam har kostnadskalkyler upprättats. Kostnaderna för förbehandling delas upp i driftskostnader, underhållskostnader och investering. Förbehandlingen förväntas innebära besparingar för VA-organisationen, framförallt i form av minskad eller utebliven dosering av kalciumnitrat och ett minskade behandlingskostnader i kväverening på det centrala reningsverket.

Kalkylerna som har gjorts utgår ifrån frågan ”Hur mycket kan investeras i förbehandlingsanläggningen för att besparingen och utgifterna ska gå plus/minus 0?”

Den s.k. nollpunkten eller Break-even har därför beräknats där drifts- och investeringskostnad (investeringskostnaden uppdelat i kapitalkostnad och underhållskostnad) är lika stor som besparingen. Skillnaden mellan besparingarna och driftskostnaderna för förbehandlingen visar hur mycket som kan investeras i en biologisk förbehandlingsanläggning för att kostnaden för förbehandling och besparingen ska ta ut varandra. I investeringsutrymmet ska den beräknade kapitalkostnaden samt en underhållskostnad rymmas. Arbetsgången för att ta fram hur mycket som kan investeras i en förbehandlingsanläggning illustreras i Figur B.1.



Figur B.1

Arbetsgång för beräkning av break-even.

Kostnadskalkylen har begränsats till att endast omfatta förbehandlingen och inkluderar inte utjämnning och bräddvattenrening.

För varje alternativ har en kostnadsuppskattning gjorts av Bengt Mattsson på SWECO Environment. Han har tittat på vilka anpassningar som behöver göras på befintlig anläggning och beräknat vad det och den erforderliga utrustningen skulle kosta. Den investeringskostnad som uppskattats har sedan jämförts med den beräknade break-even.

Om kostnadsuppskattningen visar på en investeringskostnad lägre än vid break-even så anses förbehandlingen vara lönsam.

Driftkostnader

Driftkostnaderna för förbehandlingsanläggningen inkluderar energiförbrukning för luftning och pumpning samt personalkostnad för drift och underhåll av anläggningen.

Energikostnaden har antagits till 1 kr/kWh.

Luftbehovet (Nm³/h) har beräknats för de olika alternativen och 45 Nm³ har antagits motsvara en energiförbrukning på 1 kW (erfarenhetstal från några verk längs västkusten).

För beräkning av energibehovet för pumpning in och ut från förbehandlingen har ekvation 1 använts. Förklaringar och antaganden som har gjorts visas i Tabell B.1.

$$P = \frac{\rho \cdot Q \cdot H \cdot g}{\eta} \quad (1)$$

Symbol		Förklaring	Enhet	Antagande
P	=	Axeffekt	(W)	-
ρ	=	Densitet	(kg/m ³)	1000
Q	=	Flöde	(m ³ /s)	Anges i texten för varje alternativ
H	=	Uppfordringshöjd	(mvp)	5
g	=	tyngdacceleration	(m/s ²)	9,81
η	=	Verkningsgrad	(%)	70

Tabell B.1

Förklaringar och antaganden till ekvation 9 för beräkning av energibehovet för pumpning.

Personalbehovet har uppskattats till 4 h/vecka vilket motsvarar 10 % av en heltidstjänst. Kostnaden för en heltidstjänst har antagits till 600 000 kr/år.

Besparingar

De årliga besparingarna har beräknats för minskad eller utebliven dosering av kalciumnitrat samt lägre kostnader för rening av kväve.

Kalciumnitrat har antagits kosta 3 700 kr/ton vilket är baserat på prisuppgift för Nutriox från leverantören Yara år 2018. Kostnaderna kan variera beroende på ordermängden. Den minskade doseringsmängden kalciumnitrat har beräknats för de olika praktikfallen.

Kostnaden för minskade behandlingskostnader på det centrala reningsverket har antagits till 70 kr/kg renat kväve baserat på rapporter från IVL och Naturvårdsverket (Ek et al. 2003; Naturvårdsverket, 2009). Beräkningarna inkluderar kapitalkostnader för investeringar och driftkostnader för eventuell ökad förbrukning av energi och kolkälla. Enligt båda rapporterna kan siffran variera kraftigt beroende på vad varje reningsverk har för förutsättningar. I många fall varierar kostnaden mellan 30-350 kr/kg N men även kostnader på över 1 000 kr/kg N har redovisats. Miljöprövningsdelegationen ansåg i beslut 2018-10-11 för Brandholmens reningsverk i Nynäshamn att en kostnad på 40-110 kr/kg kväve var skäligt för att sänka utsläppen från ett kommunalt reningsverk ned till 10 mg/l. Det inkluderade kapitalkostnader för investeringen samt ökade driftskostnader för kolkälla.

En kostnad på omkring 70 kr/kg N kan därför anses rimlig (är lågt räknat för mindre reningsverk) i detta sammanhang även om det finns svårigheter att med att förutsäga vad den faktiska besparingen skulle vara. En känslighetsanalys kommer att tas fram som visar på effekterna av minskad och ökad besparing för kvävereningen.

Minskat personalbehov som effekt av minskad eller utebliven dosering av kalciumnitrat har inte inkluderats i kalkylen. Det minskade personalbehovet får ses som en säkerhetsmarginal där tiden istället kan läggas på förbehandlingen.

Investering

Med annuitetsmetoden beräknas kapitalkostnader för investeringarna. Kalkylräntan har antagits till 4 %. Investeringen har delats upp procentuellt mellan posterna bygg och mark, maskin samt el. För de olika posterna har olika avskrivningstider tillämpats, se Tabell B.2

Kostnadsupplägg investering	Andel av investeringen %	Avskrivningstid år
Bygg & Mark	10%	40
Maskin	70%	20
El	20%	15

Tabell B.2

Uppdelning av investeringskostnaderna och avskrivningstider.

Bygg och mark har antagits utgöra en liten andel av investeringen eftersom de praktikfall som undersöks är befintliga anläggningar där endast små åtgärder krävs på befintliga volymer och marken. Om en ny biologisk förbehandling skulle byggas blir andelen bygg/mark betydligt större. Största kostnaden kommer därför att utgöras av maskinell utrustning och en mindre del är el och styrning.

Den årliga underhållskostnaden har antagits till 2 % av investeringskostnaden vilket är normalt vid ny-/ombyggnation av reningsverk.

Kostnads kalkyl Fjällbacka – 2 000 pe, 50 % av flödet

För att utreda om en förbehandling är lönsam på Fjällbacka ARV har en kostnads kalkyl upprättats. Nedan presenteras kostnads kalkyl för förbehandlingen med den framtida belastningen 2 000 pe, alternativ 2 där 10 kg N/d avlägsnas genom förbehandling och denitrifikation på ledningsnätet. I Tabell B.3 redovisas beräknade driftskostnader. Kostnads kalkylen har begränsats till att endast omfatta förbehandlingen och inkluderar inte utjämning och bräddvattenrening.

Luftbehovet har beräknats till i medel ca 270 Nm³/h och pumpning av 450 m³/d (medelflöde) har antagits vilket är 50 % av flödet från Fjällbacka upptagningsområde. Personalbehovet har uppskattats till 4 h/vecka vilket motsvarar 10 % av en heltidstjänst. Inget kalciumnitrat antas behövas på ledningsnätet eftersom förbehandlingen förväntas tillgodose att inget svavelväte uppkommer.

Driftskostnader						
	pris/enhet	enhet	antal	enhet	kr/år	MSEK/år
Energi luftning	1	kr/kWh	52 600	kWh/år	53 000	0,053
Energi pumpar	1	kr/kWh	6 400	kWh/år	6 000	0,006
Driftpersonal	600 000	kr/personal.år	0,10	personal/år	60 000	0,060
Totalt driftkostnader						0,119

Tabell B.3

Driftskostnader förbehandling Fjällbacka.

Driftskostnaderna uppgår med ovan nämnda antaganden till 119 000 kr/år. Hänsyn har inte tagits till ventilations- och uppvärmningskostnader för utrymmena men här ska betänkas att utrymmena i detta praktikfall oavsett kommer att utnyttjas för utjämning och kemisk behandling så dessa kostnader skulle även finnas utan biologisk förbehandling.

Besparingarna som erhålles med förbehandlingen är huvudsakligen att kostnaden för kalciumnitrat helt kan strykas och att mindre volymer och energi behövs på Bodalens ARV för kväverening. I Tabell B.4 redovisas besparingarna till följd av biologisk förbehandling.

Besparingar						
	pris/enhet	enhet	antal	enhet	kr/år	MSEK/år
Kalciumnitrat	3 700	kr/ton	100	ton/år	389 000	0,389
Minskade behandlingskostnader	70	kr/kg N	3 600	kg/år	250 000	0,250
Totala besparingar						0,639

Tabell B.4

Besparingar till följd av förbehandling Fjällbacka.

Besparingarna beräknas uppgå till 639 000 kr/år för utebliven dosering av kalciumnitrat och minskade behandlingskostnader.

Besparingen efter att driftkostnader för förbehandlingen har dragits av är 520 000 kr/år. Summan utgör det investeringsutrymme som finns för att kostnaden för förbehandling och besparingen ska ta ut varandra, den sk break-even. I investeringsutrymmet ska den beräknade kapitalkostnaden samt en årlig underhållskostnad motsvarande 2 % av investeringskostnaden rymmas. Iteration tillämpas tills summan av kapitalkostnaden och underhållskostnaden uppgår till 0,520 MSEK/år. Detta uppnås vid en investering om 5,5 Mkr. En sammanställning av kostnaderna för biologisk förbehandling Fjällbacka redovisas i Tabell 7.4.

Biologisk förbehandling Fjällbacka		
	Kostnad	
Investeringskostnad	5,50	MSEK
Driftkostnader	0,119	MSEK/år
Underhållskostnader	0,110	MSEK/år
Kapitalkostnader	0,410	MSEK/år
Totalt	0,639	MSEK/år

Tabell B.5

Kostnader biologisk förbehandling Fjällbacka i break-even punkt.

Med investeringskostnader på 5,50 MSEK blir kapitalkostnaden 410 000 kr/år och underhållskostnaden 110 000 kr/år. Tillsammans med driftskostnaden på 119 000 kr/år motsvarar summan av de årliga utgifterna den beräknade besparingen på 639 000 kr/år. Vid en investering på 5,50 MSEK för att anpassa Fjällbacka ARV till förbehandlingsanläggning uppnås således nollpunkten där förbehandlingen beräknas gå plus minus 0.

Om den årliga kostnaden på 639 MSEK slås ut på mängden kväve som avlägsnas (ca 3,6 ton/år) landar kostnaden omkring 180 kr/kg N. Det ska dock tilläggas att den kostnaden inte bara avser reduktion av kväve utan även rening av ca 40 ton BOD/år samt att uppkomst av svavelväte förhindras på ledningsnätet.

Kostnadsuppskattningen som SWECO tagit fram för alternativet redovisas i Tabell B.6.

Biologisk förbehandling Fjällbacka		
	Kostnad	
Investeringskostnad	4,36	MSEK
Driftkostnader	0,119	MSEK/år
Underhållskostnader	0,087	MSEK/år
Kapitalkostnader	0,337	MSEK/år
Totalt	0,543	MSEK/år

Tabell B.6

Kostnader biologisk förbehandling Fjällbacka enligt kostnadsuppskattning.

Den uppskattade investeringen uppgår till 4,36 MSEK vilket är lägre än Break-even och tyder på att förbehandlingen lönar sig ekonomiskt. Kapitalkostnaden blir då 337 000 kr/år och underhållskostnaderna uppgår till 119 000 kr/år. Om de årliga kostnaderna slås ut på 3,6 ton N/år som renas så blir den specifika kväverenkingskostnaden enligt kostnadsuppskattningen 150 kr/kg N.

Kostnadskalkyl – 3 000 pe, 100 % av flödet

En kostnadskalkyl har även gjorts för det hypotetiska fallet där förbehandlingsanläggningen i Fjällbacka producerar maximalt med nitrat och kolkällan på ledningsnätet nedströms är obegränsad så att fullständig denitrifikation uppnås. I det fallet minskar kvävebelastningen på det centrala reningsverket med 30 kg N/d.

I Tabell B.7 visas de beräknade driftkostnaderna för förbehandlingen. I detta fall förbehandlas hela flödet från Fjällbackas upptagningsområde. Luftbehovet beräknas då avrundat uppåt uppgå till i medel 720 Nm³/h och energiförbrukningen för pumpningen har beräknats för hela flödet på 1 100 m³/d. Personalbehovet antas till 10 % av en heltidstjänst.

Driftkostnader						
	pris/enhet	enhet	antal	enhet	kr/år	MSEK/år
Energi luftning	1	kr/kWh	140 200	kWh/år	140 000	0,140
Energi pumpar	1	kr/kWh	15 600	kWh/år	16 000	0,016
Driftpersonal	600 000	kr/personal.år	0,10	personal/år	60 000	0,060
Totalt driftkostnader						0,216

Tabell B.7

Driftkostnader förbehandling Fjällbacka max nitratproduktion.

Driftkostnaderna uppgår med ovan nämnda antaganden till 216 000 kr/år.

I Tabell B.8 redovisas de beräknade besparingarna som kan göras till följd av att vattnet förbehandlas. Besparingen av kalciumnitrat har beräknats genom att anta att samma mängd nitrat som producerats i förbehandlingen skulle ha behövts i form av dosering av kalciumnitrat. De 30 kg NO₃-N/d som produceras motsvarar då en dosering av 266 l kalciumnitrat per dygn.

Besparingen har ökat både för doseringen av kalciumnitrat och för de minskade behandlingskostnaderna i kväverening eftersom betydligt mer nitrat produceras och reduceras till kvävgas i ledningsnätet.

Besparingar						
	pris/enhet	enhet	antal	enhet	kr/år	MSEK/år
Kalciumnitrat	3 700	kr/ton	140	ton/år	525 000	0,525
Minskade behandlingskostnader N-rening	70	kr/kg N	10 700	kg/år	751 000	0,751
Totala besparingar						1,28

Tabell B.8

Besparingar till följd av förbehandling Fjällbacka max nitratproduktion.

Besparingarna uppgår till 1 280 000 kr/år till följd av utebliven kalciumnitratdosering och minskade behandlingskostnader på det centrala reningsverket. I detta fall antas att all egen producerad nitrat skulle behövas även som kalciumnitratdosering om ledningsnätet nedströms är betydligt större.

Besparingen efter att driftkostnader för förbehandlingen har dragits av är 1 060 000 kr/år. Summan av kapital och underhållskostnaderna som har itererats fram uppgår till 1,06 MSEK vid break-even. I Tabell B.9 redovisas samtliga kostnader för förbehandlingen.

Biologisk förbehandling Fjällbacka			Kostnad	
Investeringskostnad	11,2	MSEK		
Driftkostnader	0,216	MSEK/år		
Underhållskostnader	0,224	MSEK/år		
Kapitalkostnader	0,836	MSEK/år		
Totalt	1,28	MSEK/år		

Tabell B.9

Kostnader förbehandling Fjällbacka max nitratproduktion i break-even punkt.

Med investeringskostnader på 11,2 MSEK blir kapitalkostnaden 836 000 kr/år och underhållskostnaden 224 000 kr/år. Tillsammans med driftkostnaden på 216 000 kr/år motsvarar summan av de årliga utgifterna den beräknade besparingen på 1 060 000 kr/år. Med investeringar på 11,2 MSEK kan Fjällbacka ARV anpassas till förbehandlingsanläggning så att kostnader och besparingar går plus minus noll.

Om den årliga kostnaden på ca 1,28 MSEK slås ut på mängden kväve som avlägsnas (11 ton/år) hamnar kostnaden omkring 120 kr/kg N. Den årliga kostnaden avser även rening av ca 120 ton BOD/år samt att svavelväteproduktion förhindras på ledningsnätet.

Biologisk förbehandling Fjällbacka			Kostnad	
Investeringskostnad	5,28	MSEK		
Driftkostnader	0,216	MSEK/år		
Underhållskostnader	0,106	MSEK/år		
Kapitalkostnader	0,405	MSEK/år		
Totalt	0,726	MSEK/år		

Tabell B.10

Kostnader förbehandling Fjällbacka max nitratproduktion enligt kostnadsuppskattning.

Investeringskostnaden beräknas enligt Sweco uppgå till 5,28 MSEK, se Tabell B.10, vilket är betydligt lägre än break-even. Kapitalkostnaderna uppgår till 405 000 kr/år och underhållskostnaderna till 106 000 kr/år. Den specifika kväverenkostnaden för rening av 11 ton N/år beräknas till 70 kr/kg N.

Kostnadskalkyl Jälla – lägsta nitratbehov

Utöver de kostnadskalkyler som gjorts för att beräkna break-even så presenteras kalkyler för investering i en förbehandling i Jälla som tagits fram av Bengt Mattson på Sweco Environment till ett projekt från 2019.

I detta avsnitt presenteras en kostnadskalkyl för Jälla där 5 kg nitrat produceras i förbehandlingsanläggningen och sedan denitrifieras i ledningsnätet. I Tabell B.11 visas driftskostnaderna.

Luftbehovet har beräknats till i medel 140 Nm³/h. Då antas att ingen försedimentering sker och all BOD₇ som kommer in till förbehandlingen ska luftas bort. Pumpning in till och ut från förbehandlingen beräknas ske av 25 % av flödet med 5 m uppfordringshöjd (högt räknat). Eventuellt kommer inte pumpning att ske både in och ut från verket men har tagits med som säkerhetsmarginal. Personalbehovet uppskattas till 4 h/v vilket motsvarar 10 % av en heltidstjänst.

Driftskostnader						
	pris/enhet	enhet	antal	enhet	kr/år	MSEK/år
Energi luftning	1	kr/kWh	27 300	kWh/år	27 000	0,027
Energi pumpar	1	kr/kWh	1 400	kWh/år	1 000	0,001
Driftpersonal	600 000	kr/personal.år	0,10	personal/år	60 000	0,060
Totalt driftkostnader						0,089

Tabell B.11

Driftkostnader förbehandling Jälla, lägsta nitratbehov.

Driftkostnaderna uppgår med ovan nämnda antaganden till 89 000 kr/år.

Besparingarna som kan förväntas kunna göras till följd av förbehandlingen är utebliven dosering av kalciumnitrat och minskade behandlingskostnader på det centrala reningsverket, Kungsängsverket. I Tabell B.12 redovisas de beräknade besparingarna.

Besparingar						
	pris/enhet	enhet	antal	enhet	kr/år	MSEK/år
Kalciumnitrat	3 700	kr/ton	22	ton/år	80 000	0,080
Minskade behandlingskostnader	70	kr/kg N	1 800	kg/år	125 000	0,125
Totala besparingar						0,205

Tabell B.12

Besparingar till följd av förbehandling Jälla, lägsta nitratbehov.

Besparingarna beräknas uppgå till 205 000 kr/år.

För att beräkna vad som kan användas till investeringar i anläggningen dras driftkostnaderna från förbehandlingen bort från besparingarna vilket resulterar i 117 000 kr/år som ska fördelas mellan kapitalkostnader och underhållskostnader. Investeringskostnaden har itererats fram och redovisas tillsammans med övriga kostnader i Tabell B.13.

Förbehandling Jälla ARV		
	Kostnad	
Investeringskostnad	1,24	MSEK
Driftkostnader	0,089	MSEK/år
Underhållskostnader	0,025	MSEK/år
Kapitalkostnader	0,092	MSEK/år
Totalt	0,205	MSEK/år

Tabell B.13

Kostnader förbehandling Jälla, lägsta nitratbehov.

Med investeringskostnader på 1,24 MSEK blir kapitalkostnaden 82 000 kr/år och underhållskostnaderna 25 000 kr/år och nollpunkten nås. Med den kalkylen och en reduktion av ca 1,8 ton N/år blir specifika kostnaden per kg renat kväve 110 kr/kg N. Då renas även ca 20 ton BOD/år samt att uppkomsten av svavelväte förebyggs.

En grov kostnadskalkyl över alternativen har tagits fram av Sweco Environment. I Tabell B.14 nedan presenteras kostnaderna uppdelat i bygg- och markarbete, maskininstallationer, el och styr, ospecificerade kostnader, entreprenörsarvode och byggherreomkostnader. Kalkylen är exklusive en ny pumpstation och försedimentering. En ny pumpstation kommer förmodligen inte att behövas och försedimentering var med som option och kan uteslutas.

Investeringskalkyl Jälla		
	Lägsta nitratbehov	Enhet
Bygg- och markarbeten	0,176	MSEK
Maskininstallationer	1,88	MSEK
El och styr	0,557	
Totalt (avrundat)	2,61	MSEK

* VVS ingår ej

Investeringskostnaden har beräknats uppgå till 2,61 MSEK för förbehandling lägsta nitratbehov. Det överskrider den investeringskostnad på 1,24 MSEK som itererades fram. Investeringen i en förbehandling enligt detta alternativ tycks därmed inte vara lönsam. I Tabell B.15 redovisas kapitalkostnader och underhållskostnader för denna kostnadsuppskattning.

Förbehandling Jälla ARV		
	Kostnad	
Investeringskostnad	2,61	MSEK
Driftkostnader	0,089	MSEK/år
Underhållskostnader	0,052	MSEK/år
Kapitalkostnader	0,197	MSEK/år
Totalt	0,338	MSEK/år

Om kapital- och underhållskostnaderna för kalkylen beräknas enligt tidigare metod så landar de årliga kostnaderna (kapital och underhåll) på 249 000 kr/år. Tillsammans med de beräknade driftkostnaderna blir kostnaden 338 000 kr/år. Det resulterar i en kväverenkingskostnad på knappt 190 kr/kg N.

Kostnadskalkyl – max nitratproduktion

I detta avsnitt presenteras kostnadskalkyler för förbehandling vid Jälla där de tillgängliga volymerna utnyttjas för en maximal nitratproduktion på 20 kg NO₃-N/d och fullständig denitrifikation sker på ledningsnätet. Investeringarna presenteras i två kalkyler, dels den investering som itereras fram (break-even) dels den kostnadsuppskattning som gjorts av Bengt Mattsson på SWEKO Environment.

I Tabell B.16 presenteras driftkostnaderna för förbehandlingen. Luftbehovet har beräknats till i medel 560 Nm³/h. Då antas att ingen försedimentering sker och all BOD₇ som kommer in till förbehandlingen ska luftas bort. Pumpning av hela flödet, 515 m³/d i medel, beräknas ske in och ut från förbehandlingen med en uppfodringshöjd på 5 m (högt räknat). Eventuellt kommer inte pumpning att ske både in och ut från verket men

Tabell B.14

Grov kostnadskalkyl investeringar Jälla, lägsta nitratbehov*. Inklusive ospecificerade kostnader, entreprenörsarvode och byggherreomkostnader.

Tabell B.15

Kostnader förbehandling Jälla, lägsta nitratbehov.

posten har tagits med som säkerhetsmarginal. Personalbehovet uppskattas till 4 h/vecka eller 10 % av en heltidstjänst.

Driftkostnader						
	pris/enhet	enhet	antal	enhet	kr/år	MSEK/år
Energi luftning	1	kr/kWh	109 000	kWh/år	109 000	0,109
Energi pumpar	1	kr/kWh	5 700	kWh/år	6 000	0,006
Driftpersonal	600 000	kr/personal.år	0,10	personal/år	60 000	0,060
Totalt driftkostnader						0,175

Tabell B.16

Driftkostnader förbehandling Jälla, max nitratproduktion.

Driftkostnaderna uppgår till 175 000 kr/år med de antaganden som beskrivits.

Besparingarna till följd av förbehandlingen presenteras i Tabell B.17.

Besparingar						
	pris/enhet	enhet	antal	enhet	kr/år	MSEK/år
Kalciumnitrat	3 700	kr/ton	93	ton/år	345 000	0,345
Minskade behandlingskostnader	70	kr/kg N	7 200	kg/år	501 000	0,501
Totala besparingar						0,845

Tabell B.17

Besparingar till följd av förbehandling Jälla, max nitratproduktion.

Besparingarna beräknas uppgå till 845 000 kr/år för utebliven dosering av kalciumnitrat och minskade behandlingskostnader på Kungsängsverket.

När driftkostnaderna har dragits av från besparingarna återstår 671 000 kr/år som kan användas till kapital- och underhållskostnad för att uppnå nollpunkten. Investeringskostnaden som har itererats fram redovisas tillsammans med övriga kostnader i Tabell B.18. Hittar inte referenskälla..

Förbehandling Jälla ARV			Kostnad	
Investeringskostnad	7,09	MSEK		
Driftkostnader	0,175	MSEK/år		
Underhållskostnader	0,142	MSEK/år		
Kapitalkostnader	0,529	MSEK/år		
Totalt	0,845	MSEK/år		

Tabell B.18

Kostnader förbehandling Jälla, max nitratproduktion.

Med investeringskostnader på 7,09 MSEK blir kapitalkostnaden 529 000 kr/år och underhållskostnaden 142 000 kr/år för att nollpunkten ska uppnås. Om den årliga kostnaden på ca 0,845 MSEK slås ut på mängden kväve som avlägsnas (7,3 ton/år) hamnar kostnaden omkring 120 kr/kg N. Den årliga kostnaden avser även rening av 80 ton BOD/år samt att svavelväteproduktion förhindras på ledningsnätet.

I Tabell B.19 redovisas den investeringskalkyl som tagits fram av SWECO Environment för max nitratproduktion på Jälla. Kalkylen är exklusive en ny pumpstation och försedimentering.

Investeringskalkyl Jälla		
	Kostnad	Enhet
Bygg- och markarbeten	0,480	MSEK
Maskininstallationer	3,00	MSEK
El och styr	0,902	
Totalt (avrundat)	4,38	MSEK

* VVS ingår ej

Enligt investeringskalkylen erfordras 4,38 MSEK för att anpassa Jälla till förbehandling enligt dimensioneringsalternativet max nitratproduktion. Det är en betydligt lägre investeringskostnad än den som itererades fram till nollpunkten (7,1 MSEK) vilket gör att förbehandlingen i detta fall kan bedömas vara lönsam. I Tabell B.20 redovisas underhålls- och kapitalkostnader för alternativet.

Tabell B.19

Grov kostnads kalkyl investeringar Jälla, max nitratproduktion* Inklusive ospecificerade kostnader, entreprenörsarvode och byggherreomkostnader.

Förbehandling Jälla ARV		
	Kostnad	
Investeringskostnad	4,38	MSEK
Driftkostnader	0,175	MSEK/år
Underhållskostnader	0,088	MSEK/år
Kapitalkostnader	0,326	MSEK/år
Totalt	0,589	MSEK/år

Tabell B.20

Kostnader förbehandling Jälla, max nitratproduktion.

När kapital- och underhållskostnader beräknas landar de på 414 000 kr/år. Tillsammans med driftkostnaderna summeras det till 588 000 kr/år. Kostnaden för kvävereningen blir då ca 80 kr/kg N.

Bilaga C

Känslighetsanalys

I en känslighetsanalys förändras en variabel i taget i kalkylen för att undersöka vad utfallet blir. Alla övriga variabler lämnas oförändrade. Analysen är till för att belysa vilka ekonomiska följder som förändringar i en parameter kan få.

Som en del av utvärderingen av praktikfallen har en känslighetsanalys gjorts för ett utav de förslag som kostnadsuppskattats. Detta för att belysa vilka parametrar i kalkylen som är sårbara för förändring. För känslighetsanalysen har praktikfallet Fjällbacka 2 000 pe, 50 % av flödet valts. Det är den kostnads-kalkyl där skillnaden mellan break-even och det uppskattade investeringsbehovet är minst och den kalkyl där förändringar har störst inverkan för den beräknade lönsamheten. En sammanställning av de beräknade kostnaderna för alternativet redovisas i Tabell C.1.

Biologisk förbehandling Fjällbacka			
	Break-even	Kostnads- uppskattning	
Investeringskostnad	5,50	4,36	MSEK*
Driftkostnader	0,119	0,119	MSEK/år
Underhållskostnader	0,110	0,087	MSEK/år
Kapitalkostnader	0,410	0,337	MSEK/år
Totalt	0,639	0,543	MSEK/år

* Uppskattat av Sweco Environment

Kostnadsuppskattningen av investeringen uppgår till 4,36 MSEK vilket är lägre än break-even som beräknats till 5,50 MSEK. Det tyder på att förbehandlingen lönar sig ekonomiskt.

Resultatet av känslighetsanalysen presenteras i Tabell C.2 med avseende på kostnader och i Tabell C.3 för besparingar. Med fet stil anges det antagande som använts i kalkylen för varje parameter.

Tabell C.1

Kostnader för förbehandling Fjällbacka 2 000 pe, 50 % av flödet förbehandlas: break-even punkt och kostnadsuppskattning.

Känslighetsanalys kostnader Fjällbacka				
Uppskattad investering	4 400 000	SEK		
	Antagande	Enhet	Kostnad per post SEK/år	Break even MSEK
Energiförbrukning totalt	59	MWh	59 000	5,5
	100	MWh	100 000	5,0
Driftpersonal	5	% av heltid	30 000	6,2
	10	% av heltid	60 000	5,5
	20	% av heltid	120 000	4,9
Dosering kalciumnitrat	0	l/d	0	5,5
	50	l/d	97 000	4,5
Underhållskostnad	1	% av investeringen	62 000	6,2
	2	% av investeringen	110 000	5,5
	3	% av investeringen	165 000	5,0
Ränta	3	%	375 000	5,9
	4	%	410 000	5,5
	5	%	447 000	5,1

Besparingsutrymmet (som ska vara lika med totalkostnaderna för att uppnå break-even) på 639 000 kr/år är fast och påverkas ej av förändrade drifts-, underhålls- eller räntekostnader. Däremot påverkas utrymmet för kapitalkostnader per år. Om kostnaderna ökar minskar utrymmet för investering och vice versa. Enligt känslighetsanalysen av kostnader varierar break-even-punkten för investeringen mellan 4,5 MSEK och 6,2 MSEK. Detta innebär att förbehandlingen lönar sig även om de ekonomiska förutsättningarna försämras enligt ovan.

Tabell C.2

Känslighetsanalys kostnader för biologisk förbehandling i Fjällbacka 2 000 pe, 50 % av flödet.

Känslighetsanalys besparingar Fjällbacka				
Uppskattad investering	4 400 000	SEK		
	Antagande	Enhet	Kostnad per post SEK/år	Break-even MSEK
Kostnad kalciumnitrat	3 330	kr/ton	336 000	5,1
	3 700	kr/ton	373 000	5,5
	4 070	kr/ton	411 000	5,9
Dosering kalciumnitrat	154	l/d	292 000	4,5
	192	l/d	373 000	5,5
	230	l/d	447 000	6,1
Minskade kostnader på det centrala verket	40	kr/kg N	143 000	4,4
	70	kr/kg N	250 000	5,5
	100	kr/kg N	358 000	6,6

Tabell C.3

Känslighetsanalys besparingar till följd av biologisk förbehandling Fjällbacka 2 000 pe, 50 % av flödet.

Break-even-punkten som beräknas i känslighetsanalys för besparingar för Fjällbacka i Tabell C.3 har beräknats utifrån driftskostnader i Tabell C.1. Om besparingen minskar, minskar utrymmet för investering och vice versa. Enligt känslighetsanalysen av besparingar varierar break-even-punkten för investeringen mellan 4,4 MSEK och 6,6 MSEK. Så även här gäller att break-even inte underskrider den uppskattade investeringen för

samtliga fall m a o en investering i förbehandling lönar sig även om besparingsutrymmet minskar enligt exemplen i tabell C3.

Naturligtvis kan det bli kombinationer där t ex både besparingsutrymmet minskar samtidigt som kostnader för förbehandlingen ökar vilket kan leda till att förbehandlingen inte är lönsam längre. Beräkningsexemplen visar ändå att det är mycket sannolikt att förbehandlingen i Fjällbacka skulle bli lönsam för Tanums kommun.

Vidare finns det naturligtvis en osäkerhet i den av Sweco framtagna uppskattning av investeringen för förbehandlingen. Om den verkliga investeringen skulle bli högre hamnar man närmare break-even punkten.

Energiförbrukningen har beräknats till 59 MWh per år vilket innebär en specifik förbrukning om 59 kWh per personekvivalent och år om en belastning motsvarande 1 000 personekvivalenter tas in på förbehandlingsanläggningen. Vid en energiförbrukning motsvarande 100 kWh per personekvivalent och år, totalt 100 MWh per år, kan fortfarande break-even uppnås om investeringen blir 4,4 MSEK som är uppskattat.

Det har i rapporten bedömts att inget kalciumnitrat ska behöva doseras eftersom det finns ett överskott av nitrat på ledningsnätet i kombination med att tillgången på biologiskt nedbrytbart material är begränsat och därmed även produktionen av svavelväte. Om en dosering av 50 l kalciumnitrat per dygn ändå skulle krävas så kan fortfarande break-even uppnås om investeringen blir 4,4 MSEK som har uppskattats. Vid rätt dimensionering av förbehandlingen ska dock ingen extra kalciumnitratdosering på den studerade ledningssträckan behövas.

Om personalbehovet för förbehandlingen uppgår till 20 % av en heltidstjänst är investeringen lönsam om break-even jämförs med Swecos investeringskalkyl. Risken för ett ökat personalbehov finns, framförallt under intrimning av anläggningen. Däremot så bör den uppskattade personalbehovet på 10 % av en helhetstjänst vara fullt tillräckligt för en liten luftad MBBR-bassäng när verket är intrimmat. Risken för en förhöjd personalkostnad bedöms därför vara liten. I kalkylen för besparingar har inget antagande gjorts för behovet av personal för en kalciumnitratdosering. Med tanke på att förbehandlingen innebär att kalciumnitrat inte behöver doseras så kan viss besparing av personal göras där. Det har inte inkluderats i kalkylen men ger en viss marginal för om kostnaden för personal ökar för underhåll av förbehandlingsanläggningen. Om personalbehovet blir 5 % istället för 10 % är break-even istället betydligt högre än den uppskattade investeringen.

Påverkan av kostnad för underhåll har beräknats för 1, 2 och 3 % av investeringskostnaden per år i känslighetsanalysen. Kostnaden för underhåll som redovisas i rapporten avser 2 % av investeringskostnaden och motsvarar 110 000 kr per år. Om underhållskostnaden är 1 % av investeringskostnaden per frigörs utrymme för investeringen och break-even nås vid en investering om 6,2 MSEK. Om kostnaden för underhåll istället är 3 % minskar utrymmet och break-even nås vid 5,0 MSEK vilket fortfarande är högre än den uppskattade investeringen. Räntan har också varierats med ± 1 % från 4 % som har använts i rapporten. I det fallet räntan ökar med 1 % är break-even fortfarande högre än den uppskattade investeringen.

De parametrar som har negativ inverkan på besparingarna är en lägre dosering av kalciumnitrat och om priset för det minskade investeringsbehovet per behandlat kg kväve är lägre än den antagna behandlingskostnaden om 70 kr/kg kväve.

En lägre behandlingskostnad per kg kväve genererar den lägsta besparingen som då ger en break-even-punkt om 4,4 MSEK. Kostnaden för kvävereningen är en stor osäkerhet i kalkylen. Kväverenkinskostnaden har en stor inverkan på kalkylen och kan vara avgörande för huruvida investeringen kan anses lönsam eller ej. På Bodalens ARV som detta praktikfall gäller råder kapacitetsbrist. Vissa åtgärder för att höja kapaciteten behöver genomföras inför att Fjällbacka upptagningsområde ansluts. Det innebär att det måste ske investeringar i bland annat kvävereningen för att kunna ta emot anslutningen. Med tanke på de förhållanden som råder på det aktuella verket så kommer

investeringskostnaden snarare att bli påtagligt högre per kg kväve än vad som antagits. Det ger ytterligare marginal i kalkylen för Fjällbacka som förbehandling.

Om känslighetsanalysen istället skulle appliceras på praktikfallet Jälla så är situationen omvänd. På Kungsängsverket som är ett av Sveriges största reningsverk kan kostnaden för kväverening vara lägre än de antagna 70 kr/kg kväve. På ett större reningsverk finns ofta mer möjligheter till optimering av processen utan att det krävs lika stora ingrepp som på ett mindre verk. Därför kan det vara rimligt att anta en lägre kväverenkinskostnad för praktikfallet Jälla. Det mindre alternativet, lägsta nitratproduktion Jälla, var enligt kostnadskalkylerna inte lönsamt så där gör en lägre antagen kväverenkinskostnad ingen skillnad för beslutet. I alternativet max nitratproduktion fanns hög marginal vilket gör att en kväverenkinskostnad på 40 kr/kg kväve ger en investering vid break-even i samma storleksordning som Swecos kostnadsuppskattning. Enligt de rapporterna som studerats (Ek et al. 2003; Naturvårdsverket, 2009) så är en kväverenkinskostnad på 40 kr/kg N ett mycket lågt antagande och i de flesta fall ligger den beräknade kostnaden högre.

Slutsatsen av beräkningsexemplen är att en känslighetsanalys är befogad om break-even punkten och den uppskattade investeringen ligger nära varandra. Om break-even är mycket högre än den uppskattade investeringen (som i alternativ 3, Fjällbacka, max nitratproduktion) kommer den biologiska förbehandlingen att vara lönsam i jämförelse med den situation där man doserar kalciumnitrat på ledningsnätet och behandlar hela den inkommande kvävemängden på det centrala verket.

Svenskt Vatten

UTVECKLING

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB

POSTADRESS BOX 14057, 167 14 Bromma

BESÖKSADRESS Gustavslundsvägen 12, 167 51 Bromma

TELEFON 08-506 002 00

E-MAIL svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se