



rapport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Underlag för val av policy för
krav på kväverening i
avloppsreningsverk i södra
Sverige

Mikael Olshammar Mats Ek Magnus Rahmberg Ulrika Bark

B1522

December 2003



Organisation/Organization IVL Svenska Miljöinstitutet AB IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.	RAPPORTSAMMANFATTNING Report Summary
Adress/address Box 21060 100 31 Stockholm	Projekttitel/Project title Underlag för val av policy för krav på kväverening i avloppsreningsverk i södra Sverige Anslagsgivare för projektet/ Project sponsor Svenskt Vatten Naturvårdsverket
Telefonnr/Telephone 08-598 563 00	
Rapportförfattare/author Mats Ek Mikael Olshammar Magnus Rahmberg Ulrika Bark	
Rapportens titel och undertitel/Title and subtitle of the report Underlag för val av policy för krav på kväverening i avloppsreningsverk i södra Sverige	
Sammanfattning/Summary Projektets syftet var att undersöka alternativa sätt att för reningsverk med beaktande av retentionen uppfylla avloppsdirektivets (91/271/EEG) krav. Avsikten har inte varit att visa kostnaden för enskilda verk, utan bara ge en uppskattning av den totala kostnaden. Förenklingar och schabloner har använts som i enskilda fall kan ge mycket stora fel, medan summan av kostnaden för många verk hamnar i rätt storleksordning. Målsättningen har varit att för varje tillrinningsområde i södra Sverige till havsbassängerna Östersjön, Öresund, Kattegatt och Skagerack, identifiera det mest kostnadseffektiva sättet att antingen nå kraven i direktivet enligt bilaga 1, tabell 2 för varje enskilt verk >10 000 pe eller att för hela avrinningsområdet nå 75 % reduktion beräknat på belastningen från samtliga verk (>25 pe) i området. Projektet har resulterat i uppskattade kostnader för att minska utsläppen av kväve från kommunala avloppsreningsverk i södra Sverige. Endast åtgärder vid verk med en belastning på minst 10 000 pe har beaktats. När det gäller val av insatser vid specifika verk är lokala betingelser helt avgörande, och detta är bara en grov uppskattning av de totala kostnaderna. Den enda generella synpunkt som kan ges är att det på grund av retentionen av kväve från inlandsverk är mer kostnadseffektivt att bygga ut kustverken om man vill minska belastningen på omgivande hav.	
Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren /Keywords Reningsverk, kväverening, avloppsvatten, eutrofiering	
Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data IVL Rapport/report B1522	
Beställningsadress för rapporten/Ordering address Hemsida: www.ivl.se , e-mail: publicationservice@ivl.se , fax: 08-598 563 90 eller IVL, Box 210 60, 100 31 Stockholm.	

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	2
Definitioner.....	4
1 Inledning	5
2 Bakgrund.....	5
3 Syfte	6
4 Genomförande och arbetsbeskrivning.....	6
4.1 Framtagande av grunddata.....	8
4.2 Metoder för kostnadsuppskattningar	10
5 Resultat.....	11
5.1 75 % reduktion till varje havsbassäng	11
5.1.1 Egentliga Östersjön	12
5.1.2 Öresund.....	16
5.1.3 Kattegatt	16
5.1.4 Skagerack	21
5.1.5 Sammanställning av alternativ A.....	23
5.2 75 % reduktion totalt till de fyra havsbassängerna summerat	24
5.3 75 % reduktion totalt, med särskild hänsyn till känsliga områden.....	25
5.4 Alla verk klarar antingen 10 resp. 15 mg N/l eller 70 % reduktion	26
6 Referenser	28

Sammanfattning

Kostnaden för olika möjligheter att minska utsläppen av kväve från kommunala avloppsreningsverk i södra Sverige har uppskattats. Avsikten har inte varit att visa kostnaden för enskilda verk, utan bara ge en uppskattning av den totala kostnaden. Förenklingar och schabloner har använts som i enskilda fall kan ge mycket stora fel, medan summan av kostnaden för många verk hamnar i rätt storleksordning.

Endast åtgärder vid verk med en belastning på minst 10 000 pe har beaktats. Alla beräkningar bygger på att man inte med säkerhet kan klara mer än 80 % reduktion över verket eller mindre än 6 mg N/l i utgående vatten. Det beror på låga vintertemperaturer, svårigheter med styrning och en viss marginal för driftsstörningar.

Ett scenario hade som mål att minska belastningen till 75 % för varje individuell havsbassäng med hänsyn tagen till retention.

Det visar sig att man till Öresund redan 2002 nådde 78 % reduktion, och inga ytterligare åtgärder behövs för det här fallet. För Östersjön skulle det krävas en merkostnad på ca 22 miljoner kr/år för att minska utsläppen med ytterligare 800 ton N/år till en kostnad av ca 27 kr/kg N.

För Kattegatt skulle man inte nå målet även om alla verk över 10 000 pe skulle klara 80 % reduktion över verken. Redan för att nå ca 69 % totalt skulle de största verken få en extrakostnad på ca 62 miljoner kr/år. Man skulle då minska utsläppen med totalt 1 280 ton N/år till en kostnad av ca 50 kr/kg N. Ytterligare minskning med 664 ton N/år skulle krävas, men så mycket går inte att åstadkomma med insatser bara på verk över 10 000 pe.

Att nå 75 % reduktion av kväve till Skagerack skulle inte heller vara möjligt genom rimliga insatser på verk över 10 000 pe. Kostnadsberäkningar har bara gjorts för de största verken, och kostnaden där hamnar på över 100 kr/kg N utöver dagens rening. Målet för det här scenariot går alltså inte att nå utan insatser även på mycket små verk.

Enligt ett andra scenario var målet att minska utsläppen till Östersjön, Öresund, Kattegatt och Skagerack tillsammans med 75 %, räknat på belastningen från samtliga kända kommunala avloppsreningsverk. Även här har retentionen av kväve från inlandsverken till havet beaktats. Beräkningarna visar att kostnaden skulle uppgå till ca 140 miljoner kr/år för att minska utsläppet från 2002 års 11 797 ton N/år (67 % reduktion) till 8 882 ton N/år (75 % reduktion). Det innebär ca 48 kr/kg N. För detta krävs att man pressar många verk nära den gräns som kan anses rimlig ur teknisk synvinkel, med tanke på låga vintertemperaturer med långsam och instabil nitrifikation.

Ett tredje scenario är att alla verk över 100 000 pe skall nå 10 mg N/l ut från verket, och de mellan 10 000 och 100 000 pe skall klara 15 mg N/l. För alla verk skulle ett alternativ vara att nå 70 % reduktion över verket. Det alternativ som valts är det som ger det högsta utsläppet av kväve för verket. Den totala minskningen av kväve till haven skulle med en sådan utbyggnad bli ca 1 100 ton N/år. Kostnaden har beräknats till ca 65 miljoner kr/år, eller ca 60 kr/kg N.

Följande tabell sammanfattar de olika alternativen:

Mål	Uppnått, bas för beräkningar	Minskat utsläpp till hav från 2002 års nivå ton N/år	Ökad kostnad för reningen Mkr/år	Marginalkostnad för extra rening kr/kg N
75 % red. till varje havsbassäng, nås ej	52-78 % red.	2 250	73-110	33-49
75 % red. Södra Sverige totalt	75 % red.	2 920	110-170	38-58
10 resp. 15 mg N/l alternativt 70 % red	Målet uppnått	1 100	52-78	48-72

Det går inte att direkt jämföra de olika alternativen, då de når olika långt. Dessutom vet man att det går att nå 10 mg N/l under svenska förhållanden, medan det är mer osäkert om det som årsmedelvärde går att nå 75 % reduktion totalt, eller de 80 % eller 6 mg N/l som har antagits för många stora verk.

Slutligen kan påpekas att kostnadsuppskattningarna är grova, och att de beräknade kostnaderna kan slå med minst en faktor 2 för enskilda verk och säkert med minst 20 % även summerat över större områden. Den osäkerheten är inlagd i tabellen.

När det gäller val av insatser vid specifika verk är lokala betingelser helt avgörande, och detta är bara en grov uppskattning av de totala kostnaderna. Den enda generella synpunkt som kan ges är att det på grund av retentionen av kväve från inlandsverk är mer kostnadseffektivt att bygga ut kustverken om man vill minska belastningen på omgivande hav.

Definitioner

BOD ₇	Biochemical Oxygen Demand. Mått på mängd syreförbrukande material i vatten. Den mängd syre som bakteriologiskt förbrukats i ett prov efter 7 dagar.
COD	Chemical Oxygen Demand. Mått på mängd syreförbrukande material i vatten. Den mängd syre som kemiskt förbrukas i ett prov vid tillsättning av oxidationskemikalie.
CEMIR	Länsstyrelsernas centrala tillsynsdatas bas där information om de flesta av landets tillsynsobjekt finns lagrad. Bland annat matas information från miljörapportens emissionsdeklarationsdel in i denna databas.
ED	Efterdenitrifikation
SMED	Svenska MiljöEmissionsData. Konsortiet består av SMHI, SCB och IVL som på Naturvårdsverkets uppdrag tar fram underlag till internationell rapportering av emissioner.
Sydsverige	Det geografiska område som bidrar med tillrinning till havsbassängerna egentliga Östersjön, Öresund, Kattegatt och Skagerrak.
PE	Personekivalenter. Belastning av BOD ₇ omräknat till motsvarande antal personers genomsnittliga belastning. Normalt beräknat som 70g BOD ₇ / pe, dag.

1 Inledning

Kvävereningen i reningsverk i södra Sverige uppfyller enligt EU inte kraven på reduktion av kväve över enskilda verk enligt artikel 5.2-5.5 i EU:s direktiv gällande rening av utsläpp från tätbebyggelse, 91/271/EEG. Kommissionen har påpekat detta i en formell underrättelse till Sveriges regering av den 23 oktober 2002. I den svenska bedömningen ingår reduktion i recipienten, sk retention, före utsläpp till kvävekänsliga områden, vilket EU hittills inte godtagit. Miljödepartementet har med anledning av underrättelsen för avsikt att till kommissionen inkomma med ett åtgärdsprogram för att uppnå en reduktion av den totala kvävebelastningen, från avloppsreningsverken, med minst 75 % i enlighet med artikel 5.4 i direktivet.

Detta projekt syftar till att ge underlag till miljödepartementets åtgärdsprogram för reningsverk för att uppnå kraven i direktiv 91/271/EEG.

2 Bakgrund

Kvävereningen i stora reningsverk (>10 000 pe), med direkta utsläpp till kustområden som är känsliga för belastning av övergödande ämnen, har byggts ut under senare delen av 90-talet så att avloppsdirektivets (91/271/EEG) krav på rening enligt artikel 5.2 uppnås eller kommer att uppnås inom en snar framtid. För att uppnå en reduktion av den totala kvävebelastningen på känsliga kustområden behöver flera alternativa lösningar beaktas, vilket omfattar även åtgärder vid inlandsverk.

Inom projektet TRK, Transport-Retention-Källfördelning, Belastning på havet, beräknades samtliga källors bidrag till belastningen av kväve på havet, (Brandt M., Ejhed H., 2002). Genomgången inkluderade beräkningar av den avskiljning av utsläpp från källor i inlandet som sker under transporten genom vattendragen på vägen till havet, retentionen.

Naturvårdsverket tillämpar en policy vid tillståndsärenden gällande lägre krav på kväverening från verk med >10 000 pe anslutna där utsläppsmängden till havet totalt är <20 ton kväve per år. Reningsverk som är mindre än 10 000 pe omfattas inte av avloppsdirektivets krav på kväverening. I den enskilda prövningen kan dock kvävereningskrav ställas även på mindre verk, om det bedöms miljömässigt motiverat och reduktionen kan åstadkommas utan orimliga insatser.

Fokus för åtgärder beskrivna i denna rapport har riktats mot i första hand reningsverk >10 000 pe där utsläppsmängden är >20 ton kväve till havet per år.

3 Syfte

Att undersöka alternativa sätt att för reningsverk med beaktande av retentionen uppfylla avloppsdirektivets (91/271/EEG) krav.

Att för varje tillrinningsområde i södra Sverige till havsbassängerna Östersjön, Öresund, Kattegatt och Skagerack, identifiera det mest kostnadseffektiva sättet att antingen nå kraven i direktivet enligt bilaga 1, tabell 2 för varje enskilt verk >10 000 pe eller att för hela avrinningsområdet nå 75 % reduktion beräknat på belastningen från samtliga verk (>25 pe) i området. Enbart åtgärder på verk >10 000 pe beaktas.

4 Genomförande och arbetsbeskrivning

Åtgärdsförslagen har inriktas på reningsverk dimensionerade för över 10 000 pe i tillrinningsområden i södra Sverige till havsbassängerna egentliga Östersjön, Öresund, Kattegatt och Skagerack. Förslagen till åtgärder inriktas på fyra olika alternativ:

- a. 75 % reduktion av den totala belastningen från ingående vatten till verken till havet för varje havsbassäng för sig.
- b. 75 % reduktion av den totala belastningen från ingående vatten till verken till havet för hela södra Sverige summerat.
- c. 75 % reduktion av den totala belastningen från ingående vatten till verken till haven totalt för södra Sverige med hänsyn tagen till större reduktion för verk som bidrar till mer känsliga havsbassänger.
- d. alla reningsverk >10 000 pe respektive >100 000 pe uppfyller kraven på 15 respektive 10 mg N/l, alternativt 70 % reduktion över verket (inkl. lokal våtmark).

De fyra alternativen kan innebära olika kostnader beroende på svårigheten att uppnå extra hög rening vid ett mindre antal verk, ytterligare rening vid redan utbyggda verk eller på grund av andra faktorer som platsbrist etc.

Vid föreslagna åtgärder vid olika verk har vi satt en gräns kring 80 % reduktion över verket. Särskilt vid låga halter av kväve in till verken är det inte realistiskt att tänka sig högre reduktion som ett årsmedelvärde. År 2002 var det totalt 13 verk som hade 80 % reduktion eller mer. Både svårigheter att få nitrifikationen att fungera vid låga temperaturer och problem med styrning av efterdenitrifikation vid låga resthalter gör att det är tekniskt osäkert att uppnå mer än ca 80 % reduktion som årsmedelvärde. En annan begränsning är lagd vid 6 mg N/l ut. 2002 var det bara 8 verk som hade lägre halter i utgående vatten.

Studien har bestått av följande delmoment:

- 1) Framtagande av grunddata för samtliga kända avloppsreningsverk med slutrecipient: egentliga Östersjön, Öresund, Kattegatt och Skagerack samt insamling av uppgifter kring dessa rörande belastning, teknisk utformning, utsläpp, mm.
- 2) Avstämning mot Naturvårdsverket gällande vilka områden som anses känsliga för belastning av övergödande ämnen.
- 3) Genomgång av de verk som redan har byggt ut för kväverening med avseende på följande frågor: Hur stor är investeringskostnaden? Hur hög är driftkostnaden? Vad krävs i form av mark, utrustning, personal etc. för att de högre kraven skall uppnås? Alla typer av kväverening kommer att tas in i studien, såväl våtmark som konventionell aktivslamprocess och andra tillämpade metoder.
- 4) Status och möjlighet för utbyggd kväverening på de reningsverk som är aktuella för utbyggnad sammanställs med en indelning av målet till åtgärdsprogram i de fyra ovan nämnda inriktningarna:
 - a) 75 % reduktion av den totala belastningen från ingående vatten till verken till havet för varje havsbassäng för sig.
 - b) 75 % reduktion av den totala belastningen från ingående vatten till verken till havet för hela södra Sverige summerat.
 - c) 75 % reduktion av den totala belastningen från ingående vatten till verken till havet totalt för södra Sverige med hänsyn tagen till större reduktion för verk som bidrar till mer känsliga havsbassänger.
 - d) alla reningsverk >10 000 pe respektive >100 000 pe uppfyller kraven på 15 respektive 10 mg N/l, alternativt 70 % reduktion över verket (inkl. lokal våtmark).
- 5) Kostnadsuppskattning för att uppnå 75 % -kravet respektive koncentrationskraven. Med hjälp av resultatet från delmoment 3 och 4 har en schablonkostnad för de verk som inte uppfyller kraven idag beräknats.
- 6) Komplettering av tabellen enligt delmoment 2 med uppgiften om åtgärd eller ej enligt de fyra alternativa programinriktningarna, samt en summering som visar total reduktion per havsbassäng och totalt för hela södra Sverige för de fyra programinriktningarna.

Samtliga delmoment utom moment 2 har inneburit mycket dialog med respektive reningsverk, vilket är tidskrävande trots att schabloner för kostnadsuppskattningar utarbetats.

Inom samtliga fyra inriktningar för reduktion av kvävebelastningen från reningsverk antingen till hela södra Sverige eller med hänsyn till den mest miljönyttiga programinriktningen finns många alternativa lösningar. Den mest kostnadseffektiva möjliga lösningen för varje inriktning enligt dagens kunskap föreslås.

4.1 Framtagande av grunddata

Aktivitetens syfte är att ta fram uppgifter för alla avloppsreningsverk i Sverige som bidrar till kvävebelastningen på havsområdena: Östersjön, Öresund, Skagerack och Kattegatt. Dessa verk indelas därefter i två grupper beroende på om de har fler eller färre än 10 000 pe anslutna.

För de mindre verken används den information som tagits fram inom SMED-projektet ”Uppdatering av fasta teknikuppgifter”, (Brånvall G), direkt utan vidare kvalitetssäkring, då projektet begränsats till att titta på åtgärder på de större verken.

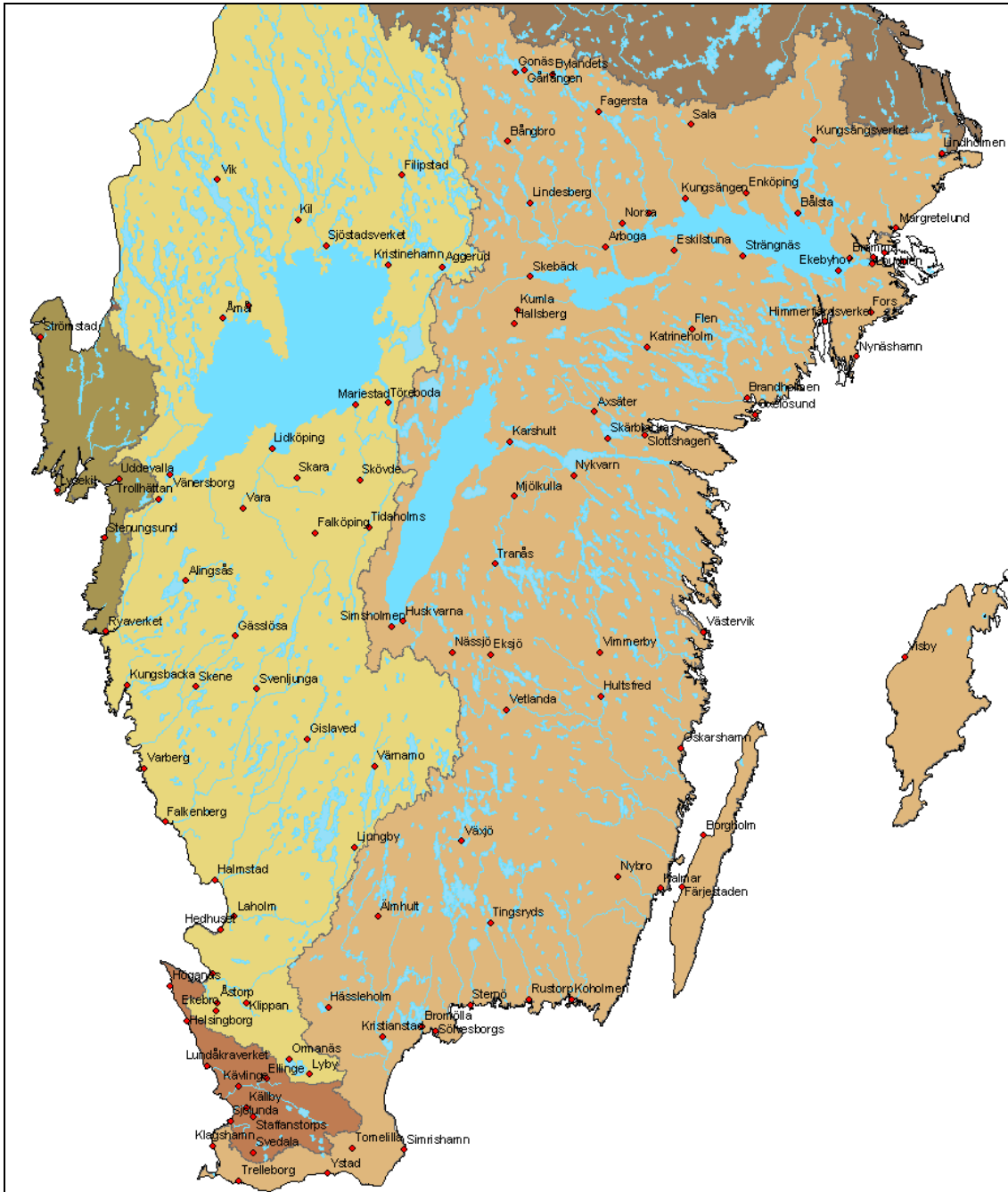
SMED-projektets datamaterial omfattar alla kända kommunala reningsverk, som bedömts varit i drift år 2000 av både B- och C-typ. Det bedöms att tämligen få reningsverk med fler än 200 pe anslutna saknas i listan där även ett antal mindre reningsverk finns upptagna även om det för dessa inte försökts uppnås någon fullständighet. Totalt har 360 reningsverk identifierats varav ca 120 med mer än 10 000 pe anslutna i Sydsverige.

För de större verken utnyttjas SMED-projektets informationen för att identifiera anläggningsnumren för de verk som har över 10 000 pe anslutna. Anläggningsnumret är en anläggningsunik identifikation som består av kommunkod och ett löpnummer. Denna identifikation används sedan för att i länsstyrelsernas tillsynsregister, CEMIR, söka ut administrativa uppgifter om anläggningarna som kontaktperson, adress, telefonnummer mm. För varje anläggning söks också ut flöde [$\text{m}^3/\text{år}$], COD [ton/år], BOD₇ [ton/år] och N-tot [ton/år] för ingående och utgående vatten för åren 2000-2002.

Datamaterialet i CEMIR är inte fullständigt och för vissa år finns inte alla efterfrågade parametrar redovisade för en del anläggningar. Generellt har senast tillgängliga information använts men tyngdpunkten i datamaterialet från CEMIR ligger på rapporteringen från år 2002.

Kväveretentionen från avloppsreningsverken till havet bestämdes genom spatiell GIS-analys. Ett kartskikt med retention per TRK-område, hydrologisk områdesindelning använd i TRK-projektet, (Brandt M., Ejhed H., 2002) överlagrades med ett punktskikt bestående av avloppsreningsverken. Avloppsreningsverken tilldelades på detta sätt den retention som beräknats för det TRK-området de ingår i. Retentionen för vissa verk har efter detta steg behövt justeras, då utloppet från reningsverket ligger i en annan polygon än den där verket är beläget. Retentionen har i beräkningarna antagits vara oberoende av kvävebelastningen ut från avloppsreningsverken, dvs retentionsfaktorn är ej koncentra-

tionsberoende. Den havsbassäng som respektive avloppsreningsverk har som slutreceptient bestäms med samma GIS-metodik som användes för retentionsbestämningen, se Figur 1 nedan.



Figur 1. Reningsverk > 10 000 pe i södra Sverige. Färgerna anger vilken havsbassäng som utgör slutreceptient för avloppsreningsverken.

4.2 Metoder för kostnadsuppskattningar

Eftersom det inte funnits möjlighet att studera alla aktuella verk separat kommer olika schabloner att användas för kostnadsuppskattningar. De är främst baserade på statistik från CEMIR och de verk som angivit investeringskostnader för utbyggnader, data från VBB-VIAKs rapport till Naturvårdsverket (Naturvårdsverket, 1996) och synpunkter från Peter Balmér (Balmér, 1999).

Gamla data har räknats upp till 2003 års värden. Spridningen i data mellan olika verk är helt naturligt mycket stor, beroende på helt olika förutsättningar. Standarddeviationen är normalt mellan 50 och 70 % av medelvärdet. Data från 33 verk har använts som underlag. För verk som inte klarar 10 resp. 15 mg N/l i utgående vatten, eller 70 % reduktion, har vi använt följande samband:

$$\text{Investering (1)} = 5\,000 + 0,22 \times \text{antal pe} \quad [\text{kkkr}]$$

$$\text{Investering (2)} = 5\,000 + 115 \times \text{ton } N_{\text{red}} \quad [\text{kkkr}]$$

Investeringen räknas sedan som ett medelvärde av dessa två. Det bygger på att man gör en normal utbyggnad med fördenitrifikation.

Normalt räknar man med en avskrivning av byggnadsarbeten på 30 år och övriga investeringar på 15 år. Här har vi räknat med 20 år och 7 % ränta som ett medelvärde på hela investeringen. Det ger en annuitet på 0,094. För våtmarker har vi räknat 50 års avskrivning, vilket ger en annuitet på 0,072.

De extra driftskostnaderna för kvävereningen är minst lika varierande som investeringskostnaderna. Det beror t ex på om man bara behövt öka luftningen och rundpumpningen något, eller om man måste köpa in kolkälla. Här har vi använt följande samband:

$$\text{Driftskostnad (1)} = 270 + 0,014 \times \text{antal pe} \quad [\text{kkkr/år}]$$

$$\text{Driftskostnad (2)} = 270 + 9 \times \text{ton } N_{\text{red}} \quad [\text{kkkr/år}]$$

Driftskostnaden räknas sedan som ett medelvärde av dessa två. För våtmarker är driftskostnaden nästan försumbar, det rör sig oftast om 100 000 till 500 000 kr/år.

För att justera värdena något för olika förhållanden har vi dragit av upp till 30 % då vi vetat att verket inte utnyttjar hela sin kapacitet, och lagt på 30 % då vi vetat att det finns speciella problem.

De här mycket grova metoderna kan i enskilda fall ge fel med en faktor 2 eller mer, och får därför inte ses som realistiska kostnader för enskilda verk. De kan dock ge ett acceptabelt totalvärde då man ser på många verk, enligt alternativ d).

För verk som redan har en fullt utnyttjad fördenitrifikation har vi räknat med en utbyggnad med efterdenitrifikation i fluidiserad bädd, (Bosander and Dillner Westlund 2000).

5 Resultat

Data för alla verk i södra Sverige med mer än 10 000 pe redovisas i bilaga 1. Där finns också en del något mindre verk med, som gardering för att de kan växa.

Tabell 1 visar kvävebelastningen från avloppsreningsverk i södra Sverige fördelat på de olika havsbassängerna och totalt för år 2002 (ett fåtal data är från 2001).

Tabell 1. Aktuella data för kvävereningen i södra Sverige.

	Östersjön	Öresund	Kattegatt	Skagerack	Totalt
In till arv. >10 000 pe, ton/år	17 569	4 001	7 827	307	29 704
Ut från arv. >10 000 pe, ton/år	6 507	835	3 627	110	11 079
In till arv. <10 000 pe, ton/år	2 757	197	2 460	412	5 826
Ut från arv. <10 000 pe, ton/år	1 670	82	1 563	274	3 589
Totalt in, ton/år	20 326	4 198	10 287	719	35 530
Totalt ut, ton/år	8 177	917	5 190	384	14 668
Reduktion över arv. >10 000 pe	63 %	79 %	54 %	64 %	63 %
Reduktion över arv. <10 000 pe	39 %	58 %	36 %	33 %	38 %
Reduktion över arv. totalt	60 %	78 %	50 %	47 %	59 %
Ut till hav från arv. >10 000 pe, ton/år	4 911	835	3 274	104	9 124
Ut till hav från arv. <10 000 pe, ton/år	1 084	76	1 240	273	2 673
Total reduktion (reduktion över arv + retention), ton/år	14 331	3 287	5 773	342	23 733
Total belastning på hav, ton/år	5 995	911	4 514	377	11 797
Total reduktion (reduktion över arv + retention)	71 %	78 %	56 %	48 %	67 %

I tabellen syns det att retentionen har stor betydelse för utsläpp till Östersjön, måttlig till Kattegatt och liten eller ingen till Skagerack och Öresund.

5.1 75 % reduktion till varje havsbassäng

Först uppskattades om utbyggnad av utvalda verk gör det möjligt att nå alternativ a): 75 % reduktion av den totala belastningen från ingående vatten till verken till havet för varje havsbassäng för sig.

Hur mycket återstår för att nå målet? Det rimligaste sättet, som också skiljer sig mest från alternativ d), är att lägga utbyggnaden på de verk där det får störst effekt, dvs de med de största emissionerna idag. Retention till havet räknas med.

5.1.1 Egentliga Östersjön

Aktuella data var där 2002:

20 326 ton N in 5 995 ton N till havet 71 % reduktion

(här har vi räknat upp inkommande mängd kväve med rimliga värden för de två verk som inte mäter denna)

För att nå 75 % reduktion till havet krävs minskning med ytterligare 914 ton.

Som en första ansats beräknades vad riktade åtgärder vid de verk som har de 10 största belastningarna på havet skulle ge i minskning i ton N/år, se tabell 2. Örebro står idag för 1,5 % av emissionen till Östersjön från avloppsreningsverk. Den andra kolumnen visar vilken minskning jämfört med dagens situation man skulle erhålla om verken klarade 10 respektive 15 mg N/l, alternativt 70 % reduktion, med retentionen avdragen efter det. Tredje och fjärde kolumnerna visar på samma sätt den minskning som man skulle få om verken klarade 75 resp. 80 % reduktion till havet, inklusive retentionen. Den sista kolumnen visar exempel på möjligheter att nå målen.

Tabell 2. Effekt av olika åtgärder vid de största belastarna på Östersjön, minskning mot 2002 års emission. Det mest gynnsamma alternativet för verket har valts i kolumn 2, koncentration eller 70 % reduktion.

Reningsverk	10/15 mg/l, ton/år	75 % red, ton/år	80 % red, ton/år	Åtgärd för 80 % red
Henriksdal	0	0	30	Ev. ED, invest. + drift
Käppala	0	0	90	ED, invest. + drift
Bromma	9	160	220	ED, invest. + drift
Himmerfjärden	0	30	90	Ökad drift ED
Linköping	119	80	116	Planerad våtmark
Norrköping	98	125	151	Ny kväverening
Eskilstuna	6	69	91	Rening före våtmark
Västerås	0	7	39	Extra kolkälla
Uppsala	34	0	33	Extra kolkälla
Örebro	40	0	0	Inv. i kväverening
Totalt	306	471	860	

Vi ser att man inte når målet 75 % reduktion till egentliga Östersjön med att bara de 10 största bidragen minskas med 80 %. Antingen kan man då gå på 80 % till havet för alla verk över 10 000 pe, eller gå längre för de stora verk som har en retention till havet. 80 % till havet för alla verk över 10 000 pe skulle betyda en minskning på 77,4 %, men kräva insatser vid ca 50 verk.

Om vi håller oss till de 10 största emittenterna år 2002 kan man i stället räkna på 80 % reduktion över verken för de kustbaserade 75 % reduktion för inlandsverken. Det kan

motiveras med att åtgärder vid kustverken i princip är mer kostnadseffektiva när man räknar resultatet till havet. De teoretiska minskningarna av belastningen på havet skulle då per år bli för Linköping 143 ton, Eskilstuna 110 ton, Västerås 60 ton, Uppsala 58 ton och Örebro 48 ton. Tillsammans med kustverken skulle det betyda en minskning med 1000 ton N/år. Den totala reduktionen till havet skulle då vara 76 %.

De följande verkspecifika kostnadsuppskattningarna är baserade på detta scenario, alltså ca 80 % reduktion över kustbaserade verk, och 75 % över inlandsverk. Endast de år 2002 största emittenterna till Östersjön behandlas. Med det hanterliga antalet verk kan man ta hänsyn till verkliga förhållanden. För Norrköping som byggde ut 2002 kan det t ex räcka att ta reda på hur läget är idag, Himmerfjärden har kapacitet redan idag men utnyttjade inte den under 2002 osv.

Henriksdal nådde 79,1 % minskning av kvävet 2002. För att nå längre krävs en efterdenitrifikation. En utbyggnad för att nå 80 % skulle absolut inte vara ekonomiskt motiverad. Ingen åtgärd föreslås.

Käppalaverket nådde 75,1 % minskning år 2002. I år ligger man mellan 77 och 78 %. För att komma längre behövs mer kolkälla. Det skulle räcka att dosera in i befintlig fördenitrifikation. En komplikation är säkerhetsbestämmelser för metanol i berggrum. Det innebär att om man ska använda metanol tillkommer en extra kostnad för förvaring ovan jord, och ledningar ner i berget.

I dagsläget släpper man alltså ut ca 45 ton N mindre än under år 2002, och det är tveksamt om man bör/behöver ställa högre krav. För att nå ytterligare minskning kan man mycket grovt räkna med en dyrare kolkälla, eller metanol + dyrare installation. Räknat med 4 000 kr/ ton metanolekvivalent skulle marginalkostnaden bli drygt 12 kr/kg N reducerat (räknat med 3,1 g metanol/g reducerat NO₃-N, aktuella data från Himmerfjärden (Bosander, 2003)).

Bromma reningsverk hade 61,7 % minskning av kvävet 2002. Även här ligger verket i berg, och det är mycket dyrt att bygga ut. Nu klarar man en långtgående nitrifikation tack vare avancerad styrning. Det bästa alternativet om man ska nå mellan 75 och 80 % minskning av kvävet är antagligen en efterdenitrifikation. Troligen kan en fluidiserad bädd få plats i berget, men eventuell metanol får förvaras utanför.

Jämfört med Himmerfjärdsverket skulle den hydrauliska belastningen vara nästan lika stor, medan kvävebelastningen skulle vara betydligt mindre på grund av att man har fördenitrifikation i Bromma. Om vi antar att investeringen blir lika stor som den i Himmerfjärdsverket (något mindre, men dyrare bygge) skulle det betyda 38 miljoner i dagens penningvärde. Med de antagna avskrivningarna skulle det betyda 3,6 Mkr/år.

För att minska kvävemängden med 200 ton/år skulle det gå åt 200 x 3,1 ton metanolekvivalent. Med ett antaget pris på 4 000 kr/ton (det går inte enkelt att använda metanol)

betyder det ca 2,5 Mkr, och alltså en total årskostnad på 6,1 Mkr. Det skulle innebära ca 30 kr/kg avlägsnat kväve, och att man nådde ca 78 % minskning till Östersjön.

Himmerfjärdsverket hade som årsmedelvärde 72,5 % minskning år 2002, men det beror på att man för ett eutrofieringsförsök stängde av efterdenitrifikationen några sommarmånader. Den enda åtgärd som behövs för att nå 80 % är att man utnyttjar sin efterdenitrifikation. Det kräver ingen investering, men kolkälla, fosforkälla och extra slamhantering.

Kostnaden för metanol kommer att dominera helt, eftersom det bara är ett mindre tillskott i slammängd. Priset på metanol varierar över tiden, men vi räknar här med 3 000 kr/ton (lägre kostnad än för Bromma och Henriksdal p.g.a. billigare hantering över marknivå). Med 3,1 g metanol/g NO₃-N skulle det bli 3 000 x 3,1 x 90 = 837 000 kr. Den specifika marginalkostnaden skulle vara drygt 9 kr/kg N.

Linköping (Nykvarn ARV) hade ingen kväverening under 2002, och utsläppet från verket var 401 ton N. Räknat med retention gav det 263 ton N, eller 64 % minskning. Man har planerat en våtmark för att klara 70 % minskning över verket + våtmark, men markägare har överklagat. Alternativet är efterdenitrifikation till ungefär samma totala kostnad, men man föredrar våtmarken som skulle ge låga driftskostnader.

70 % minskning skulle ge 220 ton ut från våtmarken, och 145 ton N till Östersjön. Det skulle motsvara drygt 80 % reduktion totalt, och en minskning mot dagens emission med 118 ton N.

Eftersom ärendet inte är avgjort kan man bara uppge att kostnaden för våtmarken skulle vara mellan 50 och 75 miljoner. Med en förväntad livslängd/avskrivningstid på 50 år och 7 % ränta skulle det betyda 3,6-5,4 miljoner per år. Om vi antar att driftskostnaderna är försumbara innebär det 20-30 kr/kg N_{red} över våtmarken. Räknat på reduktionen till Östersjön blir kostnaden 31-46 kr/kg N_{red}.

För att nå ca 80 % reduktion över verket räcker det inte med våtmarken. Enligt ovan skulle man med en mer konventionell efterdenitrifikation få ungefär samma totalkostnad för att nå 70 % som för våtmarken. Vi vet inte om den lösningen kan klara 75 %, men om den gör det kan man antagligen räkna med högst samma specifika kostnad även upp till den nivån. Vi har räknat med 38 kr/kg N.

Norrköping (Slottshagens ARV) startade sin kväverening i oktober 2002. Data för 2003 tyder på att man nu klarar ca 8,9 mg N/l eller 77 % minskning av emissionen till Östersjön. Det betyder att man jämfört med emissionen 2002 har minskat med 135 ton N per år. Investeringskostnaden var 38 miljoner, och man räknar med en extra driftskostnad på 365 000 kr.

Det innebär en extrakostnad på 30 kr/kg N i den gjorda utbyggnaden, men eftersom man redan har minskat utsläppen tillräckligt kommer inte någon kostnad att räknas för det här scenariot.

Eskilstuna har för närvarande en våtmark för kväverening, men når inte längre än till drygt 15 mg N/l eller 37 % minskning. Det innebär 60 % minskning till Östersjön, inklusive retentionen. Man diskuterar en ytterligare våtmark för att komma ner till ca 13 mg N/l. Det skulle innebära 61 % minskning till Östersjön. Det skulle alltså klara kravet på 15 mg N/l på grund av den låga inkommande halten, men inte målet med 75-80 % reduktion till havet. Ett krav på 70 % minskning över verket + våtmark skulle innebära 7,3 mg N/l ut från våtmarken.

Den diskuterade våtmarken skulle kosta ca 7 miljoner kronor. En sänkning av utgående halt från dagens till 13 mg N/l skulle innebära en minskning med 44 ton. Med avskrivning på 50 år och 7 % ränta betyder det ca 510 000 kr/år. Inklusiv uppskattad merkostnad i skötsel på 100 000 kr/år betyder det en marginalkostnad kring 14 kr/kg N_{red} . Åtgärden skulle dock inte ens räcka för att nå 75 % minskning till havet.

Något beslut angående våtmarken är inte taget. Eftersom man idag har en nästan fullständig nitrifikation i verket borde det finnas möjlighet att införa en fördenitrifikation innan man går ut till den befintliga våtmarken. Om förhållandena är sådana att man bara behöver flytta några luftare och installera omrörare och pumpar för recirkulation kan kostnaden komma att ligga i det nedre intervallet för beräkningarna i avsnitt 6.2.

Eskilstuna har ca 70 000 pe och behov av att reducera ytterligare 173 ton N/år för att nå 75 % över verket och den befintliga våtmarken. Investering (1) skulle då bli 20,4 miljoner och investering (2) 24,9 miljoner, medelvärde ca 23 miljoner. Med 30 % reduktion skulle det bli 16 miljoner kr. Det skulle betyda kapitalkostnader på ca 1,5 miljoner kr/år.

Driftskostnaderna kan på motsvarande sätt beräknas till 1,25 (1) eller 1,83 (2) miljoner kr/år. Medelvärdet blir ca 1,1 Mkr/år efter avdrag av 30 %. Totalt skulle det innebära ca 2,6 Mkr/år, eller ca 24 kr/kg N_{red} till havet.

Västerås och Uppsala. Vi antar att de endast behöver mer kolkälla för att få upp reduktion till 75 % över arv. Det innebär en specifik kostnad på ca 20 kr/kg N_{red} till havet.

Örebro. En investering motsvarande den i Norrköping krävs. Vi antar att kostnaderna för investering och drift blir ca 30 kr/kg N som i Norrköping. Den siffran ger totalkostnaden per år för att ta bort 181 ton N 5,4 Mkr/år. På grund av den höga retentionen blir minskningen till havet bara 48 ton, och den specifika kostnaden ca 113 kr.

Inverkan av retentionen gör att man antagligen skulle nå samma effekt till Östersjön billigare genom att sätta in åtgärder på flera mindre, men kustbaserade, verk, såsom

Norrälje, Oxelösund och Västervik. Eftersom man här bara är ute efter grova uppskattningar och inte att peka ut enskilda verk behåller vi ändå Örebro som exempel.

I tabell 3 finns en sammanställning över de åtgärder som presenterats ovan.

Tabell 3. Kostnader för föreslagna åtgärder vid verk med Östersjön som slutrecipient.

Reningsverk	Total reduktion, %	Minskning till hav mot 2002, ton N/år	Kostnadsökning	
			kr/år	kr/kg N
Henriksdal	79	0	0	
Käppala	80	90	560 000	12
Bromma	78,3	200	6 100 000	31
Himmerfjärden	80	90	1 000 000	11
Linköping	84	143	5 400 000	38
Norrköping	77	(135)	(4 000 000)	(30)
Eskilstuna	84	110	2 600 000	24
Västerås	84	61	1 200 000	20
Uppsala	84	59	1 200 000	20
Örebro	94	48	5 400 000	70
Totalt		801 (936)	22 000 000 (26 000 000)	27 (28)

De ovan beskrivna åtgärderna skulle ge en minskning av emissionerna till Östersjön med 936 ton N/år, dvs man skulle nå målet på 75 % (75,1 %). Det skulle ske till en kostnad av 27 kr/kg N_{red} utöver det som redan gjorts i Norrköping.

5.1.2 Öresund

Aktuella data var där 2002:

4 198 ton N in till verken 911 ton N till havet 78 % reduktion

Det betyder att man redan idag klarar gränsen på 75 % till Öresund, och enligt det här scenariot behövs inga fler åtgärder i de verk som släpper sitt vatten till Öresund.

5.1.3 Kattegatt

Här var de aktuella siffrorna för 2002:

10 287 ton N in till verken 4 514 ton N till havet 56 % reduktion

För att nå 75 % reduktion till havet krävs minskning med ytterligare 1 942 ton.

Riktade åtgärder vid de verk som har de 7 största belastningarna på havet ger följande minskning i ton N/år, tabell 4. Karlskoga står för ca 2 % av emissionen till Kattegatt från avloppsreningsverk.

Tabell 4. Effekt av olika åtgärder vid de största belastarna på Kattegatt, minskning jämfört med 2002 års emission. Det mest gynnsamma alternativet för verket har valts i kolumn 2, koncentration eller 70 % reduktion.

Reningsverk	10/15 mg/l, ton/år	75 % red, ton/år	80 % red, ton/år	Åtgärd för 80 % red
Ryaverket	214	628	777	Kalkyl på 4-6 mg/l
Trollhättan	107	179	196	Planer på kväverening
Borås	0	108	130	ED
Karlstad	107	104	122	Ny kväverening klar 2004
Vänersborg	56	62	71	Utbyggnad för att klara hela belastningen
Halmstad	0	19	36	ED, invest. + drift
Karlskoga	23	45	54	Ny, underlag 97-98 finns
Totalt	507	1 145	1 386	

Tabellen visar att det inte alls räcker med att de 7 största belastarna reducerar kvävet med 80 % till Kattegatt. Det fattas 556 ton N i den här teoretiska beräkningen. Om alla verk över 10 000 pe reducerar sin ingående kvävemängd med 80 % till havet skulle det betyda en minskning med 1 709 ton N/år, fortfarande mindre än vad som krävs för att nå 75 % reduktion till Kattegatt.

Ett scenario med 80 % reduktion över verk vid kusten och 75 % över verk i inlandet med en retention på minst 15 % skulle betyda en minskning med 1 777 ton N/år, förutsatt åtgärder bara vid verk över 10 000 pe. Det räcker fortfarande inte för att nå 75 % reduktion till Kattegatt, det blir bara 73,4 %. Om man ställer kravet 80 % reduktion över samtliga verk över 10 000 pe når man teoretiskt en minskning på 1 857 ton N/år, baserat på värden från 2002. Det skulle innebära 74,2 % reduktion av kväve i utsläpp till Kattegatt.

Det är alltså klart att det inte ens teoretiskt går att nå 75 % reduktion till Kattegatt, även om man skulle nå 80 % reduktion över alla verk över 10 000 pe.

Vi har ändå fullföljt genomgången av de större verken i tabell 4, för att ge en uppfattning om kostnaden för att nå ca 80 % reduktion till Kattegatt från dessa. Här dominerar Ryaverket så kraftigt (30 % av emissionen till Kattegatt från avloppsreningsverk) att mycket måste tas där. Vid flera av verken är saker på gång, och en hel del underlag finns.

Ryaverket hade 2002 bara ca 54 % kvävereduktion, trots att man var nere på 11,8 mg N/l, beroende på det stora vattenflödet. 75-80 % reduktion innebär för Ryaverket att man ska ner på 5,8-4,7 mg N/l. Det finns planer och offerter på utbyggnad till 10 mg N/l, men man har nyligen gjort en grov kalkyl på kostnaden för att nå 4-6 mg N/l. Den slutade på 50 kr/kg N, men tog inte hänsyn till de extra svåra förhållandena i det trånga verket. Om vi som tidigare nämnts drar gränsen vid 6 mg N/l som ett rimligt årsmedelvärde, och lägger till de schablonmässiga 30 % för svåra byggförhållanden skulle man komma till en minskning med 679 ton N till en kostnad av 44 Mkr/år.

Trollhättan (Arvidstorp) har idag bara en SBR-anläggning för rejektvatten. Utgående halt är hela 27 mg N/l på grund av att man aktivt tagit bort lågbelastade vatten. Verket ligger i berg, och det är trångt. Man har en uppskattning på 40 Mkr för att komma ner till ca 15 mg N/l och långtgående nitrifikation. 15 mg N/l skulle bara innebära 54 % reduktion till Kattegatt. För att nå 75-80 % reduktion krävs ner mot 7 mg N/l.

Ett sätt att nå dit är först den konventionella utbyggnaden med fördenitrifikation, och sedan efterdenitrifikation. För den första delen finns redan en siffra för investeringen, 40 Mkr. Jämfört med schablonen är det mer än det dubbla, men det är rimligt om det är trångt om utrymme i berget. Kapitalkostnaden skulle då bli 3,8 Mkr/år. Med schablonerna i avsnitt 6.2 kommer man till en driftskostnad på 1,1 Mkr/år, alltså totalt 4,9 Mkr för den första delen till 15 mg N/l.

För efterdenitrifikationen räknar vi med att en av de fyra enheterna som används vid Himmerfjärdsverket skulle räcka. Antag att kostnaden då blir ca 1/3 av de 38 Mkr, eller 13 Mkr. Det ger en kapitalkostnad på 1,22 Mkr/år. Till det kommer driftskostnaden för att ta bort ytterligare 85 ton N: $85 \times 3,1 \times 4\,000$ kr (åter problem med metanol i berget). Det blir 1,05 Mkr/år, eller totalt för denitrifikationen 2,3 Mkr/år.

För båda stegen, och för att ta bort 192 ton N/år, skulle kostnaden bli 7,2 Mkr/år. Det betyder 38 kr/kg N.

Borås (Gässlösa) har idag en utgående halt på 13,9 mg N/l, och klarar sig alltså under 15 mg N/l. Det innebär emellertid bara ca 50 % reduktion till Kattegatt. Idag har man en Biodenitro-anläggning som tar ca 2/3 av vattnet, medan 1/3 bara nitrifieras i biobäddar. Bassänger finns för denitrifikation, och man räknar med att ombyggnad och upprustning av bassängerna skulle kosta ca 4 Mkr. Extra driftskostnad skulle huvudsakligen vara kolkälla för de ca 125 ton N som behöver denitrifieras. Det skulle betyda en kapitalkostnad på ca 0,38 Mkr/år och driftskostnad på 1,16 Mkr/år, eller totalt ca 1,5 Mkr/år. Den specifika kostnaden skulle i så fall stanna vid ca 12 kr/kg N eftersom man har plats och långtgående nitrifikation.

Karlstad (Sjöstadsverket) har nyligen fått ett villkor på 15 mg N/l. När man ändå bygger ut siktar man ner mot 10 mg N/l för att ha marginal. Man ligger också nära

100 000 pe i belastning. I kalkylerna räknar vi med att man kommer att nå till 12 mg N/l, vilket skulle innebära 80,7 % reduktion till Kattegatt.

Eftersom man är mitt inne i upphandlingen vill man inte ge sin egen uppskattning av kostnaden. Verket ligger utomhus och det bör finnas plats för utbyggnad. Å andra sidan är nitrifikationen idag mycket måttlig. Det talar för att vi använder schablonen utan korrektion, och vi antar att det räcker med fördenitrifikation utan extra tillsats av kolkälla. Förhållandet BOD/N in är ovanligt högt (6,8).

Med 97 000 pe och 167 ton N som ska avlägsnas ger schablonen en investering på 25 Mkr, och en kapitalkostnad på 2,35 Mkr/år. Driftskostnaden skulle vara 1,7 Mkr/år, och tillsammans alltså 4,1 Mkr/år. Det innebär 24 kr/kg avlägsnat N i verket, men 32 kr/kg N om man räknar reduktion till havet (på grund av retentionen).

Vänersborg (Holmängen) höll fortfarande på att trimma in kvävereningen 2002. Man har nitrifikation i en gammal makadambädd och denitrifikation med Kaldnes bärarmaterial. Sedan man projekterade har man inte blivit av med ett lakvatten som planerat, utan det har i stället ökat och vatten från en extern rötning har tillkommit. Idag ser det ut som om man kommer att hamna mellan 110 och 120 ton N ut, jämfört med 146 ton år 2002 då anläggningen ännu inte gick bra. Det betyder fortfarande bara ca 55 % reduktion till havet, inklusive retentionen.

Lakvatten och rejektvatten från den externa rötningen står idag för ca 90 ton N in till verket. Det ska i framtiden behandlas lokalt, och alltså inte belasta reningsverket. Den reningskapacitet som man har idag, ca 75 ton N/år, skulle i så fall räcka för 75 % minskning över verket, och ca 81 % reduktion till Kattegatt. Efter att den lokala behandlingen av lak- och rejektvatten från TRAAB har kommit igång kommer alltså Vänersborg att klara utsläppsgränserna för scenariot. Frågan är hur kostnaden ska redovisas här.

Vi har valt att se vad det skulle kosta att bygga ut i Holmängen för att klara hela belastningen. Med schablonberäkning blir det 2,2 Mkr/år för att minska utsläppet från verket med 95 ton N/år, dvs 23 kr/ton reducerat N. Räknat till Kattegatt skulle det betyda en minskning på 71 ton N i förhållande till år 2002, och en specifik kostnad på 31 kr/kg N.

Halmstad (Västra Stranden) når idag 69,5 % reduktion. Utgående halt är 8,8 mg N/l. Om man kan nå 6 mg N/l skulle det innebära 79,2 % reduktion och att man tog bort ytterligare 33 ton. Idag har man i snitt över året en nitrifikation som skulle räcka till det. En möjlighet att nå 6 mg N/l borde vara efterdenitrifikation med tillsats av kolkälla.

Flödet i Halmstad är nära 1/3 av det vid Himmerfjärdsverket, och det betyder antagligen att den totala investeringen blir ungefär hälften, dvs ca 19 Mkr, om flödet dimensioneras. Med antagna villkor för avskrivningar skulle det innebära ca 1,8 Mkr/år. Kostnaden för kolkälla skulle vara ca 33 x 3,1 x 3 000 kr/år, eller 310 000 kr. Med viss extra perso-

nal skulle driftskostnaden vara ca 0,4 Mkr/år, och den totala kostnaden ca 2,2 Mkr/år. Det skulle betyda 67 kr/kg reducerat N.

Större delen av kostnaden ligger alltså i att anläggningen dimensionerats efter flödet, trots att väldigt lite kväve ska tas bort. Det är troligt att man skulle kunna minska reaktorvolymen väsentligt, men utan ytterligare utforskningar angående kapaciteten räknar vi för säkerhets skull med dessa siffror.

Karlskoga (Aggeruds ARV) har idag ingen kväverening, men en ganska långtgående nitrifikation. 1997-98 gjordes en kalkyl för några olika utbyggnadsalternativ. Det av konsulten förordade alternativet skulle i dagens penningvärde kosta ca 2,6 Mkr, medföra en ökad driftskostnad på 0,3 Mkr/år och ge en minskning av dagens utsläpp med 58 ton/år. Det skulle betyda att man nådde knappt 72 % reduktion till Kattegatt med retentionen inräknad. För att nå mellan 75 och 80 % reduktion till havet skulle man behöva minska med ytterligare minst 15 ton/år i verket.

Det tycks vara möjligt att nå den extra reningen i stort sett bara genom tillsats av extra kolkälla i den planerade ombyggnaden. Ytterligare 20 tons reduktion skulle då innebära att den totala kapitalkostnaden skulle bli ca 0,3 Mkr/år, och de extra driftskostnaderna 0,3 + 0,2 Mkr/år. Totalt skulle det alltså kosta 0,8 Mkr/år för att avlägsna 78 ton N. Det innebär bara 10 kr/kg N över verket, och 15 kr/kg N reducerat till havet.

I tabell 5 finns en sammanställning över de åtgärder som presenterats ovan.

Tabell 5. Kostnader för föreslagna åtgärder vid verk med Kattegatt som slutrecipient.

Reningsverk	Total reduktion %	Minskning mot 2002 ton N/år	Kostnadsökning	
			kr/år	kr/kg N
Ryaverket	76,7	679	44 000 000	65
Trollhättan	78,7	192	7 200 000	38
Borås	78,6	124	1 500 000	12
Karlstad	80,7	125	4 100 000	32
Vänersborg	80,0	71	2 200 000	31
Halmstad	79,2	33	2 200 000	67
Karlskoga	80,0	54	800 000	15
Totalt		1 278	62 000 000	49

De ovan beskrivna åtgärderna skulle ge en minskning av emissionerna till Kattegatt med 1 278 ton N/år, dvs man skulle inte nå målet på 75 % (68,5 %). Det skulle ske till en kostnad av ca 50 kr/kg N_{red}.

5.1.4 Skagerack

De aktuella siffrorna för 2002 var:

719 ton N in till verken 384 ton N till havet 48 % reduktion

För att nå 75 % reduktion till havet krävs minskning med ytterligare 197 ton.

Det finns bara 4 verk för mer än 10 000 pe som belastar Skagerack. Tabell 6 visar dem och vad olika åtgärder skulle betyda.

Tabell 6. Effekt av olika åtgärder vid de största belastarna på Skagerack.

Reningsverk	10/15 mg/l, ton/år	75 % red, ton/år	80 % red, ton/år	Åtgärd för 80 % red
Lysekil	14	25	28	Ny denitr.
Uddevalla	0	1	8	ED, invest. + drift
Stenungsund	0	0	3	Ingen åtgärd
Strömstad	0	1	3	ED, invest. + drift
Totalt	14	27	42	

Lysekil och Uddevalla står för 10,3 resp. 10 % av belastningen på Skagerack från avloppsreningsverk, och det är egentligen bara där det finns något att ta. Även om alla de här fyra verken byggdes ut till 80 % reduktion över verken skulle den totala reduktionen till Skagerack bara bli 54 %, beroende på den stora andelen små verk under 10 000 pe. Även till Skagerack är det alltså omöjligt att nå 75 % reduktion genom insatser på verken över 10 000 pe.

Uppgifter för Lysekil och Uddevalla tas med här för att ge en uppfattning om kostnaden.

Lysekil (Långevik) ligger i förhandlingar om kväverening. Man har ett beviljat LIP-bidrag på 5 Mkr för att bygga ut till 15 mg N/l, och en uppskattad totalkostnad på 15-20 Mkr för utbyggnaden. Den höga kostnaden beror på att man har det trångt i bergum. Vad man diskuterar nu är ett förslag att minska kvävemängden i ett större vattenområde med musselodlingar. Eftersom det inte skulle uppfylla det här scenariot med minst 75 % reduktion till havsbassängen kommer vi här att räkna med en konventionell rening.

För investeringen använder vi siffran 20 Mkr, och räknar med att man då når långtgående nitrifikation. Det ger en kapitalkostnad på 1,88 Mkr/år. Driftskostnaden med schablonuträkning blir 0,45 Mkr/år, och totalkostnaden alltså 2,3 Mkr/år. Med den utbyggnaden har man nått 15 mg N/l eller 56 % reduktion. För att klara 75-80 % krävs att ytterligare ca 13 ton N avlägsnas och man kommer ner till ca 7,3 mg N/l. Med det höga förhållandet BOD/N 7,3 kan det vara möjligt att åstadkomma med fördenitrifikation och stor recirkulation, men här räknar vi för säkerhets skull med en efterdenitrifikation.

Den kompakta fluidiserade bädden kan antagligen få plats i berget. Ett problem vid beräkningen är att flödet är så mycket mindre än det i Himmerfjärdsverket, och att den leverantören inte velat lämna prisuppgifter på andra storlekar. Flödet är här ca 4 % av det i Himmerfjärden. Det betyder att 1/6 av en av de reaktorerna skulle räcka. Om vi räknar med att skalfaktorer och kringutrustning gör att kostnaden blir drygt 1/3 av en reaktor skulle investeringen bli ca 5 Mkr. Med de vanliga beräkningarna kommer man till 0,47 Mkr/år i kapitalkostnad och 0,16 Mkr/år i ökade driftkostnader. Eftersom driftskostnaden ser låg ut höjer vi det till sammanlagt 0,7 Mkr/år. För hela reningen skulle då kostnaden bli 3,0 Mkr/år, motsvarande ca 110 kr/kg reducerat N! Även om vi räknar med att man skulle klara sig med den första investeringen på 20 Mkr och trimningar skulle man hamna på $1,88 + 0,50 = 2,38$ Mkr skulle det bli ca 90 kr/kg N. Det beror förstås på svårigheterna med bygge i ett trångt berg, och den lilla kvävemängden.

Uddevalla (Skansverket) har en väl fungerande kväverening. Man når 7,2 mg N/l och nästan 75 % till Skagerack. För att hamna mellan 75 och 80 % krävs ytterligare bara ca 6 tons minskning i verket. Enligt uppgift är man nära kapacitetstaket, och inbyggda i berg. Med tanke på att man idag har 4-5 mg nitratkväve i utgående vatten antar vi ändå att man skulle klara sig med extra kolkälla i fördenitrifikationen. Ett andra alternativ är att bygga en efterdenitrifikation för bara 6 ton N/år, och det skulle ge en mycket hög specifik kostnad. Det tredje alternativet är att bygga en separat SBR för rejektvattnet.

Med bara kolkälla till fördenitrifikationen skulle investeringskostnaden bli låg och driftskostnaden ca 75 000 kr/år, säg totalt ca 0,1 Mkr/år. Det skulle motsvara ca 17 kr/kg reducerat N vid verket, eller 20 kr/kg N till Skagerack.

En SBR för rejektvattnet skulle bli dyrare. Baserat på en liknande utbyggnad i Arvika kan man anta att investeringen skulle hamna på ca 2 Mkr och den extra driftskostnaden på 0,2 Mkr/år. Det skulle ge en total kostnad på ca 0,39 Mkr, eller 65 kr/kg N. Vi väljer för säkerhets skull att använda den siffran i sammanställningen.

Stenungsund (Strävliden) når idag 74,7 % reduktion, och även 80 % skulle bara innebära en minskning med 3 ton N/år. Det är inte meningsfullt att göra en kostnadsberäkning för den lilla mängden.

Strömstad (Österröd) kommer idag visserligen bara till 71,3 % reduktion, men även där finns det så lite att ta att ingen beräkning har gjorts.

I tabell 7 finns en sammanställning över de åtgärder som presenterats ovan.

Tabell 7. Kostnader för föreslagna åtgärder vid verk med Skagerack som slutrecipient.

Reningsverk	Total reduktion %	Minskning mot 2002 ton N/år	Kostnadsökning	
			kr/år	kr/kg N
Lysekil	78,6	27	3 000 000	110
Uddevalla	78,0	5	390 000	65
Stenungsund	74,7	0	0	
Strömstad	71,3	0	0	
Totalt		32	3 390 000	106

Åtgärderna på två av verken leder till en minskning av 32 ton kväve till havet motsvarande reduktion på 52 %. Det fattas fortfarande 165 ton för att nå målet på 75 % reduktion. Här krävs det åtgärder på även Stenungsund, Strömstad och de flesta verk även under 10 000 pe för att nå 75 % reduktion.

5.1.5 Sammanställning av alternativ A.

En sammanställning, per havsbassäng, av vad de föreslagna åtgärdsalternativen har för effekt på utsläppen från avloppsreningsverken redovisas i tabell 8.

Tabell 8. Sammanställning av effekterna av åtgärderna på vissa verk redovisade per havsbassäng.

Havsbassäng	Östersjön	Öresund	Kattegatt	Skagerack	Totalt
In till alla verk, ton/år	20 326	4 198	10 287	719	35 530
Till hav från verk >10 000 pe, ton/år	3 975	835	1 996	72	6 878
Minskning från verk >10 000 pe, ton	936	0	1 278	32	2 246
Ut till hav från verk <10 000 pe, ton/år	1 084	76	1 240	273	2 673
Total belastning från arv. ton/år	5 059	911	3 236	345	9 551
Reduktion till hav inkl. retention, %	75,1	78,0	68,5	52,0	73,1
Kostnad, kkr/år	26 000	0	62 000	3 400	91 400
Kostnad, kr/kg N	27	0	49	110	41

Eftersom beräkningarna av kvävereduktionerna är teoretiska (i de flesta fall baserade på 2002 års värden) ges de med alla siffror. Kostnadsuppskattningarna ges med två värdesiffror, trots att osäkerheten är stor. Felet i en enskild kostnadsuppskattning med schablonmetoden kan vara en faktor 2 eller mer. Där man har uppgifter från verkens egna beräkningar bör felet vara litet, medan summan för större områden med flera verk snarare har en osäkerhet på ca 20 %.

En beräkningsgrund som använts vid flera verk är investeringskostnaden för en efterdenitrifikation av den typ som används vid Himmerfjärdsverket. Om vi antar att investeringskostnaden vid Himmerfjärdsverket var ett introduktionspris, och kostnaden i dag är

50 % högre, skulle den totala kostnadsökningen till Östersjön ändå inte bli mer än 1,8 Mkr, till Kattegatt 1,4 Mkr och till Skagerack 0,2 Mkr, alltså totalt 3,4 Mkr till beräknade 89 Mkr.

Vid långtgående rening blir priset på kolkälla alltmer betydelsefullt. Om priset skulle vara 20 % högre än det som antagits här (motsvarande 3 000 kr/ton metanol), skulle summan 89 Mkr/år stiga till ca 92 Mkr/år.

Den siffra som slår mest i slutresultatet är kostnaden på Ryaverket. Om kostnaden där t ex skulle vara 20 % högre än den som har antagits, skulle totalkostnaden stiga med 10 %.

5.2 75 % reduktion totalt till de fyra havsbassängerna summerat

För att nå en reduktion på 75 % till de fyra havsbassängerna totalt krävs det att utsläppen reduceras med 2 914 ton kväve. I förslagen under 7.1 blir den totala reduktion 2 246 ton kväve. Det krävs alltså en minskning med ytterligare 669 ton för att nå målet.

I tabell 9 redovisas utsläppen till de olika havsbassängerna om alla verk >10 000 pe skulle ha en kväverening på minst 80 % över verket eller minst 6 mg N/l utgående vatten.

Tabell 9. Utsläpp om alla verk >10 000 pe skulle ha en kväverening på 80 % över verket eller minst 6 mg N/l utgående vatten.

	Östersjön	Öresund	Kattegatt	Skagerack	Totalt
In totalt, ton/år	20 326	4 198	10 287	719	35 530
Ut, verk >10 000 pe, ton/år	3 494	771	1 650	61	5 976
Ut, verk <10 000 pe, ton/år	1 670	82	1 563	274	3 589
Ut totalt, ton/år	5 164	853	3 213	335	9 565
Till hav från verk >10 000 pe, ton/år	2 927	771	1 515	57	5 270
Till hav från verk <10 000 pe, ton/år	1 084	76	1 240	273	2 673
Till hav totalt, ton/år	4 011	847	2 755	330	7 943
Reduktion till hav inkl. retention, %	80,3	79,8	73,2	54,1	77,6

Om man sänker kravet på inlandsverk med minst 15 % retention av kväve till 75 % reduktion över verket skulle minskningen mot 2002 års siffra bli 3 678 ton N. Det skulle betyda att man nådde 77,1 % total reduktion. Fullt så stor reduktion behövs alltså inte för att man ska kunna nå totalt 75 % reduktion till haven runt södra Sverige. Om man vill nå låga emissioner till havet gör retentionen att det är mest kostnadseffektivt att sätta in åtgärder på kustverken, förutsatt i övrigt lika förhållanden. 75-80 % reduktion

över kustverk och 70-75 % reduktion över inlandsverk över 10 000 pe skulle vara ett sätt att nå totalt 75 % minskning till kringliggande hav. Ett annat sätt är att man för de flesta större verk kräver 75 resp. 80 % reduktion, och för övriga bara att de klarar kraven på 10 eller 15 mg N/l eller 70 % reduktion över verket.

Vi har inte gjort någon beräkning av kostnaden för varje enskilt verk för att nå 75-80 % reduktion över verken. Vi har i stället valt att först använda de gjorda uppskattningarna för de största verken under punkt 7.1, och sedan lägga till resterande som en uppskattad klumpsumma. I de 17 verken med kalkyler kom man till en minskning av emissionen med 2 246 ton till en kostnad av 89 Mkr/år, alltså 40 kr/kg N.

För att nå 75 % reduktion till de fyra havsbassängerna sammanlagt krävs en minskning med 2 915 ton N/år, alltså 669 ton ytterligare. Om förutom åtgärderna vid de 17 verken också alla verk över 10 000 pe och emission av mer än 20 ton N/år till havet uppfyller kraven på 10 eller 15 mg N/l eller 70 % reduktion, skulle man få en ytterligare minskning med 288 ton kväve per år. Det betyder fortfarande bara 73,9 % total reduktion, och man måste alltså gå längre med många verk. Den specifika kostnaden för dessa 288 ton kväve skulle vara ca 100 kr/kg N (data från tabell 11).

Det gäller alltså att få en uppfattning av kostnaden för att ta bort de 669 ton kväve som behövs utöver det man räknat med under punkt 7.1. Eftersom det rör sig om många mindre verk blir den specifika kostnaden säkert högre än den under 7.1, 40 kr/kg N. Å andra sidan bör den bli lägre än den ovan nämnda för att alla mindre verk ska nå 10 eller 15 mg N/l eller 70 % reduktion, 100 kr/kg N, eftersom man i princip tar mer på varje verk. Om vi lägger oss mitt emellan, på 70 kr/kg N, skulle kostnaden för 699 ton bli ca 49 Mkr/år. Den kostnaden ska alltså läggas till den som beräknats under 7.1, och totalkostnaden för alternativ b) skulle bli ca 140 miljoner kr/år. Det skulle betyda en specifik kostnad kring 48 kr/kg N.

5.3 75 % reduktion totalt, med särskild hänsyn till känsliga områden

Enligt 7.2 var emissionen till kringliggande hav från verk över 10 000 pe 5 446 ton N/år med högst 80 % reduktion över kustverk, 75 % över inlandsverk och minst 6 mg N/l i utgående vatten. 75 % reduktion skulle tillåta emission av 6 209 ton. Man skulle alltså kunna öka utsläppen till mindre känsliga områden med 763 ton N/år och ändå klara målet 75 % reduktion totalt. Eftersom vi har antagit att det är osäkert att klara mer än 80 % reduktion över verken kan man inte öka reningen i kustverken över det till känsliga områden.

Att öka reduktionen vid inlandsverk från 75 till 80 % har på grund av retentionen inte så stor effekt. Enda möjligheten till prioritering av känsliga områden med bibehållande av totalt 75 % reduktion blir då att minska reduktionen till mindre känsliga områden. Med

den vidsträckta definitionen på särskilt känsliga områden som vi har (ostkusten mellan Oskarshamn och Norrtälje och större älvmynningar och fjordar på västkusten) betyder det att man kunde sänka kraven från 80 % för verk vid kusten mellan Oskarshamn och Malmö och från 75 % för inlandsverk som avleder sitt vatten till samma område.

5.4 Alla verk klarar antingen 10 resp. 15 mg N/l eller 70 % reduktion

För de verk som inte klarar att nå 10 resp. 15 mg N/l ut eller 70 % reduktion över verket har beräkningar gjorts för att se hur mycket kväve de måste reducera, över verket, för att nå något av målen. Det målet som har inneburit minst mängd kväve att rena har valts. Kostnadsuppskattningen har utförts enligt schablonberäkningarna i 6.2, se tabell 10.

Tabell 10. Kostnadsuppskattning för att nå 10 resp. 15 mg/l ut eller 70 % reduktion över verket.

	Östersjön	Öresund	Kattegatt	Skagerack	Totalt
Antal	24	1	15	1	40
Minskning mot 2002 ut till hav, ton N/år	396	9	674	14	1 094
Kostnadsökning, kr/år	28 000 000	1 100 000	34 000 000	2 300 000	65 000 000
Kostnadsökning, kr/kg N	72	126	50	162	60
Ut till hav totalt, ton/år	5 599	902	3 840	363	10 703
Reduktion, %	73	79	63	50	70

För de flesta verk gäller det att målet om 10 resp. 15 mg/l ut är det som ger minst kväve att rena, se tabell 11. Norrköping ej inräknat i summeringen i likhet med 7.1.1.

Kostnadsberäkningarna har gjorts med schablonerna för de flesta verken. Där man gjort mer detaljerade studier enligt avsnitt 7.1 används de siffrorna, efter justering till det förändrade målet. Verk med kväverening, och där det bara fattats lite för att klara gränsen har bara fått driftskostnad för tillsats av kolkälla.

De specifika kostnaderna i tabell 11 blir i många fall mycket höga, då schablonen ger en viss minsta kostnad, och denna ska slås ut på ett fåtal ton kväve. Samtidigt är det riktigt att den specifika kostnaden blir hög i små verk om man inte har gynnsamma förutsättningar.

Tabell 11. Sammanställning av verken som ej klarar något av kraven 10 resp. 15 mg N/l ut eller 70 % reduktion över verket baserat på data från 2002.

Havs- bassäng	Reningsverk	Valt alternativ	Retention %	Till havet 2002, ton N	Minskning mot 2002 ut till hav, ton N	Kostnad, kkr/år	Kostnad, kr/kg N
Kattegatt	Alingsås arv.	15 mg/l	37	53	8,0	1 600	194
Kattegatt	Arvika, Vik arv.	15 mg/l	29	43	19,5	1 300	68
Kattegatt	Borås avr. Gässlösa	10 mg/l	0,8	219	61,6	1 000	16
Kattegatt	Gislaved arv.	15 mg/l	5	51	16,3	1 100	68
Kattegatt	Göteborg, Ryaverket	10 mg/l	0	1375	214,4	12 600	59
Kattegatt	Karlskoga, Aggeruds arv.	15 mg/l	31	89	23,2	500	24
Kattegatt	Karlstad, Sjöstadsverket	15 mg/l	25	196	107,8	3 900	36
Kattegatt	Kils arv.	70 %	25	28	13,6	400	31
Kattegatt	Ljungby arv.	15 mg/l	1	60	11,8	1 300	109
Kattegatt	Skara arv.	70 %	25	55	13,9	1 800	128
Kattegatt	Tidaholms arv.	15 mg/l	30	22	4,3	900	215
Kattegatt	Trollhättan, Arvidstorp	15 mg/l	0	266	107,3	4 900	45
Kattegatt	Töreboda arv.*	15 mg/l	25	16	4,1	1 000	239
Kattegatt	Vara arv.*	15 mg/l	25	19	4,2	900	223
Kattegatt	Vänernsborgs, Holmängen	15 mg/l	25	109	56,0	2 000	35
Kattegatt	Värnamo arv	15 mg/l	17	40	13,9	500	34
Kattegatt	Åmåls arv.	15 mg/l	25	26	7,1	900	130
Skagerack	Lysekil, Långevik arv	15 mg/l	0	39	14,3	2 300	162
Öresund	Eslöv, Ellinge arv.	70 %	0	72	9,0	1 100	126
Östersjön	Arboga arv.	15 mg/l	34	35	15,8	1 200	77
Östersjön	Eksjö arv.*#	15 mg/l	38	21	1,7	1 000	614
Östersjön	Enköpings arv.	15 mg/l	34	47	17,8	1 300	75
Östersjön	Eskilstuna arv.	15 mg/l	36	182	4,4	700	148
Östersjön	Finspång, Axsäter arv.	70 %	23	41	8,0	1 200	154
Östersjön	Visby arv.	15 mg/l	0	52	6,2	500	74
Östersjön	Hallstahammar, Mölntorp avr.	15 mg/l	35	49	15,5	1 200	78
Östersjön	Håbo, Bålsta arv.	15 mg/l	34	30	8,9	1 100	124
Östersjön	Huskvarna arv.*	15 mg/l	88	10	0,6	50	78
Östersjön	Katrineholm arv.	15 mg/l	58	36	15,7	1 400	91
Östersjön	Lindesbergs arv.	15 mg/l	44	26	6,8	1 000	145
Östersjön	Linköping, Nykvarn arv.	70 %	34	263	118,8	4 500	38
Östersjön	Ludvika, Gårilångens arv.	15 mg/l	53	21	7,5	1 100	150
Östersjön	Motala, Karshult arv	15 mg/l	54	38	6,4	400	62
Östersjön	Mörbylånga,* Färjestadens avr	15 mg/l	0	18	0,9	8	9

Havs-bassäng	Reningsverk	Valt alternativ	Retention %	Till havet 2002, ton N	Minskning mot 2002 ut till hav, ton N	Kostnad, kkr/år	Kostnad, kr/kg N
Östersjön	Norrköping, Slottshagen arv.	10 mg/l	0	258	(98,0)	(2 900)	(30)
Östersjön	Nynäshamn arv.	15 mg/l	0	45	12,2	1 100	91
Östersjön	Nässjö arv.*	15 mg/l	94	5	0,6	1 200	2137
Östersjön	Oxelösunds arv.	15 mg/l	0	28	2,8	900	321
Östersjön	Sala arv.	15 mg/l	34	43	8,4	1 000	124
Östersjön	Strängnäs arv.	15 mg/l	34	35	4,2	100	14
Östersjön	Tingsryds arv.*	15 mg/l	43	11	0,9	1 100	1233
Östersjön	Tomelilla arv.	15 mg/l	0	32	10,0	1 300	126
Östersjön	Tranås arv.*	15 mg/l	78	12	2,4	1 100	439
Östersjön	Uppsala arv.	70 %	34	179	34,3	500	14
Östersjön	Vimmerby arv*	15 mg/l	78	7	1,9	1 200	618
Östersjön	Västerås, Kungsängens arv.	10 mg/l	34	163	34,8	500	14
Östersjön	Växjö arv.	15 mg/l	48	92	20,0	2 000	100
Östersjön	Älmhults arv.	15 mg/l	10	32	4,0	1 100	265
Östersjön	Örebro, Skebäcks arv.	10 mg/l	77	81	39,9	5 300	132
Median					10	1 106	100
Totalt				4 673	1 121	75 000	67

*) ingår ej i tabell 10 då deras belastning till havet understiger 20 ton kväve/år.

#) utgående vatten går till en våtmark men det finns ej mätningar efter våtmarken. Kommer förmodligen att klara gränsen utan några ombyggnader om de kan visa att de sker en reduktion över våtmarken.

6 Referenser

Balmér, P., *Resursförbrukning och kostnader vid nitrogenrening i nordiska reningsverk, 1999.*

Bosander, J., Dillner Westlund, Å., *Operation of full-scale fluidized bed for denitrification, Water Science and Technology 41:9 (2000) T115-121.*

Brandt M., Ejhed H., *TRK, Transport – Retention – Källfördelning, Belastning på havet, Rapport 5247, Naturvårdsverket (2002), ISBN 91-620-5247-0.pdf, ISSN 0282-7298,*

Brånvall G., *Uppdatering av fasta teknikuppgifter för reningsverk, Rapport version PA2 2003-03-11, SMED, 2003.*

Naturvårdsverket, *Sammanställning av kostnader för kväveavskiljning vid kommunala avloppsreningsverk, 1996.*

Bosander J., Himmerfjärdsverket, **2003**

Brånvall G., Statistiska Centralbyrån (SCB), **2003**

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL är ett oberoende och fristående forskningsinstitut som ägs av staten och näringslivet. Vi erbjuder en helhetssyn, objektivitet och tvärvetenskap för sammansatta miljöfrågor och är en trovärdig partner i miljöarbetet.

IVLs mål är att ta fram vetenskapligt baserade beslutsunderlag åt näringsliv och myndigheter i deras arbetet för ett bärkraftigt samhälle.

IVLs affärsidé är att genom forskning och uppdrag snabbt förse samhället med ny kunskap i arbetet för en bättre miljö.

Forskning- och utvecklingsprojekt publiceras i

IVL Rapport: IVLs publikationsserie (B-serie)
IVL Nyheter: Nyheter om pågående projekt på den nationella och internationella marknaden
IVL Fakta: Referat av forskningsrapporter och projekt
IVLs hemsida: www.ivl.se

Forskning och utveckling som publiceras utanför IVLs publikationsservice registreras i IVLs A-serie. Resultat redovisas även vid seminarier, föreläsningar och konferenser.



IVL Svenska Miljöinstitutet AB

P.O. Box 210 60, SE-100 31 Stockholm
Hälsingegatan 43, Stockholm
Tel: +46 8 598 563 00
Fax: +46 8 598 563 90

www.ivl.se

IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd

P.O. Box 5302, SE-400 14 Göteborg
Aschebergsgatan 44
Tel: +46 31 725 62 00
Fax: +46 31 725 62 90

Aneboda, SE-360 30 Lammhult
Aneboda, Lammhult
Tel: +46 0472 26 77 80
Fax: +46 472 26 77 90