

En fallstudie av kustvattenförekomsten

Fjällbacka inre skärgård

En bedömning av åtgärdspotentialen i avrinningsområdet för en minskad näringsbelastning och dess effekter i havet

Text: Carina P. Erlandsson¹, Hans Lann¹, Elin Ruist¹,
Ingela Isaksson¹, Markus Klingberg¹

¹ Länsstyrelsen Västra Götalands län

Innehållsförteckning

1. Inledning	4
2. Områdesbeskrivning.....	6
2.1. Fjällbacka inre skärgård	6
Hydrografi.....	6
Marin biologi.....	6
2.2. Avrinningsområdet.....	8
Markanvändning	8
Sjöar och vattendrag	10
Punktkällor	12
3. Belastning från land och atmosfär	14
3.1. Modellerad belastning	14
3.2. Bidraget från vattendrag.....	16
3.3. Utsläpp från avloppsreningsverk	18
4. Åtgärder	20
4.1. Vidtagna åtgärder	20
4.2. Planerade åtgärder	20
5. Ytterligare möjliga närsaltsreducerande åtgärder.....	21
5.1. Åtgärder inom jordbruket.....	21
Våtmarker och dammar	22
Skyddszoner.....	22
5.2. Erosionsbegränsande åtgärder	23
5.3. Enskilda avlopp	23
5.4. Mottagningsanläggningar för toa-avlopp från fritidsbåtar.....	23
5.5. Musselodlingar	23
6. Modellsimulering.....	24
6.1. Åtgärds paket.....	24
Reningsverk	24
Enskilda avlopp.....	24
Skyddszon på åkermark.....	25
Våtmark på åkermark.....	25
6.2. Åtgärdernas effekt på landtillförseln.....	25
6.3. Åtgärdernas effekt på havet	27
Resultat på vattenförekomstnivå.....	27
Resultat på viknivå	29
7. Slutsats	31
8. Referenser.....	33

1. Inledning

För Norra/Mellersta Bohuslän har projektet för en särskild studie valt ut Fjällbacka inre skärgård. Kustvattenområdet Fjällbacka inre skärgård i Tanums kommun utgör ett exempel på ett inre skärgårdsområde i norra Bohuslän som har eutrofieringseffekter på grund av tillförsel av näringsämnen från flera källor. Vattenomsättningen i området är begränsad och grundområdena är mycket känsliga för övergödning. Vi analyserar de olika källorna till näringstillskottet och de åtgärder som kan vara aktuella för att avlasta området på närsalter. Med hjälp av SMHI:s kustzonmodellssystem och en separat vikmodell beräknas effekterna på havet.

Tanum är Bohusläns till ytan största kommun, med en landyta på 909 kvadratkilometer, räknas även vatten med är ytan 945 km². Kommunen har drygt 12 200 invånare.



Figur 1. Karta över Tanums kommun med avrinningsområdet till Fjällbacka inre skärgård markerat med röd linje. De svarta tunna linjerna visar skärgårdsområdenas avgränsning.

Kusten är väl skyddad av många mindre öar som ligger som ett pärlband från norr till söder (figur 1). De större samhällena i området är Tanumshede och Fjällbacka med ca 1600 resp. 800 permanent boende. Naturvårds- och rekreationsintressena i området är mycket höga (figur 2). Natura 2000-området Jorefjorden består av en

stor, 634 ha, grund havsvik med flera större och mindre öar och omgivande strandängar. De inre delarna av viken är ett estuarie där vattendragen Jorälven, Träsvallaälven, Edstensbäcken och Ålebäcken mynnar. Estuariet omges av betade salt- och strandängar. Den yttre delen av viken består av några större öar med omgivande sund. Öarna består mest av hållmark, men också av betade strandängar, torrängar och hedmark.



Figur 2. Skyddsområden i Fjällbackaområdet. Ljusgrön markering är områden skyddade enligt art och habitatdirektivet och/eller fågeldirektivet. Ljsgön striering markerar områdets naturreservat samt blå markering fiskfredningsområden.

2. Områdesbeskrivning

2.1. Fjällbacka inre skärgård

Hydrografi

Det skyddade läget med många öar ger ett begränsat vattenutbyte med det öppna havet. Det finns dock inga trösklar och alltså inget djupvatten utan direktkontakt med kustvattnet utanför. Området utanför Fjällbacka är relativt grunt med djup kring 10-15 meter och i Jorefjorden söder om detta är det 1-4 meter djupt. Jorefjorden mottar näringsrikt färskvatten från flera tillflöden, vilket påverkar salthalten lokalt. De norra delarna av Fjällbacka inre skärgård är djupare och inseglingen till Kämpersvik grundar upp från ca 25 m vid Musön till ca 10 meter längre in. Även Fjällbacka yttre skärgård består av många mindre öar som begränsar vattenutbytet.

Det finns inga eller mycket få observationer av hydrografi parametrar (temperatur, salthalt, näringsämnen, syre etc.) i skärgårdsområdena i Bohuslän. Den närmsta stationen är Kosterfjorden som inte är representativ för den inestängda skärgården i Bohuslän. Vi använder därför SMHI:s kustzonmodellsystem för att uppskatta koncentrationer av näringsämnen i kustområdet. Modellen visar att koncentrationen av näringsämnen är något förhöjt i området jämfört med värdena i kustvattnet (modellberäknade) utanför. Eftersom koncentrationen i kustvattnet utanför är lägre så är det den lokala tillförseln från land som tillsammans med det begränsade vattenutbytet skapar de förhöjda koncentrationerna i innerskärgården. Den största delen av vattenutbytet mellan kust- och skärgårdsområdena längs västkusten drivs av densitetsvariationen i kustvattnet (Aure et al. 1996, Björk et al. 2000). Språngskiktet mellan det mindre salta ytvattnet (ca 25 psu) och underliggande vatten (ca.33 psu) ligger på ca 15 meters djup men pendlar upp och ner mellan ca 5 till 25 meters djup.

I vikarna, i t ex Jorefjorden, där både Joreälven och Träsvallaälven mynnar finns inga observationer och inte heller beräknade modellparametrar. Det är dock på denna mindre skala som effekterna av näringstillförseln via vattendragen kan förväntas vara störst. Näringskoncentrationen i ytvattnet i Grebbestad inre skärgård som ligger strax norr om och som påverkas av landtillförseln till Fjällbacka inre skärgård är också något förhöjda. Även där är vattenutbytet begränsat av många mindre öar. Den lokala landtillförseln är betydligt lägre men ytvattnet har enligt modellen högre fosforkoncentrationer jämfört med både koncentrationerna i kustvattnet utanför och i Fjällbacka inre skärgård.

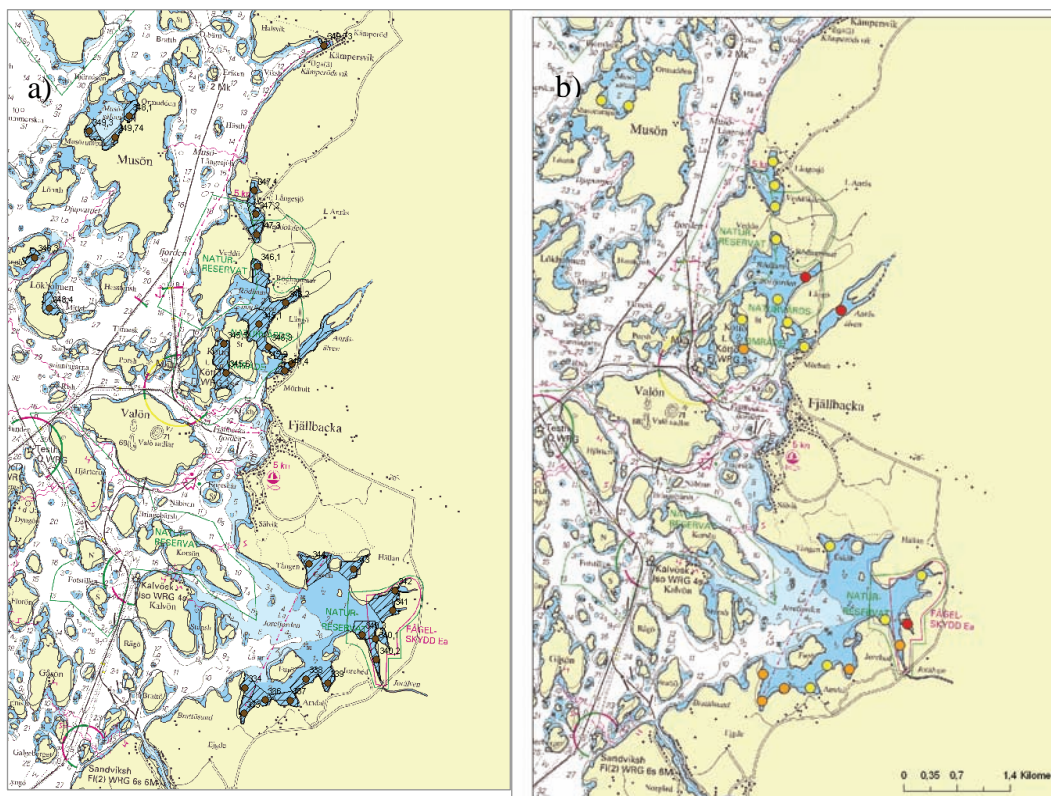
Marin biologi

Området är i sin helhet viktigt som uppväxtområde för fisk. De inre, näringsrika vikarna med omgivande strandängar är viktiga häck- och övervintringsplatser för sjöfågel och vadare. De marina grundområdena är mycket känsliga för övergödning, men är också känsliga för muddring och andra verksamheter som omlagrar eller skadar bottenarna.

Marinbiologiska inventeringar genomfördes i delar av området 1986 (Pleijel, 1988). Inga marinbiologiska undersökningar har genomförts sedan dess. Både grundområde (0-6 m) och något djupare havsområde karterades med avseende på botten sediment, vegetation och fauna. Underlaget utgör en viktig baslinjeundersökning för dokumentation av eventuella förändringar i det grunda

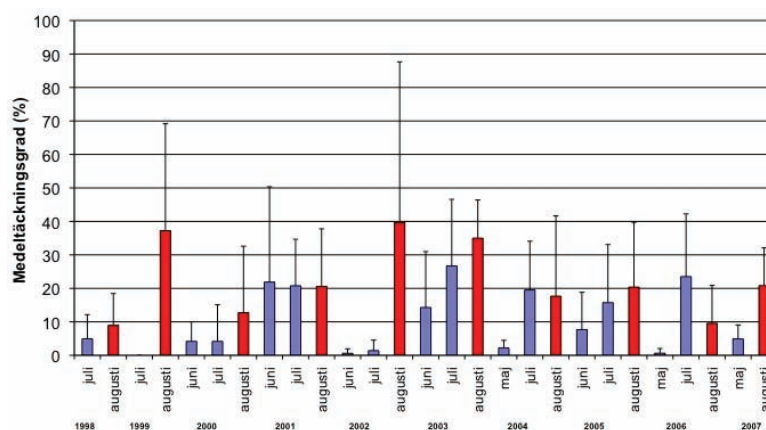
kustekosystemet. Hela Jorefjorden karaktäriserades 1986 av täta högproduktiva sammanhängande ålgräsbestånd (*Zostera marina*) som täckte stora arealer vid tidpunkten för inventeringarna (Pleijel, 1988). Även i området mellan Korsön och Kalvön noterades riklig förekomst av ålgräsängar. Sötvattensutflödena i de innersta delarna präglar fauna och flora med tydliga gradienter inifrån och ut. Hög produktion i grundområdena dokumenterades, ibland annat Jorefjorden (Pleijel, 1988). Vid inventeringarna 1986 dokumenterades rikliga bestånd av ostron (*Ostrea edulis*) på Hjärtöns västsida, som är belägen i kustvattenförekomsten Yttre Fjällbacka, men också ett mindre bestånd av ostron noterades på Kalvöns sydsida i kustvattenförekomsten Inre Fjällbacka.

I Bohuskustens Vattenvårdsförbund regi genomförs årligen, sedan 1998, ett kontrollprogram med syftet att via flygfotograferingar kartlägga förekomst och utbredning av snabbväxande makroalger i grunda (0-1 m) havsvikar. Totalt baseras undersökningen i vattenförekomsten Inre Fjällbacka på 26 grunda vikar i innerskärgården med en yta mellan (2-5 ha). Vid varje flygfotografering noteras utbredningen av snabbväxande makroalger som en procentuell andel av en definierad vik (figur 3).



Figur 3. a) Vikar i Fjällbackaområdet som ingått i analysen. b) Täckningsgrad av snabbväxande makroalger i grunda (0-1 m djup) vikar. Data baserad på Bohuskustens vattenvårdsförbunds (BVVF) kontrollprogram (1998-2007) för snabbväxande makroalger. Vid ett eller flera tillfällen under tidsperioden har en viss täckningsgrad noterats. Färgmarkeringarna visar vikens täckningsgrad 75-100% (röd); 50-74% (orange); 15-49% (gul).

Sammantaget har 174 observationer av utbredning av snabbväxande makroalger i Inre Fjällbacka sammanställts för åren 1998-2007, fördelat på olika år och tidpunkter under år. Vikarna har under undersökt tidsperiod i medeltal täckts med snabbväxande makroalger till 15 % med ett intervall på 0- 92 % täckningsgrad för respektive vik (figur 4). Under aktuell tidsperiod har näst intill genomgående högst utbredning av snabbväxande makroalger noterats i augusti månad.



Figur 4. Medeltäckningsgrad av snabbväxande makroalger i grunda havsvikar i kustvattenförekomsten Fjällbacka Inre Skärgård, fördelad på år och månad. Data baserad på Bohuskustens vattenvårdsförbunds (BVVF) kontrollprogram (1998-2007) för snabbväxande makroalger. Rödmärkade staplar anger augusti månad.

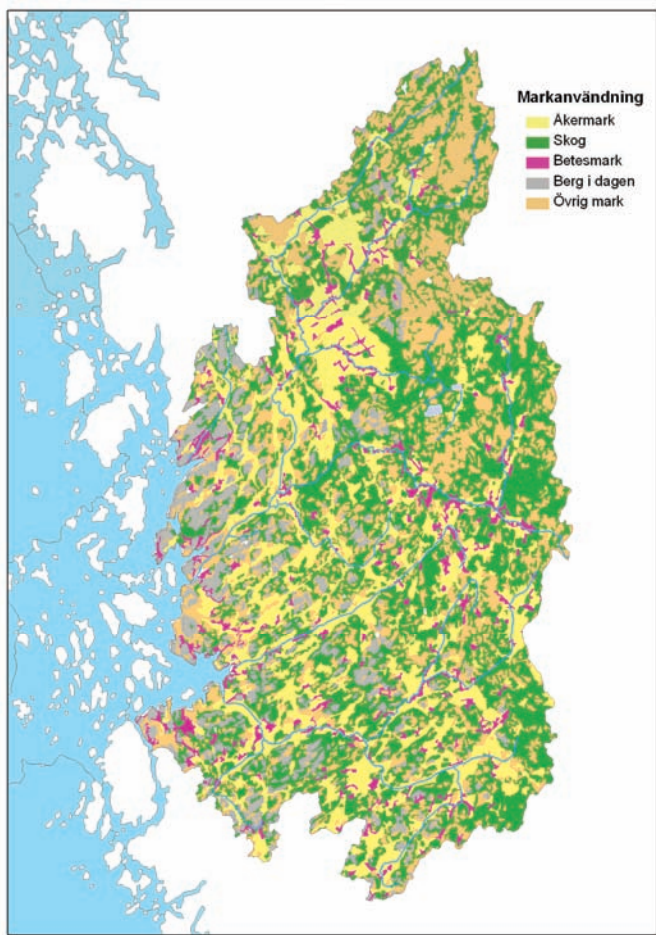
2.2. Avrinningsområdet

Markanvändning

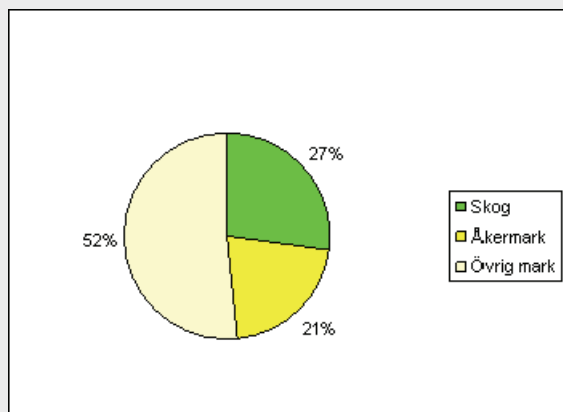
Fjällbacka inre skärgård har ett avrinningsområde på 301 km². Det utgör ca 30 % av Tanums kommuns landareal (se figur 1). Den totala tillrinningen till Fjällbacka inre skärgård är ca 6 m³/s. Avrinningsområdet har en typisk bohuslänsk karaktär, d.v.s. ett småbrutet landskap med omväxlande åker, betesmark, skog och berg i dagen. Andelen övrig mark, betesmark, strandängar och berg utan vegetation är stor i kustbandet. Inåt land ökar andelen skog (se figur 5). Åkermarkens areal (ca.6000 ha) upptar 21% av avrinningsområdet (figur 6). I området bedrivs ett aktivt jordbruk inriktat mot mjölkproduktion och köttdjursuppfödning, även om antalet mjölkgårdar har halverats de senaste åren. I kommunen finns endast 5-6 gårdar med antalet djurenheter >100.

Vall och bete dominerar jordbruksarealerna. Åkerarealen i avrinningsområdet till sammanhängande jordbruksområden finns framför allt runt de större åarna Jorälven, Träsvallaälven samt Anråsälven. Trädan har minskat väsentligt senaste åren och spannmålsarealen, brukas mindre intensivt (ca.3000 ha år 2006 i hela kommunen).

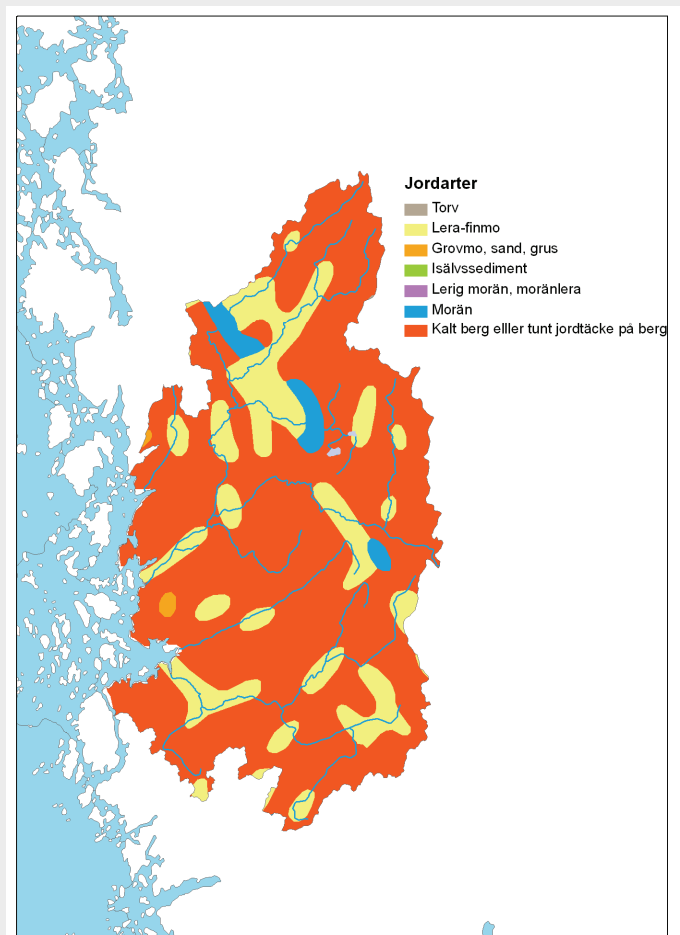
Jordarterna utgörs framför allt av mellanlera och lättlera (figur 7). EU-ersättningarna till vårplöjning och fånggrödor utgick 2006 i Tanums kommun till ca 2000 ha.



Figur.5 Markanvändningen i avrinningsområdet till Fjällbacka inre skärgård. De större åarna är från norr till söder: Anräsälven, Träsvallaälven och Joreälven.



Figur 6. Den procentuella fördelningen av markanvändningen i avrinningsområdet till Fjällbacka inre skärgårds. Öppen mark innefattar ogödslad betesmark, ogödslad vall, strandängar och berg utan vegetation.



Figur 7. Jordartskartan för avrinningsområdet till Fjällbacka inre skärgård.

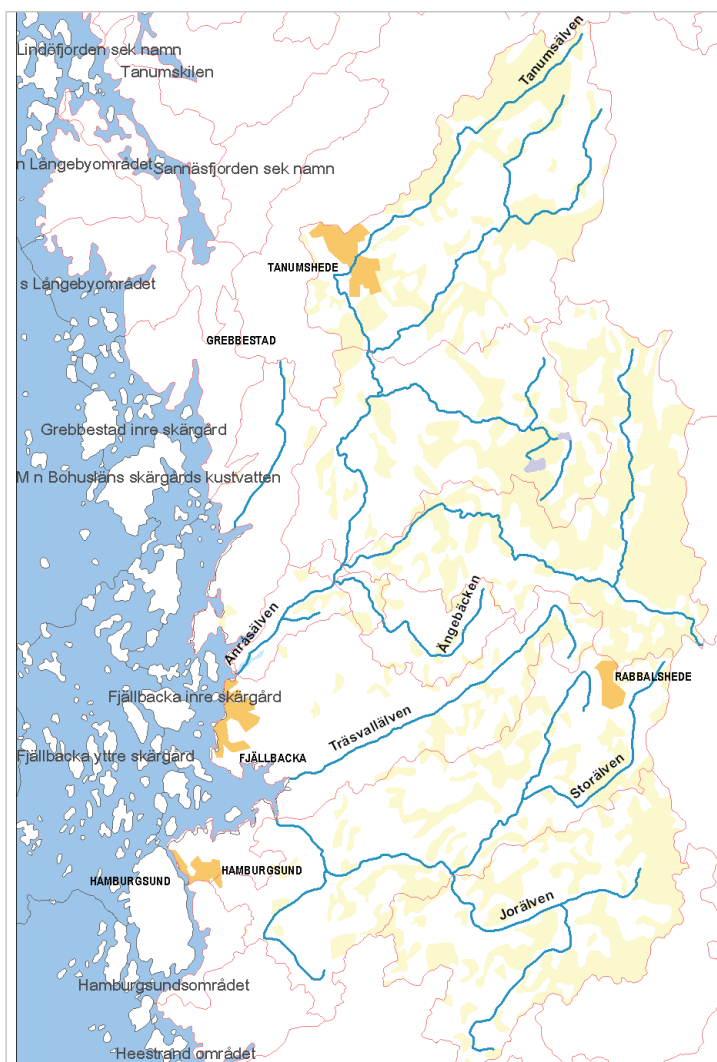
Sjöar och vattendrag

Typiskt för norra Bohuslän är många små vattendrag med sjöfattiga system, retentionen är därför mycket låg eller i princip obefintlig. Det finns mycket berg i dagen, och jordtäcket är tunt. I sina nedre delar är ofta åarna djupt nedskurna i lerorna till följd av erosion.

Träsvällälven och Jorälven mynnar i Jorefjorden, den stora viken söder om Fjällbacka (figur 8). Anråsälven mynnar vid Fjällbacka och är det näst största vattendraget i norra Bohuslän efter Strömsån (om man bortser från Enningsdalsälven som mynnar i havet på norsk mark). Norr om Fjällbacka, vid Kämpersvik, mynnar ytterligare ett vattendrag som rinner genom ett nyrestaureerat våtmarksområde, Ejgdetjärnet, innan vattendraget mynnar i havet

Efter Strömsån är Anråsälven och Jorälven de största vattendragen med en årsmedelvattenföring på ca 2,7 m³/s respektive ca 1,7 m³/s. Anråsälven transporterar lika mycket eller t.o.m. mer näringsämnen till havet som det största vattendraget Strömsån (tabell 1) med 135 ton kväve och 8,9 ton fosfor varje år vilket gör det till det vattendrag med högst belastning längs den norra Bohuskusten.

Tabell 1 visar olika data som beskriver förhållanden och påverkan för ett antal avrinningsområden i norra Bohuslän och är tänkt som en jämförelse för att visa på Fjällbacka inre skärgårds avrinningsområde som representativ för norra Bohuslän. I Anråsälven och Jorälven ligger kväveläckaget på ungefär samma nivå med ca 9 kg/ha år. Fosforläcket är något högre i Jorälven med 0,78 kg/ha år och 0,58 kg/ha år i Anråsälven. Det arealspecifika läckaget är för området i genomsnitt 8,8 kg N/ha år och 0,7 kg P/ha år för dessa avrinningsområden i norra Bohuslän. Kväveläckaget är alltså generellt något högre i just de här två avrinningsområdena än i norra Bohuslän i övrigt enligt tabell 1. Beräkningarna är gjorda utifrån månatliga mätningar av vattenkvaliteten 2005-2007 vid åmynningarna och SMHI:s beräknade vattenföring.



Figur 8. Visar vattendragen och dess avrinningsområden som avvattnas till Fjällbacka inre skärgård.

Tabell 1. Tabellerna visar vattendragen i norra Bohuslän med avseende på belastning och läckage av fosfor och kväve, vattenkvalitet och andel av antropogent ursprung. De fetstilta vattendragen ligger i området närmast Fjällbacka och de två vattendragen Anråsälven och Jorälven som ingår i fallstudien. Strömsån längst ned har ett mycket större avrinningsområde och skiljer sig på så sätt. Skogsälven Örekisälven som är ett vattendrag i en helt annan storleksklass finns inte med i jämförelsen alls då förhållandena skiljer sig så mycket. Värdet för halter och belastning är beräknade genom ett medelvärde för åren 2005-2007.

Vattendrag	Avrinningsområde (km ²)	Kväve-transport (utifrån uppmätta halter) (tonN/år)	Fosfor-transport (utifrån uppmätta halter) (tonP/år)	PLC-5 data avvikelse från uppmätt kväve-transport (%)	PLC-5 data avvikelse från uppmätt fosfor-transport (%)	Medelflöde (m ³ /s)	Areal-specifik förlust (kg N/ha år)	Areal-specifik förlust (kg P/ha år)	Kvävehalt (mg/l)	Fosforhalt (mg/l)	Antropogen belastning N (%)	Antropogen belastning P (%)	Jordbruksmark (%)	Skogsmark (%)
Anråsälven	152	134,8	8,9	-18,5	-10,6	2,74	8,86	0,59	1,56	0,10	45	45	21	34
Jorälven	90	82,6	7,1	-20,3	-17,1	1,67	9,14	0,78	1,57	0,14	45	51	27	30
Skårboälven	43	34,4	2,9	6,9	-22,9	0,73	7,97	0,68	1,49	0,13	49	47	22	34
Hogarälven	35	23,0	1,1	8,2	15,7	0,60	6,50	0,30	1,21	0,06	43	51	16	66
Bärfendsälven	49	36,9	2,1	-1,7	5,8	0,96	7,53	0,43	1,21	0,07	41	53	21	34
Risängsbäcken/ Överbyån	30	20,0	1,3	20,3	4,7	0,51	6,67	0,45	1,27	0,09	46	51	22	50
Amunderödsbäcken/ Stene bäck	10	15,0	2,0	-	-	0,22	14,89	1,98	2,16	0,29	-	-	39	34
Broälven	23	16,3	1,6	11,5	-28,9	0,44	7,15	0,70	1,16	0,12	44	53	24	47
Färlev älv	42	60,4	3,2	-16,4	-12,7	0,91	14,24	0,76	2,10	0,11	57	60	33	42
Skredsvisån	27	21,1	1,3	8,7	-13,3	0,59	7,79	0,49	1,11	0,07	48	52	25	55
Stene å	6	5,7	0,5	-	-	0,11	8,87	0,70	1,66	0,14	-	-	13	68
Taske å	27	16,0	1,8	-27,6	-68,7	0,65	5,99	0,66	0,76	0,08	24	37	10	70
Strömsån	256	134,5	6,5	14,8	-0,4	4,32	5,25	0,25	0,98	0,05	42	53	17	66

Det större vattendraget Strömsån är inte med i den jämförelsen. Strömsvattnet nära Strömsåns mynning i havet har en betydande effekt på retentionen av näringsämnen och karaktären på avrinningsområdet är därför inte helt jämförbar med övriga vattendrag i norra Bohuslän.

I Anråsälven har kvävehalten länge legat runt 1,5 mg/l men tidigare, i början av 90-talet låg halten lägre, runt 1,25 mg/l. Fosforhalten ligger runt 0,10 mg/l men låg kring millennieskiftet nere på halter kring 0,06 mg/l. I Jorälven ligger kvävehalterna i samma storleksordning som i Anråsälven och i båda fallen tenderar kvävehalterna att öka. Särskilt fosforhalterna kan anses vara höga med över 0,1 mg/l. Detta kan jämföras med referensvärdet för fosfor för Jorälven och Anråsälven som är ungefär 0,03 mg/l vilket innebär en otillfredsställande status enligt klassningen för näringsämnen. Det finns ingen långtidstrend för fosforhalterna i vattendragen, men halterna de har ökat under de senaste åren.

Den del av belastningen som är antropogen ligger generellt i norra Bohuslän på 50 % medan det ligger på strax under detta på fosfor, vilket Jorälven och Anråsälven representerar bra. Baserat på diskussionen ovan bedömer vi att avrinningsområdet till Fjällbacka inre skärgård är relativt typiskt för Bohuslän.

Punktkällor

Inom avrinningsområdet finns fyra tätorter med kommunala reningsverk (figur 9), men inga större industrier.

Tanumshede, Rabbalshede och Kville avloppsreningsverk (ARV) har utsläpp till havet via vattendrag och Fjällbacka ARV har utsläppspunkt i innerskärgården. Planer finns för en överflyttning av Fjällbacka och Tanumshede ARV till Grebbestad ARV i samband med byggnation av ett större och effektivare reningsverk för Grebbestad. Reduktionen av kväve beräknas öka från 30-40 % till 70 %. Reduktionen av fosfor (90-98 %) beräknas vara oförändrad.

Till de drygt 12 200 permanent boende i Tanums kommun kommer ett stort antal sommarboende med en stor andel enskilda avlopp. Befolkningstätheten är högst längs kusten, glesare i jord- och

Figur 9. Karta över kommunala reningsverk i avrinningsområdet. Grebbestad ARV (R1), Tanumshede (R2), Fjällbacka ARV (R3), Rabbalshede ARV (R4), och Kville ARV (R5). Hamburgsunds ARV (R6) ligger utanför området.



skogsbruksområdena i inlandet och längst i öster mellan Bullaresjöarna och gränsen mot Dalsland. En stor andel av bebyggelsen i Tanums kommun utgörs av fritidshus . Utöver den åretruntbebyggelse som övergått till ”sommarbostäder” finns, speciellt i kustzonen, stora områden som planlagts för och bebyggts med renodlad fritidsbebyggelse.

Enligt en undersökning (Andersson 2008) på Länsstyrelsen i Västra Götaland har 57 hushåll i Tanums kommun urinsorterande toalett och ca 700 hushåll har torrtoalett. Tabell 2 visar uppgifter från statistiska centralbyrån (SCB) över fördelningen av olika avloppslösningar i Tanums kommun. Informationen finns bara för hela kommunen men vi antar att den procentuella fördelningen i tabellen är representativt även för avrinningsområdet till Fjällbacka inre skärgård och att antalet enskilda avlopp utgör ca 50 % av kommunens samtliga avlopp.

Tanums kommun jobbar aktivt med att lösa problemen med enskilda avlopp. På uppdrag av kommunen har en avloppsinventering av kustområdets stugbyar genomförts med syfte att ge kommunen underlag för en kommande avloppsstrategi, såsom anslutningsmöjligheter för stugbyar och enskilda avlopp till överföringsledningar och anläggandet av mindre ARV (Tyréns 2008). Inom flera områden är det ett akut behov att lösa VA-situationen i ett större sammanhang då spillvatten går mer eller mindre orenat ut i närmsta recipient och vattentäkter förorenas (Tyréns 2008).

Tabell 2. Enskilda avlopp i Tanums kommun. Enkät svar och uppgifter från SCB.

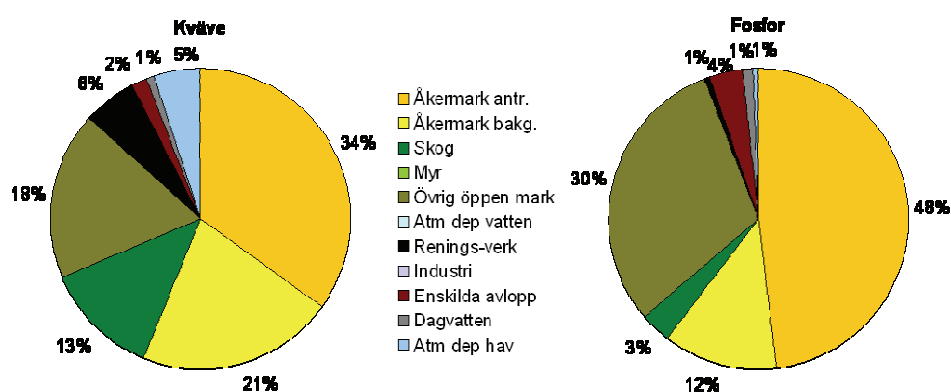
Kommun	Ant. enl. SCB	Ant. enl. enkät	Andel infiltrationsanl	And. markbädd	And. sluten tank	And. Slam-avskiljare	Andel BDT (rensbrunn/stenkista)
Tanum	5392	4200	37,6%	16,7%	10,4%	26,0%	4,3%

3. Belastning från land och atmosfär

3.1. Modellerad belastning

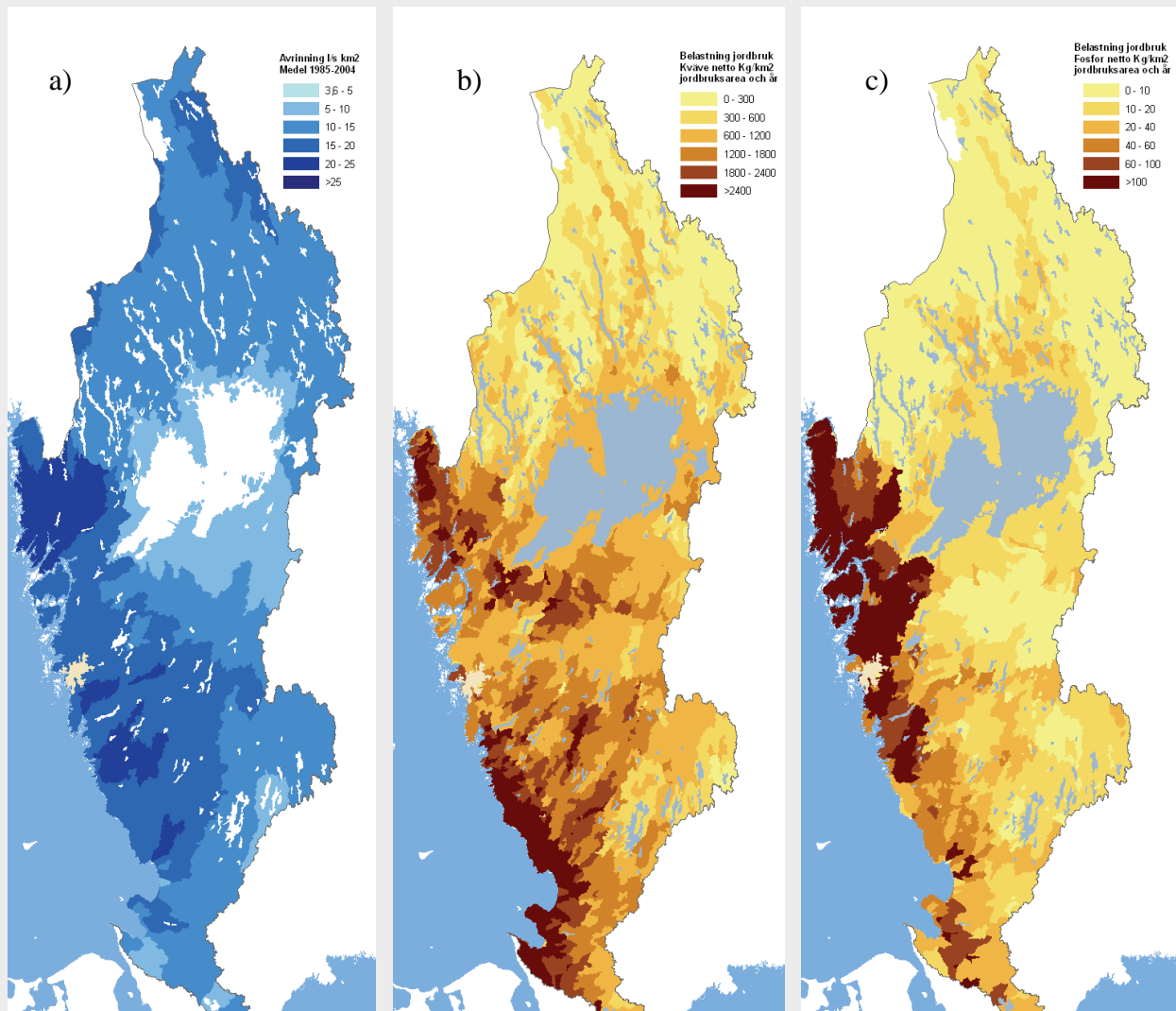
För att uppskatta den totala tillförseln av näringsämnen till just Fjällbacka inre skärgård använder vi SMHI:s kustzonmodellssystem. Vi kan därigenom även få källfördelningen för näringstransporterna från land till hav, se figur 10.

Den största mängden näringsämnen tillförs skärgårdsområdet via vattendragen där åkermarkens bidrag dominerar även om bidraget från annan mark är stort på grund av den relativt stora arealen av skog och övrig öppen mark (se figur 6). Från SMED data kan vi ta fram det uppskattade läckagebidraget från skogen och eventuella hyggen för varje delavrinningsområde i avrinningsområdet (10 st). Skogens bidrag till kväve- och fosforläckaget utgör ca 10 % respektive 2 % av markläckaget från åkermark och annan mark. Skogen är en kvävefälla och tar alltså upp mer än vad som läcker ut. Vid avverkning minskar skogens upptag av näringsämnen och läckaget ökar. I avrinningsområdet bidrar hyggen (den antropogena delen av skogens bidrag) med 1,5 % kväve och 0,03 % fosfor av den totala tillförseln från marken.



Figur 10. Källfördelningen av transporten av Tot-N och Tot-P från land och atmosfär beräknade av SMHI:s kustvatten-modellssystem. Den totala transporten är 232 ton/år (Tot N), och 16 ton/år (Tot P) och är medelvärden för 2004-2006. Övrig öppen mark är t.ex. betesmark och berg i dagen

När det gäller de oorganiska delarna av kvävet och fosfor (visas ej) så är åkermarken en än mer dominerande källa och bidraget från övrig mark och skog ingår reduceras, speciellt för kväve. Det totala antropogena bidraget från land (inte atmosfärisk deposition på hav) är 100 ton N/år och 8.5 ton P/år och utgör alltså ca hälften av det totala landbidraget för både kväve och fosfor.



Figur 11. a) Avrinningen i Västsverige (l/s km²) baserat på åren 1995-2004 kväveläckaget, b) kväveläckaget och, c) fosforläckaget från jordbruksmark (åkermark) (kg/km²) Källa: SMED.

Trots att jordbruket i området karaktäriseras av en stor andel vallodling så har åkermarken i avrinningsområdet ett stort kväveläckage på 19.5 kg kväve (tabell 3), varav huvuddelen (ca 60 %) utgörs av kväve som uppkommer till följd av att åkermarken brukas aktivt d.v.s. den antropogena delen (figur 10). Fosforläckaget

från hela avrinningsområdet till havet är 0,6 kg/ha och år, se tabell 3. Läckaget från åkermarken däremot är 1.8 kg/ha. Den stora avrinningen (figur 11) och närheten till havet vilket ger en liten eller obetydlig retention utgör de viktigaste faktorerna till det stora läckaget. Sydvästra Sverige tillsammans med fjällområdena är de områden i Sverige som har de största nederbörds mängderna. Den icke antropogena delen av läckaget från åkermark utgörs av s.k. bakgrundsläckage, vilket motsvarar i SMED data läckaget från ogödslad vall. I jämförelse med andra delar av Sverige är åkermarkens läckage per arealsenhet mycket hög i Bohuslän och extremt hög med avseende på fosfor, se figur 12 a och b).

Tabell 3. Medelnärsaltsläckage till Fjällbacka inre skärgård. Redovisat som kg/ha och år till havet (inkl. retention).

	Från hela avrinningsområdet	Från åkermarken	Från åkermarken (antropogen del)
Kväve	7.4	19.5	12.1
Fosfor	0.6	1.8	1.2

I avrinningsområdet till Fjällbacka inre skärgård utgör emellertid annan mark än åker och skogsmark den största delen av avrinningsområdet (figur 6). Närmast havet är annan mark huvudsakligen betesmark samt berg utan vegetation. Kvävenedfall från atmosfären som ej passerar bevuxen mark innan det når havet, såsom är fallet på kustnära kala berg, bidrar till kvävetransporten till havet. För att åtgärda nedfallet från luften krävs nationella och internationella åtgärder.

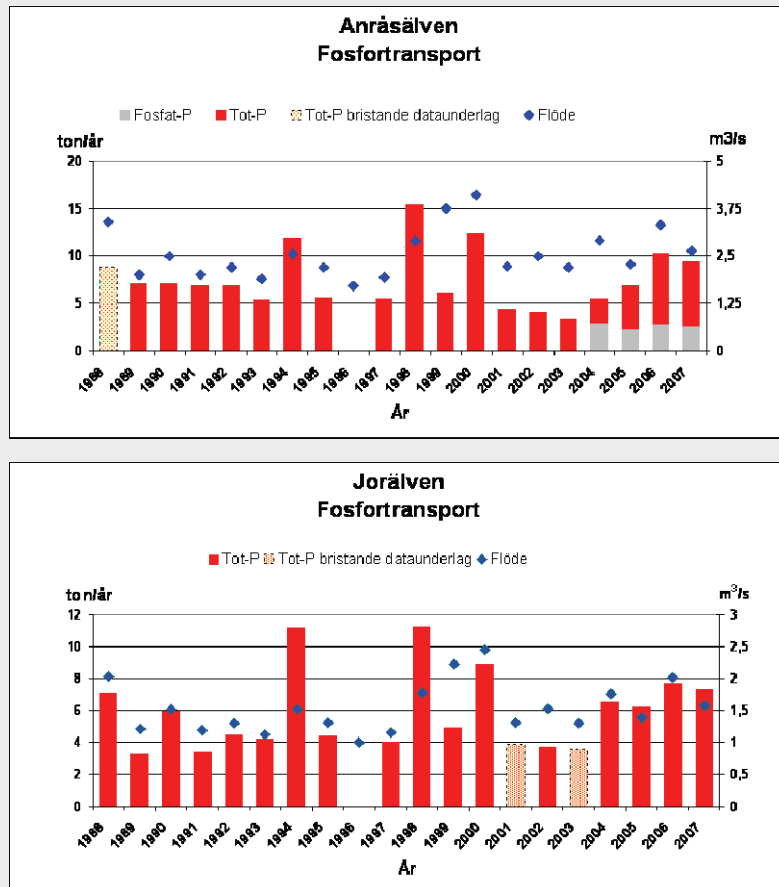
3.2. Bidraget från vattendrag

En jämförelse mellan den totala modellberäknade tillförseln till Fjällbacka inre skärgård och tillförseln från vattendragen baserat på vattenkvalitetsundersökningar visar att ca 60 % av fosfor och 75 % av kvävet som belastar Fjällbacka inre skärgård kommer via de två största vattendragen Anråsälven och Jorälven (Ruist 2008). Träsvallaälven saknar vattenkvalitetsdata. Transporten av näringsämnen i vattendragen är baserad på månatliga provtagningar och analyser av fosfor och kväve i Anråsälven och Jorälven och flödesberäkningar har utförts med hjälp av SMHI:s pulsmodell (figur 13 och 14).

Transporten av fosfor är 8,9 ton och 7,1 ton fosfor per år för Anråsälven respektive Jorälven beräknat som ett medel under 2005-2007. Under de senaste åren har transporterna ökat något dels p.g.a. ökande halter men också ökad avrinning (figur 13).

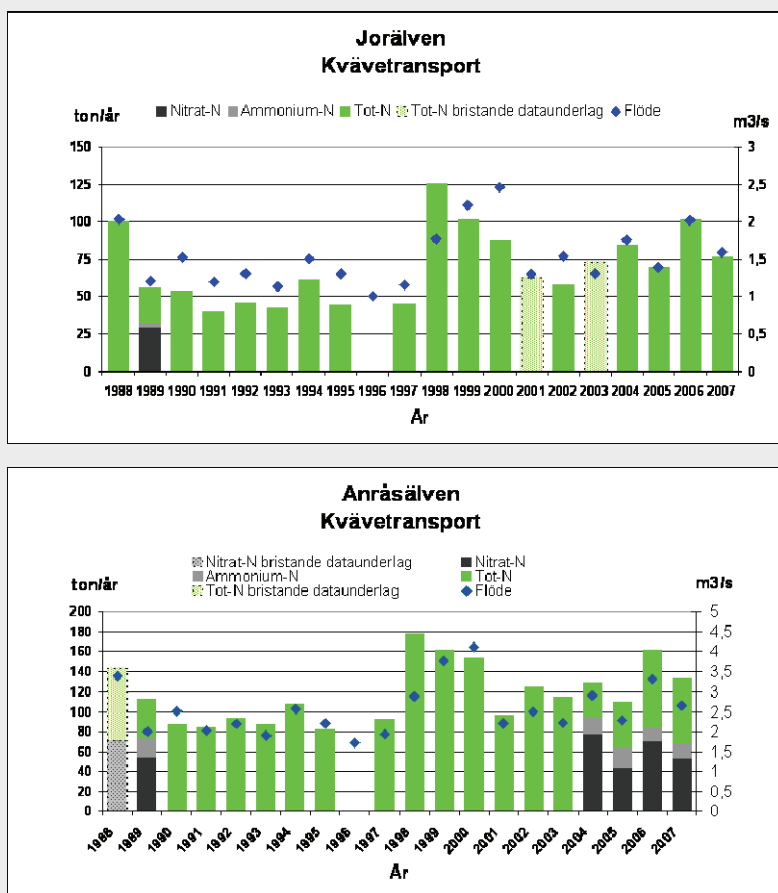
Transporten av kväve är 135 ton och 83 ton kväve varje år för Anråsälven respektive Jorälven beräknat som ett medel under 2005-2007 (tabell 1). Här finns en viss ökande trend under hela undersökningsperioden. Bidragande till detta är både ökade halter och ökad avrinning (figur 14).

Anråsälven har högst andel ammonium-N i förhållande till tot-N av alla undersökta vattendrag i Bohuslän och andelen ammonium-N var även hög i slutet av åttiotalet (figur 14). Vad detta beror på har inte utretts.



Figur 13. Utvecklingen av fosfortransporten i Anräsälven och Jorälven 1988-2007.

Baserat på beräknade uppehållstider och vattenutbytet mellan närliggande vattenförekomster kan det eventuellt vara möjligt att använda vattenkemiinformationen från vattendragen kopplat till utbredning av snabbväxande makroalger. Analys av fraktionerad näringsämnesdata i vattendrag och täckningsgrad av snabbväxande makroalger i Orust-Tjörn området (2004-2007) har påvisat signifikanta positiva korrelationer med både nitrat och fosfat (Carlsson, 2009). Detta skulle i så fall kunna utvecklas till att användas som ett indikatormått på framgångsgrad av föreslagna åtgärder på minskad näringstillförsel. Därmed skulle detta utgöra en tydligare koppling mellan näringstillförseln från land och miljöeffekterna på vikinivåskalan.



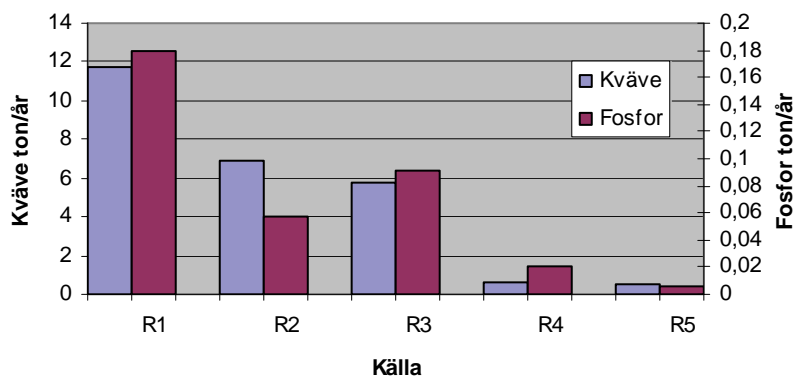
Figur 14. Utvecklingen av kvävetransporten i Anräsälven och Jorälven 1988-2007.

3.3. Utsläpp från avloppsreningsverk

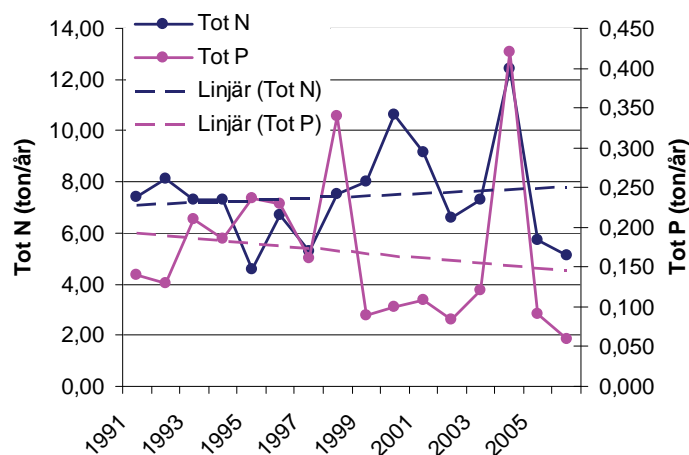
Avloppsdirektivet (Rådets direktiv 91/271/EEG) antogs 1991. De större avloppsreningsverken (10 000- 100 000 pe) ålades då en effektivare rening motsvarande 70 % (eller 15 mg/l) för totalkväve och 80 % (eller 2 mg/l) för totalfosfor. I Fjällbacka avrinningsområde är inget reningsverk så stort. Inom avrinningsområdet finns fyra tätorter med kommunala reningsverk. Utsläppen visas i figur 15. Utsläppen av fosfor från avloppsreningsverken i området har minskat genom mer effektiva reningsmetoder som inneburit att reningsgraden 90-98 % (figur 16). När det gäller kväve är reningsgraden på avloppsreningsverken 30-40 %.

Flytten av Fjällbacka (R3) och Tanumshede ARV (R2) (se avsnitt 3.2) till Grebbestad (R1), vars utsläppspunkt ligger utanför Fjällbacka inre skärgård,

beräknas innebära en tydlig reduktion av framförallt tillförseln av kväve som i nuläget utgör 14 % av den totala tillförseln till Fjällbacka inre skärgård. Fosforbidraget från reningsverken är idag endast 1 % av det totala bidraget. Ett nytt bättre reningsverk för Grebbestad innebär enligt våra beräkningar att det inte blir någon ökning i tillförseln av kväve till Grebbestad inre skärgård, men en liten ökning i tillförseln av fosfor.



Figur 15. Utsläpp från större reningsverk för 2005 (ton/år), exkl. ev. bräddning. Grebbestad ARV (R1), Tanumshede (R2), Fjällbacka ARV (R3), Rabbalshede ARV (R4), och Kville ARV (R5).



Figur 16. Utvecklingen av utsläppen av Tot N (ton/år) och Tot P från Fjällbacka ARV från 1991 till 2006. Trendlinjer visas med streckad linje.

Bidraget från enskilda avlopp är i nuläget (2005) 3,8 ton kväve/år, och 0,6 ton fosfor/år vilket motsvarar 2 % respektive 4 % av tillförseln till Fjällbacka inre skärgård (figur 10). Vi har inga siffror för utsläppstrenden för enskilda avlopp. Tanums kommun har jobbat med dessa frågor under många år och en minskat utsläpp under den senaste 10 års perioden är högst trolig.

4. Åtgärder

4.1. Vidtagna åtgärder

Inom kommunen finns fortfarande stora problem med grönalger i skyddade vikar vilket indikerar övergödningssproblem. De åtgärder som vidtagits i Tanums kommun (t ex öppning av vägbankar) har varit koncentrerade till norra delen av den inre skärgården där de snabbväxande makroalgerna har dominerat.

I kommunens LIP-program (1999-2006) genomfördes åtgärder avseende utfyllnader eller vägbankar på nio platser. Dessutom anlades 14 st. våtmarker med arealer mellan 0,1 och 18 ha. Det Lokala Investeringsprogrammet (LIP) med inriktning på etablering av våtmarker, skydds-zoner och borttagande av vägbankar har varit framgångsrikt. Positiva lokala effekter har särskilt erhållits av de åtgärder som vidtagits för att ta bort vägbankar. De flesta våtmarker som anlagts har dock varit för små och ej fått en placering som var optimal för reduktion av närsalter. De har däremot varit positiva för den biologiska mångfalden.

Baserat på EU-ersättning förekommer vårplöjning och fånggrödor i relativt stor utsträckning i kommunen.

Kommunen bedriver ett mycket aktivt arbete för att förbättra de kommunala avloppens standard samt de enskilda avloppen.

4.2. Planerade åtgärder

Ett nytt reningsverk planeras nära Kämpersvik för att i första hand ersätta reningsverket i Grebbestad. Kommunfullmäktige i Tanums kommun beslutade i juni 2008 att kommunen skall bygga ett nytt avloppsreningsverk vid Nästegård, Bodalen 1:7. Reningsverket skall byggas med en kapacitet för 20 000 personekvivalenter i tre etapper;

Etapp 1 Nytt reningsverk för Grebbestad färdigställt senast 31 dec. 2011.

Etapp 2 Fjällbacka ansluts till det nya verket tidigast 2015

Etapp 3 Tanumshede, anslutning till det nya reningsverket vid behov.

Utsläppspunkten för det nya verket är ännu inte bestämt men kommer att bli utanför Fjällbacka inre skärgård. Reningsverken vid Tanumshede, Rabbalshede och Östad (uppströms Fjällbacka) har för närvarande poleringssteg i form av dammar. Tätorten Kville har en inte helt tillfredsställande avloppsstandard. Lagstiftning mm för utsläpp från avloppsreningsverk och industrier ges i avsnitt (I) 4.5.

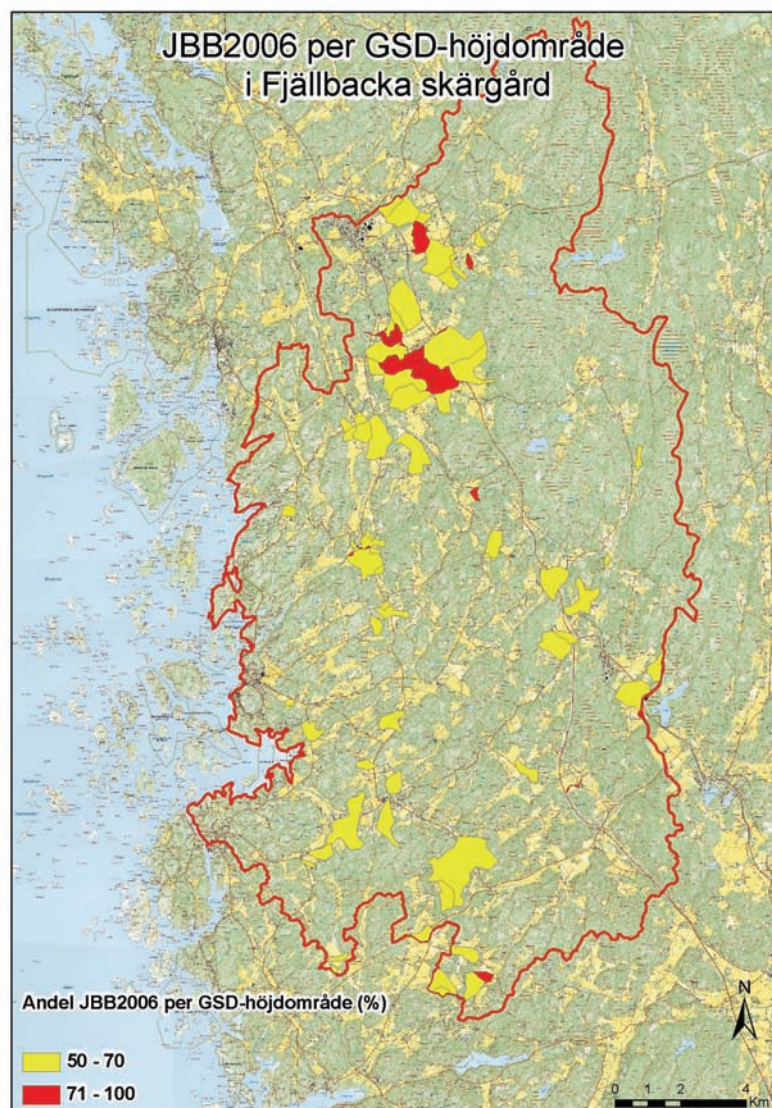
Tanums kommun arbetar aktivt med att lösa utsläppen från enskilda avlopp.

5. Ytterligare möjliga närsaltsreducerande åtgärder

5.1. Åtgärder inom jordbruket

Även om åkerbruket inom området inte är koncentrerat på spannmålsodling så bidrar det väsentligt till fosfor och kvävetransporten till havet och det antropogena bidraget är dessutom stort. (se figur 10). Med hänsyn till havsmiljön bedöms det som angeläget att minska transporten av såväl fosfor som kväve från åkermarken. Ökad areal fånggröda eller vårplöjning bedöms inte ha någon ytterligare stor närsaltbegränsande effekt på havet på grund av det relativa lågintensiva åkerbruket beträffande spannmålsodlingen.

Åtgärder inom jordbruket som vi bedömer som viktiga för att kunna reducera kväve och fosforbelastningen på skärgårdsområdet är att återskapa eller anlägga våtmarker och dammar samt att anlägga ytterligare skyddszoner längs vattendrag och diken med angränsande brukad åkermark. Enligt Jordbruksverket (2008) pågår en översyn av regelverket för spridning av stallgödsel med anledning av Nitratdirektivet. Utfallet av denna genomgång förväntas bli att spridningsförbudet under vintern kommer att förlängas samt att spridningsförbudet för flytgödsel under hösten



Figur 17. Andel jordbruksmark (JBB 2006) i procent per avrinningsområde som är baserat på GSD-höjddata. Gult och rött markerar områden där jordbruksmarken utgörs av 50-70 resp. 71-100 procent av områdets yta.

före sådd av vårsådda grödor kommer att utvidgas till de känsliga områdena i norra Götaland. Dessutom kan en andra gårdsanpassade åtgärder utvecklas som begränsar växtnäringssläckaget och som samtidigt passar in gårdarnas växtföljder. Sådana åtgärder har beskrivits i nämnda rapport från Jordbruksverket.

De klimatförändringar som förväntas i västsverige i form av större nederbörds mängder under höst och vinter gör det mycket angeläget att stallgödselspridningen görs på ett sätt och vid rätt tidpunkt på året så att minsta möjliga näringsläckage sker till diken och vattendrag.

Våtmarker och dammar

För att våtmarker och dammar skall ha en betydande närsaltsreducerande effekt bör de anläggas i vattendrag med höga närsalthalter. Även om inte mycket höga halter har uppmätts i de stora bäckarnas huvudfåror så är halterna högre i bäckar med biflöden eller diken som har en stor andel jordbruksmark. Sådana områden finns i samtliga ovan nämnda bäckars avrinningsområden, men det krävs detaljstudier av bl.a. topografi och jordbruksmarkens areella omfattning uppströms en möjlig placering innan lämpliga lägen för våtmarker eller dammar kan föreslås. För en mer detaljerad beskrivning av våtmarker se avsnitt (I) 4.2. Med hjälp av höjddata GIS-information har man inom regeringsuppdrag 22 (våtmarker) tagit fram ett verktyg för att kunna peka ut de mest lämpliga områdena för effektiva våtmarker dvs de mest jordbruksintensiva områden (>50-70%). I figur 17 visas områden där jordbruksmark dominerar (>50%) och som därigenom skulle vara lämpliga att anlägga våtmark på. Med hjälp av ovan nämnda verktyg har vi antagit att den potentiella ytan för anläggande av våtmark i avrinningsområdet till Fjällbacka inre skärgård är 1 % av arealen jordbruksintensiva områden. Det motsvarar en våtmarksareal av 14 ha.

I anslutning till Jorefjordens naturreservat ligger Träsvallaälvens och Edstensbäckens utflöden i fjorden. Vattendragen rinner delvis genom strandängar. Våtmarker i form av meanderslingor eller översilningsängar bör kunna skapas utan konflikter med naturvårdsintressen utan i stället förhöja naturvärdena. I nedanstående simuleringsexempel för våtmarker har vi antagit att man kan anlägga ca 10 ha våtmark vid havet i anslutning till åarna och bäckarnas utflöden.

Skydds zoner

Skydds zoner i form av obrukad åkermark skall för att vara berättigade till EU-stöd ha en bredd av minst 6 m. Se avsnitt (I) 4.3 för en mer detaljerad beskrivning. Inom området "Fjällbacka inre skärgård" har bidragsformen endast omfattat några kilometer längs vattendrag. Anläggandet av skydds zoner längs bäckar och diken motverkar fosfortransport till vattendragen. Skydds zoner på åkermark bestående av lerjordar med stort lerinslag är troligen en viktig åtgärd för att minska fosfortransporten ut till havet i Tanums kommun. Skydds zoner gör särskilt stor nytta där marken lutar mot vattendraget. Skydds zonen är dessutom viktig för den biologiska mångfalden längs bäcken eller diket.

Med hjälp av ett verktyg som tagits fram inom vattendirektivarbetet har längden på vattendrag i anslutning till åker beräknats, och därigenom den potentiella längden skydds zon i avrinningsområdet som avvattnas till Fjällbacka inre skärgård. Längden vattendrag uppskattas till ca 11.6 mil. Åkermarken ansluter på båda sidor men utgörs i området av 50 % vallodling.

5.2. Erosionsbegränsande åtgärder

Höga flödestoppar i de åar och bäckar som korsar kommunens dalgångar med lerjordar förorsakar erosion med följd att partikelbunden fosfor uttransporteras till de grunda havsvikarna. Sedimentet kan förorsaka sedimentpålagring och uppgrundning i det grunda havsområdet samtidigt som fosfor är en eutrofieringsfaktor. Se avsnitt (I) 4.4 för en genomgång av erosionsbegränsande åtgärder. Kommunekologen i Tanums kommun anser att man bör kunna kapa de höga flödestopparna genom att öka uppehållstiden för vattnet i kommunens skogsområden. Åtgärden skulle bestå i att lägga igen vissa identifierade skogsdiken som inte längre är till stor nytta för skogsbruket. Andra åtgärder kan vara restaurering av vattendrag. Längden av dessa diken/vattendrag och effekten av åtgärden har inte uppskattats.

5.3. Enskilda avlopp

I avsnitt (I) 4.7.3 ges en kort genomgång av arbetet med enskilda avlopp. Kommunen bör göra en långsiktig plan för att samtliga enskilda avlopp skall ha minst 90 % fosforrening och 50% kväverening. På uppdrag av kommunen har en avloppsinventering av kustområdets stugbyar genomförts med syfte att ge kommunen underlag för en kommande avloppsstrategi, såsom anslutningsmöjligheter för stugbyar och enskilda avlopp till överföringsledningar och anläggandet av mindre ARV (Tyréns 2008).

Enligt enkät har cirka 30 % (ca 630 st) av de enskilda avloppen i området endast stenkista och/eller slamavskiljare (SMED 2007). Dessa kan uppgraderas från en reningsgrad på 0-13 % till "hög skyddsnivå" dvs 90 % fosfor- och 50% kväverening.

5.4. Mottagningsanläggningar för toa-avlopp från fritidsbåtar

Mottagningsanläggning för toa-avlopp från fritidsbåtar finns i Tanums kommun endast i Grebbestad. Sådan bör åtminstone finnas i anslutning till de stora gästhamnarna i Grebbestad, Fjällbacka och Hamburgsund. Ingen uppskattning av effekten av åtgärden har gjorts. En beskrivning av arbetet med mottagningsanläggningar ges i avsnitt (I) 6.7. I havspropositionen våren 2009 föreslås förbud för utsläpp av toalettavfall från fritidsbåtar.

5.5. Musselodlingar

I kommunen finns ett tiotal musselodlingar som fungerar närsaltsreducerande i samband med skörd. Ingen uppskattning av effekten av åtgärden har gjorts. En diskussion om musselodlingar ges i avsnitt (I) 6.3. I havspropositionen våren 2009 presenteras förslag på en ökad satsning på musselodling.

6. Modellsimulering

6.1. Åtgärdspaket

Baserat på underlaget i kapitel 5 gör vi här en bedömning av potentialen för reduktion av näringsämnen i avrinningsområdet som avvattnas till Fjällbacka inre skärgård. Eftersom åtgärderna innefattar flytt av reningsverk till Grebbestadsområdet så ändras även tillförseln till Grebbestad inre skärgård.

Vi använder SMHI:s kustzonmodellsystem för att beräkna vad en förändring av näringsbelastningen till Fjällbacka- och Grebbestadsområdet ger för effekt i Fjällbacka och Grebbestad innerskärgårdar på vattenförekomstskala (bassängskala).

Reningsverk

Vi simulerar den totala planerade utbyggnaden av de kommunala avloppsreningsverken (KARV) där både Fjällbacka KARV och Tanumshede KARV kopplas på det nya reningsverket för Grebbestad. Utsläppspunkten är samma som den gamla dvs i Grebbestad inre skärgård. Reningsverken i Fjällbacka och Tanumshede kopplas på Grebbestad reningsverk. Detta innebär en ökad kväverening från 34-42% till 70 % för nya Grebbestad kommunala avloppsreningsverk mot tidigare 34 % för Grebbestad KARV, 30 % (Fjällbacka KARV) och 42 % (Tanumshede KARV).

Vi reducerar då tillförseln till Fjällbacka inre med 12 662 kg/år (-90%) från ARV.

Den totala mängden kväve som tillförs Grebbestad inre skärgård efter den nya reningen är 11 375 kg/år, vilket medför en reduktion på 361 kg/år (-1%) till Grebbestad inre skärgård. Reningsgraden för fosfor kan inte förbättras ytterligare och vi tillför alltså 148 kg fosfor/år (+3.4%) extra till Grebbestad inre skärgård efter flytten.

Enskilda avlopp

Vi uppgraderar de enskilda avlopp som endast har stenkista och slamavskiljare, 630 st (se avsnitt 8.3). Stenkista har en reningsgrad på 0 % för både kväve och fosfor medan slamavskiljare har en reningsgrad på 10 % och 13 % för kväve respektive fosfor (Liss 2003). Beräkningsunderlaget utgörs av fastighetstaxerings-, fastighets-, och befolkningsregister, samt nyttjandegrad enl. SCB, typ av reningsanläggning enl. kommunenkät, utsläppsschabloner baserad på reningsteknik (SMED 2007).

Tabell 4. Underlag för beräkning av den totala belastningen per hushåll (NV rapport 4425)

Näringsämne	Personläckage (kg/år)	Ant. pers/fam.	Ant. bruksdagar	Totalt (kg/år)
N	13.5	2.3	180	5.6
P	2.1	2.3	180	0.87

Läckage per hushåll beräknas enligt tabell 4. Med ett beräknat totalt läckage per enskilt avlopp på 5.6 kg N/år och 0.87 kg P/år (se tabell 4) fås en reduktion för varje avlopp efter uppgraderingen på 2.7 kg N/år, och 0.8 kg P/år. För 630 st enskilda avlopp ger det 1.7 ton N/år och 0.5 ton P/år i total reduktion för uppgradering av enskilda avlopp med stenkista och slamavskiljare.

Skyddszon på åkermark

Enligt beräkningar finns 115838 m vattendrag i anslutning till åkermark. Om vi anlägger en 10 m skyddszon längs denna sträcka får vi 116 ha skyddszon på varje sida. Vallodling utgör 50 % av åkermarken i Fjällbacka avrinningsområde men eftersom åkermarken ansluter på båda sidor om vattendragen tar det ut varandra i beräkningarna och det blir totalt 116 ha skyddszon. Markläckaget är 19.5 kg N/ha och 1.8 kg P/ha och vi antar en 30 % och 50 % reduktion av kväve respektive fosfor (Syversen 2005). Till varje meter skyddszon kopplar vi 100 meter åker dvs vi antar att vi får en 30 % resp 50 % reduktion av näringsämnen som läcker från åkern. Varje hektar skyddszon reducerar alltså läckaget från ett 10 ggr så stort område. Skyddszonerna reducerar näringsläckage vid ytavrinning och vi antar att ytavrinningen utgör 80 % av läckaget när det gäller fosfor. För kväve är den siffran mycket mindre (antar 10 %).

$$19.5 \cdot 10 \cdot 0.1 \cdot 0.3 = 5.8 \text{ kg N /ha skyddszon}$$

$$2.1 \cdot 10 \cdot 0.8 \cdot 0.5 = 8.4 \text{ kg P /ha skyddszon}$$

Skydds-zoner motsvarande 116 hektar ger totalt en reduktion på: 670 kg N/år, och 970 kg P/år.

Våtmark på åkermark

Vi antar motsvarande våtmark/damm på 1 % av åkermarksarealen som har $\geq 50\%$ jordbruk per område (se avsnitt 5.1.1). Det ger 14 ha våtmarksyta. Vi antar dessutom att man kan anlägga ytterligare 10 ha (se avsnitt 5.1.1.). En reduktion av kväve på 5 % (motsvarar 200 kg/ha som rekommendation av jordbruksverket) ger en total reduktion av kväve motsvarande 4 800 kg N/år. Om vi istället antar en reduktion av kväve på 10 % (400 kg/ha motsvarar resultat från LIP projektet) resulterar det i en total reduktion på 9600 kg N/år.

Fosforreduktionen för våtmark har visat sig vara 10-48% (Hellberg 2004, Sveistrup 2005). Vi använder oss av ett exempel från Norge med fangedammar (Bioforsk 2008) för att beräkna reduktionen av fosfor från antagna våtmarker. En våtmark på 1 hektar antas ha ett tillrinningsområde på 100 ha. Den beräknade reduktionen baseras på medelmarkläckaget (X_p) från jordbruksmark i avrinningsområdet (1.8 kg P/ha och år) och en antagen reningseffekt på 25 %.

$$X_p \cdot 100 \cdot 0.25 \cdot \text{”hektar våtmarksareal”} = \text{”Reduktion P”}$$

Den beräknade totala reduktionen av fosfor till fjordsystemet är då 1080 kg P/år

6.2. Åtgärdernas effekt på landtillförseln

Beräkningarna visar att det är realistiskt att reducera den totala mängden näringsämnen som läcker från avrinningsområdet till Fjällbacka inre skärgård med 7-9 % kväve och 14-22 % fosfor. Jämfört med den antropogena delen av belastningen som också är den delen som vi kan påverka är reduktionen istället 19-

22 % kväve och 36-52 % fosfor (se tabell 5 och 6). Vi kan alltså påverka tillförseln betydligt genom de åtgärder som föreslagits här. Det är tydligt att det är tillförseln av fosfor som vi kan påverka mest.

Tabell 5. Reduktion av näringsämnen till Fjällbacka inre skärgård. Tabellen redovisar de åtgärder som gjorts i modellsimulering (1). Den procentuella reduktionen är relaterad till total antropogen tillförsel dvs 100 ton N/år och 8.5 ton P/år.

Reduktion	Kg N/år	Kg P/år	N (%)	P(%)	
Reningsverk	-12660	-148	13	2	Fjällbacka och Tanumshede omkopplas till Grebbestad
Enskilda avlopp	-1700	-500	2	6	30% av avloppen uppgraderas till hög skyddsnivå
Skyddszon	-670	-970	1	11	30 % reduktion av N 50 % reduktion av P
Våtmark/damm	-4800	-1080	5	13	5 % reduktion av N (200 kg N/ha) 25 % reduktion av P
Summa	-19 830	-2700	21 %	31 %	

Tabell 6. Reduktion av näringsämnen till Fjällbacka inre skärgård. Tabellen redovisar de åtgärder som gjorts i modellsimulering (2). Skillnaden mellan simulering (1) och (2) är reningsgraden för våtmark. Den procentuella reduktionen är relaterad till total antropogen tillförsel dvs 100 ton N/år och 8.5 ton P/år.

Reduktion	Kg N/år	Kg P/år	N (%)	P(%)	
Reningsverk	-12660	-148	13	2	Fjällbacka och Tanumshede omkopplas till Grebbestad
Enskilda avlopp	-1700	-500	2	6	30% av avloppen uppgraderas till hög skyddsnivå
Skyddszon	-670	-970	1	11	30 % reduktion av N 50 % reduktion av P
Våtmark/damm	-9600	-1080	10	13	10 % reduktion av N (400 kg N/ha) 25 % reduktion av P
Summa	-24 630	-2 700	26 %	31 %	

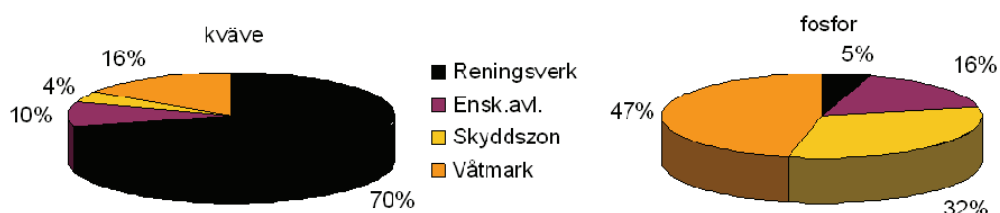
Den största delen av kvävet reduceras genom den planerade sammanslagningen av reningsverken eftersom både Fjällbacka ARV och Tanumshede ARV läggs om till Grebbestad så reduceras dessa utsläpp med 90 % kväve och 50 % fosfor jämfört med vad som nu släpps ut från reningsverken till Fjällbacka inre skärgård. De övriga reningsverken i avrinningsområdet till Fjällbacka inre skärgård (figur 9) antas inte förändras och bidrar därför även fortsättningsvis. Övriga åtgärder inom jordbruket och på enskilda avlopp bidrar med 30-40 % av reduktionen av kväve (figur 18 och 19). Av dessa är det framförallt våtmarker som ger bra effekt. Den

största delen av fosfor reduceras genom åtgärder inom jordbruket, där både våtmarker och skyddszoner verkar som sedimentfällor och fångar den stora delen partikulärt bundet fosfor. Reningsverken har redan hög reningsgrad av fosfor, men förflyttningen av utsläppspunkten från Fjällbacka inre skärgård ger ett litet bidrag. Enskilda avlopp bidrar med en relativt liten del men är viktig då utsläppen oftast sker i grunda känsliga områden. Reduktionen av utsläppen från enskilda avlopp är 44 % kväve och 88 % fosfor av nuvarande utsläpp från enskilda avlopp.



Figur 18. Källfördelningen av reduktionen i åtgärds paket 1 för a) kväve och b) fosfor. Den totala reduktionen är 19 830 ton kväve/år, 2 700 ton fosfor/år (se tabell 5).

Figur 19. Källfördelningen av reduktionen i åtgärds paket 2, för a) kväve och b) fosfor.



Den totala reduktionen är 24 630 ton kväve/år, 2 700 ton fosfor/år (se tabell 6).

6.3. Åtgärdernas effekt på havet

Resultat på vattenförekomstnivå

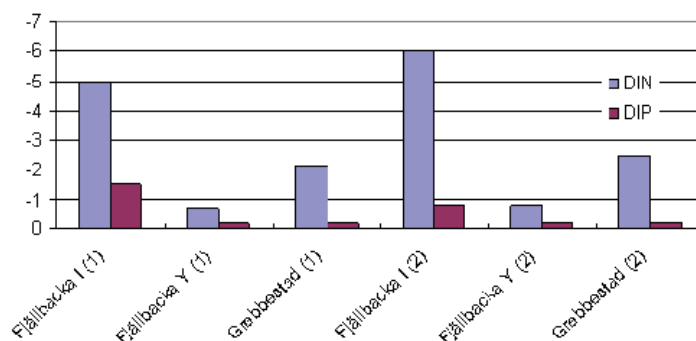
Två simuleringar har genomförts. Simulering (1) innefattar näringsreduktionen från de olika åtgärderna som redovisas i tabell 5. Simulering (2) innefattar näringsreduktionen från de olika åtgärderna som redovisas i tabell 6. Skillnaden mellan simuleringarna är antagandet om reningsgrad i en våtmark där vi i simulering (1) antar en 5 % -ig reduktion av kväve (200 kg N/ha) och en 25 % reduktion av fosfor. I simulering (2) antar vi istället en 10 % -ig (400 kg N/ha) reduktion av kväve men samma reduktion av fosfor. Dessa antaganden baseras på diskussionen i avsnitt (I) 4.2. Tillförseln innan och ökningen /reduktionen av tillförseln efter åtgärder visas i tabell 7. Åtgärds paketerna ger en total reduktion från land till Fjällbacka inre skärgård på 9-11 % kväve och 17 % fosfor, och en reduktion från land till Grebbestad inre skärgård på ca 1 % kväve och en ökning på 4 % fosfor.

Åtgärdernas effekt på havet beräknas för hela kustvattenförekomsten ”Fjällbacka inre skärgård” från Kämpersvik till Jorefjorden. Modellen ger alltså inte svar på hur åtgärderna slår i de grunda vikarna eller t ex i Jorefjorden som är en grund del av kustvattenförekomsten.

Tabell 7. Total tillförsel och förändring i tillförsel av näringsämnen till Fjällbacka och Grebbestad innerskärgårdar som simuleras i modellsimulering (1)-(2).

	Innan		Ökning (+); Reduktion (-)			
	N (ton/år)	P (ton/år)	N (ton/år)	P (ton/år)	N (%)	P (%)
Fjällbacka inre skärgård						
Simulering (1)	232	16	-19.8	-2.7	-9	-17
Simulering (2)	232	16	-24.6	-2.7	-11	-17
Grebbestad inre skärgård						
Simulering (1)	34	4.4	-0.36	+0.15	-1	+4
Simulering (2)	34	4.4	-0.36	+0.15	-1	+4

De biologiska förhållandena antas inte påverka koncentration av oorganiskt kväve (DIN) och oorganiskt fosfor (DIP) under vintern och vi studerar därför vintervärdena för att se vilken effekt åtgärderna har på koncentrationen av näringsämnen i skärgården. Även Grebbestad inre skärgård påverkas i simuleringen. Dels pga förflyttning och effektivisering av reningsverk och dels pga av vattenutbytet mellan Fjällbacka och Grebbestad inre skärgårdar. Även Grebbestad inre skärgård påverkas därför av en minskad tillförsel till Fjällbacka inre skärgård som har en betydligt högre tillförsel av näringsämnen än Grebbestad inre skärgård.



Figur 20. Reduktionen av oorganiska näringsämnen under vårvintern pga åtgärdsprogrammet i simulering (1) och (2) i Fjällbacka inre skärgård, Fjällbacka yttre skärgård, Grebbestad inre skärgård.

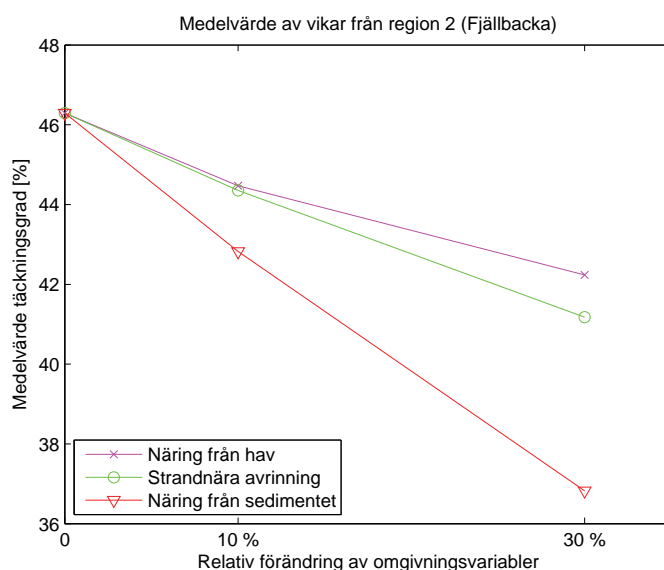
Den största effekten uppnås i Fjällbacka inre skärgård (figur 20), reduktionen av näringsämnen i området är ca 5 % för kväve, men bara ca 1.5 % för fosfor. Effekterna i Grebbestad inre skärgård är mindre vilket var väntat och längre ut från land, i Fjällbacka yttre skärgård syns mycket små effekter av reduktionen av kväve och fosfor från land. Förklaringen till den mindre effekten av fosforreduktionen ligger i att havet är en förhållandevis större källa till fosfor än till kväve i ytvattnet. Vi konstaterar att i medeltal för hela området Fjällbacka inre skärgård, är

effekterna tydliga men relativt små av en jämförelsevis stor reduktion av de antropogena bidraget av framförallt fosfor från land.

För att ha något att jämföra med har vi dessutom simulerat hur fjordsystemet skulle respondera om vi tar bort hela det antropogena bidraget, d.v.s. ca 50 % av dagens näringstillförsel från land. Minskningen av mängden oorganiskt kväve i ytvattnet var närmare 20 %. För oorganiskt fosfor är reduktionen mindre, några procent. Detta är naturligtvis en orimlig reduktion, men det ger oss en möjlighet att värdera hur framgångsrika åtgärds paketerna är.

Resultat på viknivå

På vikskalan däremot blir effekterna betydligt större då mängden näringsämnen i vattenmassan kan kopplas till utbredningen av snabbväxande makroalger (Carlsson, 2009). Modellsimuleringar av effekten av olika restaureringsåtgärder på viknivå har genomförts i Fjällbackaområdet med hjälp av ”vikmodellen”. I modellen jämförs förväntat resultat i form av minskad täckningsgrad av snabbväxande makroalger för olika typer av åtgärder; antingen minskad näring från havet, strandnära avrinning eller borttagande av näringsämnen från bottensediment. Simuleringen har genomförts med en reduktion på motsvarande 10 respektive 30% i tillförsel av näringsämnen.



Figur 21. Resultat från modellsimulering med hjälp av ”vikmodellen” i Fjällbacka området. Effekten av åtgärder såsom borttagande av minskad näring från havet, strandnära avrinning eller borttagande av näringsämnen från bottensediment på täckningsgraden av snabbväxande makroalger vid 10 respektive 30% näringsämnesreduktion.

Näringsbidraget från land påverkar täckningsgraden av alger direkt som visas med grön linje i figur 21. Men också indirekt genom pålagring av organiskt material i sedimenten som sedan läcker näringsämnen till vattenmassan. I aktuellt område förväntas högst reduktion i täckningsgrad av snabbväxande makroalger uppnås genom åtgärden borttagande av ytsediment (Fig. 21). Utbredningen av

snabbväxande makroalger förväntas minska med i medeltal 10 % vid en reduktion i tillförseln av näringsämnen med 30 % vid borttagande av ytsediment. Den långsiktiga lösningen är dock att minska pålagringen i sedimenten genom minskad näringstransport till de känsliga vikarna.

7. Slutsats

I de inre skärgårdsområdena i norra Bohuslän, som i t.ex. ”Fjällbacka inre skärgård” är snabbväxande makroalger vanligt förekommande. Hög täckningsgrad av alger indikerar övergödning och det är därför angeläget att begränsa såväl fosfor- som kvävetillförseln från land till hav.

I tillrinningsområdet behövs en kombination av närsaltsbegränsande åtgärder för att förbättra miljön. Punktkällorna utgör en relativt liten del av det totala bidraget av näringsämnen. Åtgärder på reningsverken är planerade och reducerar punktutsläppens bidrag ytterligare. Markläckaget utgör den dominerande källan (80-90 %), och en stor del är s.k. bakgrundsläckage. Den antropogena delen av markläckaget kommer från jordbruket och är stort, ca 30 % för kväve och ca 50 % för fosfor. För att minska näringsbelastningen som kommer via vattendragen är det här man måste sätta in åtgärder i form av t.ex. våtmarker och skyddszoner vid åkermark. Restaurering av vattendrag för att öka uppehållstiden för vattnet och därigenom öka retentionen av näringsämnen är ytterligare åtgärder. I området är det också angeläget att förbättra spridningsstrategin för stallgödsel i förhållande till årstid och gröda. Effekten av sådana åtgärder har dock inte beräknats i denna rapport. Det är ett naturligt högt markläckage av näringsämnen i Bohuslän p.g.a. stor nederbörd i kombination med lerjordar. Erosionskänsligheten gör att inte bara hantering av gödsel utan även markbearbetning bidrar till en stor del av läckaget och bör därför ses över. Den stora nederbörden innebär också ett högre nedfall av framförallt kväve från atmosfären än för Sverige i genomsnitt. Även åtgärder i skogslandskapet för att öka retentionen av näringsämnen är viktig. Även om bidraget från enskilda avlopp är relativt litet för hela Fjällbacka inre skärgård så bör avloppen åtgärdas i de fall då de mynnar i en känslig recipient som t.ex. en grund vik. På den skalan kan de enskilda avloppen i många fall vara den dominerande näringskällan.

Resultaten från modellsimuleringarna visar att det vi bedömer som realistiska åtgärdsprogram i avrinningsområdet till Fjällbacka inre skärgård ger en tydlig reduktion av den antropogena belastningen på havet, men en begränsad effekt på närsaltshalterna i kustvattnet (5 % kväve, 1 % fosfor), räknat på kustvattenförekomstskala. De största effekterna förväntas istället på den mindre vikskalan i exempelvis Jorefjorden. En referensmodellkörning där vi reducerar all antropogen näring från land resulterade i en reduktion av kväve och fosfor i havet med ca 20 % kväve och några få procent fosfor. Det ger en fingervisning om att åtgärdsprogrammet tar en stor del av det som är möjligt i

Eftersom fosforläckaget är stort i Bohuslän får sedimentationsfällor som våtmarker och skyddszoner ett bra genomslag och bidrar med den största reduktionen av läckaget från land, trots den relativt begränsade arealen våtmark. Åtgärder på de enskilda avloppen ger också en tydligt positiv effekt. En förbättrad rening på de enskilda avloppsanläggningarna skulle dessutom ha en positiv effekt på flera vattendrag och mindre havsvikar som påverkas av ett större antal enskilda avloppsanläggningar med dålig standard.

I det småskaliga jordbruket, utan stora sammanhängande åkerarealer och där vallodlingen dominerar är det svårt att hitta arealer lämpliga för våtmarker som kan reducera kväveläckaget. Vi bedömer dock att man kan återskapa/anlägga våtmarker motsvarande 1 % av den mest koncentrerade jordbruksmarken. Åtgärder mot kväveläckaget inom jordbruket är givetvis effektivare i mer jordbruksintensiva områden än det här studerade. Förbättrad kväverening på kommunala avloppsreningsverk ger i Fjällbacka inre skärgård god effekt på kvävereduktionen.

De två största vattendragen Anråsälven (se även Ruist 2008) och Jorälven svarar för ca 60 % av fosfor och 75 % av kvävet som belastar Fjällbacka inre skärgård från land. Det medför att åtgärder för att minska näringsläckaget till stor del kan följas upp genom den pågående regionala miljöövervakningen i dessa två vattendrag.

8. Referenser

- Andersson, Y., 2008, Utvärdering av urinsortering och torrtoaletter i Tanums kommun, Länsstyrelserna.
- Aure J., Molvær J., Stigebrandt, 1996. Observations of inshore water exchange forced by a fluctuating offshore density field. *Marine Pollution Bulletin* 33: 112-119.
- Björk G., Liungman O., Rydberg L., 2000. Net circulation and salinity variations in an open-ended Swedish fjord system. *Estuaries*, 23(3): 367-380.
- Hellberg L., 2004. RENT-VATTEN i Öresundsregionen – en åtgärdsinventering. RENT-VATTEN.
- IVL Svenska Miljöinstitutet AB, 2008. Uppföljning förstudie åtgärdskostnad för Vattenmyndigheten. Arkiv nr. U2321.
- Jordbruksverket 2008. Åtgärder inom jordbruket för god vattenstatus. Rapport 2008:31
- Liss, B. 2003. Kvantifiering av kväve- och fosforbelastning från enskilda avlopp. Examensarbete, Institutionen för geovetenskap, Uppsala Universitet.
- Naturvårdsverket, 1995. Vad innehåller avlopp från hushåll? Rapport 4425.
- Pleijel, F., 1988. Inventering av havsbottnarna mellan Fjällbacka och Bovallstrand. Länsstyrelse rapport 1988:6.
- Ruist E., 2008. Fosfor- och kvävefraktioner i miljöövervakningen, en studie av bohuslänska vattendrag. Examensarbete, Göteborgs universitet. Rapport 2008:86, Länsstyrelsen Västra Götalands län.
- Sveistrup T. E., Baskerud B.C., 2005. Bygg fangdammene nær jordet! Jordforsk nytt.
- SMED 2007. Indata mindre punktkällor för PLC5 rapporteringen 2007. ISSN: 1653-8102.
- Sveistrup T. E., Baskerud B.C., 2005. Bygg fangdammene nær jordet! Jordforsk nytt.
- Syversen N., 2005. Effect and design of buffer zones in the Nordic climate: The influence of width, amount of surface runoff, seasonal variation and vegetation type on retention efficiency for nutrient and particle runoff.
- Tyréns 2008. Utredning verksamhetsområde VA Tanums kommun. Uppdragsnr. 212811.