

Fällningsdamm och biodamm

– fällningsdammar med avstängd
dosering sommartid

Erica Johansson
Jörgen Hanæus
Erik Grönlund



VA-Forsk

VA-Forsk är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna, vilket är unikt på så sätt att statliga medel tidigare alltid använts för denna typ av verksamhet. FoU-avgiften är för närvarande 1,05 kronor per kommuninnevånare och år. Avgiften är obligatorisk. Nästan alla kommuner är med i programmet, vilket innebär att budgeten årligen omfattar drygt åtta miljoner kronor.

VA-Forsk initierades gemensamt av Svenska Kommunförbundet och Svenskt Vatten. Verksamheten påbörjades år 1990. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvattenrening
Ekonomi och organisation
Utbildning och information

VA-Forsk styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Anders Lago, ordförande	Södertälje
Olof Bergstedt	Göteborgs VA-verk
Roger Bergström	Svenskt Vatten AB
Daniel Hellström	Stockholm Vatten AB
Stefan Marklund	Luleå
Mikael Medelberg	Roslagsvatten AB
Anders Moritz	Linköping
Peter Stahre	VA-verket Malmö
Jan Söderström	Sv Kommunförbundet
Göran Tägtström	Borlänge
Agneta Åkerberg	Falkenberg
Steinar Nybruket, adjungerad	NORVAR, Norge
Thomas Hellström, sekreterare	Svenskt Vatten AB

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

VA-Forsk
Svenskt Vatten AB
Box 47607
117 94 Stockholm
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se

Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Fällningsdamm och biodamm – fällningsdammar med avstängd dosering sommartid
Title of the report:	Seasonal operation of ponds for chemical precipitation of wastewater
Rapportens beteckning Nr i VA-Forsk-serien:	2005-18
Författare:	Erica Johansson, Jörgen Hanæus, avd för VA-teknik, Luleå tekniska universitet; Erik Grönlund, avd för Ekoteknik, Mitthögskolan, Östersund
VA-Forsk-projektnr:	21-127
Projektets namn:	Uppgradering av dammsystem för avloppsvattenbehandling
Projektets finansiering:	VA-Forsk, Affärsverken Östersund, Luleå tekniska universitet
Rapportens omfattning Sidantal: Format:	22 A4
Sökord:	Fällningsdamm, biodamm, kemisk fällning, närsaltsreduktion, avloppsvatten- rening
Keywords:	Fellingsdam, stabilisation pond, chemical precipitation, nutrient removal, wastewater treatment
Sammandrag:	Vid två fällningsdammar i Östersund har kemikaliedoseringen stängts sommar- tid för att följa biodammsfunktionen. En liten försämring av traditionella ut- släppsparametrar noterades. De hydrauliska betingelserna varierade kraftigt.
Abstract:	The addition of coagulant at two fullscale stabilisation pond systems in Midsweden was interrupted during two summer periods. The biological mode of working was compared to previous periods of chemical precipitation. The performance decreased slightly during interruption, influenced also by strong hydraulic variations.
Målgrupper:	VA-chefer, VA-ingenjörer, forskare
Omslagsbild:	Orrvikens dammsystem med försöksanläggning för algodling. Foto: Erik Grönlund
Rapporten beställs från:	Finns att hämta hem som pdf-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2005
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB

Förord

Denna rapport behandlar en möjlighet till uppgradering av fällningsdammsystem för avloppsvattenrening. Utvecklingen av fällningsdammar har i stor utsträckning skett i Sverige, där låga vattentemperaturer ofta lett till att kemiska metoder prioriterats före biologiska, men arbetet följs med intresse internationellt.

Idén med föreliggande arbete var att i två fullskaleanläggningar ge det biologiska dammsystemet möjlighet att ta över reningsprocesserna under sommarmånaderna och att därvid studera skillnader i reningsresultat i traditionella utsläppsparametrar relativt dammsystemens historiska funktion med fällning sommartid.

Projektet har finansierats av VA-Forsk, Affärsverken i Östersund och Luleå tekniska universitet.

Ett stort tack till Herje Dahlsten och Håkan Sandström vid laboratoriet på reningsverket i Göviken som utförde huvuddelen av de kemiska analyserna. Vidare tackas Magnus Rosenberg och Linda Forss, Affärsverken i Östersund, för stöd och råd under projektets gång.

Författarna

Innehåll

Förord.....	3
Sammanfattning	7
Summary.....	8
1 Bakgrund	9
2 Syfte.....	9
3 Beskrivning av anläggningarna	9
4 Metod.....	10
4.1 Provtagningar och analyser.....	11
5 Resultat och diskussion	11
5.1 Avloppsvattenflöde.....	11
5.2 Orrviken.....	12
5.3 Lockne.....	16
5.4 Ekonomiska och miljömässiga aspekter.....	19
6 Slutsatser.....	19
Referenser.....	21

Sammanfattning

Föreliggande rapport beskriver en studie av fällningsdammssystemen i Orrviken och Lockne, Östersunds kommun. Vanligtvis drivs dessa med tillsats av fällningskemikalie året runt. Syftet med studien var att undersöka hur reningen i dammarna påverkas av sommartids avstängning av kemikaliedoseringen.

Studien pågick under somrarna 2001 och 2002. Prover togs vid elva tillfällen under respektive period i de punkter som vanligtvis används för driftkontroll av inkommande och utgående vatten.

I Orrviken finns en hög potential att driva dammarna utan kemikalietillsats sommartid, vilket kunde konstateras från resultaten båda undersökningsperioderna. Perioderna speglade två extremfall ur flödessynpunkt då medelflödet till anläggningen den nederbördsrika sommaren 2001 var 423 m³/d (1 360 l/p,d). Under 2002 var flödet 106 m³/d (340 l/p,d).

Vid nio provtagningstillfällen 2001 samt vid sju tillfällen 2002 var utgående fosforhalt lägre än gränsvärdet 0,5 mg/l. Högre halt av fosfor i utgående vatten registrerades vid högt flöde 2001 och vid mycket höga inkommande fosforhalter 2002. Reduktionen av fosfor var 2001 85 % och 2002 89 % vilket kan jämföras med medelreduktionen 1995–1999 som uppgick till 95 %.

Utsläppsvärdena av organiskt material (COD_{Cr}) under 2001 låg ungefär på samma nivå som medelvärde för motsvarande perioder åren 95–99, förutom vid två tillfällen då reningen påverkades negativt av en tillfällig hög alg tillväxt i den sista dammen. 2002 var utgående halt av organiskt material betydligt högre vilket antogs bero på de höga koncentrationer som uppmättes i inkommande vatten. För organiskt material var reduktionen 71 % 2001, 67 % 2002 och 78 % 1995–1999.

För kväve var reduktionen låg under 2001 (13 %) och anmärkningsvärt hög under 2002 (58 %). Ammoniakavgång och sedimentation av organiskt kväve antogs vara förklaringen till kvävereduktionen genom systemet.

Dammssystemet i Lockne har sämre hydrauliska förutsättningar än i Orrviken, dessutom är inläckaget i ledningsnätet mycket stort. Trots att det 2002 var ringa nederbörd var medelflödet till anläggningen 105 m³/d (2 100 l/p,d), 2001 var flödet 149 m³/d (3 000 l/p,d). De höga flödena hade inverkan på reningsresultatet och skulle förmodligen haft en stor inverkan även om kemikalie doserats till systemet.

För fosfor underskreds gränsvärdet i utgående vatten, 0,5 mg/l, vid fyra av de elva provtagningssamlingarna både 2001 och 2002. Reduktionen av fosfor var 60 % och 66 % respektive sommar vilket kan jämföras med medelvärde 1995–1999; 86 %.

Medelhalten av organiskt material i Lockne i utgående vatten 2001 var lägre än under 1995–1999, dock var reduktionen lägre; 36 % jämfört med 54 %. Under 2002 var reduktionen av organiskt material dålig (18 %) och det konstaterades att det var en intern produktion av organiskt material på grund av en hög alg tillväxt.

Summary

In this report an investigation of two fullscale wastewater pond systems using chemical precipitation (fellingsdams), at Orrviken and Lockne in the municipality of Östersund, is presented. The objective with the investigation was to study the influence on treatment of an interruption of the coagulant dosage during a summer period.

The investigation was performed during two years of unusual precipitation conditions; 2001 was intense in precipitation whereas summer 2002 represented a dry season. Sampling was carried out at 11 occasions during each summer period using regular influent and effluent sampling points for the plants.

The results showed that there is a potential to utilise the summer biological activity in fellingsdams. At Orrviken the effluent quality measured as organic matter and phosphorus in the effluent was just slightly above the values that were reached by chemical precipitation.

The average flow to Orrviken at summer 2001 was 423 m³/d (1 360 l/p,d). During summer 2002 the average flow was 106 m³/d (340 l/p,d).

Corresponding values for Lockne were 105 m³/d (2 100 l/p,d) at 2001 and 149 m³/d (3 000 l/p,d) at 2002.

The organic matter reduction was at Orrviken 2001 71 % and 2002 67 % compared to previous years (using precipitant) average of 78 %; in Lockne 2001 36 %, 2002 18 %, and previous years 55 %. Temporary high algae growths at the end of the investigation periods increased the effluent concentration of organic matter, and additionally at Lockne the high hydraulic loading most likely caused the poor reduction.

The phosphorus reduction was in Orrviken 2001 85 % and 2002 89 % compared to previous years (using precipitant) average of 95 %. At 4 of 22 sampling occasions (11 each year) the effluent phosphorus concentrations were above the limit value of 0.5 mg P/L. Most of these occasions were due to high flows or microalgae blooms. In Lockne the phosphorous reduction 2001 was 60 %, 2002 66 %, and previous years 86 %. At 15 of the 22 sampling occasions the effluent phosphorus concentrations were above the limit value of 0.5 mg P/L.

The nitrogen reduction varied considerably between the years: in Orrviken 2001 13 % and 2002 58 %; in Lockne 2001 13 % and 2002 33 %. Reference values of nitrogen reduction from normal operation were not available. The largest separation of nitrogen in Orrviken was registered during a period with high pH in the effluent; conditions that are favourable for ammonia volatilisation. Release of ammonia gas and sedimentation of particulate nitrogen was considered the probable reduction pathways for nitrogen.

At Lockne the performance was generally lower, mainly due to a very high hydraulic loading.

The high hydraulic loading, most likely caused by a high leakage-in to the pipe system would have had consequences on the treatment even if chemical had been added to the ponds.

1 Bakgrund

Biologiska dammar för rening av avloppsvatten användes tidigare flitigt i Sverige. Reningseffektiviteten vintertid är dock begränsad då drivkrafterna för reningen, t.ex. vattentemperatur och solinstrålning, inte är tillräckliga. Utnyttjandet av vanliga biodammar i Skandinavien har därför varit mycket begränsat sedan 1960–70-talet (Ødegaard *et al.* 1987). I Sverige godkändes inte de biologiska dammarna i slutet av 1960-talet på grund av den dåliga reningsgraden vintertid. I slutet av 60-talet och i början av 70-talet introducerades fällningsdammar i Sverige som ett alternativ till paketreningsverk i glest befolkade områden (Hanæus 1991b).

Fällningsdammar är en anpassning av biologiska dammar till kallt klimat genom tillsättning av en fällningskemikalie vilket ger en ökad reningsgrad, framförallt för fosfor. Metoden används i synnerhet i norra Sverige, då dammarna är robusta och inte så känsliga för variationer i flöde. Aluminium, järn och kalk används som fällningskemikalier (Hanæus 1991b). Det höga pH-värdet som uppnås med kalkfällning (ca 10,5–12) är ogynnsamt för mikroorganismer vilket hämmar den biologiska nedbrytningen av organiskt material (Hanæus 1991a). En fördel med kalkfällning är dock att patogener avdödas (Hanæus 1987).

Det är rekommenderat att ha åtminstone två dammar i ett fällningsdammsystem (Pettersson 1996) och kemikalien tillsätts antingen före den första dammen eller i den första eller andra dammen (Hanæus 1991b). För att öka den hydrauliska uppehållstiden rekommenderas en indelning av dammarna i kanaler, vanligtvis används flytväggar för detta ändamål (Hanæus 1987).

Fällningsdammar karaktäriseras av hög separation av fosfor (85–95 %) och organiskt material (60–90 %) (Hanæus 1987). Reningensgraden för kväve skiljer sig lite från vanliga biodammar och är vanligtvis låg. Kalkfällningens höga pH-värde ger gynnsamma förhållanden för ammoniakavgång under perioder utan istäcke.

Fördelarna med fällningsdammar jämfört med paketreningsverk är framförallt att dammsystemen

ofta har en stor volym som bättre klarar av flödesvariationer samt att de är billigare. Såväl konstruktions-, drift- och underhållskostnader är generellt lägre för fällningsdammar (Hanæus 1991b).

Nackdelar med användandet av fällningsdammar är framförallt att de har ett relativt stort ytbehov samt att fällningskemikalie förbrukas.

Förbrukningen av fällningskemikalier i fällningsdammar har en potential att reduceras genom att tillvarata dammarnas biologiska förmåga. Detta skulle kunna uppnås med sommartids avstängning av kemikaliedoseringen.

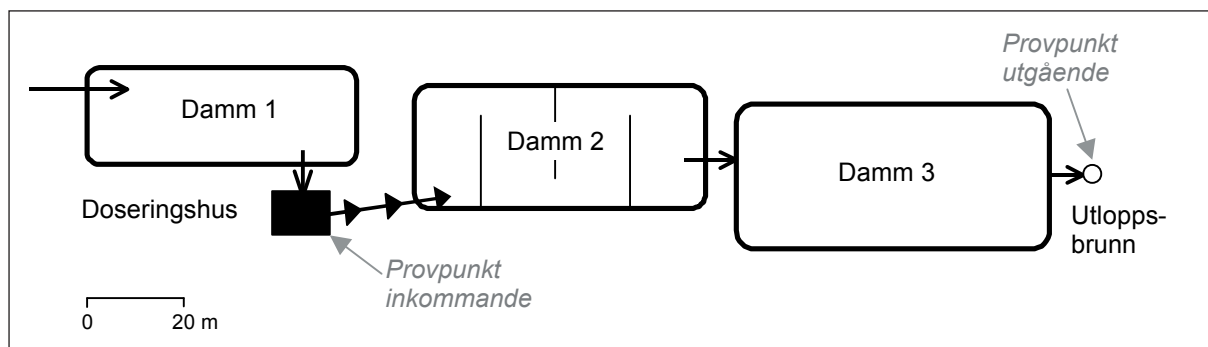
2 Syfte

Syftet med föreliggande undersökning var att studera hur sommartids kemikalieavstängning vid fällningsdammar påverkar reningsresultatet. Som kontrollparametrar användes COD_{Cr}, totalfosfor och totalkväve

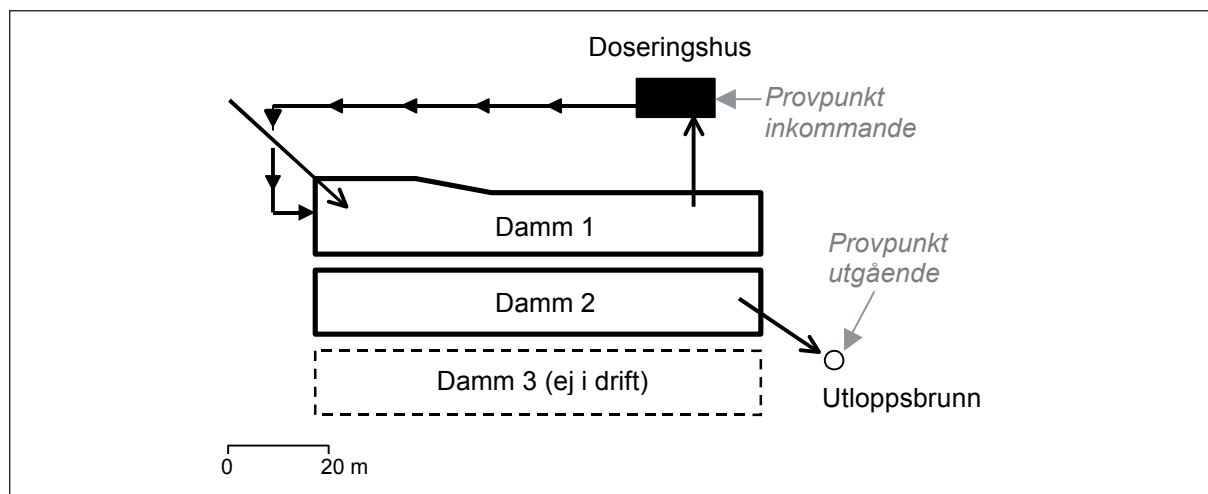
3 Beskrivning av anläggningarna

Studien utfördes vid fällningsdammarna i Orrviken (figur 3-1) och Lockne (figur 3-2), Östersunds kommun. Vid båda reningsverken försedimenteras vattnet i en första damm innan fällningskemikalien tillsätts i en doseringsbyggnad. Vattnet pumpas sedan till den andra dammen. Anläggningarnas karaktär presenteras i tabell 3-1. Tabellen visar att vid anläggningen i Orrviken är inflödet i medeltal betydligt mindre än i Lockne, om man räknar per person och dag (i Orrviken ca 740 l/pe,d, i Lockne ca 1 200 l/pe,d). Detta beror till största delen på att ledningsnätet i Lockne är i dålig kondition och mycket ovidkommande vatten tillförs reningsverket.

Damm 2 i Orrviken är utrustad med tre flytväggar för flödesstyrning (figur 3-1), något som saknas i



Figur 3-1. Skiss över dammsystemet i Orrviken.



Figur 3-2. Skiss över dammsystemet i Lockne.

Tabell 3-1. Anläggningsdata för fällningsdammarna i Orrviken och Lockne.

Anläggning	Antal anslutna [pe]	Antal dammar	Medelflöde [m ³ /d]	Volym [m ³]	Fällnings-kemikalie
Orrviken	310	3	240 ^a	8 300	AVR
Lockne	50	2	60 ^b	1 600	ALG

^a 1997–2001.

^b 1995–2001.

Lockne. I Lockne finns en tredje damm som ej är i drift.

Tabell 4-1. Perioder med avstängd kemikaliedosering i Orrviken och Lockne.

År	2001	2002
Orrviken	5 juli– 20 september	20 maj– 14 september
Lockne	5 juli– 20 september	3 juni– 27 augusti

4 Metod

Studien utfördes under somrarna 2001 och 2002. De perioder då kemikaliedoseringen var avstängd redovisas i tabell 4-1.

Den 20:e maj 2002 påbörjades slamtömning av första dammen i Orrviken. Dammen tömdes på

vatten och inkommande avloppsvatten pumpades från doseringsbyggnaden till den tredje dammen. Den 17:e juni var den andra dammen i drift igen, dock placerades inte flytväggarna ut i dammen igen.

Referensdata för undersökningen var inkommande och utgående halter av organiskt material, fosfor och kväve från driftkontroll 1995–1999.

4.1 Provtagningar och analyser

Både 2001 och 2002 utfördes elva provtagningsomgångar under de perioder då kemikaliedoseringen var avstängd. Vid respektive tillfälle togs prover på inkommande och utgående vatten. Samtliga prover var stickprover. Provtagningspunkt för inkommande vatten var i pumpgruppen efter den första dammen och utgående vattenprov togs i utloppsbrunnen (figur 3-1 och 3-2). Dessa provtagningspunkter används för den normala driftkontrollen av anläggningarna. Det bör nämnas att det är svårt att ta representativa prover på inkommande vatten i både Orrviken och Lockne bl.a. på grund av flytslam som bildas i pumpgruppen.

Vid provtagningsstillfällena mättes pH och vattentemperatur i samtliga prover. De kemiska parametrar som analyserades i dammarna visas i tabell 4-2. Samtliga analyser som utfördes vid Gövikens reningsverk i Östersund genomfördes direkt efter provtagningsarna. Prover som analyserades vid Biolab i Luleå konserverades genom frysning efter provtagning.

Under 2002 mättes även absorptions (750 nm) på utgående vatten, mätningen genomfördes vid Gövikens reningsverk.

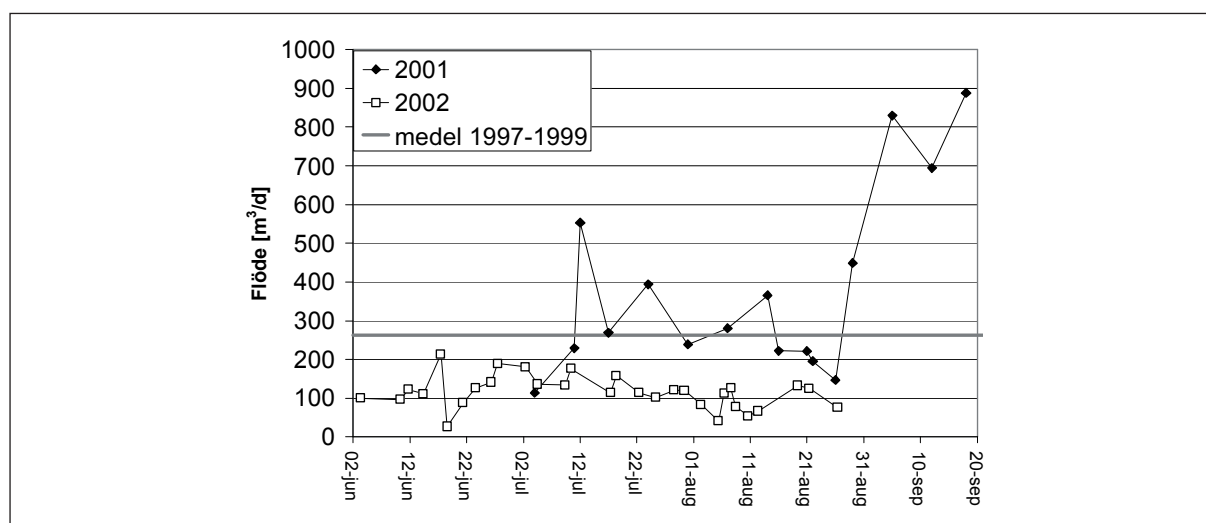
5 Resultat och diskussion

5.1 Avloppsvattenflöde

De två somrar då undersökningarna pågick kan betecknas som två extremfall ur flödessynpunkt. Sommaren 2001 var mycket nederbördsrik (390 mm under försöksperioden) medan sommaren 2002 var nederbördsfattig (210 mm under försöksperioden). Nederbördsmängderna avspeglas tydligt i flödet av avloppsvatten till Orrvikens reningsverk vilket illustreras i figur 5-1. Medelflödet till reningsverket

Tabell 4-2. Kemiska parametrar analyserade i vattenprover.

Parameter	Analys	Laboratorium
Organiskt material, COD _{Cr}	SS 02 81 42	Gövikens reningsverk, Östersund
Totalfosfor	SS-EN 1189	Gövikens reningsverk, Östersund
Fosfatfosfor	SS 028126	Gövikens reningsverk, Östersund
Totalkväve	SIS 02 81 31	Biolab, Luleå tekniska universitet
Ammoniumkväve	SIS 02 81 34	Gövikens reningsverk, Östersund
Nitrit- och nitratkväve	SS 02 81 33	Biolab, Luleå tekniska universitet



Figur 5-1. Avloppsvattenflöde till Orrvikens reningsverk under försöksperioderna 2001 och 2002 samt medelflödet juni-sept 1997-1999.

2001 var 423 m³/dygn och 2002 var det 106 m³/d vilket kan jämföras med medelvärdet för perioden juni–september 1997–1999 på 263 m³/d.

I Lockne var inte nederbördens påverkan på flödet lika tydlig (figur 5-2). Även under den nederbördsfattiga sommaren 2002 var flödet till reningsverket i början av undersökningsperioden mycket högt. Detta berodde förmodligen på att grundvattentans nivå var hög i början av sommaren vilket gav ett stort inläckage i ledningsnätet. Vid en temperaturmätning i inloppsbrunnen 12:e juni 2002 konstaterades en låg temperatur (6 °C) vilket indikerar ett grundvatteninläckage. Medelflödet till reningsverket var 149 och 105 m³/d under försöksperioderna 2001 respektive 2002. 1995–1999 var medelflödet juni–september 52 m³/d.

I tabell 5-1 görs en jämförelse mellan de två dammsystemen med avseende på flöde per dygn och dammvolymsenhet. Siffrorna i tabellen visar tydligt att den hydrauliska belastningen på dammarna i Lockne

var betydligt högre än i Orrviken under 2001 och 2002.

Tabell 5-1. Hydraulisk belastning per volymsenhet på dammsystemen i Orrviken och Lockne.

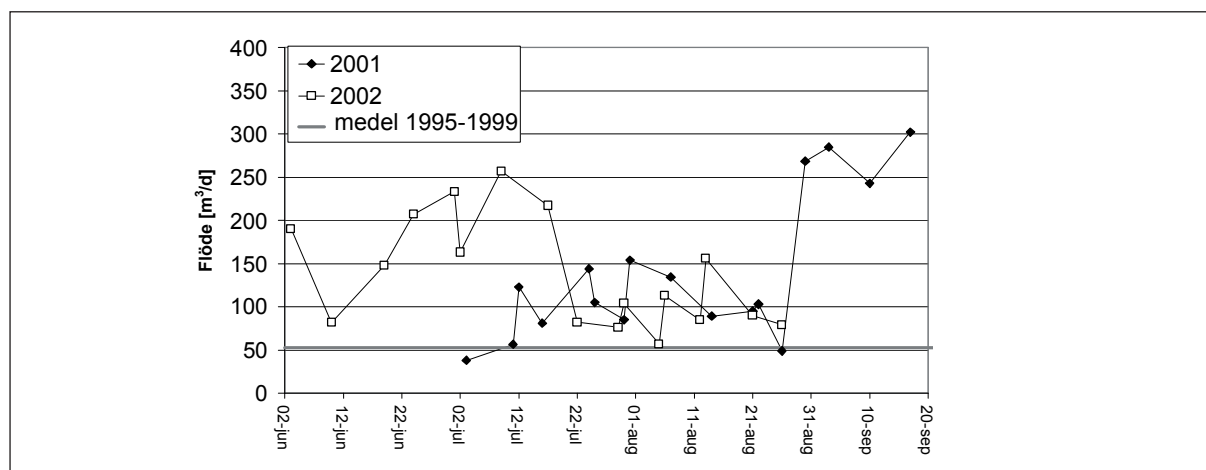
I/(d, m ³)	Orrviken	Lockne
2002	13	66
2001	51	93
–1999 ^a	32	33

^a 1997–1999 för Orrviken, 1995–1999 för Lockne.

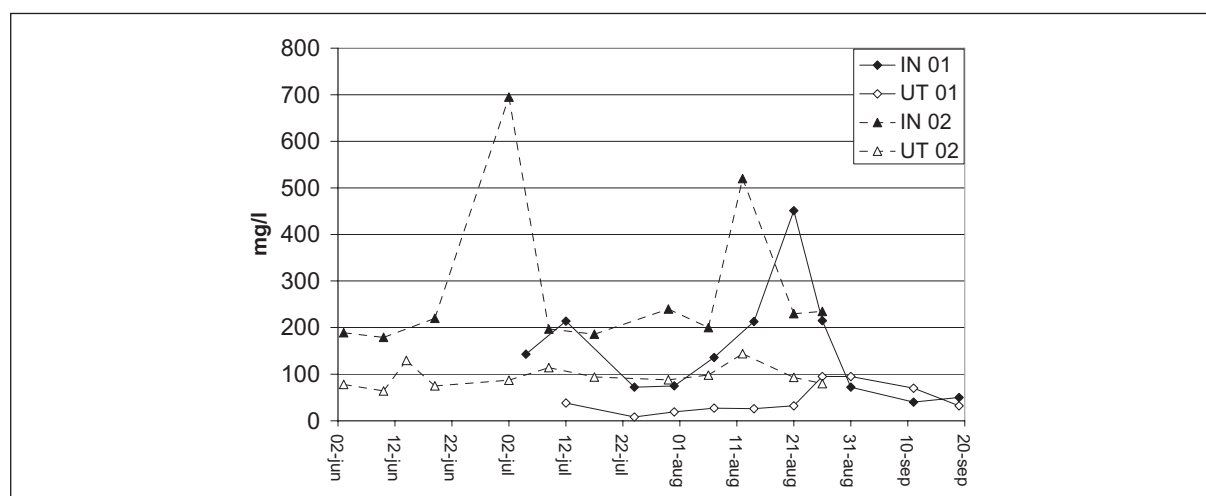
5.2 Orrviken

Organiskt material

Resultaten från COD_{Cr}-analyserna visas i figur 5-3. Under båda försöksperioderna var halten organiskt



Figur 5-2. Avloppsvattenflöde till Lockne reningsverk under försöksperioderna 2001 och 2002 samt medelflödet juni–sept 1995–1999.



Figur 5-3. Halten COD_{Cr} i inkommande och utgående vatten i Orrviken.

material i inkommande vatten högre än normalt, för 2002 mycket högre. Enligt tabell 5-2 var det lägsta värdet på inkommande COD_{Cr}-halt under 2002 betydligt högre än medelvärdet från analyser gjorda 1995–1999.

Under 2001 var utgående halt mellan 8 och 38 mg/l fram till den 21:a augusti. Efter det ökade halten vid de två följande provtagningarna till 95 mg/l (26/8 och 31/8). Vid dessa provtagningstillfällena var det mycket alger i dammen (som resulterar i ett högre COD_{Cr}-värde); proverna från utloppsbrunnen var gröna. Den ökade alg tillväxten kan bero på att algerna fått ett gynnsammare klimat på grund av kemikalieavstängningen men det är mer troligt att det beror på en tillfälligt gynnsam period för algerna, t.ex. så var vattentemperaturen högre än tidigare under sommaren vid dessa två tillfällen. I slutet av mätperioden var flödet extremt högt på grund av stor nederbörd (49 mm den 27:e augusti och 27 mm den 1:a september). Uppehållstiden i

dammen var kort under denna period och resulterade i dålig rening av organiskt material.

Sommaren 2002 var utgående halt av COD_{Cr} runt 100 mg/l hela mätperioden. Under första halvan av augusti iakttogs en algblooming i damm 3 (figur 3-1), och under denna period var det också högre värden på absorbansen i utgående vatten. Algbloomingen påverkade dock inte utgående COD-värden i någon signifikant omfattning. Den procentuella reduktionen var lägre än under 2001 (tabell 5-2).

Fosfor

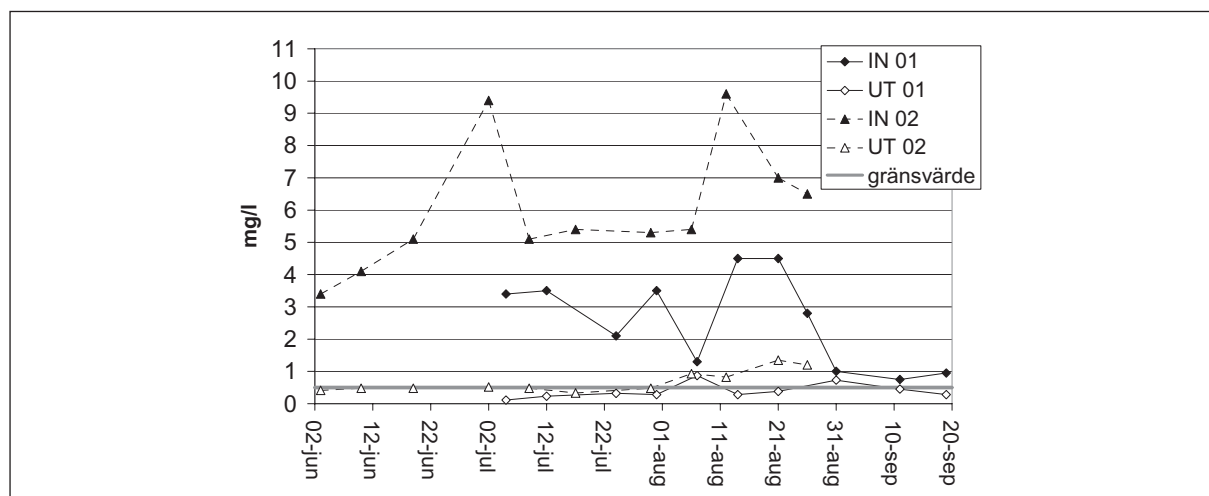
I figur 5-4 visas resultaten för inkommande och utgående fosforhalt under mätperioderna. Precis som för organiskt material var inkommande halt av fosfor mycket högre 2002 än under sommarperioderna 1995–1999, 2001 var den dock något lägre.

Under 2001 var fosforkoncentrationen vid samtliga provtagningar utom två lägre än 0,5 mg/l (utsläppskrav). Den 7/8 och 31/8 var halten 0,87 respektive

Tabell 5-2. Halter COD_{Cr} i inkommande och utgående vattenprover i Orrviken.

Halt COD _{Cr} [mg/l]	Inkommande	Utgående	% reduktion
medel 2002	281	92	67
medel 2001	153	44	71
medel 1995–1999 (juni–sept)	128 (59–164) ^a	27 (23–30) ^a	78
max 2002	695	144	
max 2001	451	95	
max 1995–1999 (juni–sept)	295	37	
min 2002	179	64	
min 2001	40	8	
min 1995–1999 (juni–sept)	31	12	

^a variation i värden mellan de olika åren.



Figur 5-4. Halten fosfor i inkommande och utgående vatten i Orrviken.

0,73 mg/l. Vid båda dessa tillfällen var inkoncentrationen till reningsverket låg (1,3 respektive 1,0 mg/l, normalt ca 3–4 mg/l). Åtminstone vid det senare tillfället går det att konstatera att flödet in till reningsverket var högt vid denna tidpunkt vilket späder ut avloppsvattnet samt ger en kort uppehållstid i dammarna. Det höga värdet den 7/8 kan möjligtvis bero på ett analysfel, vilket även kan vara förklaringen till det låga värdet på inkommande vatten. Vid en undersökning av andelen fosfatfosfor av totalfosforhalten går det att konstatera att värdena den 7/8 skiljde sig mycket från övriga värden under perioden 12/7–31/8. För utkoncentrationen var kvoten onormalt låg (vilket tyder på ett för högt värde på totalfosforhalten) och för inkoncentrationen var kvoten onormalt hög, däremot avviker inte fosfathalterna från övriga värden under perioden. Vid den sista provtagningen den 19/9 hade utgående fosforhalt sjunkit till 0,28 mg/l.

Sommaren 2002 höll sig utgående fosforkoncentration runt 0,5 mg/l fram till början av augusti innan en ökning registrerades. Trots de höga koncentrationerna av fosfor i inkommande vatten reducerades procentuellt mer fosfor under 2002 jämfört med 2001 (tabell 5-3).

De låga och stabila utvärdena, trots varierande flöde (figur 5-1) i början av mätperioden 2001, kan bero på att det fortfarande fanns tillgång till reaktiv kemikalie i dammen som fällde ut fosfor. Något som talar emot detta är att reduktionen av fosfor var hög även under den period 2002 då damm 2 inte var i drift (fram till 17:e juni). Eftersom kemikalien doseras till damm 2 är det inte troligt att några nämnvärda mängder restkemikalie transporteras till

damm 3 som kan forcera utfällningen av fosfor. Systemet verkar ha en god kapacitet att separera fosfor även utan tillsats av fällningskemikalie. Möjliga reduktionsvägar för fosfor är direkt sedimentation av fosfor bundet till partiklar, assimilation av alger och bakterier samt "naturlig" utfällning av fosfat med järn-, aluminium-, och kalciumjoner som finns i avloppsvattnet (Ferrara & Harleman 1980; Surampalli *et al.* 1995). Båda åren sjönk andelen fosfatfosfor av totalfosfor genom systemet (2001 från i medeltal 53 till 29 % och 2002 från 70 till 34 %). Både assimilation och utfällning medför att andelen fosfatfosfor sjunker.

Mellan 1995 och 1999 var utgående fosforkoncentration under sommaren i medel 0,10–0,35 mg/l. Maximalt registrerades 0,90 mg/l. En jämförelse mellan tidigare driftdata sommartid och värden från föreliggande undersökning presenteras i tabell 5-3.

Kväve

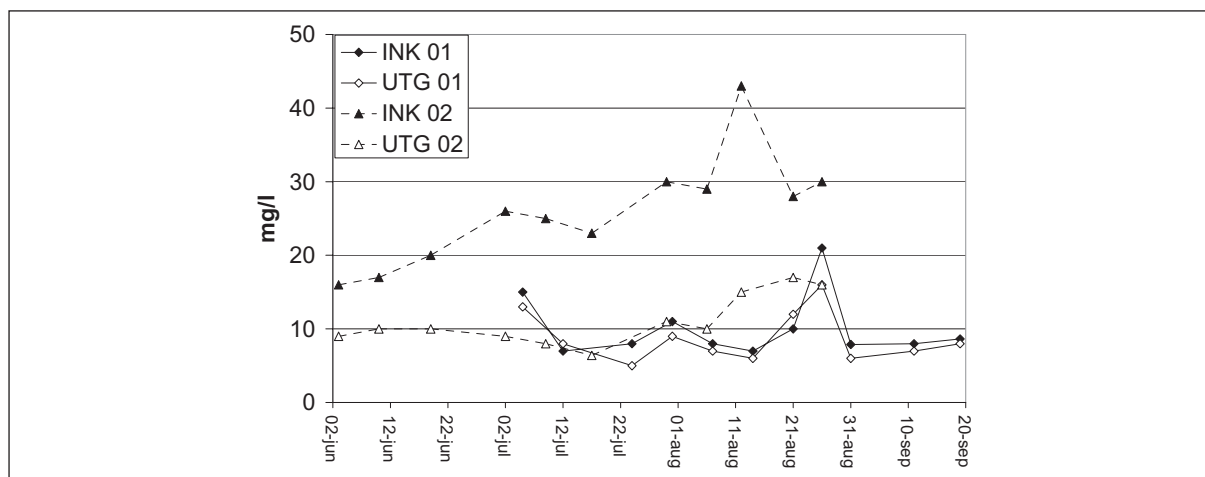
Under 2001 var reduktionen av kväve i dammarna låg (figur 5-5 och tabell 5-4). Det är svårt att uttala sig om hur kvävet omvandlats i dammsystemet eftersom kvoten mellan ammoniumkväve och totalkväve i stort sätt var oförändrad från pumpstationen till utloppet. Nitrifikation och denitrifikation verkar dock haft en mycket liten inverkan eftersom haltarna av nitrit och nitrat var mycket låga både i inlopp och utlopp.

Sommaren 2002 reducerades däremot mycket av kvävet genom dammsystemet. Även denna försöksperiod var halterna av nitrit och nitrat mycket låga i både inloppet och utloppet. Kvoten mellan ammonium och totalkväve förändrades dock genom

Tabell 5-3. Halter fosfor i inkommande och utgående vattenprover i Orrviken.

Halt fosfor [mg/l]	Inkommande	Utgående	% reduktion
medel 2002	6,03	0,68	89
medel 2001	2,57	0,39	85
medel 1995–1999 (juni–sept)	3,13 (1,50–4,33) ^a	0,15 (0,10–0,35) ^a	95
max 2002	9,60	1,35	
max 2001	4,50	0,87	
max 1995–1999 (juni–sept)	9,10	0,90	
min 2002	3,40	0,33	
min 2001	0,75	0,11	
min 1995–1999 (juni–sept)	0,50	0,06	

^a variation i värden mellan de olika åren.



Figur 5-5. Halten kväve i inkommande och utgående vatten i Orrviken.

Tabell 5-4. Halter kväve i inkommande och utgående vattenprover i Orrviken.

Halt kväve [mg/l]	Inkommande		Utgående		% reduktion
	N-tot	NH ₄ -N NO-N ^a	N-tot	NH ₄ -N NO-N ^a	
medel 2002	26,1	18,1 <0,005	11,0	4,9 <0,005	58
medel 2001	10,1	5,4 <0,13 ^b	8,8	4,8 <0,005	13
medel 1995–1999 (juni–sept)	— ^c		9,1 (6,2–12,0) ^d		
max 2002	43	24,0 <0,005	17,2	11,1 0,01	
max 2001	24,0	13,0 1,3	11,1	8,1 <0,005	
max 1995–1999 (juni–sept)	— ^c		17,1		
min 2002	16,2	10,5 <0,005	6,4	0,1 <0,005	
min 2001	7,0	1,6 <0,005	5,0	1,5 <0,005	
min 1995–1999 (juni–sept)	— ^a		2,5		

^a NO-N = NO₂-N + NO₃-N.

^b Vid tre av elva provtagningar registrerades en högre NO-halt än detektionsgränsen 0,005 mg/l.

^c ingen analys finns från tidigare för inkommande halt.

^d variation i värden mellan de olika åren.

dammsystemet från i medeltal 0,69 till 0,45. Under antagandet att kväve kan föreligga som ammonium, nitrit, nitrat eller organiskt kväve innebar detta att andelen organiskt kväve ökade genom systemet, vilket kan förklaras med upptag av ammonium i alger. Om nitrifikation och denitrifikation kan uteslutas som reduktionsväg (ett flertal internationella studier har visat att nitrifikation/denitrifikation spelar en mycket liten roll i dammsystem bl.a. på

grund av avsaknaden av fästytter för nitrifikationsbakterier, t.ex. (Ferrara & Avci 1982) och (Reed 1984)) återstår sedimentation av organiskt kväve samt ammoniakavgång. Sedimentation av organiskt kväve kan dels ske som direkt sedimentation av organiskt kväve i inkommande vatten och dels i form av döda alger som tagit upp kväve. Förmodligen är en kombination av ammoniakavgång och sedimentation förklaringen till minskningen i totalkvävehalt

genom systemet. Ammoniakavdrivning gynnas av höga pH-värden och hög vattentemperatur (Pano & Middlebrooks 1982; Reed 1985). Sommaren 2002 var det relativt gynnsamma förhållanden för ammoniakavdrivning. Förhöjda pH-värden i dammar, och då framförallt i ytvattnet, förklaras med koldioxidupptag i alger under fotosyntesen (Ferrara & Avci 1982; Hartley *et al.* 1997; Maynard *et al.* 1999; Nurdogan & Oswald 1995; Reed 1985; Toms *et al.* 1975). Det har även visats att långa uppehållstider kan ge en hög ammoniakavgång även om inte förhållandena är optimala (Pano & Middlebrooks 1982; Reed 1985).

Mellan 1995 och 1999 var utgående totalkvävehalt sommartid i medeltal 9,6 mg/l (tabell 5-4). Kväve analyseras inte normalt i inkommande vatten så dessa värden finns inte tillgängliga. Som nämnts tidigare har fällningskemikalien en marginell inverkan på reduktionen av kväve så resultaten från 2001 och 2002 borde likna resultaten från när dammarna är i normal drift.

5.3 Lockne

Organiskt material

Från tabell 5-5 går att konstatera att under 2001 var avloppsvattnet in till reningsverket mindre koncentrerat än under 1995–1999. Inkommande halter runt 40 mg/l, vilket uppmättes vid över hälften av provtagningarna (figur 5-6), är koncentrationer som ligger nära de minimala värden som registrerats tidigare. När detta inträffat tidigare var det, precis som

under 2001, inte någon nämnvärd skillnad mellan in- och utgående halter.

Trots att medelflödet under 2002 var högre än under tidigare år var medelkoncentrationen av inkommande organiskt material något högre än under 1995–1999. En anledning till det kan vara att det stora delar av sommaren var algbloomning i damm 1 som ligger före provtagningspunkten för inkommande vatten (se figur 3-2), och således en intern produktion av organiskt material vilket bekräftas av ett betydligt högre massflöde av organiskt material i inkommande vatten än under tidigare år.

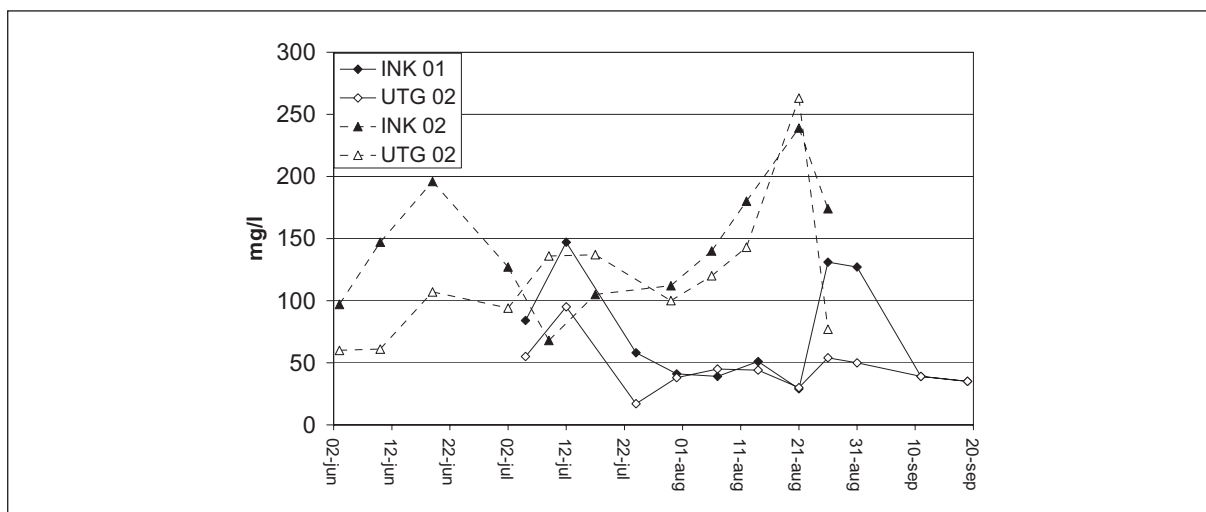
Under 2001 varierade utgående COD_{Cr}-halt (figur 5-6) mellan 17 och 51 mg/l förutom den 12/7 då den var 95 mg/l. Under perioden 31/7 till 21/8 var utgående halt ungefär som inkommande (ca 40 mg/l). Efter den kraftiga flödesökningen, på grund av stor nederbörd, i slutet av mätperioden var också inkommande och utgående halter i samma storleksordning. Reduktionen under sommaren uppgick i medeltal till 36 %, vilket kan jämföras med reduktionen 1995–1999; 55 %. Den jämförelsevis låga reduktionen av organiskt material 2001 kan till stor del förklaras med det höga flödet.

Sommaren 2002 var reduktionen av organiskt material mycket låg (18 %) och det var i stort sett bara fram till början av juli som värdena ut ur systemet var lägre än inkommande värden. Även i den andra dammen var det en stor alg tillväxt under stora delar av sommaren, vilket kunde iakttas visuellt och även verifieras med absorptionsmätningarna på utgående vatten. Vid ett provtagningstillfälle analyserades även ett filtrerat prov vilket innehöll ungefär hälften så mycket COD_{Cr} som det ofiltrerade provet vilket

Tabell 5-5. Halter COD_{Cr} i inkommande och utgående vattenprover i Lockne.

Halt COD _{Cr} [mg/l]	Inkommande	Utgående	% reduktion
medel 2002	144	118	18
medel 2001	71	46	36
medel 1995–1999 (juni–sept)	140 (92–190) ^a	62 (34–84) ^a	55
max 2002	239	263	
max 2001	147	95	
max 1995–1999 (juni–sept)	340	134	
min 2002	68	60	
min 2001	29	17	
min 1995–1999 (juni–sept)	30	27	

^a variation i värden mellan de olika åren.



Figur 5-6. Halten COD_{Cr} i inkommande och utgående vatten i Lockne.

ytterliggare bekräftar att det var mycket alger i utgående vatten.

Fosfor

Båda undersökningsåren var koncentrationen av totalfosfor i inkommande vatten lägre än medelvärdet för 1995–1999, under 2001 var den betydligt lägre (tabell 5-6).

År 2001 var utgående fosforhalt vid fyra tillfällen lägre än 0,5 mg/l (utsläppskrav), vid fem tillfällen mellan 0,54 och 0,78 mg/l och vid två tillfällen högre (1,0 och 1,8 mg/l) (figur 5-7). Till skillnad från COD_{Cr} (figur 5-6) var dock fosforhalten alltid lägre ut än in (in och ut var i stort sett lika vid näst sista provtagningen).

År 2002 var reduktionen av totalfosfor högre än under 2001 (tabell 5-6), men i medel var utloppsvärdena högre vilket kan förklaras med de betydligt högre inkommande halterna under 2002. Vid tre av elva provtagningar var utsläppsvärdena lägre än

utsläppskravet och fram till början av augusti överskreds inte 1,0 mg/l.

Mellan 1995 och 1999 var utgående fosforkoncentrationen i medel 0,17–0,75 mg/l. Maximalt registrerades 1,2 mg/l (tabell 5-6).

Det går att konstatera att dammsystemet i Lockne inte klarar av att reducera organiskt material och fosfor på ett tillfredsställande sätt utan tillsats av fällningskemikalie. En anledning till detta är kort uppehållstid, främst orsakad av inläckage i ledningsnätet.

Kväve

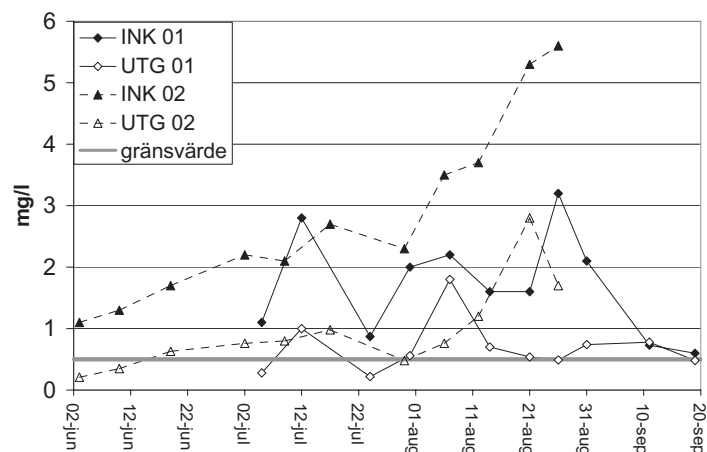
Kväve är en parameter som tidigare inte analyserats vid reningsverket i Lockne och någon jämförelse med tidigare år kunde därför inte utföras.

År 2001 var skillnaden mellan in- och utgående värden mycket liten (figur 5-8) och den totala kvävereduktionen var låg (tabell 5-7). Under 2002 var reduktionen betydligt högre, särskilt i början av

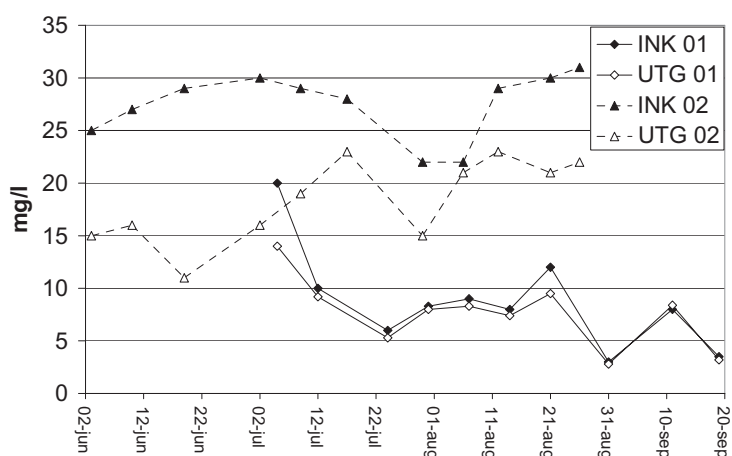
Tabell 5-6. Halter fosfor i inkommande och utgående vattenprover i Lockne.

Halt fosfor [mg/l]	Inkommande	Utgående	% reduktion
medel 2002	2,86	0,97	66
medel 2001	1,71	0,69	60
medel 1995–1999 (juni–sept)	3,13 (1,80–4,97) ^a	0,41 (0,17–0,75) ^a	86
max 2002	5,60	2,80	
max 2001	3,20	1,80	
max 1995–1999 (juni–sept)	7,70	1,20	
min 2002	1,10	0,21	
min 2001	0,60	0,22	
min 1995–1999 (juni–sept)	0,60	0,13	

^a variation i värden mellan de olika åren.



Figur 5-7. Halten fosfor i inkommande och utgående vatten i Lockne.



Figur 5-8. Halten kväve i inkommande och utgående vatten i Lockne.

Tabell 5-7. Halter kväve i inkommande och utgående vattenprover i Lockne.

Halt kväve [mg/l]	Inkommande		Utgående		% reduktion
	N-tot	NH ₄ -N NO-N ^a	N-tot	NH ₄ -N NO-N ^a	
medel 2002	27,5	17,3 <0,005	18,4	10,0 <0,005	33
medel 2001	8,8	6,9 <0,005	7,6	5,3 <0,005	13
max 2002	31	23,7 0,009	23,0	17,1 0,04	
max 2001	20,0	15,0 0,15	14,0	8,1 <0,005	
min 2002	22,0	12,2 <0,005	11,0	2,8 <0,005	
min 2001	3,0	1,6 <0,005	2,8	1,5 <0,005	

^a NO-N = NO₂-N + NO₃-N.

sommaren – under denna period var både pH-värden och vattentemperatur relativt gynnsamma för ammoniakavgång. Precis som i Orrviken var halt-erna av nitrit och nitrat mycket låga i både in- och utgående vatten under de båda försöksperioderna.

5.4 Ekonomiska och miljömässiga aspekter

I Orrviken doseras i medel ca 160 g AVR/m³ avloppsvatten. Under den period då doseringen var avstängd 2001 passerade ca 32 000 m³ vatten avloppsreningsverket, under 2002 var motsvarande siffra 13 600 m³. Hade dosering med 160 g AVR/m³ skett under dessa perioder hade det totalt förbrukats ca 7,3 ton AVR. Kostnaden för 7,3 ton AVR är ca 11 500 kr.

I Lockne doseras vanligtvis ca 40 g ALG/m³. Om man hade doserat den volymen under somrarna 2001 och 2002 till de ca 11 300 m³ respektive 11 600 m³ vatten som flödade in i verket hade den totala kemikalieåtgången varit 1 ton ALG. Kostnaden för denna mängd ALG är ca 2 000 kr.

Förutom de rent ekonomiska vinsterna med en säsongsavstängning av kemikaliedosen ger den även en minskad miljöbelastning i form av bland annat minskade tillverknings- och transportarbeten.

6 Slutsatser

Flödessituationerna under de två somrar då kemikaliedoseringen var avstängd var två extremfall, åtminstone i Orrviken där medelflödena 2001 och 2002 var 423 respektive 106 m³/d. I Lockne påverkades flödet av ett förmodat grundvatteninläckage i ledningsnätet och skillnaden mellan de två åren var inte lika markant, båda undersökningsperioderna var medelflödet mycket högre än under motsvarande period 1995–1999.

Reningen av organiskt material och fosfor fungerade i stort sett tillfredställande vid fällningsdammen i

Orrviken under de perioder då kemikaliedoseringen var avstängd. Vid nio av elva provtagningstillfällen 2001 samt vid sju av elva provtagningar 2002 var utgående fosforhalt lägre än gränsvärdet 0,5 mg/l. Högre halt av fosfor i utgående vatten registrerades vid högt flöde 2001 och vid mycket höga inkommande fosforhalter 2002. Under 2001 var utgående halt av organiskt material (COD_{Cr}) i samma storleksordning som medelvärdet för åren 95–99 (ca 30 mg/l) förutom vid två provtagningstillfällen då reningen påverkades negativt av en tillfällig hög algtillväxt. 2002 var utgående halt av organiskt material betydligt högre (ca 90 mg/l) vilket antogs bero på de höga koncentrationer som uppmättes i inkommande vatten.

Reduktionen av fosfor var 2001 85 % och 2002 89 % vilket kan jämföras med medelreduktionen 1995–1999 som uppgick till 95 %. För organiskt material var motsvarande siffror 71 % 2001, 67 % 2002 och 78 % 1995–1999.

För kväve var reduktionen låg under 2001 (13 %) och anmärkningsvärt hög under 2002 (58 %). Ammoniakavgång och sedimentation av organiskt kväve antogs vara förklaringen till kvävereduktionen genom systemet.

Kemikalieavstängningen i Orrviken resulterade i en minskad kemikalieförbrukning på ca 7,3 ton AVR. Den ekonomiska besparingen blev ca 11 500 kr. Resultaten visade att det finns en stor potential att driva dammsystemet i Orrviken utan kemikaliedosering sommartid, eventuellt kan en stöddosering av kemikalie tillsättas för att säkra låga utloppskoncentrationer av framförallt organiskt material.

I Lockne uppnåddes inte samma reningsresultat som i Orrviken, vilket till stor del antogs bero på utformningen av dammsystemet (dammvolum och hydrauliska förutsättningar) samt även det ovan nämnda problemet med inläckage i ledningsnätet.

Medelhalten av organiskt material i Lockne i utgående vatten var 46 mg/l (COD_{Cr}) under 2001, 1995–1999 var motsvarande siffra 54 mg/l. Den procentuella reduktionen av organiskt material var dock lägre under 2001, 36 %, att jämföra med 54 % under tidigare år. 2002 var reduktionen av organiskt material mycket låg (18 %) och i medel var utloppshalten 118 mg/l. Det konstaterades att det var en mycket hög algtillväxt den andra provtagningssommaren och en intern produktion av organiskt material.

För fosfor underskreds gränsvärdet i utgående vatten, 0,5 mg/l, vid fyra av de elva provtagningsomgångarna både 2001 och 2002. Reduktionen av

fosfor var 60 % och 66 % respektive sommar vilket kan jämföras med medelvärdet 1995–1999; 86 %.

Precis som i Orrviken var reduktionen av kväve betydligt högre 2002 än 2001, någon jämförelse med tidigare år kunde inte utföras då mätdata saknades.

Kemikalieavstängningen i Lockne resulterade i en minskad kemikalieförbrukning på ca 920 kg ALG. Den ekonomiska besparingen blev ca 2 000 kr.

Förmodligen hade de höga vattenflödena i Lockne haft en negativ inverkan på reningsresultaten även om kemikalie doserats till systemet de två undersökningsperioderna, dock inte i lika stor grad som utan kemikaliedosering.

Referenser

- Ferrara R.A. & Avci C.B. (1982). Nitrogen dynamics in waste stabilization ponds. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 54: 361–369.
- Ferrara R.A. & Harleman D.R.F. (1980). Dynamic nutrient cycle model for waste stabilization ponds. *Journal of the Environmental Engineering Division*, 106: 37–54.
- Hanæus J. (1987). Swedish field experiences with chemical precipitation in stabilization ponds. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 14: 33–40.
- Hanæus J. (1991a). Chemical precipitation in ponds for wastewater treatment: Influence of detention time on the separation of phosphorus and organic matter. *VATTEN*, 47: 108–116.
- Hanæus J. (1991b). *Wastewater treatment by chemical precipitation in ponds*. Luleå tekniska universitet. Doktorsavhandling 1991:095 D. ISSN 0348-8373.
- Hartley A.M., House W.A., Callow M.E. & Leadbeater B.S.C. (1997). Co-precipitation of phosphate with calcite in the presence of photosynthesizing green algae. *Water Research*, 31: 2261–2268.
- Maynard H.E., Ouki S.K. & Williams S.C. (1999). Tertiary lagoons: A review of removal mechanisms and performance. *Water Research*, 33: 1–13.
- Nurdogan Y. & Oswald W.J. (1995). Enhanced nutrient removal in high-rate ponds. *Water Science and Technology*, 31: 33–43.
- Pano A. & Middlebrooks E.J. (1982). Ammonia nitrogen removal in facultative wastewater stabilization ponds. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 54: 344–351.
- Pettersson U. (1996). *Fällningsdammar: Erfarenheter och rekommendationer*. Miljövärdsenheten, Länsstyrelsen i Västernorrlands län, Åtgärdsgrupp Nord, Härnösand. ISBN 91-630-4185-5.
- Reed S.C. (1984). *Nitrogen removal in wastewater ponds*. U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover.
- Reed S.C. (1985). Nitrogen removal in wastewater stabilization ponds. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 57: 39–45.
- Surampalli R.Y., Banerji S.K., Pycha C.J. & Lopez E.R. (1995). Phosphorus removal in ponds. *Water Science and Technology*, 31: 331–339.

Toms I.P., Owens M., Hall J.A. & Mindenhall M.J. (1975). Observations on the performance of polishing lagoons at a large regional works. *Water Pollution Control*, 383–399.

Ødegaard H., Balmér P. & Hanæus J. (1987). Chemical precipitation in highly loaded stabilization ponds in cold climates: Scandinavian experiences. *Water Science and Technology*, 19: 71–77.



Box 47607 117 94 Stockholm
Tfn 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
E-post svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se