



# rapport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

## Utlakning av fosfor från brukad skogsmark

Eva Ugglå Olle Westling

B 1549

December 2003



<b>Organisation/Organization</b> IVL Svenska Miljöinstitutet AB IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.	<b>RAPPORTSAMMANFATTNING</b> <b>Report Summary</b>
<b>Adress/address</b> Aneboda 360 30 Lammhult	<b>Projekttitel/Project title</b> Utlakning av fosfor från brukad skogsmark
<b>Telefonnr/Telephone</b> 0472-26 77 80	<b>Anslagsgivare för projektet/</b> Naturvårdsverket
<b>Rapportförfattare/author</b> Eva Uggla Olle Westling	
<b>Rapportens titel och undertitel/Title and subtitle of the report</b> Utlakning av fosfor från brukad skogsmark	
<b>Sammanfattning/Summary</b> <p>Denna rapport syftar till att beskriva uppmätta halter och arealförluster av fosfor från normalt brukad skogsmark och jämföra detta med skogsmark som inte brukas. Jämförelsen beskriver säsongvariationer och inverkan av skogliga åtgärder såsom kalavverkning samt skillnader mellan olika regioner i landet.</p> <p>Undersökningarna visar att utlakning av totalfosfor och fosfatfosfor från normalt brukad skogsmark, med avseende på halter och arealförluster, varierar relativt lite inom Sverige. De genomsnittliga halterna är generellt låga (&lt;20 µg tot-P/l respektive &lt;3 µg PO<sub>4</sub>-P/l) i vattendragen och säsongvariationen är begränsad. Inga tydliga skillnader i halter eller arealförluster har kunnat påvisas mellan normalt brukade skogsmarker och referensområden för totalfosfor och fosfatfosfor. Medianvärden över totalfosfor- och fosfatfosforhalten i vattendragen i de tre regionerna skattar halterna väl och kan användas som typvärden för normala halter i vattendrag från normalt brukad skog.</p> <p>De naturliga bakgrundshalterna av fosfor är högst i södra Sverige, sannolikt beroende på relativt höga halter av organiskt material (TOC) i bäckvattnet jämfört med övriga landet. Den något större förekomsten av relativt fosforrika mineral (apatit) i skogsjordarna i norra Sverige påverkar troligen halterna i ytvatten vid låga eller måttliga halter av TOC.</p> <p>Resultaten från undersökningarna kan inte påvisa någon tydlig skillnad mellan hygge, plantering och växande skog med avseende på flödesvägda halter och arealförluster av totalfosfor. Resultaten ger dock viss indikation om att förhöjda värden av fosfor kan förekomma under de närmaste åren efter avverkning. Det är sannolikt att körskador, markberedning och skyddsdikning som kan orsaka erosion är främsta orsaken till ökade halter och arealförluster av fosfor under åren närmast efter avverkning.</p>	
<b>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren /Keywords</b> Skogsmark, fosfor, avrinning, skogsbruk, avverkning	
<b>Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data</b> IVL Rapport/report B 1549	
<b>Beställningsadress för rapporten /Ordering address</b> e-post: <a href="mailto:publicationservice@ivl.se">publicationservice@ivl.se</a> Hemsida: <a href="http://www.ivl.se">www.ivl.se</a> Fax: 08-598 563 90 Brev: IVL, Publikationsservice, Box 210 60, S-100 31 Stockholm	

## Sammanfattning

Fosfor är normalt det näringsämne som reglerar tillväxten i vattendrag och sjöar i skogslandskapet. Skogsbruket har i olika studier visat sig påverka kvaliteten på avrinnande vatten. Denna rapport syftar till att beskriva uppmätta halter och arealförluster av fosfor från normalt brukad skogsmark och jämföra detta med skogsmark som inte brukas. Jämförelsen beskriver säsongsvariationer och inverkan av skogliga åtgärder såsom kalavverkning samt skillnader mellan olika regioner i landet.

Undersökningarna visar att utlakning av totalfosfor och fosfatfosfor från normalt brukad skogsmark, med avseende på halter och arealförluster, varierar relativt lite inom Sverige. De genomsnittliga halterna är generellt låga ( $<20 \mu\text{g tot-P/l}$  respektive  $<3 \mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ ) i vattendragen. Inga tydliga skillnader i halter eller arealförluster har kunnat påvisas mellan normalt brukade skogsmarker och referensområden för totalfosfor och fosfatfosfor. Medianvärden över totalfosfor- och fosfatfosforhalten i vattendragen i södra, mellersta och norra Sverige skattar halterna väl och kan användas som typvärden för normala halter i vattendrag från normalt brukad skog.

Under året förekommer säsongsvariationer med högre halter av totalfosfor i vattendragen under sommar och höst, speciellt i södra Sverige. Detta beror sannolikt på hög evapotranspiration och låga vattenflöden vilket leder till en koncentrerings av halterna i bäckvattnet. Perioder med högre flöden och samtidigt förhöjda halter av organiskt material (TOC) kan även öka halterna av fosfor i avrinningen från skogsmark.

Den regionala variationen i naturliga bakgrundshalter i avrinningen från skogsmark beror delvis på förekomsten av det relativt lättvittrade och fosforrika mineralet apatit i skogsjordarna. På grund av lägre vittringshastighet i norra Sverige finns det i genomsnitt mer apatit kvar i ytliga markskikt, jämfört med mellersta och södra Sverige, men variationen är stor i hela landet. Andra faktorer som påverkar halterna av fosfor är halten av TOC i ytvattnet, som i sin tur främst beror på andelen torv- och myrmark i tillrinningsområdena.

Resultaten från undersökningarna kan inte påvisa någon tydlig skillnad mellan hygge, plantering och växande skog med avseende på flödesvägda halter och arealförluster av totalfosfor. Resultaten ger dock viss indikation om att förhöjda värden av fosfor kan förekomma under de närmaste åren efter avverkning. Det är sannolikt att körskador, markberedning och skyddsdikning som kan orsaka erosion är främsta orsaken till ökade halter och arealförluster av fosfor under åren närmast efter avverkning.

## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	2
Innehållsförteckning.....	3
1. Introduktion .....	4
1.1 Bakgrund och syfte .....	4
1.2 Dataunderlag och beräkningar .....	4
2. Halter och arealförluster .....	7
2.1 Årsmedelvärden .....	7
2.2 Säsongsvariationer .....	11
3. Påverkan av skötselåtgärder .....	12
4. Slutsatser.....	16
5. Referenser .....	18
Bilaga 1. ....	19

# 1. Introduktion

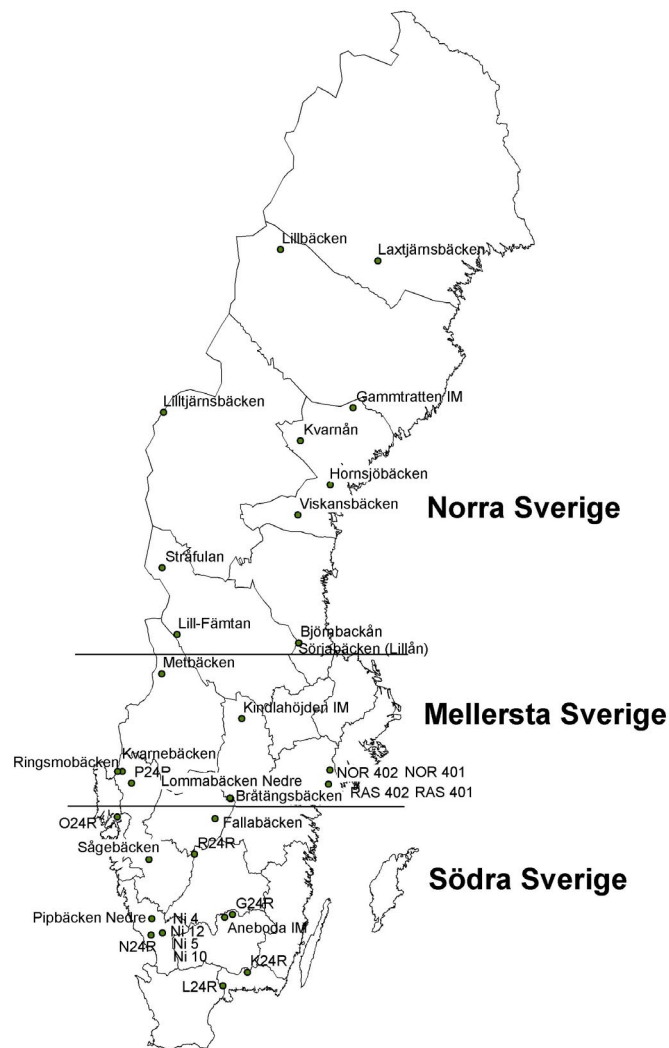
## 1.1 Bakgrund och syfte

Fosfor är normalt ett tillväxtbegränsande näringsämne i vattendrag i skogslandskapet. Den naturligt låga utlakningen av fosfor, i synnerhet av växttillgänglig fosfatfosfor, är en starkt bidragande orsak till den typiska fauna och flora som återfinns i skogarnas sjöar och rinnande vatten i Sverige. Ett långsiktigt skydd av dessa vattensystem förutsätter bland annat att fosforhalterna i vattendragen bibehålls på en naturligt låg nivå. Skogsbruket har i olika studier visat sig påverka kvaliteten på avrinnande vatten på olika sätt, framför allt vid kalavverkning. Syftet med föreliggande studie är att beskriva uppmätta halter och arealförluster av fosfor från normalt brukad skogsmark, jämfört med skogsområden som inte brukas. Underlaget kan bland annat användas vid uppföljning av det nationella miljökvalitetsmålet "Ingen övergödning" (Naturvårdsverket, 2003). Jämförelsen beskriver säsongsvariationer och inverkan av skogliga åtgärder såsom kalavverkning, samt skillnader mellan olika regioner i landet. Studien har utförts av IVL Svenska Miljöinstitutet på uppdrag av Naturvårdsverket.

## 1.2 Dataunderlag och beräkningar

Utvärderingen baseras på data från 36 avrinningsområden som domineras av skogsmark. Avrinningsområdena är indelade i tre geografiska grupper; södra, mellersta och norra Sverige. Avrinningsområdenas lokalisering och den geografiska indelningen framgår av figur 1. Elva av avrinningsområdena ligger i skyddade områden (referenser) medan resten är belägna i områden påverkade av skogsbruk det senaste decenniet. Den genomsnittliga avrinningskemin från området i denna studie representerar halter och arealförluster från brukad skog utan hyggeseffekter.

Avrinningsområdena P3, P4 och Sniptjärn har använts för att utvärdera hur avverkning (hyggen) påverkar utlakning av fosfor. De två första avrinningsområdena är belägna i sydvästra Sverige, Sniptjärn är belägen i Hälsingland. Tre avrinningsområden i Småland och Halland med planteringar av gran, 3-6 år efter plantering (data från Westling & Orth, 1998), har tagits med för att jämföra fosforutlakningen från växande skog, hyggesfas och återväxtfas (planteringar). Avrinningsområdena är eller har varit bevuxna med barrskog. Ovanstående avrinningsområden har uteslutits i de utvärderingar där syftet har varit att bedöma utlakningen från brukad skogsmark med normal omfattning av avverkning. Redovisade år är hydrologiska år för P3, P4 samt planteringarna i södra Sverige och kalenderår för Sniptjärn och Kullarna övre som är ett angränsande avrinningsområde med normalt brukad skogsmark. Data från Sniptjärn och Kullarna har erhållits från Torbjörn Nilsson, Institutionen för skoglig marklära, SLU.



Figur 1. Avrinningsområdenas lokalisering (normalt brukade samt obrukade referenser).

Inverkan av skogliga åtgärder såsom kalavverkning på utlakningen av fosfor är i södra Sverige baserat på undersökningar av vattenkemi i avrinnande vatten från kalkad skogsmark och obehandlade kontrollområden. Hälften av områdena är kalkade 1990 till 1993. Studier (Larsson & Westling 1997) har visat att det inte finns någon tydlig behandlingseffekt på utlakningen av totalfosfor, även om det i några fall finns en indikation på en mindre ökning, som dock är osäker (eventuella skillnader mellan behandlingsområde och referens före kalkningen är inte fullständigt kända). Därför har behandlade och obehandlade områden slagits ihop vid beräkningar av medelvärde för att utöka materialet. Hyggen och planteringar är i regel risrensade och planterades med gran efter markberedning. Avrinningsområdena är till 100 % avverkade förutom Snip-tjärn som helträdsavverkades till 90 % 1980/81 och planterades med gran nästföljande år.

Mätprogram, avrinningsområdenas areal, tidsseriernas längd samt skogsmarksareal för avrinningsområdena redovisas i tabell 1.

Tabell 1. Avrinningsområdenas yta, tidsseriernas längd, mätprogram, region samt andel skogsmark.

Avrinningsområde	Mätprogram	Kod	Area km <sup>2</sup>	Skog % av totalareal	Tidsperiod	Region
Aneboda IM	Integr. miljöövervakning	Ref	0,2	100	1997-2002	Syd
Kindlahöjden IM	Integr. miljöövervakning	Ref	0,19	95	1997-2002	Mell.
Gammtratten IM	Integr. miljöövervakning	Ref	0,45	98	1999-2002	Norr
Pipbäcken Nedre	Referens Nationell	Ref	1,2	100	1986-2002	Syd
Lommabäcken Nedre	Referens Nationell	Ref	1,1	100	1985-2002	Mell.
Bråtängsbäcken	Referens Nationell	Ref	6,6	100	1985-2002	Mell.
Ringsmobäcken	Referens Nationell	Ref	1,8	95	1985-2002	Mell.
Lill-Fämtan	Referens Nationell	Ref	5,8	97	1986-2002	Norr
Lilltjärnsbäcken	Referens Nationell	Ref	0,5	86	1985-2002	Norr
Lillbäcken	Referens Nationell	Ref	2,1	82	1986-1999	Norr
Laxtjärnsbäcken	Referens Nationell	Ref	11,2	82	1985-2002	Norr
Fallabäcken	Referens Regional	Bruk	1,9	100	1999	Syd
Sågebäcken	Referens Regional	Bruk	4,4	97	1996-1999	Syd
Kvarnebäcken	Referens Regional	Bruk	6,9	94	1996-2002	Mell.
Kvarnån	Referens Regional	Bruk	49,1	96	1997-2002	Norr
Viskansbäcken	Referens Regional	Bruk	31,2	90	1997-2002*	Norr
Stråfulan	Intensivvattendrag	Bruk	76,3	89	1998-2002	Norr
Björnbackån	Intensivvattendrag	Bruk	35,4	92	1998-2002	Norr
Sörjabäcken (Lillån)	Intensivvattendrag	Bruk	23,0	96	1998-2002	Norr
Hornsjöbäcken	Intensivvattendrag	Bruk	94,8	88	1998-2002	Norr
Metbäcken	Metbäcken	Bruk	14,3	85	1998-2002	Mell.
Noresjön 402	NORRAS	Bruk	0,9	95**	1987-1988	Mell.
Noresjön 401	NORRAS	Bruk	0,9	95**	1987-1988	Mell.
Råsjön 402	NORRAS	Bruk	0,9	95**	1987-1988	Mell.
Råsjön 401	NORRAS	Bruk	0,9	95**	1987-1988	Mell.
G24 Asa	SKOKAL	Bruk	1,8	94	1992-2000	Syd
K24 Hallaryd	SKOKAL	Bruk	1,6	92**	1992-1994	Syd
L24 Östad	SKOKAL	Bruk	0,9	94	1992-2000	Syd
N24 Getinge	SKOKAL	Bruk	0,2	100**	1992-1994	Syd
O24 Munkedal	SKOKAL	Bruk	0,2	91	1993-2000	Syd
P24 Bäckefors	SKOKAL	Bruk	0,2	92	1992-2000	Mell.
R24 Mullsjö	SKOKAL	Bruk	0,3	84	1993-2000	Syd
Nissan 10	SKOASK	Bruk	0,1	90-95	1999-2000	Syd
Nissan 12	SKOASK	Bruk	0,05	90-95	1999-2000	Syd
Nissan 4	SKOASK	Bruk	2,0	90-95	1999-2000	Syd
Nissan 5	SKOASK	Bruk	0,2	90-95	1999-2000	Syd
P3A Häcksviks hygge	SKOKAL	Hygge	0,02	100	1992-1995	Syd
P3B Häcksviks hygge	SKOKAL	Hygge	0,04	100	1992-1995	Syd
P4A Björklida hygge	SKOKAL	Hygge	0,03	100	1992-1995	Syd
P4B Björklida hygge	SKOKAL	Hygge	0,15	100	1992-1995	Syd
Yxkullund	SODHYG	Plantering	0,03	100	1992-1995	Syd
Unnaryd	SODHYG	Plantering	0,03	100	1992-1995	Syd
Fagerhult	SODHYG	Plantering	0,02	100	1992-1995	Syd
Sniptjärn		Hygge	0,4	100	1977-1988	Norr
Kullarna övre		Ref	0,5	100	1977-1988	Norr

\* Ej åren 1998-1999

\*\*Ungefärlig skattning baserad på vegetationskartering

Data kommer från miljöövervakningsprogram (Institutionen för Miljöanalys, [www.ma.slu.se](http://www.ma.slu.se)) och forskningsprojekt, främst Skogsstyrelsens försöksverksamhet med åtgärder mot försurning av skogsmark (programmen SKOKAL och SKOASK). Uppmätta halter i denna studie består

främst av lösta ämnen, eftersom vattenproverna filtrerats före analys (i regel 0,8 µm). Filtertypen 0,8 µm släpper igenom små komplex men tar bort större partiklar, vilket bör noteras om halterna jämförs med undersökningar som gjort uppslutningar av ofiltrerade vattenprov inklusive partiklar före analys.

Ämnestransporterna har beräknats i enlighet med den modell som har tillämpats inom Skogsstyrelsens försöksverksamhet (Larsson & Westling, 1997). Ämnestransporterna har dividerats med avrinningsområdets area för att beräkna arealförluster. Flödesvägda (volymvägda) årsmedelhalter har beräknats genom att dividera årstransporten med motsvarande avrinning. I denna rapport redovisas flödesvägda halter och arealförluster per år samt uppmätta ämneshalter, vanligtvis provtagna med månads eller tvåveckors intervall.

## 2. Halter och arealförluster

### 2.1 Årsmedelvärden

Resultatet från undersökningarna av fosfor i avrinnande vatten från normalt brukad skogsmark redovisas i tabell 2 och figur 2. I tabell 2 redovisas statistik över medelhalter och arealförluster för totalfosfor och fosfatfosfor för åren 1998-2000.

Tabell 2. Statistik för södra, mellersta och norra Sverige samt tillhörande referensområden under 1998 till 2000 för flödesvägda medelhalter samt arealförluster av totalfosfor och fosfatfosfor.

		Södra Sverige		Mellersta Sverige		Norra Sverige			
		Brukad	Ref	Brukad	Ref	Brukad	Ref		
P-tot	mikrog/l	medel	8.7	9.5	6.6	6.6	7.4	6.2	
		stdv	5.5	1.6	1.3	1.8	2.2	1.2	
		median	7.3	9.7	6.2	6.2	7.4	6.2	
		min	3.5	7.4	4.8	3.8	3.6	4.5	
		max	30.4	11.8	8.3	9.3	12.3	8.2	
	kg/ha*år	medel	0.048	0.043	0.021	0.036	0.038	0.040	
		stdv	0.018	0.012	0.020	0.016	0.011	0.016	
		median	0.048	0.043	0.021	0.034	0.039	0.037	
		min	0.016	0.027	0.000	0.011	0.021	0.020	
		max	0.095	0.057	0.056	0.062	0.059	0.070	
	PO4-P	mikrog/l	medel	1.9	2.1	1.2	1.4	1.7	1.4
			stdv	0.5	0.2	0.1	0.2	0.5	0.3
			median	1.8	2.0	1.1	1.4	1.5	1.3
			min	1.4	1.8	1.1	1.1	1.1	1.0
max			2.5	2.4	1.3	1.8	3.0	2.0	
kg/ha*år		medel	0.012	0.010	0.005	0.008	0.009	0.009	
		stdv	0.002	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	
		median	0.012	0.010	0.005	0.008	0.008	0.008	
		min	0.011	0.006	0.003	0.003	0.004	0.005	
		max	0.015	0.013	0.007	0.012	0.014	0.016	

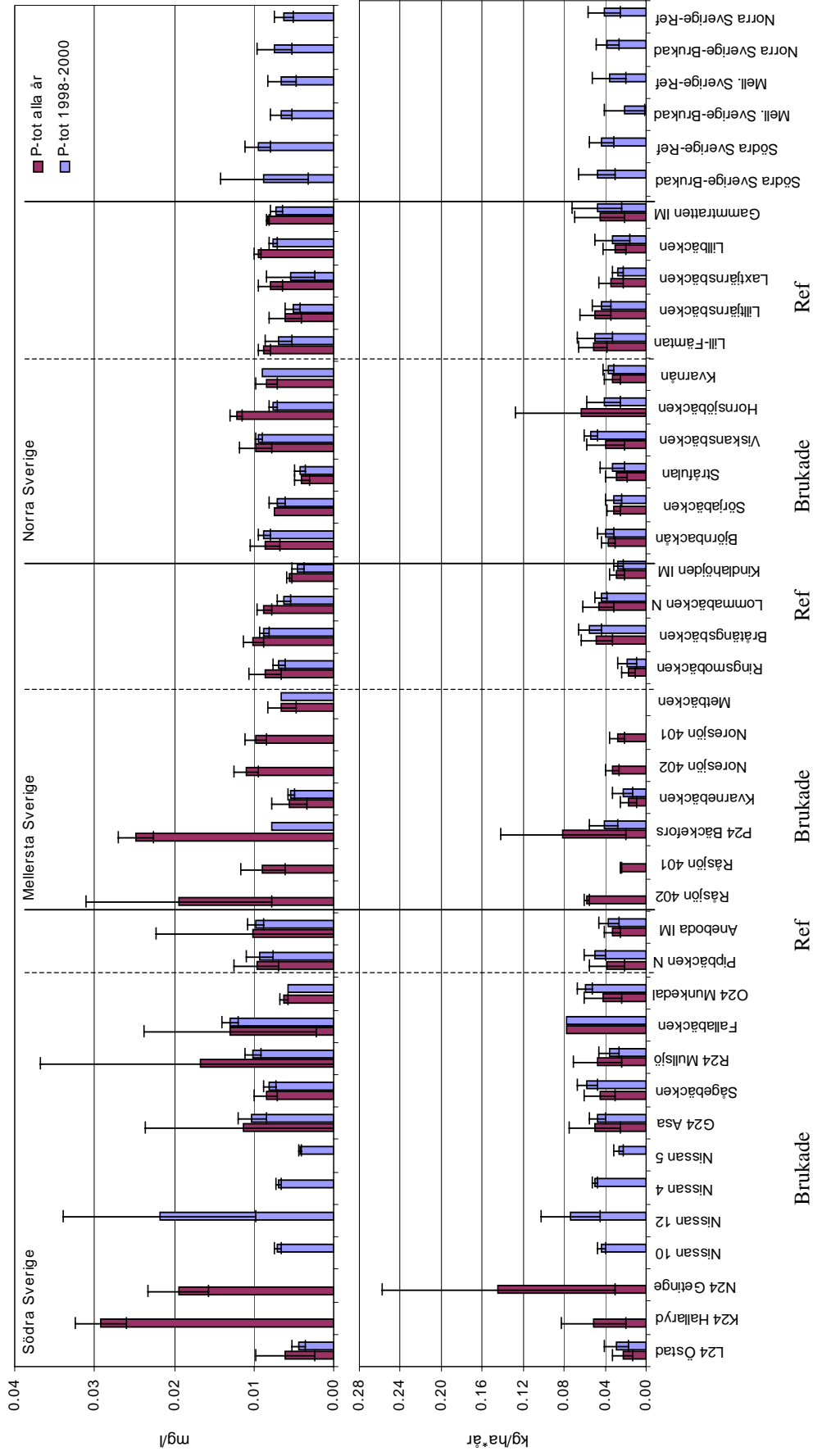
Figur 2 redovisar medelhalten per år (flödesvägd) av totalfosfor i mg/l uppdelat på regionerna södra, mellersta och norra Sverige (övre delen av figuren). Nedre delen av figuren visar arealförluster i kg/ha och år. Medelvärden över brukade avrinningsområden samt referenser redovisas för respektive region. Varje avrinningsområde redovisas med en till två staplar. Första stapeln visar medelvärdet och standardavvikelsen för alla mätår, andra stapeln för åren 1998 till 2000.



Generellt indikerar totalfosforhalterna näringsfattiga förhållanden i bäckarna med halter <20 µg/l. I södra Sverige varierade totalfosforhalterna mellan 3,5-30,4 µg/l med en medelhalt på 8,7 µg/l under 1998-2000. I mellersta och norra Sverige varierade totalfosforhalterna mellan 4,8-8,3 respektive 3,6-12,3 µg/l. Medelhalterna var 6,6 µg/l och 7,4 µg/l i mellersta respektive norra Sverige under 1998-2000. Medelhalterna av fosfatfosfor var låga (1,2-1,9 µg/l) och varierade mycket lite i de tre regionerna. Södra Sverige uppvisade medelhalter av totalfosfor med en större variation mellan avrinningsområdena än i resten av Sverige. Jämförelse med referensområden i respektive region ger endast små haltskillnader av totalfosfor och fosfatfosfor i vattendragen mellan normalt brukad skogsmark och ”orörd” skogsmark.

Arealförluster av totalfosfor och fosfatfosfor var i genomsnitt för alla studerade områden 0,04 kg/ha och år respektive 0,009 kg/ha och år. Arealförluster ≤ 0,04 kg P/ha och år betecknas enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för miljö kvalitet som mycket låga förluster, eller klass 1 i en 5-gradig skala (Naturvårdsverket, 1999). Dessa låga förluster av fosfor samt de låga halterna indikerar att fosfor sannolikt i hög grad var bunden till metall-humuskomplex (järn och/eller aluminium) i marken. Mätningarna mellan 1998 och 2000 visar att min och max arealförlusterna för totalfosfor och fosfatfosfor varierar inom tämligen snäva gränser (tabell 2) för alla tre regionerna. Referensområden och brukade områden uppvisade tämligen små skillnader med i stort sett överlappande arealförluster för både totalfosfor och fosfatfosfor.

De typhalter i växande skog i olika delar av landet som redovisas i denna rapport, och som bygger på data från de senaste fem åren, kan jämföras med tidigare sammanställningar. Löfgren & Olsson (1990) rapporterade generellt något högre halter än i denna studie. Orsaken är sannolikt främst att bedömningen grundades på data från större vattendrag som dominerades kraftigt av skog, men där andra källor till fosforbelastning inte kan uteslutas (bebyggelse och jordbruksmark). Underlaget från Löfgren & Olsson (1990) har även tillämpats inom det så kallade TRK projektet (Transport Retention Källfördelning) som beräknar närsaltsbelastningen på omgivande hav från källor i Sverige, inklusive avrinning från brukad skogsmark. Resultaten har bland annat använts som underlag för internationell rapportering till den marina konventionen HELCOM. Data på den totala förlusten av fosfor från skogsmark inklusive hyggen i Sverige (2430 ton per år) redovisad av Brandt & Ejhed (2002) ger en genomsnittlig arealförlust av fosfor på 0,08 kg per ha, om den totala förlusten divideras med den totala skogsmarksarealen (29 018 000 ha).



Figur 2. Genomsnittliga flödesvägda årshalter (mg/l) och arealförluster (kg/ha och år) av tot-P. (Lokaler som saknar mätdata mellan 1998-2000: Fallabäcken 1998, 2000, Sågebäcken 2000, Viskansbäcken 1998-1999, Nissan 4-12 1998 samt Gammtratten IM 1998).

Det är ungefär dubbelt så högt som beräkningarna i denna rapport (se tabell 2). Något högre arealförluster av fosfor från blöta marker och torvmarker, som i begränsad omfattning ingår i beräkningarna i denna studie, kan öka medelvärdet på arealförlust från skogsmark något. Trots det bör framtida beräkningar inom TRK överväga de typhalter som för närvarande används i avrinningen från skogsmark, mot bakgrund av denna studie.

Efter 1990 ökade tillgången på data från mindre vattendrag med enbart skog i olika delar av landet och dessa tidsserier uppvisar ingen tydlig tidsutveckling. Låga fosforhalter i avrinning från skogsmark, jämförbara med denna studie, har tidigare rapporterats från enskilda områden i samband med undersökningar av skogsdikningens miljöeffekter (Bergquist m. fl. 1984; Naturvårdsverket 1987; Lundin 2003). Studierna av skogsdikning, som skedde i små områden, visade även att fosforhalterna kortvarigt steg efter ingreppet. Undersökningarna indikerade också att halterna av fosfor i avrinningen från torvmark var högre än från väldränerad fastmark i de studerade områdena. De typvärden som redovisas i denna rapport är oftast påverkade av en mindre andel torvmark, och i områden med hög torvmarksandel kan halterna sannolikt vara något högre om de tidigare observationerna från projektet som studerade skogs- och myrdikning (Naturvårdsverket 1987) samt senare studier i Sverige (Lundin 2003) är generellt giltiga.

Denna studie har funnit att halterna av fosfor i avrinningen från skogsmark i genomsnitt är högst i södra Sverige och något högre i norra än i mellersta Sverige. Den troligaste orsaken till detta är den naturliga förekomsten av fosfor i jordar och berggrund samt skillnader i halten organisk material i bäckvattnet. Naturlig förekomst av fosfor i mineral i Sverige är främst knutet till apatit. En pågående studie av vittringsbara mineral i skogsjordar inom forskningsprogrammet ASTA (Cecilia Akselsson muntl. medd.) visar att totalhalten av fosfor och apatitförekomsten i jord på djupet 50 cm (data från Markinventeringen inom Riksskogstaxeringen) ofta är högre i norra Sverige (spridningen är dock stor) jämfört med resten av landet. Motsvarande data på totalgeokemi i jord från SGU baserat på prover från 100 cm visar inte samma tydliga skillnad, vilket indikerar att apatit under årtusenden har vittrat bort i relativt ytliga marklager i större omfattning i södra och mellersta Sverige, samtidigt som djupare markskikt är mer opåverkade.

Skillnaden i apatitförekomst i ytliga markskikt kan påverka naturliga bakgrundshalter av fosfor i ytvatten, men även halten organiskt material har stor inverkan. En hög halt organiskt material indikerar en påverkan från torv- och myrmark med avrinning som ofta har högre halter av totalfosfor, jämfört med avrinning från fastmark (Naturvårdsverket 1987; Lundin 2003). Dataunderlaget i denna studie visar att halten TOC i genomsnitt var 18 mg/l i södra Sverige och ca 9 mg/l i mellersta och norra Sverige. Den högre TOC halten i södra Sverige kan sannolikt förklara de något högre fosforhalterna, trots genomsnittligt mindre förekomst av apatit i ytliga markskikt.

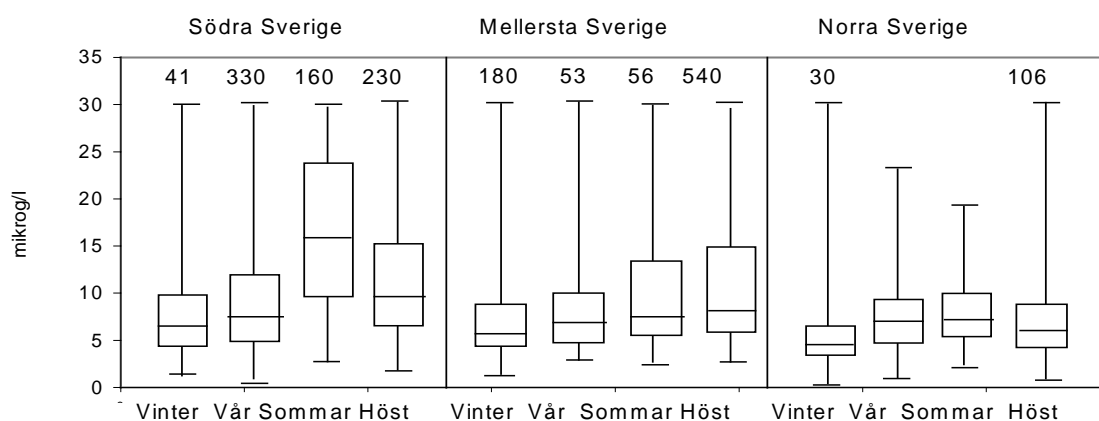
## 2.2 Säsongsvariationer

För att få en bättre uppfattning om hur halterna av totalfosfor varierar under året togs så kallade boxplottar fram över säsongsvariationen. Boxens övre del motsvarar 75 % av observationerna, den nedre delen motsvarar 25 % av observationerna, strecket inuti boxen motsvarar medianvärdet. Även min-värdet och max-värdet visas i figuren. I de fall max-värdet överskrider 30 µg/l anges max-värdet med en siffra. Boxplottarna är baserade på uppmätta halter i avrinnande vatten från normalt brukad skogsmark under hela mätperioden 1984-2002.

En jämförelse av 25- och 75-percentilerna med medianvärdet visar att intervallet runt medianvärdet är relativt litet. Medianvärdet ger således ett bra mått på den nivå där hälften av mätvärdena ligger. Man bör kunna använda medianhalterna som typvärden för normala halter i brukad skog.

Figur 3 visar att halterna av totalfosfor varierar under året, speciellt i södra Sverige. Högst halter och störst variation mellan olika lokaler förekommer under sommaren. Detta beror sannolikt på att evapotranspirationen är hög under denna årstid samt på låga vattenflöden som leder till en koncentrerings av halterna i bäckvattnet. Även under hösten förekommer något högre halter än i genomsnitt under året. Perioder med något högre halter av fosfor sammanfaller i regel med förhöjda halter av organiskt material (TOC) i bäckvattnet.

Genomsnittliga årstidshalter av TOC var 22, 14, 13, och 25 mg/l under höst, vinter, vår respektive sommar i södra Sverige.



Figur 3. Boxplottar över säsongsvariationen för totalfosfor (brukad skogsmark) baserat på uppmätta halter, vanligtvis provtagna med månads eller två veckors intervall. Maximala värden anges med siffror. Vinter (december, januari, februari), vår (mars, april, maj), sommar (juni, juli, augusti) och höst (september, oktober, november).

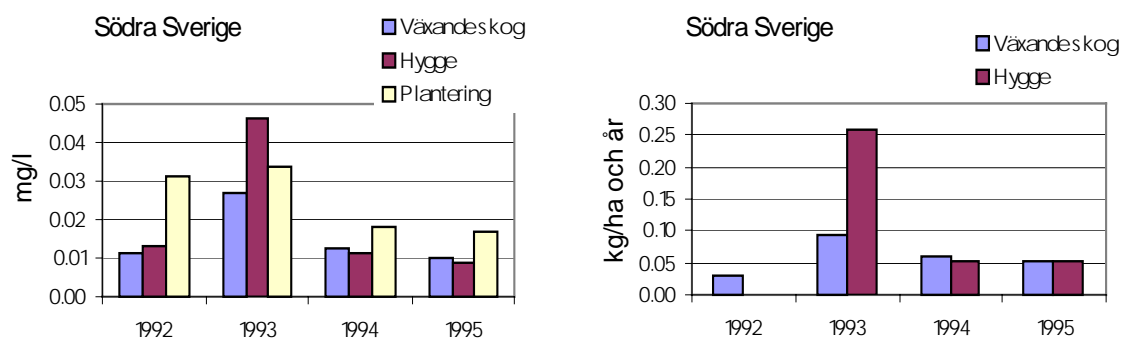
Säsongsvariationerna av fosforhalter är inte lika tydliga i resten av Sverige. Något högre värden under sommar och höst förekommer i mellersta Sverige, medan det i norra Sverige

är svårt att se något tydligt mönster i säsongvariationen. Detta beror troligen på att mängderna (TOC) i bäckvattnet inte varierar speciellt mycket mellan årstider i norra och mellersta delen av landet (variation av genomsnittliga årstidshalter mellan 9 till 11 mg/l TOC).

### 3. Påverkan av skötselåtgärder

Undersökningar av vattenkemi i avrinning från brukad skogsmark, hyggen och planteringar har används för att bedöma eventuella effekter av slutavverkning på utlakningen av totalfosfor. Områdena är inte samlokaliserade utan spridda över en stor del av södra respektive norra Sverige.

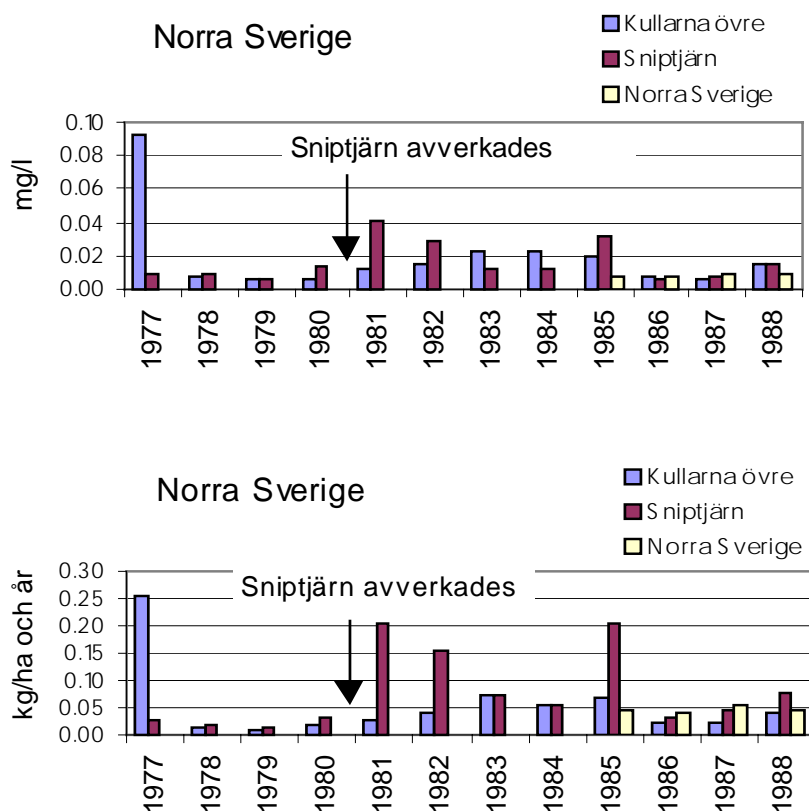
Figur 4a-b visar effekter av slutavverkning och plantering i södra Sverige på flödesvägda medelhalter och arealförluster av totalfosfor. Figuren är baserad på sex områden med barrskog som är normalt brukade (växande skog) i storleksordningen 0,2-1,8 ha, fyra hyggen med tidigare gran, storlek 1,5-3 ha (mätningarna startade 1-2 år efter avverkning), samt tre planteringar med gran, storlek 2-3 ha, där mätningarna startade 3-6 år efter avverkning. Samtliga hyggen och planteringar ligger till grund för respektive års stapel i figur 4a-b.



Figur 4 a-b. Flödesvägda medelhalter och arealförluster av totalfosfor per år i södra Sverige (data från IVL).

Orsaken till de höga halterna 1993 i alla typer av skog i södra Sverige är svår att bedöma. Avrinningsmängderna var relativt normala, vilket gör att även arealförlusterna var betydligt högre 1993 än de andra undersökta åren. Motsvarande förhöjning 1993 i mellersta och norra Sverige kan inte indikeras av data från undersökta skogsvattendrag inom den nationella miljöövervakningen.

Figur 5 a-b visar effekterna av avverkning och plantering i norra Sverige på flödesvägda årsmedelhalter och arealförluster av totalfosfor. Figuren omfattar åren 1977 till 1988. Under dessa år var avrinningsområdet Kullarna övre täckt med vuxen skog (50 ha).



Figur 5a-b. Flödesvägda medelhalter och arealförluster av totalfosfor per år i norra Sverige (data från SLU). Kullarna övre var täckt med vuxen skog under hela perioden, Sniptjärn avverkades 1980/81 och "norra Sverige" är baserat på förluster från fyra avrinningsområden med växande skog (referenser). Sniptjärn planterades ett år efter avverkning.

Avrinningsområdet Sniptjärn heltrödsavverkades 1980/81 till 90 % och planterades med gran nästföljande år (40 ha). Kullarna och Sniptjärn ligger i närheten av Delsbo i Gävleborgs län. Med i figurerna finns även medelhalter och arealförluster baserat på fyra områden med växande skog i norra Sverige, belägna i skyddade områden (referenser) i storleksordningen 50-1120 ha.

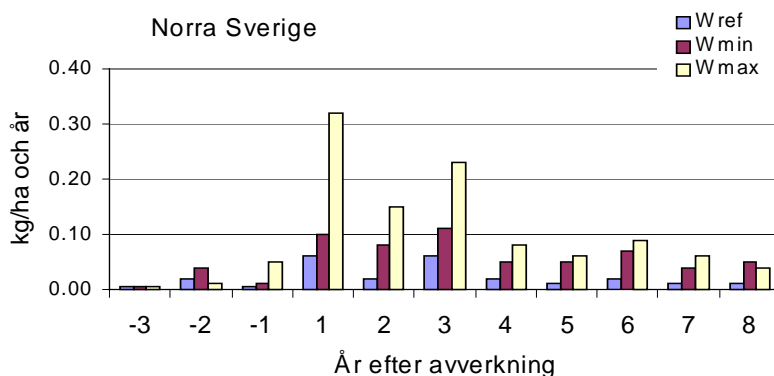
Under 1977 var utlakningen av totalfosfor extremt stor i Kullarna övre. Ovanligt stor avrinning, 69 % av den årliga avrinningen, (Rosén 1982) registrerades under vårmånaderna vid snösmältningen det året, vilket till viss del kan förklara de extremt höga arealförlusterna. Under denna period var även halten totalfosfor ovanligt hög i det avrinnande vattnet. Anledningen till detta är oklar, en möjlig orsak kan vara att vatten från snösmältningen fört med sig stora mängder organiskt material till bäcken.

Utlakningen av totalfosfor ökade något i södra Sverige, två till tre år efter avverkning. Effekten avtog därefter relativt snabbt på hyggerna. Planteringarna med gran visade dock fortfarande något högre värden jämfört med växande skog i södra Sverige under flera år.

Det undersökta området i norra Sverige, Sniptjärn, visade även det en ökad utlakning av totalfosfor de två första åren efter avverkning. Dock förekom det förhöjda värden även i det näraliggande avrinningsområdet Kullarna övre under perioden 1981 till 1985. Därefter kan ingen effekt av avverkningen påvisas, möjligen med undantag för 1985, men orsaken till de förhöjda halterna under det enskilda året är oklar.

Opublicerade data mellan 1979 och 1990 från ett försök i närheten av Kullarna (Anita Lundmark muntl. medd.) indikerar att både kalavverkning, radikala markberedningsmetoder i form av kraftig harvning och plöjning kan orsaka ökade arealförluster av fosfor. Område Wmax i figur 6 avverkades till 75 % och olika kraftiga markberedningsmetoder prövades över större delen av arealen. Område Wmin avverkades till 85 %, men här provades skonsamma markberedningsmetoder (fläckberedning). Uppmätta arealförluster av totalfosfor före och efter ingreppen visade på liknande effekter som i Sniptjärn, men i område Wmax var förhöjningen betydligt större än i Wmin. Förhöjningen klingade av relativt snabbt, men det fanns en tendens till kvardröjande effekter under hela perioden efter avverkning. Skillnaderna mellan områdena vid arealförluster under 0,1 kg per ha och år är dock något osäkra på grund av många uppmätta värden under eller mycket nära den kemiska analysens detektionsgräns (0,01 mg/l).

Det är troligt att den kraftiga markberedningen i Wmax bidrog till ökad utlakning av fosfor eftersom halterna ökade kort efter ingreppet. Den mer långsiktiga effekten av markberedningen är dock osäker eftersom undersökningarna visar att avverkningen i sig, före markberedning, gav större effekt i Wmax än i Wmin. Vattenproverna i avrinningen filtrerades (pappersfilter) före analys i undersökningen, vilket gör att uppmätta halter i huvudsak bestod av lösta ämnen. Ingen synlig erosion noterades på hyggena (Anita Lundmark muntl. medd.).



Figur 6. Areal förluster av totalfosfor per år i ett försök i norra Sverige (data från SLU). Wref var täckt med vuxen skog under hela perioden och Wmin och Wmax avverkades 1982/83. De avverkade områdena markbereddes med olika metoder och planterades därefter med gran.

Som ett komplement till undersökningarna utfördes en survey studie två gånger per år i ca 30 bäckar (kemisk analys på filtrerat prov) nedströms i kalavverkade och markberedda be-

stånd inom 50 km radie från områdena W<sub>max</sub> och W<sub>min</sub> (Anita Lundmark muntl. medd.). Efter kalavverkning, men före markberedning, uppmättes halter av totalfosfor mellan <0.01 och 0.66 mg/l (median 0.02 mg/l). Första och andra vegetationsperioden efter markberedning hade medianvärdet minskat till 0.01 mg/l, men enstaka höga värden noterades det första året (upp till 0.43 mg/l).

En studie i Finland har konstaterat kraftigt ökade arealförluster av fosfor i samband med kalavverkning, markberedning (hyggesplöjning) och dikning i ett torvmarksdominerat avrinningsområde, Murtopuro (Ahtiainen 1987). Skogsbruksaktiviteterna orsakade en omfattande erosion och mängden suspenderat material ökade kraftigt i bäcken som avvattnar området. Totalfosfor mättes på ofiltrerat prov, vilket innebär att fosfor på partiklarna kom med i analysen. Fördelningen mellan partikulärt och löst fosfor framgår dock inte av studien. Undersökningar i ett näraliggande område, Kivipuro, som avverkades med skyddszoner till bäcken, samt utan efterföljande dikning, uppvisade ingen ökning av suspenderat material och inte heller någon ökning i halter eller arealförluster av fosfor. Det indikerar att ökningen av fosforutlakningen var knuten till ökad transport av suspenderade partiklar i bäcken. De svenska undersökningarna som redovisas i denna rapport visar även de att ökningen av fosforhalterna efter avverkning är relativt liten och kortvarig, men eventuella suspenderade partiklar med sitt fosforinnehåll var dock bortfiltrerade före analys. Okulära observationer vid försöksområdena indikerade dock inga tydliga erosionseffekter som kan öka partikelhalterna (Per-Erik Larsson muntl. medd.).

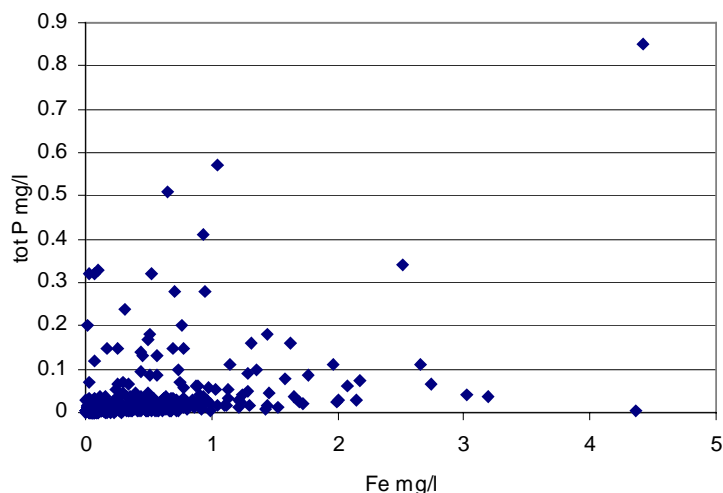
Området i Finland som uppvisade ökad utlakning av fosfor efter skogsbruksåtgärderna hade samtidigt kraftigt ökade arealförluster av järn (Ahtiainen 1987). Detta skulle kunna bero på förändrat grundvattenstånd och redoxförhållanden i markprofilen som teoretiskt kan bilda utlakbara järn-fosforkomplex. Korrelationen mellan järn och fosfor i avrinningen från hygge har även studerats på tio hyggen i södra Sverige med hjälp av data som sammanställt inom denna studie.

Figur 7 visar ingen korrelation, men det bör noteras att de svenska hyggena ligger på väl-dränerad fastmark i motsats till det finska (Murtopuro) som domineras av torvmark, vilket kan göra att effekterna av grundvattennivån förändras blir annorlunda.

Observationen i den finska studien (Ahtiainen 1987) att skyddszoner mot vattendrag kan minska erosionen och därmed utlakningen av fosfor från brukad skogsmark har även diskuterats i en svensk litteraturöversikt (Bergquist 1999) och inom ett svenskt forskningsprogram som är inriktad på vattenplanering och åtgärder i avrinningsområden (VASTRA 2002). Det finns flera skäl till att begränsa erosion och ökad partikeltransport i vattendrag i samband med olika markanvändningsaktiviteter och de samlade erfarenheterna visar att det är praktiskt möjligt att minska påverkan. Skyddszoner med vegetation vid vattendrag, skonsam markberedning, undvikande av körskador och begränsad dikning kan bidra till att minska erosionen.

Aktiviteter som dock är bristfälligt kända i brukad skogsmark med tanke på erosionsrisker och fosforutlakning är dikesrensning i torvmark, skyddsdikning och anläggande av skogs-bilvägar.





Figur 7. Halter av järn och totalfosfor i avrinningen från tio hyggen i södra Sverige 1997 till 2002.

## 4 Slutsatser

Undersökningarna visar att utlakning av totalfosfor och fosfatfosfor från normalt brukad skogsmark, med avseende på halter och arealförluster, varierar relativt lite inom Sverige. Halterna är generellt låga (<20 µg tot-P/l respektive <3 µg PO<sub>4</sub>-P/l) i vattendragen. Inga tydliga skillnader i halter eller arealförluster har kunnat påvisas mellan normalt brukade skogsmarker och obrukade referensområden för totalfosfor och fosfatfosfor.

Under året förekommer säsongvariationer med högre halter av totalfosfor i vattendragen under sommar och höst, speciellt i södra Sverige. I norra Sverige är säsongvariationerna små, antagligen beroende på små variationer i mängden organiskt material (TOC) i bäckvattnet. Resultaten visar att medianvärden över totalfosfor- och fosfatfosforhalten i vattendragen i de tre regionerna uppskattar halterna väl och kan användas som typvärden för halter i vattendrag från normalt brukad skog.

Den regionala variationen i naturliga bakgrundshalter i avrinningen från skogsmark beror delvis på förekomsten av det relativt lättvittrade och fosforrika mineralet apatit i skogsjordarna. På grund av lägre vittringshastighet i norra Sverige finns det i genomsnitt mer apatit kvar i ytliga markskikt, jämfört med mellersta och södra Sverige, men variationen är stor i hela landet. Andra faktorer som påverkar halterna av fosfor är halten av TOC i ytvattnet, som i sin tur främst beror på andelen torv- och myrmark i tillrinningsområdena.

Resultaten från undersökningarna kan inte påvisa någon tydlig skillnad mellan hygge, plantering och växande skog med avseende på flödesvägda halter och arealförluster av totalfosfor. Resultaten ger dock viss indikation om att förhöjda värden av fosfor kan förekomma under de närmaste åren efter avverkning. Det undersöka området i norra Sverige uppvisade förhöjda halter och arealförluster under de två första åren efter avverkning, där-

efter kunde ingen effekt av avverkningen påvisas. Studerade områden i södra Sverige saknar i regel undersökningar de första åren efter avverkning, men utlakningen har dock ökat något under år två till tre efter avverkning, jämfört med referensområden.

Det är sannolikt att körskador, markberedning och skyddsdikning som kan orsaka erosion är främsta orsaken till ökade halter och arealförluster av fosfor under åren närmast efter avverkning. Svenska studier har i regel inte specialstuderat effekten på ytvatten av ökad mängd suspenderat material som följd av erosion efter enskilda skogsbruksåtgärder. Ytterligare studier av skogsbrukseffekter på utlakningen av fosfor i både fastmarksområden och torvjordar är nödvändiga om precisionen i bedömningarna av effekter skall förbättras. Även kunskapen om effekter på fosforutlakning i samband med dikesrensning i torvmark, skyddsdikning och anläggande av skogsbilvägar är bristfällig.

Erosion, och medföljande fosforutlakning, som följd av skogsbruksåtgärder, får oftast relativt lokala effekter eftersom partiklarna i stor utsträckning sedimenterar i närområdet. Trots det finns starka skäl att begränsa erosionen och studier har visat att anpassade metoder med skyddszoner med vegetation, skonsamma markberedningsmetoder, undvikande av körskador och begränsad dikning avsevärt kan minska erosionseffekterna.

## 5 Referenser

- Ahtiainen M 1992. The effects of forest clear-cutting and scarification on the water quality of small brooks. *Hydrobiologia* 243/244: 465-473.
- Bergquist B. 1999. Påverkan och skyddszoner vid vattendrag i skogs- och jordbrukslandskapet. En litteraturöversikt. Fiskeriverket Rapport 3:1999.
- Bergquist B., Lundin L. & Andersson A. 1984. Hydrologiska och limnologiska konsekvenser av skogs- och myrmarksdikning. Rapport Limnologiska Institutionen, Uppsala universitet. LIU 1984:B4.
- Brandt, M & Ejhed, H. 2002. TRK Transport - Retention - Källfördelning. Belastning på havet. Naturvårdsverket Rapport 5247.
- Lundin L. 2003. Phosphorus concentrations and runoff in Swedish peatland waters. Report from Department of Environmental Assessment, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Löfgren S. & Olsson H. 1990. Tillförsel av kväve och fosfor till vattendrag i Sveriges inland. Naturvårdsverket Rapport 3692.
- Larsson, P-E & Westling, O, 1997. Ytvatten i kalkade avrinningsområden. Årsrapport 1996. IVL-rapport B1279.
- Naturvårdsverket 1987. Skogs- och myrdikningens miljökonsekvenser. Naturvårdsverket rapport 3270.
- Naturvårdsverket 1999. Bedömningsgrunder för miljö kvalitet. Sjöar och vattendrag. NV rapport 4913.
- Naturvårdsverket 2003. Ingen övergödning. Underlagsrapport till fördjupad utvärdering av miljömålsarbetet. NV rapport 5319.
- Rosén K, 1982. Supply, Loss and Distribution of nutrients in three coniferous forest watersheds in Central Sweden. Rapporter för skogsekologi och skoglig marklära. Institutionen för skoglig marklära, SLU, 1982.
- VASTRA 2002. Våtmarksboken. Skapande och nyttjande av värdefulla våtmarker. ISBN 91-631-2737-7.
- Westling, O & Orth, L, 1998. Tillförsel av aska och kalk till skogsmark i södra Sverige. Delprojekt: praktisk demonstration av skogsvitalisering samt skogsvitalisering och kompensationsgödsling efter uttag av avverkningsrester. Rapport till SÖDRA, Vattenfall och Ramprogram askåterföring.

## Bilaga 1.

Tabell 1. Genomsnittliga arealförluster och flödesvägda halter under hela tidsperioden (se tabell 1) respektive 1998-2000 i respektive vattendrag.

Lokal	P-tot		P-tot		P-tot		PO <sub>4</sub> -P		PO <sub>4</sub> -P		PO <sub>4</sub> -P		PO <sub>4</sub> -P	
	kg/ha*år medel	kg/ha*år 98-00	kg/ha*år medel	kg/ha*år 98-00	kg/ha*år medel	kg/ha*år 98-00	kg/ha*år medel	kg/ha*år 98-00	mikrog/l medel	mikrog/l 98-00	mikrog/l medel	mikrog/l 98-00	mikrog/l min-max	mikrog/l 98-00
Noresjön 402	0,033								10,98					
Noresjön 401	0,028							9,84						
Råsjön 402	0,058							19,39						
Råsjön 401	0,025							8,94						
Metbäcken	0,000	0,000-0,000						6,51	6,59	6-8				
G24R Asa	0,050	0,048	0,042-0,057					11,35	10,22	9-11				
K24R	0,051							29,19						
L24R Östad	0,023	0,029	0,016-0,04					6,07	4,40	4-5				
N24R	0,144							19,48						
O24R	0,042	0,060	0,052-0,067					6,28	5,71	7-11				
P24R Bäckfors	0,081	0,041	0,031-0,056					24,86	7,83	7-8				
R24R Mullsjö	0,047	0,036	0,029-0,048					16,65	10,09	9-11				
Stråfulan	0,029	0,033	0,021-0,046					4,01	4,21	4-5	1,46	1,24	1-1	1-1
Björnbäckån	0,037	0,039	0,031-0,046					8,64	8,72	7-11	2,25	2,00	1-2	1-2
Sörjabäcken	0,031	0,031	0,026-0,040					7,38	7,12	6-8	2,14	1,81	1-2	1-2
Hornsjöbäcken	0,063	0,041	0,027-0,059					12,23	7,57	7-9	1,68	1,31	1-2	1-2
Pipbäcken N	0,038	0,050	0,038-0,057					9,70	9,26	7-10	2,73	2,12	2-2	2-2
Lommabäcken N	0,046	0,044	0,037-0,048					8,70	6,25	6-6	2,77	1,43	1-1	1-1
Brätängsbäcken	0,048	0,055	0,042-0,062					10,07	8,69	8-9	2,65	1,59	1-2	1-2
Ringsmobäcken	0,017	0,019	0,011-0,029					8,59	6,87	6-9	2,45	1,39	1-2	1-2
Ljäll-Fämtan	0,051	0,050	0,039-0,070					8,71	6,87	7-7	2,70	1,40	1-1	1-1
Lilltjärnsbäcken	0,049	0,044	0,034-0,052					6,09	5,14	5-6	1,52	1,12	1-1	1-1
Lillbäcken	0,031	0,033	0,020-0,045					9,48	7,62	7-8	2,28	1,75	2-2	2-2
Laxtjärnsbäcken	0,034	0,027	0,023-0,033					7,95	5,34	5-6	2,29	1,25	1-1	1-1
Fallabäcken	0,077	0,077	0,077					13,00	13,00	13	2,47	2,47	2	2

Lokal	P-tot kg/ha*år		P-tot kg/ha*år		P-tot kg/ha*år		PO <sub>4</sub> -P kg/ha*år		PO <sub>4</sub> -P kg/ha*år		PO <sub>4</sub> -P kg/ha*år		PO <sub>4</sub> -P mikrog/l		PO <sub>4</sub> -P mikrog/l	
	medel Alla år	medel 98-00	medel 98-00	min-max 98-00	medel 98-00	min-max 98-00	medel 98-00	min-max 98-00	medel 98-00	min-max 98-00	medel Alla år	min-max 98-00	medel 98-00	min-max 98-00	medel 98-00	min-max 98-00
Sågebäcken	0,045	0,057	0,057	0,050-0,065	0,010	0,011	0,011-0,012	8,52	8,10	7-9	1,93	1,61	1-2			
Kvarnebäcken	0,017	0,023	0,023	0,014-0,033	0,004	0,005	0,003-0,007	5,58	5,33	5-6	1,43	1,16	1-1			
Kvarnån	0,033	0,037	0,037	0,030-0,040	0,008	0,008	0,006-0,010	8,43	8,88	7-12	2,01	1,98	1-3			
Viskansbäcken	0,040	0,054	0,054	0,059-0,059	0,010	0,013	0,014-0,014	9,74	9,41	9-9	2,43	2,18	2-2			
Aneboda IM	0,033	0,036	0,036	0,027-0,047	0,008	0,008	0,006-0,010	10,17	9,78	8-12	2,40	2,07	2-2			
Gammtratten IM	0,045	0,048	0,048	0,030-0,065	0,010	0,011	0,005-0,016	8,28	7,19	6-8	1,93	1,54	1-2			
Kindlahöjden IM	0,028	0,027	0,027	0,022-0,031	0,007	0,008	0,006-0,011	5,65	4,50	4-5	1,42	1,24	1-1			
Nissan 10	0,043	0,043	0,043	0,040-0,047					7,03	7-7						
Nissan 12	0,074	0,074	0,074	0,054-0,095					21,85	13-30						
Nissan 4	0,050	0,050	0,050	0,048-0,052					7,00	7-7						
Nissan 5	0,027	0,027	0,027	0,024-0,030					4,19	4-4						

## IVL Svenska Miljöinstitutet AB

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

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

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

### Forskning- och utvecklingsprojekt publiceras i

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

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



---

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd

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

P.O.Box 470 86, SE-402 58 Göteborg  
Dagjämningsgatan 1, Göteborg  
Tel: +46 31 725 62 00  
Fax: +46 31 725 62 90

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

[www.ivl.se](http://www.ivl.se)