

## Miljöpåverkan vid långtidslagring av timmer



Per-Erik Larsson



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Enheten för skoglig fältforskning

Rapport/Report 11

Asa 2015



# Miljöpåverkan vid långtidslagring av timmer

Per-Erik Larsson

SLU, Enheten för skoglig fältforskning, Asa skogliga försökspark och fältforskningsstation, 360 30 Lammhult

Foton och illustrationer: Författaren

Denna serie rapporter utges av Enheten för skoglig fältforskning, Fakulteten för skogsvetenskap vid Sveriges lantbruksuniversitet, med början 2011. Serien publiceras endast elektroniskt.

This series of Reports is published by the Unit for Field-based Forest Research, Faculty of Forest Science at the Swedish University of Agricultural Sciences, starting in 2011. The reports are only published electronically.



## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	7
Summary .....	7
Inledning .....	9
Virkeshantering.....	10
Terminaler på land.....	10
Sjölagring.....	11
Ändrad lagstiftning .....	11
Miljökontroll.....	12
Miljökonsekvenser .....	13
Landbaserade terminaler.....	13
<i>Läckage och avdunstning från timret</i> .....	14
<i>Avrinnande vatten</i> .....	16
<i>Reningsanläggningar, reningsgrad</i> .....	19
<i>Effekter i recipienten</i> .....	22
<i>Effekter på grundvatten</i> .....	24
<i>Markanalyser</i> .....	24
<i>Sediment i sedimenteringsdammar</i> .....	27
<i>Bevattnings; spridningsbild och volym</i> .....	27
Sjölagring.....	28
<i>Bakgrund</i> .....	28
<i>Beslut om lagring – politiska överväganden</i> .....	28
<i>Timmerlagring 2005–2006</i> .....	29
<i>Miljöeffekter i sjön</i> .....	30
Referenser .....	31

Bilaga. Terminaler som ingått i studien



## Sammanfattning

Denna rapport visar resultaten från delar av den övervakning som genomförts med tanke på de befarade miljöproblem som skulle kunna uppstå i samband med lagring och bevattning av virke på terminaler. Underlag till rapporten kommer från provtagningar inom den egenkontroll och specialundersökningar som genomfördes vid bevattnade terminaler. Antalet terminaler som ingår är 30 landbaserade och en terminal med sjölagring.

Resultaten från lagring på landbaserade terminaler visar att avrinnande vatten innehöll höga halter av fosfor och TOC (totalt organiskt kol). Fosfor, TOC och fenoltal minskar kraftigt under första året och halterna fortsätter att minska under följande år. Efter fyra år är dock fosforhalterna fortfarande mycket höga i förhållande till recipienten. Andelen fosfatfosfor av totalfosfor är konstant hög, ca 80 %, under hela perioden. Färgtal, kvävehalter och turbiditet minskar successivt under perioden och är efter fyra år i samma nivå som kan förväntas i recipienten. pH-värdet stiger kontinuerligt under hela perioden. De mängder av fosfor, kväve och TOC som transporteras i det avrinnande vattnet är beräknade för fyra bevattningssäsonger.

De parametrar som påverkades av sedimenteringsdammar och översilning var fosfor och TOC. Reningsgraden vid sedimenteringsdammarerna var i medeltal 26 % för totalfosfor och 9 % för TOC. Vid översilning uppnåddes i genomsnitt samma reningsgrad, 26 %, för fosfor och något högre, 15 %, för TOC. Reningsgraden har inte varit kopplad till storleken på dammen eller koncentrationen i tilloppsvattnet.

De flesta terminalerna blev förlagda i direkt anslutning till förhållandevis stora vattendrag. Detta medförde att när lakvattnet från terminalen nådde recipienten blev utspädningen oftast stor och någon påverkan på recipienterna har inte kunnat påvisas. I något fall har terminalen varit placerad vid ett förhållandevis litet vattendrag, vilket lett till en tydlig, men temporär påverkan.

Den befarade urlakningen av åkermarken uteblev och urlakade ämnen från timret ledde snarare till förhöjda halter i marken. Analysresultaten visar att vid de flesta terminalerna har fosfor och kalium ökat efter timmerlagringen. Kalkbehovet har minskat och pH-värdet ökat i 25 av de 29 provpunkterna. Dessa förändringar var tydliga i det övre jordlagret 0–20 cm. I djupare lager, 40–60 cm, fanns en tendens till en förändring i samma riktning, men den var betydligt mindre och osäkrare. Mängden kväve och lättlösligt kalcium i marken visade ingen generell förändring.

När det gäller sjölagringen i Kisasjön, så har sjön tidigare under lång tid tillförts avloppsvatten både från industri och kommun och timmer har tidigare lagrats i sjön under 1970–1980-talen. Även om denna föroreningssituation har förbättrats radikalt under 1990-talet har sjön en komplicerad föroreningshistorik. Efter stormen Gudrun lagrades 246 000 m<sup>3</sup> timmer i Kisasjön under 2005 och 2006. Genom att virket lagrades i buntar lossnade endast en mycket liten del av barken från timret. Detta är en stor skillnad mot den löslagring med hantering av enskilda stockar som utfördes under tidigare perioder av timmerlagring i sjön.

Timmerlagringen medförde kraftigt sjunkande syrehalter och förhöjda halter av fosfor i sjön under sommaren 2005. Både syretäringen och de förhöjda fosforhalterna var dock av övergående karaktär. Andra kemiska parametrar såsom pH, färgvärde, TOC, fenoltal och kväve påverkades inte eller mycket lite av timmerlagringen.

Från 1 maj till 1 juni 2005 sjönk syrehalten från ca 10 mg/l till ca 1 mg/l. Situationen förbättrades under höst och vinter, men under följande sommar återkom de ansträngda syreförhållandena, i den övre vattenmassan med som lägst ca 4 mg/l och i djupare vattenlager 1–2 mg/l. Mätningarna efter lagringsperioden under 2007 och 2008 visar "normala" halter av både syre och fosfor.

## Summary

The storm Gudrun, that struck southern Sweden during the night of 8–9 January 2005, caused severe and extensive damage to forests. Mainly the counties Småland, Halland, Skåne, Blekinge and Västergötland were affected. The felled tree volume was estimated to about 75 million cubic meters, which is equivalent to the entire country's annual felling of forests. To manage these large volumes of wood in transport and processing in the industry, timber terminals were built at strategic locations. A total of 14–15 million cubic meters were stored at about 200 terminals. The terminals have been located on agricultural land, forest land, in gravel pits. One terminal was also located in a lake. To maintain wood quality during storage and prevent attacks from fungi and insects, the timber was treated with water. This irrigation required large quantities of water. Run-off water, containing high levels of nutrients and organic matter from the timber, was treated by different arrangements such as infiltration, sedimentation or flooding.

To evaluate and describe environmental impact from this kind of long-term storage of timber, funding was obtained from the *Södra Skogsägarnas Stiftelse för forskning, utveckling och utbildning*. The reason for this is that knowledge leads to more consistent, safer and faster decisions, both for operators and authorities, in case of similar situations in the future.

This report shows results from parts of the monitoring carried out in view of probable environmental problems that could arise in connection with the storage and irrigation of timber on terminals. Data for this report comes from sampling in the self-monitoring and special studies conducted at irrigated terminals. Data from 30 terminals situated on solid ground and one terminal within a lake was included.

The results from the land-based terminals show that the runoff water contained high levels of phosphorus and TOC (total organic carbon). Phosphorus, TOC and phenolic compounds decreased sharply during the first year and the levels continued to decline in the following years. After four years, however, the concentration of phosphorus was still very high in relation to the recipients. The proportion of phosphate phosphorus of total phosphorus was constantly high, about 80 % throughout the period. The color, nitrogen levels and turbidity decreased gradually during the period and were at the same level as expected in the recipient after four years. The pH level rose continuously throughout the period. The amounts of phosphorus, nitrogen and TOC within the runoff water were calculated for four irrigation seasons.

The parameters that were affected by sedimentation ponds and flooding were phosphorus and TOC. The degree of purification at the settling ponds was on average 26 % for total phosphorus and 9 % for TOC. Flooding resulted in approximately the same degree of purification for phosphorus, 26 %, and slightly higher, 15%, for TOC, compared to sedimentation. The degree of purification was not correlated to the size of the pond or the concentration in the supply water.

Most terminals were located directly adjacent to relatively large rivers. That was why the dilution was usually large and no impact on the receiving waters was found, as the water from the terminals reached the receiving water. In one case, the terminal was located by a comparatively small stream, which led to a marked but episodic impact.

No signs of depletion of the soils could be found, as leaching compounds from the timber rather accumulated in the soil. Results showed increased levels of phosphorus and potassium at most terminals after timber storage. The calcium needs decreased and the pH increased in 25 of the 29 test points. These changes were evident in the upper soil layer (0–20 cm). In deeper layers (40–60 cm), a tendency for a change in the same direction was found, but it was much smaller and less significant. The amount of nitrogen and readily soluble calcium in the soil showed no overall change.

The lake Kisasjön was also used for timber terminal storage. It has previously, during a long time, been a recipient for industrial and municipal wastewater and timber has been stored in the lake during the 1970–1980's. Although this contamination decreased dramatically in the 1990's, the lake has a complex pollution history. After the storm Gudrun 246 000 m<sup>3</sup> of timber was stored in the lake during 2005 and 2006. By storing timber in bundles, only a very small portion of the bark from the logs was released to the lake. This was a big difference compared to previous periods of timber storing in the lake, when individual stocks were stored.

The storage of timber resulted in diminishing oxygen levels and raised levels of phosphorus in the lake during the summer of 2005, but the shift of both parameters were, however, temporary. Other chemical parameters such as pH, color, TOC, phenolic compounds and nitrogen were not or very little affected by the timber storage.

From May 1 to June 1 2005 oxygen content decreased from about 10 mg/l to about 1 mg/l. The situation improved during the autumn and winter and during the following summer the strained oxygen conditions returned with a lowest level of about 4 mg/l in the upper water column and 1–2 mg/l in deeper water. Measurements after the storage period in 2007 and 2008 showed “normal” levels of both oxygen and phosphorus.



## Inledning

Stormen Gudrun var ett kraftigt lågtryck med stormstyrkor som natten mellan den 8–9 januari 2005 drog in från Atlanten och drabbade norra Europa. SMHI hade utfärdat varningar, men konsekvenserna och den förödelse som blev resultatet i stora delar av Götaland var det nog inte många som hade kunnat föreställa sig. På många håll var landskapet nästintill oigenkännligt morgonen efter. Vägar var spärrade, el och telefoni utslaget, järnvägstrafiken lamslagen och människor chockade. Sju människor miste livet direkt i samband med stormen och som mest var 415 000 hushåll utan ström. En vecka senare var fortfarande cirka 50 000 hushåll strömlösa och många var strömlösa ytterligare några veckor. Det var främst Småland, Halland, norra Skåne och Blekinge samt södra Västergötland som drabbades av svåra och omfattande skogsskador. Skogsstyrelsen har uppskattat att omkring 75 miljoner kubikmeter skog fälldes denna historiska natt. Detta motsvarar hela Sveriges totala årsavverkning av skog. I Götaland motsvarade det tre årsavverkningar. Hur stora skadorna och effekten blev för skogsägare och skogsnäring beror på vilket storleksperspektiv man använder. För Sveriges skogsförråd är betydelsen liten. Stormfällningen motsvarade ca 2,5 % av förrådet. I det lokala perspektivet var effekterna stora, och värst drabbades området kring Ljungby. Där stormfälldes i vissa socknar så stora delar av skogsbeståndet att normal skogsavverkning inte kommer att kunna göras under de närmsta 30 åren.

Skogsnäringen stod inför en av de största logistiska utmaningarna i Sveriges moderna historia. Skogsägarna själva, anställda i företag, inhyrd personal och entreprenörer med motorsågar, skogsmaskiner, lastbilar, tåg och fartyg, alla länkar i kedjan från skog till industri mobiliserades för att rädda virkesvärdet. Terminaler anlades för att mellanlagra virke. Maskiner och personal hämtades från hela Sverige för att delta i arbetet i stormområdet. Även resurser från Finland, Polen, Tyskland och Österrike utnyttjades i stor omfattning. Nya kanaler för transport och försäljning utarbetades. Ett ljus i mörkret var dock att arbetet skedde under en högkonjunktur och exportmöjligheterna var goda.

Delar av samhällets organisationer ansträngdes till det yttersta, vissa under lång tid. Under uppröjningsarbetet omkom 10 personer och 141 arbetsolyckor anmäldes.

Två år senare, i januari 2007, fälldes ytterligare 16 miljoner skogskubikmeter i Götaland i samband med stormen Per. Detta medförde att ytterligare några terminaler byggdes upp eller att befintliga terminaler, som börjat tömmas eller avslutats, återigen fylldes på eller åter togs i bruk. För två stora aktörer, Södra Skogsägarna och Vida AB, blev timmerlagringen en utdragen historia. De sista stockarna rullade ut från Södras terminal i Asige utanför Halmstad den 30 november 2009 och Vidas stora terminal vid Ströby söder om Alvesta avslutades i januari 2012.

Denna rapport visar resultaten från delar av den övervakning som genomförts med tanke på de befa-



Figur 1. Under natten mellan 8–9 januari 2005 fälldes ca 75 miljoner kubikmeter skog i stormområdet. Detta motsvarar hela Sveriges årsavverkning av skog. Flygfoto över ett skogsområde vid sjön Flåren norr om Ljungby 2005-10-02.

rade miljöproblem som skulle kunna uppstå i samband med lagring och bevattning av virke på terminaler. På grund av de stora vattenmängder som används vid bevattningen urlakas organisk substans och näringsämnen, dels från timret och dels från marken. Underlag till rapporten kommer från provtagningar inom den egenkontroll och special-undersökningar som genomfördes vid bevattnade terminaler.

Medel till denna rapport har erhållits från Södra Skogsägarnas *Stiftelse för forskning, utveckling och utbildning*. Motivet för detta var att en dokumenterad erfarenhet leder till enhetligare, säkrare och snabbare beslut, både hos verksamhetsutövare och hos myndigheter vid framtida behov av timmerlagring.

## Virkeshantering

När stormen hade lagt sig startade ett frenetiskt arbete med uppröjning och planering av hur virket skulle kunna omhändertas på bästa sätt. Industrin hade ingen möjlighet att ta emot den stora volymen som kom fram efterhand som den nedblåsta skogen togs omhand. För att rädda stora ekonomiska värden och undvika en massförökning av skadeinsekter, främst granbarkborren, anlades timmer- och massa-vedsterminaler för mellanlagring på strategiska platser.

## Terminaler på land

Virke för massaved (till pappersmassaindustrin) bevattnas generellt inte medan timmer (till sågverk) bevattnas för att säkerställa en god kvalitet på timret efter lagringsperioden. Genom bevattningen, som sker under perioden april–oktober, förhindras angrepp från svampar och skadeinsekter. För att garantera en effektiv bevattning var vattenmängden stor, speciellt under de första månaderna, då den kunde uppgå till mer än 50 millimeter per dag. För att under en längre period, till exempel en sommarperiod, kunna sprida denna mängd vatten krävs stora vattendrag eller att vattnet återanvänds inom terminalen. Denna recirkulering leder till att utlakade ämnen från timret och små barkbitar koncentreras i bevattningsvattnet. Detta ökar förutsättningarna för tillväxt av mikroorganismer, som kan försämra virkeskvaliteten vid långvarig lagring. Det kan också leda till driftstörningar, exempelvis igensatta munstycken i bevattningssystemet. Vid kortare lagring, såsom veckor eller månader, som sker vid permanenta anläggningar med ett kontinuerligt genomflöde av timmer, anses risken för kvalitetsförsämringar vara liten.

Från terminaler utan recirkulering är avrinnande mängden vatten betydligt större än vid recirkulerande anläggningar och kräver därför större anordningar för en eventuell reningsanläggning. ”Reningen” kan ske i form av fastläggning, nedbrytning eller upptag. Detta sker genom arrangemang med infiltration, sedimentering eller översilning.



Figur 2. Vid lokalisering av terminalerna var bl.a. närhet till större vattendrag och bra vägnät viktigt. Flygfoto över timmerterminalen i Ed 2005-10-02.

Vid lokaliseringen av terminalerna var närhet till större vattendrag och el, bra vägnät samt närhet till de stormdrabbade områdena viktiga parametrar. Dessutom krävdes rådighet över marken. Terminalerna har varit belägna på jordbruksmark, skogsmark, i grustäcker och i ett fall i en sjö. Vid lagring på jordbruksmark anlades basvägar med hjälp av fiberduk och makadam för att öka bärigheten.

För tillfälliga vägar, som användes vid av- och pålastning av timmer, användes grävmaskinsmattor, s.k. markskonare. Dessa flyttades allteftersom terminalen byggdes ut (figur 3).



Figur 3. På terminalerna anlades basvägar och tillfälliga vägar med markskonare.

Totalt lagrades 14–15 miljoner m<sup>3</sup>fub (fast volym under bark, se faktaruta) på ca 200 timmerterminaler. En "medelterminal" som lagrade ca 80 000 m<sup>3</sup>fub upptog i praktiken en yta av 200 × 200 m och var 5 m hög. Även "högläggning" av timmer förekom på några terminaler. Detta innebar att terminalerna var upp till 15 m höga. Fördelen med detta var att terminalytan utnyttjades effektivare. Nackdelen var osäkerheten om bevattningens effektivitet i den nedre delen av terminalen. Bevattningen var 30–50 mm per dygn vilket för "medelterminalen" innebar ca 1600 m<sup>3</sup> vatten per dygn. Bevattningssäsongen varade mellan april och oktober.

### Sjölagring

Sjölagring av timmer diskuterades på flera håll efter stormen Gudrun. Fördelen med sjölagring ansågs vara att vid långtidslagring är det en säkrare lagringssmetod för att behålla kvaliteten på timret än landlagring med bevattning. Nackdelen är att miljöpåverkan är större och mer okontrollerbar samt praktiska problem med iläggning och upptagning av timret.

### Måttenheter och omräkningstal

m <sup>3</sup> sk	skogskubikmeter (stamvolym ovanför stubbskäret inklusive topp och bark)
m <sup>3</sup> fub	kubikmeter mätt som fast mått (verklig volym) men under bark
m <sup>3</sup> to ub	volymen av stock mätt som toppdiametern under bark 10 cm in från toppänden, multiplicerad med längden av stocken

Nedanstående tabell ger ungefärliga omräkningstal användbara för överslagsberäkningar. Exempelvis motsvarar således 1 m<sup>3</sup> fub ca 0,81 m<sup>3</sup> to ub.

	m <sup>3</sup> sk	m <sup>3</sup> fub	m <sup>3</sup> to ub
m <sup>3</sup> sk	1	0,84	0,68
m <sup>3</sup> fub	1,2	1	0,81
m <sup>3</sup> to ub	1,46	1,23	1

Sjölagring genomfördes endast i en sjö efter stormen Gudrun, i Kisasjön. Kisasjön är belägen i Östergötland strax norr om Kisa samhälle, ca 50 km söder om Linköping. Orsaken till att Kisasjön utnyttjades för lagring berodde på det goda läget i direkt anslutning till ett sågverk och att det resulterade i totalt sett korta transportavstånd. Även tidigare erfarenheter avseende timmerkvalitet och praktiska erfarenheter av sjölagring i Kisasjön bidrog till beslutet. I Kisasjön lagrades 246 000 m<sup>3</sup>fub, vilket täckte ca 25 % av sjöns yta (figur 4).

### Ändrad lagstiftning

För att underlätta den juridiska hanteringen vid anläggandet av virkesterminaler beslutade regeringen den 20 januari 2005 att ändra förordningen om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd (1998:899). Detta innebar att det tidigare kravet på tillstånd från länsstyrelsen ersattes med ett krav på anmälan till kommunen.

Anmälningsplikten innebar att kommunen fick information om hur och var timmer lagrades och kunde meddela försiktighetsmått eller förbud enligt miljöbalken. Kommunen kunde också meddela att anmälan inte skulle leda till någon åtgärd från myndigheten. Ändringarna i regelverket medförde även att utökning av timmerupplag vid redan befintliga tillståndspliktiga och prövade sågverk endast behövde anmälas. Ändringen i förordningen innebar:

- All lagring av timmer över 500 m<sup>3</sup> som behövde ske med anledning av storm eller orkan, krävde endast anmälan till kommunen om lagringen inte gjordes på eller nära en vattentäkt.
- Det blev möjligt att påbörja lagring av timmer innan anmälan hade gjorts.
- Tillståndsplikten för lagring av mer än 10 000 m<sup>3</sup> timmer på land med bevattning togs bort. Även

tillståndsplikten för anläggning för lagring av mer än 10 000 m<sup>3</sup> timmer i vatten togs bort.

- Ändringarna gällde enbart lagring av timmer med anledning av storm eller orkan.

Inom det omfattande projektet ”Stormanalys” startade Skogsstyrelsen en arbetsgrupp för att utvärdera dessa regeländringar. Gruppen redovisade sina resultat i ett PM daterat 2006-03-08 och har flera förslag avseende regelverket men nämner också behovet av kommande erfarenheter från stormarbetet (Johansson 2006). Man nämner t.ex. erfarenheter från tillsynsarbetet, annan lagstiftning och de miljömätningar som startats inom egenkontrollen, som skulle komma att pågå flera år framåt. Det visade sig också att det skulle komma att bli många nya erfarenheter för många aktörer och på många skilda områden. Bland annat väntade stormen Per runt hörnet, som slog till med kraft den 14 januari 2007.

## Miljökontroll

Hur terminalerna påverkade den omgivande miljön följdes bland annat upp genom den egenkontroll som verksamheten kräver. Av miljöbalken (26 kap. 19§) framgår att den som bedriver en verksamhet som kan befaras medföra olägenheter för människors hälsa eller påverkan på miljön fortlöpande skall planera och kontrollera verksamheten, till exempel genom egna undersökningar, för att motverka eller förebygga negativa effekter. Resultat från egenkontrollen vid enskilda terminaler redovisades av verksamhetsutövaren till respektive tillsynsmyndighet (kommun).

Syftet med denna rapport är att visa de generella effekter och resultat som kan dras av de kontrollprogram som genomförts. Uppgifterna, som huvudsak-

ligen kommer från Södra Skogs terminaler, har kompletterats med uppgifter från Vida och Sveaskog. Dessutom ingår några specialundersökningar som genomförts i Södra Skogs regi.

Resultat som presenteras kommer från egenkontrollen vid respektive terminal. Provtagningsprogrammets utformning styrdes av både myndigheter och aktörer. Länsstyrelsen i Jönköpings län lämnade information om bl.a. provtagningsfrekvens och lämpliga parametrar (Johansson 2005). Vid Södra Skogs timmerterminaler bestod egenkontrollen av ett grundprogram med uppgift att, förutom kontroll av eventuell påverkan på den omgivande miljön, samla information och erfarenheter inför framtiden. Ett mål var t.ex. att få säkrare uppgifter om mängden lakade ämnen och dess variation i tiden. Grundprogrammet omfattade även markvattenprov och jordprov, om terminalen låg på jordbruksmark. Det kompletterades efter lokala specifika frågeställningar, t.ex. provtagning i enskilda brunnar. Varje terminal var unik och hade sin egen utformning och tidschema. Något strikt provtagningsprogram med upprepningar under kontrollerade yttre betingelser var inte möjligt, och heller inte avsikten, att genomföra. Det var verksamheten som styrde provtagningen och inte provtagningen som styrde verksamheten.

Kontrollprogrammen har till vissa delar haft olika inriktning och ambitionsnivå. Jordprover har t.ex. tagits vid terminaler på jordbruksmark. Sedimenterat material för kemisk analys har tagits där sedimenteringsdammar varit anlagda o.s.v. Vilka terminaler, provpunkter och analyser som ingår i olika beräkningar och utvärderingar är därför beroende på frågeställning. I denna rapport ingår analysresultat från 31 terminaler (se bilaga).

De terminaler som ingår i denna rapport har anlagts av större aktörer och representerar större terminaler



Figur 4. Sjölagring i Kisasjön, 2005-05-19.

än vad som i genomsnitt blev anmält och anlagt. Enligt länsstyrelserna i de län som drabbades hårdast av stormen (Jönköpings, Kronobergs och Hallands län) var den genomsnittliga storleken på terminaler som anmälades t.o.m. hösten 2005 76 000 m<sup>3</sup>fub. Genomsnittlig volym på de terminaler som ingår i denna rapport är ca 130 000 m<sup>3</sup>fub. Mindre terminaler har generellt avslutats tidigare än större.

De kemiska analyserna av vatten, jordprover och sediment har utförts av ackrediterade laboratorier vid Eurofins, Lidköping (tidigare AnalyCen Nordic AB) och Alcontrol, Linköping. De vattenkemiska analyserna har omfattat totalfosfor, fosfatfosfor, färgtal, TOC (totalt organiskt kol), pH, fenoltal, totalkväve och turbiditet (grumlighet). Markprover från terminaler på jordbruksmark har analyserats avseende pH, förråd av fosfor (P), kalium (K) och koppar (Cu) samt lättlöslig fosfor (P), kalium (K), kalcium (Ca) och magnesium (Mg). Dessutom beräkning av kalkbehov, mullhalt och lerhalt. Proverna från sedimenteringsdammar analyserades med avseende på ämnesgrupperna oljor, metaller och organiska ämnen (PAH, polycykliska aromatiska föreningar).

## Miljökonsekvenser

### Landbaserade terminaler

Resultat visar att de mest kritiska parametrarna är fosfor och organisk substans som kommer från timret. Även vid procentuellt små läckage från timret kan läckaget utgöra ett förhållandevis stort tillskott av fosfor till recipienten. I svenska sjöar förekommer fosfor vanligen i små mängder och är ofta det produktionsreglerande ämnet. Högre fosforhalter leder således till ökad produktion och därmed till större mängd av växtplankton, bakterier, fastsittande trådalger, samt övervattensväxter. Produktionsökningen kan i ogynnsamma fall leda till "övergödning", med oönskade effekter. Fosfatfosfor är den för alger lättillgängliga formen av fosfor och således en potentiell risk för ökad alg tillväxt i recipienten. När det organiska materialet, mätt som TOC, bryts ned i recipienten åtgår syre. Höga halter TOC utgör därmed en potentiell risk för låga syrehalter i recipienten. Vilken effekt avrinnande vatten från terminalerna får i miljön är beroende av den totala mängden och förhållandena i recipienten. Mängden från terminalerna styrs exempelvis av läckage från timret, reningsprocesser och eventuell återcirkulering av vatten.

De terminaler som anlades i samband med stormen Gudrun anlades med syftet att lagring skulle ske un-



Figur 5. Provtagningsplatsen för lakvatten med uppsamlingskärl. Här fanns möjligheter att göra provtagningar i den svala och fuktiga miljö som rådde inne i terminalen. Den 15 maj 2006 var det 4,5<sup>o</sup> C vid provplatsen och utanför terminalen var det 21<sup>o</sup> C.

der lång tid utan utbyte av timmer tills hela terminalen avvecklades. Detta leder till att läckaget från timret avtar med tiden. Detta skiljer från permanenta terminaler vid sågverk där det sker ett ständigt utbyte av timmer. Dessa terminaler har bevattningsanläggningar och myndighetskrav som är anpassade till detta.

#### Läckage och avdunstning från timret

Vid bevattning av timret lakas näringsämnen och organiskt material från stockarna och följer med vattnet på dess vidare färd. Hur stort läckaget är och hur det förändras med tiden undersöktes i en specialstudie vid terminalen Hammargården. Redan vid inkörningen av timmer planerades för möjligheter att göra provtagningar i den miljö som skulle komma att råda inne i terminalen. För att provta droppvatten under stockarna byggdes ett 0,7 m högt valv med längden 2,8 m och bredden 5 m. Valvet placerades ca 20 m från ena kortändan av en vältä och kunde nås via en smal passage mellan två vältor (figur 5).

Läckagestudien pågick från oktober 2005 t.o.m. augusti 2006, med uppehåll under perioden november t.o.m. april då det inte skedde någon bevattning. Provtagningar startade i anslutning till att bevattningen startade på aktuella vältor. Studien innehåller både vattenkemiska analyser och mätning av vattenvolymer. Resultaten visar halter, mängder och förändringar som är typiska för det vatten som lämnar terminalen innan andra processer påverkar vid t.ex. infiltration i marken.

Ovanpå vältan, rakt över provtagningsplatsen under vältan, placerades uppsamlingskärl för analys av bevattningsmängd och vattenkemi. Härigenom kan andelen droppvatten i förhållande till bevattningen beräknas. Skillnaden utgör förluster genom avdunstning, upptag i virket samt ev. avrinning utmed

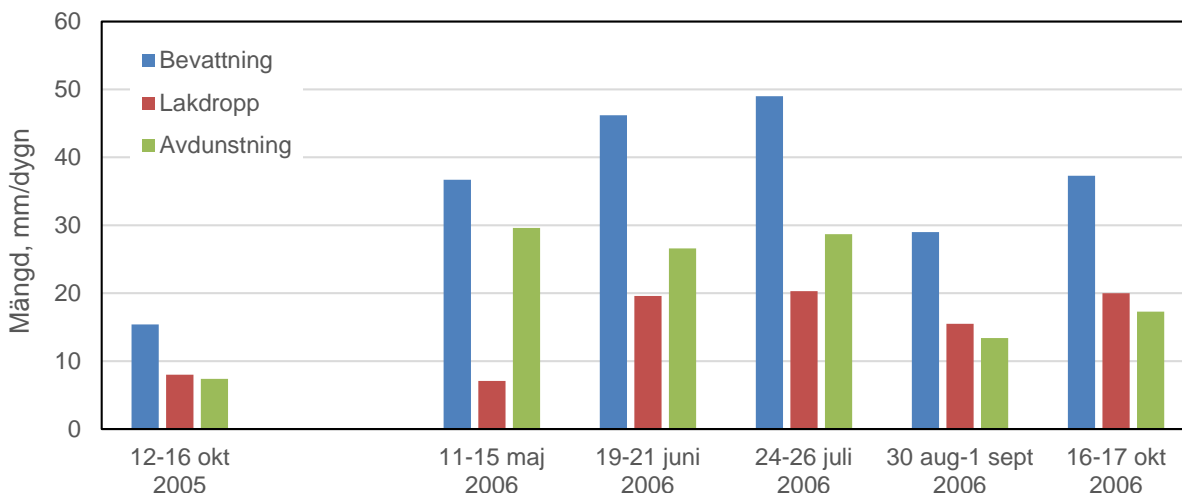
stockar. Bevattningsvattnet pumpades från den intilliggande Storån.

Avdunstningen styrs i första hand av temperatur och vind och varierar således starkt under bevattningsperioden men också mellan enskilda dygn. Genom uppsamlingen av bevattningsvatten ovan vältan och droppvatten under vältan kunde vattenförlusterna beräknas. Förutom avdunstning ingick även eventuell avrinning utmed stockarna förbi uppsamlingskärnen och utgjorde en felkälla vid beräkning av avdunstningen.

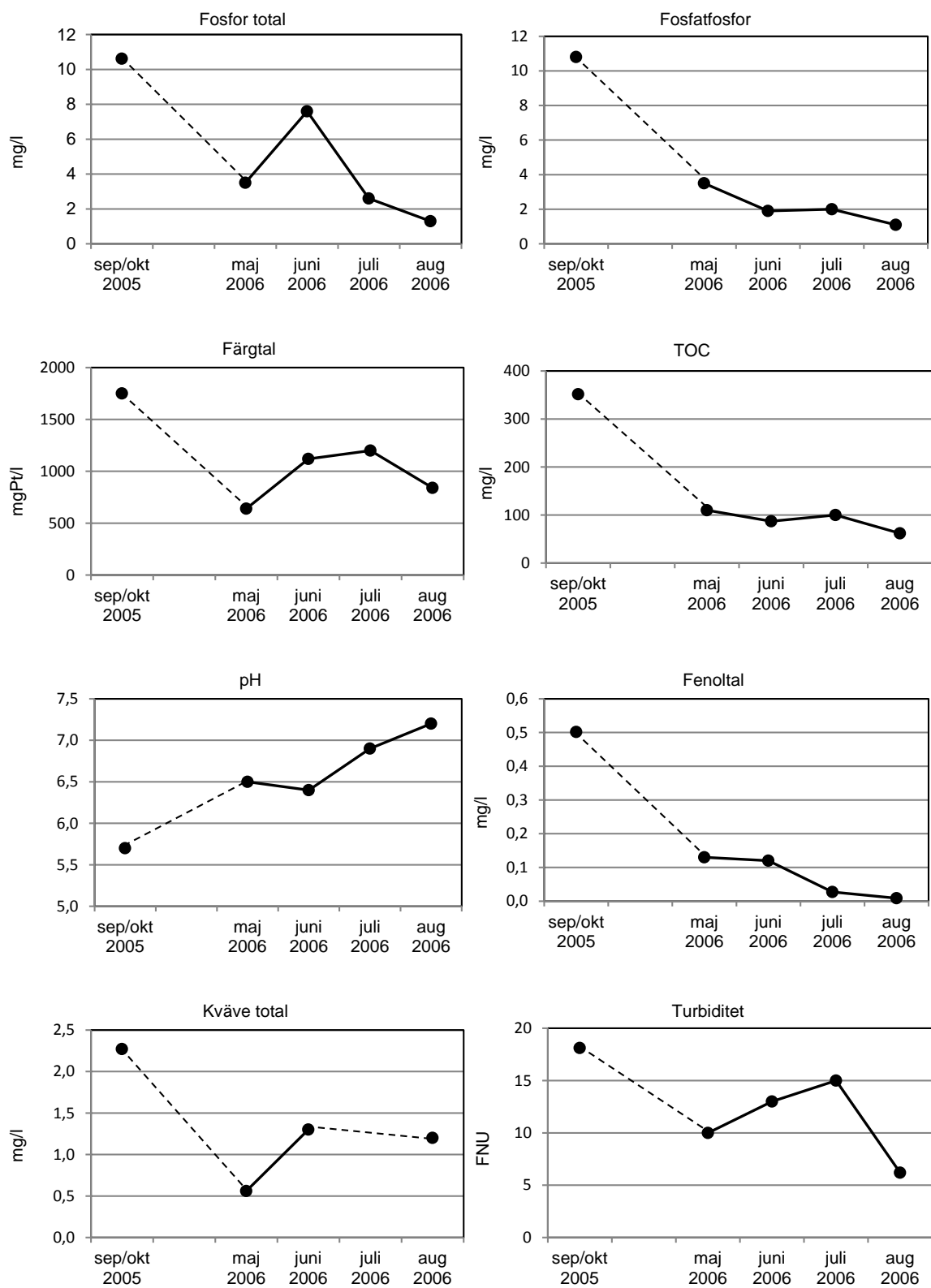
Exempel på förhållandet mellan bevattningsmängd, lakdropp och avdunstning vid olika tidpunkter under ett år redovisas i figur 6. Avdunstningen varierade mellan 7-30 mm/dygn.

Resultaten från de vattenkemiska analyserna visar höga halter av fosfor (figur 7 och tabell 1). Både halten fosfatfosfor och totalfosfor sjönk kraftigt under första bevattningsåret men var mycket höga i förhållande till bevattningsvattnet och recipienten. Halterna var ca 100 gånger högre än bevattningsvattnet (tabell 1). Andelen fosfatfosfor var stor under hela perioden. Mängden organiskt material (TOC), och fenoltal följde samma mönster som fosfor. Färgtalet var förhållandevis konstant högt under mätperioden. Läckaget av kväve var förhållandevis litet. Kvävehalterna var endast 2-4 gånger högre i lakvattnet än i bevattningsvattnet. Under den första bevattningsmånaden sjönk pH-värdet i bevattningsvattnet kraftigt på sin väg genom terminalen, ca 1,5 pH-enheter (från 7,2 till 5,7). Denna effekt avtog under första bevattningsåret och efter ett år är pH-värdet i droppvattnet detsamma som bevattningsvattnet, pH 7,2.

Kemisk analys av träspecifika ämnen, s.k. extraktivämnen (fettsyror, hartssyror, steroler och lignaner), analyserades i lakvattnet. Resultaten visar på snabbt sjunkande halter (tabell 2).



Figur 6. Bevattning, lakdropp och avdunstning vid olika tillfällen under en bevattningssäsong.



Figur 7. Vattenkemisk analys av lakvatten från en timmerterminal. Lakvattnet uppsamlat direkt under timret. Resultatet från lakvattnet under september/oktober 2005 utgör medelvärde från fem provtagningar och resultaten 2006 från en provtagning per månad.

Tabell 1. Vattenkemisk analys av bevattningsvatten och lakvatten från timmerterminal. Lakvattnet uppsamlades direkt under timret. Resultatet från lakvattnet under september/oktober 2005 utgör medelvärde från fem provtagningar och resultaten 2006 från en provtagning per månad. pH-värdet för 2005 är beräknat via koncentrationen av H<sup>+</sup>.

		Fenoltal mg/l	Fosfatfosfor mg/l	Fosfor total mg/l	Färgtal mg Pt/l	Kväve total mg/l	pH	TOC mg/l	Turbiditet FNU
Bevattningsvatten	26 okt 2005	0,0059	0,009	0,010	30	0,35	7,2	3,5	1,4
Bevattningsvatten	15 maj 2006	<0,005	0,008	0,021	60	0,76	7,2	12	2,3
Lakvatten	sep/okt 2005	0,502	10,8	10,6	1750	2,27	5,7	352	18
Lakvatten	maj 2006	0,130	3,5	3,5	640	0,56	6,5	110	10
Lakvatten	juni 2006	0,120	1,9	7,6	1120	1,30	6,4	87	13
Lakvatten	juli 2006	0,027	2,0	2,6	1200		6,9	100	15
Lakvatten	aug 2006	0,009	1,1	1,3	840	1,20	7,2	62	6,2

Tabell 2. Vattenkemisk analys av extraktivämen i lakvatten från timmerterminal. Lakvattnet uppsamlades direkt under timret som droppvatten.

Datum	Fettsyror mg/l	Hartssyra mg/l	Steroler mg/l	Lignaner mg/l	Summa extraktivämen mg/l
2005-09-29	3,1	2,0	0,1	10,5	15,7
2005-09-30	3,9	1,7	0,1	9,7	15,4
2005-10-04	2,4	1,2	0,1	5,9	9,6
2005-10-12	2,1	1,1	0,0	6,2	9,5
2005-10-26	1,4	0,9	0,05	3,0	5,4
2006-05-15	1,3	0,3	0,1	1,9	3,5
2006-06-21	1,1	0,2	0,1	1,6	3,0
2006-07-26	1,0	0,1	0,2	2,6	3,9
2006-09-01	0,9	0,1	0,1	0,7	1,8

#### Avrinnande vatten

Det avrinnande vattnet från terminalen samlades ofta upp i diken för att ledas till någon form av behandling. Dikena medförde även att bärigheten för arbetsfordon förbättrades (figur 8). Beroende på dikenas

utformning och läge samlades, förutom vatten som rann på markytan, även vatten som passerat det översta marklagret. Detta avrinnande vatten innehöll höga halter av fosfor och TOC. Vid en jämförelse med lakvattnet från stockarna var halterna av fosfor,



Figur 8. Det avrinnande vattnet från terminalen samlades ofta upp i diken för att ledas till någon form av behandling. Detta avrinnande vatten innehöll höga halter av fosfor och TOC. Foto 2005-08-04.



TOC och färgtal lägre i avrinnande vatten för motsvarande tid. Detta berodde troligen på att "reningsprocesser" startade när lakvattnet passerade de övre markskikten.

I tabell 3 och figur 9 redovisas uppmätta halter i avrinnande vatten under en fyraårsperiod. Sammanställningarna omfattar 15 terminaler som samtliga varit i drift under 4 år.

I diagrammen redovisas medianvärdet, percentil 25 och percentil 75 för varje år. I intervallet mellan percentil 25 och percentil 75 återfinns hälften av de uppmätta mätvärdena.

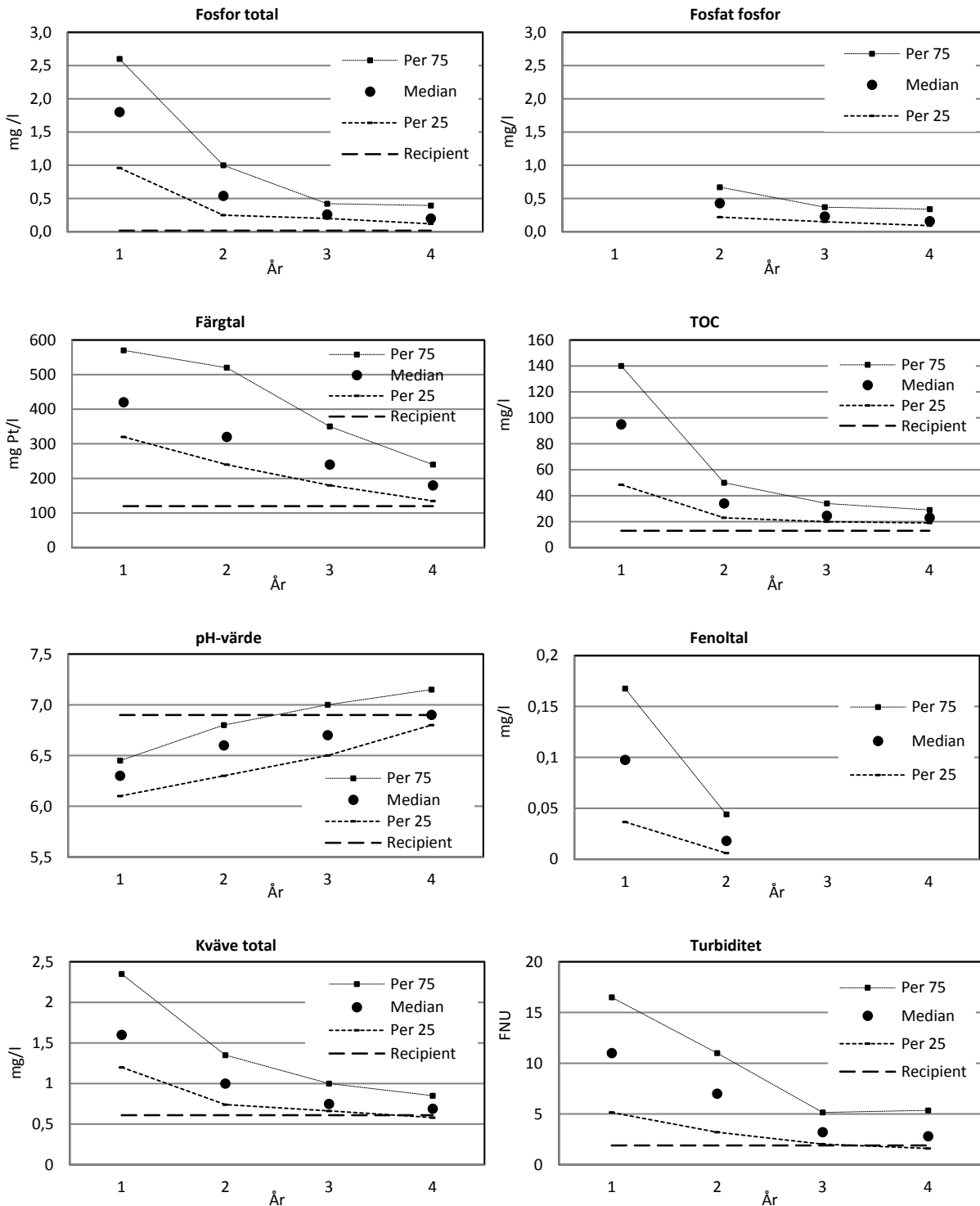
I diagrammen visas även, för jämförelse, de ungefärliga halterna av respektive parameter i recipienten. Värdet är medianvärdet från terminalernas recipienter.

Fosfatfosfor analyserades inte i samband med de tidigaste provtagningarna under första året varför resultatet från första året inte redovisas i figur 9 utan endast i tabell 3 där det framgår hur många analyser som gjorts. Fenoltal analyserades endast vid ett fåtal platser under år 3 och 4. Analysen utgick ur provtagningsprogram p.g.a. låga halter under detektionsgräns. Jämför med läckagevatten i tabell 2 där fenoltalet är mycket lågt efter 1 år.

Fosfor, TOC och fenoltal minskar kraftigt under första året och halterna fortsätter att minska under följande år. Efter fyra år är dock fosforhalterna fortfarande mycket höga i förhållande till recipienten. I

Tabell 3. Vattenkemiska analysresultat av avrinnande vatten från 15 timmerterminaler som samtliga bevaknats och provtagits i fyra år. Medelvärden för pH är beräknat via omräkning till H<sup>+</sup>, "Per 25" och "Per 75" står för 25 %- respektive 75 %-percentilen.

		Fenoltal	Fosfatfosfor	Fosfor total	Färgtal	Kväve total	pH	TOC	Turbiditet
År 1	Medel	0,136	1,202	1,931	478	1,8	6,0	115	16
	Antal	50	16	51	51	51	51	51	51
	Per 25	0,037	0,670	0,960	320	1,2	6,4	49	5
	Per 75	0,168	1,425	2,600	570	2,4	6,1	140	17
	Min	0,002	0,190	0,210	80	0,4	7,0	16	2,6
	Max	0,700	3,500	7,200	1200	4,4	5,0	774	84
	Median	0,098	1,150	1,800	420	1,6	6,3	95	11
År 2	Medel	0,033	0,517	0,698	417	1,4	6,2	38	17
	Antal	33	53	59	59	59	59	59	59
	Per 25	0,006	0,220	0,250	240	0,7	6,8	23	3
	Per 75	0,044	0,670	1,000	520	1,4	6,3	50	11
	Min	0,003	0,040	0,011	60	0,4	7,6	8	0,8
	Max	0,150	2,100	2,800	1440	5,8	4,9	80	410
	Median	0,018	0,430	0,540	320	1,0	6,6	34	7
År 3	Medel	0,014	0,304	0,372	290	1,0	6,5	28	4
	Antal	11	50	50	50	50	50	50	50
	Per 25	0,006	0,150	0,200	180	0,7	7,0	20	2
	Per 75	0,012	0,370	0,423	350	1,0	6,5	34	5
	Min	0,002	0,022	0,037	90	0,4	7,3	9	0,7
	Max	0,078	1,200	1,400	600	3,5	5,7	85	15
	Median	0,007	0,230	0,260	240	0,8	6,7	25	3,2
År 4	Medel		0,297	0,399	204	0,8	6,6	26	6
	Antal		55	55	55	55	55	55	55
	Per 25		0,092	0,120	135	0,6	7,1	19	2
	Per 75		0,340	0,395	240	0,9	6,8	29	5
	Min		0,010	0,027	65	0,4	7,8	13	0,5
	Max		2,200	2,600	660	2,7	5,2	77	43
	Median		0,160	0,200	180	0,7	6,9	23	2,8



Figur 9. Vattenkemiska analysresultat av avrinnande vatten från 15 timmerterminaler som samtliga bevattnats och provtagits i fyra år. Medelvärden för pH är beräknade via omräkning till  $H^+$ . I diagrammen redovisas värden för median, 25 %- och 75 %-percentiler samt ungefärlig halt i terminalernas recipienter.

avrinnande vatten från terminalen är halterna ca tio gånger högre än i recipienterna. Andelen fosfatfosfor av totalfosfor är konstant hög, ca 80 %, under hela perioden. Färgtal, kvävehalterna och turbiditet minskar successivt under perioden och är efter fyra år i samma nivå som kan förväntas i respektive recipient.

pH-värdet stiger kontinuerligt under hela perioden, från 6,3 till 6,9.

De mängder av fosfor, kväve och TOC som transporteras i det avrinnande vattnet är beräknade och redovisas i tabell 4. I tabellen är transporten beräknad för de fyra bevattningssäsongerna. Beräkningarna

Tabell 4. Transporterade mängder av fosfor, kväve och TOC i avrinningsvatten från timmerterminaler under fyra år. Beräkningar från 15 terminaler som samtliga bevattnats och provtagits i fyra år. Inom parentes anges intervallet mellan 25 %- och 75 %-percentilerna.

Bevattningssäsong	Fosfor total	Kväve total	TOC
	kg/dygn och 1000 m <sup>3</sup> fub	kg/dygn och 1000 m <sup>3</sup> fub	kg/dygn och 1000 m <sup>3</sup> fub
1	0,029 (0,014–0,039)	0,027 (0,018–0,035)	1,7 (0,7–2,1)
2	0,010 (0,004–0,015)	0,021 (0,011–0,020)	0,6 (0,3–0,7)
3	0,006 (0,003–0,006)	0,015 (0,010–0,015)	0,4 (0,3–0,5)
4	0,006 (0,002–0,006)	0,012 (0,009–0,013)	0,4 (0,3–0,4)

utgår från en terminaluppbyggnad med 20 000 m<sup>3</sup>fub/ha och höjden 5 m. Bevattningsmängden är densamma under 4 år, 40 mm/dygn, varav 25 % avdunstar och 30 mm når marken och utgör avrinnande vatten. Koncentrationen av fosfor, kväve och TOC i avrinnande vatten är antagen som medelhalten under respektive bevattningssäsong.

#### Reningsanläggningar, reningsgrad

##### Sedimenteringsdammar och översilning

Vid terminalerna fanns någon form av anläggning för att behandla det avrinnande vattnet. Åtgärderna syftade till att föroreningar i vattnet skulle minska genom sedimentering, upptag eller nedbrytning. Detta kunde ske genom sedimenteringsdammar, översilning av ett markområde eller infiltration i marken. I praktiken förekom olika kombinationer av dessa åtgärder. Utformningen av sedimenteringsdammar varierade, från grävda dammar till dämnd åkermark (figur 10). Storleken varierade mellan 300 m<sup>2</sup> och drygt 1 ha. Översilning förekom på ett fåtal platser, både på plana och sluttande områden. På plana områden var gränsdragningen mellan infiltration och översilning oklar.

Exempel på översilning kan hämtas från Södra Skogs terminal i Odensjö och Klövdala. Där arrangerades bevattningssystemet så att det skapades ett översilningsområde på svagt sluttande mark mellan

timret och uppsamlingsdammen. En svårighet vid översilning kan vara att få en jämn fördelning av vattnet över ytan. I Odensjö skapades grunda körspår tvärs lutningen och i Klövdala samlades vattnat upp i tre fördelningsdiken. De två översta var grävda i horisontalplanet vilket innebar att vattnet som brädade diket fördelades över en stor yta. Eftersom sluttningen inte var jämn innebar det att diken inte blev raka utan följer sin "höjdkurva" (figur 11). I det nedersta diket samlades vattnet till uppsamlingsdammen (Larsson 2013a).

I tabell 5 redovisas förändringen av några parametrar vid passagen genom sedimenteringsdammen eller översilningsområdet. Beräkningarna är medeltal för hela gruppen av 11 dammar respektive fem översilningsområden. I den statistiska analysen med "one-sample t-test" är varje damm representerad med ett medelvärde av alla analyser under 4 år för varje parameter. Medelvärdet är skillnaden mellan in och ut ur dammen. T-test analyserar om medelvärdet från olika dammar är skilt från noll. Tabellen visar t.ex. att för fosfatfosfor är skillnaden mellan ingående och utgående vatten i genomsnitt 20 %, vilket motsvarar 0,081 mg P/l.

De parametrar som påverkades av sedimenteringsdammar och översilning var fosfor och TOC. Reningsgraden vid elva sedimenteringsdammar var i medeltal 26 % för totalfosfor och 9 % för TOC. Vid



Figur 10. Sedimenteringsdammar vid Bergön och Gunnarp. Foton 2006-08-25 resp. 2006-08-06.



Figur 11. Översilning vid Odensjö och Klövåå. Foto 2005-08-08 resp. 2007-09-07.

översilning uppnåddes vid fem anläggningar i genomsnitt samma reningsgrad, 26 % för fosfor och 15 % för TOC (tabell 5).

Reningsgraden har inte varit kopplad till storleken på dammen eller koncentrationen i tilloppsvattnet. Från resultaten kan man inte dra slutsatser om anläggningarna fungerar bättre eller sämre efter några år. En eventuell förändrad funktion maskeras av att haltarna sjunker med tiden i inkommande vatten och därmed blir skillnaderna mellan ingående och utgående vatten mindre.

I tabell 6 redovisas varje anläggning för sig. På grund av osäkerhet om normalfördelning av alla parametrar har två beräkningssätt använts i den statistiska analysen i tabell 6, "parad" t-test och Wilcoxon test. T-testen analyserar om två medelvärden skiljer sig åt och kräver normalfördelning av mätvärdena. Wilcoxon test jämför medianvärden från matchade prov (parade), i detta fall vatten in och ut ur samma damm. Testen bygger på att rangordna medianvärden och analysen är mindre känslig för kraftigt avvikande värden. Testen kräver minst 6 prov för att kunna nå signifikansnivån  $p < 0,05$ . De två metoderna ger ett samstämmigt resultat. Fosfor och TOC är de parametrar som förändras mest och oftast.

Variationen mellan olika anläggningar är stor. Vid de två terminalerna Klövåå (KLO) och Odensjö (ODE) var översilningsområdena anlagda på sluttande mark. Resultaten visade att minskningen av fosfor (57 %), färgtal (39 %) och TOC (35 %) var betydande vid Klövåå. Vid översilning infiltrerades eller avdunstade stora mängder vatten. Det innebär att även om haltminskningen inte var stor vid översilningen så minskade transporten av fosfor och organiskt material till omgivande miljö. Denna har inte varit möjlig att beräkna men en uppskattning från Odensjö är att transporten minskar upp till 90 % under varma och torra sommarperioder.

#### Recirkulering

För att minska mängden förorenat vatten som lämnade terminalen och minska behovet av färskvatten utnyttjades recirkulerande vattensystem på vissa terminaler. Genom recirkulering återanvändes det avrinnande vattnet för bevattning (figur 12). Under det första bevattningsåret var fosfor, färgtal och TOC kraftigt förhöjda och generellt högre i recirkulerande vatten än i avrinnande vatten från terminalerna med öppna system. I recirkulerande system sjunker haltarna succesivt genom inblandning av färskvatten

Tabell 5. Reningsgrad angiven som % (Diff. %) och förändrad koncentration, mg/l (Diff. enhet). Koncentrationen på inkommande vatten anges som mg/l (Medelhalt in). Statistiskt säkerställda förändringar ( $p < 0,05$ ) är markerade med \*.

	Fosfat-fosfor	Fosfor total	Färgtal	Kväve total	TOC	Turbiditet	H <sup>+</sup>	Antal värden
Sedimenteringsdammar								
Diff. %	20 *	26 *	1	5	9 *	-20	-97	11
Diff. enhet	0,081 *	0,204 *	8	0,083	4,7 *	-1	-0,584	11
Medelhalt in	0,427	0,766	378	1,27	43	9	0,669	11
Översilning								
Diff. %	33 *	26 *	12	-9	15 *	-20	-22	5
Diff. enhet	0,325	0,343	40	-0,12	7,3	-0,1	0,012	5
Medelhalt in	0,732	1,010	285	1,25	42	4,6	0,219	5

Tabell 6. Reningsgrad angiven som % (Diff%). Statistisk analys med t-test och Milcoxon test. Statistiskt säkerställda förändringar i t-testen ( $p < 0,05$ ) är markerade med \* vid %-talet, respektive med ett T-tal i Milcoxon-testen. N = antal.

Lokal	Fosfat-fosfor			Fosfor total			Färgtal			Kväve total			TOC		Turbiditet	
	Diff%	T-tal	N	Diff%	T-tal	N	Diff%	T-tal	N	Diff%	T-tal	N	Diff%	T-tal	N	
Sedimentationsdammar																
BER	45 *	1	8	50 *	1	8	29 *	0	8	18	8	10	8	35 *	3	8
FLA	51		8	50 *	1	10	11	10	21	10	27	10	-40		10	
GIS	-14		10	25		13	-5	13	3	13	14	13	63		13	
GUN	18 *	15	13	28	12	18	23	18	-11	18	21 *	22	18	23	18	
HAG	19		12	23		14	-11	14	13	14	12 *	10	14	-61	14	
LAG	42 *	0	6	49 *	0	7	8	7	29	7	23	7	-125	7		
RAM	-9		9	-4		10	10	10	-22	0	10	-2	10	43	10	
SKA	60		6	45	0	7	-21	7	11	7	3	7	26	7		
SMA	4		10	2		11	8	11	8	11	-4	11	40	11		
TRA	-2		5	35		5	20	5	42	5	1	5	93	5		
TRO	3		13	-15		13	-62	13	-52	13	-1	13	-271	13		
Översilning																
ELI	32		3	11 *		3	-3	3	-18	3	3	3	-173		3	
HAM	28		7	12		11	-14	11	10	11	12	3	11	21 *	10	11
KLO	58 *	0	8	57 *	0	8	39 *	0	8	-23	8	35 *	0	8	35	8
ODE	13		6	25	2	8	2	8	-8	8	14 *	0	8	-8	8	
TIM			3	26		3	35 *	3	-6	3	13	3	25		3	

p.g.a. vattenförluster genom infiltration och avdunstning. Halterna sjunker dock långsammare i recirkulerande bevattningssystem än vid färskvattenbevattning där de utlakade mängderna leds bort (tabell 7 och figur 13). Recirkuleringsgraden har inte studerats i detalj på alla terminaler, men genom registrering av pumptider har recirkuleringsgraden beräknats till 80–95 % för de terminaler som ingår i tabell 7.

Vid en jämförelse mellan de bevattningssystem som byggdes vid de tillfälliga timmerterminalerna efter stormen Gudrun har de recirkulerande syste-

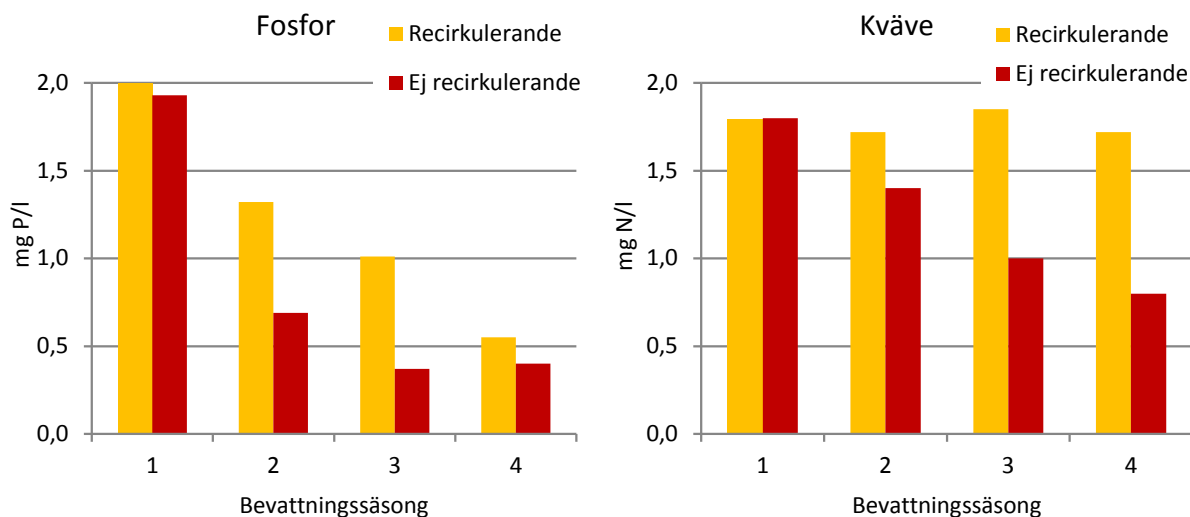
men med mindre vattentransport från anläggningarna bidragit med mindre föroreningar till omgivningen. En hög recirkuleringsgrad är dock inte den enda parametern vid bedömning av potentiella föroreningar från en terminal. En viktig parameter för att minimera föroreningsmängd och energiåtgång (el till pumpar) är en väl avvägd bevattningsmängd i förhållande till avdunstningen. Vi kan tänka oss det teoretiska fallet där bevattningen är densamma som avdunstningen, vilket medför att det inte sker någon avrinning. Energiåtgången är då minimerad och recirkuleringen är 0 %. Detta fall är i praktiken inte



Figur 12. Dammar som ingår i ett recirkulerande bevattningssystem vid Ryningsholm och Brokind. Foton 2007-09-03 resp. 2007-06-07.

Tabell 7. Vattenkemisk analys av recirkulerande vatten vid några timmerterminaler under 4 bevattningssäsonger. Recirkuleringsgraden är beräknad till 80-95 % för dessa terminaler.

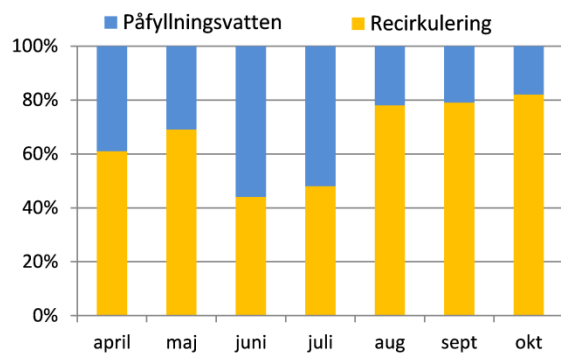
Bev. säsong	Fosfor total mg/l	Färgtal mg Pt/l	Kväve total mg/l	pH	TOC mg/l	Antal värden	Antal terminaler
1	2,0	499	1,8	6,6	96	10	4
2	1,3	252	1,7	7,0	48	13	4
3	1,0	328	1,9	7,0	46	6	2
4	0,6	228	1,7	7,1	41	5	2



Figur 13. Vattenkemisk analys från recirkulerande vattensystem och avrinnande vatten från terminaler utan recirkulering under fyra bevattningssäsonger. Data från tabell 3 och 7.

önskvärt eftersom effekten av bevattningen blir osäker. Därmed ökar risken för kvalitetsförsämringar på timret, som representerar mycket stora värden. Erfarenheter och avancerad bevattningsteknik underlättar bedömningen av lämplig bevattningsmängd. Detta finns på fasta timmerterminaler, men är svårare att bygga på tillfälliga terminaler där lagringstiden är kort eller okänd.

Ett exempel på hur ett recirkulerande bevattningssystem har fungerat i praktiken redovisas i figur 14.



Figur 14. Påfyllningsvatten och recirkuleringsgrad vid timmerterminalen Byholma.

Exemplet kommer från Vidas timmerterminal Byholma (Anonymous 2008). I figuren är bevattningsmängden 100 %. Mängden vatten som behöver tillföras varierar under bevattningssäsongen. I september och oktober då avdunstningen var låg och förlusterna troligen dominerades av avrinning och infiltration var påfyllningsgraden ca 20 %. Under vår och sommar då avdunstningen var stor ökade påfyllningsgraden upp till ca 55 %. Den genomsnittliga recirkuleringsgraden under bevattningssäsonger var ca 65 %.

#### Effekter i recipienten

Vid planeringen av timmerterminalernas placering var tillgången på stora vattenmängder för bevattningen viktig. De flesta terminalerna blev därmed förlagda i direkt anslutning till förhållandevis stora vattendrag. Detta medförde att när lakvattnet från terminalen nådde recipienten blev utspädningen oftast stor och någon påverkan på recipienterna har inte kunnat påvisas. I något fall har terminalen varit placerad vid ett förhållandevis litet vattendrag vilket lett till en påverkan.

Utvärderingen omfattar 12 terminaler. Att det totala antalet terminaler i utvärderingen är förhållandevis få, beror på att det vid flera terminaler saknas provpunkter både upp- och nedströms terminalen. Det fanns flera orsaker till detta, t.ex. att endast en provpunkt finns i recipienten när terminalen är belägen vid en sjö. En annan orsak var att terminalen hade en väl fungerande recirkulering, varför provtagning i recipienten bedömdes som onödig. Vidare var flera terminaler tätt placerade utmed samma vattendrag (exempelvis i Lagan) varvid upp- och nedströms blir svårdefinierat.

I tabell 8 anges medelhalter upp- och nedströms terminalerna. Några signifikanta förändringar har skett som säkerligen inte har med terminalen att göra. T.ex. har medelhalten av TOC minskat i Alsterån, Årån och Musån. I Bolmån och Nissan har turbiditeten ökat respektive minskat. Dessa förändringar stöds inte av några andra förändringar i parametrar som kan kopplas till terminaler, såsom ökning av fosfor, färgtal och TOC.

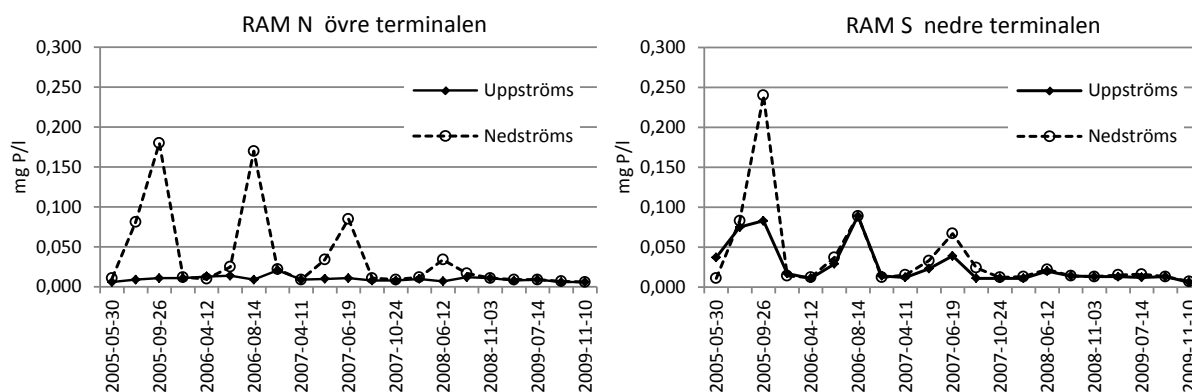
Terminalen vid Ramkvilla (RAM N) har påverkat recipienten, som är ett mindre vattendrag. Ytterligare

en terminal (RAM S) är belägen nedströms samma vattendrag, men påverkan från denna terminal maskeras av den uppströms liggande RAM N (Larsson 2013b). Det är främst fosfor som är av intresse. Som medeltal har fosfor ökat från 0,010 till 0,036 mg/l. I figur 15, som visar alla mätningar från båda terminalerna, framgår att under bevattningssäsongerna ökade halterna för att sedan minska vintertid. De höga halterna var dock lägre för varje år och efter bevattningssäsongerna sjönk halterna till "normala" halter. Efter det att terminalerna upphört är halterna åter normala.

För att kontrollera om de höga fosforhalterna påverkade algutväxten i vattendraget, vilket var en potentiell risk, analyserades påväxtalger i vattendraget nedströms terminalerna. Resultatet visade att algerna inte reagerat på de höga fosforhalterna. Algproverna visade på mycket högt indexvärde, d.v.s. rent vatten vid båda analystillfällena 2005-09-28 och 2006-09-11 (Larsson 2013b).

Tabell 8. Medelhalter upp- och nedströms bevattnade timmerterminaler. I de fall förändringen är statistisk säkerställd ( $p < 0,05$ ), markeras värdena med fet stil.

Vattendrag	Terminal	Medel	Fosfor total (mg/l)		Färgtal (mg Pt/l)		Kväve total (mg/l)		TOC (mg/l)		Turbiditet (FNU)	
			Upp	Ned	Upp	Ned	Upp	Ned	Upp	Ned	Upp	Ned
Bolmån	HAM	Medel	0,014	0,016	128	127	0,61	0,58	12,3	13,0	<b>2,2</b>	<b>2,6</b>
		p-värde		0,323		0,787		0,265		0,059		<b>0,010</b>
Alsterån	SIL	Medel	0,014	0,009	206	150	0,47	0,44	<b>17,2</b>	<b>12,5</b>	1,5	1,6
		p-värde		0,282		0,071		0,474		<b>0,044</b>		0,640
Årån	ED	Medel	0,017	0,023	113	111	0,54	0,59	<b>13,1</b>	<b>12,5</b>	2,7	1,9
		p-värde		0,230		0,777		0,155		<b>0,02</b>		0,440
Nissan	GIS	Medel	0,015	0,014	220	225	0,61	0,59	13,0	19,5	1,9	2,2
		p-värde		0,645		0,391		0,548		0,391		0,198
Ätran	GUN	Medel	0,019	0,016	123	113	0,74	0,66	11,8	11,4	2,1	2,3
		p-värde		0,184		0,096		0,129		0,418		0,380
Lagan	KNÄ	Medel	0,018	0,016	140	145	0,67	0,68	12,6	13,5	3,0	2,9
		p-värde		0,434		0,563		0,487		0,155		0,369
Nissan	SMÅ	Medel	0,020	0,020	193	184	1,00	0,74	14,0	13,1	<b>2,6</b>	<b>2,1</b>
		p-värde		0,681		0,261		0,453		0,249		<b>0,045</b>
Ätran	TIM	Medel	0,018	0,020	82	84	1,14	1,12	11,6	12,2	2,2	2,3
		p-värde		0,261		0,738		0,406		0,473		0,103
Musån	TRA	Medel	0,017	0,021	275	287	0,53	0,53	<b>17,1</b>	<b>16,5</b>	2,9	3,3
		p-värde		0,078		0,124		0,585		<b>0,018</b>		0,156
Emån	REP	Medel	0,019	0,018	108	102	0,79	0,78	14,6	14,3	10,1	10,0
		p-värde		0,057		0,527		0,795		0,576		0,407
Trattebäcken	RAM S	Medel	0,026	0,036	119	112	0,53	0,59	13,8	14,1	8,0	8,3
		p-värde		0,207		0,221		0,137		0,729		0,501
Trattebäcken	RAM N	Medel	<b>0,010</b>	<b>0,036</b>	115	121	0,52	0,56	<b>13,4</b>	<b>15,4</b>	<b>8,6</b>	<b>9,5</b>
		p-värde		<b>0,028</b>		0,409		0,101		<b>0,036</b>		<b>0,008</b>



Figur 15. Fosforhalter i recipienten uppströms och nedströms övre terminalen (RAM N) och nedre terminalen (RAM S).

### Effekter på grundvatten

Vid timmerterminalen Byholma installerades grundvattenrör för bedömning av terminalens påverkan på grundvattnet avseende nivåförändringar och vattenkvalitet. Rören installerades i anslutning till timret och på 40, 170, 190 och 280 m avstånd. Utifrån de prover som togs bedömdes grundvattnet efter 5 år som mindre lämpligt för konsumtion på ett avstånd upp till cirka 200 m från timmerupplaget. TOC-halten var vid gränsen för tjänlighet med anmärkning för allmänt dricksvatten och under gränsen för enskilt vatten. På större avstånd från timmerbevattningen bedömdes inte bevattningen ha förändrat grundvattnets status med avseende på användning som konsumtionsvatten. (Anonymous 2010)

Lakvattnet från timmerbevattningen innehöll stora mängder fosfor. I grundvattenrören kunde efter 3 år ingen påverkan med förhöjda fosforhalter ses. Detta innebar att fosfor fastlades eller avskiljdes (vid partikulärt bunden fosfor) i princip helt, när lakvattnet infiltrerade i marken och bildade grundvatten. I flera grundvattenrör fanns det fenoler (fenoltal) i vattnet vid den första provtagningen 2005. Halterna var då ca 0,006 mg/l. Halterna minskade senare till  $\leq 0,002$  mg/l. Då samtliga rör i början hade högre fenoltal och det mest avlägsna rimligtvis inte kan ha påverkats av timmerbevattningen vid denna tidpunkt så bedömdes de initiala halterna inte härröra från timmerbevattningen utan vara naturligt förekommande (Anonymous 2008).

### Markanalyser

Timret bevattnades med stora vattenmängder (ca 50 mm/dygn) under lång tid, som mest 4 år. Bevattningsperioden var generellt april–oktober. En del av vattnet avdunstade direkt från timret medan en del nådde marken. Detta vatten innehöll utlakade ämnen från bark och ved och hade förhöjda halter av t.ex. fosfor, kalium och organiskt material. Mängden av

dessa ämnen varierade med tiden. Många av terminalerna var placerade på jordbruksmark. De stora vattenmängderna som nådde marken skulle kunna bidra till en urlakning av näringsämnen från marken samtidigt som vattnet tillförde ämnen från timret.

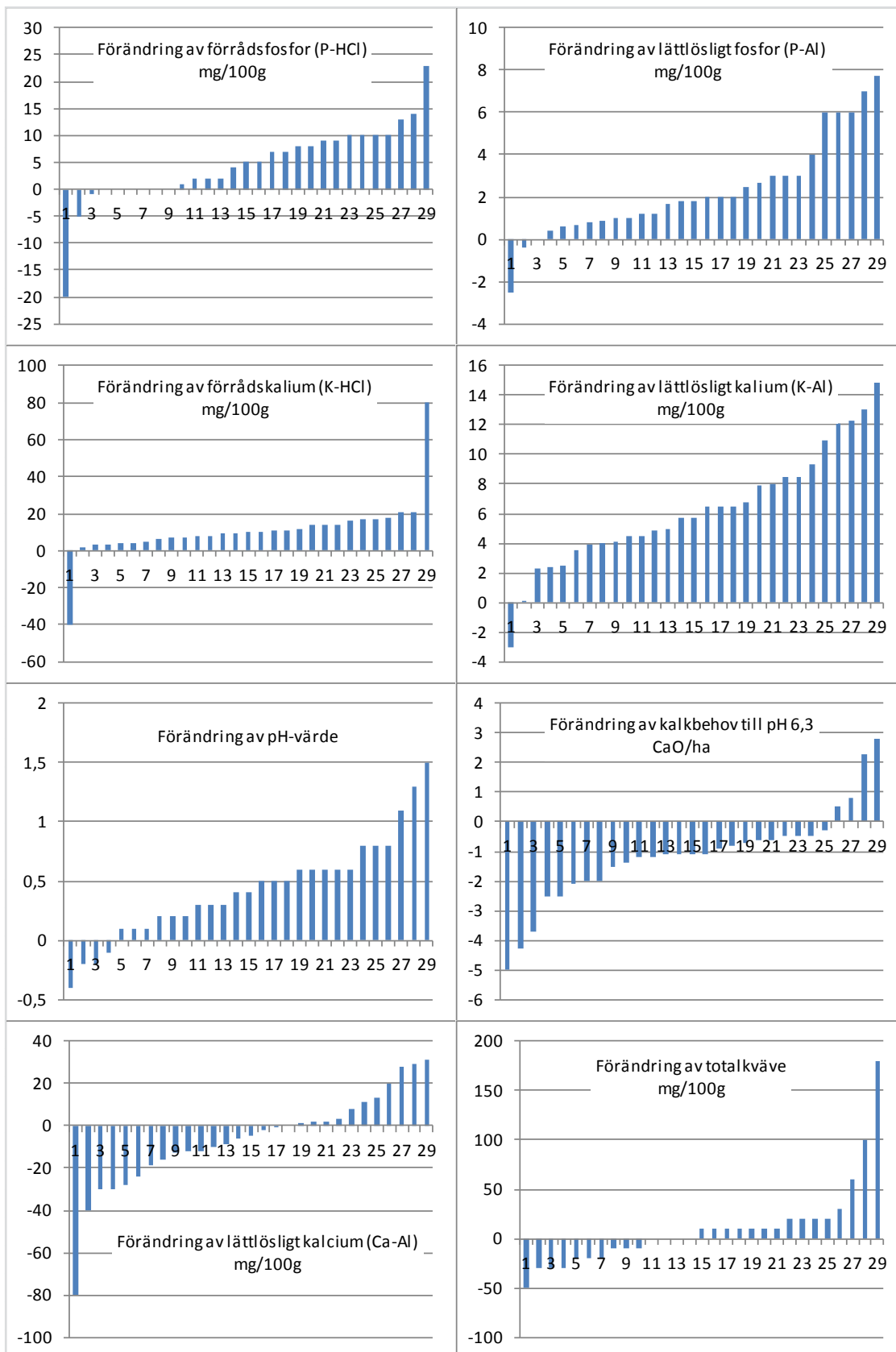
För att dokumentera näringsinnehåll och kalkbehov i marken togs jordprover före och efter lagringsperioden på 11 terminaler som var placerade på jordbruksmark. Jordprover togs på 2–4 provpunkter inom varje terminalområde. Vid varje provpunkt togs tio delprov i en cirkel med radien 10 m. För att återfinna provplatserna efter lagringsperioderna angavs koordinaterna för cirkelytans centrum med GPS. Prov togs från nivåerna 0–20 cm och 40–60 cm under markytan, vilket motsvarar nivåerna i och under plogdjup. Analyserna omfattade pH, förrådet av fosfor (P), kalium (K) och koppar (Cu) samt löslig fosfor (P), kalium (K), kalcium (Ca) och magnesium (Mg). Dessutom beräknades kalkbehov, mullhalt och lerhalt. Provtagningen vid de 11 terminalerna resulterade i 29 prover före och efter lagringsperioden i det ytliga jordlagret (0–20 cm) och 23 prover i det djupare jordlagret (40–60 cm).

Dessa standardanalyser för näringsstatus i åkermark visade att den befarade urlakningen av åkermarken uteblev och urlakade ämnen från timret snarare ledde till förhöjda halter i marken. Analysresultaten visar att vid de flesta terminaler har förrådet av fosfor och kalium ökat efter timmerlagringen. Kalkbehovet minskade och pH-värdet ökade i 25 av de 29 provpunkterna. Dessa förändringar var tydliga i det övre jordlagret 0–20 cm. I djupare lager, 40–60 cm, fanns en tendens till förändring i samma riktning, men den var betydligt mindre och osäkrare. Mängden kväve och lösligt kalcium i marken visade ingen generell förändring. Halterna ökade vid några terminaler och minskade vid andra (tabell 9, figur 16). I tabellen visas en sammanställning av analysresultat och beräknade markkemiska parametrar före och efter lagringsperioden. Förändringen under lagringstiden anges i absoluta tal och som procentuell



Tabell 9. Markkemiska analyser på markprover tagna före och efter timmerlagring. 29 provpunkter på 0–20 cm djup och 23 provpunkter på 40–60 cm djup, inhämtade från 11 timmerterminaler. Medelvärde för pH är beräknat via omräkning till H<sup>+</sup>. T-testet visar signifikanta förändringar, då P<0,05 = \*, P<0,01 = \*\* och P<0,001 = \*\*\*.

	Före lagring av timmer							Efter lagring av timmer							Förändring	
	Me-del	Me-dian	Min	Max	Perc 25 %	Perc 75 %	N	Me-del	Me-dian	Min	Max	Perc 25 %	Perc 75 %	N	Me-del	%
<b>Djup 0–20 cm</b>																
pH	5,3						29	5,9						29	0,6	***
pH mål	6,1	6,1	5,9	6,4	6,0	6,2	29	6,1	6,1	5,7	6,4	6,0	6,1	29		
Kalkbehov (ton CaO/ha) till																
- pH 6,3	2,5	2,4	0,0	5,9	1,5	3,2	29	1,4	1,1	0,0	4,7	0,7	1,9	29	-1,1	-45 ***
- pH 6,8	4,4	4,7	2,0	8,0	3,0	5,2	29	3,3	3,2	0,0	8,0	2,1	4,2	29	-1,1	-25 ***
- pH mål	1,8	1,9	0,0	4,7	0,8	2,3	29	0,6	0,7	0,0	1,7	0,0	0,9	29	-1,2	-67 ***
P, lättlösl. P-AL (mg/100g lu)	9,5	9,3	2,0	15,0	6,1	13,0	29	11,8	9,9	2,7	20,0	8,6	15,0	29	2,3	24 ***
P, förråd P-HCl (mg/100g lu)	77	68	28	130	59	98	29	82	75	29	130	65	100	29	4,6	6 ***
K, lättlösl. K-AL (mg/100g lu)	5,7	3,4	1,7	20,0	2,8	6,1	22	12,2	11,0	3,2	27,0	8,6	15,8	22	6,5	114 ***
K, förråd K-HCl (mg/100g lu)	74	49	12	410	27	56	29	85	58	15	420	36	73	29	11,1	15 ***
Ca, lättlösl. Ca-AL (mg/100g lu)	82	56	16	260	30	105	27	75	67	20	230	29	94	27	-7,5	-9
Mg, lättlösl. Mg-AL (mg/100g lu)	7,4	4,9	1,4	21,0	3,5	10,3	20	7,2	6,1	2,4	17,0	3,9	9,1	20	-0,1	-2
K/Mg kvot	1,2	1,1	0,1	3,1	0,7	1,5	29	2,2	2,1	0,6	4,6	1,4	3,2	29	1,0	85 ***
N, totalt (mg/100 mg)	158	155	30	330	118	188	28	169	160	30	470	110	193	28	10,7	7
Lerhalt (%)	8,0	4,0	3,0	39,0	4,0	7,0	28	7,7	5,0	2,0	39,0	3,0	7,0	28	-0,3	-3
Mullhalt (%)	4,0	3,5	0,9	8,1	2,7	5,0	29	4,4	3,5	1,4	11,3	2,9	5,7	29	0,5	12 *
<b>Djup 40–60 cm</b>																
pH	5,7						23	5,9						23	0,2	**
pH mål	6,2	6,2	5,9	6,3	6,2	6,2	23	6,2	6,2	6,0	6,2	6,2	6,2	23		
Kalkbehov (ton CaO/ha) till																
- pH 6,3	0,9	0,6	0,0	5,5	0,4	1,0	23	0,5	0,3	0,0	3,8	0,2	0,6	23	-0,3	-39 *
- pH 6,8	1,8	1,3	0,8	7,6	1,2	1,8	23	1,4	1,2	0,3	5,6	1,0	1,7	23	-0,3	-19 *
- pH mål	0,7	0,4	0,0	3,8	0,2	0,8	23	0,3	0,1	0,0	2,7	0,0	0,3	23	-0,3	-52 **
P, lättlösl. P-AL (mg/100g lu)	3,6	2,9	1,4	7,4	2,1	4,9	15	4,5	3,4	1,3	9,3	2,4	6,8	15	0,8	22 *
P, förråd P-HCl (mg/100g lu)	46	41	11	88	33	64	23	48	44	13	97	33	64	23	1,8	4
K, lättlösl. K-AL (mg/100g lu)	2,3	2,5	1,3	3,2	2,0	2,6	10	5,9	4,9	2,2	11,0	4,0	8,2	10	3,6	156 **
K, förråd K-HCl (mg/100g lu)	55	60	11	98	40	70	23	56	57	12	96	43	71	23	1,7	3
Ca, lättlösl. Ca-AL (mg/100g lu)	38	31	13	97	20	41	7	36	27	17	80	21	45	7	-1,1	-3
Mg, lättlösl. Mg-AL (mg/100g lu)	3,4	2,2	1,6	11,0	1,8	2,9	8	3,1	2,4	1,0	9,2	1,7	3,1	8	-0,4	-11
K/Mg kvot	1,5	1,5	0,3	2,5	1,5	1,6	23	2,7	2,7	0,3	5,5	1,8	3,3	23	1,2	78 ***
N, totalt (mg/100 mg)	54	40	10	280	10	50	13	47	40	10	150	30	50	13	-6,9	-13
Lerhalt (%)	3,1	2,5	2,0	7,0	2,0	3,3	16	3,0	2,0	2,0	7,0	2,0	4,0	16	-0,1	-4
Mullhalt (%)	1,1	0,7	0,3	6,5	0,6	1,0	22	1,2	0,9	0,3	4,9	0,6	1,4	22	0,1	13



Figur 16. Diagrammen visar ett urval av markkemiska förändringar i jordprover tagna före och efter timmerlagring på åkermark. I diagrammen redovisas 29 provpunkter insamlade vid 11 timmerterminaler. Varje stapel visar förändringen i ytliga markskiktet (0–20 cm) vid en provpunkt.

förändring, samt huruvida förändringen är statistiskt säker.

Lättlöslig fosfor har som medeltal ökat med 25 %, från 9,4 till 11,8 mg/100g jord, och lättlösligt kalium har mer än fördubblats. Förrådet av fosfor och kalium har ökat med 6 % respektive 15 %. Kalkbehovet har minskat med i genomsnitt ca 1,1 ton CaO/ha. Eftersom jordbrukskalk vanligtvis innehåller ungefär 50 % CaO, motsvaras 1 ton CaO av ca 2 ton jordbrukskalk.

#### *Sediment i sedimenteringsdammar*

På vissa terminaler anlades sedimenteringsdammar som en reningsåtgärd av avrinnande bevattningsvattnet. I dessa dammar samlades organiskt material som lakats eller lossnat från timret. Även föroreningar i form av eventuellt oljespill från det stora antal lastbilar som besökte terminalen kunde ansamlas i sedimenteringsdammar. För att kontrollera i vilken mån verksamheten medförde att föroreningar transporterades till omgivningen, insamlades sedimentprov från 20 sedimenteringsdammar. Varje prov bestod av tio delprov från olika delar av dammen. Proverna analyserades med avseende på ämnesgrupperna oljor, metaller och organiska ämnen (PAH, polycykliska aromatiska föreningar) och de parametrar som ingick i analysen redovisas i tabell 10. Analysresultaten kan bedömas utifrån Naturvårdsverkets generella riktvärden för förorenad mark, känslig mark (KM) och mindre känslig mark (MKM) samt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för miljökvalitet (Anonymous 1999).

Analysresultaten visade inte på några omfattande föroreningar (figur 16). Sedimenten hade generell låga halter av analyserade parametrar. Alifater C16–C35, som ingår i oljeanalysen, kunde detekteras i 17 av 20 prov. I 10 av dessa prover var halten under 100 mg/kg TS, d.v.s. under riktvärdet för känslig mark enligt Naturvårdsverkets riktlinjer. I sju prover var halterna mellan 100–1000 mg/kg TS, d.v.s. i intervallet mellan känslig mark (100 mg/kg TS) och mindre känslig mark (1000 mg/kg TS). Aromater >C8–C10 och >C10–C16 var under detektionsgränserna 10 mg/kg TS respektive 3 mg/kg TS i samtliga prov. Analyser och summeringar av mängden PAH med låg- respektive medelhög- och hög molekylvikt var samtliga under Naturvårdsverkets riktvärden för känslig mark. Metallhalterna var betydligt under riktvärdena för mindre känslig mark och vid en jämförelse med riktvärden för känslig mark var en analys av zink och en analys av kobolt över respektive riktvärde.

Det är relevant att jämföra sedimenten med sediment i sjöar. Vid en jämförelse med Naturvårdsver-

kets bedömningsgrunder för sediment i sjöar var metallhalterna i sedimenteringsdammar låga eller mycket låga.

I figur 17 redovisas analysresultaten från sediment i sedimenteringsdammar och riktvärden för känslig mark (KM) och mindre känslig mark (MKM).

#### *Bevattning; spridningsbild och volym*

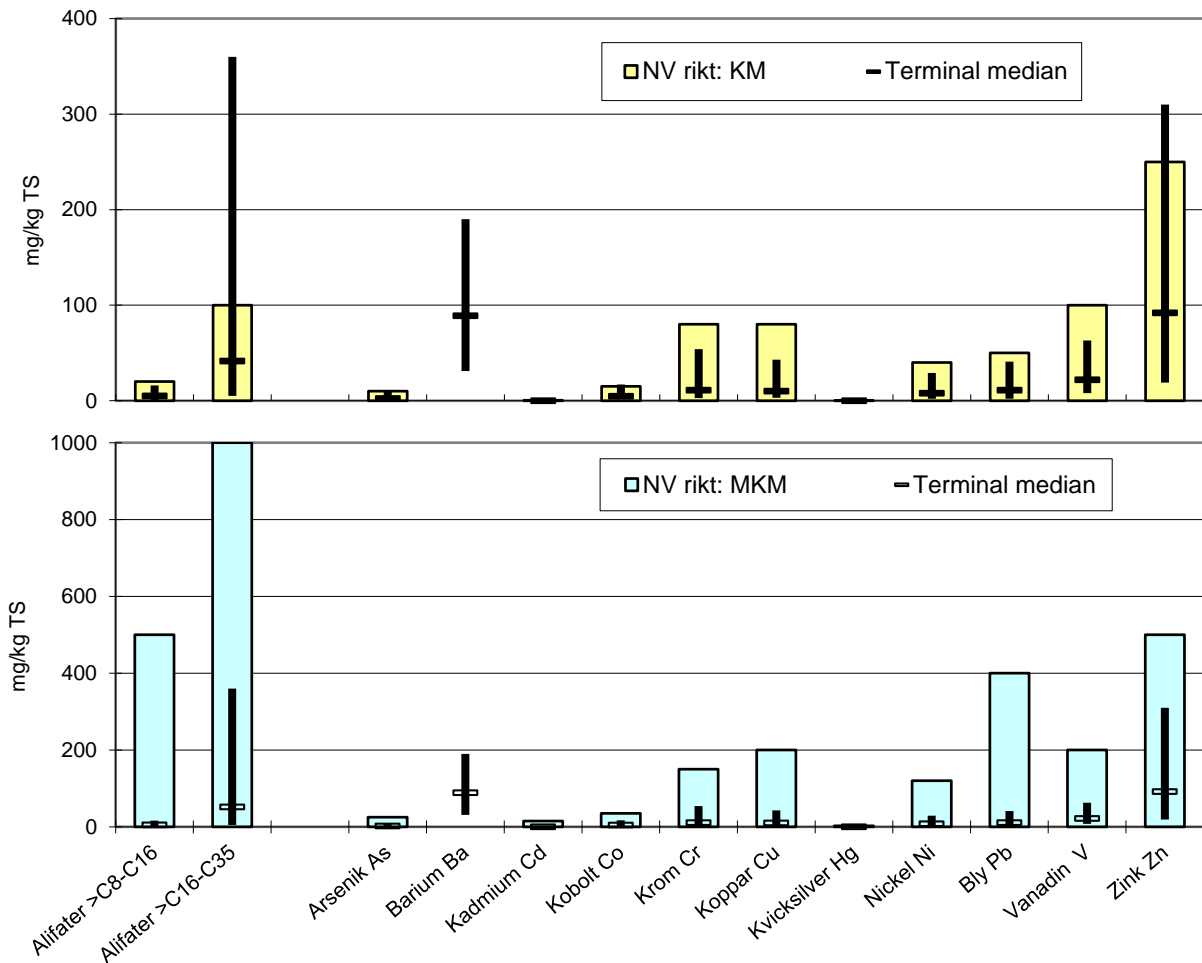
Bevattningsspridare vid två anläggningar testades i praktisk drift efter ca ett års användning. Utrustningen, såsom pumpar och ledningar, i de två anläggningarna var anpassad efter olika bevattningskapacitet. Den mindre anläggningen var en konventionell anläggning som normalt används inom jordbruket. Den större var specialanpassad för timmerterminaler. Testen genomfördes med två spridare vid två olika tillfällen vid respektive anläggning. Uppsamlingskärl placerades med olika avstånd från spridaren i fyra väderstreck.

Resultaten visade att båda anläggningarna gav en relativt jämn spridning upp till 11 respektive 22 m från spridaren. Anläggningen med större kapacitet gav dock en betydligt större mängd. På området med en radie av 22 m spreds 26 m<sup>3</sup>/dygn. För den mindre anläggningen var motsvarande volym 3,8 m<sup>3</sup>/dygn inom 11 m.

Vid ett kapacitetskrav på t.ex. 40 mm/dygn uppfyller den mindre anläggningen det upp till 9,5 m medan den större anläggningen sprider denna mängd till 20 m (figur 18).

Tabell 10. Parametrar i sedimentanalysen

Olja	Metaller	PAH
Alifater	Arsenik As	Benzo(a)antracen
>C8–C16	Barium Ba	Krysen
>C16–C35	Kadmium Cd	Benzo(b,k)fluoranten
	Kobolt Co	Benzo(a)pyren
Aromater	Krom Cr	Indeno(1,2,3-cd)pyren
>C8–C10	Koppar Cu	Dibenzo(a,h)antracen
	Kviksilver	
>C10–C16	Hg	Naftalen
>C10–C34	Nickel Ni	Acenaftylen
	Bly Pb	Fluoren
Oljetyp	Vanadin V	Acenaften
	Zink Zn	Fenantren
		Antracen
		Fluoranten
		Pyren
		Benzo(g,h,i)perylen



Figur 17. Analysresultat från sediment i sedimenteringsdammar vid 20 timmerterminaler. I figuren visas två diagram med Naturvårdverkets riktvärden för "Känslig mark" (KM) respektive "Mindre känslig mark" (MKM). Riktvärdena för respektive parameter visas med bred stapel och spridningen mellan högsta och lägsta uppmätta halt visas som en lodrät linje med medianvärdet markerat. Observera att diagrammen har olika skalor på y-axeln!

## Sjölagring

### Bakgrund

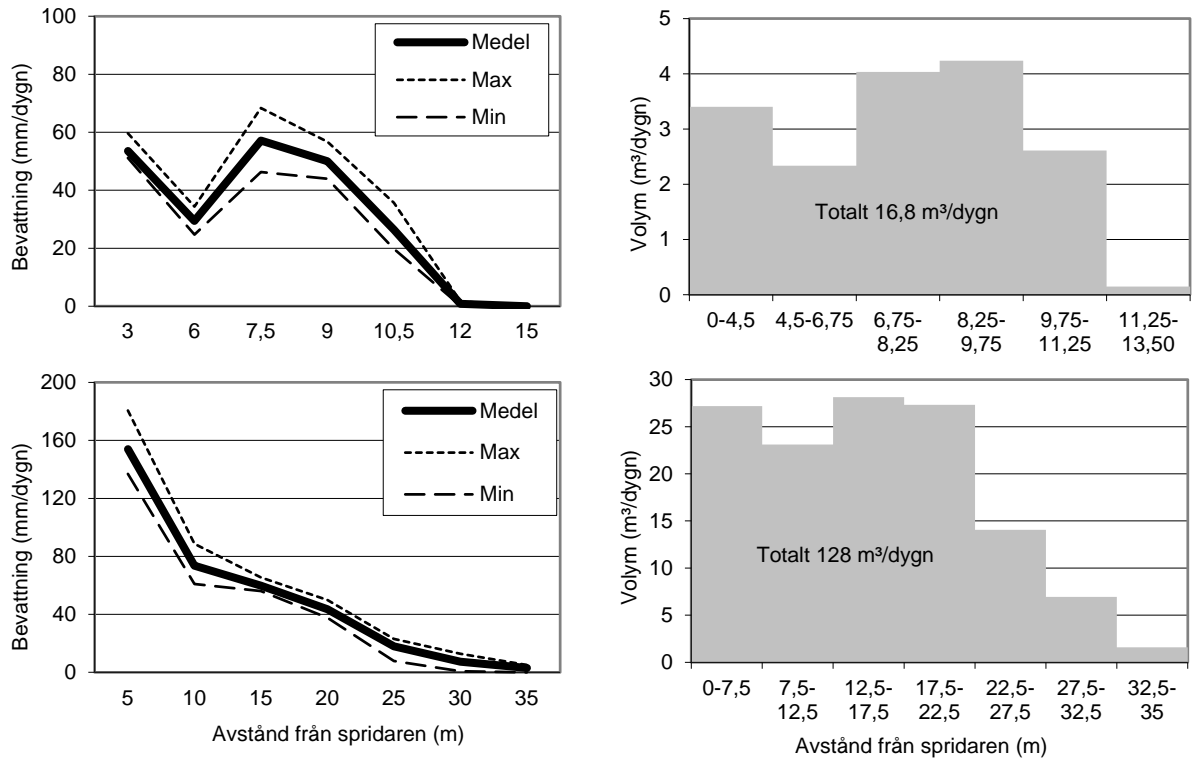
Kisasjön har tidigare under lång tid tillförts avloppsvatten både från industri och från kommun. Stora mängder närsalter och organiskt material belastade sjön under 1950–1980-talet, vilket resulterade i att sjön var kraftigt övergödd. Under senare delen av denna period lagrades även timmer i sjön. Sågverket vid Kinda togs i bruk 1969. Allt timmer som kördes till sågverket lagrades före sågning i Kisasjön. Sjölagringen pågick fram till 1987. Lagringsvolymen varierade mellan 100 000 – 180 000 m<sup>3</sup>fub. För att syresätta sjöns vatten samt hålla kringflytande bark inom timmerlagret, har luftning skett genom perforerade rör strax ovan botten. Genom luftningen skapades en lämplig vattenrörelse runt magasinet. Under 1940–1960 talet förorenades sjön av kvicksilver från

Långasjönäs pappersbruk vid Kisaån uppströms sjön. Detta ledde bl.a. till höga kvicksilverhalter i gädda.

Även om denna föroreningsituation har förbättrats radikalt sedan lång tid tillbaka och sjöns vattenkvalitet förbättrats under 1990-talet, har sjön en komplicerad föroreningshistorik. Detta påverkade beslutet inför timmerlagringen och kontrollprogrammet under lagringsperioden.

### Beslut om lagring – politiska överväganden

Länsstyrelsen ansåg att timmerlagringen utgjorde en risk för miljön men ansåg också att den extraordinära situationen som rådde medförde att samhällsekonomiska aspekter skulle ges stor vikt vid bedömningen. Länsstyrelsen beslutade att tillåta lagring under en begränsad tid, till den 31 december 2006. Tre privatpersoner överklagade beslutet till miljödomstolen. Miljödomstolen delade Länsstyrelsens uppfattning



Figur 18. Spridningsbild från konventionell bevattningsanläggning (övre diagrammen) och från en kraftfull bevattningsanläggning specialanpassad för timmerterminaler (nedre diagrammen), från fyra mätningar, två spridare vid två tillfällen, under totalt 84 (övre) respektive 46 (nedre) bevattningstimmar. Observera att alla skalor är olika!

att timmerlagringen utgjorde ett hot mot miljön men att risken för de biologiska skador som privatpersonerna framfört inte fanns. Miljödomstolen ansåg att låga syrehalter var den potentiellt allvarligaste konsekvensen men att övriga risker inte var skäl att upphäva länsstyrelsens beslut. Miljödomstolen återförde frågan om syrehalter i Kisasjön till Länsstyrelsen men avslog överklagan i övrigt.

Intresset för timmerlagringen i Kisasjön var mycket stort. Flera informationsträffar genomfördes och media gjorde många reportage om den.

#### Timmerlagring 2005–2006

Vid månadsskiftet mars–april 2005 startade iläggning av timmer i sjön. Vid ankomst buntades varje bunt på timmerbilen med stålband före avlastning. På detta sätt erhöles timmerbuntar om ca 18 m<sup>3</sup>, som lades i sjön med truck. Genom att virket lagrades i buntar lossnade endast en mycket liten del av barken från timret (figur 19). Detta var en stor skillnad mot den löslagring med hantering av enskilda stockar som utfördes under tidigare perioder med timmerlagring i sjön.

Under de första tre veckorna var iläggningstakten ca 800 m<sup>3</sup> per dag och ökade till 2 250 m<sup>3</sup> per dag under maj och juni. Under juli ökade iläggningstakten ytterligare till ca 3 000 m<sup>3</sup> per dag. Iläggningen



Figur 19. Timmerbunt som tagits upp från Kisasjön, 2006-12-15.

avslutades 2005-07-22 och den totala timmervoly-men i sjön uppgick då till 246 000 m<sup>3</sup>fub. Timret upptog då en yta av 30 ha, d.v.s. 25 % av södra Kisasjöns yta (figur 20). Bevattning av timret startades med testkörningar under sista veckan i maj och var i kontinuerlig drift i mitten av juni. Utbyggnaden av bevattningen följde sedan iläggningstakten. Bevattningen avslutades i slutet av november 2005. Bevattningen medförde många praktiska problem, med slitage på ledningar och slangar eftersom underlaget av flytande timmer ständigt var i rörelse, om än lite.



Figur 20. Timmerlagring i Kisasjön. Timmervolymer uppgick totalt till 246 000 m<sup>3</sup>fub. Timret upptog då en yta av 30 ha, d.v.s. 25 % av södra Kisasjöns yta. Länsan av stockar visar den maximala utbredningen av timmerlagret under vintern 2005-2006. Upptagning av timmer startade i januari 2006. Flygfoto över Kisasjön 2006-08-25.

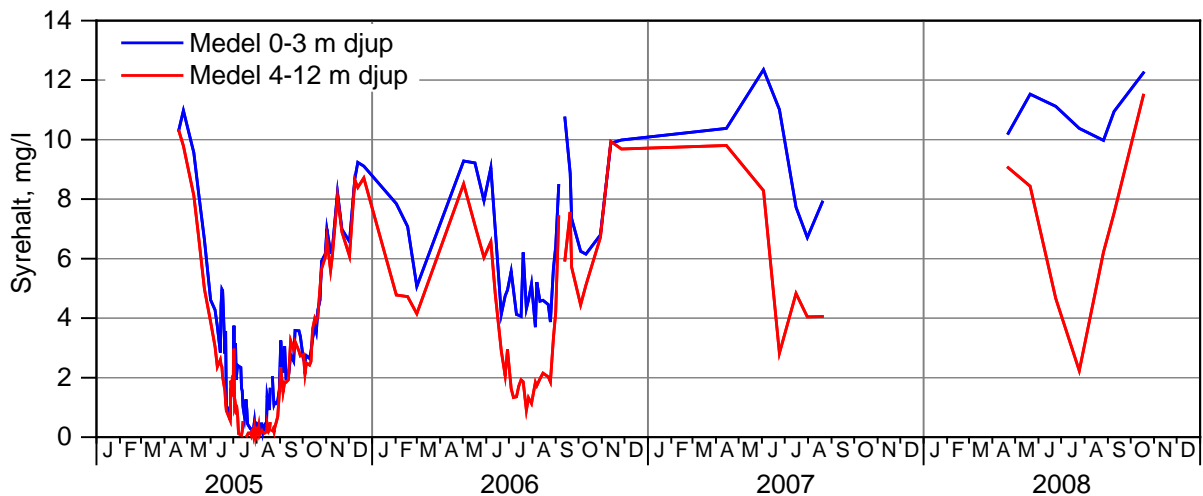
Upptagning av timmer startade i mitten av januari 2006 och löpte under året med en medeltakt av 5 000 m<sup>3</sup> per vecka. Det sista timret från sjölagringen mättes in vid mätstationen 2006-12-18.

#### Miljöeffekter i sjön

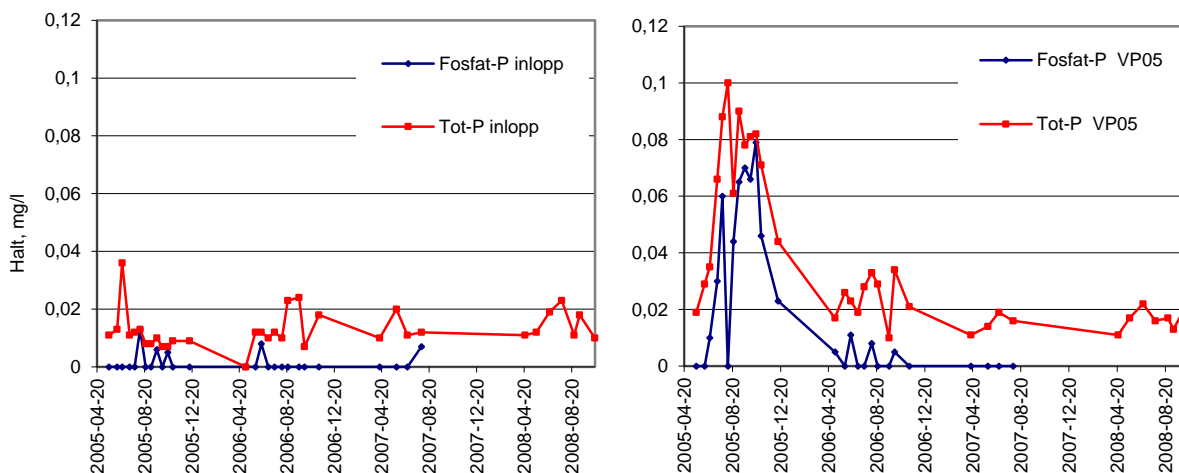
Timmerlagringen medförde kraftigt sjunkande syrehalter och förhöjda halter av fosfor i sjön under som-

maren 2005. Både syretäringen och de förhöjda fosforhalterna var dock av övergående karaktär. Andra kemiska parametrar, såsom pH, färgvärde, totalt organiskt kol, fenoltal och kväve hade påverkats mycket lite eller inte alls, av timmerlagringen. Kontrollprogram och resultat redovisas i rapporten av Larsson (2009).

Syresituationen försämrades mycket snabbt när timret lades i sjön under sommaren 2005. Från 1 maj



Figur 21. Syrehalter i södra Kisasjöns övre och undre vattenmassa under perioden 2005-2008. Timmer lagrades under perioden april 2005 till december 2006.



Figur 22. Halter av fosfatfosfor och totalfosfor i Kisasjöns inlopp och fria vattenmassa (VP05:0,5m) 2005-2008.

till 1 juni sjönk syrehalten från ca 10 mg/l till ca 1 mg/l. Låga syrehalter (under 1 mg/l) registrerades i hela vattenmassan under sommaren fram till slutet av augusti. Situationen förbättrades under höst och vinter 2005. Under följande sommar 2006 återkom de ansträngda förhållandena, i den övre vattenmassan med som lägst ca 4 mg/l och i djupare vattenlager 1–2 mg/l. Under 2007 och 2008 var förhållandena betydligt bättre med normala syreförhållanden (figur 21).

För att motverka den kraftiga syretärningen arrangerades luftning och syretillförsel i sjön under sommaren 2005. För detta utnyttjades dels det befintliga rörsystem som utnyttjats vid tidigare timmerlagring och dels en slang där syre diffunderar genom slangens porer. Syretillförseln resulterade endast i små och kortvariga mätbara förbättringar och effekten av syretillförseln är svårbedömd. Syresättningen kan dock ha medfört att situationen förbättrades genom att den följande perioden med mycket låga syrehalter förkortades och att nedbrytning av organiskt material från timret underlättades.

Under sommaren 2005 steg fosforhalterna i sjön. Resultat från de vattenkemiska analyserna visade tydligt förhöjda halter av fosfor i sjön under sommaren 2005. En stor andel av fosfor bestod av fosfatfosfor, vilket utgjorde en potentiell risk för algblooming. Under sommartid är halterna av fosfatfosfor normalt mycket låga, under 0,005 mg/l. Under sommar och höst 2005 utgjorde dock fosfatfosfor en stor andel, ca 60 %, av totalfosfor och halten uppgick till 0,080 mg/l. Därefter sjönk både totalhalterna och andelen fosfatfosfor. Under 2006 var andelen ca 20 % och under 2007 uppmättes inte vid något tillfälle fosfatfosforhalter över 0,005 mg/l i den fria vattenmassan. Mätningarna efter lagringsperioden under 2007 och 2008 visar normala halter av fosfor (figur 22).

En samlad bedömning av de bottenfauna-undersökningar som genomförts visar att sjön möjligen

påverkats av timmerlagringen men att faunan håller på att återhämta sig (Larsson 2009). Ett hinder för en säker bedömning är den komplicerade föroreningshistoriken, vilken påverkat faunan och lett till att sjön sedan lång tid varit näringsrik och haft ansträngda syreförhållanden.

De undersökningar som genomfördes avseende risk för spridning av kvicksilver i bottensedimenten visade att halterna av metylkvicksilver i sedimenten var låga, och i vattnet mycket låga, varför bedömningen blev att några konsekvenser för miljön inte har kunnat ske. Något ökat upptag av kvicksilver i gädda kunde heller inte konstateras. En analys av fiskar från Kisasjön visade på minskande halter av kvicksilver (Elander & Eriksson 2006, Larsson 2009).

## Referenser

- Anonymous 1999. Bedömningsgrunder för miljö kvalitet: Sjöar och vattendrag. Naturvårdsverket, Rapport 4913, 101s., ISBN 91-620-4913-5.
- Anonymous 2008. Byholma flygfält, Ljungby kommun, Timmerbevattnings tekniskt underlag och miljökonsekvensbeskrivning. Till tillståndsansökan om timmerbevattnings, Växjö 2008-03-10. Rapport från Mark & Vatteningenjörerna AB till Vida Skog AB.
- Anonymous 2010. Redovisning egenkontroll timmerbevattnings Byholma flygfält 2009, 2010-03-15. Rapport från Norconsult AB, Växjö till Vida Skog AB.
- Elander, P. & Eriksson, H. 2006. Undersökningar av effekter på kvicksilverförorenade sediment vid timmerlagringen i Kisasjön 2005-2006. Rapport från Envipro Miljöteknik AB, Repslagaregatan 19, 582 22 Linköping.
- Johansson, A. 2005. Information gällande egenkontroll och provtagning m.m. vid upplag av stormfällt timmer. Miljöskyddsavdelningen, Länsstyrelsen i Jönköpings län, beteckning 555-419-05.

- Johansson, M. 2006. Förslag till utformning av regelverk för terminal- och sjölagring av virke vid storm eller orkan. Skogsstyrelsen, 503 11 Borås, PM.
- Larsson, P.-E. 2009. Timmerlagring i Kisa sjön 2005-2006. Södra Skog, Skogsudden, 351 89 Växjö, Slutrapport.
- Larsson, P.-E. 2013a. Slutrapport för Södras timmerterminal i Klövdala. Verksamheten 2007-2009. Södra Skog, Skogsudden, 351 89 Växjö.
- Larsson, P.-E. 2013b. Slutrapport för Södras timmerterminaler i Ramkvilla. Södra Skog, Skogsudden, 351 89 Växjö.



## Terminaler som ingått i studien

Koordinaterna i tabellen anges i SWEREF99 TM.

Lokal	x-koord	y-koord
Asige	6305200	363616
Bergön	6293000	472100
Brokind	6452966	538776
Byholma	6294246	414390
Ed	6326485	449684
Eksjö	6388624	498173
Elisköp	6265300	434240
Flåboda	6270158	511892
Gislaved	6348077	411814
Gunnarp	6337361	375261
Hammargården	6326991	423727
Hamneda	6282072	424479
Hunna	6285300	475240
Huseby	6295334	474824
Kisasjön	6428403	538423
Klevshult	6356724	446795
Klövda	6364887	538001
Knäred	6265700	394770
Lagan	6306967	439351
Odensjö	6396447	451529
Ramkvilla norr	6342445	497615
Ramkvilla söder	6340533	496701
Repperda	6362050	520624
Ryningsholm	6383995	497294
Silvereke	6312545	534440
Skånes Fagerhult	6250000	405690
Smålandsstenar	6334789	403814
Timmele	6412494	407069
Torsjö	6292100	494570
Tranemo	6370276	399492
Trotteslöv	6306043	438075