

## Bioforsk Rapport

Vol. 6 Nr. 61 2011

# Effekter av jordarbeiding på fosfortap

## Sammenstilling av resultater fra nordiske forsøk

Marianne Bechmann, Sigrun Kværnø, Svein Skøien, Lillian Øygarden, Hugh Riley (Bioforsk), Trond Børresen og Tore Krogstad (UMB)

Bioforsk Jord og miljø







Hovedkontor  
Frederik A. Dahls vei 20,  
1432 Ås  
Tlf: 03 246  
Fax: 63 00 92 10  
post@bioforsk.no

Bioforsk Jord og miljø  
Frederik A. Dahls vei 20  
1432 Ås  
Tlf: 03 246  
Faks: 63 00 94 10  
jord@bioforsk.no

*Tittel/Title:*

Effekter av jordarbeiding på fosfortap. Sammenstilling av resultater fra nordiske forsøk

*Forfatter(e)/Autor(s):*

Marianne Bechmann, Sigrun Kværnø, Svein Skøien, Lillian Øygarden, Hugh Riley (Bioforsk), Trond Børresen og Tore Krogstad (UMB)

<i>Dato/Date:</i> 31. august 2011	<i>Tilgjengelighet/Availability:</i> Åpen	<i>Prosjekt nr./Project No.:</i> 8105	<i>Arkiv nr./Archive No.:</i> 211/667
<i>Rapport nr./Report No.:</i> 6/2011	<i>ISBN-nr.:</i> 978-82-17-00789-0	<i>Antall sider/Number of pages:</i> 73	<i>Antall vedlegg/Number of appendix:</i>

*Oppdragsgiver/Employer:*

Statens Landbruksforvaltning

*Kontaktperson/Contact person:*

Johan Kollerud

*Stikkord/Keywords:*

Erosjon, jordarbeiding, rutforsøk, fosfortap, pløying, direkte såing

Erosion, soil management, lysimeter studies, phosphorus losses, ploughing, direct drilling

*Fagområde/Field of work:*

Landbruksavrenning/  
Agricultural pollution

*Sammendrag*

Se sammendrag på neste side

*Summary:*

In cereal cropping systems, soil tillage is a major factor contributing to increased risk of soil erosion, transport of soil particles and losses of particulate phosphorus by water. Soil tillage methods include direct drilling (no-till), shallow cultivation and ploughing. In general, deeper and more intense soil management results in higher erosion risk. The effect of soil tillage on losses of phosphorus follow the lines of soil erosion, but the relationship between soil tillage and losses of phosphorus are more complex. This report summarises results from Nordic lysimeter studies on effect of soil management on soil and phosphorus losses.

Godkjent / Approved

Christopher Brodersen

Prosjektleder/Project leader

Marianne Bechmann

## Forord

---

Utredningen er gjennomført på oppdrag fra Statens Landbruksforvaltning.

I forbindelse med prosjektet har det vært avholdt to ekspertmøter (25. mai og 30. juni 2011) der følgende personer deltok: Trond Børresen og Tore Krogstad (UMB), Hugh Riley, Lillian Øygarden, Hans Olav Eggestad, Svein Skøien, Anne Falk Øgaard, Håkon Borch og Marianne Bechmann.

Det ble også gjennomført studiereise til Finland 9.-10. mai 2011 og til Sverige 30.-31. mai 2011 for å se på ruteforsøk. Risto Uusitalo (MTT, Finland), Maria Stenberg og Barbro Ulén (SLU, Sverige), Per Schjønning og Gitte Rubæk (Århus Universitet, Danmark) har bidratt med informasjon om feltforsøk i de andre nordiske land.

# Innhold

---

1.	Sammendrag .....	4
2.	Innledning .....	7
3.	Bakgrunn .....	8
3.1	Jordarbeidingsmetoder .....	8
3.2	Effekt av jordarbeidingsmetoder på jordkvalitet .....	9
3.3	Effekt av jordarbeiding på avling .....	11
3.4	Jordartenes bruksegenskaper og anbefalte jordarbeidingsmetoder .....	12
4.	Effekter av jordarbeiding på jord- og fosfortap - resultater .....	15
4.1	Ruteforsøk med forskjellig jordarbeiding .....	15
4.1.1	Norge .....	15
4.1.2	Finland .....	33
4.1.3	Sverige .....	37
4.1.4	Danmark .....	40
4.2	Fordeling av tap på overflate- og grøfteavrenning .....	42
4.3	Modellering av jordarbeidingseffekter for norske forhold .....	44
4.3.1	ERONOR-modellen .....	45
4.3.2	Erosjonsfaktorer (C-faktorer) .....	46
4.3.3	Tiltaksanalyser .....	46
5.	Diskusjon .....	49
5.1	Effekter av ulike jordarbeidingssystemer på jord- og fosfortap .....	49
5.1.1	Jordtap .....	49
5.1.2	Fosfortap .....	50
5.1.3	Jordarbeidingssystemene .....	53
5.2	Lokale og stedstilpassede tiltak .....	61
5.2.1	Betydning av erosjonsprosesser i nedbørfelt .....	61
5.2.2	Erosjon i forsengkninger .....	62
5.2.3	Erosjon rundt hydrotekniske elementer .....	62
5.2.4	Ras og utsklidninger i bekkeskråninger .....	62
5.3	Usikkerheter og kunnskapsbehov .....	63
5.3.1	Avsetningstyper og jordtyper .....	63
5.3.2	Strømningsveier: overflatevann versus grøftevann .....	64
5.3.3	Hellingsgrad og hellingslengde .....	64
6.	Konklusjoner .....	65
7.	Referanser .....	67

# 1. Sammendrag

---

I forbindelse med gjennomføring av vannforskriften er det blitt økt fokus på redusert og endret jordarbeiding som tiltak for å redusere fosfortilførslene fra jordbruket. Tidligere har det vært vekt på jordarbeidingstiltak på arealene med høyest erosjonsrisiko, men for å oppnå tilstrekkelige reduksjoner i fosfortilførsler til utsatte vannforekomster er det enkelte steder planer om å gjennomføre mer omfattende endringer i jordarbeiding også på flatere arealer. Det var derfor behov for en oppdatert kunnskapsstatus om effekter av jordarbeidingstiltak på arealer både med høy og lav erosjonsrisiko. I denne rapporten er det gjort en sammenstilling av alle tilgjengelige forsøk med jordarbeiding under nordiske forhold.

Det viktigste tiltaket for å redusere jorderosjon i korndyrkingsområdene er redusert jordarbeiding eller vårpløying/endret jordarbeiding. I Regionalt miljøprogram har fylkene tilskuddsordninger for arealer som ikke jordarbeides om høsten. Dette gjelder de fylkene som har betydelig korndyrking. Det er en differensiering av tilskuddene etter jordarbeidingsmetoder og erosjonsklasse. Det er også en viss differensiering i forhold til om arealene ligger i spesielt utsatte vassdrag.

Fra ruteforsøk er det kjent at overvintring i stubb på hellende terreng reduserer erosjon, men resultatene fra Bioforsks nedbørfeltovervåking i JOVA-programmet viser ikke tilsvarende forbedringer i vannkvaliteten når det meste av jordbruksarealet i nedbørfeltet ligger i stubb over vinteren. Det er vanskelig å dokumentere en umiddelbar respons i bekker og vassdrag ved tiltak i jordbruket. Den manglende effekten kan ha sammenheng med at også prosesser i selve bekkeløpet og andre kilder bidrar med fosfor og jord. Variasjoner i været fra år til år kan dessuten overskygge effekten av jordarbeidingen. I den forbindelse har det spesielt stor betydning om høstnedbøren kommer før eller etter jordarbeiding.

Rapporten har oppsummert nordiske forsøk med jordarbeiding og fosfortap. Dette omfatter ruteforsøk i Norge, Sverige, Finland og Danmark. Det er dessverre ikke helt sammenliknbare forsøksopplegg, og forsøkene har hatt forskjellig varighet, ulike perioder og behandling. Sammenstillingen viser likevel at det generelt er større jord- og fosfortap ved høstpløying sammenlignet med andre jordarbeidingssystemer slik som høstharving, vårpløying, vårharving og direktesåing vår eller høst. Fra høstpløyd høstkorn er det generelt større jordtap enn fra høstpløying, men her er det store variasjoner. Erosjon og fosfortap ved høstpløying til høstkorn avhenger av hvor godt høstkornet etablerer seg. Forskjellen mellom metodene for høstharving og høstpløying kan være liten. Harvedybden, jordstrukturen og hvor mye planterester som blir liggende igjen på overflaten kan være vesentlige for resultatet av høstharving.

På noen få felter er det også registrering av grøftevann. Målinger viser at jordarbeidingen også påvirker fosfortapet gjennom grøftene og at det også er mindre fosfortap gjennom grøftene ved jordarbeiding om våren enn om høsten.

I nedbørfelt til sårbare områder med hensyn til vannkvalitet er det i tillegg til erosjon viktig å vurdere effekten av jordarbeiding på den algetilgjengelige delen av fosfortapet spesielt. Fosfortapet viser stort sett nært samsvar med jordtapet, men det er også en viss andel av fosforet som foreligger i vannløselig form og er uavhengig av jordtapet. Dette fosforet er generelt mer tilgjengelig for algevekst og derfor mer skadelig. En del forsøksresultater viser økte tap av løst fosfor ved redusert jordarbeiding. Redusert jordarbeiding over flere år fører til opphopning av fosfor i øverste jordlag og dermed økt risiko for avrenning av løst fosfor. Dette er bl.a. årsaken til at svenske og finske forsøk på lite erosjonsutsatte arealer viser minimal effekt av redusert jordarbeiding på avrenning av fosfor. Dessuten bidrar det til at effekten av endret jordarbeiding er vanligvis noe større for jordtap enn for fosfortap.

Det er en rekke utfordringer når det gjelder effekten av jordarbeiding på avling og avlingskvalitet. Norske forsøk over til dels mange år viser at det er mulig å opprettholde avlingsnivået for korn med ulike former for redusert og endret jordarbeiding. Det er likevel utfordringer knyttet til halm, ugras og

økt forekomst av mykotoksiner i korn. Det vises også til at det har vært usikre resultater av direktesåing til høstkorn.

### **Effekten størst ved høy erosjonsrisiko**

Sammenstillingen oppsummerer effekter av jordarbeiding på jord- og fosfortap i gjennomsnitt over år og for forsøk på flere jordarter, hellinger og erosjonsklasser. Det er stor forskjell i effekt mellom ulike jordarter og hellinger, og generelt er det større effekt av redusert jordarbeiding på partikkeltapet ved høyere erosjon på arealet. Planerte felt har stor erosjon og dermed stor effekt av redusert jordarbeiding på partikkeltapet. Flere av forsøksfeltene ligger i erosjonsklasse 1 og 2. På disse feltene er det også målt mindre jordtap når det ikke jordarbeides om høsten.

Rapporten påpeker ellers at vi mangler kunnskaper. Vi har få erosjonsmålinger i Norge, og det er flere viktige jordtyper som vi ikke har måledata for.

### **Jordart og jordtype har mye å si**

Ulike jordarter viser store forskjeller i erosjon, fosfortap og effekter av jordarbeiding. Strømningsveier for vann har avgjørende betydning for erosjonen og samtidig for effekten av jordarbeiding. Generelt vil jord med stor infiltrasjonskapasitet og vannledningsevne ha mindre risiko for partikkeltap og dermed også mindre effekt av redusert jordarbeiding. Det finnes lite tilgjengelige resultater på effekten av jordarbeiding på partikkel- og fosfortap gjennom drengrøftene, men resultatene tyder på at redusert jordarbeiding også fører til reduksjon i partikkel- og fosfortapet gjennom grøftene. Effekten er antagelig noe mindre for grøftevann sammenlignet med overflatevann. Modellberegninger gjennomført med ERONOR viser en slik effekt av jordarbeiding på avrenning gjennom grøftene. På planert jord vil jordarbeidingstiltakene generelt ha stor effekt både på grøfteavrenningen og på overflateavrenningen av fosfor.

### **Modellberegninger**

Effekter av jordarbeiding på jordtap inngår i beregningsgrunnlaget for jordbrukets fosfortilførsler til vassdrag. Estimerte verdier for effekter av jordarbeiding på jordtap varierer noe ved bruk av ulike forvaltningsverktøy (f.eks. GIS-avrenning og Agricat) og tilførselsberegningene vil derfor variere avhengig av hvilket verktøy som blir brukt, selv om modellberegninger gjort med ERONOR ligger til grunn for alle effektvurderinger. Det er usikkerhet knyttet til modellberegninger og scenarier. Alle verdiene som har blitt brukt i modellene ligger likevel innenfor variasjonen i de målte verdiene fra rutforsøk, men det er forskjell på om effekten er spesifisert på overflate- og grøftevann eller for ulike erosjonsklasser. Det er behov for en tilpasning av faktorer som anvendes i de ulike verktøy, slik at de svarer best mulig til målte effekter og gir samme resultat uavhengig av metode, men tar hensyn til lokale forhold. Restaurering av ERONOR-modellen med etterfølgende testing og evaluering vil kunne bidra til standardisering av beregningene, dog uten at usikkerheten i resultatene reduseres betydelig.

Gjennomgangen gir ikke umiddelbart grunnlag for å endre på konklusjoner og hovedtrekk i anbefalinger som er gjort av Bioforsk i tidligere utredninger, men gjennomgangen viser likevel at forholdet mellom jordarbeiding og tap av fosfor til vann og vassdrag er kompleks, og at det er stor variasjon i de effekter som er påvist under ulike forhold. Tilførselsberegninger som baseres på teoretiske verdier for jordarbeidingseffekter må derfor vurderes utfra grunnlaget som modellen baseres på. Det vil bl.a. si om beregningene er gjort for totalavrenningen (overflate- og grøfteavrenning) og om effekten er spesifisert for ulike erosjonsklasser.

### **Stor variasjon fra år til år**

Effekten av jordarbeiding på partikkeltapet fra arealer med korndyrking viser stor variasjon mellom år og mellom ulike felt der effekten er undersøkt. Effekten av jordarbeiding på fosfortap viser tilsvarende

stor variasjon. Fordeling av nedbør til ulike tider av året har avgjørende betydning for effekten av jordarbeiding, for eksempel vil tidspunkt for nedbør om høsten være avgjørende for forskjellen mellom tidlig og sen høstpløying. Nedbørmengden har også betydning for effekten av jordarbeiding. Ved mye nedbør kan jorda bli vannmettet, og i noen tilfeller kan en pløyd jord ta unna mer vann enn en harvet jord. Det betyr at en kan få mer overflateavrenning ved redusert jordarbeiding. Enkelte år kan ha meget store tap av partikler og fosfor, selv på forholdsvis flate og lite erosjonsutsatte arealer og i disse årene vil effekten av redusert jordarbeiding normalt være stor. Ved planlegging av jordarbeidingstiltak må en vurdere om en ønsker effekt i ekstreme år med stor erosjon eller om det er gjennomsnittsåret det planlegges for. Her kan lokale vurderinger ha betydning i forhold til hvilken risiko for fosfortap en vil vektlegge. I en sårbar vannforekomst med store arealer i lavere erosjonsrisikoklasser kan det være begrenset med aktuelle tiltak. Da kan en velge å vektlegge risiko for ekstremnedbør og store tap. Dersom vannkvaliteten er bedre i en vannforekomst kan en vurdere å tillate høyere risiko. Ved lokale vurderinger må en ta hensyn til både miljømål for resipienten, status på aktuell jordarbeiding og hvilke andre tiltak som er mulige i nedbørfeltet.

### **Biotilgjengelig fosfor**

I forhold til vannforskriften har biotilgjengelighet av fosfor betydning, og andelen løst fosfor i avrenning har derfor interesse. Sammenstillingen viser at effekten av redusert eller endret jordarbeiding på avrenning av løst fosfor kan være både positiv og negativ. Ved direktesåing over flere år uten blanding av jord fra ulike sjikt, øker fosforinnholdet i de øverste jordlagene og flere forsøk, både i Norge og andre nordiske land, har vist at avrenningen av løst fosfor kan øke ved direkte såing. Ved overvintring i stubb er det også målt økte tap av løst fosfor i overflatevann. Utfrysing av fosfor fra planterester har bidratt til økningen. Særlig konsentrasjonen av løst P øker ved overvintring i stubb. I 4 av 5 forsøk, uavhengig av erosjonsrisikoen, er det målt økte løst P-konsentrasjoner ved overvintring i stubb. På den andre siden har forsøk med høstkorndyrking i Norge vist lavere tap av løst P ved redusert jordarbeiding sammenlignet med høstpløying til høstkorn. Sammenhengen mellom jordarbeiding og avrenning av løst P er komplisert og jordas fosforinnhold har også betydning for konsentrasjonen av løst P i avrenning fra de ulike jordarbeidingsystemer. Kunnskap om betydningen av partikkelbundet og løst P for vannkvaliteten er avgjørende for vurderingen av disse resultater.

### **Lokale og stedstilpassede tiltak anbefales**

Det er flere faktorer som virker på effekten av jordarbeiding, men som sammenstillingen ikke gir grunnlag for å vurdere. På lange hellinger blir det større erosjon og dermed større effekt av redusert jordarbeiding. I et jordbrukslandskap med søkk og forsenkninger samler overflatevannet seg i vannveier og tiltak som grasdekte vannveier kan være vel så viktige som redusert jordarbeiding. Betydningen av de enkelte tiltakene må vurderes lokalt.

Den mest effektive reduksjon i erosjon og fosfortap skjer ved målretting av tiltakene ut fra lokale forhold.



## 2. Innledning

---

Det viktigste tiltaket for å redusere jorderosjon i korndyrkingsområdene er redusert jordarbeiding. Dette omfatter ulike former for plogfri jordarbeiding. Vårpløying regnes også som et viktig og effektivt tiltak i og med at jordene da vil ligge med stubb om høsten og vinteren. I Regionalt miljøprogram har fylkene tilskuddsordninger for arealer som ikke jordarbeides om høsten og for arealer med redusert jordarbeiding. Dette gjelder de fylkene som har betydelig korndyrking. Det er en differensiering av tilskuddene etter jordarbeidingsmetoder og erosjonsklasse. Det er også en viss differensiering i forhold til om arealene ligger i spesielt utsatte vassdrag. Om lag halvparten av kornarealene i Norge overvintrer nå i stubb.

I Morsa og Haldenvassdraget er det innført forskrift om krav til jordarbeiding og miljøtiltak som setter begrensninger og vilkår for jordarbeiding om høsten. Arealer i erosjonsklasse 3 og 4 skal ikke jordarbeides. Flomutsatte arealer og dråg med tydelige erosjon skal ikke jordarbeides. Videre skal det være buffersoner langs vassdrag. Det er også et vilkår at foretakets minst 60 % av gårdens fulldyrkede areal som ligger innenfor vassdraget skal overvintrer med plantedekke eller stubb. Fylkene Oslo og Akershus, Østfold, Vestfold har RMP-tilskudd til alle erosjonsklasser. I Nord-Trøndelag gis ikke tilskudd i klasse 1. Særlig fra Haldenvassdraget er det en målsetting å få til et enda større omfang av redusert jordarbeiding. I tiltaksanalysen er det satt som mål at hele kornarealet skal ligge i stubb om høsten og vinteren.

Fra norske ruteforsøk er det kjent at overvintring i stubb reduserer erosjon, men resultatene fra nedbørfeltovervåkingen i JOVA-programmet viser ikke tilsvarende forbedringer i vannkvaliteten når det meste av nedbørfeltet ligger i stubb (Bechmann et al., 2008) Den manglende effekten kan ha sammenheng med variasjoner i været. Mye nedbør og flom overskygger virkningen av redusert eller endret jordarbeiding. Andre erosjonsformer i nedbørfeltene kan også ha betydning, for eksempel bekkeerosjon. Det er dessuten kjent at det også skjer en avrenning av løst fosfor fra arealer med plantedekke. Ved redusert jordarbeiding vil denne andelen av fosforet øke.

I nedbørfelt til sårbare områder er det i tillegg til erosjon er det viktig å vurdere effekten av jordarbeiding på fosfortapet. Svenske og finske forsøk på lite erosjonsutsatte arealer viser at det er minimal effekt av redusert jordarbeiding på avrenning av fosfor og spesielt løst fosfor. Det pågår derfor en diskusjon i Sverige og Finland om betydningen av redusert jordarbeiding for vannkvaliteten.

De fleste norske forsøkene er gjennomført på hellende terreng. De svenske og finske målinger på lite erosjonsutsatte arealer har derfor gitt anledning til en fornyet diskusjon av overførbarheten av resultater fra de norske forsøkene til arealer med middels og liten erosjonsrisiko. Denne utredningen tar sikte på å evaluere betydningen av redusert og endret jordarbeiding for fosfortapet, spesielt på arealer med middels og lav erosjonsrisiko.

## 3. Bakgrunn

---

### 3.1 Jordarbeidingsmetoder

De primære målene for jordarbeiding er (1) ugrasbekjempelse, (2) nedmolding av planterester og husdyrgjødsel og (3) dannelse av såbed. Pløying er beste metode for å oppnå de to første målene, mens harving er viktig for det siste. Ved 'tradisjonell'/'konvensjonell' jordarbeiding menes pløying om høsten, etterfulgt av slodding og harving om våren, eventuelt med ekstra harving om høsten (stubbharving) før å tyne ugras og påskynde halmnedbryting før pløying. Begrepet 'tradisjonell' innebærer at systemet har vært brukt i generasjoner, men det er viktig å poengtere at systemet ikke har vært statisk. Særlig siden 1960 har det skjedd store endringer, både i jordarbeidings dybde og hyppighet, og i tyngden av og energibehovet til utstyret som brukes. Arealet som bearbeides årlig til kornproduksjon har også økt betraktelig på Østlandet.

Etter at effektive sprøytemiddel mot flerårige rotugras ble tilgjengelige på 1960- og '70-tallet (hhv. Paraquat og Glyfosat), begynte mange land å utprøve ulike alternative jordarbeidingsmetoder, der pløying helt eller delvis ble utelatt. Begrunnelsene for dette var hensyn til (1) økonomi, da jordarbeiding er kostbar og tidkrevende, (2) energisparing, særlig etter oljekrisen i 1973, og (3) bevaring av jordstruktur, da problemer med jordpakking, plogsåle m.m. begynte å vise seg. Ofte var også erosjonsvern et viktig argument for endret jordarbeiding, for eksempel i Nord-Amerika. I Norge har dette blitt et hovedtema, særlig etter Nordsjøavtalen i 1987. I Europa var også ønsket om mer høstkorn også et argument, da tradisjonell jordarbeiding ofte forsinket såing under tørre forhold.

Vi gir her en kort beskrivelse av ulike former for 'reduisert' eller 'endret' jordarbeiding som har vært utprøvd ved korndyrking i Norge, som alternativ til tradisjonell høstpløying. Redusert jordarbeiding er jordarbeiding som påvirker jorda mindre enn pløying, f.eks. harving, mens endret jordarbeiding refererer til jordarbeiding som er endret i forhold til høstpløying og omfatter bl.a. både høstharving og vårpløying. Metodene er mest utprøvd i vårkorn, men både høstharving og direktesåing kan i prinsippet også brukes til høstkorn.

#### Høstharving

Jorda harves noe tidligere enn normal tid for høstpløying, og ofte noe seinere enn tidspunktet for tradisjonell stubbharving. Tidlig harving fører til at mer halm blir brutt ned før neste sesong. Harvingen utføres med ulike typer rotorharver, skålharv eller kultivator til 8-12 cm dybde. Høstharving har noe virkning mot flerårig ugras og gir nedmolding av halm, samtidig som det ikke gir like sterk økning i erosjonsrisiko som pløying. Etter høstharving, harves jorda om våren med såbedsharv en eller to ganger før såing og tromling. Såingen kan som regel utføres med en vanlig såmaskin (slepelabb) når halmmengden ikke er for stor. Det tromles etter såing.

#### Lett høstharving

Lett høstharving er et begrep som brukes der man forsøker å beholde mest mulig halmrester på jordoverflaten. Da bør arbeidsdybden være maksimum 6-8 cm. For å oppnå brukbart erosjonsvern, bør minst 30 % av jordoverflaten være halmdekket. Halmdekking kan måles med en 'knotesnor', hvor 30 av 100 knuter skal være i full berøring med halmrester. Dersom halmrester fjernes, er det ofte vanskelig å opprettholde 30 % -nivået ved bruk av mange moderne harvetyper (kombinasjoner av skåler og tinder) som bearbeider jorda grundig. Bruk av horisontalt roterende harver gir bedre halmdekking, men er kraftkrevende og har lav kapasitet. I flere fylker gis det RMP-tilskudd til lett høstharving for erosjonsklasse 1 og 2 på visse vilkår: Den skal gjennomføres snarest etter tresking og for Akershus og Østfold er det satt en dato senest 15. september. For erosjonsrisikoklasse 3 og 4 gis det derimot ikke slike tilskudd, fordi det antas at all jordarbeiding vil øke risikoen for erosjon på disse arealene.

#### Vårharving

Jorda bearbeides ikke om høsten, men halmen bør helst fjernes eller kuttes fint. Om våren harves jorda med f.eks. rotorharv, skålharv eller kultivator til 8-10 cm dybde. Hvis halmen er fjernet, kan en harve grunt. Med økende mengder halm bør en øke harvedybden. I noen tilfeller kan ei god såbedsharv også brukes til den første harvinga om våren, men som oftest vil en kultivator være best. Såingen kan utføres med en slepelabbssåmaskin hvis halmen er fjernet. Etter nedharving av halm om våren, kreves det en såmaskin som gir god halmgjennomgang, f.eks. en skållabbmaskin. Jorda tromles etter såing.

### Vårpløying

Jorda pløyes om våren uten forutgående jordarbeiding om høsten. Deretter sloddes det, og det harves én gang før såing og tromling. Grunn pløying, 10-15 cm dybde, er spesielt aktuelt om våren fordi det er raskere enn djup pløying. Metoden har vært brukt lenge på siltjord, for å bryte kapillær vanntransport og framskynde opptørking. På stivere jord har man vært skeptisk til metoden, fordi det fører til grovere aggregatstruktur som kan hemme spiring. Man regner med at vårpløying kan utføres noe tidligere enn vårharving, slik at våronna ikke nødvendigvis utsettes. Likevel er det av arbeidsmessige årsaker mange som foretrekker høstpløying. En ny plogtype for grunn pløying (Kverneland Ecomat) gir høy arbeidskapasitet og jamn overflate, uten mye klump, spesielt når den kombineres med en jordpakker. Den gir bedre ugraskontroll og halmnedmolding enn vårharving. Dette reduserer behovet for sprøyting mot ugras og sopp.

### Direktesåing

Kornet såes uten noen jordarbeiding på forhånd. Det brukes spesielle 'direktesåmaskiner' til dette, med skåler som åpner såspor og trykkruller som lukker dem igjen. I tillegg kan vanlig tromling være nødvendig enkelte år. Hvis halmen fjernes eller brennes etter høsting, blir det normalt god spiring, men med mye halmrester kan spiring hemmes enten fysisk ved at halmen trykkes ned i sporet, eller kjemisk ved hemmestoff som utskilles fra halmen. Dette problemet er størst under fuktige jordforhold. Direktesåing i kuttet halm er ofte risikofylt, men i enkelte år med kraftig forsommertørke har dette gitt meget bra resultat, trolig fordi halmen bevarer spireråmen. Sådybden for korn bør være 3-5 cm, men oppnås ikke alltid ved direktesåing.

## 3.2 Effekt av jordarbeidingsmetoder på jordkvalitet

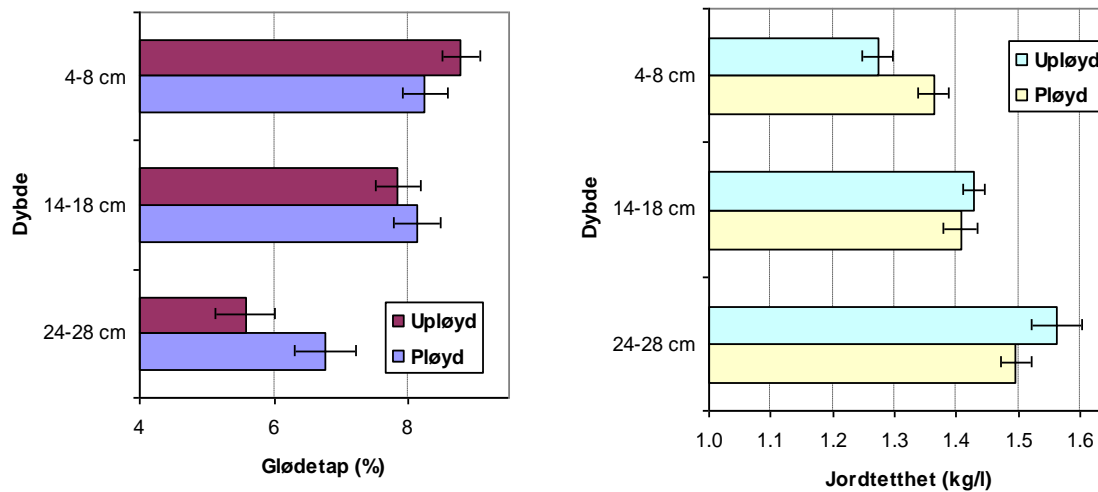
Redusert jordarbeiding er et velkjent tiltak mot jorderosjon. Årsaken er dels at jorda er dekket av planter eller planterester om høsten og vinteren og under snøsmeltingen når erosjonsfaren er størst. En annen grunn er at jord som ikke er bearbeidet har en høyere fasthet som medfører større motstand mot løsrivelse av partikler. Jordas eroderbarhet er et resultat av naturgitte forhold ved jorda, hvorav jordtekstur og jordstruktur trolig er de dominerende faktorene. Jordteksturen endres ikke ved jordarbeiding, men det er andre jordfysiske forhold som påvirkes av jordarbeiding og som kan medføre mer eller mindre erosjon ved overflateavrenning. Slike faktorer inkluderer jordas humusinnhold, profilets permeabilitet (dreneringsgrad), aggregatstabilitet, konsistens og fasthet, infiltrasjonsevne, overflateruhet (som har betydning for bremsing og magasinerings av overflatevann), osv. Fordelingen av jordas næringsstoffinnhold har også betydning for tapet av for eksempel fosfor ved erosjon.

Vi gir her en kort oversikt over hvordan ulike jordarbeidingsystemer påvirker jordstruktur og andre forhold i jorda som kan være av betydning for plantevekst og/eller erosjon. De jordfysiske endringene som skjer ved plogfri jordarbeiding gjør at, selv om slik drift gir mer overflateavrenning enn pløying, blir løsrivelsen av partikler mindre fordi jorda er fastere (Skøien 1996). Tidspunktet for jordarbeiding på høsten har også betydning for risikoen for erosjon. Tidlig jordarbeiding øker risikoen ved at erosjonsepisoder kan forekomme i perioden etter jordarbeiding. På den andre siden kan jorda da i noen tilfeller ha konsolidert seg før de største erosjonsepisodene på vinteren.

Høstpløying løsner jorda og fjerner dermed eventuelle pakkingskader i plogsjiktet. Gjentatt pløying til samme dybde kan gi dannelse av tette 'plogsåler', som hemmer vanntransport og rotvekst. Problemet er trolig størst på leirjord og siltjord. På leirjord bringer pløying grove jordklump til overflaten, og særlig ved vårpløying er dette problematisk for såbedsdannelse. Bruk av stadig tyngre traktorer og redskap øker trykkforplantningen nedover i jorda og øker risikoen for jordpakking i undergrunnen. Slike pakkeskader utbedres ikke ved pløying.

Det er velkjent at jordas moldinnhold avtar ved åpenåkerdrift. Det antas at årlig pløying fører til raskere nedbryting av organisk materiale i jord, sammenliknet med ulike former for plogfri jordarbeiding. Mange forsøk har vist en økning i jordas moldinnhold i det øvre jordsjikt etter få år med plogfri drift og flere undersøkelser har påvist tilsvarende økning i aggregatstabilitet. Dette er gunstig både for å unngå dannelse av jordskorpe ved kraftig regn og fordi det øker jordas motstand mot erosjon. Økt moldinnhold øker også jordas vannlagringsevne, noe som er gunstig for spiring og vekst. Hvorvidt det totale innholdet av organisk materiale i jorda påvirkes ved redusert jordarbeiding er et tema som er mye diskutert internasjonalt de senere årene. Flere hevder at det dreier seg først og fremst om en omfordeling av moldinnhold i ulike sjikt. Forholdet er komplisert av samtidige endringer i

jordtettheten. Dette belyses i figur 1 med data fra langvarige jordarbeidingsforsøk, som viser at moldinnhold (målt som glødetap) og jordtetthet påvirkes omvendt av redusert jordarbeiding i de ulike sjiktene. Moldinnholdet beregnet for jordprofilen ned til 30 cm viste ingen forskjell mellom jordarbeidingsmetodene.



Figur 1. Glødetap og jordtetthet i tre dybder, middel av 17 parvise profiler fra fire langvarige jordarbeidingsforsøk på Kise som er brukt til korndyrking med eller uten pløying i 28-31 år (etter Riley 2010, upublisert notat).

Mange undersøkelser, også i Norge, har vist at plogfri drift resulterer i mer meitemark i jorda enn årlig pløying. Dette er trolig gunstig for jordstrukturen, fordi markene skiller ut stoffer som øker aggregatstabilitet. Flere arter av meitemark danner vertikale kanaler langt nedover i jorda. Disse er viktige for vanntransport ('mikrodrenering'), luftveksling og rotvekst. Flere undersøkelser har vist at plogfri drift påvirker også mikrobiologiske forhold i jorda, noen ganger med positive følger (for eksempel gav redusert jordarbeiding mindre klumprot hos korsblomstrete vekster i et norsk forsøk). Finske undersøkelser tyder på at plogfri drift kan redusere plantesjukdommer ved at gunstige antipatogener (AM-fungi og aktinobakterier) samles nær jordoverflaten. Mekanismene i slike forhold er fortsatt ufullstendig kartlagt.

Mens redusert jordarbeiding kan redusere problemet med plogsåle, skjer det ofte en økning i matjordas jordtetthet i midtre og nedre del. Dette beskrives noen ganger som en 'harvesåle', men det er trolig trykket fra traktorhjul som er viktigste årsak. Dette sjiktet kan hemme rotvekst pga. høy fysisk motstand, og i noen tilfeller kan det føre til drukning av unge kornplanter ved kraftige regnskyll pga. nedsatt infiltrasjon. Fenomenet er sett på mange jordarter i Norge, men det er trolig mest alvorlig på siltjord og leirjord, fordi disse har begrenset luftfylt porevolum ved feltkapasitet. Høy motstand er også et problem på sandjord, som har liten egeevne til strukturdannelse.

Ved plogfri jordarbeiding over flere år skjer det en anrikning av plantenæringsstoffer i det øverste jordlaget. I sammenheng med avrenning og eutrofiering er det spesielt interessant å se på anrikningen av fosfor. Anrikningen medfører at overflateavrenning fra felt med redusert jordarbeiding kan ha en høyere konsentrasjon av løst fosfor enn avrenning fra pløydte felt.

Virking av jordarbeiding på jordas innhold av lettløselig fosfor og kalium i en rekke norske forsøk er vist i tabell 1. Disse undersøkelsene har vist at man ved plogfri korndyrking raskt har fått en økning av lett-tilgjengelig næring i jordas øvre 10 cm, og en viss reduksjon i sjiktet under. Dette gjelder spesielt kalium, men også fosfor om enn i mindre grad. Anrikningen medfører at overflateavrenning fra felt med redusert jordarbeiding kan ha en høyere konsentrasjon av løst fosfor, som det er spesielt interessant å se på i sammenheng med eutrofiering. Resultatene viser likevel at opphopingen etter nærmere 30 år ikke var større enn den som skjedde allerede etter få år. Dette skyldes trolig at næringen går over i mindre tilgjengelige former over tid (fosfor) eller at det skjer en jevn nedvasking (kalium). I ingen av de undersøkte tilfeller var det snakk om svært høye P-<sub>Al</sub> verdier etter redusert jordarbeiding.

Tabell 1. Noen resultater som viser endring i P- og K-AL ved redusert jordarbeiding

	P-AL (mg/100 g)		K-AL (mg/100 g)		Henvisning, feltantall (jordart), feltalder
	Pløyd	Upløyd	Pløyd	Upløyd	
0-10 cm	7,2	8,9	9,9	15,0	Riley et al. 1985, 3 felt (ll, siml, si), 4-6 år
10-20 cm	7,0	5,9	9,1	8,9	
0-10 cm	7,4	9,1	7,4	11,8	Ekeberg 1985, 2 felt (ll), 5-6 år
10-20 cm	6,7	6,7	6,4	6,4	
0-10 cm	6,0	8,6	12,2	16,8	Ekeberg 1992, 4 felt (ll), 8-10 år
10-20 cm	6,3	6,3	10,9	10,8	
0-5 cm	5,4	7,1	9,6	12,7	Ekeberg & Riley 1997, 1 felt (ll), 13 år
5-20 cm	5,1	6,7	8,1	7,6	
0-10 cm	5,1	6,8	7,6	9,2	Riley & Ekeberg 1998, 1 felt (ll), 10 år (snitt av 20+30 cm jfr. 0+10 cm pløyeddybder)
10-20 cm	4,6	4,7	5,8	6,0	
20-30 cm	4,1	3,9	3,5	3,5	
0-10 cm	10,0	13,1	7,5	11,0	Riley et al. 2005, 2 felt (sill, sasi), 12-13år
10-20 cm	10,9	10,3	7,5	6,7	
0-10 cm	5,2	6,3	11,4	16,2	Riley 2010, 2 felt (ll), 27-30 år
10-20 cm	5,0	4,3	9,2	7,6	

### 3.3 Effekt av jordarbeiding på avling

Resultater fra langvarige feltforsøk viser at kornavlingene kan opprettholdes uten årlig høstpløying på nesten samme nivå som ved pløying på flere norske jordarter, når flerårig ugras holdes under kontroll med sprøyting, og under forutsetning av at en del andre krav oppfylles. Avlingene varierer noe fra år til år, men de årlige avlingsvariasjonene er som oftest >10 %. I forsøkene på morenejord (letteleire) er middelavlingene med redusert jordarbeiding under 5 % lavere enn ved pløying, uansett om det høstharves eller ei (Riley 2006; Riley 2010). Dessuten gir vårpløying samme avling som høstpløying på morenejord (Riley & Ekeberg 1998). I forsøk på leirjord har man fått noe større nedgang i middelavling (5-7 %) ved jordarbeiding (harving eller pløying) på våren sammenlignet med høstpløying, mens direktesåing har gitt 10-20 % avlingstap (Riley et al. 2009). Tidligere undersøkelser har imidlertid demonstrert med stor tydelighet at risikoen for å mislykkes er stor når for eksempel kveke ikke holdes under kontroll (Marti 1984; Ekeberg et al. 1985; Børresen 1993) og i praksis kan det i noen tilfelle forekomme større avlingstap enn det som blir målt i forsøk. Andre problematiske flereårige og vinterrettårige ugras er for eksempel balderbrå, dylle, tunrapp, åkersnelle m.fl. I forsøkene har kveke vært et litt mindre problem, men tunrapp må bekjempes med årlig sprøyting. Frøbanken av ettårige ugrasarter øker også ved plogfri dyrking (Tørresen et al. 2003), noe som kan skape behov for bruk av et bredt spekter av ugrasmiddel. Dette kan føre til problemer med ugrasresistens over tid.

Nest etter bekjempelsen av flerårige ugras, er planterester trolig den største utfordringen ved redusert jordarbeiding. Halmrester på jordoverflaten vanskeliggjør såing og de kan føre til angrep av en rekke soppsjukdommer. Spesielt forekomsten av *Fusarium* spp. ved slik drift er kommet i søkelyset pga. problemer med mykotoksiner i kornet, særlig i havre, de senere årene (Henriksen 2006). Ganske tidlig i norsk jordarbeidingforskning ble det vist at brenning av halmen var et godt agronomisk tiltak ved direktesåing (Riley 1983). Denne praksisen har imidlertid miljømessige ulemper (røykplager, karbontap osv.) som gjør at den ikke er å anbefale.

I et langvarig forsøk med ulike halmbehandlinger på stiv leirjord fant man at hakkete halmrester gav stor avlingnedgang, sett i forhold til halmfjerning, når det ble harvet bare om våren (7 % nedgang) eller ved direktesåing (13 %). Ved høstharving var det nesten ingen negativ virkning på avlingen av å beholde halmen. I et annet langvarig forsøk, på siltig lettleire, ble det sett en positiv effekt av halmhakk på overflaten (Børresen 1999; Riley et al. 2009). Dette har trolig sammenheng med at halmen hindrer uttørking av såbedet å slik jord. I forsøkene på lettleire er alle halmrestene blitt beholdt i mange år, uten at vi kan se at problemene som de skaper har økt over tid (Riley 2006). Likevel, er nok store

halmmengder et reelt problem i forhold til såing, og halmen bør derfor fjernes eller finsnittes. På veldrenert jord er det da ofte tilstrekkelig å harve om våren. Dersom det er større halmmengder, og spesielt på fuktigere jord, er det en fordel å harve allerede om høsten for å påskynde nedbrytningen.

Noen frykter at plogfri drift fører til seinere opptørking og kaldere jord om våren, og dermed til seinere såing. Norske undersøkelser har vist at det er særlig når det er mye halm på overflaten at dette er et problem (Børresen and Njøs 1990). Fordi bæreevnen er bedre på oppløyd enn på pløyd jord, vil imidlertid såing ofte kunne skje like tidlig på oppløyd jord sammenlignet med pløyd jord. På fuktige jordarter som silt eller på dårlig drenert jord kan tidlig såing på oppløyd jord likevel være mislykket. I et forsøk på siltjord gav såing på oppløyd jord tidlig i mai bare halvparten så stor avling som såing på pløyd jord, mens det ved seinere såing var nesten ingen forskjell mellom metodene (Riley 1985). To forsøk i det relativt fuktige Trøndelagsklimaet, på siltig leittleire og siltig sand, viste hhv. 7 % og 19 % mindre avling ved plogfri jordarbeiding over 12 år enn ved høstpløying (Riley et al. 2005). Det ble funnet svært tette jordforhold i den nedre delen av matjordsjiktet på oppløyd sandjord, som kan ha ført til drukning i fuktige perioder eller hemmet rotvekst pga. høy motstand i tørre perioder.

I sydligere land framheves plogfri jordarbeiding som en metode som bevarer jordfuktighet. Det er også holdepunkter i Norge for at det fungerer best under tørre forhold. I et langvarig forsøk på stiv leire er det en klar negativ sammenheng mellom relativ avling (oppløyd/pløyd) og nedbørmengden fra mai til juli. Tørre forhold tidlig i vekstsesongen kan imidlertid hemme spiring på oppløyd jord, trolig pga. utilstrekkelig sådybde ved såing i oppløyd jord. I de langvarige forsøkene på leittleire, fant vi således en positiv sammenheng mellom relativ avling (oppløyd/pløyd) og nedbørmengden i mai.

En gunstig vekstfølge har betydning for ugraskkontroll og spesielt for å begrense soppsjukdommer i kornet. Det er grunn til å tro at dette er spesielt viktig ved redusert jordarbeiding. Ved redusert jordarbeiding fant Elen (2002) en økning i noen sopparter og en nedgang i andre. Kombinasjonen av plogfri jordarbeiding og monokultur førte til økt forekomst av bladflekkjukdommer. Det er ikke riktig å tilskrive redusert jordarbeiding hele skylden for slike problem. I to forsøk i Trøndelag, der disse sjukdommene var utbredte, gav bruk av fungicider omtrent samme økning i kornavling både med og uten pløying (Riley et al. 2005). I et forsøk på moreneleittleire fantes samme gunstige effekt av et omløp som inkluderte havre og oljevekster som et vekstskifte med bare bygg og hvete, uansett jordarbeidingsregime (Riley 2006). Ved redusert jordarbeiding er spiring av spillkorn i neste års vekst et problem, for eksempel når mathvete dyrkes etter havre.

De aller fleste forsøkene med endret jordarbeiding har dreid seg om vårkorn, men høstkorn er også undersøkt, spesielt de senere årene (Riley & Bakkegard 2009). Det er funnet en tendens til at det er vanskeligere å lykkes med endret jordarbeiding i høstkorn enn i vårkorn, spesielt ved direktesåing. Større problem med halmrestene er en sannsynlig årsak, samt større risiko for dårlig overvintring. Noen forsøk på leittleire har vist at endret jordarbeiding til potet også er mulig. Ekeberg og Riley (1996) fant at direktesetting av potet faktisk gav høyere avling enn pløying forutsatt at tidspunktet for høsting ble utsatt lenge nok. Denne metoden regnes likevel som lite aktuell av andre årsaker.

### 3.4 Jordartenes bruksegenskaper og anbefalte jordarbeidingsmetoder

Jordartene har ulike bruksegenskaper med hensyn til både jordstruktur, konsistens og eroderbarhet. De gir derfor ulike muligheter for å få til et godt såbed med gode spireforhold og samtidig begrense erosjonsfaren med jordarbeiding. De mest erosjonsutsatte jordtypene er siltrike og har lavt innhold av organisk materiale. Det er viktig å prøve å bygge opp et toppsjikt med mer organisk materiale, slik at strukturen blir mer stabil. Endret jordarbeiding gir muligheter til dette hvis en holder på i minst 5-6 år. Det er imidlertid meget viktig å unngå jordpakking på slik jord når pløyinga sløyfes.

Vi gir her en kort oversikt over jordartenes bruksegenskaper, etterfulgt av anbefalinger om passende jordarbeiding.

#### Silt

Siltjord har svak struktur. Det er liten tiltrekning mellom partikler i jorda og den "flyter" lett i vann. På de dårligste siltjordene vil matjordas struktur bare opprettholdes med et vekstomløp med mye eng. Tilsetting av organisk materiale (torv, slam o.l.) bedrer siltjordas egenskaper.

Under matjordlaget blir en vannmettet siltjord lett flytende. Dette gir seg utslag i dårlig bæreevne, utvasking og telehiv. Disse egenskapene blir mer utpreget jo mer silt jorda inneholder. Vibrasjoner fra traktordekk kan få vannmettet siltrik jord til å flyte sammen. Om vinteren er denne jorda ofte nær vannmettet, og bare tyngden av jorda over kan forårsake at alle makroporer (store porer og sprekker) flyter sammen. I siltjorda dannes horisontale islag (linsjer) når jorda fryser. Mye vann trekkes til det sjiktet som fryser pga. god kapillær vannledningsevne. Dette forårsaker telehiv. I motsetning til andre jordarter hvor dannelsen av islinsjer kan være gunstig for jordstrukturen, er de horisontale islag uheldige. Telen forsinker opptørking og kjørbarehet om våren. Under teleløsning vil store deler av matjordsjiktet være overmettet med vann over lengre tid. Under slike forhold kan denne jorda være ekstra utsatt for erosjon. De små partiklene transporteres lett med vann samtidig som de er svakt bundet til hverandre. Den humusfrie undergrunnsjorda er enda mer utsatt for vannerosjon enn matjorda, for eksempel i sluttfårer etter pløying. I utsatte områder bør skiftedeling, vekstfølge, halmbehandling og jordarbeiding utføres slik at overflateavrenning hindres.

Vårpløying av siltjord anbefales av hensyn til både avling og erosjon. Det gir raskere opptørking, og trolig varmere jord, enn høstpløying, og høstpløyd siltjord er ekstremt ømfintlig for erosjonskrefter.

### **Siltig leire**

Siltig lettleire eller siltig mellomleire kan ha en massiv undergrunn hvor røttene har vanskelig for å trenge nedover. Det kan være oksygenmangel i perioder når jorda er fuktig. Med et synkende vanninnhold stiger fastheten i jorda så mye at rotveksten nedover reduseres. Denne jorda er også utsatt for skorpedanning. Dette er spesielt farlig om våren før spiring.

På siltig mellomleire er det vanskelig å få til et godt såbed. Den har lett for å danne klumper ved bearbeiding i for fuktig jord. Strukturen er ustabil, og trekkraftbehovet er relativt stort. Tiden det tar for oppkomsten av spirene er en viktig faktor på slik jord fordi den er utsatt for skorpedanning. Hvis jorda får tid til å bli varm etter harving og sådybden er 3-4 cm vil spiringen skje raskt. Det er normalt ingen grunn til dypere såing, fordi vanntilgangen på denne jorda er tilstrekkelig for å få jevn spiring.

Lettleire og mellomleire med mye silt er utsatt for erosjon. Særlig hvis det organiske innholdet er lavt. Av hensyn til avlingen er det en fordel å pløye disse jordartene hvis de er dårlig drenert. På godt drenert jord av denne typen fungerer imidlertid endret jordarbeiding godt.

### **Lettleire**

Denne jorda er ideell for de fleste jordbruksvekster. Den har en stabil struktur og et stort nyttbart vannlager. Dessuten er ofte rotutviklingen god, og jorda er tørkesterk. Lettleire er ikke så plastisk at det er problematisk ved jordarbeiding. Den er heller ikke kald som de siltpregede jordartene. Dette er kanskje den jorda hvor en har flest valgmuligheter, når det gjelder jordarbeiding. Den tåler både direktesåing og redusert jordarbeiding. Den kan også vårpløyes, men det er like aktuelt å bruke endret jordarbeiding på denne jorda.

### **Mellomleire**

Selv om mellomleirene kan ha god grynstruktur om våren, er aggregatene svake. Leirinnholdet er ikke høyt nok til å gi stabil struktur, men jorda har likevel utpregede plastiske egenskaper. Dette gjør at tillaging av et godt såbed er vanskelig, og trekkraftbehovet er stort. På mellomleirer med lite silt kan vi bruke endret jordarbeiding, særlig hvis moldinnholdet er høyt.

### **Stiv leire**

Leire har mange kjemiske og fysiske egenskaper som skiller seg fra de lettere jordtypene. Stiv leire er massiv, tett og vannledningsevnen meget liten. Sprekker, rotkanaler, meitemarkganger er meget viktige for ledningsevnen for vann. Noen av leirtypene krymper ved tørking og danner store sprekker. Disse sprekkekanalene kan være meget viktig for dreneringen langt utover høsten. Sprekkene lukker seg igjen ved langvarig oppfuktning.

Pløgsla på stiv leire bør være jevn. Ujevn overflate kan gi ujevne fuktighetsforhold om våren og dermed dårlig spiring. Leirjorda tørker langsomt opp nedover i undergrunnsjorda. En tørr overflate har meget god bæreevne. Noen ganger kan jordarbeidingen utføres på telen. Leirjorda skal bearbeides og såes så raskt som mulig når den er laglig. Dette skyldes at deler av overflata er allerede meget tørr før bearbeiding kan starte. Jo høyere leirinnhold, jo snevrere er fuktighetsområdet hvor jorda smuldrer.

For å sikre god vanntilgang for spiring bør kornet i jorda så raskt som mulig etter såbedstillaging. Redskap som skal brukes på stiv leire skal ikke dra opp klump.

Direktesåing kan brukes på stiv leire som har god jordstruktur. Overflata vil smuldre fint ved såing. Dersom jorda er dårlig drenert, er det likevel vanskelig å sløyfe høstpløyinga.

### Anbefalte jordarbeidingsmetoder

Børresen et al. (1990) lanserte følgende klassifisering av anbefalte jordarbeidingsystem på ulike jordarter under varierende dreneringsforhold (Tabell 2). Anbefalingene ble utarbeidet mest med tanke på dyrking av vårkorn. De gjelder imidlertid (med unntak av vårpløying og vårharving!) også for høstkorn. Generelt vil det trolig kreves mer harving til høstkorn enn til vårkorn, både fordi halm- og stubbresten er ferskere og fordi jorda kan være mer uttørket og mindre lettsmuldret om høsten enn om våren.

Tabell 2. Anbefalte jordarbeidingsmetoder<sup>1</sup> på ulike jordarter ved varierende dreneringsforhold

Jordarter <sup>2</sup>	Dreneringsgrad		
	Godt/moderat	Ufullstendig	Dårlig/svært dårlig
Svært stiv leire	HP	HP	HP
Stiv leire	DS/VH/HH	DS/HH	HP
Siltig mellomleire >60% silt	HH	HH	HP
Siltig lettleire >60% silt	DS/VH/HH	DS/VH/HH	HH
Siltig mellomleire <60% silt, mellomleire, sandig m.leire	DS/VH	DS/HH <sup>3</sup>	HH
Siltig lettleire <60% silt, lettleire, sandig lettleire	DS/VH/HH	DS/VH/HH	DS/VH/HH
Silt	VP	VP	VP
Sandig silt, siltig sand <25% silt, siltig finsand	VH/VP/HH	VH/VP/HH	VH/VP/HH
Siltig grovsand, siltig mellom-sand <25% silt, sand	VH/HH	VH/HH	VH/HH

<sup>1</sup> HP = høstpløying VP = vårpløying HH = høstharving VH = vårharving DS = direktesåing

<sup>2</sup> Jordarter etter Sveistrup og Njøs (1984)

<sup>3</sup> Kan vårharves hvis moldinnholdet er større enn 4 %

I oversikten er høstpløying eneste alternativ på svært stiv leire (som finnes lite i Norge) og på dårlig drenert stiv leire og mellomleire, hvor jordpakkingsrisikoen ansees å være for stor uten pløying. Vårpløying er anbefalt på jordarter hvor høy jordfuktighet om våren forsinker våronnstart (f. eks. silt). Høstharving anbefales der det er vanskelig å få tilfredsstillende såbed med bare vårharving (mange leirjordarter), mens vårharving anbefales på lettere, veldrenert jord med god strukturstabilitet (f. eks. morenelettleire). Direktesåing passer trolig på de sammen jordartene som vårharving, dersom halmrestene fjernes. På mindre stabile jordtyper (f. eks. moldfattig siltig mellomleire) kan en form for jordløsning ned til ca. 30 cm uten vending av jorda kanskje brukes forut direktesåing for å gardere mot erosjon. Slik jordløsning er imidlertid kostbar og energikrevende, og medfører en jordpakkingsrisiko ved feil utførelse.

For vurdering av risiko for erosjon og avrenning kan det være nyttig å se på klassifisering av jordsmonngrupper. De mest erosjonsutsatte arealene på Østlandet og i Trøndelag er klassifisert som Albeluvisols. Jordsmonnkartet fra Skog og landskap viser utbredelsen av dette jordsmonnet. De utarbeider også kart som viser erosjonsrisiko ved høstpløying for hele Norge, utarbeidet på grunnlag av jordart og helling. Erosjonsrisikokart viser den gjennomsnittlige risiko for erosjon over flere år ved høstpløying og målinger av erosjon i enkelte felt og år kan avvike stort fra det som angis som middelverdi på kartet. Disse erosjonsrisikokartene er grunnlaget for vurdering av tilskudd gjennom regionale miljøprogram.



## 4. Effekter av jordarbeiding på jord- og fosfortap - resultater

---

Rapporten omfatter ruteforsøk og resultater fra modellering av effekter av jordarbeiding på jord- og fosfortap. I ruteforsøkene er det gjort en direkte sammenligning av ulike jordarbeidingsmetoder under mest mulig like forhold. Dog er ikke alle forsøk gjort under samme forhold og i samme år. Sammenligninger av resultater fra ulike felt gir dermed store usikkerheter. Tilfeldige variasjoner i hydrologi og jordart innenfor feltene kan også ha betydning for forskjeller som er registrert mellom jordarbeidingsystemer. Det er likevel slike ruteforsøk som gir det beste grunnlaget for vurdering av effekter av jordarbeidingsystemene på avrenning, jord- og fosfortap. Overvåking på større skala i småfelt og nedbørfelt gir informasjon og kunnskap om prosesser i jordbrukslandskapet som har betydning for tap av jord og fosfor. Disse prosesser er viktige i forbindelse med vurdering av tiltakseffekter, men med økende skala blir også variasjonen og usikkerheten i den direkte effekten av jordarbeiding større. I denne rapporten er det valgt å fokusere på de direkte sammenligninger av jordarbeidingsmetoder som gjøres i ruteforsøk. Det er ikke gjort statistiske analyser av forskjeller mellom behandlinger fordi antall år med lik behandling i mange tilfelle er for kort til å få signifikante forskjeller. Forholdstallene i teksten viser til resultater relativt til standardjordarbeiding (høstpløying) som er satt til 1.

### 4.1 Ruteforsøk med forskjellig jordarbeiding

Sammenstillingen omfatter nordiske forsøk med jordarbeiding og ulike vekster. I hovedsak er det korn (høst- og vårkorn) og eng som er inkludert i undersøkelsene. De ulike behandlinger kan være gjennomført i ulike perioder, men stort sett er det kun behandlinger gjennomført samme år som er sammenliknet.

#### 4.1.1 Norge

Norske undersøkelser av jordarbeidings betydning for erosjon og fosfortap ble igangsatt i 1979 ved NLH. Disse forsøkene, samt forsøk som ble igangsatt seinere, danner bl.a. grunnlaget for erosjonsrisikokart og modeller som brukes til beregning av tap av fosfor fra jordbruksarealer. De første avrenningsforsøkene fra feltlysometre ble publisert av Njøs og Hove (1986), Lundekvam og Mundal (1986) og Hole (1988). Rutefelter med lengre tidsserier med registrert avrenning og konsentrasjoner av suspendert stoff (SS) og totalfosfor (TP) fins for rutefeltene Apelsvoll, Syverud, Skjetlein, Kvithamar, Øsaker, Hellerud, Askim og Bjørnebekk. Geografisk dekker feltene Østlandet og Trøndelag. Rekkefølgen på de norske feltene i rapporten går fra stor mot liten erosjon.

#### ***Askim, SØ-Norge (bakkeplanert marin leire, stor erosjon, middels P-AL)***

Rutefeltet Askim ligger i Askim kommune i Østfold. Jorda er moldfattig (1,9 % OM) siltig mellomleire (29 % leir, 61 % silt), med marine avsetninger som opphavsmateriale. P-AL har vært målt til 7,5 mg/100 g jord (Lundekvam, 1997). Feltet ble bakkeplanert i 1985 i forbindelse med omlegging av E6. Helningsgraden 13 % og helningslengden er 25 m, med unntak av to ruter som er 44 m lange. Feltet ble drenert i 1986, med grøfteavstand 4 m i noen ruter og 8 m i noen ruter, og 1 m grøftedyp. Det måles både overflateavrenning og grøfteavrenning fra rutene, men grøfteavrenningen er felles for ulike jordarbeidingsystemer. Det har vært høstpløying (HPL, til og med 1999), høstharving (HHA, fra og med 2000), vårharving (VHA) og vårharving med innblanding av bark (VHA<sub>bark</sub>) på rutene. Det er dyrket vårkorn alle år, med normal gjødselmengde. Data presentert her er hentet fra Lundekvam (1997; upubl.).

Ifølge kart fra Skog og Landskap, er erosjonsrisiko ved høstpløying stor (200-800 kg/daa/år) i dette feltet. Målt gjennomsnittlig SS-tap (overflateavrenning) ved høstpløying (24 m rute) ble målt til 417 kg/daa/år i perioden 87-99 (tabell 3). Dette ligger innenfor klassegrensene for stor erosjonsrisiko. SS-konsentrasjonen i overflatevann ved høstpløying var 1613 mg/l. Askim har også betydelige SS-tap til

grøftene, men grøfte- og overflateavrenning fra ulike jordarbeidingsystemer blandes. TP-tap ved høstpløying lå på 0,45 kg/daa/år, TP-konsentrasjonen på 1,7 mg/l.

Jordarbeiding om våren viste stor reduksjon i overflateavrenning av SS og TP for Askim-feltet både for perioden 1987-99 (tabell 3) og for perioden 2000-06. For perioden 87-99 var det positiv effekt av vårharving framfor høstpløying på tap av SS og TP. Relative tap og konsentrasjoner av SS var ca 0,15, og for TP var denne faktoren ca 0,2. I alle år er det lavere SS- og TP-tap ved vårharving enn ved høstpløying (figur 2). Overflateavrenningen ved vårharving er større i 4 av årene, men tap av SS og TP er likevel betydelig lavere ved jordarbeiding på våren. Ved vårharving er tap av SS de enkelte år redusert til 0,04-0,25 relativt til høstpløying. Tilsvarende er TP-tapet redusert til 0,07-0,34.

I perioden 2000-06 var det høstharvet i stedet for høstpløyd, og begge ruter med høstharving hadde 8 m grøfteavstand mens begge ruter med vårharving hadde 4 m grøfteavstand. Forholdstallet mellom tap fra de to systemene var omtrent som forholdstallet mellom vårharving og høstpløying i foregående periode (tabell 3).

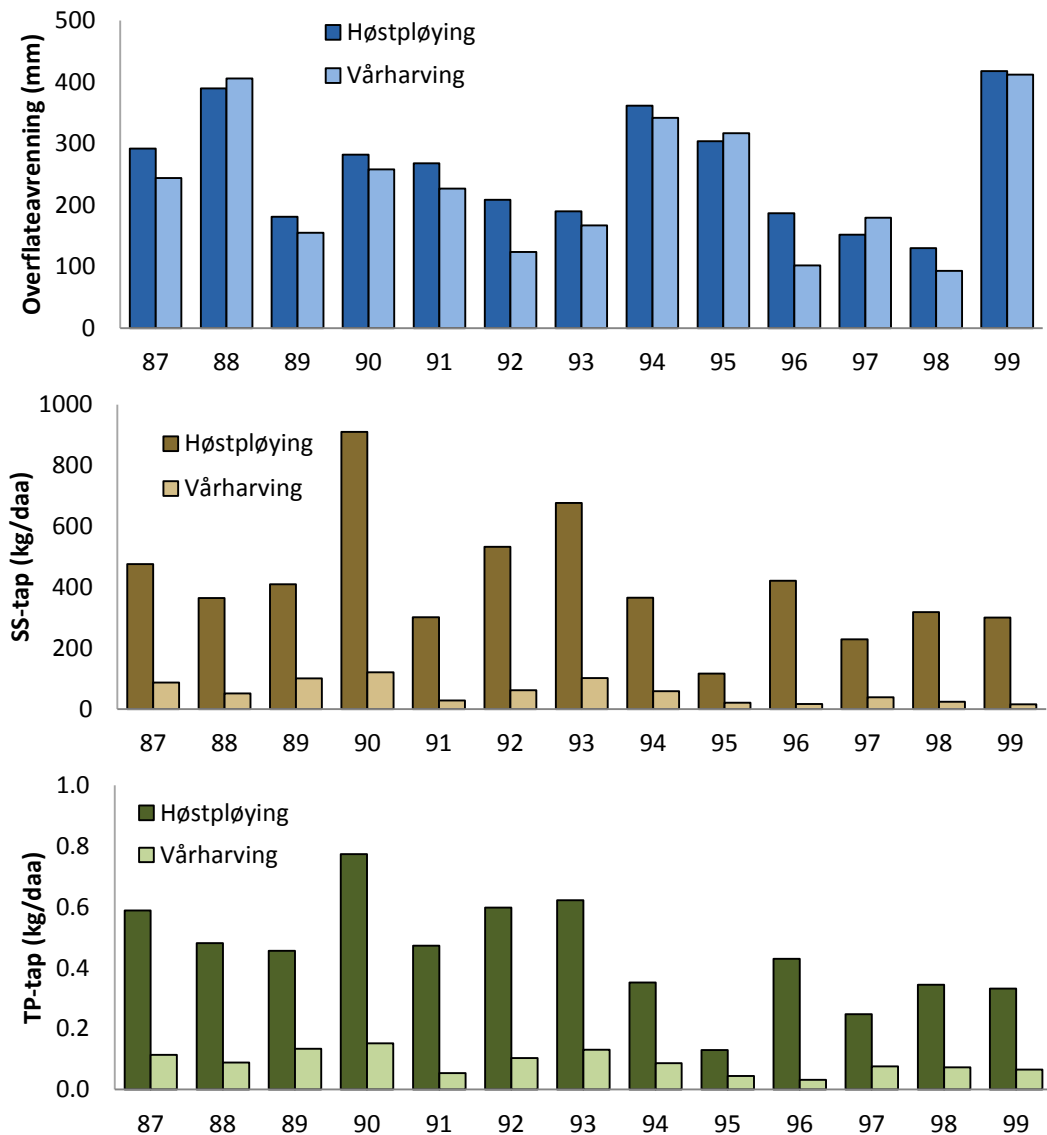
Effekt av vårharving med innblandet bark i perioden 87-95 var positiv både for SS og TP, med faktorer på ca 0,15 for SS og 0,2-0,3 for TP. Høstpløying på lang rute (44 m) resulterte i 1,7 ganger større tap og konsentrasjoner av SS og TP en høstpløying på kort rute (24 m) i perioden 87-95.

Tabell 3. Avrenning (Q), og transport og konsentrasjoner av jordpartikler (SS) og total fosfor (TP) ved ulike jordarbeiding, og relative tap og konsentrasjoner sammenliknet med høstpløying (faktor), Askim rutefelt i Askim (kun overflateavrenning). Data fra Lundekvam (1997; upubl.).

Askim	Jordarbeiding*	Q (mm)	Transport (kg/daa/år)		Konsentrasjon** (mg/l)	
			SS	TP	SS	TP
87-99	HPL	259	417	0,45	1613	1,7
	VHA	233	56	0,089	242	0,38
<b>Faktor</b>	<b>VHA/HPL</b>	<b>0,90</b>	<b>0,13</b>	<b>0,20</b>	<b>0,15</b>	<b>0,22</b>
00-06	HHA <sub>8</sub>	250	257	0,29	1029	1,1
	VHA <sub>4</sub>	175	37	0,052	212	0,30
<b>Faktor</b>	<b>VHA<sub>4</sub>/HHA<sub>8</sub></b>	<b>0,70</b>	<b>0,14</b>	<b>0,18</b>	<b>0,21</b>	<b>0,26</b>
87-95	HPL	274	462	0,50	1680	1,8
87-95	HPL <sub>44</sub>	271	801	0,89	2954	3,3
87-95	VHA <sub>bark</sub>	208	54	0,10	262	0,49
<b>Faktor</b>	<b>HPL<sub>44</sub>/HPL</b>	<b>0,99</b>	<b>1,7</b>	<b>1,8</b>	<b>1,8</b>	<b>1,8</b>
	<b>VHA<sub>bark</sub>/HPL</b>	<b>0,76</b>	<b>0,12</b>	<b>0,21</b>	<b>0,16</b>	<b>0,27</b>

\* Jordarbeiding: H=høst, V=vår, PL=pløying, HA=harving, bark=innblanding av bark, 44=44 m lang rute (de andre rutene er 24 m lange), 4=4 m grøfteavstand, 8=8 m grøfteavstand. Det er dyrket vårkorn på alle ruter.

\*\* Konsentrasjon = Transport × 1000/Q



Figur 2. Variasjon i overflateavrenning, jordtap (SS) og fosfortap (TP) mellom år, ved høstpløying og vårharving på Askim i perioden 87-99 (Lundekvam, upubl.). Verdiene er oppgitt for kalenderår.

### Bjørnebekk, SØ-Norge (bakkeplanert marin leire, stor erosjon, middels P-AL)

Rutefeltet Bjørnebekk ligger i Ås kommune i Akershus. Jorda er moldfattig (2,4 % OM) siltig mellomleire (27 % leir, 62 % silt), med marine avsetninger som opphavsmateriale. P-AL har vært målt til 4,7 mg/100 g jord (Lundekvam, 1997). Feltet er bakkeplanert. Helningsgraden 13 % og helningslengden er 21 m. Kildene sier ikke noe om drenering av feltet. Det måles kun overflateavrenning. Det har vært ulike jordarbeidingsystemer på feltet, men ikke alle er videreført: høstpløying og vårpløying med og uten halminnblanding (HPL<sub>halm</sub>, HPL, VPL<sub>halm</sub>, VPL), tidlig og sen høstpløying (HPL, HPL<sub>sen</sub>), høst- og vårharving med og uten halm (HHA<sub>halm</sub>, HHA, VHA<sub>halm</sub>, VHA) og høstkorn med høstpløying (HPL+HK). Når ikke annet er nevnt, er det dyrket vårkorn på ruta. Data presentert her er hentet fra Lundekvam (1997; upubl.).

Ifølge kart fra Skog og Landskap, er erosjonsrisiko ved høstpløying stor (200-800 kg/daa/år) i dette feltet. Målt gjennomsnittlig SS-tap (overflateavrenning) ved høstpløying ble målt til 521 kg/daa/år i 90-04 (figur 4). Dette ligger innenfor klassegrensene for stor erosjonsrisiko. SS-konsentrasjonen ved høstpløying var tilsvarende 1822 mg/l i samme periode. TP-tap ved høstpløying lå på 0,65 kg/daa/år, og TP-konsentrasjon på 2,3 mg/l.

De behandlingene som har lengst måleserie omfatter høstpløying, høstharving, høstkorn med høstpløying, vårpløying, vårharving og vårharving med halminnblanding. Resultatene viste stor reduksjon i tap av SS og TP (tabell 4) for alle jordarbeidingsystemer uten høstpløying. Høstkorn med høstpløying ga økt avrenning, SS-tap (faktor 1,5), TP-tap (faktor 1,3) og SS-konsentrasjon (faktor 1,2), og samme TP-konsentrasjon sammenliknet med høstpløying. Høstharving ga omtrent en halvering av tap og konsentrasjoner av SS og TP (noe mer effektivt for SS) i forhold til høstpløying. Vårpløying ga den største reduksjonen i tap og konsentrasjon av både SS og TP (faktorer 0,1-0,3). Vårharving og vårharving med halminnblanding ga også stor reduksjon i tap og konsentrasjoner av SS og TP (faktorer 0,2-0,4) sammenliknet med høstpløying, selv om det var noe mer overflateavrenning.

I perioden 90-95 ble det gjort sammenligning der alle ledd hadde halminnblanding. Høstharving og vårpløying ble sammenliknet med høstpløying (tabell 4). Effekten av de to førstnevnte sammenliknet med høstpløying var positiv, og reduksjonsfaktorene var i samme størrelsesorden som i systemer uten halminnblanding. I 90-93 ble sen og tidlig høstpløying sammenliknet. Sen høstpløying ga 1,3 ganger større tap av SS og TP pga økt avrenning. Konsentrasjonene var de samme.

Overflateavrenning, SS-tap og TP-tap er lavere ved vårpløying enn ved høstpløying i alle år (figur 3). Forholdstallet mellom tap ved vårpløying og høstpløying varierer mellom 0,05-0,28 for SS og 0,08-0,45 for TP.

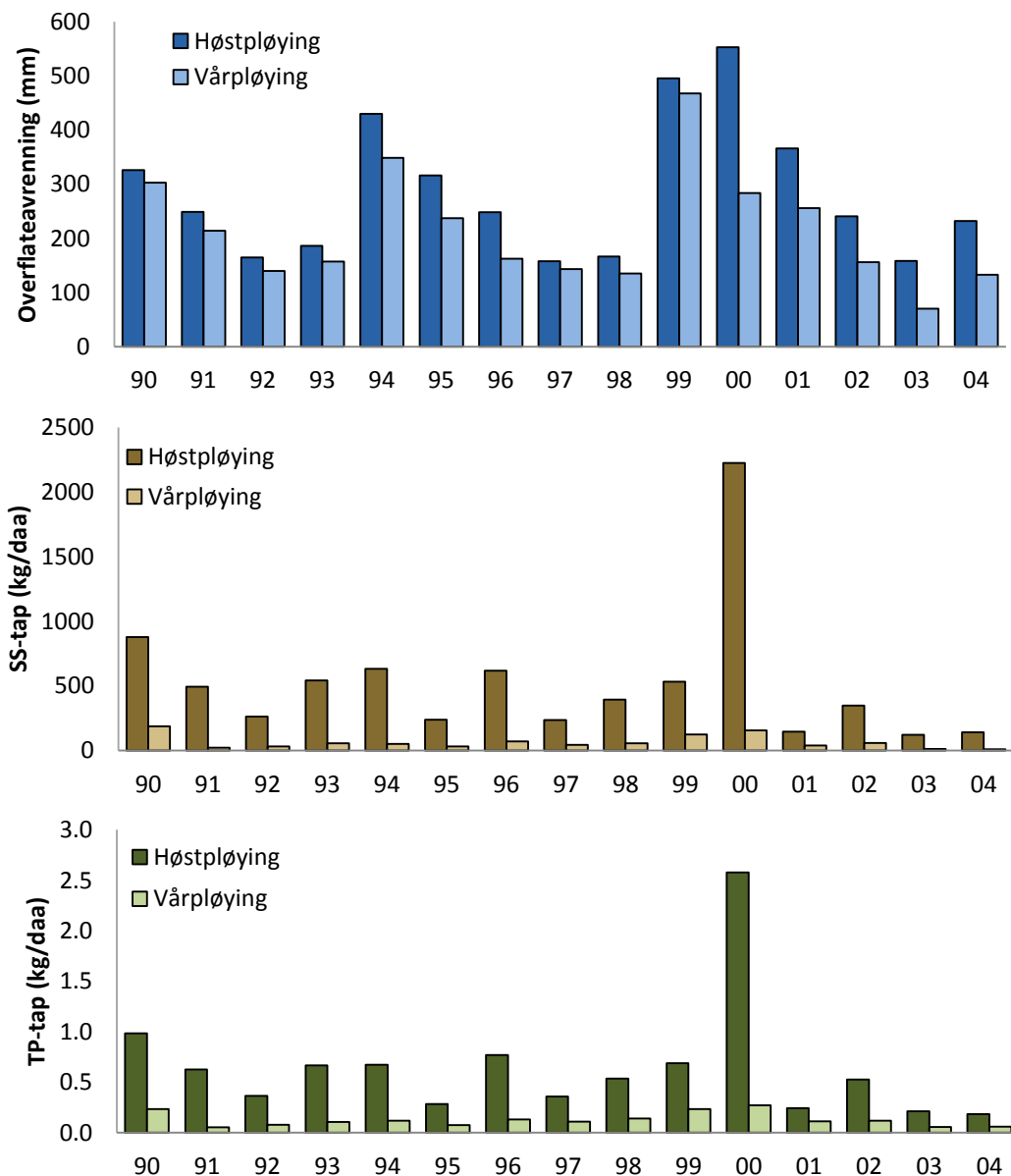
Tabell 4. Avrenning (Q), og transport og konsentrasjoner av jordpartikler (SS) og total fosfor (TP) ved ulike jordarbeiding, og relative tap og konsentrasjoner sammenliknet med høstpløying (faktor), Bjørnebekk rutefelt i Ås (kun overflateavrenning). Data fra Lundekvam (1997; upubl.).

Bjørnebekk	Jordarbeiding*	Q (mm)	Transport (kg/daa/år)		Konsentrasjon** (mg/l)	
			SS	TP	SS	TP
90-04	HPL	286	521	0,65	1822	2,3
90-04	HHA	261	213	0,31	816	1,2
94-04	HPL+HK	357	762	0,83	2134	2,3
90-04	VPL	214	65	0,13	304	0,61
95-04	VHA	401	139	0,25	347	0,62
95-04	VHA <sub>halm</sub>	341	112	0,23	328	0,67
<b>Faktor***</b>	<b>HHA/HPL</b>	<b>0,91</b>	<b>0,41</b>	<b>0,48</b>	<b>0,45</b>	<b>0,52</b>
	<b>HPL+HK/HPL</b>	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>	<b>1,0</b>
	<b>VPL/HPL</b>	<b>0,75</b>	<b>0,12</b>	<b>0,20</b>	<b>0,17</b>	<b>0,27</b>
	<b>VHA/HPL</b>	<b>1,4</b>	<b>0,27</b>	<b>0,38</b>	<b>0,19</b>	<b>0,27</b>
	<b>VHA<sub>halm</sub>/HPL</b>	<b>1,2</b>	<b>0,21</b>	<b>0,35</b>	<b>0,18</b>	<b>0,29</b>
90-95	HPL <sub>halm</sub>	278	512	0,60	1842	2,2
90-95	HHA <sub>halm</sub>	269	257	0,33	957	1,2
90-95	VPL <sub>halm</sub>	233	65	0,11	278	0,47
<b>Faktor</b>	<b>HHA<sub>halm</sub>/HPL<sub>halm</sub></b>	<b>0,97</b>	<b>0,50</b>	<b>0,55</b>	<b>0,52</b>	<b>0,57</b>
	<b>VPL<sub>halm</sub>/HPL<sub>halm</sub></b>	<b>0,84</b>	<b>0,13</b>	<b>0,18</b>	<b>0,15</b>	<b>0,22</b>
90-93	HPL	231	552	0,66	2387	2,9
90-93	HPL <sub>sen</sub>	290	715	0,87	2465	3,0
<b>Faktor</b>	<b>HPL<sub>sen</sub>/HPL</b>	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>

\* Jordarbeiding: H=høst, V=vår, PL=pløying, HA=harving, HK=høstkorn, halm=halminnblanding, sen=sent på året. Der HK ikke er oppgitt som vekst, er det vårkorn.

\*\* Konsentrasjon = Transport × 1000/Q

\*\*\* der måleperioden er kortere enn for HPL, er faktoren beregnet i forhold til HPL tilsvarende måleperiode (disse tallene er ikke oppgitt, men framkommer ved å regne tilbake via faktoren)



Figur 3. Variasjon i overflateavrenning, jordtap (SS) og fosfortap (TP) mellom år, ved høstpløying og vårpløying på Bjørnebekk i perioden 90-04 (Lundekvam, upubl.). Verdiene er oppgitt for kalenderår.

### Hellerud, SØ-Norge (bakkeplanert marin leire, stor erosjon, middels-høy P-AL)

Rutefeltet Hellerud ligger i Skedsmo kommune i Akershus. Jorda er moldfattig (2,9 % OM) siltig mellomleire (30 % leir, 66 % silt), med marine avsetninger som opphavsmateriale. P-AL har vært målt til 9,9 mg/100 g jord (Lundekvam, 1997) og 6,1 mg/100 g jord (Grønsten et al., 2007). Feltet ble bakkeplanert i 1975. Helningsgraden 13 % og helningslengden er 30 m, med unntak av en rute som er 70 m lang. Kildene sier ikke noe om når og hvordan feltet er drenert, og det måles kun overflateavrenning. Det har vært varierende jordarbeidingsystemer på feltet. Opp gjennom årene har det vært høstpløying (HPL), høstpløying på tvers (HPL<sub>tvers</sub>), vårharving (VHA), eng, og høstkorn (HK) med ulik jordarbeiding og vårharving med (VHA<sub>slam</sub>) og uten slam (VHA). Når ikke annet er nevnt, er det dyrket vårkorn på ruta. Data presentert her er hentet fra Lundekvam (1997; upubl.) og Grønsten et al. (2007).

Tabell 5. Avrenning (Q), og transport og konsentrasjoner av jordpartikler (SS), total fosfor (TP), løst fosfor (DRP) og DRP som prosentandel av TP (% av TP) ved ulike jordarbeiding, og relative tap og konsentrasjoner sammenliknet med høstpløying (faktor), Hellerud rutefelt i Skedsmo (kun overflateavrenning). Data fra Lundekvam (1997; upubl.) og Grønsten et al. (2007).

Hellerud	Jordarbeiding*	Q (mm)	Transport (kg/daa/år)			Konsentrasjon** (mg/l)		
			SS	TP	DRP (% av TP)	SS	TP	DRP
92-95	HPL	197	205	0,25	-	1039	1,3	-
92-95	HPL <sub>70</sub>	206	368	0,42	-	1784	2,0	-
92-95	VHA	202	22	0,083	-	107	0,41	-
92-95	VHA <sub>slam</sub>	189	13	0,062	-	67	0,33	-
92-95	ENG	185	9,2	0,079	-	50	0,43	-
92-95	HPL <sub>tvers</sub>	167	104	0,12	-	625	0,73	-
Faktor	HPL <sub>70</sub> /HPL	1,0	1,8	1,7	-	1,7	1,6	-
	HPL <sub>tvers</sub> /HPL	1,0	0,51	0,49	-	0,60	0,58	-
	VHA/HPL	0,96	0,11	0,33	-	0,10	0,32	-
	VHA <sub>slam</sub> /HPL	0,94	0,06	0,25	-	0,06	0,26	-
	ENG/HPL	0,85	0,04	0,32	-	0,05	0,34	-
94-00	HPL	205	264	0,30	-	1289	1,5	-
94-00	HPL <sub>tvers</sub>	189	183	-	-	967	-	-
94-00	VHA	183	22	0,080	-	117	0,44	-
94-00	ENG	-	13	-	-	-	-	-
Faktor	VHA/HPL	0,89	0,08	0,27	-	0,09	0,30	-
	HPL <sub>tvers</sub> /HPL	0,92	0,70	-	-	0,75	-	-
	ENG/HPL	-	0,05	-	-	-	-	-
03-07	HPL	83	97	0,11	0,021 (19)	1169	1,3	0,26
03-07	HPL+HK	155	102	0,23	0,050 (22)	658	1,5	0,33
03-07	HPL <sub>tvers</sub> +HK	115	51	0,11	0,019 (17)	443	0,91	0,17
03-07	HHA+HK	111	35	0,059	0,012 (21)	315	0,53	0,11
03-07	DIR+HK	82	13	0,035	0,0083 (24)	159	0,43	0,10
03-07	HPL+HK <sub>70</sub>	183	130	0,30	0,060 (20)	710	1,6	0,33
Faktor	HPL+HK/HPL	1,9	1,1	2,1	2,3	0,56	1,1	1,3
	HPL <sub>tvers</sub> +HK/HPL	1,4	0,53	0,96	0,89	0,38	0,70	0,65
	HHA+HK/HPL	1,3	0,36	0,54	0,58	0,27	0,40	0,43
	DIR+HK/HPL	1,0	0,13	0,32	0,39	0,14	0,33	0,39
	HPL <sub>70</sub> +HK/HPL+HK	1,2	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0

\* Jordarbeiding: H=høst, V=vår, PL=pløying, HA=harving, HK=høstkorn, DIR=direktesåing, 70=70 m lang rute, slam=innblanding av kloakkslam, tvers=kotepløying (på tvers av fall). Der verken HK eller ENG er oppgitt som vekst, er det vårkorn.

\*\* Konsentrasjon = Transport × 1000/Q

Ifølge kart fra Skog og Landskap, er erosjonsrisiko ved høstpløying stor (200-800 kg/daa/år) i dette feltet. Målt gjennomsnittlig SS-tap (overflateavrenning) ved høstpløying (30 m rute) ble målt til 205, 264 og 97 kg/daa/år i henholdsvis 92-95, 94-00 og 03-07 (tabell 5). Dette ligger innenfor klassegrensene for middels og stor erosjonsrisiko. SS-konsentrasjoner ved høstpløying var mellom 1039 og 1289 mg/l.

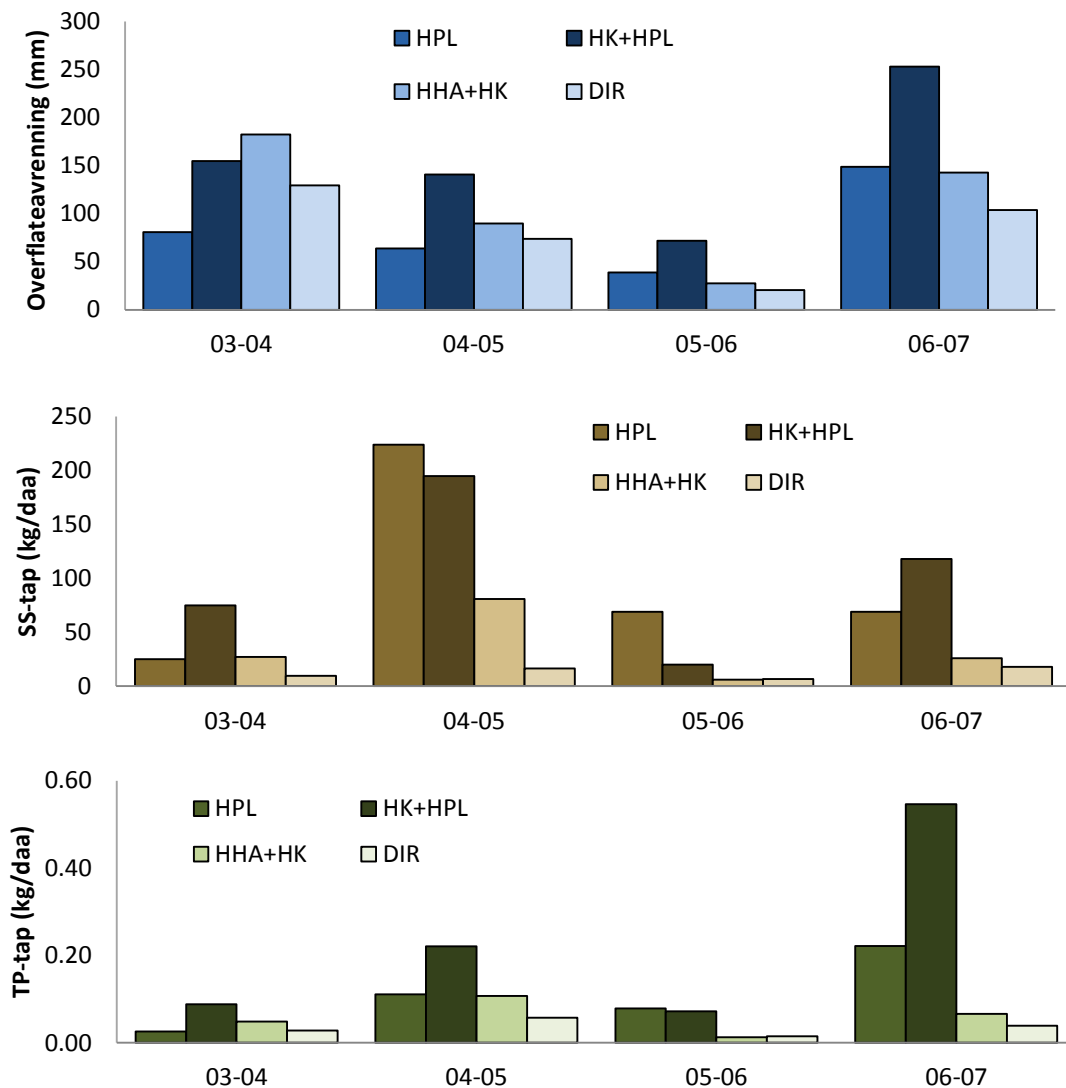
TP-tap ved høstpløying varierte mellom 0,11 og 0,30 kg/daa/år, og TP-konsentrasjoner mellom 1,3 og 1,5 mg/l.

De fleste jordarbeidingsystemene resulterte i lavere tap og konsentrasjoner av både SS og TP sammenlignet med høstpløying. I 92-95 ga høstpløying på tvers omtrent en halvering av SS- og TP-tap, og en noe lavere reduksjon (faktor 0,6) i SS- og TP-konsentrasjoner. Effekten av høstpløying på tvers på SS var lavere i perioden 94-00. I samme periode var vårharving, med og uten tilførsel av slam, enda mer effektivt, med en faktor på ca 0,1 for SS-tap og SS-konsentrasjon, og en faktor på ca 0,3 for TP-tap og TP-konsentrasjon. Vårharving med slam var litt mer effektivt enn vårharving uten slam. Effekt av vårharving var omtrent den samme i perioden 94-00 som i 92-95. Effekt av eng (92-95, SS også i 94-00) var sammenliknbar med vårharving.

I perioden 03-07 var det fokus på høstkorndyrking på feltet. Høstkorn med høstpløying ga litt høyere SS-tap (faktor 1,1) og betydelig lavere SS-konsentrasjon (faktor 0,6) enn høstpløying, mens både TP-tap og TP-konsentrasjon økte ved høstkorndyrking sammenlignet med høstpløying (faktor 2,1 og 1,1, henholdsvis). Høstkorn med høstpløying på tvers, høstkorndyrking og direktesådd høstkorndyrking hadde en positiv effekt på både tap og konsentrasjoner av SS og TP, direktesådd var mest effektivt (faktor ca 0,15 for SS og ca 0,3 for TP). Den lange ruta (70 m) med høstpløying ga betydelig større tap og konsentrasjoner av SS og TP enn den korte ruta med høstpløying (faktorer 1,6 - 1,8). Tilsvarende var det for lang og kort rute med høstkorndyrking (perioden 03-07), men forskjellen var mindre (faktorer 1,1 - 1,3).

I 03-07 var det også målt løst P (i form av fosfat-P) i avrenning i tillegg til TP. Andel løst P lå på 17-24 % i de ulike systemene. Det var 2,3 ganger større tap og 1,3 ganger større konsentrasjon av løst P ved høstpløying til høstkorndyrking i forhold til ved høstpløying til vårkorn. De andre jordarbeidingsystemene ga redusert tap og konsentrasjon av løst P, med lavest verdier for direktesådd høstkorndyrking.

Overflateavrenningen var større ved høstpløying til høstkorndyrking enn ved høstpløying til vårkorn i alle fire år (figur 4). For tap av TP gjaldt det tilsvarende i tre av fire år og for SS var det to år med størst tap fra høstpløying til høstkorndyrking, og to år med størst tap fra høstpløying til vårkorn. Tapene av TP og SS var lavere ved høstharvet og direktesådd høstkorndyrking enn ved høstpløying i tre av fire år. Det første året var det litt høyere SS- og TP-tap ved høstharvet høstkorndyrking enn ved høstpløyd vårkorn. Dette viser at variasjonen mellom år kan være stor, og at effekten av ulike jordarbeidingsystemer vil variere.



Figur 4. Variasjon i overflateavrenning, jordtap (SS) og fosfortap (TP) mellom år, på Hellerud i Skedsmo, ved vårkorn med høstpløying (HPL), høstkorn med høstpløying (HPL+HK), høstkorn med høstharving (HHA+HK) og direktesådd høstkorn (DIR) i perioden 03-07 (Grønsten et al., 2007). Verdiene er oppgitt for agrohydrologiske år (1. mai - 30. april).

### Øsaker, SØ-Norge (bakkeplanert marin leire, middels erosjon, middels P-AL)

Rutefeltet Øsaker ligger i Sarpsborg kommune i Østfold. Jorda er moldholdig (3,8 % OM) stiv leire (44 % leir, 42 % silt), med marine avsetninger som opphavsmateriale. P-AL har vært målt til 4,1 mg/100 g jord (Lundekvam, 1997) og 5,6 mg/100 g jord (Grønsten et al., 2007). Feltet ble bakkeplanert i 1980. Helningsgraden 12 % og helningslengden er 22 m. Kildene sier ikke noe om når og hvordan feltet er drenert, og det måles kun overflateavrenning. Det har vært varierende jordarbeidingsystemer på feltet. Opp gjennom årene har det vært høstpløying med stubbharving (HPL), sen høstpløying (HPL<sub>sen</sub>), høstharving (HHA), direktesåing (DIR), høstkorn (HK) med ulik jordarbeiding og vårharving (VHA). Når ikke annet er nevnt, er det dyrket vårkorn på ruta. Data presentert her er hentet fra Lundekvam (1997; upubl.) og Grønsten et al. (2007).

Ifølge kart fra Skog og Landskap, er erosjonsrisiko ved høstpløying middels (50-200 kg/daa/år) i dette feltet. Målt gjennomsnittlig SS-tap (overflateavrenning) ved høstpløying ble målt til 126, 146, 85, 106 og 40 kg/daa/år i henholdsvis 90-95, 90-93, 94-95, 94-00 og 03-07 (tabell 6). Jevnt over ligger dette innenfor klassegrensene for middels erosjonsrisiko. SS-konsentrasjoner ved høstpløying varierte fra 336



til 1566 mg/l. TP-tap ved høstpløying varierte mellom 0,07 og 0,15 kg/daa/år, og TP-konsentrasjoner mellom 0,57 og 1,6 mg/l.

I perioden 90-95 ble høstharving og direktesåing av vårkorn sammenliknet med høstpløying. Begge alternativer ga mindre tap og konsentrasjoner av SS og TP. Direktesåing var mest effektivt, med faktor for SS-tap og SS-konsentrasjon lik ca 0,15 og faktor for TP-tap og TP-konsentrasjon lik 0,2. Høstharving var mindre effektivt, med faktorer på ca 0,6-0,7 for SS og 0,8-0,9 for TP. I noen av disse årene ble det også inkludert høstpløying med slam (90-93), hvilket ga reduksjoner i SS- og TP-tap med en faktor lik 0,6, mens SS- og TP-konsentrasjonene ble minimalt redusert (faktor ca 0,95). I perioden 94-00 er det data tilgjengelig for høstpløying og direktesåing av vårkorn (SS og TP), og for høstpløying til høstkorn (kun SS-tap). Direktesåing hadde en positiv effekt på både SS og TP også i denne perioden, med faktorer 0,2 for SS-tap og SS-konsentrasjon, og faktor 0,3 for TP-tap og TP-konsentrasjon. Effekt av høstpløying til høstkorn var positiv for SS-tap og SS-konsentrasjon, tall for TP er ikke oppgitt i kilden.

**Tabell 6. Avrenning (Q), og transport og konsentrasjoner av jordpartikler (SS), total fosfor (TP), løst fosfor (DRP) og DRP som prosentandel av TP (% av TP) ved ulike jordarbeiding, og relative tap og konsentrasjoner sammenliknet med høstpløying (faktor), Øsaker rutefelt i Sarpborg (kun overflateavrenning). Data fra Lundekvam (1997; upubl.) og Grønsten et al. (2007).**

Øsaker	Jordarbeiding*	Q (mm)	Transport (kg/daa/år)			Konsentrasjon** (mg/l)		
			SS	TP	DRP (% av TP)	SS	TP	DRP
92-07								
90-95	HPL	125	126	0,14	-	1004	1,1	-
90-95	HHA	142	86	0,12	-	606	0,82	-
90-95	DIR	130	19	0,032	-	145	0,24	-
<b>Faktor</b>	<b>HHA/HPL</b>	<b>1,1</b>	<b>0,69</b>	<b>0,86</b>	-	<b>0,60</b>	<b>0,76</b>	-
	<b>DIR/HPL</b>	<b>1,0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,23</b>	-	<b>0,14</b>	<b>0,23</b>	-
90-93	HPL	93	146	0,15	-	1566	1,6	-
90-93	HPL <sub>sen</sub>	63	93	0,095	-	1481	1,5	-
<b>Faktor</b>	<b>HPL<sub>sen</sub>/HPL</b>	<b>0,68</b>	<b>0,64</b>	<b>0,64</b>	-	<b>0,95</b>	<b>0,94</b>	-
94-00	HPL	141	106	0,13	-	750	0,94	-
94-00	HPL+HK	123	74	-	-	600	-	-
94-00	DIR	154	20	0,044	-	128	0,28	-
<b>Faktor</b>	<b>HPL+HK/HPL</b>	<b>0,87</b>	<b>0,70</b>	-	-	<b>0,80</b>	-	-
	<b>DIR/HPL</b>	<b>1,1</b>	<b>0,19</b>	<b>0,33</b>	-	<b>0,17</b>	<b>0,30</b>	-
03-07	HPL	119	40	0,070	0,0090 (13)	336	0,59	0,077
03-07	HPL+HK	205	143	0,35	0,043 (12)	698	1,7	0,22
03-07	HHA+HK	78	30	0,049	0,0083 (17)	385	0,63	0,11
03-07	DIR+HK	129	17	0,038	0,0080 (21)	132	0,29	0,063
<b>Faktor</b>	<b>HPL+HK/HPL</b>	<b>1,7</b>	<b>3,6</b>	<b>5,1</b>	<b>4,8</b>	<b>2,1</b>	<b>2,9</b>	<b>2,8</b>
	<b>HHA+HK/HPL</b>	<b>0,66</b>	<b>0,75</b>	<b>0,70</b>	<b>0,93</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>
	<b>DIR+HK/HPL</b>	<b>1,1</b>	<b>0,43</b>	<b>0,54</b>	<b>0,89</b>	<b>0,39</b>	<b>0,50</b>	<b>0,83</b>

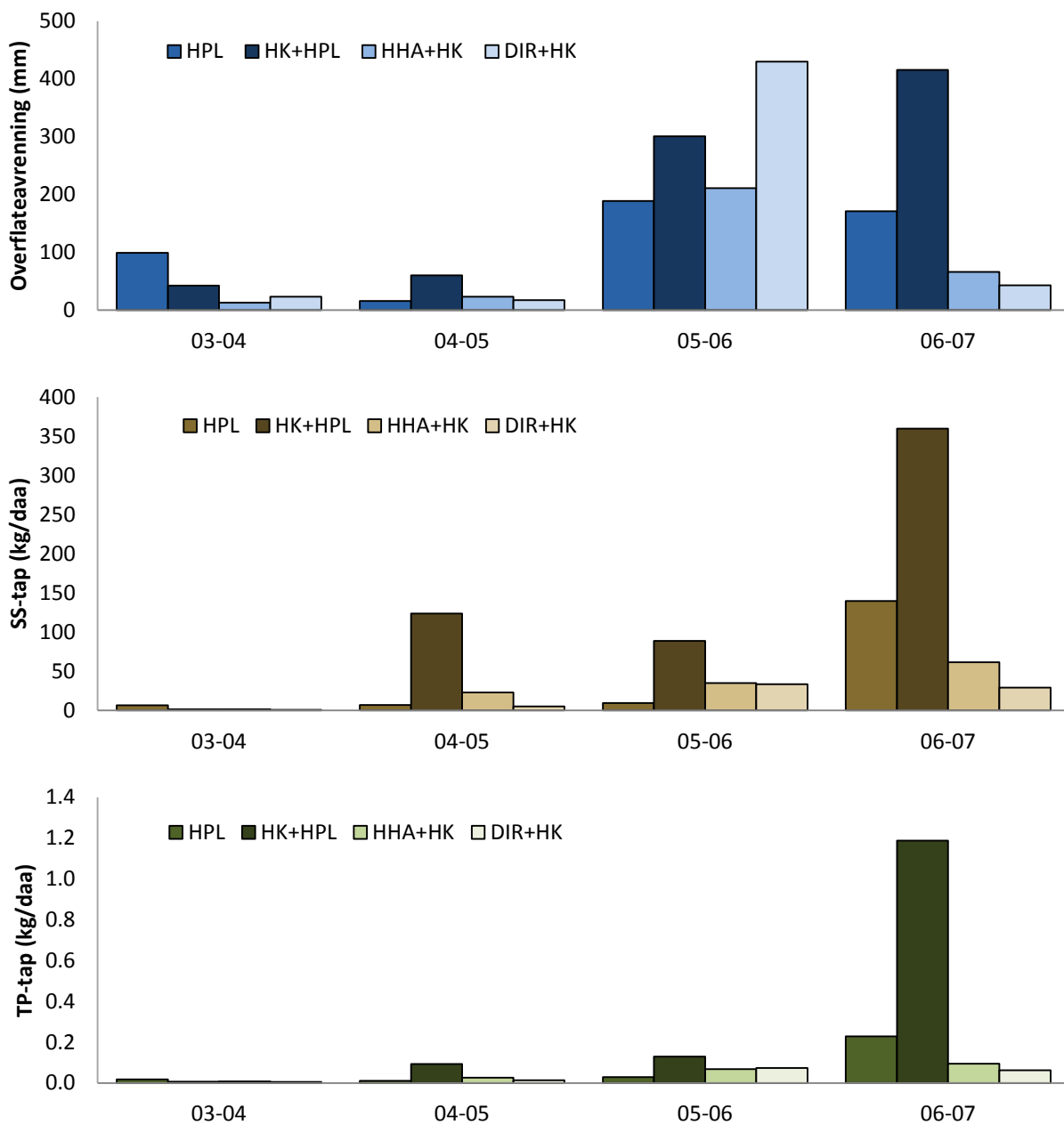
\* Jordarbeiding: H=høst, V=vår, PL=pløying, HA=harving, DIR=direktesåing, HK=høstkorn, sen=sent på året. Der HK ikke er oppgitt som vekst, er det vårkorn.

\*\* Konsentrasjon = Transport × 1000/Q

I perioden 03-07 var hovedfokus i ruteforsøket på Øsaker effekter av høstkorndyrking under ulike jordarbeiding. Sammenliknet med høstpløying, ga høstkorn med høstpløying en meget sterk økning i tap og konsentrasjoner av SS og TP: SS-tap var 3,6 ganger høyere og SS-konsentrasjoner 2,1 ganger høyere, TP-tap hele 5,1 ganger høyere og TP-konsentrasjoner 2,9 ganger høyere. Høstkorn med

høstharving ga lavere tap av SS og TP (faktorer 0,75 og 0,7, henholdsvis), mens SS- og TP-konsentrasjonene var noe høyere enn ved høstpløying (faktor 1,1 for begge). Sammenliknet med høstpløying ga direktesådd høstcorn både reduserte tap og konsentrasjoner, med faktor 0,4 for SS og faktor 0,5 for TP. I 03-07 var det også målt løst P i avrenning i tillegg til TP.

Tap av løst P viste lignende forskjeller mellom jordarbeidingsystemer som TP. Høstpløying til høstcorn ga nesten fem ganger større tap av løst P sammenliknet med høstpløying til vårcorn, mens høstharving til høstcorn og direktesådd høstcorn ga lavere tap av løst P (faktor ca 0,9) sammenliknet med høstpløying til vårcorn. Løst P utgjorde fra 12 til 21 % av TP, noe mer ved høstharvet og direktesådd høstcorn enn ved høstpløying til høstcorn og vårcorn. Konsentrasjonen av løst P var ca tre ganger høyere ved høstpløying til høstcorn og 1,4 ganger høyere ved høstharving til høstcorn enn ved høstpløying til vårcorn. Direktesådd høstcorn ga redusert konsentrasjon av løst P.



Figur 5. Variasjon i overflateavrenning, jordtap (SS) og fosfortap (TP) mellom år, på Øsaker i Sarpsborg, ved vårcorn med høstpløying (HPL), høstcorn med høstpløying (HPL+HK), høstcorn med høstharving (HHA+HK) og direktesådd høstcorn (DIR+HK) i perioden 03-07 (Grønsten et al., 2007). Verdiene er oppgitt for agrohydrologiske år (1. mai - 30. april).

Høstpløying til høstkorn ga høyere tap av SS og TP i 3 av 4 år sammenlignet med de andre jordarbeidingsystemer. Det ene året med lavere tap for høstpløying til høstkorn var det lave tap for alle jordarbeidingsystemer (figur 5). I 2-3 år var tapene av SS og TP også høyere ved høstharvet og direktesådd høstkorn enn ved høstpløying til vårkorn.



Figur 6. Valg av jordarbeiding før såing av høstkorn kan ha stor betydning for jordtapene, her illustrert ved vannprøver fra overflateavrenning på ulike ruter i rutefeltet Øsaker. Alle prøvene er fra ruter med høstkorn, men med forskjellig jordarbeiding før såing. SS-konsentrasjonen var høyest (5820 mg/l) i prøven til høyre, fra en høstpløyd rute. SS-konsentrasjonen var betydelig mindre, men fortsatt høy (1110 mg/l) i prøven til venstre, fra en høstharvet rute. Lavest SS-konsentrasjon (5 mg/l) var det fra en rute med direktesådd høstkorn. (Foto: R. Skjevdal).

### Kvithamar, midt-Norge (marin leire, middels erosjon, middels-høy P-AL)

Rutefeltet Kvithamar ligger i Stjørdal kommune i Nord-Trøndelag. Jorda er moldrik (7,8 % OM) siltig mellomleire (34 % leir, 62 % silt), med marine avsetninger som opphavsmateriale. I middel for alle ruter var P-AL 9,2 mg/100 g jord i 1990 og 6,0 mg/100 g jord i 1994 (Myhr et al., 1996). Helningsgraden er 1-2 %, og helningslengde 36 m. Feltet ble drenert i 1989, med grøftedyp 1 m og grøfteavstand 8 m. Det ble dyrket korn på alle rutene i måleperioden. Jordarbeiding inkluderte høstpløying (HPL) og vårpløying (VPL), med tilførsel av ulik type gjødsel: mineralgjødsel (2,7 kg P/daa), blautgjødsel tilført om våren (2,7 kg P/daa), blautgjødsel tilført om høsten (2,7 kg P/daa), og ingen gjødsling. Vi sammenlikner kun de to første her, siden jordarbeiding er hovedfokus. Det er dyrket bygg (vårkorn). Dataene er hentet fra Oskarsen et al. (1996). Avrenning og konsentrasjoner er ikke oppgitt.

Ifølge kart fra Skog og Landskap, er erosjonsrisiko ved høstpløying middels (50-200 kg/daa/år) i dette feltet. Målt gjennomsnittlig SS-tap (sum grøfte- og overflateavrenning) ved høstpløying (ved gjødsling med mineralgjødsel) ble målt til 81 kg/daa/år (tabell 7), som ligger innenfor klassegrensene for middels erosjonsrisiko. SS-tap på ruter med blautgjødsel var en del lavere, men dette kan også skyldes forskjell i jordegenskaper. TP-tap ved høstpløying var 0,18 kg/daa/år ved mineralgjødsel, 0,15 ved blautgjødsel. Effekten av vårpløying i stedet for høstpløying var positiv, med en faktor på ca 0,6 for SS-tap ved mineralgjødsel (0,4 ved blautgjødsel), og en faktor 0,7 for TP-tap. Løst P utgjorde ca 20 % av TP ved høstpløying med husdyrgjødsel og ved vårpløying med husdyrgjødsel og mineralgjødsel, og ca 10 % ved høstpløying med mineralgjødsel. På rutene med mineralgjødsel var det ingen effekt av vårpløying i forhold til høstpløying på tap av løst P, mens på ruter med husdyrgjødsel var det en reduksjon i løst P ved vårpløying.

Tabell 7. Avrenning (Q) og transport av jordpartikler (SS), total fosfor (TP) og løst fosfor (DRP), samt DRP som prosentandel av TP (% av TP), ved ulik jordarbeiding, og relative tap sammenliknet med høstpløying (faktor), Kvithamar rutefelt i Stjørdal (sum overflate- og grøfteavrenning). Data fra Oskarsen et al. (1996).

Kvithamar	Jordarbeiding*	Transport (kg/daa)		
		SS	TP	DRP
90-94	HPLblg	59	0,15	0,03
90-94	VPLblg	34	0,10	0,02
90-94	HPLmin	81	0,18	0,02
90-94	VPLmin	35	0,12	0,02
<b>Faktor</b>	<b>VPLblg/HPLblg</b>	<b>0,57</b>	<b>0,67</b>	<b>0,67</b>
	<b>VPLmin/HPLmin</b>	<b>0,43</b>	<b>0,67</b>	<b>1,0</b>

\* Jordarbeiding: H=høst, V=vår, PL=pløying, min=mineralgjødsel, blg=blautgjødsel. Veksten er vårkorn (bygg).

## Skjetlein, midt-Norge (marin leire, middels erosjon, middels-høy P-AL)

Rutefeltet Skjetlein ligger i Trondheim kommune i Sør-Trøndelag. Jorda er moldholdig (3,0 % OM) siltig mellomleire (26 % leir, 68 % silt), med marine avsetninger som opphavsmateriale. P-AL varierte fra ca 15 mg/100 g jord i 1990 til ca 10 mg/100 g jord i 1997, i middel ca 12 mg/100 g jord (Haraldsen, 1998). Helningsgraden varierer fra bratt (15 %) øverst på rutene til slak nederst, med 100 m helningslengde. Feltet ble drenert i 1989, med grøftedyp 0,9 m og grøfteavstand 7 m. I 90-93 var det vårkorn (veksling mellom bygg og havre) på rutene, i 94 gjenlegg til eng, og i 95-97 eng. I årene med korn var det vekslende jordarbeiding mellom rutene. I år med vårpløying (VPL) eller redusert jordarbeiding (fresing om våren, tilsvarer vårharving, VHA) var det til dels også fangvekst (italiensk raigras), og redusert gjødsling. P-gjødsling i år med korn var 1,4 kg/daa ved høstpløying og 1,1 kg/daa ved vårpløying og redusert jordarbeiding. P-gjødsling i år med eng var 3,2 kg/daa. Data presentert her er hentet fra Haraldsen (pers. medd.; 1998).

Ifølge kart fra Skog og Landskap, er erosjonsrisiko ved høstpløying middels (50-200 kg/daa/år) og stor (200-800 kg/daa/år) i dette feltet. Målt gjennomsnittlig SS-tap (sum grøfte- og overflateavrenning) ved høstpløying ble målt til 66 kg/daa/år (tabell 8), som ligger innenfor klassegrensene for middels erosjonsrisiko. SS-konsentrasjon ved høstpløying var 146 mg/l. TP-tap og TP-konsentrasjon ved høstpløying var henholdsvis 0,26 kg/daa/år og 0,56 mg/l. Tap og konsentrasjoner av både SS og TP var lavere ved jordarbeiding på våren (VHA og VPL) etter fangvekst enn ved høstpløying. For SS-tap og SS-konsentrasjoner var det en faktor på ca 0,6, mens for TP-tap og TP-konsentrasjoner var en faktor på ca 0,7.

Tabell 8. Avrenning (Q), og transport og konsentrasjoner av jordpartikler (SS) og total fosfor (TP) ved ulik jordarbeiding, og relative tap og konsentrasjoner sammenliknet med høstpløying (faktor), Skjetlein rutefelt i Trondheim (sum overflate- og grøfteavrenning). Data fra Haraldsen (1998; pers.medd.).

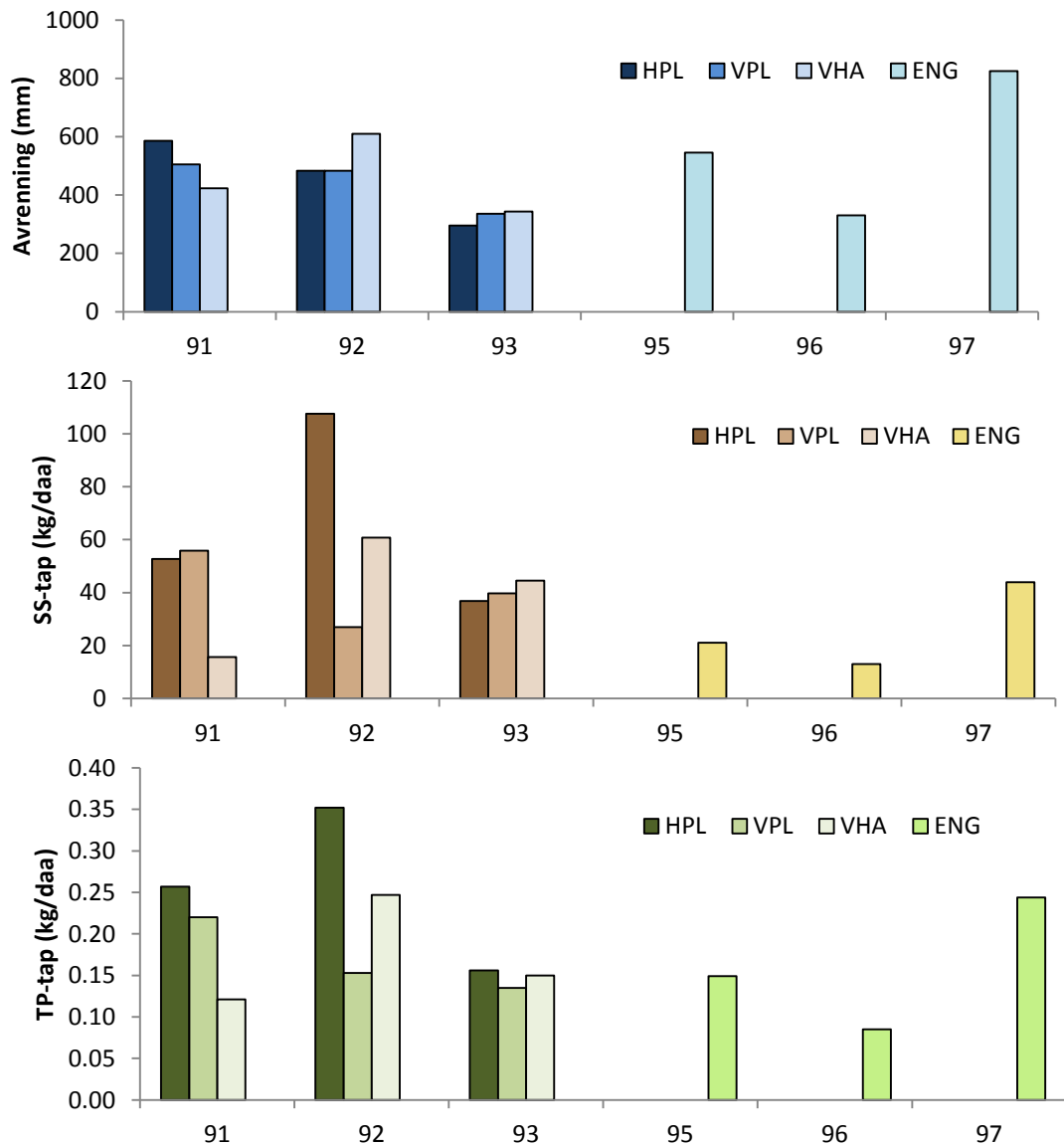
Skjetlein	Jordarbeiding*	Q (mm)	Transport (kg/daa)		Konsentrasjon** (mg/l)	
			SS	TP	SS	TP
91-97						
91-93	HPL	455	66	0,26	146	0,56
91-93	VPL	441	41	0,17	95	0,38
91-93	VHA	459	40	0,17	89	0,38
95-97	ENG	567	26	0,16	44	0,28
<b>Faktor</b>	<b>VPL/HPL</b>	<b>1,0</b>	<b>0,62</b>	<b>0,66</b>	<b>0,65</b>	<b>0,68</b>
	<b>VHA/HPL</b>	<b>1,0</b>	<b>0,61</b>	<b>0,68</b>	<b>0,61</b>	<b>0,67</b>
	<b>ENG/HPL</b>	<b>1,2</b>	<b>0,40</b>	<b>0,62</b>	<b>0,30</b>	<b>0,49</b>

\* Jordarbeiding: H=høst, V=vår, PL=pløying, HA=harving (egentlig fresing). Der eng ikke er oppgitt som vekst, er det vårkorn (bygg og havre).

\*\* Konsentrasjon = Transport × 1000/Q

I år med eng var SS- og TP-tap lavere enn i år med korn, selv om avrenningen var noe større i noen av årene med eng (figur 7). Ettersom eng ikke ble dyrket i samme periode som korn, er SS- og TP-tap ikke direkte sammenliknbare grunnet ulike værforhold. Dette kan i noen grad utliknes ved å se på konsentrasjoner i stedet for tap. SS-konsentrasjoner ved eng var 0,3 ganger SS-konsentrasjoner ved høstpløying til vårkorn, mens TP-konsentrasjonen ved eng var halvert i forhold til ved høstpløying. Tallene for TP er påvirket av ulik P-balanse i systemene. Derfor er det viktig å påpeke at disse resultatene gjelder for systemene som helhet, og ikke representerer effekter av jordarbeiding alene.

Forsøket på Skjetlein viser at i to av tre år gir vårpløying litt større SS-tap enn høstpløying (figur 7). I året der høstpløying gir større tap enn vårpløying er forskjellen imidlertid så stor at det i middel blir redusert SS-tap ved vårpløying (tabell 6). Dette illustrerer at tre år er en for kort tidsserie til å få et pålitelig bilde av den faktiske effekten av redusert jordarbeiding. I tillegg er det kun tre ruter på feltet, og det har vært forskjellig jordarbeiding på rutene hvert år. Dermed kan forskjellene mellom år like gjerne være knyttet til værforhold og hver rutes jordegenskaper.



Figur 7. Variasjon i avrenning (grøft + overflate), jordtap (SS) og fosfortap (TP) mellom år, på Skjetlein i Trondheim, ved høstpløying (HPL), vårpløying (VPL) og vårharving (VHA) i 91-93 og eng i 95-97 (gjenlegg til eng i 94 utelatt) (Data fra (Haraldsen 1998; pers.medd.).

### Syverud, SØ-Norge (marin leire, lite erosjon, middels P-AL)

Syverud er et rutefelt i Ås i Akershus. Jorda er moldholdig (5,5 % OM) lettleire (23 % leir, 49 % silt), med marine avsetninger som opphavsmateriale. P-AL har vært målt til 6,4 mg/100 g jord (Lundekvam, 1997). Helningsgraden er 13 % og helningslengden 30 m. Feltet ble drenert på 1960-tallet. Feltet består av flere ruter med ulike jordarbeidingsystemer. Opp gjennom årene har det vært høstpløying og vårpløying med og uten halminnblanding (HPL, HPL<sub>halm</sub>, VPL, VPL<sub>halm</sub>), høst- og vårharving med halminnblanding (HHA<sub>halm</sub>, VHA<sub>halm</sub>), og eng. Når annet ikke er nevnt, har det vært vårkorn på rutene. Dataene presentert her er hentet fra Lundekvam (1997; upubl.).

Ifølge kart fra Skog og Landskap, er erosjonsrisiko ved høstpløying stor (200-800 kg/daa/år) i dette feltet. Målt gjennomsnittlig jordtap ved høstpløying (sum grøfte- og overflateavrenning) var lavere (16 kg/daa/år) i 92-95 sammenlignet med i 94-00 (30 kg/daa/år). Begge deler ligger innenfor klassegrensene for lav erosjonsrisiko (0-50 kg/daa). SS-konsentrasjonene ved høstpløying var 44 mg/l i 92-95 og 62 mg/l i 94-00 (tabell 9). TP-tap ved høstpløying (sum grøfte- og overflateavrenning) viste samme forskjell mellom periodene (0,035 og 0,079 kg/daa/år i henholdsvis 92-95 og 94-00). Tilsvarende TP-konsentrasjoner var på henholdsvis 0,10 og 0,16 mg/l. I overflateavrenning på

høstarbeidete systemer varierte SS-tap mellom 2,5 og 13 kg/daa/år, SS-konsentrasjoner mellom 23 og 222 mg/l, TP-tap mellom 0,014 og 0,035 kg/daa/år, og TP-konsentrasjoner mellom 0,13 og 0,44 mg/l.

Tabell 9. Avrenning (Q), og transport og konsentrasjoner av jordpartikler (SS) og total fosfor (TP) ved ulike jordarbeidinger, og relative tap og konsentrasjoner sammenliknet med høstpløying (faktor), Syverud rutefelt i Ås (overflateavrenning, sum overflate- og grøfteavrenning). Data fra Lundekvam (1997; upubl.).

Syverud	Jordarbeiding*	Q (mm)	Transport (kg/daa)		Konsentrasjon** (mg/l)	
			SS	TP	SS	TP
92-05						
92-95	HPL (O)	60	13	0,024	222	0,41
92-95	HPL <sub>halm</sub> (O)	62	13	0,024	216	0,38
92-95	VPL <sub>halm</sub> (O)	168	7,8	0,037	46	0,22
<b>Faktor</b>	<b>HPL<sub>halm</sub>/HPL</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,96</b>	<b>0,98</b>	<b>0,93</b>
	<b>VPL<sub>halm</sub>/HPL</b>	<b>2,8</b>	<b>0,59</b>	<b>1,5</b>	<b>0,21</b>	<b>0,54</b>
95	HHA <sub>halm</sub> (O)	111	2,5	0,014	23	0,13
95	VHA <sub>halm</sub> (O)	93	3,0	0,011	32	0,11
95	ENG (O)	82	0,88	0,017	11	0,20
<b>Faktor</b>	<b>VHA<sub>halm</sub>/HHA<sub>halm</sub></b>	<b>0,84</b>	<b>1,2</b>	<b>0,75</b>	<b>1,4</b>	<b>0,90</b>
	<b>ENG/HHA<sub>halm</sub></b>	<b>0,74</b>	<b>0,35</b>	<b>1,2</b>	<b>0,48</b>	<b>1,6</b>
91-05	HPL (O)	80	13	0,035	165	0,44
91-05	VPL (O)	134	9	0,042	67	0,32
<b>Faktor</b>	<b>VPL/HPL</b>	<b>1,7</b>	<b>0,68</b>	<b>1,2</b>	<b>0,40</b>	<b>0,72</b>
92-95	HPL (O+G)	365	16	0,035	44	0,10
92-95	VPL (O+G)	418	12	0,048	29	0,11
<b>Faktor</b>	<b>VPL/HPL</b>	<b>1,1</b>	<b>0,76</b>	<b>1,4</b>	<b>0,67</b>	<b>1,2</b>
94-00	HPL (O+G)	483	30	0,079	62	0,16
94-00	VPL (O+G)	496	15	0,064	31	0,13
94-00	ENG (O)	-	32	-	-	-
<b>Faktor</b>	<b>VPL/HPL</b>	<b>1,0</b>	<b>0,51</b>	<b>0,81</b>	<b>0,49</b>	<b>0,79</b>
	<b>ENG/HPL</b>	<b>-</b>	<b>0,18</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

\* Jordarbeiding: H=høst, V=vår, PL=pløying, HA=harving, halm=halminnblanding. O=overflateavrenning, O+G=sum overflate- og grøfteavrenning. Der eng ikke er oppgitt som vekst, er det vårkorn.

\*\* Konsentrasjon = Transport × 1000/Q

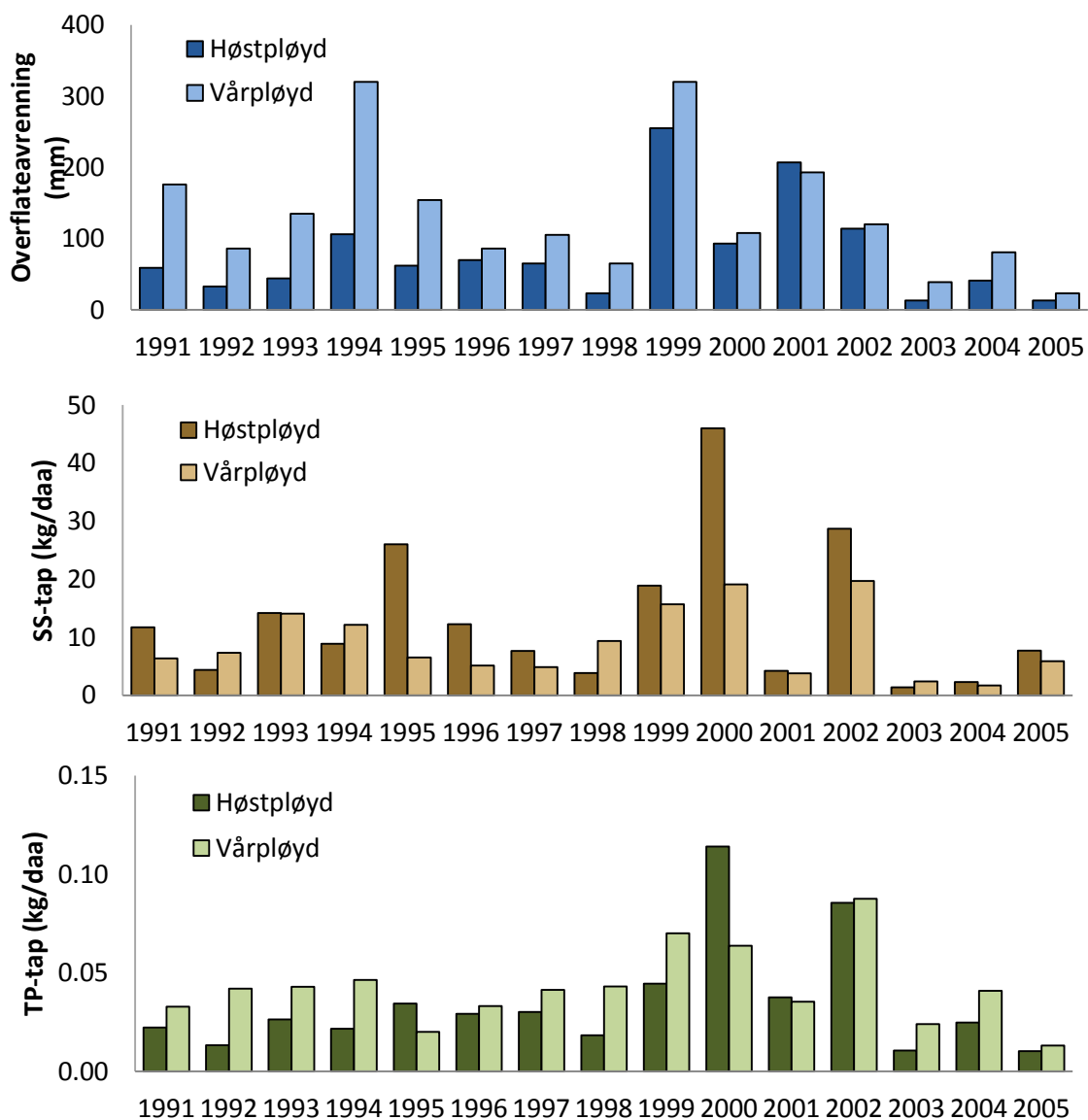
I systemer på Syverud med både grøfte- og overflateavrenning var effekten av vårpløying sammenliknet med høstpløying positiv for SS-tap og SS-konsentrasjoner (faktorer fra 0,5 til 0,8) i begge måleperioder (92-95 og 94-00), men effekten var størst i den siste perioden, da det var mer avrenning og større tap (tabell 9). Effekten på TP-tap og TP-konsentrasjoner var positiv i den siste perioden (faktor 0,8), men negativ i den første perioden (faktorer 1,2-1,4). Det var imidlertid ikke store forskjeller i absoluttverdier. For systemer med målt overflateavrenning var effekten av jordarbeiding om våren var stort sett positiv for SS-tap og SS-konsentrasjoner, med unntak av ett tilfelle: SS-tap var høyere ved vårharving enn ved høstharving (begge systemer med halm innblandet). Det var bare ett år med data for disse to systemene.

Størst positiv effekt på SS-tap ble oppnådd for eng sammenliknet med høstharving med halm (faktor 0,4, kun ett år med data). Det var nesten ikke forskjell på høstpløying med innblanding av halm og høstpløying uten halm (92-95) mht. SS-tap og SS-konsentrasjoner. Tilsvarende var det lite forskjell i SS-tap i overflateavrenning mellom vårpløying uten halm og høstpløying uten halm, men SS-konsentrasjon

ble redusert med en faktor 0,3 ved vårpløying. Reduksjonen ved vårpløying med halm var større, med faktor 0,6 for SS-tap og 0,2 for SS-konsentrasjon.

Effekter på TP i systemer med målt overflateavrenning var negativ i tre av fem tilfeller: for vårpløying med og uten halm sammenliknet med høstpløying (faktor 1,6 og 1,5, henholdsvis), og for eng sammenliknet med høstharving med halm (faktor 1,2). For de to førstnevnte var effekten imidlertid positiv for TP-konsentrasjon, med en faktor 0,5, dette fordi det var mer overflateavrenning i disse systemene. For eng var effekten på TP-konsentrasjon enda mer negativ enn for TP-tap, faktor 1,6. Det var en liten, men positiv, effekt av høstpløying med halm sammenliknet med høstpløying uten halm. Vårharving med halm ga en reduksjon i TP-tap med faktor 0,8, og 0,9 for TP-konsentrasjon, sammenliknet med høstharving med halm, dette til tross for at SS-tap og SS-konsentrasjoner økte med førstnevnte.

Det presiseres at resultater (særlig TP) for perioden 92-95 vil være påvirket av at Syverud rutefelt ble anlagt på beitemark. Dette kan muligens forklare økt TP-tap ved for eksempel vårpløying sammenliknet med høstpløying i denne perioden.



Figur 8. Variasjon i overflateavrenning, jordtap (SS) og fosfortap (TP) mellom år, ved høstpløying og vårpløying på Syverud i perioden 91-05. Verdiene er oppgitt for kalenderår.

Overflateavrenningen var større ved vårpløying sammenlignet med høstpløying i 14 av 15 år (91-05) (figur 8). SS-tapet var derimot kun større ved vårpløying i fire av de 15 årene, mens TP-tap var større ved vårpløying i 12 av årene. Forholdet mellom tap ved vårpløying og høstpløying varierer altså mellom år, og forholdstallene for SS er mellom 0,25 og 2,4, og for TP mellom 0,56 og 3,2. I årene med mest erosjon gir vårpløying størst positiv effekt på SS. Denne trenden er mindre tydelig for fosfor, men også her er det positiv effekt av vårpløying i året med den største erosjon.

### **Apelsvoll, SØ-Norge (morene-leire, lite erosjon, middels-høy P-AL)**

Rutefeltet Apelsvoll ligger på Østre Toten i Oppland. Jorda her er moldholdig (4,5 % OM) lettleire (18 % leir, 35 % silt), med morene som opphavsmateriale. P-AL har vært målt til omtrent 8 mg/100 g jord i middel for alle forsøksrutene (Riley and Eltun, 1994). Helningsgraden er 2-8 % og helningslengden på hver rute 60 m. Feltet ble drenert i 1988, med grøfter på 1 m dybde og med 7,5 m avstand mellom grøftene. På både ruter med høstpløying + vårharving og bare vårharving var det i 90-94 omløp med høsthvete, vårkorn og potet:

- *Konv-A* - Potet, høsthvete, havre, bygg, potet, vårhvete, havre, bygg. Høstpløying. Mineralgjødning (2,9 kg P/daa).
- *Int-A* - Potet, høsthvete, havre, bygg, potet, vårhvete, havre, bygg. Vårharving. Mineralgjødning, redusert mengde (1,8 kg P/daa).
- *Øko-A* - Bygg, gras + kløver, vårhvete, potet, bygg, gras + kløver, høsthvete, havre. Vårpløying. Husdyrgjødning (0,4 kg P/daa).
- *Konv-F* - Bygg, tre år eng, fôrbete, vårhvete, havre, grønnfôr. Høstpløying. Mineralgjødning + husdyrgjødning (3,0 kg P/daa).
- *Int-F* - Bygg, tre år eng, fôrbete, vårhvete, havre, grønnfôr. Vårpløying. Mineralgjødning + husdyrgjødning, redusert mengde (2,1 kg P/daa).
- *Øko-F* - Bygg, tre år eng, fôrbete, grønnfôr, vårhvete, havre + erter. Vårpløying. Husdyrgjødning (1,2 kg P/daa).

I perioden 01-09 var det potet og vårkorn på rutene med høstpløying + vårharving, mens det på de vårharva rutene også var vårkorn og potet, samt fangvekst:

- *Konv-A1* - Referansebruk. Konvensjonell med åkervekster 1: Potet, vårhvete, havre, bygg. Høstpløying + vårharving. Mineralgjødning (2,98 kg P/daa).
- *Konv-A2* - Konvensjonell med åkervekster 2: Potet, vårhvete + fangvekst (raigras), havre + fangvekst (raigras), bygg + fangvekst (raigras). Vårharving. Mineralgjødning, redusert mengde (2,95 kg P/daa).
- *Øko-A* - Økologisk med åkervekster: Bygg, gras + kløver, vårhvete + fangvekst, havre + erter. Vårpløying + vårharving. Ikke P-gjødsling.
- *Konv-F* - Konvensjonell med fôrvekster: Bygg, to år eng, vårhvete + fangvekst. Mineral- og husdyrgjødning (sum 2,46 kg P/daa). Vårpløying og vårharving.
- *Øko-F1* - Økologisk med fôrvekster 1: Bygg, to år eng, vårhvete + fangvekst. Husdyrgjødning (0,79 kg P/daa). Vårpløying og vårharving.
- *Øko-F2* - Økologisk med fôrvekster 2: Bygg, tre år eng. Husdyrgjødning (1,09 kg P/daa). Vårpløying og vårharving.

I begge periodene var det redusert gjødsling på rutene med kun vårharving, sammenliknet med rutene med høstpløying. Vi kan derfor bare si noe om forskjeller mellom dyrkingssystemene, og ikke om jordarbeiding alene. Dataene kommer fra Eltun og Fugleberg (1996), Eltun et al. (1996) og Korsæth (pers.medd.) (tabell 10).

Ifølge kart fra Skog og Landskap, er erosjonsrisiko ved høstpløying middels (50-200 kg/daa/år) i dette feltet. Målt gjennomsnittlig SS-tap i periodene 90-94 og 01-09 var kun ca 4,5 kg/daa ved konvensjonell høstpløying (ligger innenfor klassegrenser for lav erosjonsrisiko, 0-50 kg/daa/år). Gjennomsnittlig SS-konsentrasjon ved høstpløying var 13 og 14 mg/l i de to periodene. Tilsvarende var TP-tap ved høstpløying 0,040 og 0,018 kg/daa/år i henholdsvis 90-94 og 01-09, mens TP-konsentrasjonene var 0,12 og 0,056 mg/l. I den andre perioden (01-09) var det nesten ingen overflateavrenning, mens det var overflateavrenning nesten hver vår under snøsmeltingen i første periode (90-94) (pers.medd, Korsæth).

I 90-94 hadde alle de alternative dyrkingssystemene lavere SS-tap (faktorer 0,5-0,65) og SS-konsentrasjoner (faktorer 0,6-0,85) enn høstpløying. TP-tap var noe lavere også i de fleste systemene, men effekten var mindre enn på SS-tap. Integreert og økologisk system med åpen åker ga en reduksjon i TP-tap med en faktor 0,9, mens integreert og økologisk fôrvekstsystem ikke ga betydelig forskjell i TP-



tap. Forskjellen var størst for fôrvekstsystem med høstpløying (faktor 0,65). Mht TP-konsentrasjon var det liten forskjell mellom systemer. I tre av systemene (økologisk system med åpen åker, og integrert og økologisk fôrvekstsystem) var det høyere TP-konsentrasjoner enn ved høstpløying (faktor 1,2).

Løst P utgjorde 12-13 % av TP i åkervekstsystemene og det økologiske fôrvekstsystemet, og 17-18 % av TP i de konvensjonelle og integrerte fôrvekstsystemene. I forhold til ved høstpløying var tap av løst P noe lavere i tre av systemene, likt i ett og høyere i ett system, og konsentrasjonene av løst P var høyere i alle systemer med unntak av det integrerte åkervekstsystemet.

**Tabell 10. Avrenning (Q), og transport og konsentrasjoner av jordpartikler (SS), total fosfor (TP), løst fosfor (DRP) og DRP som prosentandel av TP (% av TP) i ulike dyrkingssystemer, og relative tap og konsentrasjoner sammenliknet med høstpløying (faktor), Apelsvoll rutefelt på Østre Toten (sum overflate- og grøfteavrenning). Data fra Eltun og Fugleberg (1996), Eltun et al. (1996) og Korsæth (pers.medd.).**

Apelsvoll 90-09	Jordarbeiding*	Q (mm)	Transport (kg/daa/år)			Konsentrasjon** (mg/l)		
			SS	TP	DRP (% av TP)	SS	TP	DRP
90-94	HPL (Konv-A)	339	4,3	0,040	0,0050 (13)	13	0,12	0,045
	VHA (Int-A)	317	2,8	0,035	0,0043 (12)	8,8	0,11	0,04
	VPL,gras,FF (Øko-A)	257	2,9	0,035	0,0047 (13)	11	0,14	0,053
	HPL,ENG (Konv-F)	234	2,6	0,026	0,0043 (17)	11	0,11	0,054
	VPL,ENG (Int-F)	272	2	0,038	0,0067 (18)	7,4	0,14	0,073
	VPL,ENG (Øko-F)	302	2,4	0,041	0,0050 (12)	7,9	0,14	0,05
Faktor	VHA/HPL	0,97	0,65	0,88	0,87	0,68	0,92	0,89
	VPL,FF/HPL	0,78	0,67	0,88	0,93	0,85	1,2	1,2
	HPL,ENG/HPL	0,71	0,60	0,65	0,87	0,85	0,92	1,2
	VPL,ENG/HPL	0,83	0,47	0,95	1,3	0,57	1,2	1,6
	VPL,ENG/HPL	0,92	0,56	1,0	1,0	0,61	1,2	1,1
01-09	HPL (Konv-A1)	328	4,5	0,018	0,0039 (22)	14	0,055	0,012
	VHA,FF (Konv-A2)	257	1,4	0,012	0,0027 (23)	5,6	0,046	0,011
	VPL,gras,FF (Øko-A)	290	2,1	0,018	0,0045 (24)	7,1	0,063	0,015
	VPL,ENG,FF (Konv-F)	274	11	0,029	0,0064 (23)	40	0,10	0,024
	VPL,ENG,FF (Øko-F1)	329	1,7	0,015	0,0039 (26)	5,1	0,046	0,012
	VPL,ENG (Øko-F2)	286	1,7	0,018	0,0047 (26)	5,9	0,063	0,016
Faktor	VHA,FF/HPL	0,78	0,32	0,66	0,70	0,41	0,84	0,89
	VPL,gras,FF/HPL	0,88	0,46	1,0	1,1	0,52	1,1	1,3
	VPL,ENG,FF/HPL	0,84	2,4	1,6	1,6	2,9	1,9	2,0
	VPL,ENG,FF/HPL	1,0	0,37	0,85	1,0	0,37	0,85	1,0
	VPL,ENG/HPL	0,87	0,37	1,0	1,2	0,43	1,1	1,4

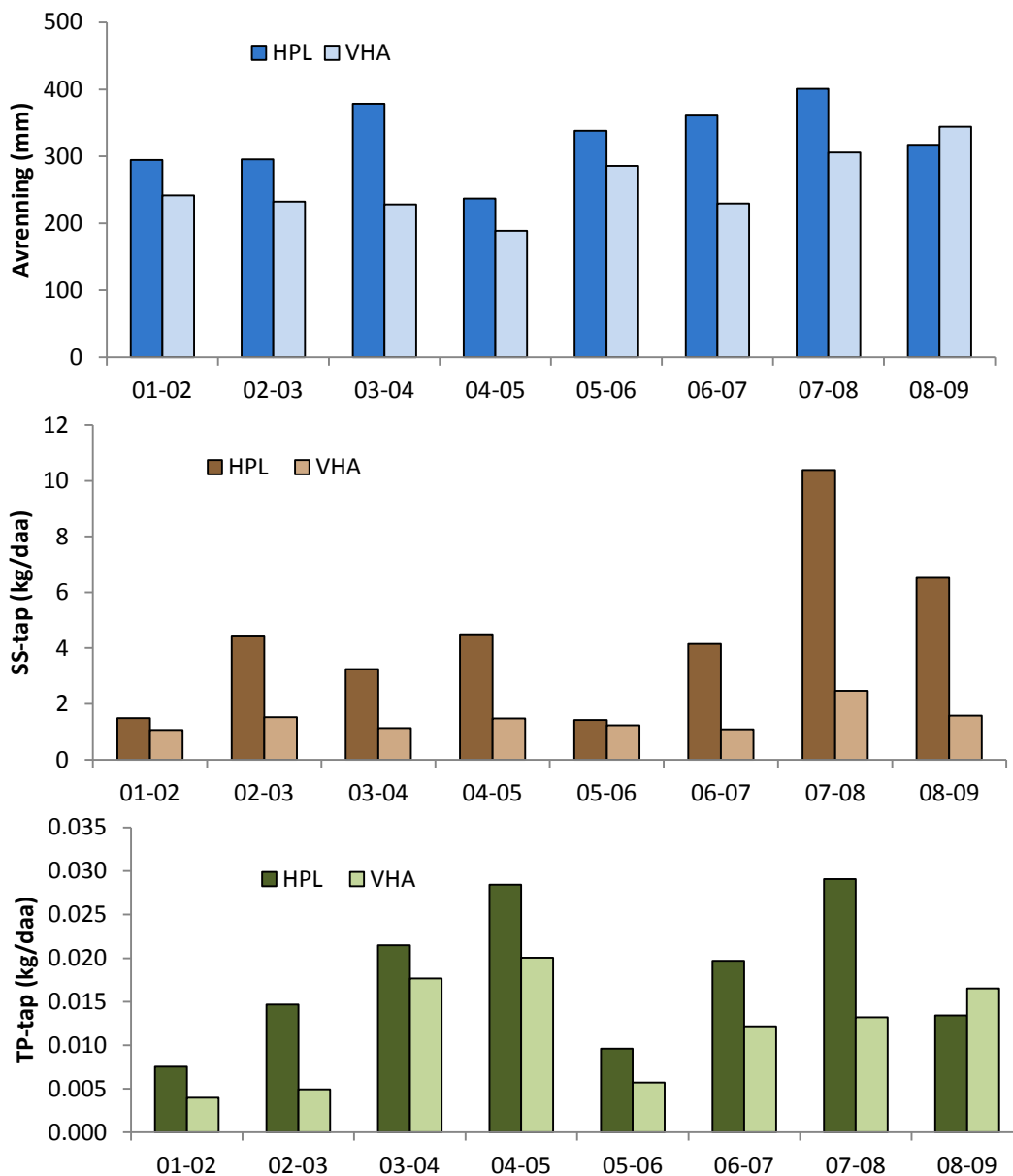
\* Jordarbeiding: H=høst, V=vår, PL=pløying, HA=harving, FF=fangvekst. Der ikke annet er oppgitt, er det dyrket vårkorn og potet i omløp. Se ellers teksten for nærmere informasjon om dyrkingssystemene.

\*\* Konsentrasjon = Transport × 1000/Q

I 01-09 var SS-tap og SS-konsentrasjoner lavere enn ved høstpløying i fire av de andre systemene (faktor 0,3-0,5), mens i konvensjonelt fôrvekstsystem var det 2-3 ganger høyere SS-tap og SS-konsentrasjon enn fra konvensjonell åpen åker med høstpløying. Det var tilsvarende for for TP-tap, men litt mindre forskjell. TP-konsentrasjonene var litt høyere i økologisk åkervekst- og fôrvekstsystem, og ca dobbelt så høy i konvensjonelt fôrvekstsystem.

Andelen løst P var høyere i denne perioden enn i 90-94: 22-24 % i åkervekstsystemene og det konvensjonelle fôrvekstsystemet, og 26 % i de økologiske fôrvekstsystemene. I forhold til høstpløying var det høyere tap av løst P i tre av systemene og høyere konsentrasjoner av løst P i fire av systemene.

De verdiene vi har oppgitt så langt er gjennomsnitt over flere år. Variasjonen mellom enkeltår kan imidlertid være betydelig. SS-tap og TP-tap på Apelsvoll er lavere ved vårharving enn ved høstpløying, med unntak av TP-tapet i 08-09 (figur 9). Forholdstallet mellom tap ved vårharving og høstpløying varierer mellom år: 0,24-0,86 for SS-tap og 0,34-1,2 for TP-tap.



Figur 9. Variasjon i avrenning (grøft + overflate), jordtap (SS) og fosfortap (TP) for to dyrkingssystemer med åkervekster (vårkorn og potet) på Apelsvoll i perioden 2001-09 (Korsæth, pers.medd.): ett system med høstpløying (HPL) og ett system med vårharving (VHA). Det må påpekes at TP også er påvirket av at gjødslingsnivået er lavere ved vårharving. Verdiene er oppgitt for agrohydrologiske år (1. mai - 30. april).

## 4.1.2 Finland

### Aurajoki, SV-Finland (leire, mye erosjon)

Aurajoki er et rutefelt beliggende i sørvest-Finland. Jorda er moldrik (6,1 % OM) mellomleire (44 % leir, 31 % silt).  $P_{\text{acetate}}$  har variert mellom 18 og 26 mg/l, som er høyt i forhold til typiske verdier for jord i Finland. Helningsgraden er 8-9 %, og helningslengden 51 eller 37 m lang. Avrenning er samlet fra de øvre 25 cm av jorda. Her har man sammenliknet følgende jordarbeidingsystemer: høstpløying (HPL), høstpløying på tvers ( $HPL_{\text{tvers}}$ ), dyp høstharving ( $HHA_{\text{dyp}}$ ), grunn høstharving (HHA), høsthvete med høstpløying (HPL+HK), vårharving (VHA), direktesåing (DIR) og eng. Når ikke annet er oppgitt, har veksten vært vårhvete. Forsøkene har vært gjennomført i to perioder, 90-94 og 97-02, samt 89-02 for HPL+HK, se tabell for detaljer. All informasjon er hentet fra Puustinen et al. (2005). I det følgende gjøres sammenlikninger også mellom systemer som har vært i drift i ulike måleperioder, og som dermed ikke er direkte sammenliknbare.

Tabell 11. Avrenning (Q), og transport og konsentrasjoner av jordpartikler (SS), total fosfor (TP), løst fosfor (DRP) og DRP som prosentandel av TP (% av TP) ved ulike jordarbeiding, og relative tap og konsentrasjoner sammenliknet med høstpløying (faktor), Aurajoki rutefelt i Finland (overflateavrenning - øvre 25 cm av jorda). Data fra Puustinen et al. (2005).

Aurajoki	Jordarbeiding*	Q (mm)	Transport (kg/daa/år)			Konsentrasjon** (mg/l)		
			SS	TP	DRP (% av TP)	SS	TP	DRP
90-02								
90-94, 97-02	HPL	234	210	0,43	0,058 (13)	897	1,8	0,25
90-94	$HPL_{\text{tvers}}$	116	85	0,17	0,029 (17)	736	1,5	0,25
97-02	$HHA_{\text{dyp}}$	218	176	0,42	0,073 (17)	806	1,9	0,34
90-94	HHA	213	142	0,34	0,068 (20)	669	1,6	0,32
89-97	HPL+HK	219	157	0,34	0,054 (16)	718	1,5	0,25
90-94, 97-02	VHA	208	79	0,24	0,088 (37)	382	1,1	0,43
97-02	DIR	233	62	0,32	0,20 (63)	267	1,4	0,87
97-02	ENG	209	57	0,19	0,091 (48)	273	0,89	0,43
<b>Faktor</b>	<b><math>HPL_{\text{tvers}}/HPL</math></b>	<b>0,50</b>	<b>0,40</b>	<b>0,40</b>	<b>0,50</b>	<b>0,82</b>	<b>0,81</b>	<b>1,0</b>
	<b><math>HHA_{\text{dyp}}/HPL</math></b>	<b>0,93</b>	<b>0,84</b>	<b>0,97</b>	<b>1,3</b>	<b>0,90</b>	<b>1,0</b>	<b>1,4</b>
	<b>HHA/HPL</b>	<b>0,91</b>	<b>0,68</b>	<b>0,78</b>	<b>1,2</b>	<b>0,75</b>	<b>0,86</b>	<b>1,3</b>
	<b>HPL+HK/HPL</b>	<b>0,94</b>	<b>0,75</b>	<b>0,79</b>	<b>0,93</b>	<b>0,80</b>	<b>0,84</b>	<b>1,0</b>
	<b>VHA/HPL</b>	<b>0,89</b>	<b>0,38</b>	<b>0,55</b>	<b>1,5</b>	<b>0,43</b>	<b>0,62</b>	<b>1,7</b>
	<b>DIR/HPL</b>	<b>1,0</b>	<b>0,30</b>	<b>0,73</b>	<b>3,5</b>	<b>0,30</b>	<b>0,74</b>	<b>3,5</b>
	<b>ENG/HPL</b>	<b>0,89</b>	<b>0,27</b>	<b>0,43</b>	<b>1,6</b>	<b>0,30</b>	<b>0,49</b>	<b>1,7</b>

\* Jordarbeiding: H=høst, V=vår, PL=pløying, HA=harving, HK=høstkorn, DIR=direktesåing, tvers=pløying på tvers av fall. Der det verken er HK eller eng, har veksten vært vårhvete.

\*\* Konsentrasjon = Transport  $\times$  1000/Q

SS-tap lå på 210 kg/daa/år ved høstpløying, med SS-konsentrasjon 897 mg/l. Tap og konsentrasjon av TP ved høstpløying var henholdsvis 0,43 kg/daa/år og 1,8 mg/l. Alle alternativene til vanlig høstpløying hadde positiv effekt på både tap og konsentrasjoner av SS og TP. Mht SS-tap, var eng og direktesådd vårkorn mest effektivt (faktor 0,3), vårharving og høstpløying på tvers litt mindre effektivt (faktor 0,4). Grunn og dyp høstharving, og høsthvete med høstpløying var minst effektivt (faktor 0,7-0,8).

Effekten på TP-tap var ikke så god som effekten på SS-tap. Eng og høstpløying på tvers var mest effektivt (faktor 0,4), etterfulgt av vårharving (faktor 0,6) og direktesåing (faktor 0,7). Resten av systemene med jordarbeiding om høsten hadde faktorer på 0,8-0,9 for TP. Dyp høstharving ga nesten like store TP-tap som høstpløying. TP-konsentrasjonene ble redusert med faktorer 0,5 (eng og

vårharving) til 0,9 (grunn høstharving). For dyp høstharving var TP-konsentrasjonen den samme som for høstpløying.

Løst P utgjorde 13 - 63 % av TP - de laveste andelene ved jordarbeiding om høsten, og de høyeste andelene ved jordarbeiding om våren, direktesåing og eng. Høstharving (dyp og grunn), vårharving, direktesåing og eng ga alle høyere tap og konsentrasjoner av løst P i forhold til høstpløying. Direktesåing ga hele 3,5 ganger høyere tap av løst P.

### **Jokioinen/Kotkanoja, SV-Finland (leire, middels erosjon)**

Jokioinen/Kotkanoja er et rutefelt beliggende i Sørvest-Finland. Jorda er moldholdig (4,7 % OM) stiv leire (61 % leir, 16 % silt). Gjennom måleperioden har  $P_{\text{acetat}}$  økt fra 2-5 til 6-7 mg/l pga en lett positiv P-balanse. Helningsgraden er 1-4 % og helningslengden 146 m. Feltet er drenert. Det har vært to eksperimentelle perioder (i tillegg til en "kalibreringsperiode" i 91-93). I første perioden (93-96) var det to ruter med høstpløying (HPL) og to ruter med overvintring i stubb og vårharving til 5 cm dybde (VHA). Veksten var bygg. I andre perioden (96-01) var det høstpløying på to ruter og høstharving til 5-8 cm dybde på to ruter (HHA). Veksten var bygg eller havre. All informasjon er hentet fra Uusitalo et al. (2007).

SS-tap var 92 og 123 kg/daa/år ved høstpløying i de to måleperiodene. Tilsvarende SS-konsentrasjoner var 397 og 478 mg/l. TP-tap ved høstpløying var 0,075 og 0,11 kg/daa/år, og TP-konsentrasjonene 0,32 og 0,42 mg/l. De to alternative jordarbeidingsystemene hadde liten effekt på både SS og TP. TP økte noe både ved overvintring i stubb (vårharving) og ved høstharving, selv om SS var noe mindre ved stubb enn ved høstpløying, og lik ved høstharving.

Løst P utgjorde omtrent 10 % av TP ved jordarbeiding om høsten, og dobbelt så mye ved overvintring i stubb (vårharving). Tap og konsentrasjon av løst P var høyere ved overvintring i stubb og ved høstharving enn ved høstpløying.

**Tabell 12. Avrenning (Q), og transport og konsentrasjoner av jordpartikler (SS), total fosfor (TP), løst fosfor (DRP) og DRP som prosentandel av TP (% av TP) ved ulike jordarbeiding, og relative tap og konsentrasjoner sammenliknet med høstpløying (faktor), Jokioinen/Kotkanoja rutefelt i Finland (sum grøfte- og overflateavrenning). Data fra Uusitalo et al. (2007).**

Jokioinen	Jordarbeiding*	Q (mm)	Transport (kg/daa/år)			Konsentrasjon** (mg/l)		
			SS	TP	DRP (% av TP)	SS	TP	DRP
93-01								
93-96	HPL	233	92	0,075	0,009 (12)	397	0,32	0,037
	VHA	253	76	0,082	0,016 (20)	301	0,32	0,063
<b>Faktor</b>	<b>VHA/HPL</b>	<b>1,1</b>	<b>0,83</b>	<b>1,1</b>	<b>1,9</b>	<b>0,76</b>	<b>1,0</b>	<b>1,7</b>
96-01	HPL	257	123	0,11	0,010 (9,1)	478	0,42	0,037
	HHA	252	122	0,12	0,012 (10)	483	0,48	0,048
<b>Faktor</b>	<b>HHA/HPL</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,0</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>

\* Jordarbeiding: H=høst, V=vår, PL=pløying, HA=harving. Veksten er bygg i første periode og bygg eller havre i andre periode.

\*\* Konsentrasjon = Transport × 1000/Q

### **Kotkaniemi, Finland (leire, lite erosjon)**

Kotkaniemi-feltet ligger ca 45 km nordvest for Helsinki, i Finland. Jorda er mellomleire (38 % leir). Det er to ruter med omtrent samme størrelse, helningsgraden er 4-5 %. På den ene ruta har det vært høstpløyd til 25 cm dybde, på den andre harvet til 5 cm dybde. Feltet er drenert, grøftedypet er 1,2 - 1,5 m. Det har vært dyrket bygg, havre og oljevekst på rutene. All informasjon er hentet fra Koskiaho et al. (2002). Tall for grøfte- og overflateavrenning er ikke slått sammen da de gjelder ulike tidsperioder.

SS-tap ved høstpløying lå på 19 og 23 kg/daa/år i grøftevann og 48 kg/daa/år i overflatevann. TP-tap ved høstpløying lå på 0,025 og 0,028 kg/daa/år i grøftevann og 0,040 kg/daa/år i overflatevann. I den første perioden med målinger i grøftevann, var det høyere tap og konsentrasjoner av SS og TP ved høstharving enn ved høstpløying. I den andre perioden var SS- og TP-tap og SS-konsentrasjon i grøftevann lavere ved høstharving, mens TP-konsentrasjon var litt høyere. I overflatevann var SS-tap og SS-konsentrasjon lavere ved høstharving, mens TP-tap og TP-konsentrasjon var høyere ved høstharving.

Ved høstpløying utgjorde løst P ca 10 % av TP i både grøfte- og overflatevann, og i begge perioder. Ved høstharving utgjorde løst P i grøftevann ca 15 %, mens løst P i overflatevann utgjorde ca 50 % av TP. Tap og konsentrasjon av løst P var høyere ved høstharving enn ved høstpløying, særlig i overflatevann (faktor 4,4 og 5,6 for henholdsvis DRP-tap og DRP-konsentrasjon).

Tabell 13. Avrenning (Q), og transport og konsentrasjoner av jordpartikler (SS), total fosfor (TP), løst fosfor (DRP) og DRP som prosentandel av TP (% av TP) ved ulike jordarbeiding, og relative tap og konsentrasjoner sammenliknet med høstpløying (faktor), Kotkaniemi rutefelt i Finland (grøfte- eller overflateavrenning). Data fra Koskiaho et al. (2002).

Kotkaniemi	Jordarbeiding*	Q (mm)	Transport (kg/daa/år)			Konsentrasjon** (mg/l)		
			SS	TP	DRP (% av TP)	SS	TP	DRP
86-91	HPL (G)	95	19	0,025	0,0031 (12)	196	0,26	0,033
	HHA (G)	105	22	0,035	0,0054 (15)	206	0,33	0,051
<b>Faktor</b>	<b>HHA/HPL</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>	<b>1,7</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,6</b>
91-95	HPL (G)	94	23	0,028	0,0029 (10)	249	0,30	0,031
	HHA (G)	74	16	0,025	0,0039 (16)	214	0,34	0,053
<b>Faktor</b>	<b>HHA/HPL</b>	<b>0,79</b>	<b>0,68</b>	<b>0,89</b>	<b>1,3</b>	<b>0,86</b>	<b>1,1</b>	<b>1,7</b>
91-93	HPL (O)	114	48	0,040	0,0048 (12)	420	0,35	0,042
	HHA (O)	91	16	0,044	0,021 (48)	176	0,48	0,23
<b>Faktor</b>	<b>HHA/HPL</b>	<b>0,80</b>	<b>0,33</b>	<b>1,1</b>	<b>4,4</b>	<b>0,42</b>	<b>1,4</b>	<b>5,6</b>

\* Jordarbeiding: H=høst, V=vår, PL=pløying, HA=harving. Det har vært vårkorn eller oljevekst på rutene.

\*\* Konsentrasjon = Transport × 1000/Q

### Lintupaju, SV-Finland (leire)

Lintupaju-feltet ligger i Jokioinen i sørvest-Finland. Det er et felt med leirjord.  $P_{\text{acetat}}$  var omtrent 8 mg/l i 1991. Helningsgraden er noen få prosent på de øvre 60 m av feltet, mens det er bratt helning (12-18 %) på de nedre 10 m. I omtalte forsøksperiode var det seks ruter, tre med høstpløying (HPL) og tre med direktesåing (DIR). På to av rutene for både HPL og DIR var det bufferzoner - resultater for disse omtales ikke her. Beite er også studert her. Feltet var drenert, men det er kun utført målinger i overflateavrenning. All informasjon er hentet fra Uusi-Kämpä og Jauhiainen (2010).

SS-konsentrasjonen ved høstpløying lå på 1060 mg/l, mens TP-konsentrasjonen lå på 0,97 mg/l. I forhold til høstpløying var både SS- og TP-konsentrasjoner lavere fra beite (faktor 0,3 for SS og 0,7 for TP) og direktesådde ruter (faktor 0,4 for SS og 0,7 for TP). Løst P utgjorde 12 % av TP ved høstpløying, 44 % ved beite og 25 % ved direktesåing. Både beite og direktesåing ga høyere tap av løst P enn høstpløying, beite så mye som nesten tre ganger mer.

Tabell 14. Konsentrasjoner av jordpartikler (SS), total fosfor (TP), løst fosfor (DRP) og DRP som prosentandel av TP (% av TP) ved ulike jordarbeiding, og relative konsentrasjoner sammenliknet med høstpløying (faktor), Lintupaju rutefelt i Finland (overflateavrenning). Data fra Uusi-Kämpä og Jauhiainen (2010).

Lintupaju	Jordarbeiding	Konsentrasjon (mg/l)		
		SS	TP	DRP (% av TP)
91-08	HPL	1060	0,97	0,12 (12)
	Beite	300	0,72	0,32 (44)
	DIR	440	0,69	0,17 (25)
Faktor	Beite/HPL	0,28	0,74	2,7
	DIR/HPL	0,42	0,71	1,4

\* Jordarbeiding: H=høst, PL=pløying, DIR=direktesåing.

### Liperi, SØ-Finland (leire, lite erosjon)

Liperi er et rutefelt i Sørøst-Finland, etablert i 1978. Jorda er moldholdig (3,5 % OM) stiv leire. Helningsgraden er < 0,5 %. I feltet måles overflate- og grøfteavrenning. Tallene her gjelder perioden 1/9-31/5, da mesteparten av tapene skjer. De ulike systemene har også vært i til dels ulike år. Det har vært høstpløying (HPL) til vårkorn, vårpløying (VPL), gjenlegg til eng (VPL<sub>gjenlegg</sub>), høstpløying til høstrug (HPL+HK) og eng. Vårkorn har vekslet mellom bygg, havre og vårhvete. All informasjon er hentet fra Kukkonen et al. (2004).

Tabell 15. Transport av jordpartikler (SS), total fosfor (TP), løst fosfor (DRP) og DRP som prosentandel av TP (% av TP) ved ulike jordarbeiding, og relative tap sammenliknet med høstpløying (faktor), Liperi rutefelt i Finland (sum grøfte- og overflateavrenning). Data fra Kukkonen et al. (2004).

Liperi	Jordarbeiding*	Transport (kg/daa/år)		
		SS	TP	DRP (% av TP)
89-00	HPL	11	0,11	0,079 (72)
	VPL	6,7	0,051	0,035 (69)
	VPL <sub>gjenlegg</sub>	4,5	0,039	0,024 (62)
	HPL+HK	8,4	0,091	0,065 (71)
	ENG	4,6	0,034	0,019 (56)
Faktor	VPL/HPL	0,59	0,46	0,44
	VPL <sub>gjenlegg</sub> /HPL	0,39	0,35	0,30
	HPL+HK/HPL	0,74	0,83	0,82
	ENG/HPL	0,40	0,31	0,24

\* Jordarbeiding: H=høst, V=vår, PL=pløying, HK=høstkorn, gjenlegg=innsådd gjenlegg til eng. Vårkorn når det ikke er eng eller HK.

SS-tap ved høstpløying lå på 11 kg/daa/år, og TP-tap 0,11 kg/daa/år. I forhold til høstpløying var det lavere tap av både SS og P for de fire andre systemene. SS-tap var lavest for vårpløying med gjenlegg til eng og eng (faktor 0,4). Vårpløying ga reduksjon i SS-tap med en faktor 0,6, og høstkorn med en faktor 0,7. TP-tap var også lavest for vårpløying med gjenlegg og eng (faktor 0,3-0,4), etterfulgt av vårpløying (faktor 0,5) og høstkorn (faktor 0,8). Løst P (i form av fosfat-P) utgjorde ca 70 % av TP ved høstpløying, høstkorn og vårpløying, og ca 60 % ved eng og vårpløying med gjenlegg til eng. Tap av løst P var også høyest ved høstpløying, og ble tilsvarende redusert som TP ved alternative systemer.

## Andre felter, Finland (middels erosjon)

Her oppsummerer vi resultater for noen andre felter i Finland: **Lintula** (Puustinen et al., 2010), **Tohmajärvi** (Huhta og Jaakkola, 1993 - sitert av Puustinen et al., 2010) og **Toholampi** (Turtola og Kemppainen, 1998 - sitert av Puustinen et al., 2010). På Lintula har det vært grunn høstharving, og høstpløying. Tohmajärvi er et felt på organisk jord (sedge peat), nesten flatt (<0,2 % helning). Toholampi er et felt på grov siltjord, med helning 0,5 %. På de to sistnevnte feltene har det vært høstpløying og eng.

På Lintula var det positiv effekt på SS-konsentrasjon av høstharving sammenliknet med høstpløying, mens det var ingen effekt på TP. Tap av løst P utgjorde 12 % av TP ved høstpløying og 36 % ved stubbharving, og var tre ganger høyere ved sistnevnte.

På Tohmajärvi og Toholampi var det negativ effekt av eng sammenliknet med høstpløying mht TP-tap. Løst P utgjorde om lag 60 % av TP på Tohmajärvi, mens på Toholampi utgjorde løst P 12 % ved høstpløying og 73 % ved eng. Eng ga høyere tap av løst P enn høstpløying, særlig på Tohmajärvi, der det er organisk jord.

**Tabell 16.** Transport av jordpartikler (SS), total fosfor (TP), løst fosfor (DRP) og DRP som prosentandel av TP (% av TP) ved ulike jordarbeiding, og relative tap sammenliknet med høstpløying (faktor), Lintula, Tohmajärvi og Toholampi rutefelter i Finland. Data fra Puustinen et al. (2010).

Felt	Jordarbeiding*	Transport (kg/daa/år)		
		SS	TP	DRP (% av TP)
Lintula	HPL	71	0,068	0,008 (12)
	HHA	32	0,069	0,025 (36)
<b>Faktor</b>	<b>HHA/HPL</b>	<b>0,45</b>	<b>1,0</b>	<b>3,1</b>
Tohmajärvi	HPL	-	0,14	0,085 (61)
84-87	ENG	-	0,17	0,11 (65)
<b>Faktor</b>	<b>ENG/HPL</b>	<b>-</b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>
Toholampi	HPL	69	0,058	0,007 (12)
	ENG	34	0,15	0,11 (73)
<b>Faktor</b>	<b>ENG/HPL</b>	<b>0,49</b>	<b>2,6</b>	<b>16</b>

\* Jordarbeiding: H=høst, PL=pløying, HA=harving.

## 4.1.3 Sverige

### Hedemora, midt-Sverige (leire, middels erosjon, lav P-AL)

Feltet ligger ved Hedemora i Dalarna, midt-Sverige. Jorda er en moldfattig (2,5 % OM) siltig lettleire. Helningsgraden er 10 % og helningslengden 22 m. P-AL er 3,4 mg/100 g. Data er fra tidsrommet 94-01. På rutene har det vært konvensjonell høstpløying (HPL), konvensjonell vårpløying (VPL), høstharving (HHA), direktesåing vår (DIR), dyp pløying (40 cm dyp) tre ganger om høsten (HPL<sub>dyp</sub>), vårpløying med innsådd fangvekst (VPL+FF), eng/høstkorn med høstpløying (ENG, HPL+HK), og høstharving med innblanding av organisk materiale (HHA+OM). Når annet ikke er oppgitt, har det vært vårkorn (bygg, havre) på rutene. All informasjon er hentet fra Ulén et al. (2010 og unpubl.) og Ulén og Kalisky (2005).

SS-tap i perioden 93-01 var 64 kg/daa/år ved høstpløying. TP-tap ved høstpløying var i samme periode 0,04 kg/daa/år. De sju andre jordarbeidingssystemene ga alle lavere SS- og TP-tap. Effekten på SS var bedre enn effekten på TP. Direktesåing om våren hadde størst effekt på SS-tap (faktor 0,2), men nest lavest effekt på TP-tap (faktor 0,8). Høstharving, dyp høstpløying og systemet med veksling mellom eng og høstkorn med høstpløying ga en reduksjon i SS-tap med en faktor 0,6 i forhold til høstpløying,

mens TP-tap med disse systemene ga en reduksjon med henholdsvis faktorer 0,8, 0,7 og 0,7. Den største effekten på TP-tap sto vårpløying med og uten fangvekst for, med omtrent en halvering i TP-tap i forhold til ved høstpløying. Disse to systemene ga også en betydelig reduksjon i SS-tap (faktor 0,4 og 0,3). Løst P utgjorde fra 13 til 53 % av TP for de ulike systemene, med høyest andel for direktesåing om våren, vårpløying og eng-høstkorn. Tap av løst P ble jevnt over redusert i de fleste systemene sammenliknet med høstpløying, men økte 2,7 ganger ved direktesåing.

Tabell 17. Transport av jordpartikler (SS), total fosfor (TP), løst fosfor (DRP), og DRP som prosentandel av TP (% av TP) ved ulik jordarbeiding, og relative tap sammenliknet med høstpløying (faktor), Hedemora rutefelt i Sverige (overflateavrenning). Data fra Ulén og Kalisky (2005).

Hedemora 93-01	Jordarbeiding*	Transport (kg/daa/år)		
		SS	TP	DRP (% av TP)
	HPL	64	0,038	0,006 (16)
	HPL <sub>dyp</sub>	40	0,028	0,004 (14)
	HHA	37	0,032	0,004 (13)
	HHA+OM	29	0,027	0,005 (19)
	ENG-HPL+HK	36	0,025	0,006 (24)
	VPL	22	0,020	0,005 (25)
	VPL+FF	27	0,019	0,004 (21)
	DIR vår	11	0,030	0,016 (53)
<b>Faktor</b>	<b>HPL<sub>dyp</sub>/HPL</b>	<b>0,63</b>	<b>0,74</b>	<b>0,67</b>
	<b>HHA/HPL</b>	<b>0,58</b>	<b>0,84</b>	<b>0,67</b>
	<b>HHA+OM/HPL</b>	<b>0,45</b>	<b>0,71</b>	<b>0,83</b>
	<b>ENG-HPL+HK/HPL</b>	<b>0,56</b>	<b>0,66</b>	<b>1,0</b>
	<b>VPL/HPL</b>	<b>0,34</b>	<b>0,53</b>	<b>0,83</b>
	<b>VPL+FF/HPL</b>	<b>0,42</b>	<b>0,50</b>	<b>0,67</b>
	<b>DIR/HPL</b>	<b>0,17</b>	<b>0,79</b>	<b>2,7</b>

\* Jordarbeiding: H=høst, V=vår, PL=pløying, HA=harving, HK=høstkorn, FF=fangvekst, DIR=direktesåing vår, dyp=til 40 cm dybde. Der det verken har vært eng eller HK, har det vært vårkorn (bygg, havre).

### Ätran/Vessigebro, SV-Sverige (leire, mye erosjon, lav P-AL)

Feltet ligger ved elva Ätran, nær byen Vessigebro i Halland, sørvest-Sverige. Jorda er en moldholdig (4,3 % OM) mellomleire (28 % leir, 48 % silt). P-AL = 4,2 mg/100 g jord. Helningsgraden er 10 %, og helningslengden 5 m på noen ruter og 22 m på andre ruter. På rutene har det vært høstpløying, vårpløying, og tidlig høstpløying med høsthvete. Vekst har vært høsthvete, bygg og havre. All informasjon er hentet fra Ulén (1997).

SS-tap er ikke oppgitt, men noen data for overflateavrenning sammen med SS-konsentrasjoner tilsier at SS-tap ligger på 1-2 kg/daa/år. SS-konsentrasjonen ved høstpløying lå på 440 mg/l for de korte rutene og 2100 mg/l på de lange rutene. TP-konsentrasjonene ved høstpløying var 0,19 mg/l på korte ruter og 0,69 mg/l på lange ruter. På de korte rutene var det en positiv effekt på SS-konsentrasjon av vårpløying og høstpløying med høstkorn sammenliknet med sen høstpløying (faktorer 0,8 og 0,7), mens effekten var negativ for TP-konsentrasjon (faktorer 1,3 og 1,1). På de lange rutene var det positiv effekt både på SS- og TP-konsentrasjoner, og effekten var større enn på de korte rutene (faktorer 0,3 og 0,4 for SS og 0,8 og 0,4 for TP).

Løst P utgjorde ca mellom 16 og 33 % av TP på de korte rutene, minst ved høstpløying og mest ved vårpløying. På de lange rutene utgjorde løst P 7 % av TP ved høstpløying og ca 15 % ved høstpløying



med høstkorn og vårpløying. Tap av løst P var høyere enn ved høstpløying på de korte rutene. På de lange rutene var tap av løst P litt lavere ved høstpløying med høstkorn, men høyere ved vårpløying.

**Tabell 18.** Konsentrasjoner av jordpartikler (SS), total fosfor (TP), løst fosfor (DRP) og DRP som prosentandel av TP (% av TP) ved ulike jordarbeiding, og relative konsentrasjoner sammenliknet med høstpløying (faktor), Vessigebro rutefelt i Sverige (overflateavrenning). Data fra Ulén (1997).

Vessigebro	Jordarbeiding*	Konsentrasjon (mg/l)		
		SS	TP	DRP (% av TP)
<b>93-96</b>				
93-96	HPL	440	0,19	0,030 (16)
5 m ruter	HPL+HK	300	0,21	0,040 (19)
	VPL	330	0,24	0,080 (33)
<b>Faktor</b>	HPL+HK/HPL	<b>0,68</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>
	VPL/HPL	<b>0,75</b>	<b>1,3</b>	<b>2,7</b>
94-96	HPL	2100	0,69	0,050 (7)
22 m ruter	HPL+HK	760	0,26	0,040 (15)
	VPL	610	0,57	0,080 (14)
<b>Faktor</b>	HPL+HK/HPL	<b>0,36</b>	<b>0,38</b>	<b>0,80</b>
	VPL/HPL	<b>0,29</b>	<b>0,83</b>	<b>1,6</b>

\* Jordarbeiding: H=høst, V=vår, PL=pløying, HK=høstkorn. Vårkorn (bygg, havre) på ruter uten høstkorn.

### **Mellby, SV-Sverige (sandig lettleire)**

Mellby ligger i sørvest-Sverige. Jorda er moldholdig (5,7 % OM) sandig lettleire (10 % leir, 13 % silt). Helningslengden er 18 m. Feltet er drenert med grøftedybde 0,9 m. Data er fra Ulén/Stenberg (upubl.). SS-tap er ikke oppgitt.

TP-tap ved høstpløying lå på 0,20 kg/daa/år. TP-tap ble redusert ved høstkorn med høstpløying, overvintring i stubb og eng. Løst P utgjorde 25 % av TP ved høstpløying, ca 35 % ved høstkorn med høstpløying og overvintring i stubb, og ca 40 % ved eng. Førstnevnte ga en svak økning i løst P sammenliknet med høstpløying, men de to sistnevnte ga en svak reduksjon.

**Tabell 19.** Transport av total fosfor (TP) og løst fosfor (DRP), og DRP som prosentandel av TP (% av TP) ved ulike jordarbeiding, og relative tap sammenliknet med høstpløying (faktor), Mellby rutefelt i Sverige (overflateavrenning). Data fra Ulén/Stenberg (upubl.).

Mellby	Jordarbeiding*	Transport (kg/daa/år)	
		TP	DRP (% av TP)
<b>04-08</b>			
	HPL	0,20	0,050 (25)
	HPL+HK	0,16	0,054 (34)
	DIR	0,13	0,047 (36)
	ENG	0,11	0,043 (39)
	HPL+HK/HPL	<b>0,80</b>	<b>1,1</b>
	DIR/HPL	<b>0,65</b>	<b>0,94</b>
	ENG/HPL	<b>0,55</b>	<b>0,86</b>

\* Jordarbeiding: H=høst, PL=pløying, HK=høstkorn, DIR=direktesåing.

## Lanna, SV-Sverige (leire)

Lanna rutefelt ligger i Sørvest-Sverige. Jorda er moldholdig (3,3 % OM) stiv leire. P-AL varierer fra rute til rute, mellom 3,7 og 9,9 mg/100 g jord. Det er sju drenerte ruter (avstand 3,5 m, dybde 1 m). På rutene har det vært omløp med høstpløying med vårkorn (HPL), høstpløying med høstkorn (HPL+HK), høstharving med høstkorn (HHA+HK) og eng. Når annet ikke er oppgitt, har det vært vårkorn (havre). Jordtap er ikke rapportert. Data er hentet fra Aronsson et al. (2006).

Tap av TP ved høstpløying var 0,017 kg/daa/år, og TP-konsentrasjon 0,0067 mg/l. Løst P (i form av fosfat-P) utgjorde ca 40 % av TP fra kornsystemene, og 47 % for eng. Høstpløying med høstkorn ga en reduksjon i tap av TP og løst P i forhold til høstpløying, men konsentrasjonene av TP og løst P var noe høyere. Eng ga en enda større reduksjon av tapene pga mye lavere avrenning, mens tap av TP var 1,5 ganger høyere og tap av løst P nesten dobbelt så høyt.

Tabell 20. Avrenning (Q), transport og konsentrasjon av total fosfor (TP) og løst fosfor (DRP), og DRP som prosentandel av TP (% av TP) ved ulike jordarbeiding, og relative tap og konsentrasjoner sammenliknet med høstpløying (faktor), Lanna rutefelt i Sverige (overflateavrenning). Data fra Aronsson et al. (2006).

Lanna	Jordarbeiding*	Q (mm)	Transport (kg/daa/år)		Konsentrasjon** (mg/l)	
			TP	DRP (% av TP)	TP	DRP (% av TP)
	HPL	251	0,017	0,0061 (36)	0,067	0,025
	HPL+HK	208	0,015	0,0058 (39)	0,072	0,030
	HHA+HK	236	0,019	0,0066 (35)	0,079	0,028
	ENG	62	0,0064	0,0030 (47)	0,10	0,046
	<b>HPL+HK/HPL</b>	<b>0,83</b>	<b>0,89</b>	<b>0,95</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>
	<b>HHA+HK/HPL</b>	<b>0,94</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>
	<b>ENG/HPL</b>	<b>0,25</b>	<b>0,38</b>	<b>0,50</b>	<b>1,5</b>	<b>1,8</b>

\* Jordarbeiding: H=høst, PL=pløying, HA=harving, HK=høstkorn. Vårkorn der det ikke har vært høstkorn eller eng.

\*\* Konsentrasjon = Transport  $\times$  1000/Q

## 4.1.4 Danmark

### Foulum, Danmark (morenejord, siltig sand, mye erosjon)

Foulum er et rutefelt på Jylland i Danmark. Jorda er moldfattig (2,1 % OM) siltig sand (9 % leir, 46 % silt+finsand), med morene som opphavsmateriale. Helningsgraden er 10 %, og helningslengden 22 m. Det har vært åtte ruter med seks behandlinger: høstpløying med vårkorn (HPL), høstpløying med høstkorn (HPL+HK), høstpløying med høstkorn sådd på tvers (HPL+HK<sub>tvers</sub>), vårpløying med fangvekst (VPL+FF), eng og brakk med vårpløying (VPL<sub>brakk</sub>). Vekster dyrket er høstvetete, eng og bygg. All informasjon er hentet fra Schjønning et al. (1995).

SS-tap ved høstpløying var 188 kg/daa/år i måleperioden, med SS-konsentrasjon på 12 740 mg/l. Tilsvarende var TP-tap ved høstpløying 0,22 kg/daa/år, mens TP-konsentrasjonen var 15 mg/l. Høstpløying med høstkorn (sådd på langs og på tvers) og brakk med vårpløying ga mye mer overflateavrenning, SS- og TP-tap enn høstpløying (faktorer 5,8-9,0). SS-konsentrasjonene var ikke så ulike, mens TP-konsentrasjonen var noe høyere enn ved høstpløying. Vårpløying med fangvekst og eng resulterte i mye mindre tap og konsentrasjoner av SS og TP.

Løst P utgjorde 2-4 % av TP for de høstpløydte rutene og for brakk med vårpløying, mens ved eng og vårpløying med fangvekst utgjorde løst P henholdsvis 49 og 12 % av TP. I forhold til høstpløying resulterte systemene med høstkorn og brakk i høyere tap og lavere konsentrasjoner av løst P (3-5 ganger høyere tap, faktor 0,6 for konsentrasjon), mens det var omvendt for eng og vårpløying med fangvekst (halvert tap og doblet konsentrasjon).

Tabell 21. Avrenning (Q), og transport og konsentrasjoner av jordpartikler (SS), total fosfor (TP), løst fosfor (DRP) og DRP som prosentandel av TP (% av TP) ved ulike jordarbeiding, og relative tap og konsentrasjoner sammenliknet med høstpløying (faktor), Foulum rutefelt i Danmark (overflateavrenning). Data fra Schjøning et al. (1995).

Foulum 89-92	Jordarbeiding	Q (mm)	Transport (kg/daa/år)			Konsentrasjon (mg/l)		
			SS	TP	DRP (% av TP)	SS	TP	DRP
	HPL	15	188	0,22	0,0080 (3,6)	12740	15	0,54
	HPL+HK	98	1279	1,7	0,032 (1,9)	12994	18	0,32
	HPL+HK <sub>tvers</sub>	89	1108	1,5	0,028 (1,9)	12443	17	0,31
	VPL <sub>brakk</sub>	112	1087	2,0	0,039 (2,0)	9740	18	0,35
	VPL+FF	21	42	0,13	0,015 (12)	1973	6,1	0,72
	ENG	23	7,3	0,037	0,018 (49)	322	1,6	0,79
<b>Faktor</b>	<b>HPL+HK/HPL</b>	<b>6,7</b>	<b>6,8</b>	<b>7,8</b>	<b>4,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,2</b>	<b>0,60</b>
	<b>HPL+HK<sub>tvers</sub>/HPL</b>	<b>6,0</b>	<b>5,9</b>	<b>6,9</b>	<b>3,5</b>	<b>1,0</b>	<b>1,1</b>	<b>0,57</b>
	<b>VPL<sub>brakk</sub>/HPL</b>	<b>7,6</b>	<b>5,8</b>	<b>9,0</b>	<b>4,8</b>	<b>0,76</b>	<b>1,2</b>	<b>0,64</b>
	<b>VPL+FF/HPL</b>	<b>0,21</b>	<b>0,03</b>	<b>0,07</b>	<b>0,48</b>	<b>0,15</b>	<b>0,35</b>	<b>2,2</b>
	<b>ENG/HPL</b>	<b>0,23</b>	<b>0,006</b>	<b>0,02</b>	<b>0,56</b>	<b>0,03</b>	<b>0,09</b>	<b>2,4</b>

\* Jordarbeiding: H=høst, V=vår, PL=pløying, HK=høstkorn, FF=fangvekst, tvers=sådd på tvers, brakk=brakk med vårpløying.

\*\* Konsentrasjon = Transport × 1000/Q

### Ødum, Danmark (morenejord, lettleire, middels erosjon)

Ødum er et rutefelt på Jylland i Danmark. Jorda er moldfattig (1,9 % OM) lettleire (11 % leir, 56 % silt+finsand), med morene som opphavsmateriale. Helningsgraden er 10 %, og helningslengden 22 m. Det har vært åtte ruter med seks behandlinger: høstpløying (HPL), høstpløying med høstkorn (HPL+HK), høstpløying med høstkorn sådd på tvers (HPL+HK<sub>tvers</sub>), vårpløying med fangvekst (VPL+FF), eng og brakk med vårpløying (VPL<sub>brakk</sub>). Vekster dyrket er høsthvete, eng og bygg. All informasjon er hentet fra Schjøning et al. (1995).

SS-tap ved høstpløying var 63 kg/daa/år i overflateavrenning i måleperioden, mens SS-konsentrasjonen var 3210 mg/l. Tilsvarende var TP-tap ved høstpløying 0,12 kg/daa/år, mens TP-konsentrasjonen var 5,9 mg/l. Høstpløying med høstkorn og brakk med vårpløying hadde svært negativ effekt på både tap og konsentrasjoner av SS og TP i forhold til høstpløying. Høstpløying med høstkorn sådd på tvers ga reduserte tap og konsentrasjoner (faktorer 0,7-0,9). Eng og vårpløying med fangvekst ga sterkt reduserte tap og konsentrasjoner av SS og TP (faktorer 0,1-0,4), dels pga stor reduksjon i mengde overflatevann.

Løst P utgjorde ca 8 % av TP ved høstpløying, ca 6 og 15 % ved henholdsvis høstkorn med høstpløying og høstkorn sådd på tvers med høstpløying, 3 % ved brakk med vårpløying, 31 % ved vårpløying med fangvekst og 36 % ved eng. Tap av løst P var høyere enn ved høstpløying ved høstkorn med høstpløying og ved brakk, og lavere ved vårpløying med fangvekst og ved eng. Bare brakk hadde lavere DRP-konsentrasjoner enn høstpløying.

Tabell 22. Avrenning (Q), og transport og konsentrasjoner av jordpartikler (SS), total fosfor (TP), løst fosfor (DRP) og DRP som prosentandel av TP (% av TP) ved ulike jordarbeiding, og relative tap og konsentrasjoner sammenliknet med høstpløying (faktor), Ødum rutefelt i Danmark (overflateavrenning). Data fra Schjøning et al. (1995).

Ødum	Jordarbeiding	Q (mm)	Transport (kg/daa/år)			Konsentrasjon (mg/l)		
			SS	TP	DRP (% av TP)	SS	TP	DRP
89-92								
	HPL	20	63	0,12	0,010 (8,3)	3210	5,9	0,49
	HPL+HK	21	117	0,19	0,012 (6,3)	5610	8,9	0,55
	HPL+HK <sub>tvers</sub>	17	49	0,081	0,012 (15)	2893	4,8	0,70
	VPL <sub>brakk</sub>	46	593	0,67	0,018 (2,7)	12847	15	0,39
	VPL+FF	5	13	0,017	0,0053 (31)	2365	3,3	1,0
	ENG	6	6,2	0,016	0,0058 (36)	1121	2,9	1,1
<b>Faktor</b>	<b>HPL+HK/HPL</b>	<b>1,1</b>	<b>1,9</b>	<b>1,6</b>	<b>1,2</b>	<b>1,7</b>	<b>1,5</b>	<b>1,1</b>
	<b>HPL+HK<sub>tvers</sub>/HPL</b>	<b>0,87</b>	<b>0,78</b>	<b>0,70</b>	<b>1,2</b>	<b>0,90</b>	<b>0,81</b>	<b>1,4</b>
	<b>VPL<sub>brakk</sub>/HPL</b>	<b>2,4</b>	<b>9,5</b>	<b>5,8</b>	<b>1,9</b>	<b>4,0</b>	<b>2,5</b>	<b>0,79</b>
	<b>VPL+FF/HPL</b>	<b>0,25</b>	<b>0,11</b>	<b>0,09</b>	<b>0,46</b>	<b>0,42</b>	<b>0,37</b>	<b>1,8</b>
	<b>ENG/HPL</b>	<b>0,26</b>	<b>0,05</b>	<b>0,09</b>	<b>0,51</b>	<b>0,20</b>	<b>0,33</b>	<b>1,9</b>

\* Jordarbeiding: H=høst, V=vår, PL=pløying, HK=høstkorn, FF=fangvekst, tvers=sådd på tvers, brakk=brakk med vårpløying.

\*\* Konsentrasjon = Transport × 1000/Q

## 4.2 Fordeling av tap på overflate- og grøfteavrenning

I Norge er det et fåtall rutefelt der det har vært målt både grøfte- og overflateavrenning. Disse omfatter de før omtalte feltene Apelsvoll, Syverud, Skjetlein og Kvithamar. Ingen av rutefeltene der det er målt store jordtap har målinger av både grøfte- og overflateavrenning, med unntak av Askim, men der blandes vann fra ruter med jordarbeiding vår og høst.

I tabell 23 er oppsummert hvor stor prosent av SS- og P-tap som skjedde gjennom grøftesystemet ved jordarbeiding høst og vår. Dette var meget variabelt mellom feltene, men også mellom ulike måleperioder for enkeltfelt. Andelen SS-tap gjennom grøftene var fra 17 % på Syverud (første periode) til hele 95 % på Skjetlein, og forskjellen mellom jordarbeiding høst og vår var generelt liten. Størst forskjell var det på Apelsvolls første periode (større andel til grøft ved vårharving enn ved høstpløying) og Syveruds andre periode (mindre andel til grøft ved vårpløying enn ved høstpløying).

Tabell 23. Prosentandel av SS-tap og TP-tap som skjer gjennom grøftene på fire felt med liten og middels erosjonsrisiko.

Felt	% SS-tap via grøfter		% TP-tap via grøfter	
	Jordarbeiding høst	Jordarbeiding vår	Jordarbeiding høst	Jordarbeiding vår
Apelsvoll 90-94 (Ape1)	42	66	54	31
Apelsvoll 01-09 (Ape2)	95	94	83	64
Syverud 92-95 (Syv1)	17	19	32	21
Syverud 94-00 (Syv2)	41	32	45	30
Skjetlein 91-97 (Skj1)	94	95	95	93
Kvithamar (Kvi)	90	94	83	83

Andelen TP-tap gjennom grøftene varierte fra 21 % på Syverud (første periode) til 95 % på Skjetlein. I alle felt og perioder var andelen av TP-tap til grøftene lavere ved jordarbeiding om våren enn ved jordarbeiding om høsten, unntatt på Kvithamar der andelen var den samme.

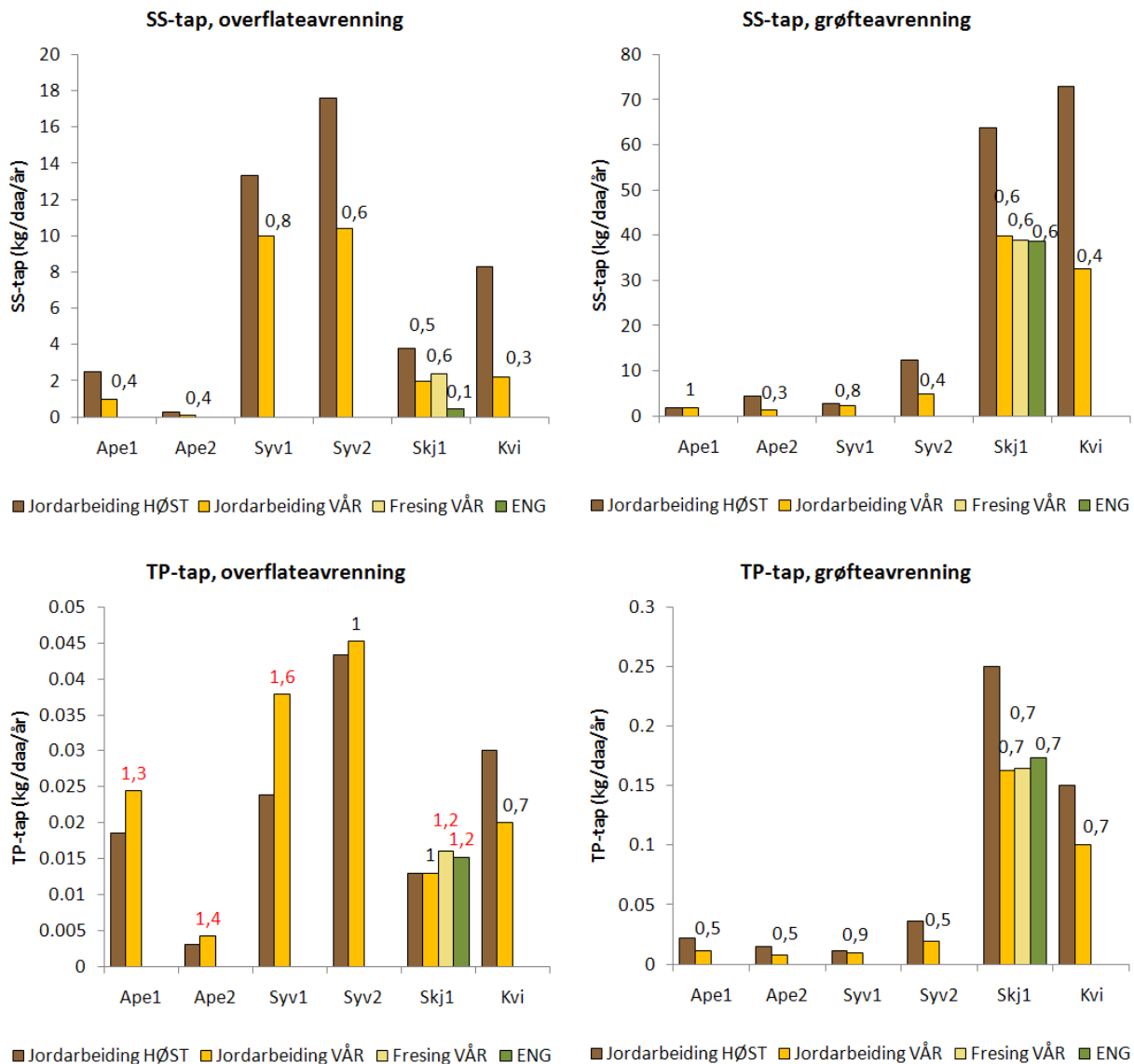
Mengde SS-tap og TP-tap i grøfte- og overflateavrenning i feltene er oppsummert i figur 10. SS-tap var lavere i både grøfte- og overflateavrenning i alle felter ved jordarbeiding om våren (og ved eng på Skjetlein) sammenliknet med jordarbeiding om høsten. Dette gjelder også for TP-tap i grøfteavrenning, mens TP-tap i overflateavrenning kun var mindre ved vårpløying på Kvithamar.

På Skjetlein var det uendret TP-tap via overflateavrenning ved vårpløying i forhold til høstpløying, mens det ved vårfresing og eng var en økning (faktor 1,2). Både ved vårpløying, vårfresing og eng var det større mengde overflatevann (ca 50 mm sammenliknet med 26 mm ved høstpløying). TP-konsentrasjonen var lavere ved jordarbeiding om våren og ved eng enn ved høstpløying (0,25 mg/l ved vårpløying, 0,29 mg/l ved vårfresing, 0,32 mg/l ved eng, og 0,49 mg/l ved høstpløying).

På Syverud ga vårpløying en svak økning i TP-tap via overflateavrenning i den siste måleperioden. I den andre måleperioden var økningen større (faktor 1,6). Forskjellen var at det var mye mer vann som rant av på overflata på vårpløyde ruter i den første måleperioden. Dessuten var det ganske nylig lagt om fra gras/beite, hvilket kan ha betydning for TP-tapene. I begge periodene var TP-konsentrasjonen i overflatevann høyere ved vårpløying enn ved høstpløying, og denne forskjellen var størst i den første perioden (0,24 mg/l ved høstpløying og 0,38 mg/l ved vårpløying). I den siste perioden var forskjellen i TP-konsentrasjon neglisjerbar (0,43 jf. 0,45 mg/l).

På Apelsvoll var det også en økning i TP-tap via overflateavrenning for system med vårharving sammenliknet med høstpløying (faktorer 1,3 og 1,4). I første perioden var det mer overflateavrenning og lavere TP-konsentrasjon ved vårharving enn ved høstpløying. I siste perioden var det mindre overflateavrenning og høyere TP-konsentrasjon ved vårharving enn ved høstpløying.

Det foreligger også resultater om tap til overflate og grøftevann fra andre undersøkelser enn rutefelt (Kværnø og Bechmann 2010). Flere av disse forsøkene har ikke en systematisk testing av ulike jordarbeidingspraksis, men resultatene kan likevel si noe om betydning av grøftevann for partikkeltransport og effekt av arealbruk. Et eksempel fra et småfelt (8,6 daa) i Ullensaker med måling av grøftevann og overflatevann illustrerer betydningen av episoder og effekt av jordarbeiding. Feltet består av delvis planert jord med liten aggregatstabilitet, mye makroporer og sprekkesystemer. Ved høstpløying var jordtapet gjennom grøftene større enn ved overflateavrenning. I år med omfattende tele i jorda var imidlertid tapet størst ved overflateavrenning. Ved nedbørepisoder på høsten økte konsentrasjonen av partikler i grøftene ti ganger umiddelbart etter pløying (figur 42 i Kværnø og Bechmann). Ved overgang fra høstpløying til stubb og stubb med gjenlegg ble jordtapet sterkt redusert også for grøftevannet.



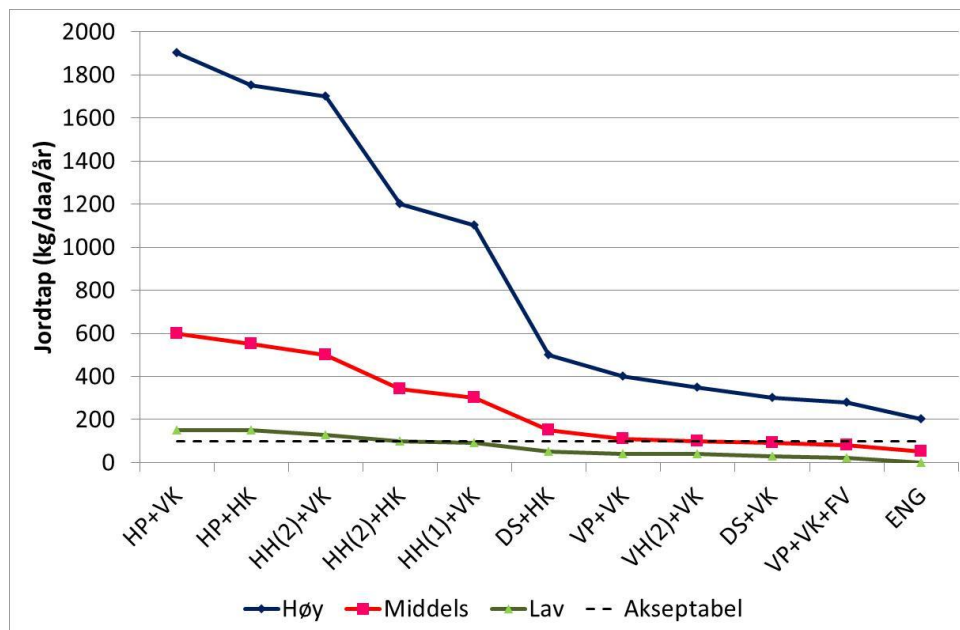
Figur 10. SS-tap og TP-tap i grøfte- og overflateavrenning ved forskjellig jordarbeiding. Faktorene over stolpene representerer forholdstall mellom alternativer til høstpløying og høstpløying. Verdier under 1 viser at tap er større ved høstpløying.

### 4.3 Modellering av jordarbeidingseffekter for norske forhold

Jordarbeidingsforsøk i Norge og andre land dekker ulike jordarter, hellinger og klimaområder, men ikke alle områder er like godt representert. For å kunne bruke resultater fra jordarbeidingsforsøk for andre arealer enn der de er gjennomført kan det være nyttig å bruke modeller. Dessuten er det kun få jordarbeidingsforsøk som omfatter både overflate- og grøftevann. De fleste feltlysimeter har kun måling av overflatevann. I tillegg er forsøkene utført i forskjellige perioder som gir ulike effekter av aktuelle jordarbeidingsmetoder. Disse forskjellige vilkårene bidrar til å vanskeliggjøre den direkte sammenligningen mellom metodene. For å oppsummere resultater fra ulike forsøk vedrørende jordarbeiding og effekten på erosjon og fosfortap har Lundekvam (2002) utviklet en modell som er basert på kunnskapen som er samlet inn i en del av de norske forsøkene. Resultater fra modellen viser at det er forskjell på den relative effekten av jordarbeidingsmetoder på jordtap på arealer med ulik erosjonsrisiko (figur 11). Lundekvams modell var i hovedsak basert på kunnskap om erosjon på arealer med høy og meget høy erosjonsrisiko og det var kun få målinger på arealer med lav erosjonsrisiko som lå til grunn for modellen.

### 4.3.1 ERONOR-modellen

Med grunnlag i målinger fra erosjonsfelt i Akershus og Østfold og de klimatiske forholdene i Ås kommune (meteorologisk stasjon) ble modellene USLENO og ERONOR utviklet (Lundekvam, 2002). Denne modellen simulerer jordtap ved overflate- og grøfteavrenning på homogene felt. Det er erosjonsformene flate og rille-erosjon som simuleres. Erosjon i større furer og grøfter modelleres ikke. Modelleringen viser svært ulik effekt av jordarbeiding på eroderbar og planert jord i forhold til normal kulturjord (Lundekvam et al., 2003). Arealenes erosjonsrisiko har også stor betydning for den relative effekten av jordarbeidingstiltak (figur 11).



Figur 11. Jordtap for Ås, Akershus, beregnet ved hjelp av USLENO for jord med meget høy, høy og middels erosjonsrisiko for ulike jordarbeidingsystemer (Etter Lundekvam, pers. medd.). HP=høstpløying, HH=høstharving, DS=direkte såing, VH=vårharving, VP=vårpløying, VK=vårkorn, HK=høstkorn, FV=fangvekst.

Tabell 24. Tap av jordpartikler (SS) og total fosfor TP) i overflate- og grøftevann på siltig lettleire med helningsgrad 1 og 3 %, og relative tap sammenliknet med høstpløying (grå rader), beregnet med ERONOR-modellen (Lundekvam, pers.medd.).

Driftssystem	Overflatevann (156 mm)				Grøftevann (350 mm)	
	SS (kg/daa/år)		TP (g/daa/år)		SS (kg/daa/år)	TP (g/daa/år)
	1 %	3 %	1 %	3 %	1 og 3 %	1 og 3 %
Høstpløying	21	44	49	71	34	63
Potet	25	52	53	79	37	66
Høsthvete	27	36	45	64	29	56
Høstharving	11	23	39	51	26	52
Vårharving	2,5	5,3	31	34	13	35
Direktesåing	2,5	5,2	31	34	13	34
Eng	1,1	2,3	30	31	8,1	27
Høstpløying	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Potet	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1
Høsthvete	1,3	0,83	0,93	0,90	0,85	0,89
Høstharving	0,52	0,52	0,80	0,72	0,75	0,83
Vårharving	0,12	0,12	0,64	0,48	0,39	0,56
Direktesåing	0,12	0,12	0,64	0,48	0,37	0,54
Eng	0,054	0,053	0,61	0,44	0,24	0,43

Modellen er også benyttet for å simulere fosfortap. Det er brukt en regresjonslikning som viser sammenheng mellom partikkeltap og fosfortap. Det brukes ulike parametere i likningen i ulike regioner basert på målinger og erfaringstall. Modellen tar dermed hensyn til forskjellige driftsformer og gjødsling og at det i visse regioner er en større ande løst fosfor i avrenningen (H. Lundekvam 2002).

For å belyse effekten av jordarbeiding på partikkeltap gjennom overflate- og grøftevann i Vansjøs nedbørfelt ble det gjennomført en modellberegning ved hjelp av ERONOR-modellen (Lundekvam, pers.medd.). I modellen ble det brukt nedbørdata for Rygge (1970-2005) og en siltig lettleire med 21,5 % leir, 63,5 % silt, 4,4 % humus og uplanert. Modellen ble kjørt ved 1 og 3 % fall. Tabell 24 viser jord- og fosfortap beregnet for arealer i nedbørfeltet til vestre Vansjø med ERONOR-modellen.

Resultatene fra ERONOR-modellen gir omtrent en halvering i fosfortapet med overflatevann ved omlegging fra høstpløyd korn til eng ved liten helling. Denne effekten er mye mindre enn på jord med større helling og større erosjonsrisiko. I grøftevann ble fosfortapet redusert med ca. 60 % ved omlegging fra høstpløyd korn til eng.

### 4.3.2 Erosjonsfaktorer (C-faktorer)

Effekten av jordarbeiding på erosjon og partikkeltap blir ofte evaluert i forhold til tradisjonell jordarbeiding med høstpløying. Ved evalueringen blir det brukt erosjonsfaktorer (C-faktorer) som tilsvarer 1 for tradisjonell høstpløying og er satt relativt for de øvrige jordarbeidingsmetoder i forhold til effekt på erosjon. ERONOR-modellen kan beregne partikkeltap ved ulike jordarbeidingsmetoder og resultatene kan omsettes til C-faktorer relatert til høstpløying.

For overflateavrenning er ERONOR-modellen i 2002 brukt til å beregne C-faktorer for ulike dyrkingssystem i Follo-regionen (tabell 25). Faktorene er oppgitt relativt til et tradisjonelt dyrkingssystem med vårkorn og høstpløying (Lundekvam, 2002).

ERONOR-modellen har også blitt brukt på et overvåkingsfelt (Skuterud, Ås). Modelleringen viser at det er god sammenheng mellom helling og jordtap, mens det er stor variasjon jordtap sett i sammenheng med jordarbeiding. Årsaken er at det er lave jordtap på flate skifter med lite erosjonsutsatt jordart selv om de er høstpløyd. På den andre siden er det i noen tilfeller store jordtap fra skifter som ligger i stubb, men har bratt helling og erosjonsutsatt jord (Lundekvam, 2004).

Tabell 25. Beskrivelse av ulike dyrkingssystem med C-faktorer for overflateavrenning i Follo-regionen. Faktorene er oppgitt relativt til tradisjonelt dyrkingssystem med høstpløying til vårkorn (Lundekvam, 2002).

Dyrkingssystem	C-faktor
Tradisjonelt dyrkingssystem m/vårkorn og høstpløying, harving om våren	1,0
Høstvetete, pløyd og harvet om høsten	0,93
Vårkorn, harvet to ganger om høsten, en gang om våren	0,86
Høstvetete, harvet to ganger om høsten	0,58
Vårkorn, harvet en gang om høsten, en gang om våren	0,50
Høstvetete, direktesådd	0,19
Vårkorn, pløyd og harvet om våren	0,14
Vårkorn, harvet to ganger om våren	0,12
Vårkorn, direktesådd vår	0,11
Vårkorn, med fangvekst, pløyd og harvet om våren	0,11
Eng, permanent vegetasjonsdekke	0,05

### 4.3.3 Tiltaksanalyser

Ved beregning av fosfortilførsler i forbindelse med oppfølging av vannforskriften blir det brukt ulike verktøy/modeller for å fastsette mengden av eroderte partikler fra ulike arealer bl.a. ved ulik



jordarbeiding. Disse verktøyene omfatter bl.a. GIS-avrenning (Turtumøygard og Grønlund, 2001), Agricat (Borch et al., 2009) og modellen brukt for Ski kommune (Krogstad, 2001). Modellene omfatter også effekter av vegetasjonssoner og fangdammer på fosfortap, og fosforinnhold i jorda danner med ulikt detaljeringsnivå basis for beregningene. Agricat, til forskjell fra GIS avrenning og modellen for Ski kommune, inkluderer effekt av jordarbeiding på både overflate- og grøfteavrenning av fosfor. Grunnlaget for beregninger av jordarbeidingseffekt er erosjonsrisikokart i kombinasjon med C-faktorer. C-faktorene baseres dels på vurdering ut fra målinger i feltlysimeter og dels på modellering gjennomført med ERONOR. I GIS-avrenning er det effekten på overflateerosjon som evalueres og C-faktorene viser effekten av jordarbeiding på overflateerosjon (tabell 10). I Agricat er det lagt inn C-faktorer for både grøfte- og overflateavrenning (tabell 11).

**Tabell 26. C-faktorer brukt i modellen GIS-avrenning.**

Driftsystem	C-faktor
Høstpløyd	1,0
Høstkorn m/ pløying	1,0
Tung høstharving	0,70
Lett høstharving	0,50
Svært lett høstharving	0,40
Stubb + direktesådd høstkorn	0,20
Stubb + vårpløying	0,15
Stubb + vårharving	0,13
Stubb + direktesådd vårkorn	0,11
Stubb + korn med gjenlegg	0,10
Stubb + korn med fangvekster	0,10

**Tabell 27. C-faktorer brukt i Agricat-modellen, for overflate- og grøftevann hver for seg og samlet.**

Driftsystem	C-faktor		
	Overflateavr.	Grøfteavr.	Samlet
Vårkorn, høstpløying m/harving om våren	1,0	1,0	1,0
Vårkorn, høstharving lett m/ vårharving	0,52	0,75	0,67
Vårkorn, stubb + vårpløying og harvet	0,14	0,45	0,35
Vårkorn, stubb + vårharvet	0,13	0,39	0,30
Vårkorn, stubb + direktesådd vårkorn	0,12	0,37	0,29
Vårkorn, stubb m/ fangvekst pløyd/harvet om våren	0,11	0,25	0,20
Høstkorn m/ lett høstharving	0,52	0,75	0,67
Høstkorn m/ tung høstharving	0,83	0,85	0,84

I beregninger som er gjort for Ski kommune (Krogstad, 2001) er det anvendt C-faktorer for total-avrenning (grøfte- og overflateavrenning), men det er skilt mellom C-faktorer for erosjonsklasse 1 og 2 og erosjonsklasse 3 og 4 (tabell 12).

**Tabell 28. C-faktorer fra tiltaksanalyse for Ski kommune, erosjonsrisikoklasser 1-4 (Krogstad, 2001).**

Driftsystem	C-faktor	
	Klasse 1 og 2	Klasse 3 og 4
Overvintring i stubb, vårpløying	0,40	0,20
Høstkorn, høstpløying	0,92	0,90
Lett høstharving	0,65	0,55
Høstkorn, direkte sådd	0,45	0,30
Høstkorn, lett høstharving	0,70	0,60
Stubb med fangvekst	0,35	0,15

Erosjonsfaktorene varierer mellom ulike verktøy, både med hensyn til detaljeringsnivå og med hensyn til størrelse for de enkelte jordarbeidingsystemer. Ved tilførselsberegninger og beregning av effekter av fremtidige tiltak er valg av erosjonsfaktorer avgjørende for resultatet.

## 5. Diskusjon

---

### 5.1 Effekter av ulike jordarbeidingsystemer på jord- og fosfortap

#### 5.1.1 Jordtap

De nordiske ruteforsøkene viser generelt at det er god effekt av redusert eller endret jordarbeiding på jord- og fosfortap i gjennomsnitt over år og stort sett i alle forsøkene. Sammenstillingen viser også at tidligere anbefalinger av jordarbeiding i forhold til erosjon og fosfortap stort sett er i tråd med resultatene i denne sammenstillingen. Den største effekten på de totale tapene oppnås ved minst mulig bearbeiding av jorda, men det er stor variasjon mellom forsøk og enkelte forsøk viser effekter som ikke støtter den generelle trenden. Gjennomføringen av den aktuelle jordarbeidingsmetode vil også ha betydning for resultatet, det gjelder antagelig spesielt i praksis hvor de ideelle vilkårene for best mulig gjennomføring av jordarbeiding ikke alltid er til stede.

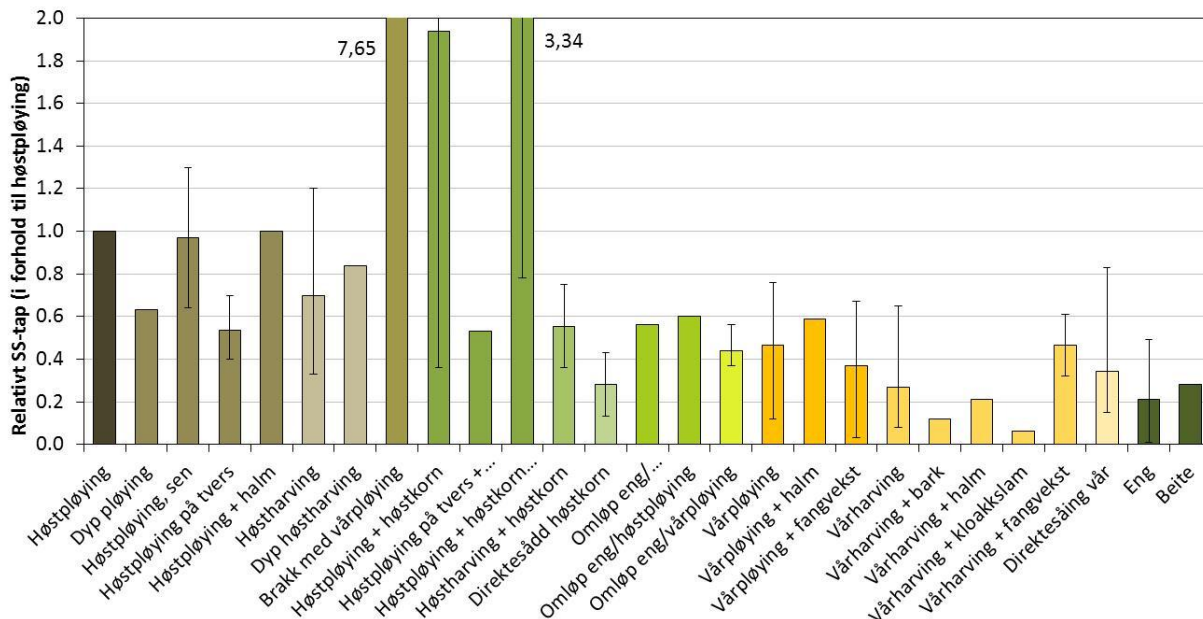
De fleste forsøk omfatter kun overflateavrenning, men i de forsøkene som også omfatter grøfteavrenning er det tilsvarende tendens som for overflateavrenning. Store forskjeller mellom jordart og helling, det vil si erosjonsrisikoklasse, vil også spille en stor rolle for effekten av jordarbeiding.

Overvintring i stubb (alle metoder for jordarbeiding om våren) og direktesådd høstkorn gir jordtap som stort sett er under halvparten av jordtapene ved høstpløying (figur 12). Jordas tilstand i perioden fra høsting til såing neste vår har størst betydning for jordtapene og det er derfor kun små forskjeller i jordtap mellom de ulike metodene for jordarbeiding om våren. Resultatene omfatter mange ulike forsøk både i Norge og i andre nordiske land og resultatene avspeiler variasjoner i vær, jordart og helling. Imidlertid har alle tre forsøk med vårharving vist lavere jordtap sammenlignet med vårpløying. Vårpløying omfatter i denne sammenheng vårpløying etterfulgt av harving. Høstharving til vårkorn kan også ha en positiv effekt, men i noen tilfeller har dette slått negativt ut. Spesielt i de finske forsøkene var det en tendens til høyere jordtap ved høstharving sammenlignet med høstpløying fordi jordas kapasitet til å ta opp regnvann var mindre på grunn av mindre dybde på jordarbeidingen. Norske forsøk med lett høstharving har vist betydelig lavere jordtap sammenlignet med høstpløying særlig på grunn av at en del plantemateriale (halmrester) bevares på jordoverflaten. Høstpløying til høstkorn kan ha positiv eller negativ effekt i forhold til høstpløying, i middel for feltene er effekten sterkt negativ. De største jordtapene er målt i forsøk med brakklegging. Brakklegging kan være aktuell metode for å fjerne ugras (kveke) i tilfeller der en ikke ønsker å sprøyte med glyfosat, men metoden er uheldig i forhold til erosjon og fosfortap.

Det er stor variasjon i størrelse på effekten og på noen arealer er det enkelte år en negativ effekt, mens det andre år er en positiv effekt av redusert jordarbeiding. På de mest erosjonsutsatte arealer er effekten av redusert og endret jordarbeiding størst.

De kvantitative forskjellene i jordtap mellom ulike jordarbeidingsmetoder i en del norske forsøk er oppsummert ved hjelp av ERONOR-modellen. Modellen har beregnet relative faktorer for effekt av jordarbeiding i forhold til høstpløying som standardmetode. For jordarbeiding på våren i Follo regionen gir ERONOR en faktor 0,11-0,14 for jordtap i overflateavrenning sammenlignet med høstpløying (tabell 24). I GIS avrenning (Bioforsk, tabell 25) blir det brukt 0,11-0,15 for jordtap ved vårarbeiding sammenlignet med høstpløying og i Agricat (Bioforsk, tabell 26) blir det brukt 0,11-0,14 for overflateavrenningen. Sammenstilling av ruteforsøkene viser at effekten av vårpløying på jordtap i overflateavrenning i et felt med høy erosjonsrisiko er 0,12 i forhold til høstpløying, mens det på de øvrige feltene (stort sett lav og middels erosjonsrisiko) er målt at jordtapene blir redusert til 29-68 % av jordtapet ved høstpløying. Størst effekt på middels erosjonsrisiko der det kun er inkludert overflatevann (tabell 29 og 30).

Modellering av tiltakseffekter fordelt på overflate- og grøfteavrenning viser mye større effekt av jordarbeiding på overflateavrenningen, mens jordtap gjennom grøftene blir mindre påvirket av jordarbeidingen. I Agricat blir det beregnet effekter av tiltak på summen av overflate- og



Figur 12. Relative jordtap (SS) i norske, finske, svenske og danske feltforsøk, sammenlikningsgrunnlaget er høstpløying. Stolpene representerer gjennomsnitt for alle felt, og feilfeltene representerer minimums- og maksimumsverdi.

grøfteavrenning. For effekten av vårpløying på jordtapet via grøftene er det brukt en faktor på 0,45 i forhold til høstpløying og sumeffekten på jordtapet via overflate- og grøftevann er 0,35 i forhold til høstpløying (tabell 27). Tiltakseffektene som er brukt i Agricat beregningene er dermed innenfor variasjonsområdet til de målte effektene i ruteforsøk (0,29-0,68).

Andre resultater fra modellering av relative faktorer for ulike erosjonsklasser viser at vårpløying har en relativ faktor på rundt 0,20 i forhold til høstpløying på erosjonsklasse 3 og 4 (figur 11). Resultatene gjelder overflateavrenning. Den relative faktor for klasse 2 er rundt 0,25 i forhold til høstpløying. Faktor for klasse 1 er ikke tilgjengelig i figur 11. Tilsvarende tiltakseffekt av vårpløying som er brukt av Krogstad (2001) i tiltaksanalyse for Ski kommune er 0,4 for erosjonsklasse 1 og 2, og 0,2 for erosjonsklasse 3 og 4.

Det ser ut til at de ulike beregningsverktøy for tiltaksanalyse bruker omtrent like tiltakseffekter under sammenlignbare forhold med hensyn til erosjonsrisiko og transportvei (overflate-grøft). Imidlertid er det behov for spesifisering av om beregningene gjelder overflateavrenning eller totalavrenning. Dessuten kan det være behov for å dele opp effektene av jordarbeidingstiltak i forhold til de ulike erosjonsklasser. Ved lav erosjonsrisiko viser modellberegning gjennomført av Lundekvam (2007) (tabell 24) imidlertid samme relative effekter av jordarbeidingstiltak som er brukt for gjennomsnittsarealer i GIS-avrenning og Agricat. Den lave effekten av endret jordarbeiding (0,4) på jordtap ved liten erosjonsrisiko som blir brukt i Krogstad (2001) (tabell 28) ligger innenfor variasjonsområdet til målte effekter i forsøk. En effekt av overvintring i stubb på 0,4 i forhold til høstpløying er imidlertid dårligere enn øvrige tall for effekt av jordarbeiding på våren.

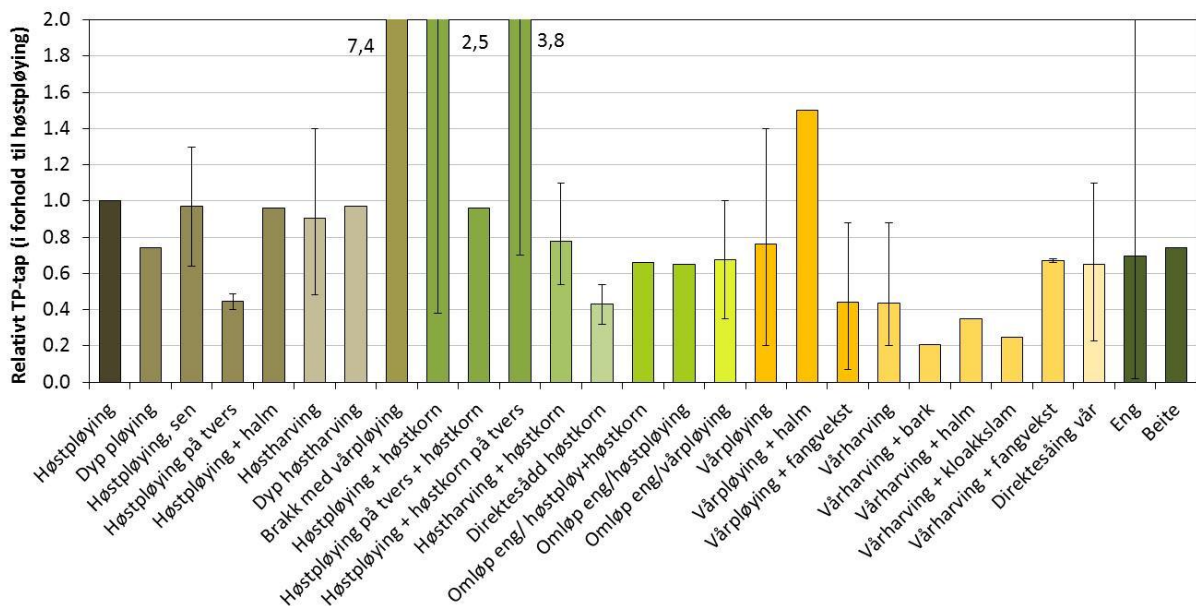
Redusert og endret jordarbeiding fører altså til redusert erosjon og fosfortap på de fleste arealer over tid, men når det gjelder dyrkingsmessige forhold er det ikke under alle forhold enkelt å drive uten høstpløying. Ikke alle jordarter egner seg for redusert eller endret jordarbeiding og det er risiko for avlingssvikt i en del tilfeller. Økte problemer med ugras, spesielt kveke, og soppsykdommer fører til økt bruk av plantevernmidler ved endret og redusert jordarbeiding.

### 5.1.2 Fosfortap

Tendensen er den samme for gjennomsnittlig relativt tap av totalfosfor (TP) som for relativt jordtap, som vist i figur 13. De relative tallene er stort sett litt høyere for TP, dvs at reduksjonen i forhold til

høstpløying er lavere. Mens vårpløying og eng kun vist positiv effekt på SS-tap i alle forsøk, har det vært tilfeller der disse jordarbeidingsmetodene har hatt negativ effekt på totale fosfortap.

I forbindelse med vurdering av jordarbeiding som tiltak mot fosfortap til åpent vann er det interesse for den biologiske effekten av fosforet som tilføres. En del av jordbruks-fosforet er bundet til partikler og vil i noen innsjøer være forholdsvis lite tilgjengelig for algene. Betydningen av de ulike typer fosfor for vannkvaliteten i en innsjø avhenger av innsjøens egenskaper, samt tidspunkt for tilførselene og tidsperspektivet som en regner med. Kunnskapen om biotilgjengelighet av fosfor er begrenset og det er stor variasjon, men likevel må en anta at partikkelbundet fosfor er mindre tilgjengelig sammenlignet med fosfor som finnes løst i vannet (løst P).



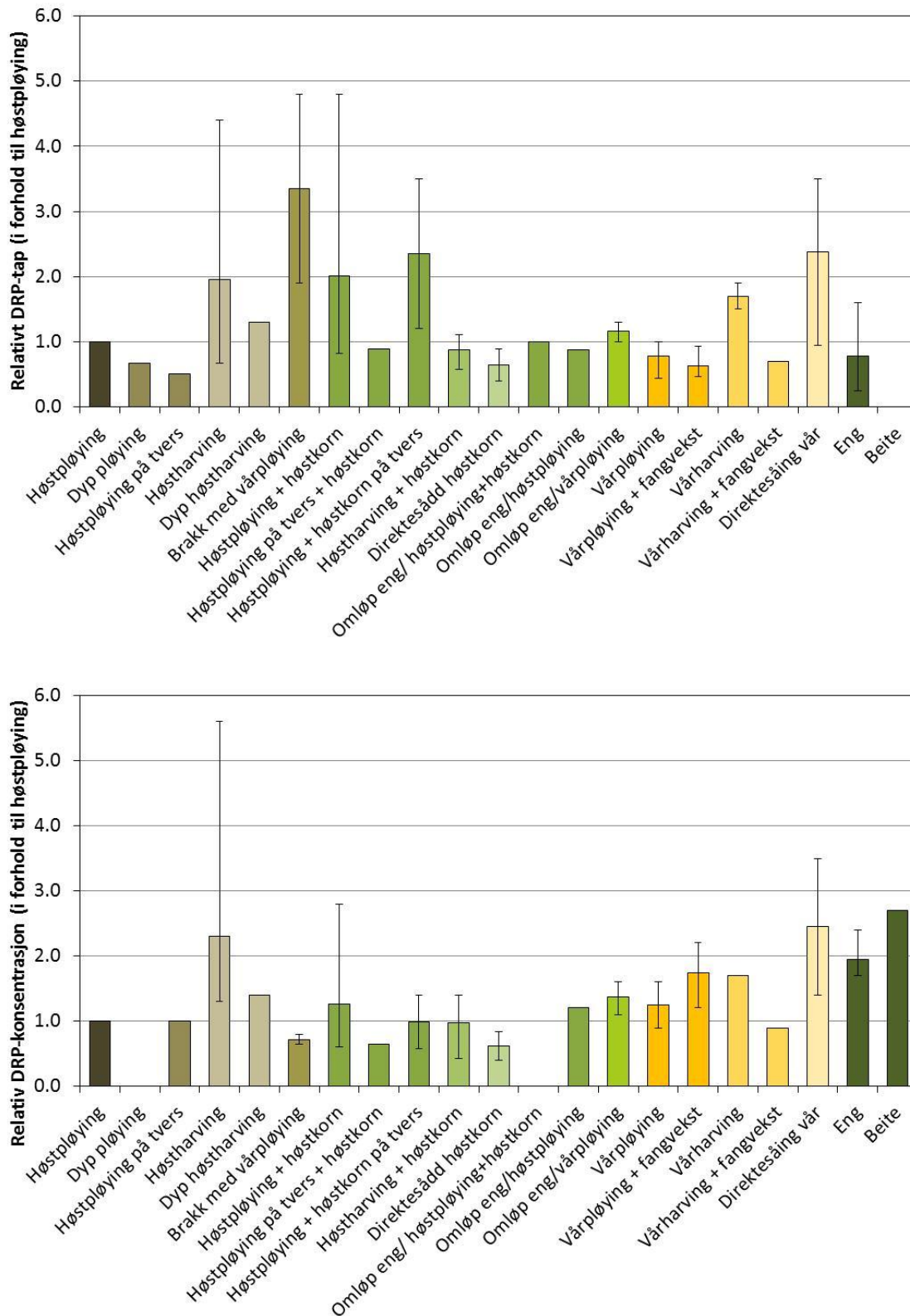
Figur 13. Relative fosfortap (TP) i norske, finske, svenske og danske feltforsøk, sammenlikningsgrunnlaget er høstpløying. Stolpene representerer gjennomsnitt for alle felt, og feilfeltene representerer minimums- og maksimumsverdi.

Det er ikke alle ruteforsøk som inkluderer målinger av løst P og derfor er det færre resultater å presentere her. I forhold til totalfosfor vil andelen løst P normalt øke ved lavere erosjon og lavere tap av totalfosfor, fordi konsentrasjonen av løst P er forholdsvis uavhengig av prosessene som fører til erosjon. Dessuten vil plantedekke på jordoverflaten også kunne bidra til høyere konsentrasjoner av løst P ved redusert jordarbeiding.

I 10 av de 20 forsøk med jordarbeiding, er det vist lavere tap av løst P enn ved høstpløying, mens åtte har høyere tap av løst P (figur 14). Jordarbeiding har i flere systemer med omfattende jordarbeiding ført til høyere avrenning av løst P samtidig med høyere erosjon sammenlignet med høstpløying. Disse systemer omfatter brakk og 2 forsøk med høstpløying til høst Korn. Økt erosjon kan føre til økte tap av løst P dersom fosfor løses ut fra partiklene i erosjonsprosessen. Høyt fosforinnhold i jorda vil antagelig bidra til mer løst P ved erosjon.

Forsøkene har vist at redusert eller endret jordarbeiding kan føre til økte tap av løst P sammenlignet med høstpløying. Ved overvintring i stubb i Sverige og Finland er det målt økte tap av løst fosfor i overflatevann, dette gjelder på flate arealer, men også på arealer med opp til 10 % helling. Utfrysing av fosfor fra planterester har bidratt til økningen. Særlig konsentrasjonen av løst P øker ved overvintring i stubb og i 4 av 5 forsøk, uavhengig av erosjonsrisikoen, er det målt økte løst P-konsentrasjoner ved overvintring i stubb. I gjennomsnitt av alle forsøk med høstharving er det målt økte tap og konsentrasjoner av løst P sammenlignet med høstpløying. Kun et enkelt forsøk i Sverige viste reduserte tap av løst P ved høstharving. I to finske forsøk ga vårharving høyere tap av løst P enn høstpløying, mens det i et forsøk på Apelsvoll, Norge, med vårharving og fangvekst ble målt lavere tap av løst P sammenlignet med høstpløying. I de øvrige norske forsøk med vårharving er det ikke målt konsentrasjoner av løst P. Høstharving til høst Korn har i gjennomsnitt for alle felt vist lavere tap av løst P sammenlignet med høstpløying, men også her har enkelte forsøk hatt negativ effekt på løst P. For eng er det i gjennomsnitt vist lavere tap av løst P, mens konsentrasjonen av løst P er høyere med eng

sammenlignet med høstpløying. Også her har enkelte forsøk vist motsatte resultater. Konsentrasjonen av løst P i forsøkene er for det meste høyere ved redusert eller endret jordarbeiding sammenlignet med høstpløying. Kunnskap om betydningen av partikkelbundet og løst P for vannkvaliteten er avgjørende for vurderingen av disse resultater.



Figur 14. Relative konsentrasjoner av løst P (DRP) i norske, finske, svenske og danske feltforsøk, sammenlikningsgrunnlaget er høstpløying. Stolpene representerer gjennomsnitt for alle felt, og feilfeltene representerer minimums- og maksimumsverdi.

### 5.1.3 Jordarbeidingsystemene

En mer detaljert oppsummering av relative jord- og fosfortap er gitt i Tabell 239-32. I det følgende diskuteres jordarbeidingsystemene hver for seg.

Tabell 239. Oppsummering av faktorer for jordtap (i forhold til høstpløying), basert på måledata fra Norge. Alle pløye felter er også harvet etter pløying.

	Apelsvoll	Syverud	Skjetlein	Kvithamar	Øsaker	Hellerud	Askim	Bjørnebekk
Avsetning, jordart	Morene, LL	Marin, LL	Marin, SiML	Marin, SiML	Marin, StL	Marin, SiML	Marin, SiML	Marin, SiML
Bakkeplanert?	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja	Ja	Ja	Ja
Helningsgrad (%)	2-8	13	2-15	1-2	12	13	13	13
Helningslengde (m)	60	30	100	36	22	30	25	21
Overflate- og/eller grøfteavrenning?	O+G	0 (O+G)	O+G	O+G	0	0	0	0
SS-tap (kg/daa/år) ved høstpløying	4,3	13	66	81	40-126	97-264	417	521
	Faktorer							
Høstpløying	1	1	1	1	1	1	1	1
Høstpløying, sen					0,64			<u>1,3</u>
Høstpløying + halm		1,0						
Høstpløying på tvers						0,51		
Høstharving					0,69			0,41
Høstpløying + høstkorn					0,7-3,6	<u>1,1</u>		<u>1,5</u>
Høstpløying på tvers + høstkorn						0,53		
Høstharving + høstkorn					0,75	0,36		
Direktesådd høstkorn					0,43	0,13		
Vårpløying		0,68 (0,51-0,76)		0,43				0,12
Vårpløying + halm		0,59						
Vårharving	0,65					0,08-0,11	0,13	0,27
Vårharving + bark							0,12	
Vårharving + halm								0,21
Vårharving + kloakkslam						0,063		
Direktesåing vår					0,15-0,19			
Vårpløying + fangvekst	0,67		0,62					
Vårharving + fangvekst	0,32		0,61					
Omløp eng/vårpløying	0,37-0,56							
Omløp eng/høstpløying	0,60							
Eng		0,18	0,40			0,04-0,05		

Tabell 30. Oppsummering av faktorer for jordtap (i forhold til høstpløying), basert på måledata fra Finland, Sverige og Danmark. Alle pløydeler er også harvet etter pløying.

	Aurajoki	Jokioinen/ Kotkanoja	Lintupaju	Liperi	Kotkanemi	Tohmajärvi	Toholampi	Vessigebro	Hedemora	Lanna	Foulum	Ødum
Jordart	ML	StL	L	StL	ML	ORG	Si/Sa	ML	SiLL	StL	Sa	Sa
Bakkeplanert?	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Helningsgrad (%)	8-9	1-4	2-18	0,5	4-5	0,2	0,5	10	10	-	10	10
Helningslengde (m)	37	146	70	-	-	-	-	22	22	-	22	22
Overflate- og/eller grøfteavrenning?	0	0+G	0	0+G	0 el. G	-	-	0	0	0	0	0
SS-tap (kg/daa/år) ved høstpløying	210	92-123	1060 mg/l	11	19-48	-	69	2100 mg/l	64	-	188	63
	<b>Faktor</b>											
Høstpløying	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Dyp pløying									0,63			
Høstpløying på tvers	0,40											
Høstharving	0,68	1,0			0,33- 1,2				0,58			
Dyp høstharving	0,84											
Brakk med vårpløying											5,8	9,5
Høstpløying + høstkorn	0,75			0,74				0,36			6,8	1,9
Høstpløying + høstkorn på tvers											5,9	0,78
Omløp eng/ høstpløying+høstkorn									0,56			
Vårpløying				0,59				0,29	0,34			
Vårharving	0,38											
Direktesåing vår	0,30	0,83	0,42						0,17			
Vårpløying + fangvekst									0,42		0,03	0,11
Omløp eng/ vårpløying				0,39								
Eng	0,27			0,40			0,49				0,01	0,05
Beite			0,28									



Tabell 31. Oppsummering av faktorer for fosfortap (i forhold til høstpløying), basert på måledata fra Norge. Alle pløydeler er også harvet etter pløying.

	Apelsvoll	Syverud	Skjetlein	Kvithamar	Øsaker	Hellerud	Askim	Bjørnebekk
Avsetning, jordart	Morene, LL	Marin, LL	Marin, SiML	Marin, SiML	Marin, StL	Marin, SiML	Marin, SiML	Marin, SiML
Bakkeplanert?	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja	Ja	Ja	Ja
Helningsgrad (%)	2-8	13	2-15	1-2	12	13	13	13
Helningslengde (m)	60	30	100	36	22	30	25	21
Overflate- og/eller grøfteavrenning?	O+G	0 (O+G)	O+G	O+G	0	0	0	0
TP-tap (kg/daa/år) ved høstpløying	0,040	0,035	0,26	0,18	0,070-0,14	0,11-0,30	0,45	0,65
<b>Faktorer</b>								
Høstpløying	1	1	1	1	1	1	1	1
Høstpløying, sen					0,64			<u>1,3</u>
Høstpløying + halm		0,96						
Høstpløying på tvers						0,49		
Høstharving					0,86			0,48
Høstpløying + høstkorn					<u>5,1</u>	<u>2,1</u>		<u>1,3</u>
Høstpløying på tvers + høstkorn						0,96		
Høstharving + høstkorn					0,70	0,54		
Direktesådd høstkorn					0,54	0,32		
Vårpløying		<u>1,2</u> (0,81- <u>1,4</u> )		0,67				0,20
Vårpløying + halm		<u>1,5</u>						
Vårharving	0,88					0,27-0,33	0,20	0,38
Vårharving + bark							0,21	
Vårharving + halm								0,35
Vårharving + kloakkslam						0,25		
Direktesåing vår					0,23-0,33			
Vårpløying + fangvekst	0,88		0,66					
Vårharving + fangvekst	0,66		0,68					
Omløp eng/vårpløying	1,0							
Omløp eng/høstpløying	0,65							
Eng			0,62			0,32		

Tabell 32. Oppsummering av faktorer for fosfortap (i forhold til høstpløying), basert på måledata fra Finland, Sverige og Danmark. Alle pløydeler er også harvet etter pløying.

	Aurajoki	Jokioinen/ Kotkanoja	Lintupaju	Liperi	Kotkanemi	Tohmajärvi	Toholampi	Vessigebro	Hedemora	Lanna	Foulum	Ødum
Avsetning, jordart	ML	StL	L	StL	ML	ORG	Si/Sa	ML	SiLL	StL	Sa	Sa
Bakkeplanert?	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
	8-9	1-4	2-18	0,5	4-5	0,2	0,5	10	10	-	10	10
	37	146	70	-	-	-	-	22	22	-	22	22
Overflate- og/eller grøfteavrenning?	0	O+G	0	O+G	O el. G	-	-	0	O?	0	0	0
TP-tap (kg/daa/år) ved høstpløying	0,43	0,075- 0,11	0,97 mg/l	0,11	0,025- 0,040	-	0,058	0,69 mg/l	0,038	0,017	0,22	0,12
	<b>Faktor</b>											
Høstpløying	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Dyp pløying									0,74			
Høstpløying på tvers	0,40											
Høstharving	0,78	<u>1,1</u>			0,89- <u>1,4</u>				0,84			
Dyp høstharving	0,97											
Brakk med vårpløying											<u>9,0</u>	<u>5,8</u>
Høstpløying + høstkorn	0,79			0,83				0,38			<u>7,8</u>	<u>1,6</u>
Høstpløying + høstkorn på tvers											<u>6,9</u>	0,70
Høstharving + høstkorn										<u>1,1</u>		
Omløp eng/ høstpløying+høstkorn									0,66			
Vårpløying				0,46				0,83	0,53			
Vårharving	0,55											
Direktesåing vår	0,73	<u>1,1</u>	0,71						0,79			
Vårpløying + fangvekst									0,50		0,07	0,09
Omløp eng/ vårpløying				0,35								
Eng	0,43			0,31		<u>1,2</u>	<u>2,6</u>				0,02	0,09
Beite			0,74									

### Høstpløying til vårkorn

**Høstpløying til vårkorn** er brukt som sammenlikningsgrunnlag i denne rapporten. Alle andre jordarbeidingsystemer er sammenliknet med denne. Gjennomsnittlig årlig jordtap ved høstpløying i forsøksfeltene i Norge varierer fra 4,3 kg/daa i overflate- og grønneavrenning på Apelsvoll til 521 kg/daa i overflatevann på Bjørnebekk. De utenlandske forsøkene viser variasjon i jordtap fra 11 til 2100 kg/daa. De høyeste jordtapene finnes på de bratteste feltene, men for øvrig er det stor variasjon bl.a. på grunn av forskjeller i jordart.

I to planerte felter i Norge har man undersøkt effekten av **sen høstpløying**. Effekten på SS- og TP-tap var positiv i forhold til tidlig høstpløying på Øsaker (stiv leire), og negativ på Askim (siltig mellomleire). Effekten av sen høstpløying vil stort sett avhenge av værforholdene det enkelte år, dvs når nedbørepisodene inntreffer. I tilfellet Askim var det svært fuktige forhold ved den sene høstpløyingen.

På Syverud (letteleire) var **høstpløying med og uten innblanding av halm** undersøkt i noen år. Dette ga ingen forskjell i SS-tap, og en minimal reduksjon i TP-tap.

I et svensk felt på siltig lettleire med 10 % helning (Hedemora), undersøkte man effekten av **dyp høstpløying** (ned til 40 cm), dette ga positiv effekt på tap av SS, TP og løst P sammenliknet med grunnere høstpløying.

**Høstpløying på tvers (kotepløying)** til vårkorn har i Norge bare vært undersøkt på en planert siltig mellomleire (Hellerud). I forhold til vanlig høstpløying ga høstpløying på tvers en halvering av SS- og TP-tap her. I Finland er høstpløying på tvers til vårkorn undersøkt på et relativt bratt felt med mellomleire (Aurajoki); her resulterte det i mer enn en halvering av både SS- og TP-tap. I dette feltet var det også målt løst P: høstpløying på tvers ga halvert tap av løst P, men samme konsentrasjon av løst P som ved høstpløying på langs.

### **Høstpløying til høstkorn**

I tre planerte norske felter (Bjørnebekk, Hellerud og Øsaker) og to danske felter på lettleire (Foulum og Ødum), alle erosjonsutsatte, hadde **høstpløying til høstkorn** negativ effekt på SS- og TP-tap i forhold til høstpløying til vårkorn. Økningen i SS-tap i forhold til høstpløying lå på 1,1 - 6,8 ganger, mens TP-tap var 1,3 - 7,8 ganger høyere, men en svak positiv effekt av høstpløying til høstkorn på SS er observert i perioden 94-00 på feltet Øsaker (Lundekvam, unpubl.). En årsak til negativ effekt av høstpløying til høstkorn er at før høstkorner spirer og etableres, vil jorda være jevn og finsmuldret etter pløying og harving, og derfor mer utsatt for overflateavrenning og nedbryting av aggregater. Ved høstpløying til vårkorn skjer harvingen vanligvis om våren, dvs at overflata ligger grovklumpet og med store forsenkninger og fårer gjennom vinteren. Det resulterer i større kapasitet for lagring av vann på overflata, mindre finmateriale, og dermed mindre risiko for avrenning og erosjon. På Øsaker og Hellerud er jordarbeiding til høstkorn dessuten utført i slutten av august/begynnelsen av september, mens høstpløying til vårkorn er utført i midten av oktober. I en del tilfeller har det kommet kraftig nedbør mens høstkornerutene var jordarbeidet og vårkornrutene fortsatt lå i stubb (Grønsten et al., 2007). Videre kan jordoverflata fortsatt være mer utsatt for avrenning og erosjon gjennom senhøsten og vinteren ved dårlig etablering av høstkorner. Noe av den negative effekten av høstpløying til høstkorn kan dessuten knyttes til tap av løst P fra høstkorner. Økt tap av løst P i forhold til ved høstpløying til vårkorn er observert for alle de ovennevnte feltene der løst P er målt.

Godt etablert høstkorn kan derimot gi god beskyttelse mot erosjon: I to finske felter på mellomleire med ganske bratt helning (Aurajoki) og stiv leire i tilnærmet flatt terreng (Liperi) ble SS- og TP-tap noe redusert sammenliknet med høstpløying til vårkorn. Tap av løst P var også svakt redusert her. I et svensk felt på mellomleire med ganske bratt helning (Vessigebro) har vi kun oppgitt konsentrasjoner av SS og TP - disse ble betydelig redusert ved høstkorn med høstpløying sammenliknet med høstpløying til vårkorn.

**Høstkorn med høstpløying på tvers** er i Norge undersøkt på en planert siltig mellomleire (Hellerud). Reduksjonen i SS-tap var tilsvarende som for høstpløying på tvers til vårkorn, dvs. omtrent halvert i forhold til vanlig høstpløying til vårkorn, men reduksjonen i TP-tap var ubetydelig. Sammenliknet med høstkorn med vanlig høstpløying (som i middel ga økte SS- og TP-tap i forhold til høstpløying til vårkorn), var det om lag en halvering i både SS- og TP-tap ved høstkorn med høstpløying på tvers. Tap og konsentrasjon av løst P var litt lavere ved høstkorn med høstpløying på tvers enn ved vanlig høstpløying til vårkorn, og betydelig lavere enn ved vanlig høstpløying til høstkorn i dette forsøket.

I de to danske morenefeltene ble **høstpløying med høstkorn sådd på tvers av fallet** undersøkt. I forhold til høstpløying med høstkorn sådd langs fallet, var det en svak positiv effekt på SS- og TP-tap på Foulum, og mer enn en halvering av SS- og TP-tap på Ødum. Den positive effekten skyldes at vann og sedimenter ikke kanaliseres i riller mellom planteradene, men heller danner barrierer på tvers av fallet. Lokale værfor skjeller i måleperioden eller ulik etablering av kornet kan være mulige forklaringer. I forhold til høstpløying til vårkorn var effekten av høstpløying med høstkorn sådd på tvers sterkt negativ på Foulum for både SS- og TP-tap, jamført sterkt negativ effekt av høstpløying til

høstkorn sammenliknet med høstpløying til vårkorn. På Ødum var det imidlertid en positiv effekt av høstpløying med høstkorn sådd på tvers på SS- og TP-tap, selv om det også her var negativ effekt (men langt mindre negativ enn på Foulum) av høstpløying til høstkorn sammenliknet med høstpløying til vårkorn. Tap av løst P var høyere ved høstpløying med høstkorn sådd på tvers enn ved vanlig høstpløying til vårkorn, og litt lavere enn eller likt som ved høstpløying til høstkorn sådd langs fallet.

### **Vårpløying**

**Vårpløying** ga lavere SS-tap enn ved høstpløying i alle undersøkte felt. På et planert norsk felt med siltig mellomleire (Bjørnebekk) var SS-tap ved vårpløying nesten bare en tiendedel av SS-tapet ved høstpløying. Effekten på TP-tap var også svært god. Vårpløying har også vært studert på flere uplanerte felter i Norge (Kvithamar - slakt, siltig mellomleire, Syverud - relativt bratt, lettleire), Finland (Liperi - flatt, stiv leire) og Sverige (Vessigebro, Hedemora - relativt bratte felter på henholdsvis mellomleire og siltig lettleire). Effekten på SS-tap var (relativt sett) god i alle disse feltene, med faktorer varierende fra ca 0,3 i de svenske feltene, 0,4 på Kvithamar, 0,6 i det finske feltet og 0,7 på Syverud. Den positive effekten av vårpløying sammenliknet med høstpløying skyldes at ved vårpløying beskyttes jordoverflata av planterester gjennom vinteren, og jordpartiklene holdes sammen av røtter og sopphyfer og de organiske forbindelsene disse utsondrer. Dette er spesielt viktig på planert jord, der strukturen er dårlig og aggregatstabiliteten lav. Effekten på TP-tap var for de fleste av disse feltene noe dårligere enn på SS-tap. I det finske feltet og det ene svenske feltet var også tap av løst P redusert ved vårpløying sammenliknet med høstpløying. På Syverud var det høyere TP-tap ved vårpløying enn ved høstpløying. Dette gjelder overflateavrenning i perioden 91-05. Høyere TP-tap i overflateavrenning ved vårpløying skyldtes at det var mer overflateavrenning ved vårpløying - TP-konsentrasjonene var lavere. Det kan henge sammen med at manglende løsning av jorda om høsten gir lavere infiltrasjonskapasitet. Økt TP-tap til tross for redusert SS-tap kan tyde på at det kan være mindre partikulært P og mer løst P, men dette er det ikke tall for. For perioden 94-00 er det tilgjengelig data også for grøfteavrenning, og av disse framkommer at vårpløying hadde positiv effekt på både SS- og TP-tap i summen av grøfte- og overflatevann.

På Syverud var det også studert **vårpløying med halminnblanding** - dette hadde enda bedre effekt på SS-tap enn uten halminnblanding, mens det også her ble økt TP-tap i forhold til høstpløying.

**Vårpløying med fangvekst** var studert i to uplanerte norske felter (Apelsvoll - morenelettleire, Skjetlein - siltig mellomleire), et svensk felt (Hedemora - siltig lettleire) og de to danske feltene (Foulum, Ødum - relativt bratte felter med henholdsvis siltig sand og lettleire). Vårpløying med fangvekst ga reduserte SS- og TP-tap i alle de undersøkte feltene. Effekten på SS var som regel noe bedre enn effekten på TP. På de to danske feltene og det svenske feltet ble også tap av løst P redusert. På de danske feltene, der det var mulig å regne ut konsentrasjoner, var konsentrasjon av løst P omtrent doblet ved vårpløying med fangvekst.

### **Høstharving**

**Høstharving til vårkorn** har vært undersøkt på to planerte felter i Norge (Øsaker og Bjørnebekk), her var det en positiv effekt på både SS- og TP-tap i forhold til ved høstpløying. Effekten var størst på Bjørnebekk (planert siltig mellomleire), med halvering av TP-tap, og enda bedre effekt på SS-tap. På Øsaker (planert stiv leire), som i utgangspunktet har lavere SS- og TP-tap enn Bjørnebekk, var effekten av høstharving sammenliknet med høstpløying noe mindre, særlig mht TP-tap. Et svensk felt, Hedemora (relativt bratt siltig lettleire), hadde tilsvarende effekt av høstharving på SS- og TP-tap som på Øsaker. På Hedemora var det også målt løst P, og denne var lavere ved høstharving enn ved høstpløying.

I tre finske felter var det variabel effekt av høstharving sammenliknet med høstpløying. I det relativt bratte mellomleirefeltet Aurajoki (kun overflatevann) var det lavere tap av både SS og TP ved høstharving enn ved høstpløying. I feltet Jokioinen/Kotkanoja (stiv leire, slak helling, sum grøfte- og overflatevann) var det ingen forskjell i SS-tap, og noe høyere TP-tap ved høstharving enn ved høstpløying. I begge disse feltene var det større tap og konsentrasjoner av løst P ved høstharving sammenliknet med høstpløying. I feltet Kotkaniemi (mellomleire med ca 5 % helning) var det negativ effekt av høstharving på SS- og TP-tap i grøftevann i en måleperiode, og positiv effekt i neste måleperiode. I overflatevann var effekten av høstharving positiv for SS-tap og negativ for TP-tap i

dette feltet. Også her var det betydelig høyere tap og konsentrasjoner av løst P ved høstharving enn ved høstpløying, både i grøfte- og overflateavrenning.

**Dyp høstharving** er studert i det finske feltet Aurajoki, det ga noe lavere tap av SS enn ved høstpløying, men var mindre effektivt enn grunn høstharving, og forskjellen i TP-tap mellom høstpløying og dyp høstharving var ubetydelig.

**Høstharving til høstkorn** er undersøkt på de norske feltene Øsaker og Hellerud (planert siltig mellomleire). Sammenliknet med høstpløying til vårkorn var effekten av høstharving til høstkorn tilsvarende som effekten av høstharving til vårkorn. I disse forsøkene var det også målt løst P - i begge feltene var det mindre tap av løst P ved høstharving til høstkorn enn ved høstpløying til vårkorn. På Øsaker, men ikke på Hellerud, var det høyere konsentrasjon av løst P ved høstharving til høstkorn. I forhold til høstpløying til høstkorn var effekten av høstharving til høstkorn meget god (Øsaker: faktor 0,21 for SS og 0,14 for TP; Hellerud: faktor 0,34 for SS og 0,26 for TP). Tap og konsentrasjoner av løst P var lavere ved høstharving til høstkorn enn ved høstpløying til høstkorn i begge feltene.

Forsøkene over indikerer dermed at høstharving kan være et godt tiltak mot erosjon og P-tap i områder med stor erosjonsrisiko, og generelt der P hovedsakelig tapes som partikulært P. Dette skyldes at harving under gunstige fuktighetsforhold er mindre ødeleggende for jordstrukturen, både fordi mekanisk stress på aggregatene blir noe mindre og fordi organisk materiale bevares i større grad enn ved pløying. Dette fører igjen til større biologisk aktivitet (Rasmussen, 1999). Ved harving unngås også at det dannes en kompakt plogsåle som kan hemme infiltrasjonen. I plogsålen kan det dessuten ofte dannes horisontale sprekker som hemmer kapillær transport fra undergrunnsjord til overflata (Beven og Germann, 1982). I Sverige har langvarige jordarbeidingsforsøk vist at det kan være mindre jordpakking ved plogfri jordarbeiding (Rydberg, 1992). Det kan føre til bedre vannusholdning i jorda og mindre fordamping (Aura, 1999). På leirjord kan det imidlertid være en risiko for økt jordpakking ved høstharving, dersom det er en fuktig høst (Børresen og Njøs, 1993), noe som kanskje kan bidra til å forklare manglende effekt av høstharving i noen av de omtalte feltene. Der tap av løst P var høyere ved høstharving enn ved høstpløying, kan dette kanskje henge sammen med at det kan skje P-akkumulering i jordoverflata når matjordlaget ikke vendes som ved pløying (Koskiaho et al., 2002). Dessuten kan det være mer planterester på overflata ved harving, og P kan tapes fra disse (Puustinen et al., 2005).

På jord med redusert jordarbeiding er det påvist større tetthet av makroporer i undergrunnsjord og færre åpne makroporer i topplaget enn på pløyd jord (Olsen, 1998). Noen undersøkelser har også påvist større infiltrasjonskapasitet i pløyd jord enn i jord som har vært harvet eller direktesådd (Lipiec et al., 2005). Disse jordfysiske forskjellene varierer fra år til år og avhenger av jordas sammensetning og struktur og de bidrar til den store variasjon i effekt av redusert jordarbeiding.

## Vårharving

**Vårharving** har de samme positive effektene på jordtapet som høstharving beskrevet over, i tillegg til at jorda ligger helt ubearbeidet gjennom hele vinteren. På tre planerte felter i Norge (Hellerud, Askim og Bjørnebekk - alle på siltig mellomleire) var det meget god effekt av vårharving sammenliknet med høstpløying til vårkorn. Effekten var litt mindre for TP enn for SS. Vårharving har også vært del av noen dyrkingssystemer på morenefeltet Apelsvoll, her var betydelig mindre forskjell i SS- og TP-tap ved vårharving og høstpløying enn på de planerte feltene. På Apelsvoll er SS-tapene generelt ubetydelige, så på gjennomsnittlig basis er det begrenset hvor stor effekt tiltak mot erosjon kan ha her. Samtidig er det dokumentert enkeltepisoder både på Apelsvoll og på et annet morenefelt (JOVA-feltet Bye) der det har vært svært store SS-tap (ref, JOVA-data). Effekten på TP-tap lar seg vanskelig dokumentere fordi det har vært gjødslet mindre på ruter med vårharving enn på ruter med høstpløying.

Vårharving var undersøkt på det finske feltet Aurajoki, her var det også positiv effekt av vårharving på både SS- og TP-tap, men som for høstharving var det større tap og konsentrasjoner av løst P ved vårharving enn ved høstpløying. Tilsvarende som for høstharving kan det kanskje forklares ved anriking av P i det øverste jordlaget og tap av P fra planterester (Puustinen et al., 2005).

**Vårharving med fangvekst** var del av noen dyrkingssystem på Apelsvoll og på Skjetlein (uplanert siltig mellomleire). Effekten på SS- og TP-tap i forhold til vanlig høstpløying var noe bedre enn for vårpløying

med fangvekst på Apelsvoll, mens på Skjetlein var det ca samme effekt. Igjen må disse tallene vurderes ut fra at også P-gjødsling var forskjellig ved forskjellig jordarbeiding.

### **Direktesåing**

**Direktesåing av vårkorn** er i Norge kun studert på det planerte feltet Øsaker (stiv leire). Her ga direktesåing stor reduksjon i SS- og TP-tap sammenliknet med høstpløying.

I fire andre nordiske felter var det også positiv effekt på SS-tap (SS-konsentrasjon for Lintupaju). Blant disse feltene var effekten på SS størst på det relativt bratte feltet med siltig lettleire (Hedemora i Sverige), og god på de to finske mellomleirefeltene med til dels stor helning (Aurajoki og Lintupaju - kun konsentrasjoner oppgitt for sistnevnte). Effekten var minst på det slake feltet Jokioinen/Kotkanoja på stiv leire. Forskjeller i TP-tap (TP-konsentrasjon for Lintupaju) mellom direktesåing og høstpløying var mindre enn forskjeller i SS-tap i alle disse feltene. I feltet Jokioinen/Kotkanoja var det litt høyere TP-tap ved direktesåing, jf høyere TP-tap også ved høstharving. I tilfellet direktesåing beror dette på at det var mer avrenning av vann ved direktesåing - TP-konsentrasjonen var lik ved direktesåing og høstpløying. Det må presiseres at i feltene med best effekt var det kun målt i overflatevann, mens i feltet med dårligst effekt gjelder det for summen av grøfte- og overflatevann. I alle disse fire feltene var tap- og/eller konsentrasjon av løst P høyere ved direktesåing enn ved høstpløying.

**Direktesådd høstkorn** hadde positiv effekt på SS- og TP-tap i to planerte felt i Norge (Øsaker og Hellerud), sammenliknet med høstpløying til vårkorn. På Hellerud var effekten på SS- og TP-tap meget god, og på Øsaker var det om lag en halvering av TP-tap og litt større effekt på SS-tap. Tap av løst P var litt lavere ved direktesådd høstkorn. I forhold til høstpløying til høstkorn var direktesådd høstkorn svært gunstig både på Hellerud og Øsaker, med faktorer rundt 0,15 for både SS, TP og løst P.

De omtalte forsøkene indikerer altså at direktesåing har stort potensiale for reduksjon av jordtap og partikkelbundet P, men tap av løst P kan øke ettersom det er mer plantemateriale (halm og ugras) som P kan frigjøres fra. I tillegg kan risiko for makroporetransport av P fra gjødsel (både mineralgjødsel og husdyrgjødsel) være noe høyere pga større kontinuitet av makroporer ned til grøftesystemet. Flere faktorer bidrar til en positiv effekt av direktesåing. Blant annet blir jordstrukturen bedre bevart, noe som gir god infiltrasjonsevne, mer stabile aggregater og lavere risiko for skorpedannelse på overflata. Stubben beskytter effektivt aggregatene mot nedbryting. En annen positiv effekt av direktesåing kan være mindre jordpakking (Ekeberg og Riley, 1997; Chamen et al., 2003), blant annet fordi man unngår at det utvikles en kompakt plogsåle, og fordi det er høyere innhold av organisk materiale og følgelig mer biologisk aktivitet. Jordtettheten er ofte høyere ved direktesåing, men det er også større utbredelse av kontinuerlige makroporer (Shipitalo et al., 2000). Petersen et al. (2001) fant i forsøk med fargetracere på sandig morenelettelleire i Danmark at det var betydelig mer makroporer i undergrunnsjord ved direktesåing enn ved både pløying og harving. Pløying løser jorda i topplaget slik at denne blir mer porøs, samtidig kan pløying skjære av dyptgående makroporer slik at disse ikke lenger er vertikalt kontinuerlige.

Andre negative sider ved direktesåing er forsinket såing og spiring (plantedekket forsinkes oppvarming av jorda om våren), som medfører lavere avling (Riley et al., 2005), og større behov for kjemisk plantevern. Ved hyppig bruk av for eksempel glyfosat øker risiko for tap av løst P fra plantematerialet (Ulen og Kalisky, 2005; Bakkegård et al., 2007). Det er også større risiko for overvintring av plantesykdommer som for eksempel Fusarium. Ved direktesåing har jordfuktigheten i topplaget vist seg å være noe høyere enn ved pløying, og en potensiell negativ effekt av dette kan være økt lystgassutslipp (Robertson et al., 2000; Six et al., 2004).

### **Eng, omløp med eng, beite**

**Eng** har vært sammenliknet med høstpløying i tre norske felter (Syverud, Skjetlein og Hellerud), i tre finske og to danske felter. Effekten av eng er variabel - noen steder var det nesten 100 % reduksjon i tapene, andre steder mindre reduksjon. Av de norske feltene var det bare det planerte feltet Hellerud som hadde direkte sammenliknbare tall for høstpløying og eng. Her var det svært stor reduksjon i SS-tap, og betydelig reduksjon i TP-tap ved eng. På Skjetlein var det korn og eng i ulike måleperioder, her var forskjellen mellom eng og høstpløying mindre (faktor 0,4 for SS-tap og 0,6 for TP-tap). På Syverud var det tiggjengelig sammenliknbare tall for eng og høstharving med halminnblanding: faktor for SS-tap var 0,35 og faktor for TP-tap 1,2, altså økt TP-tap ved engdyrking.

Av de andre nordiske feltene var det de danske morenefeltene som hadde størst effekt av eng på SS- og TP-tap. De finske feltene Aurajoki (bratt, mellomleire), Liperi (flatt, stiv leire) og Toholampi (flatt, silt/sandjord) hadde mindre, men positiv, effekt av eng på SS-tap, de to førstnevnte hadde også god effekt på TP-tap. På Toholampi var det økt TP-tap ved eng.

I felter med **veksling mellom eng og korn** (Apelsvoll i Norge, Liperi i Finland), enten det var vårpløyd eller høstpløyd i kornårene, var det stort sett reduserte SS- og TP-tap. For Apelsvoll må det tas med i betraktning at også gjødslingen var forskjellig fra ruter med høstpløying og korn i rutene med engomløp.

**Beite** var studert i kun ett felt (Lintupaju i Finland), her var det betydelig reduksjon i SS-konsentrasjon og noe reduksjon i TP-konsentrasjon. Konsentrasjonen av løst P var høyere enn ved høstpløying.

Forsøk med fargetracere har vist at fargete markganger kunne observeres kontinuerlig fra undergrunnsjord og helt opp til overflata på jord (sandig moreneletteleire i Danmark) som var grasdekt, i motsetning til på jord som var pløyd og der makroporer var kuttet av ved plogsålen (Gjettermann et al., 1997).

### **Brakk**

For **brakk** fins det tall kun for to danske felter på sandjord. I dette tilfellet har jorda ligget brakk i hele måleperioden, og har innimellom blitt vårpløyd for å fjerne ugras. I disse feltene har brakk med vårpløying gitt svært store tap av SS og TP (6-10 ganger høyere enn ved høstpløying). Effekten på løst P var forskjellig i de to feltene - mindre løst P enn ved høstpløying i det ene feltet, og ti ganger mer i det andre. I norske modell-beregninger er brakk vurdert til å ha omtrent dobbelt så stor erosjon som høstpløying (Lundekvam, 2002).

## **5.2 Lokale og stedstilpassede tiltak**

Denne rapporten gir en gjennomgang av effekt av ulike jordarbeidingsmetoder på jord og fosfortap målt i rutefelt. Ved tiltaksanalyser i nedbørfelt er det behov for å vurdere betydningen av ulike kilder og også andre tiltak enn jordarbeiding. Som oftest vil det være aktuelt å kombinere flere tiltak til tiltakspakker spesialtilpasset de enkelte områder. I den forbindelse må det gjøres lokale vurderinger i nedbørfeltet.

### **5.2.1 Betydning av erosjonsprosesser i nedbørfelt**

Ruteforsøkene viser relativ effekt av ulike jordarbeidingsmetoder på jord og fosfortap hovedsakelig ved flateerosjon. I nedbørfelter må en også vurdere betydning av andre erosjonsprosesser og av de topografiske forhold. Dagens utgave av erosjonsrisikokart beregner erosjonsrisiko ved 100 meters hellingslengde. Dersom en har jord i lavere erosjonsrisikoklasser, men hellinger lenger enn 100 meter så vil erosjonsrisikoen også være større enn kartene viser. En høyere risiko kan gi grunnlag for å prioritere jordarbeidingstiltak høyere. Dette kan også gjelde om man har en stor andel av jordbruksarealet til en sårbar vannforekomst i disse lavere erosjonsrisikoklasser. Selv om den relative effekten av endret jordarbeiding på enkelte jorder her vil være mindre enn i områder med større erosjonsrisiko så kan større arealutbredelse likevel gi en større samlet effekt. Det kan også være begrenset med andre tilgjengelig tiltak slik at en likevel kan velge å gjennomføre dette tiltaket. En må derfor lokalt vurdere både vannforekomstenes tilstand og hvilke miljømål som er satt opp mot jordbruksaktiviteter og mulige tiltak i det enkelte felt. Risikovurderinger bør også komme sterkere inn ved slike lokale vurderinger. Planlegges det tiltak for et normalår eller planlegges det for ekstreme episoder kan være avgjørende for prioritering av tiltak. Ved sårbare vannforekomster kan slik risikovurdering være aktuell eks for høstkorndyrking med høstarbeiding. Dersom man vurderer at vannforekomsten tåler liten tilførsel av partikler og fosfor kan man velge å tilpasse til liten risiko for tap ved å ha arealene i stubb eller kun tillate harving før såing av høstkorn. Da kan man f.eks. vurdere at det er stor sannsynlighet for nedbør like etter høstsåing og slike episoder vil gi store partikkeltap. Dersom man vurderer at dette er episoder som bare vil opptre i enkelte år eller at vannforekomsten vil tåle slike bidrag i enkelte episoder så kan man velge å tillate mer av høstkorndyrking med jordarbeiding. Areal av høstkorn og vårkorn kan også endres i et felt slik at miljømål, behov for tiltak og prioriteringer

også bør vurderes. Disse eksempler er tatt med for å illustrere at ved lokale vurderinger så endres ikke effekten av selve jordarbeidingsmåten på det enkelte jordet, men andre forhold er med å virke inn på prioriteringa av omfanget av dette tiltaket i forhold til andre tiltak. Dette vil vi komme mer tilbake til i bekke- og småfelt rapporten (Bechmann et al., in prep).

### 5.2.2 Erosjon i forsøknings

Ruteforsøkene gir gode data for relative effekter av ulike jordarbeidingsmetoder på flateerosjon. Det foregår også andre erosjonsprosesser i jordbrukslandskapet som ikke kan vurderes ut fra resultater i ruteforsøk. I forsøknings, dråg i terrenget kan vann samles og grave dype erosjonsspor. Denne typen erosjon ofte krever feltbefaringer både for å lokalisere punktene i terrenget med slik erosjon og for å vurdere omfanget av den. I mange området vil en ikke betale for slikt feltarbeid og mangler derfor grunnlag for å prioritere slike tiltak. Ved den første tiltaksanalysen for Morsa (Lyche Solheim et al. 2001 ) ble det gjort anslag på denne typen erosjon, både med regneeksempler for enkeltjorder og skalert opp for hele vassdraget. For dette vassdraget er dette senere fulgt opp med tiltak gjennom regionale miljøprogram og den spesielle forskriften om jordarbeiding i Morsa. Et regneeksempel kan illustrere dette: Dersom det er et gravespor i en 150 meter lang forsøknings med 20 cm bredde og 30 cm dybde så utgjør det 9 m<sup>3</sup> jord som med en tetthet på 1,3 tilsvarer 11,7 tonn jord. Dersom en sammenligner med et jorde i erosjonsrisikoklasse 2 og velger 150 kg /daa vil erosjonen i forsøknings tilsvare flateerosjon fra et areal på 78 daa. Dersom erosjonsporet var 200 meter langt og 0,25 cm bredt og 0,35 cm dypt ville det tilsvare flateerosjon fra et areal på 117 daa. Det har derfor betydning hvordan topografien er i et nedbørfelt og om en har slike erosjonsprosesser. Ved stor erosjon i forsøknings kan endret jordarbeiding som eks stubb ha stor effekt for redusere gravespor, partikkel og fosfortap. Men det kan være vanskelig å tallfeste effekten særlig om man ikke har gjort feltbefaringer og disse prosesser er heller ikke inkludert i de modellverktøy som nå brukes. I forsøknings er det også aktuelt med grasdekte vannveier for erosjonsbeskyttelse. Det kan også være aktuelt med nedløpskummer som reduserer mengden overflatevann og således redusere vannets eroderende evne. Dette er også tiltak som vil ha effekt, men som det ikke er lett å tallfeste og heller ikke er inkludert i dagens planleggingsverktøy.

### 5.2.3 Erosjon rundt hydrotekniske elementer

Kontroll med overflatevann og strømningsveier i landskapet er av de viktigste tiltak for å redusere erosjon og fosfortap. Ved endret klima med endret nedbør og avrenningsforhold blir kontroll med overflateavrenningen et enda viktigere tiltak for å redusere erosjon. Dette omfatter erosjon rundt hydrotekniske elementer som nedløpskummer, utløp av drenerør i bekkeskråninger, erosjon i åpne kanaler. Det omfatter også kontroll med vannet med nødvendige avskjæringsgrøfter for å hindre uønsket avrenning inn på jordene og kontroll med overflatevannet i forsøknings. Dersom store vannmengder kommer konsentrert inn på et jorde kan det gi umiddelbare graveskader allerede ved starten av jordet. Slik type erosjon som lokalt kan bety mye vil det kreve lokale feltbefaringer for å vurdere omfang og nytte av. For Leiras nedbørfelt er det foretatt en slik omfattende og detaljert kartlegging med feltbefaring (Borch et al., 2009). Denne rapporten dokumenterer at slik type erosjon er vanlig forekommende, gir eksempler på problemer og foreslår utbedringer.

### 5.2.4 Ras og utsklidninger i bekkeskråninger

I tillegg til erosjon inne på selve jordbruksarealene kan det forekommer erosjon i bekkeskråninger og utrasinger. Slike prosesser kan lokalt gi store bidrag men variasjonene er store også mellom år og erosjonen kan ofte foregå i episoder. Jordarbeidingstiltak vil ikke ha effekt på denne type erosjon, her må det mer sikringstiltak til og både steinsetting, sikring av g røfteutløp, vegetasjonsetablering, skjøtsel av bekkekanter er aktuelt. Ved denne typen erosjon er det også risiko for at det graver seg videre inn på jordet og påvirker både produksjon og videre erosjon. Erosjon i bekkeskråninger kan etterlate seg erosjonsspor der det kan fortsette å grave ved nye nedbørepisoder. Bufferoner langs bekkekanter er med å stabilisere skråninger og kan være viktige både for å binde jorda, hindre kjøring på kanten og for å redusere erosjon.



Bufferoner, grasdekte vannveier og fangdammer er rensesystemer i landskapet som kan holde tilbake og redusere både partikkel og fosforavrenning. Disse tiltak hindrer ikke erosjon på selve jordbruksarealene, men det reduserer og holder tilbake fosfor og partikler for videre transport i vassdrag. I områder med stor erosjon er ofte disse tiltak med som deler av en tiltakspakke. Det er også eksempler på at det også stilles krav om å ha bufferoner for å tillate eks jordarbeiding til høstkorn. I slike tilfeller så der en på flere tiltak sammen for å få større totaleffekt. Fangdammer er under stadig utvikling også til nye formål, både fra det tradisjonelle til å sedimentere ut partikler fra overflateavrenning til å rense fosfor fra drensvann. Ved endret klima og større erosjon kan også betydningen av slike elementer bli viktigere.

Effekter av endret klima og ekstremvær på avrenning. Et endret klima er forventet å gi større total nedbør, men også endringer i sesongvariasjoner og forekomst av ekstremvær. Økende nedbør om høsten og ved ustabile vintre kan gi økende avrenning og øke risikoen for jord og fosfortap. Ved økende risiko for avrenning kan det bli et forsterket behov for tiltak i nedbørfelt, både for jordarbeidingsstiltak men også for kontroll med vann gjennom hydrotekniske systemer og for rensesystemer. Dersom det generelt blir større nedbør om høsten vil det kunne bli viktigere å ikke ha jordarbeidet areal i slike risikoperioder. Ekstremvær vil og kunne føre til risiko for mer ras og utsklidninger og dette vil igjen føre til behov for sikring for å kunne beskytte produksjonsgrunnlaget og for å hindre store tap. Endret jordarbeiding med eks stubb i risikoperioder kan bli enda mer aktuelt for å redusere risiko for tap ved ekstremvær. Det har allerede vært flere episoder med ekstremvær der det er registrert stor erosjon på arealer som er jordarbeidet, mens det har vært liten erosjon på arealer med stubb (Øygarden, 2003). I slike episoder er det også registrert store graveskader på arealer som er klassifisert eks med erosjonsrisikoklasse 2, særlig ved delvis tele i jorda og ved lange hellinger. Også når jorda er blitt vannmettet etter mye nedbør kan store nedbørmengder føre til svært stor avrenning og gi både ras og utsklidninger i bekkeskråninger. Endret nedbørmønster vil også gi behov for å vurdere kapasitet på hydrotekniske systemer og sikre erosjon rundt kummer, etablere kumdammer etc.

### 5.3 Usikkerheter og kunnskapsbehov

I denne rapporten har vi sammenstilt informasjon fra ruteforsøk med fokus på jordarbeidingssystemers effekt på erosjon og fosfortap. Åtte av feltene ligger i Norge, sju i Finland, tre i Sverige og to i Danmark. Gjennom denne sammenstillingen er det avdekket en del kunnskapshull som det er viktig å fylle i kommende forskningsprosjekter.

#### 5.3.1 Avsetningstyper og jordtyper

Tre prosent av Norges landareal er dyrka mark. De største jordbruksområdene i Norge ligger på Østlandet, i Trøndelag og på Jæren. Innlandsområdene på Østlandet er dominert av morenejord og elveavsetninger. I de kystnære områdene på Østlandet og i Trøndelag dominerer hav- og strandavsetning og elveavsetninger. Havavsetningene utgjør viktige kornområder og undersøkelser av redusert jordarbeiding på disse jordarter har stor interesse. På Jæren dominerer morene og strandavsetninger. De mest utbredte WRB-gruppene på kartlagt del av dyrka mark i Norge omfatter ([www.skogoglandskap.no](http://www.skogoglandskap.no)):

- Stagnosols, som ofte har høyt silt og/eller leirinnhold og gjerne er utviklet på hav- og strandavsetninger, morene og elveavsetninger (23 %)
- Cambisols, som sjelden har høyt leirinnhold og oftest er utviklet på morene og strandavsetninger (22 %)
- Albeluvisols, som er marin leire (21 %)
- Bakkeplanert jord (9 %)

I de tre førstnevnte gruppene er følgende enheter mest utbredt: Luvic Stagnosols, Haplic Stagnosols, Endostagnic Cambisols og Epistagnic Albeluvisols.

Sju av de åtte feltene i Norge ligger på havavsetninger, og omfatter både bakkeplanerte og uplanerte felter. Feltet Syverud (Endostagnic Albeluvisol) synes ikke å være helt representativt for marine leirer på Sør-Østlandet - jorda er en lattleire med bratt helling, men det er målt lite erosjon der. Feltene Skjetlein (Epistagnic Albeluvisol og Luvic Stagnosol) og Kvithamar (Mollic Gleysol) i Trøndelag var i drift i bare få år, noe som gjør data avledet fra disse feltene usikre. I disse feltene går en svært stor andel

av jord- og fosfortap gjennom grøftene, noe som indikerer at makroporetransport kan være meget viktig. Dette er vanskelig å verifisere fordi feltene var nyanlagt da målingene startet, dvs at jorda ikke rakk å "sette seg" og makroporene ikke ble fylt opp av sedimenter i løpet av tidsserien. Mht Skjetlein, var det ingen gjentak, kun tre ruter med ulik jordarbeiding hvert år på alle rutene. Resultatene fra Skjetlein er dermed meget usikre.

De bakkeplanerte feltene omfatter Øsaker (stiv leire), Hellerud, Bjørnebekk og Askim (siltig mellomleire). Her er jord- og fosfortap ved ulik jordarbeiding relativt godt dokumentert, men det mangler stort sett data for grøftevann.

For de store områdene med korndyrking på marine leirer på Østlandet er de forholdsvis slake hellinger dårlig representert med ruteforsk. Disse områder utgjør et stort potensial i tiltakssammenheng, men det er lite spesifikk kunnskap om effekt av jordarbeidingstiltak. Det er behov for et ruteforsk i et område med noe slakere helling enn Syverud og uten at jorda er bakkeplanert, for eksempel siltig mellomleire med makroporeutvikling. Dessuten er det viktig med et felt der både overflate- og grøfteavrenning er dokumentert for ulike jordarbeidingsystemer.

Ingen av rutefeltene ligger på elveavsetninger, og heller ingen på strandavsetninger, dvs at blant annet erosjonsutsatt silt og finsand ikke er representert.

Morenejord er underrepresentert blant feltene med målinger, kun feltet Apelsvoll ligger på morene. Apelsvoll er kartlagt som Haplic Stagnosol. I dette feltet har man ikke studert effekter av jordarbeiding alene, men komplette dyrkingssystemer med varierende gjødsling, vekstomløp, osv. Dette gjør det vanskelig å dra klare konklusjoner vedrørende jordarbeiding på morenejord. Apelsvoll har dessuten relativt slak helning, mens mange områder med morene er relativt bratte.

### ***5.3.2 Strømningsveier: overflatevann versus grøftevann***

I alle feltene som er presentert er det data for overflatevann. Vi vet imidlertid at grøftevann kan være en viktig transportvei for både jord og fosfor (Øygarden, 2000; Kværnø og Bechmann, 2010). På feltene med lite til middels erosjon har vi noe data også for grøfteavrenning; men dette mangler i stor grad på de bakkeplanerte feltene med mye erosjon. Ett unntak er Askim, men dessverre er grøfteavrenning fra ulike jordarbeidingsystemer blandet slik at det ikke er mulig å undersøke effekter av jordarbeiding på tap gjennom grøftene.

### ***5.3.3 Hellingsgrad og hellingslengde***

Apelsvoll, Kvithamar og delvis Skjetlein er felter med liten hellingsgrad. De andre feltene har stort sett ca 13 % helning. Hellingslengdene er stort sett korte, vanligvis 20-40 m, og opptil 100 m. I jordbrukslandskapet er hellingene vanligvis betydelig lengre enn dette. Lundekvams forsøk hadde noen ruter som var litt lengre i sine ruteforsk, og disse viser at det er større tap pr daa av jord og fosfor fra de lengre rutene. Effekten av jordarbeiding vil sannsynligvis avhenge av hellingslengden: relativ og absolutt effekt av redusert jordarbeiding er større jo mer erosjon det er (jf. bakkeplanerte versus ikke-planerte felt), hvilket tilsier at bruk av resultater fra rutefeltene gir en underestimert effekt. Samtidig kan det i svært lange hellinger eller hellinger som flater ut skje sedimentasjon av partikler og dermed reduserte tap i forhold til noe kortere helling.

## 6. Konklusjoner

---

Rapporten har oppsummert nordiske forsøk med effekt av jordarbeiding på fosfortap. Sammenstillingen viser at det generelt er større jord- og fosfortap ved høstpløying sammenlignet med andre jordarbeidingsystemer slik som høstharving, vårpløying, vårharving og direktesåing vår eller høst. Dette gjelder for jordtap i alle forsøk, både på arealer med lav og høy erosjonsrisiko. For fosfor er det også generelt lavere tap når det ikke pløyes om høsten, men i enkelte forsøk med lav erosjon har vårpløying noen år vist høyere fosfortap sammenlignet med høstpløying.

Høstpløying med såing av høstkorn viser generelt større jordtap enn høstpløying. Erosjon og fosfortap ved høstpløying til høstkorn avhenger av hvor godt høstkornet etablerer seg. Forskjellen mellom metoder for høstharving og høstpløying er variabel. Harvedybden, jordstrukturen og hvor mye planterester som blir liggende igjen på overflaten kan være vesentlige for resultatet. Disse forskjellene har betydning for effekten som oppnås mht. jord- og fosfortap. Effekten av ulike metoder for endret jordarbeiding er vanligvis noe større for jordtap enn for fosfortap.

Det er en del begrensninger i forsøksmaterialet som foreligger. De aller fleste forsøk, som er med i sammenstillingen, har vært ruteforsøk med relativt korte hellingslengder. Mange forsøk har hatt begrenset varighet og resultatene er derfor svært beroende på været i forsøksperioden. Felter med tidsserier av lenger varighet, har dessuten endret forsøksopplegg (jordarbeidingsystemene) underveis, slik at sammenligningsgrunnlaget kun gjelder for en kortere periode. I en god del av forsøkene er det bare målt overflateavrenning og der grøfteavrenning har vært målt har det ikke alltid vært skilt mellom ulike jordarbeidingsmetoder.

Resultater fra forsøk på alle jordarter, hellinger og erosjonsklasser er fremstilt samlet. Det er stor forskjell i effekt mellom ulike jordarter og hellinger, og generelt er det større effekt av redusert jordarbeiding på partikkeltapet ved høyere erosjon på arealet. Planerte felt har stor erosjon og dermed stor effekt av redusert jordarbeiding på partikkeltapet.

Strømningsveier for vann har avgjørende betydning for erosjonen og samtidig for effekten av jordarbeiding. Generelt vil jord med stor infiltrasjonskapasitet og vannledningsevne gi mindre risiko for partikkeltap og dermed også mindre effekt av redusert jordarbeiding. Det finnes lite tilgjengelige resultater på effekten av jordarbeiding på partikkel- og fosfortap gjennom drenggrøftene, men resultatene fra enkelte forsøk tyder på at redusert jordarbeiding også fører til reduksjon i partikkel- og fosfortapet gjennom grøftene. Effekten er antagelig noe mindre for grøftevann sammenlignet med overflatevann.

Effekter av jordarbeiding på jordtap inngår i beregningsgrunnlaget for jordbrukets fosfortilførsler til vassdrag. Estimerte verdier for effekter av jordarbeiding på jordtap varierer noe for ulike forvaltningsverktøy (f.eks. GIS-avrenning og Agricat) og tilførselsberegningene vil derfor variere noe avhengig av hvilket verktøy som blir brukt og hvilke vilkår som ligger til grunn. Alle verdiene som har blitt brukt ligger vel innenfor variasjonen i de målte verdiene fra ruteforsøk, men det er forskjell på om effekten er spesifisert på overflate- og grøftevann eller for ulike erosjonsklasser. Det er behov for en tilpasning av faktorer som anvendes i de ulike verktøy, slik at de svarer best mulig til målte effekter og gir samme resultat uavhengig av metode, men med hensyntagen til lokale forhold (bl.a. dominerende hellingslengde). I en videreutvikling av verktøyene er det behov for en differensiering av jordarbeidingseffekter mellom ulike erosjonsrisikoklasser og slik at de gjelder for totalavrenningen, både overflate- og grøfteavrenning.

Det er stor variasjon i partikkeltap mellom år og mellom ulike felt. Effekten av jordarbeiding på jord- og fosfortap viser tilsvarende stor variasjon. Fordeling av nedbør til ulike tider av året har avgjørende betydning for effekten av jordarbeiding, for eksempel vil tidspunkt for nedbør om høsten være avgjørende for forskjellen mellom tidlig og sen høstpløying. Nedbørmengden har også betydning for effekten av jordarbeiding. Ved mye nedbør kan jorda bli vannmettet, og i noen tilfeller kan en pløyd jord ta unna mer vann enn en harvet jord. Det betyr at en kan få mer overflateavrenning ved redusert jordarbeiding. I enkelte forsøk med høstharving har noen år derfor vist høyere tap av jord og fosfor sammenlignet med høstpløying. Tap av partikler og fosfor varierer mye fra år til år. Selv på forholdsvis flate arealer kan enkelte år ha store tap og i disse årene vil effekten av redusert jordarbeiding normalt

være stor selv på flate og lite erosjonsutsatte arealer. Ved planlegging av jordarbeidingstiltak må en vurdere om en ønsker effekt i ekstreme år med stor erosjon eller om det er gjennomsnittsåret det planlegges for. Endringer i fordeling av nedbøren over året vil også kunne få betydning for effekten av jordarbeidingstiltak.

I forhold til vannforskriften har biotilgjengelighet av fosfor betydning. Andelen løst fosfor i avrenning har derfor interesse. Sammenstillingen viser at effekten av redusert jordarbeiding på avrenning av løst fosfor kan være både positiv og negativ. Ved direktesåing over flere år uten blanding av jord fra ulike sjikt, vil fosforinnholdet i de øverste jordlagene øke og forsøkene viser at avrenningen av løst fosfor øker. Det ser også ut til at harving fører til en lignende effekt. Ved overvintring i stubb kan utfrysing av fosfor fra planterester føre til økt avrenning av løst fosfor i overflatevann fra arealer i stubb sammenlignet med høstpløyde arealer. Partikkeltapet har vanligvis god sammenheng med tap av fosfor, men ved lav erosjon øker fosforinnholdet i partiklene og effekten av jordarbeiding er bl.a. derfor større på partikler enn på fosfor. Sammenhengen mellom jordarbeiding og avrenning av løst P er komplisert og jordas fosforinnhold har også betydning for konsentrasjonen av løst P i avrenning fra de ulike jordarbeidingssystemer. Kunnskap om betydningen av partikkelbundet og løst P for vannkvaliteten er avgjørende for vurderingen av disse resultater.

Det er flere faktorer som virker på effekten av jordarbeiding, men som sammenstillingen ikke gir grunnlag for å vurdere. På lange hellinger blir det større erosjon og større effekt av redusert jordarbeiding. I et jordbrukslandskap med søkk og forsenkninger samler overflatevannet seg i vannveier og tiltak som grasdekte vannveier kan være vel så viktige som redusert jordarbeiding.

Den mest effektive reduksjon i erosjon og fosfortap skjer ved målretting av tiltakene ut fra lokale forhold.

## 7. Referanser

---

- Aronsson, H., Lindén, B., Stenberg, M., Torstensson, G., Rydberg, T. og Forkman, J., 2006. Växtnäringsutlakning från en lerjord med höstveteväxtföljd och vallträda. *Ekohydrologi* 93, Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges Lantbruksuniversitet. ISSN 0347-9307. 42 s.
- Aura, E., 1999. Effects of shallow tillage on physical properties of clay soil and growth of spring cereals in dry and moist summers in southern Finland. *Soil & Tillage Research* 50: 169-176.
- Bakkegard, M., Riley, H., Tørresen, K.S., Lindemark, P.O., og Stabbetorp, J., 2007. Redusert jordarbeiding til høstkorn. *Bioforsk TEMA* 2(32).
- Bechmann, M., Deelstra, J., Stålnacke, P., Eggestad, H.O., Øygarden, L., Pengerud, A. 2008. Monitoring catchment scale agricultural pollution in Norway - policy instruments, implementation of mitigation methods and trends in nutrient and sediment losses. *Environmental Science and Policy* 11: 102-114.
- Beven, K. og Germann, P., 1982. Macropores and water flow in soils. *Water Resources Research* 18: 1311-1325.
- Borch, H., Farkas, C., Øgaard, A.F. & Bechmann, M. 2010. The AGRICAT-P Model - a tool for modelling the mitigation effects of agricultural runoff in Norwegian catchments. *Bioforsk Report* Vol. 5 No. 9. 2010.
- Børresen, T., 1999. The effect of straw management and reduced tillage on soil properties and crop yields of spring-sown cereals on two loam soils in Norway. *Soil & Tillage Res.* 51: 91-102.
- Børresen, T., Ekeberg, E. & Riley, H., 1990. Planlegging av jordarbeiding på ulike jordtyper. Statens fagtjeneste for landbruket, Fagnytt nr. 1, 3 s.
- Børresen, T. & Njøs, A., 1990. The effects of three tillage systems combined with different compaction and mulching treatments on soil temperature and soil thermal properties. *Norw. J. Agric. Sci.* 4: 363-371
- Børresen, T. og Njøs, A., 1993. Ploughing and rotary cultivation for cereal production in a long-term experiment on a clay soil in south-eastern Norway. 1. Soil properties. *Soil and Tillage Research* 28: 97-108.
- Chamen, T., Alakukku, L., Pires, S., Sommer, C., Spoor, G., Tijink, F. og Weisskopf, P., 2003. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review. Part 2 Equipment and field practices. *Soil and Tillage Research* 73: 161-174.
- Ekeberg, E., 1985. Jordarbeiding host og vår til vårkorn. *Forsk.fors.landbr.* 36: 133-139
- Ekeberg, E., 1992. Redusert jordarbeiding på morenejord. *Jordundersøkelser. Norsk landbruksforskning* 6: 223-244
- Ekeberg, E., H.Riley & A.Njøs, 1985. Plogfri jordarbeiding til vårkorn: I. Avling og kveke. *Forsk.fors.landbr.* 36:45 51
- Ekeberg, E. & Riley, H., 1996. Effects of mouldboard ploughing and direct planting on yield and nutrient uptake of potatoes in Norway. *Soil & Tillage Res.* 39: 131-142.
- Ekeberg, E. og Riley, H., 1997. Tillage intensity effects on soil properties and crop yields in a long-term trial on morainic loam soils in southeast Norway. *Soil & Tillage Research* 42: 277-293.

- Ekholm, P., Granlund, K., Kauppila, P., Mitikka, S., Niemi, J., Rankinen, K., Räike, A. og Räsänen, J., 2007. Influence of EU policy on agricultural nutrient losses and the state of receiving surface waters in Finland. *Agricultural and Food Science* 16: 282-300.
- Elen, O., 2002. Plant protection in spring cereal production with reduced tillage. III. Cereal diseases. *Crop Protection* 21: 195-201
- Eltun, R. & Fugleberg, O., 1996. The Apelsvoll cropping system experiment VI. Runoff and nitrogen losses. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 10, 229-248.
- Eltun, R., Fugleberg, O. & Nordheim, O., 1996. The Apelsvoll cropping system experiment VII. Runoff losses of soil particles, phosphorus, potassium, magnesium, calcium and sulphur. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 10, 371-384.
- Eltun, R., Korsæth, A. & Nordheim, O., 2002. A comparison of environmental, soil fertility, yield, and economical effects in six cropping systems based on an 8-year experiment in Norway. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 90, 155-168.
- Gjettermann, B., Nielsen, K.L., Ptersen, C.T., Jensen, H.E. og Hansen, S., 1997. Preferential flow in sandy loam soils as affected by irrigation intensity. *Soil Technology* 11: 139-152.
- Grønsten, H.A., Øygarden, L. og Skjevdal, R., 2007. Redusert jordarbeiding til høst Korn. *Bioforsk Rapport* 2(60). 60 s.
- Haraldsen, T.K., 1998. Avrenning og tap av næringsstoffer på Skjetlein 1990-1997. *Jordforsk-rapport* 25/98. 19 s.
- Hauge, A., Lundekvam, H., Eggestad, H.O., og Pengerud, A., 2007. Partikler i drensvann. *Bioforsk Rapport* 2(4).
- Henriksen, B., 2006. Betydning av dyrkingstekniske tiltak for utvikling av Fusarium og mykotoksiner i korn. *Bioforsk Fokus* 1, 40-41
- Hole, J., 1988. Stofftapsmodell brukt på Jæren og Romerike. Primær rapport fra Norsk institutt for jord- og skogkartlegging, 14 s.
- Holland, J. M., 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103: 1-25.
- Jordbruksverket. Åtgärdsprogrammet for att minska vaxtnäringsförluster från jordbruket. Jönköping: Jordbruksverket.
- Korsæth, A. & Eltun, R., 2008. Synthesis of the Apelsvoll Cropping System Experiment in Norway - Nutrient Balances, Use Efficiencies and Leaching. In: Kirchmann, H. og Bergström, L. (eds.). *Organic Crop Production - Ambitions and Limitations*, p. 117-141. Springer Science+Business Media B.V., springer.com.
- Koskiaho, J., Kivisaari, S., Vermeulen, S., Kauppila, R., Kallio, K., Puustinen, M., 2002. Reduced tillage: Influence on erosion and nutrient losses in a clayey field in southern Finland. *Agricultural and Food Science in Finland* 11, 37-50.
- Krogstad, T., 2001. Fosfor i dyrka jord i Ski kommune. Beregning av fosfortap fra nedbørsfelter. En vurdering av fosforstatus i dyrka jord. *Rapport 3/2001*. Institutt for jord- og vannfag, Ås-NLH. ISSN 0805-7214. 11 s.
- Krogstad, T., og Løvstad, Ø., 1987. Fosfor i jord og vann. *Jord og Myr* 6: 189-208.
- Kukkonen, M., Niinioja, R. og Puustinen, M., 2004. Viljelykäytäntöjen vaikutus ravinnehuuhtoutumiin Liperin koekentällä Pohjois-Karjalassa (Leaching of nutrients under different cultivation in the

- Liperi test field in North Karelia, Finland). *Alueelliset ympäristöjulkaisut* 367. Pohjois-Karjalan ympäristökeskus, Joensuu, Finland, 60 pp. ISBN 952-11-1912-8.
- Kværnø, S. og Bechmann, M., 2010. Strømningsveier for vann, partikler og næringsstoffer i jord. *VANN* 45(2): 177-190.
- Leys, A., Govers, G., Gillijns, K. Berckmoes, E., og Takken, I., 2010. Scale effect on runoff and erosion losses from arable land under conservation and conventional tillage: The role of residue cover. *Journal of Hydrology* 390: 143-154.
- Lipiec, J., Kus, J., Stowinska-Jurkiewicz, A. og Nosalewicz, A., 2005. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. *Soil & Tillage Research* 89: 210-220.
- Lundekvam, H., 1997. Spesialgranskinger av erosjon, avrenning, P-tap og N-tap i rutefelt og småfelt ved Institutt for jord- og vannfag. *Jordforsk-rapport 6/97*. 69 s.
- Lundekvam, H., 2001. Oppsummering av resultat frå erosjonsfelta ved IJVF for perioden 1994-2000. Internt notat ved Institutt for Plante- og Miljøvitenskap.
- Lundekvam, H., 2002. ERONOR/USLENO - Empirical erosion models for Norwegian conditions. *Rapport no 6/2002*. Norges landbrukshøgskole. Department of Soil and Water Sciences.
- Lundekvam, H. 2004. Bruk av erosjonsmodellen ERONOR i Skuterudfeltet. *Jordforsk rapport 9/2004*.
- Lundekvam, H. og Mundal, K., 1986. Vassureining fra jordbruksareal. Sluttrapport nr 648 NLVF (Norges landbruksvitenskapelige forskningsråd), 14 s. ISSN 0800-9252.
- Lundekvam, H., Romstad, E., og Øygarden, L., 2003. Agricultural policies in Norway and effects on soil erosion. *Environmental Science & Policy* 6: 57-67.
- Marti, M. 1984. Plogfri jordarbeiding ved ensidig korndyrking på Sørøstlandet - virkning på avling, fysiske og kjemiske egenskaper. Dr. Scient avhandling NLH, 155 s. (på tysk)
- Muukkonen, P., Hartikainen, H., og Alakukku, L., 2009. Effect of soil structure disturbance on erosion and phosphorus losses from Finnish clay soil. *Soil & Tillage Research* 103: 84-91.
- Natterlund, H., 2007. Åtgarder for att forhindra ytvattenerosion. Greppa Næringen.
- Njøs, A., og Hove, P., 1986. Erosjonsundersøkelser- vannerosjon I og II. Oslo: Norges landbruksvitenskapelige forskningsråd. Sluttrapport nr. 655.
- Olsen, P.A., 1998. Measuring and modelling macropores and preferential flow in structured soils (Måling og modellering av makroporer og foretrukne strømninger i leirjord). Doctor Scientarum Thesis 1998:19, Institutt for jord- og vannfag, NLH, Ås. 85 s.
- Oskarsen, H., Haraldsen, T.K., Aastveit, A.H. & Myhr, K., 1996. The Kvithamar field lysimeter II. Pipe drainage, surface runoff and nutrient leaching. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 10: 211-228.
- Petersen, C.T. Jensen, H.E., Hansen, S. og Bender, C., 2001. Susceptibility of a sandy loam soil to preferential flow as affected by tillage. *Soil & Tillage Research* 58: 81-89.
- Puustinen, M., Koskiaho, J. og Peltonen, K., 2005. Influence of cultivation methods on suspended solids and phosphorus concentrations in surface runoff on clayey sloped fields in boreal climate. *Agriculture Ecosystems & Environment* 105, 565-579.
- Puustinen, M., Tattari, S., Koskiaho, J., Linjama, J., 2007. Influence of seasonal and annual hydrological variations on erosion and phosphorus transport from arable areas in Finland. *Soil & Tillage Research* 93: 44-55.

- Puustinen, M., Turtola, E., Kukkonen, M., Koskiaho, J., Linjama, J., Niinioja, R. og Tattari, S., 2010. VIHMA—A tool for allocation of measures to control erosion and nutrient loading from Finnish agricultural catchments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 138: 306-317.
- Rasmussen, K.J, 1999. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: a Scandinavian review. *Soil & Tillage Research* 53: 3-14.
- Riley, H., 1983. Reduced cultivations and straw disposal systems with spring cereals on various soil types. I. Yields and weed incidence. *Forsk. Fors. Landbr.* 34: 209-219.
- Riley, H., 1985. Redusert jordarbeiding til vårkorn. Ulike såmaskiner og såtider. *Forsk.Fors.landbr.* 36:61 70
- Riley, H., 2006. Recent yield results and trends over time with conservation tillage on morainic loam soil in southeast Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil and Plant Science* 56: 117-128
- Riley, H., 2010. Langvarige forsøk med redusert jordarbeiding på Kise: Resultater 2005-2009 sammenlignet med tidligere år. *Bioforsk FOKUS* 5(1):26-30
- Riley, H. og Bakkegard, M., 2009. Kostnadseffektiv høstkorndyrking uten pløying på erosjonsutsatt jord: Sluttrapport for SLF-prosjekt 2002-2007 Bioforsk Rapport. Vol. 4 Nr. 48, 29 s.
- Riley, H., A.Njøs & E.Ekeberg, 1985. Plogfri jordarbeiding til vårkorn II. Jordundersøkelse. *Forsk.fors.landbr.* 36:53 59
- Riley, H. & E.Ekeberg, 1998. Effects of Depth and Time of Ploughing on Yields of Spring Cereals and Potatoes and on Soil Properties of a Morainic Loam Soil. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B. Soil and Plant Science* 48 193-200
- Riley, H. & Eltun, R., 1994. The Apelsvoll cropping system experiment II. Soil characteristics. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 8, 317-333.
- Riley, H.C.F., Bleken, M.A., Abrahamsen, S., Bergjord, A.K. og Bakken, A.K., 2005. Effects of alternative tillage systems on soil quality and yield of spring cereals on silty clay loam and sandy loam soil in the cool and wet climate of central Norway. *Soil & Tillage Research* 80: 79-93.
- Riley, H., Børresen, T., og Lindemark, P.O., 2009. Recent yield results and trends over time with conservation tillage on clay loam and silt loam soils in southeast Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil and Plant Science* 59: 362.
- Robertson, G., Paul, E.A. og Hardwood, R.R., 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: contribution of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science* 289: 1922-1924.
- Rydberg, T., 1992. Phosphorus tillage in Sweden. Results and experiences from 15 years of field trials. *Soil and Tillage Research* 22:253-264.
- Schjøning, P., Sibbesen, E., Hansen, A.C., Hasholt, B., Heidmann, T., Madsen, M.B. og Nielsen, J.D., 1995. Surface runoff, erosion and loss of phosphorus at two agricultural soils in Denmark - plot studies 1989-92. *SP report no. 14*. Ministry of Agriculture and Fisheries, Danish Institute of Plant and Soil Science.
- Shipitalo, M.J., Dick, W.A., og Edwards, W.M., 2000. Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. *Soil & Tillage Research* 53: 167-183.
- Six, J., Ogle, S.M, Breidt, F.J., Conant, R.T., Mosier, A.R. og Paustian, K., 2004. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practiced in the long term. *Global Change and Biology* 10; 155-160.



- Skøien, S., 1996. Sammenheng mellom jordfysiske parametere og jorderosjon. Rapport nr 9/96. Norges landbrukshøgskole. Institutt for jord og vannfag.
- Sveistrup, T. og Njøs, A. 1984. Kornstørrelsesgrupper i mineraljord. *Jord og Myr* 8, s. 8-15.
- Turtola, E., Alakukku, L., Uusitalo, R. og Kaseva, A., 2007. Surface runoff, subsurface drainflow and soil erosion as affected by tillage in a clayey Finnish soil. *Agricultural and Food Science* 16: 332-351.
- Turtumøygard, S. og Grønlund, A. 2001. GIS avrenning. Beregningsmodell for erosjon fra landbruksarealer. Jordforsk rapport 48/01
- Tørresen, K.S., R. Skuterud, H.J.Tandsæther & M.B. Hagemo, 2003. Long-term experiments with reduced tillage in spring cereals. I. Effect on weed flora, weed seed bank and grain yield. *Crop Protection* 22: 185-200
- Uhlen, G., 1978. Nutrient leaching and surface runoff in field lysimeters on a cultivated soil. *Meldinger fra Norges landbrukshøgskole* 27: 26.
- Uhlen, G., og Østerud, J.G., 1992. Nitrogen, fosfor og kalium i grøftevannsprøver fra dyrket mark. *Norsk landbruksforskning* : 61-72.
- Ulén, B., 1997. Nutrient losses by surface run-off from soils with winter cover crops and spring-ploughed soils in the south of Sweden. *Soil & Tillage Research* 44: 165-177.
- Ulén, B., upubl. Jordbearbeitingens påverkan op fosfor- och kväveförlusterna från en mjälälättlera i södra Dalarna 1994-2011. 8 s.
- Ulén, B. og Kalisky, T., 2005. Water erosion and phosphorus problems in an agricultural catchment - Need for natural research for implementation of the EU Water Framework Directive. *Environmental Science & Policy* 8: 477-484.
- Ulén, B., Aronsson, H., Bechmann, M., Krogstad, T., Øygarden, L. and Stenberg, M. 2010. Soil tillage methods to control phosphorus loss and potential side-effects: a Scandinavian review. *Soil Use and Management* 26, 94-107
- Uusi-Kämppe, J. og Jauhiainen, L., 2010. Long-term monitoring of buffer zone efficiency under different cultivation techniques in boreal conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 137, 75-85.
- Uusitalo, R., Turtola, E., Lemola, R., 2007. Phosphorus losses from a subdrained clayey soil as affected by cultivation practices. *Agricultural and Food Science* 16, 352-365.
- Øygarden, L., 2000. Soil erosion in small agricultural catchments, south-eastern Norway/ Jorderosjon i små nedbørfelt i jordbruksområder i sørøst Norge. *Doctor Scientiarum Theses 2000:8*. Norges Landbrukshøgskole, Ås.
- Øygarden, L. 2003. Rill and gully development during an extreme winter runoff event in Norway. *Catena* 50, 217-242.
- Øygarden, L., Kværner, J., og Jenssen, P.D., 1997. Soil erosion via preferential flow to drainage systems in clay soils. *Geoderma* 76: 65-86.