

(481)N ✓ L

# Norsk landbruksforskning

*Norwegian Agricultural Research*

Supplement Nr. 16 1993

Jordas produktivitet i  
langsiktig perspektiv

*Soil productivity in a  
long term perspective*

Redaktør: Ingvar Lyngstad



Statens fagtjeneste for landbruget, Ås, Norge  
*Norwegian Agricultural Advisory Service, Ås, Norway*

## NORSK LANDBRUKSFORSKING / NORWEGIAN AGRICULTURAL RESEARCH

Norsk landbruksforskning er en fortsettelse av Meldinger fra Norges landbrukshøgskole og Forskning og forsøk i landbruket og dekker et publiseringsbehov for norske forskningsresultater innenfor fagområdene: Akvakultur/*Aquaculture*, Husdyrbruk/*Animal Science*, Jordfag/*Soil Science*, Landbruksteknikk/*Agricultural Engineering and Technology*. Naturgrunnlag og miljø/*Natural Resources and Environment*, Næringsmiddelteknologi og hygiene/*Food Technology*, Plantedyrking jord- og hagebruk/*Crop Science*, Skogbruk/*Forestry*, Økonomi og samfunnsplanlegging/*Economics and Society Planning*.

Tidsskriftet har abstrakt, figur- og tabelltekster, overskrift samt nøkkelord på engelsk. *Articles published in the journal will always contain titles, abstracts, key words and figures and tables legends in English.*

### Ansvarlig redaktør/*Managing Editor, Margrete Wiig*

#### Redaksjonsråd/*Editorial Board*

Sigmund Huse, Norges landbrukshøgskole, Institutt for biologi og naturforvaltning  
Ådne Håland, Særheim forskingsstasjon  
Åshild Krogdahl, Institutt for akvakulturforskning  
Karl Alf Løken, Norges landbrukshøgskole, Institutt for tekniske fag  
Toralf Matre, Norges landbrukshøgskole, Institutt for husdyrfag  
Einar Myhr, Norges landbrukshøgskole, Institutt for tekniske fag  
Nils K. Nesheim, Norges landbrukshøgskole, Institutt for økonomi og samfunnsfag  
Kjell Bjarte Ringøy, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning  
Ragnar Salte, Institutt for akvakulturforskning  
Martin Sandvik, Norsk institutt for skogforskning  
Hans Sevatdal, Norges landbrukshøgskole, Institutt for planfag og rettslære  
Bal Ram Singh, Norges landbrukshøgskole, Institutt for jordfag  
Arne Oddvar Skjelvåg, Norges landbrukshøgskole, Institutt for plantekultur

Anders Skrede, Norges landbrukshøgskole, Institutt for husdyrfag  
Grete Skrede, Norsk Institutt for næringsmiddelforskning  
Kjell Steinholt, Norges landbrukshøgskole, Institutt for meieri- og næringsmiddelfag  
Arne H. Strand, Norges landbrukshøgskole, Institutt for meieri- og næringsmiddelfag  
Hans Staaland, Norges landbrukshøgskole, Institutt for biologi og naturforvaltning  
Asbjørn Svendsrud, Norges landbrukshøgskole, Institutt for skogfag  
Geir Tutturen, Norges landbrukshøgskole, Institutt for tekniske fag  
Odd Vangen, Norges landbrukshøgskole, Institutt for husdyrfag  
Sigbjørn Vestrheim, Norges landbrukshøgskole, Institutt for hagebruk  
Kåre Årsvoll, Statens plantevern/Statens forskingsstasjoner i landbruk

#### UTGIVER/*PUBLISHER*

Statens fagtjeneste for landbruket/*Norwegian Agricultural Advisory Service*, Moerveien 12, 1430 Ås, *Norway*. Norsk landbruksforskning/*Norwegian Agricultural Research* (ISSN 0801-5333) blir utgitt med fire hefter pr. år som utgjør et volum. Hvert hefte skal være på ca. 100 sider. Abonnementsprisen er NOK 500,- pr. år. Eventuelle supplementer vil bli sendt gratis til abonnenter, men kan bestilles separat hos utgiveren.

#### KORRESPONDANSE/*CORRESPONDENCE*

All korrespondanse av redaksjonell eller forretningsmessig karakter skal sendes til Statens fagtjeneste for landbruket/*Norwegian Agricultural Advisory Service*.

# Norsk landbruksforskning

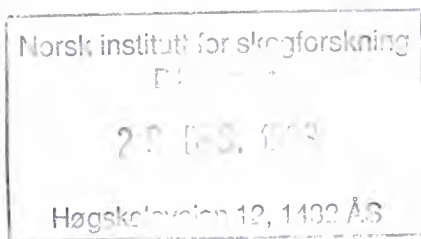
*Norwegian Agricultural Research*

Supplement Nr. 16 1993

Jordas produktivitet i  
langsiktig perspektiv

*Soil productivity in a  
long term perspective*

**Redaktør:** Ingvar Lyngstad



Statens fagtjeneste for landbruket, Ås, Norge  
*Norwegian Agricultural Advisory Service, Ås, Norway*



# HONNØRSKRIFT

til

**professor, dr. agric. Gotfred Uhlen**

Gotfred Uhlen er født i 1923 på Snarum i Modum kommune. Han tok eksamen ved Norges landbrukshøgskole, jordbruksavdelingen, i 1949. Samme år begynte han ved Institutt for jordkultur (nå Institutt for jord- og vannfag), hvor han arbeidet som vitenskapelig assistent, amanuensis, forsøksleder og førsteamanuensis. Han ble utnevnt til dosent i 1980 og til professor i 1985. Uhlen fratradte sin stilling sommeren 1993, og kan således se tilbake på 44 års tjeneste ved Norges landbrukshøgskole.

Uhlen har hatt flere studieopphold i utlandet, blant annet i de nordiske land, Tyskland, Nederland og Storbritannia, og han har vært foredragsholder ved flere nordiske og internasjonale kongresser. I 1957-59 hadde han studieopphold ved Cornell University i USA, hvor han spesielt arbeidet med dynamikken i plantenes næringsopptak i jord.

I 1978 ble Gotfred Uhlen tildelt doktorgraden i landbruksvitenskap (dr. agric.) ved Norges landbrukshøgskole på avhandlingen "Nutrient leaching and surface runoff in field lysimetre on a cultivated soil." Dette var et grunnleggende arbeid når det gjaldt avrenning fra jordbruksarealer. Uhlen har ellers en betydelig produksjon som omfatter vitenskapelige artikler. Hans publikasjoner vitner om et vidt interessefelt. I sin tidlige karriere arbeidet han med kalkings- og gjødslingsspørsmål, både med sikte på praktisk rådgiving og i tilknytning til studier av kjemiske jordanalysemetoder. En hovedinteresse hos Uhlen har vært de langsiktige virkninger av endringer i gjødsling og driftsform på jordas produksjonsevne. Humusinnholdet har her vært et nøkkelord. Interessen for disse spørsmål førte til at det i 1950- og 1960-åra ble startet omfattende, fastliggende gjødslings- og omløpsforsøk. Slike forsøk gir i dag verdifulle resultater, samtidig som de kan nyttes av andre forskere til spesialstudier.

Uhlen har i mange år hatt hovedansvaret for undervisningen i generell planteernæring og gjødsling. Han har lagt ned mye arbeid i ajourføring og fornying av faget. Dessuten har han vært lærer og veileder for et stort antall studenter med hovedoppgave innen fagområdet. Han har også vært veileder for flere dr.scient.-studenter.

Den praktiske nytten av forskningen har vært en ledetråd for Uhlens arbeid. Dette har resultert i god kontakt til praktisk jordbruk, veiledningstjenesten i landbruket og til offentlig forvaltning. Han har vært mye benyttet som foredragsholder, og har skrevet et stort antall fagartikler. Han har videre lagt ned et stort arbeid når det gjelder utviklingen av EDB-basert gjødslingsplanlegging. Dette var et nytt felt hvor det var behov for et omfattende utviklings- og oppfølgingsarbeid. I dette arbeidet har Uhlen hatt en sentral oppgave.

Uhlen har vært med i en rekke rådgivende og styrende organer innen jordbruksforskningen og har vært aktiv innen nordisk samarbeid. Her skal gis en oversikt over de viktigste verv han har innehatt:

Formann og medlem i Utvalg for gjødslingsforsøk under Rådet for jordbruksforsøk 1956-73.

Medlem av Utvalg for utredning av den lokale forsøksvirksomheten i jord- og hagebruk 1969-70.

Medlem av redaksjonskomite for Forskning og forsøk i landbruket 1961-66.

Medlem av redaksjonskomite for Meldinger fra NLH 1978-84.

Medlem i styret for Statens forskningsstasjoner i landbruk 1979-83.

Medlem av SFLs jordutvalg.

Medlem av styret for GEFO 1984-88.

Formann i det første utvalg for vurdering av tiltak i landbruket etter radioaktivt nedfall fra Tsjernobyl 1986.

Formann i styret for Isotoplaboratoriet 1972-90.

Uhlen var instituttstyrer i perioden 1984-87, og har ellers vært med i flere utvalg og komiteer ved NLH.

En vil med denne artikkelsamlingen hedre professor Gotfred Uhlen for hans innsats. De fleste artikler behandler emner som Uhlen har arbeidet med, og artikkelsamlingen er således et uttrykk for bredden i hans forskning.

Ås, september 1993

Ingvar Lyngstad

Steinar Tveitnes

Bal Ram Singh

## SKRIFTLIGE ARBEID

1. Uhlen, G. 1950. Vekselvirkningen mellom kløvermengda i enga og effekten av kvelstoffgjødning. Tidsskr. for Det Norske Landbr. 57: 43-58.
2. Ødelien, M. & G. Uhlen 1952. Lysimeterforsøk på Ås. I. Avløpsmengden 1938-49. II. Forsøk med kalking og kaliumgjødning 1943-46. Meld. Norg. Landbr.Høgsk. 32: 111-149.
3. Uhlen, G. 1953. Orienterende forsøk med meitemark. Forsk. fors. landbr. 4: 161-183.
4. Uhlen, G. 1954. Investigations at the Tecina Tomato Farm 1953-54. Rapport skrevet for oppdragsgiverne Fred Olsen og Co. 28 s.
5. Semb, G. & G. Uhlen 1955. A Comparison of Different Analytical Methods for the Determination of Potassium and Phosphorus in Soil Based on Field Experiments. Acta Agric. Scand. 5: 44-68.
6. Semb G. & G. Uhlen 1955. A Comparison of the Sodium Bicarbonate Method and the Lactate Method for the Determination of "Available" Phosphorus in the Soil. Acta Agric. Scand. 5: 387-389.
7. Uhlen, G. 1955. Forsøk med ulik gjødslingstid til poteter. Norsk Landbruk 74: 129-130.
8. Uhlen, G. 1956. Noen langvarige gjødslingsforsøk på Østlandet. Forsk. fors. landbr. 7: 33-79.
9. Uhlen, G. 1957. Forrådgjødsling med fosfor og kalking til jord i dårlig fosfortilstand på Østlandet. Forsk. fors. landbr. 8: 295-328.
10. Uhlen, G. 1959. A technique for studying the dynamic behaviour of the soil-plant system, with special reference to the effect of soil acidity and lime applications. 117 s. + tabeller. Dette er en teknisk rapport til National Academy of Sciences og Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd. Den finnes også i biblioteket ved Agronomy Department, Cornell University, men er ikke publisert på annen måte.
11. Uhlen, G. & G. Semb 1962. Sammenligning av AL-metoden og tidligere brukte metoder for kalium- og fosforanalyse i jordprøver fra forsøksfelter. Forsk. fors. landbr. 13: 189-207.
12. Uhlen, G. 1963. Noen virkninger av ulike vekstomløp. Forsk. fors. landbr. 14: 53-74. (I festskrift for professor M. Ødelien).

13. Uhlen, G. 1963. Hva forteller omløpsforsøkene? *Jord og Avling* 1963: (4)5-7.
14. Uhlen, G. 1963. Kalk og kalking. *Gjødsling og jordforbedring* 1963: 39-44. Norsk Landbruks Forlag, Oslo.
15. Uhlen, G. 1963. Rasjonell gjødselspredning - eller? *Jord og Avling* 1963: (3) 15-16.
16. Uhlen, G. & K. Steenberg 1965. Virkningen av fosfor gitt på overflaten og til ulike dybder i eng. *Forsk. fors. landbr.* 16: 115-128.
17. Uhlen, G. 1965. Bladjødsling til jordbruksvekster. *Jord og Avling* 1965: (1)7-9.
18. Uhlen, G. 1965. Fosfor- og kaliumbehovet ved korndyrkning på Sør-Østlandet. *Jord og Avling* 1965: (2) 35-38.
19. Uhlen, G. 1965. Hvorfor flerårige forsøksfelter? *Jord og Avling* 1965: (3) 17-18.
20. Uhlen, G. 1967. Forelesninger i gjødsellære, NLH. Del I, hefte 2. Hjelpemidler til vurdering av gjødsel- og kalkbehov. 2. utg. 63 s. Landbruksbokhandelen/Universitetsforlaget, Vollebakk/Oslo.
21. Uhlen, G. 1967. I: *Håndbok i gjødsling* (Red.: G. Uhlen). Bøndenes Forlag. Oslo. 239 s. Plantenes næringsforsyning fra jorda. s. 21-26. Hjelpemiddel for vurdering av gjødselbehovet. s. 27-44. Husdyrgjødsel og organisk gjødselslag. s. 79-93. Gjødsling til korn og oljevekster. s. 114-132.
22. Uhlen, G. 1967. Hva med meitemarken ved ensidig korndyrkning? *Jord og Avling* 1967: (4) 11-12.
23. Uhlen, G. 1967. Moldinnholdet i jorda. Virkning av driftsform og gjødsling. *Jord og Avling* 1967: (4) 21-23.
24. Uhlen, G. 1967. Hvordan gjødsles det til eng og beite? *Samvirke* 62: 763-767.
25. Uhlen, G. 1967. Virkninger av eng i omløpet på jordas produksjonsevne, næringstilstand og moldinnhold. N.J.F. Kongress, Seksjon I. Fortrykk, s. 48-53. København 1967.
26. Uhlen, G. 1968. Nitrogengjødsling til ettårig raigras. *Jord og Avling* 1968: (3) 5-8.
27. Uhlen, G. 1968. Gjødsling i tida framover. Faglige perspektiver for 1970-årene. *Ny jord* 53: 207-212.
28. Uhlen, G. 1968. Jord-plantesystemet med særlig vekt på betydningen av jordvæsken. Seminar i planteernæring, NLH 1968. Stensiltrykk, s. 113-133.
29. Uhlen, G. 1969. Bruker vi nok gjødsel? *Jord og Avling* 1969: (3) 15.



30. Uhlen, G. 1969. Jordbruket og forurensningene. Tilførsel av plantenæringsstoffer til vassdrag fra dyrka mark. *Jord og Avling*. 1969: (4) 16-18.
31. Uhlen, G. 1969. Mulighetene for økt planteproduksjon ved sterkere gjødsling og bedre jordkultur. Foredrag ved Ressursutvalgets kontaktmøte i Ås. 1969. Stensilert, 9 s.
32. Uhlen, G. 1970. Kunstgjødselsprosjektet i bomull i Kenya. Del II. Faglig vurdering av prosjektet m.m. Rapport til NORAD. 1970. 15 s.
33. Uhlen, G. 1970. Vurdering av jordanalyser for jordbruksvekster. I: Kjemiske jordanalyser til rettleiing om gjødsling og kalking. s. 32-56. Landbruksdepartementet, Oslo.
34. Uhlen, G. 1970. Nitrogengjødsling og grasproduksjon ved flere gangers slått. *Jord og Avling* 1970: (3) 4-7.
35. Uhlen, G. 1970. Kaliumgjødsling og kaliumbalanse ved grasproduksjon. *Jord og Avling* 1970: (3)17-19.
36. Uhlen, G. 1970. Virkningen av nyere gjødselslag på kalktilstanden i jorda. *Jord og Avling* 1970: (4) 7-10.
37. Uhlen, G. 1970. Gjødsling til korn. Gjødsling og jordforbedring. 8. utg. 1970: 29-35. Landbruksforlaget, Oslo.
38. Uhlen, G. 1971. Vannforurensning fra dyrka mark. *Vann* 6: 165-173.
39. Uhlen, G. 1971. Virkning av halmnedpløying. Norske forsøksresultater. NJF-Kongress, Seksjon I. Fortrykk, s. 6-12. Uppsala 1971.
40. Uhlen, G. 1972. Store kalkmengder i jordbruket. Plantedyrkingsmøte NLH 1972. Stensiltrykk, 7 s.
41. Uhlen, G. 1972. Norske omløpsforsøk. NJF arbeidsgruppe for vekstfølgeforsøk. Lyngby 1972. Stensilert, 7 s.
42. Uhlen, G. 1973. The effect of ploughed in cereal straw on yields and soil properties. *Meld. Norg. Landbr. Høgsk.* 52: (10) 1-21.
43. Uhlen, G. 1972. Jorda som resipient. I: Forurensninger. Vedlegg til Stortingsmelding nr 71 for 1972-73: 130-141.
44. Uhlen, G. & A. Bylterud 1972. Jordbruk og skogbruk. I: Forurensninger. Vedlegg til Stortingsmelding nr. 71 for 1972-73: 169-178.

45. Uhlen, G. 1973. Forurensning ved avrenning etter spredning av husdyrgjødsel om vinteren. NJF-symposium. Bløtgjødsel. Ultuna 1973. Sveriges Lantbruksuniversitet, Avd. för växtnäringslära. Rapport 81: 43-52.
46. Uhlen, G. 1973. Mekanismene bak jordas produktivitet. Forholdene i dyrka jord. Forelesningsrekke ved Bergen Univ. 1973. Stensilert, 15 s.
47. Uhlen, G. 1974. The effect of silage effluent on soluble phosphorus, iron, manganese, and nitrogenous compounds in submerged soil. Acta Agric. Scand. 24: 267-272.
48. Uhlen, G. 1974. The effect of calcium silicate in barley pot experiments. J. Scient. Agric. Soc. Finland. 46: (3)296-306. (Festschrift for professor M. Salonen).
49. Uhlen, G. 1974. Husdyrgjødsel - bondens gull eller stor forurensningskilde? Norsk Landbruk 93: (4) 16-17.
50. Uhlen, G. 1974. Husdyrgjødsel - arealbehov for spredning. Norsk Landbruk 93: (5) 8-9.
51. Uhlen, G. 1974. Plengjødsling. Noen forsøksresultater. Norsk Hagetidend 1974: 181-184.
52. Uhlen, G. 1974. Hvor mye bundet nitrogen tilføres fra atmosfæren? Vann 9: 104-105.
53. Uhlen, G. 1974. Omløpsforsøk. Noen resultater fra 10 lokale forsøk på Sør-Østlandet. Plantedyrkingsmøte NLH 1974. Stensiltrykk, 11 s.
54. Uhlen, G. 1974. Forelesningsnotat 1-4. Forurensningslære FM2, NLH. 30 s.
55. Uhlen, G. 1974. Skadevirkninger på jordbruket ved regulering av inntaksmagasinet til Djupdal Kraftanlegg. Betenkning avgitt 15. des. 1974 til Buskerud Kraftverker i forbindelse med konsesjonssøknad. 11 s.
56. Uhlen, G. 1975. Fosfor- og kaliumbehovet i følge forsøksresultater i korn på Sør-Østlandet de siste 10 år. Konsekvenser av de nye gjødselpriser. Plantedyrkingsmøte NLH 1975. Stensiltrykk, 9 s.
57. Uhlen, G. 1975. Virkninger av eng og åpenåkerdrift på visse jordegenskaper og på avlingene av vårkorn i de etterfølgende år. Nordisk Jordbr.forskn. 57: 1124-1127.
58. Uhlen, G. 1976. Nutrient leaching and surface runoff in field lysimetres in a cultivated soil. VIII Intern. Fertilizer Congr. Section 4. II: 151-160. Moskva 1976.

59. Uhlen, G. 1976. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers and farm manure in long-term experiments with rotation crops in Norway. *Ann. Agron.* 27: 547-564.
60. Uhlen, G. 1976. Avrenning i feltlysimetre ved NLH. I. Metodikk, forsøksopplegg og vannmengder. II. Virkningen av slam på avling og avløpsvann. Forskningsprogram for rensing av avløpsvann. PRA 3.3. NLH 1976. 20 s.
61. Uhlen, G. 1977. Forurensning fra husdyrgjødsel. Hvorfor restriksjoner på vinterspredning. *Norsk Landbruk* 96: (19) 4-5, 8-9, 47.
62. Uhlen, G. 1978. Nutrient leaching and surface runoff in field lysimetres on a cultivated soil. I. Runoff measurements, water composition and nutrient balances. *Meld. Norg. Landbr.Høgsk.* 57: (27) 1-26.
63. Uhlen, G. 1978. Nutrient leaching and surface runoff in field lysimetres on a cultivated soil. II. Effect of farmyard manure spread on a frozen ground and mixed in the soil on water pollution. *Meld. Norg. Landbr.Høgsk.* 57: (28) 1-23.
64. Uhlen, G. 1978. Nutrient leaching and surface runoff in field lysimetres on a cultivated soil. III. Seasonal variation in chemical composition of the drainage water. *Meld. Norg. Landbr.Høgsk.* 57: (29) 1-22.
65. Uhlen, G. 1978. Virkningen av fullgjødsel på behovet for kalking. Etterutdanningskurs NLH Asker 1978. Stensiltrykk, 15 s.
66. Uhlen, G. 1979. Virkningen av fullgjødsel, superfosfat og halmnedpløying på behovet for kalking. *Jord og Myr* 3: 20-29.
67. Uhlen, G. 1979. Virkning av planterester på smeltevannets kjemiske sammensetning. *Vann* 14: 140-143.
68. Uhlen, G. 1979. Næringsstoff- og humusbalanse i langvarige gjødslings- og omløpsforsøk. *Nordisk Jordbr. forskn.* 61: (1) 170-171.
69. Uhlen, G. 1979. Om urea, kalksalpeter og andre nitrogengjødselslag. *Norsk Landbruk* 98: (5) 18.
70. Uhlen, G. 1979. Kunstgjødsel og miljø. Nitratutvasking i veksttida. *Norsk Landbruk* 98: (14) 11, 15.
71. Uhlen, G. 1979. Kunstgjødsel og miljø. Nitrogen, den viktigste enkeltfaktor. *Norsk Landbruk* 98: (16) 6-7.
72. Uhlen, G. 1980. Surface runoff and the use of farm manure. In: EEC-Workshop on Nitrogen Losses and Surface Runoff. Johnstown Castle, Wexford, Ireland 20.-22. May 1980. 9 s.

73. Uhlen, G. 1980. Gjødsling og kalking. Hejes lommealmanakk 1980: 63-76. Revidert hvert år til 1993.
74. Aresvik, O., J. Omholt, G. Uhlen og T. Aase 1980. Fertilizer Evaluation Mission to Pakistan 1980. Mission Report. NORAD-NLH. 50 s.
75. Uhlen, G. 1981. Virkning av eng i omløpet, husdyrgjødsel og halmnedpløying på kornavling og på jordas moldinnhold. Institutt for jordkultur, NLH. Serie B 1/81. 12 s.
76. Uhlen, G. 1981. Overflateavrenning av næringsstoffer og muligheter for å redusere slik stofftransport. Institutt for jordkultur, NLH. Serie B 6/81. 9 s.
77. Uhlen, G. 1981. Control measures for water pollution arising from animal production in Norway. United Nations, ECE. AGRI/SEM.14/R30, WATER/SEM.8/R30. Geneva, 15.-18. September 1981. 5 s.
78. Uhlen, G. 1981. Planteernæring og gjødsling. Del II. Husdyrgjødsel og organiske gjødselslag. Forelesningshefte, 115 s. Landbruksbokhandelen, Ås-NLH.
79. Bærug, R. & G. Uhlen 1982. Handelsgjødsels miljøvirkninger. NLVF. Sluttrapport nr 459, 16 s.
80. Uhlen, G. 1982. Planteernæring og gjødsling. Del III. Kunstgjødsel og kalk. Forelesningshefte, 118 s. Landbruksbokhandelen, Ås-NLH.
81. Uhlen, G. og K. Steenberg 1982. The residual effects of phosphorus fertilizers as measured by an isotopic method and by chemical soil tests. Meld. Norg. Landbr.Høgsk. 61: (11) 1-9.
82. Uhlen, G. og D. Rød 1983. Rammeforsøk sammenlignet med kar- og markforsøk for måling av virkningen av fosfor- og kaliumgjødsling. Meld. Norg. Landbr.Høgsk. 62: (23) 1-14.
83. Uhlen, G. 1983. Plantenæringsstoffer fra landbruk som forurensning i vassdrag. Nord. Jordbr.forskn. 65: 521-522.
84. Uhlen, G. og R. Bærug 1984. Planteernæring og gjødsling. Del I. Forelesningshefte, 190 s. Landbruksbokhandelen, Ås-NLH.
85. Uhlen, G. 1984. Overdosering med fosforgjødsel. Norsk Landbruk 103:(14)46-47.
86. Uhlen, G. 1984. Jordbruk og miljø. I: "Det gjelder vårt livsmiljø." Norges Naturvernforbund. NKS-forlaget 1984. s. 95-108.
87. Uhlen, G. 1985. Jordanalyse og gjødselplanlegging i dagens planteproduksjon. Inst. for jordkultur, NLH. Serie B 13/85. 12 s. + tabeller.

88. Uhlen, G. 1985. The Toxic Effect of Aluminium on Barley Plants in Relation to Ionic Composition of the Nutrient Solution. I. Water culture experiments. *Acta Agric. Scand.* 35: 265-270.
89. Uhlen, G. 1985. The Toxic Effect of Aluminium on Barley Plants in Relation to Ionic Composition of the Nutrient Solution. II. Soil Solution Studies. *Acta Agric. Scand.* 35: 271-277.
90. Uhlen, G. 1985. Avrenningstap av N og P ved ulike vekstsystemer. *Nordisk Jordbr.forskn.* 67: 454-455.
91. Uhlen, G. 1985. Plantenæringsstoffer fra landbruk som forurensning i vassdrag. Seminar i Norsk Vannforskning. *Vann* 20: 2-5.
92. Uhlen, G. 1986. Jordbrukets driftsformer og jordsmonnet. *Høgskoledagene 1986. Aktuelt fra SFFL 1987: (5)* 57-64.
93. Uhlen, G. 1986. Overflateavrenning fra grasarealer. NLVF. Sluttrapport nr 645, 11 s.
94. Uhlen, G. 1986. Nitrogenbalanse og nitrogentilstand i jord ved ulik vekstfølge og gjødsling. NJF-seminar nr 90. Uppsala. Fortrykk, 4 s.
95. Uhlen, G. 1986. Verdien av næringsstoffene i husdyrgjødsel for planteproduksjonen. NJF-seminar nr 113. Vestby, Norge. Fortrykk, 6 s.
96. Uhlen, G. og S. Skøien 1986. Virkninger av ulike vekstomløp på jordens produksjonsevne og moldinnhold. NJF-seminar nr. 106. Seksjon I, II og IV. Uppsala 12.-13- november 1986. Foredrag nr. 4, 5 s.
97. Uhlen, G. og L.E. Haugen 1987. Undersøkelser av radiocesium i noen fjellbeiter i Oppland. I: Rapport med delresultater og forslag til tiltak mot virkningen av radioaktivt nedfall i forbindelse med Tsjernobylulykken i 1986 (Red.: G. Uhlen). Kapittel E. 17 s. NLVF, Oslo/Ås, februar 1987.
98. Uhlen, G. 1987. Gjødsling, økonomi og forurensning. *Aktuelt fra SFFL 1987: (3)* 50-60.
99. Uhlen, G. 1987. Fosforbinding og fosforutvaskning. Kurs for fylkesagronomer. Mære 1987. Stensilert, 9 s.
100. Uhlen, G. og H. Lundekvam 1988. Avrenning av nitrogen, fosfor og jord fra jordbruk 1949-1979/88. Rapport nr. 7. Landbrukspolitikk og miljøforvaltning. SEFO-NTNF. 31 s.
101. Uhlen, G. 1988. Næringsstoffbalanse og tap av nitrogen, fosfor og kalium ved forskjellig gjødsling og driftsform i landbruket. Forurensningsseminar, NLH-Sem, april 1988. Stensilert, 14 s.

102. Uhlen, G. 1989. Nutrient leaching and surface runoff in field lysimeters on a cultivated soil. Nutrient balances 1974-81. Norwegian Journal of Agricultural Sciences 3: 33-46.
103. Uhlen, G. 1989. Surface runoff losses of phosphorus and other nutrient elements from fertilized grassland. Norwegian Journal of Agricultural Sciences 3: 47-55.
104. Uhlen, G. 1989. Bærekraftig åkerbruk i Norge. Høgskoledagene 4.-5. september 1989. IJF Rapport 2/91. 11 s.
105. Svensson, B. og G. Uhlen 1990. Nitrogenomsetningen i landbruket. Utredning, etter oppdrag av Landbruksdepartementet. 64 s.
106. Uhlen, G. 1990. Langtidseffekter av gjødsling, vekst-omløp og halmnedpløying på N- og C-innhold i jord. NJF-utredning/rapport nr 57, 1990: 111-122.
107. Uhlen, G. 1991. Long-term Effects of Fertilizers, Manure, Straw and Crop Rotation on Total-N and Total-C in soil. Acta Agric. Scand. 41: 119-127.
108. Børresen, T. & G. Uhlen 1991. Jorderosjon og fosfortap ved overflateavrenning i feltlysimeter i Ås vinteren 1989/90. Norsk landbruksforskning 5: 47-54.
109. Uhlen., G. 1991. Nitrogenomsetning og nitrogentap i jordbruket. NLH-Sem 9.-11. oktober. Rapport IJF 5/1991. 15 s.
110. Uhlen, G. 1991. Fosforbehov hos planter sett ut fra et forurensningssynspunkt. I: Dyrking og utnytting av førvekster. SFFL. Faginfor 1991: (3) 110-118.
111. Uhlen, G. 1991. Grunlaget for parametre brukt i gjødslingsplanlegging. I: Dyrking og utnytting av førvekster. SFFL. Faginfor 1991: (3) 128-138.
112. Haugen, L.E., P.E. Jansson, N. Konovalov & G. Uhlen 1992. Simulation of surface runoff and pipe drainage (SOIL- model) from a field lysimeter on cultivated soil at Ås, Norway, 1973-81. Norwegian Journal of Agricultural Sciences 6: 59-72.
113. Uhlen, G. & J.G. Østerud 1992. Nitrogen, fosfor og kalium i grøftevannsprøver fra dyrket mark. Norsk landbruksforskning 6: 61-72.
114. Uhlen, G., L.E. Haugen & A.G. Kolnes 1992. Avrenningsundersøkelser i lysimetre på Ås. Forsøksanlegg og resultater 1989/91. Norsk landbruksforskning 6: 73-91.
115. Uhlen, G. 1992. Fosforgjødsling og forurensningsrisiko. Konferanse om gjødsling og forurensning, Bergen 1992. Rapport IJF 7/1992. 13 s.
116. Haugen, L.E. & G. Uhlen 1992. Transport av radionukleider i jord og opptak i planter og sopp. I: Radioaktivt nedfall fra Tsjernobylulykken (red.: T.H. Garmo & T.B. Gunnerød). Sluttrapport, NLVF 1992: 43-64.

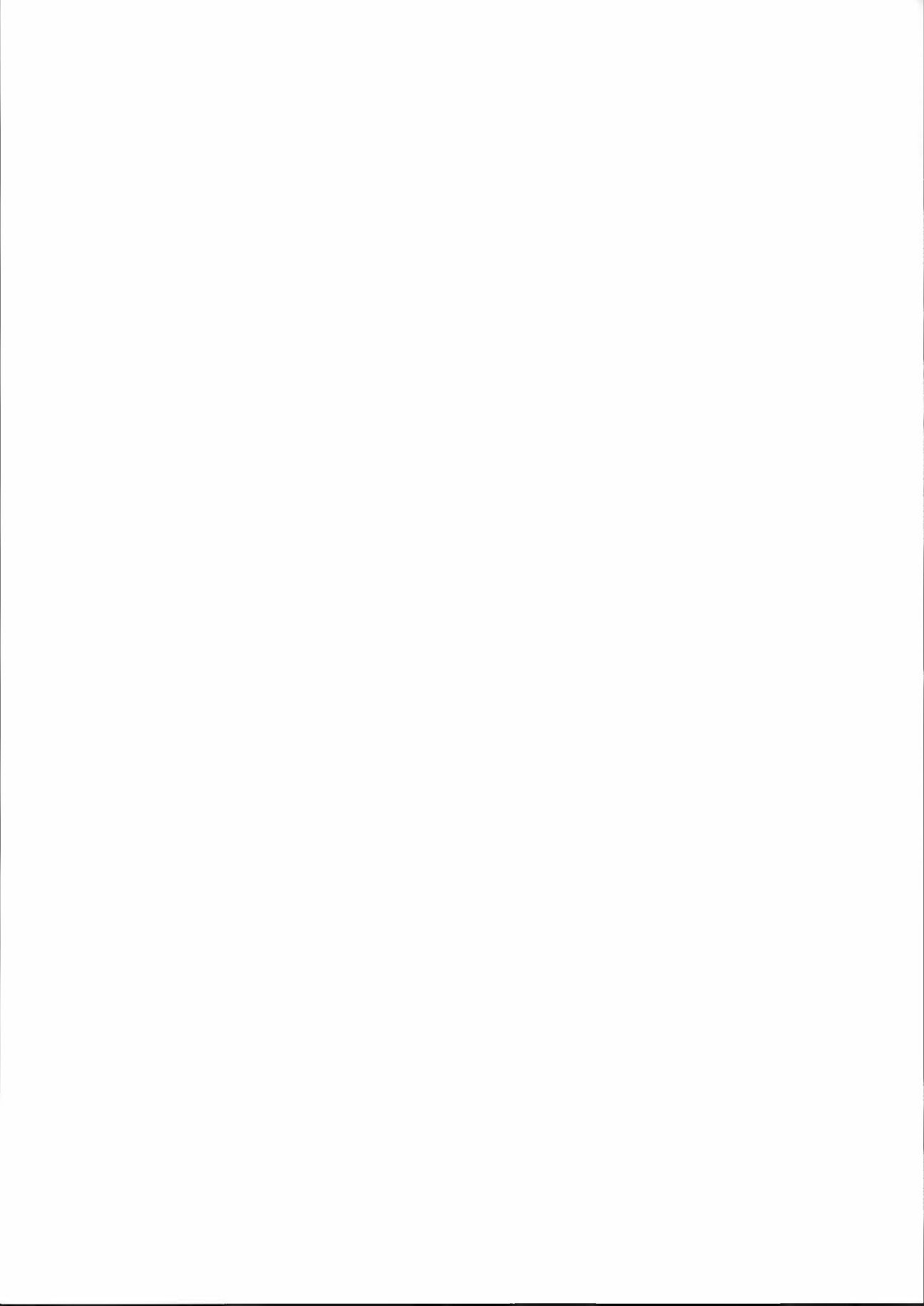
117. Haugen, L.E. & G. Uhlen 1992. Tiltak for å redusere radiaktivt cesium i plantemateriale. I: Radioaktivt nedfall fra Tsjernobylulykken. (Red.: T.H. Garmo & T.B. Gunnerød). Sluttrapport, NLVF 1992: 65-79.

# INNHold

		Side
Betydningen av fastliggende, langvarige forsøk	Arnor Njøs . . . . .	17
Effekter av jordart, vanning og gjødsling på jordrespirasjon <i>Effects of soil, water regimes and fertilizer levels on soil respiration</i>	Lars Egil Haugen & Rolf Arnt Olsen	22
Dynamics of trace element movement in the soil-root influence	Niels Erik Nielsen . . . . .	36
Sink som plantenæringsstoff. Oversikt over arbeidet i Noreg	Ivar Aasen . . . . .	46
Vurdering av plantetilgjengeligheten av akkumulert fosfor i jord ved hjelp av isotopfortynningsmetoden ( <sup>32</sup> P) <i>Estimation of plant availability of residual phosphorus in soils using the isotopic dilution technique</i>	Bal Ram Singh . . . . .	55
Effekt av förfrukt och växtföljd på . . . . markens kväveleverans <i>Effects of crop rotation and previous crop on N-uptake</i>	Jan Persson & Lennart Mattsson .	63
Langvarige vrikninger av vekstomløp, . . husdyrgjødsel og halmnedpløying på jordas struktur	Svein Skøien . . . . .	71
Prognoser av behovet for N-gjødsling . . <i>Prediction of nitrogen fertilizer requirements</i>	Hugh Riley, Unni Abrahamsen & Ole Fugleberg . . . . .	78
Virkning på jord og avling av under- . . vekster i korn i feltforsøk på Apelsvoll og Staur. <i>The effect on soil properties and yields of two years' continous undersown cover crops in cereals in field experiments at Apelsvoll and Staur</i>	Trond Børresen & Ragnar Eltun .	94



<p>Ulike husdyrgjødselslag og -fraksjoner .          til eng, korn og grønnforvekster  <i>The effects of various manures and          manure fractions in grassland, small          grains and green fodder crops</i></p>	<p>Steinar Tveitnes &amp; Ingvar Lyngstad</p>	<p>111</p>
<p>Avrenning, erosjon og stofftap ved ulike          dyrkingssystem og jordarter i Akershus/          Østfold  <i>Runoff, erosion and nutrient losses          under different cultivation systems and          soil types in Akershus/Østfold</i></p>	<p>Helge Lundekvam . . . . .</p>	<p>124</p>
<p>Virkingen av ulike størrelsesfraksjoner          av kalkstein og dolomitt på pH i jord  <i>The effect of particle size of calcitic          and dolomitic limestones on pH in soil</i></p>	<p>Ingvar Lyngstad . . . . .</p>	<p>142</p>



# Betydningen av fastliggende, langvarige forsøk

ARNOR NJØS  
JORDFORSK, Ås

I 1993 er begrepet bærekraftig utvikling, som ble innført ved Brundtlandrapporten "Our Common Future" (1987), et honnørbegrep som fortsatt brukes i forskningssøknader, stortingsmeldinger og massemedia. En bærekraftig eller holdbar utvikling i landbruket forutsetter at produktiviteten ikke går ned over tid, at kvaliteten av miljøet ikke avtar og at ressursgrunlaget blir bevart. Det sentrale er å opprettholde produktivitet over tid, hvor tid bør sees over minst en generasjon. Jordbrukssystemer må studeres i fastliggende forsøk og jordbruksområder ved overvåking av nedbørfelter. Samtidig som vi ser nødvendigheten av langsiktighet, opplever vi to andre krefter i forskningen, nemlig kortsiktighet ved satsing på kortvarige prosjekter og publiseringspress som driver fram en slags publiseringsssyke bygd på kortvarige undersøkelser. Dermed blir det vanskelig å finansiere langsiktig forskning (Army & Kemper, 1991). Ved en evaluering av jordforskningen i Norge i 1992 ble jordkulturdelen ved Institutt for jord- og vannfag, NLH kritisert for å bruke tid og krefter på langvarige forsøk!

## EKSEMPLER PÅ LANGVARIGE FORSØK INNEN JORD- OG PLANTEKULTUR

De klassiske forsøkene ved Rothamsted i England ble startet av John Lawes i samarbeid med Henry Gilbert i 1843. I USA (se f.eks. Mitchell et al., 1991) har vi Morrow Plots ved University of Illinois fra 1876, Sanborn field i Missouri fra 1888, Magruder plots i Oklahoma fra 1892 og "Old Rotation" i Alabama fra 1896. I Tyskland ble forsøkene i Halle startet i 1878, i Danmark 1896 på Askov, i Russland 1912 ved Moskva, i Polen 1923 i Skierniewice, i Australia 1926 i Adelaide.

The Rothamsted Classical Experiments vil alltid stå i et spesielt lys. Johnston (1993) har gitt en utmerket beskrivelse av hvordan de ble til og hvordan de utviklet seg. Lawes og Gilbert er ett av de radarpar som kan betraktes som klassiske. Lawes hadde eiendommen og annen kapital, var fabrikkeier og hadde et godt hode og en god utdanning. Gilbert var den nøyaktige vitenskapsmann. Vi kan godt sammenligne med Eide og Birkeland i norsk industrihistorie, Hindenburg og Ludendorf fra krigshistorien, eller Adenauer og Erhard fra moderne økonomisk historie. Jenkinson (1991) hevdet at The Classics ble startet for å studere plantenes behov for N, P, K, Na, Mg og Si i det engelske jordbruket i 1840-årene. Metodikken var å sammenligne uorganiske næringsstoffer i forskjellige kombinasjoner med husdyrgjødsel. Forsøkene har blant annet vist at kornavlinger kan opprettholdes og økes over en periode på fem generasjoner eller 150 år, for hvete etter hvete, eller bygg etter bygg. Andre viktige resultater er utviklingen over tid av organisk materiale og N-balansene. De lagrede jordprøvene fra starten (store prøver i glassbeholdere) har vært brukt til metodeutvikling og til studier av endringer over de lange tidsperiodene. Det samme gjelder

## 18 Betydningen av fastliggende, langvarige forsøk

planteprov. Det har bl.a. vært mulig å måle radioaktivt karbon i jorda før og etter atombombeprovene først på 1960-tallet. Når nye metoder ble tilgjengelige, har de gamle prøvene i arkivet vært og er svært nyttige.

Også i økologiske og klimatiske studier er de klassiske forsøkene uhyre verdifulle. Vi bør nevne betydningen av de klassiske forsøkene for utviklingen av moderne statistikk, ved toppfolk som R. A. Fisher og F. Yates. I virkelighet var mangelen på gjentak årsaken til Fisher's grunnleggende arbeid med ny forsøksmetodikk. Den fikk betydning langt utenfor landbruket. Jenkinson (1991) nevner at forsøksrutene må være så store i starten at det er mulig å legge inn nye behandlinger uten å skade de opprinnelige ved f.eks. rutedeling. På denne måten kan ny teknologi tas inn. Altså, ikke starte uten grundig overveieelse, og når forsøkene først er igang skal de helst ikke legges ned eller endres uten etter svært grundig gjennomtenking. For egen regning vil jeg føye til at det farlige er forskere som ikke skjønner langsiktige endringer og treghet i jord, og som derfor forandrer behandlinger brutalt uten tanke på hvor mange år det kan ta før det oppnås ny stabilitet. Som et varsko til slike perspektivløse og klåfingrede forskere - og i noen tilfelle administrative ledere - er det nyttig å dra fram ett eksempel fra et byggforsøk på Rothamsted. Fra 1852 til 1871, ca. 20 år, ble det gitt 3.5 tonn/daa husdyrgjødsel pr. år. Mer enn 100 år etterpå er det fortsatt mer organisk materiale etter denne behandlingen enn der det ikke var gitt husdyrgjødsel fra starten i 1852 (Jenkinson, 1991).

Sir Richard Southwood (1993) summerte opp verdien av langvarige forsøk ved å hevde at de gir opplysninger om

- Prosesser som går langsomt, slik som suksesjoner i skog og grasmark, omsetning av vegetasjon, næringsstoff-syklus i jord og f.eks. sjeldne begivenheter, eller episoder. I jordbruket er verdien av langsiktige forsøk knyttet til
- Endringer i avling med tid, virkninger av nye dyrkingsmåter, endringer i det ytre miljø, eller til og med sosiale mønstre.
- Endringer i mønsteret for sykdommer og skadedyr med tid.
- Endringer i jordparametre, som pH, organisk materiale og forurensingsstoffer (som kan være følgestoffer i kunstgjødsel) eller endring i innsatsfaktorer utenom jordbruket.
- Måling av næringscykler i jorda for å finne de faktorer som påvirker effektiviteten av bruk av næringsstoffer og prosesser som fører til tap av næringsstoffer til omgivelsene.

Brown (1991) nevner at langvarige forsøk og observasjoner er spesielt nyttige for å måle samspilleffekter jord x plante x omgivelser. Jorda er en buffer, derfor må jorda overvåkes over tid for å måle netto virkninger av jordbehandling.

De gamle reglene fra Brandt (1945) for vekstfølgeforsøk var:

1. Alle vekster og behandlinger hvert år.
2. Gjentak.
3. Tilfeldig fordeling.

Brown (1991) mener det er nødvendig å ta i betraktning tre viktige forhold for å vurdere langsiktige virkninger av behandlinger:

1. Kunnskap fra flere fagområder.
2. Kommunikasjon mellom de som arbeider med langvarige forsøk.

3. Et minimum sett av målinger for at modellbyggere kan utnytte data:
- Værforhold
  - Behandlingsaktiviteter
  - Jordparametre
  - Uvanlige hendinger
  - Avlingsmålinger

Menzel (1991) hevder at virkninger på miljøet kan måles i lysimetre og grøfteavløp fra nedbørfelter, samt i grunnvannet. Strømmene og dermed endringene i grunnvannskvalitet tar lang tid, likedan virkningene av jordbruksmessige tiltak. Han mener at fordi det er så kostbart med studier av nedbørfelter, kan tall fra lysimetre og grøtefelter brukes til å utvikle modeller som kan testes ved hjelp av tall fra nedbørfelter.

Jones et al.(1993) har pekt på den store verdien langvarige forsøk og et prøvearkiv har for å studere virkninger av forurensinger på jord.

Acock & Acock(1991) hevder at for vekstmodeller er langvarige forsøk særlig verdifulle, fordi bl.a. ukjente virkninger av tidligere behandlinger er minimert. Fordi noen miljøfaktorer er forholdsvis faste over tid, kan visse målte virkninger bli vurdert i forhold til ukontrollerte faktorer.

## JORDKULTURFORSØKENE OG GOTFRED UHLENS FORSKNING

Forsøksgården for det tidligere Institutt for jordkultur ved NLH ble anlagt i 1910 og har vært et Rothamsted i miniatyr. Her har det vært langvarige forsøk innen vekstfølger, gjødsling, jordarbeiding. I den siste 10-årsperioden med en hovedvekt på prosjektforskning har det blitt svært vanskelig å skaffe penger til langvarige forsøk. Det har vært en generell nedlatende innstilling til feltforsøk og feltmålinger av langsiktig natur. Det har også vært en arrogant holdning til jordforskning som ikke var på linje med siste mote. Et sørgelig maksimum i uforstand ble nådd i NLVF's evaluering av jordforskningen i 1992, der det ble gitt svært negative utsagn om betydningen av langvarige feltforsøk.

Dagens satsing på bioteknologi, informasjonsteknologi og økonomi vil gå videre. Jord- og planteforskere blir i mange tilfelle sett på som dataleverandører til økonomene. Utviklingen er preget av forfall i forskningsmoralen. Det gjelder å skrive mye på kort tid - kanskje før mer langvarig forskning kan gi grunnlag for tvil om konklusjonene. Respekten for andres arbeid og tanker er på retur. Derfor legges langvarige forsøk ned, eller de endres, uten å legge vekt på den kunnskap som er lagret i jorda, jord- og planteprovne og notatene. Å legge ned et godt langvarig forsøk er som å hogge et stort tre - det er ikke lett å erstatte det. Å forandre selve treet er heller ikke enkelt.

Når kompliserte forhold skal beskrives med modeller, må det være riktig å ha med de nødvendige kunnskapsområdene. Modeller som gjelder forhold mellom jord, planter og omgivelser må først og fremst utvikles og prøves av dem som har de grunnleggende kunnskapene innen disse områdene.

Gotfred Uhlen har gjennom et langt forskerliv brukt fastliggende langvarige feltforsøk, lysimeterforsøk og feltlysemetre for å studere de langsiktige endringene i jord og avlinger som følge av forskjellige jordbehandlinger og av ulike vekstfølger (Uhlen,1963, 1967,

## 20 *Betydningen av fastliggende, langvarige forsøk*

1976, 1989, 1991).

Hans resultater har vist seg nyttige både for jordbruket og for miljøet. Det er neppe noe enkeltforsøk som har betydd mer for debatten om kunstgjødselavgifter enn et feltlysimeter i Ås. Det er bruk for trygge opplysninger når landbrukspolitiske virkemidler skal endres fra å være produksjonsrettet til å være miljørettet. Foreløpig har vi ikke noe materiale som kan erstatte langvarige forsøk.

Uhlens innsats vil bli stående lenge. Resultatene av de langvarige forsøkene og undersøkelsene blir ikke umoderne, fordi de avspeiler selve jordas reaksjonsmåte. Et buffersystem lar seg ikke drive raskt i noen retning. Det er enklere å lage et politisk vedtak om 50 prosent reduksjon av et næringsstoff i tilløpet til Nordsjøen i løpet av en 10-års periode, enn å gjennomføre det.

### LITTERATUR

- Acock, B. & M.C. Acock 1991. Potential for using long-term field research data to develop and validate crop simulators. *Agron. J.* 83: 56-61.
- Army, T.J. & W.D.Kemper 1991. Support for long-term research. *Agron. J.* 83: 62-65.
- Brandt, A.E. 1945. Principles of experimental design applied to long-term rotations. *Soil Sci. Soc. Amer.Proc.* 10: 306-315.
- Brown, J.R. 1991. Summary: Long-term field experiments symposium. *Agron. J.* 83: 85.
- Jenkinson, D.S. 1991. The Rothamsted Long-Term Experiments: Are they still of use? *Agron.j.* 83: 2-10.
- Jones, K.C., A.E. Johnston & S.P. McGrath 1993. Long-term monitoring of pollutants in soils. Rothamsted 150th Anniversary Conference. Abstracts.
- Johnston, A.E. 1993. The Rothamsted classical experiments. Rothamsted 150th Anniversary Conference. Abstracts.
- Menzel, R.G. 1991. Long-term field research on water and environmental quality. *Agron. J.* 83: 44-49.
- Mitchell, C.C., R.L. Westerman, J.R. Brown & T.R.Peck. 1991. Overview of long-term agronomic research. *Agron. J.* 83: 24-29.
- Southwood, R. 1993. The importance of long-term experiments. Rothamsted 150th Anniversary Conference. Abstracts.
- Uhlen, G. 1963. Noen virkninger av ulike vekstomløp. *Forsk. fors. landbr.* 14: 53-74. (I festskrift for professor M. Ødelien).

Uhlen, G. 1967. Virkninger av eng i omløpet på jordas produksjonsevne, næringstilstand og moldinnhold. N.J.F. Kongress, Seksjon I. Fortrykk, s. 48-53. København 1967.

Uhlen, G. 1976. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers and farm manure in long-term experiments with rotation crops in Norway. *Ann. Agron.* 27: 547-564.

Uhlen, G. 1989. Nutrient leaching and surface runoff in field lysimetres on a cultivated soil. Nutrient balances 1974-81. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 3: 33-46.

Uhlen, G. 1991. Long-term Effects of Fertilizers, Manure, Straw and Crop Rotation on Total-N and Total-C in soil. *Acta Agric. Scand.* 41: 119-127.

# Effekter av jordart, vanning og gjødsling på jordrespirasjon

## *Effects of soil, water regimes and fertilizer levels on soil respiration*

LARS EGIL HAUGEN<sup>1)</sup> & ROLF ARNT OLSEN<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Norges Landbrukshøgskole, Institutt for jord- og vannfag, Ås, Norge  
*Agricultural University of Norway, Department of Soil and Water Sciences, Ås, Norway*

<sup>2)</sup>Norges Landbrukshøgskole, Institutt for bioteknologifag, Ås, Norge  
*Agricultural University of Norway, Department of Biotechnological Sciences, Ås, Norway*

Haugen, L.E. & R.A. Olsen 1993. Effects of soil, water regimes and fertilizer levels on soil respiration. Norsk landbruksforskning. Supplement No.16: 22-35. ISSN 0802-0914.

In the spring and autumn of 1993 soil respiration was measured in 72 soil cylinders, diameter 80 cm and at a soil depth of about 100 cm. There were for different types of different soil, all from cultivated land: loam, clay loam, silt loam and loamy sand. Soil respiration was measured with a portable infrared gas analyzer EGM PP-system. The soil respiration from the loam soil was higher than that from the other soils. The soil respiration from all soils increased the first day by 26.05, after irrigation with 20 mm water. Different N-levels in inorganic fertilizer had a negligible effect on the soil respiration. The soil respiration from the treatment where farm manure was added in autumn 1992 was higher during the spring period than that from the treatments with inorganic fertilizer. In 1992 ryegrass was grown as catch crop in some of the soil cylinders on the loam and loamy sand soils. The ryegrass was mixed into the upper 5-10 cm in the soil in late autumn 1992. In spring 1993 the soil respiration was higher from the soil cylinders with ryegrass but the effect decreased during autumn 1993. Measurements of soil respiration on 16 soil cylinders (4 from each soil) all with farm manure added in autumn 1992 showed a significant linear regression with soil temperature both in a period in the spring ( $R^2=0.62$ ) and in the autumn ( $R^2=0.53$ ). The soil temperature in the spring was measured at a 0-5 cm depth and during the autumn at a 0-2.5 cm depth. For both periods the estimated increase in soil respiration from 10° to 20°C was a factor 1.8.

Key words: Fertilizer, lysimeter, soil respiration, soils.

*Lars Egil Haugen, Agricultural University of Norway, Department of Soil and Water Sciences, P.O.Box 5028, N-1432 Ås, Norway.*

Jordas innhold av organisk materiale er av betydning for mange jordfysiske og jordkjemiske egenskaper og derigjennom plantenes vekstforhold. Resultater fra langvarige feltforsøks-



serier tilknyttet hvordan ulike dyrkingssystemer påvirker jordas innhold av organisk materiale under ulike jord- og klima-forhold er derfor nødvendig for langsiktige vurderinger av forholdene for planteproduksjon. I Norge foreligger slike resultater for et svært begrenset antall jordarter og klimaforhold (Uhlen 1991). For enklere å kunne generalisere resultatene fra enkelte langvarige forsøksserier vil det være nødvendig å øke forståelsen av de prosessene som ligger bak endringene i jordas innhold av organisk materiale.

Omsetningen av organisk materiale i jorda er en funksjon av både fysiske, kjemiske og biologiske forhold i jorda og krever derfor en tverrfaglig tilnærming. Den mikrobielle nedbrytningen er i første rekke en funksjon av faktorer som jordtemperatur, jordas vanninnhold og tilgjengeligheten av organisk substrat (Jenkinson 1990). I Norge er det utført få feltundersøkelser av omsetningen av organisk materiale innen år på dyrka jord, og da i første rekke tilknyttet enkeltjordarter (Bakken 1982). Det var derfor viktig å få en oversikt over eventuelle forskjeller i jordrespirasjonen mellom ulike jordarter, gjødslingsnivåer etc. Slike sammenligninger bør skje under tilnærmet de samme klimaforhold for i størst mulig grad å redusere denne variasjonsårsaken. Modellforsøksanlegget ved Institutt for jord- og vannfag, NLH (Uhlen et al 1992), som består av forskjellige jordarter med ulik gjødsling og vanntilførsel, ga muligheter for en slik sammenligning. Resultatene presentert i denne artikkelen er fra målinger i dette anlegget i 1993.

## MATERIALE OG METODER

Undersøkelsene er utført i modellforsøksanlegget ved Institutt for jord- og vannfag, NLH. Anlegget og forsøksbehandlinger er nærmere beskrevet av Uhlen et al (1992), og her gis bare en kort oversikt. Anlegget består av 72 sylindere, 110 cm dyp og 80 cm i diameter. Forsøksplanen som er faktoriell omfatter 4 jordarter, 2 vanningsregimer og 4 gjødslingsledd. Forsøksplanen har vært den samme i perioden 1990 til 1993, og jordsylindere har hvert år vært tilsådd med toradsbygg (Pernilla). Følgende 4 jordarter alle fra dyrka jord inngår:

1. Lettleire over siltig sand (morene) fra Apelsvoll, Østre Toten. (7.3 g/100 g)
2. Mellomleire fra Øsaker, Tune i Østfold. (7.6 g/100g)
3. Siltig lettleire fra Bjørnebekk, Ås. (5.3 g/100g)
4. Siltig sand fra Larvik. (5.6 g/100g)

I parentes er gjengitt glødetap for laget 0-20 cm (Uhlen et al 1992). Verdiene er ikke korrigert for leirinnhold.

Vanningsregimene har vært:

- I. Uten ekstra vanntilførsel i sommerhalvåret og sylindere tildekkes i vinterhalvåret.
- II. Ekstra vanntilførsel i vekstsesongen, 100 mm fordelt på 5 vanninger à 20 mm. Sylindere er ikke tildekket i vinterhalvåret.

Første vanning i 1993 ble foretatt 25.05 kl 0830-0930. Hver av sylindere i vanningsregime II ble da tilført 20 mm vann, 10 l pr sylinder med vanningskanne (G. Uhlen pers. medd.).

## 24 Jordrespirasjon på ulike jordarter

Gjødslingsledd:

- a. 3 kg N pr dekar i kalkkammonsalpeter (27.6 % N)
- b. 9.5 kg N pr dekar i fullgjødning 18-3-15
- c. 16 kg N pr dekar i fullgjødning 18-3-15
- d. som a + 4 tonn pr dekar som bløt storfe gjødning om høsten.

I 1991 ble husdyrgjødsel gitt som vårgjødsling ellers har planen vært uendret frem til 1993. Husdyrgjødsel har vært innblandet i de øvre 5-10 cm av jorda i sylindrene.

Innen hver jordart er enkelte sylindere tatt som monolitter og enkelte sjiktvis fylt. For jordartene Bjørnebekk og Øsaker var halvparten av sylindrene monolitter og andre halvparten sjiktvis fylte (Uhlen et al 1992).

For to av jordartene, Apelsvoll og Larvik, ble halvparten av sylindrene tilsådd med italiensk raigras som undervekst våren 1992. Raigraset ble høstet og tørket før det ble lagt tilbake i sylindrene senhøstes 1992 (G. Uhlen pers. medd.). Innblanding av husdyrgjødsel, raigras og stubb ble utført i begynnelsen av november 1992 (G. Uhlen pers. medd.). Halmen har ikke vært tilbakeført til jordsylindrene i perioden 1990-1992. Sådato (bygg) var i 1993 for Øsaker og Bjørnebekk 29.04, Apelsvoll 30.04 og Larvik 10.05, og høstet dato for alle jordartene var 19.08.1993 (G. Uhlen pers. medd.).

Flukstettheten av CO<sub>2</sub> gjennom jordoverflate ble målt med en bærbar infrarød CO<sub>2</sub>-måler, merke EGM PP-system, ENGLAND. Den indre diameter av målekammeret som ble plassert på jordoverflaten var 10 cm med et volum på 1490 cm<sup>3</sup>. Jordtemperaturen ble målt med digitalt termometer med termistorføler for dybde 0-5 cm om våren og 0-2.5 cm om høsten. I perioden 24.05 - 28.05 ble jordtemperaturen i tillegg automatisk registrert med termistorfølere for dybde 0 - 5 cm. Dybdeangivelsen betyr at følerene var plassert vertikalt ned i jorda fra overflaten og ned til 5 cm dyp. Jordas vanninnhold ble målt ved gravimetrisk bestemmelse på samleprøver fra dybde 0-5 cm den 12.05 og 28.05. Vanninnholdet i jorda i dybde 0 - 15 cm ble målt med TDR-utstyr (Time Domain Reflectometry) den 22.08 og 09.09. Tidspunktene for måling av flukstetthet av CO<sub>2</sub> samt antall målinger er vist i tabell 1. Målingene 11.05 - 12.05 skjedde ved begynnende spiring i karene, og plantehøyden 24.05 - 28.05 var ca 10 cm. Det var ingen plantevekst i jordsylindrene ved målingene i høstperioden 1993.

Den statistiske behandlingen av dataene fra modellforsøksanlegget er foretatt som beskrevet av Uhlen et al (1992).

### **Teori - flukstetthet versus respirasjon**

I jorda forbrukes oksygen og karbondioksid produseres gjennom mikroorganismenes og planterøttens respirasjon. Forutsetter en at løseligheten av CO<sub>2</sub> i jordvannet er tilnærmet konstant og at en nedgang i oksygen-konsentrasjon ikke påvirker respirasjonshastigheten vil konsentrasjonen av CO<sub>2</sub> i jordlufta i følge Richter (1972) være bestemt av:

1. Nedbrytningsprosessenes intensitet, dvs respirasjonshastigheten.
2. Gassutvekslingen mellom jordlufta og atmosfæren.

Tabell 1. Tidspunkt for målinger av jordrespirasjon, jordas vanninnhold og jordtemperatur

Dato	Kl	Antall sylindere	Måledyp	
			Vanninnhold	Temperatur
11.05.1993	12-16	70		0 - 5 cm
12.05.1993	04-08	70	0 - 5 cm <sup>1</sup>	0 - 5 cm
12.05.1993	11-12	16		0 - 5 cm
24.05.1993	14-15	16		<sup>3</sup>
24.05.1993	16-17	16		<sup>3</sup>
24.05.1993	21-22	16		<sup>3</sup>
25.05.1993	08-09	16		<sup>3</sup>
25.05.1993	10-11	16		<sup>3</sup>
25.05.1993	14-15	16		<sup>3</sup>
26.05.1993	11-15	70		0 - 2.5 cm
27.05.1993	11-12	16		<sup>3</sup>
27.05.1993	12-13	16		<sup>3</sup>
28.05.1993	11-12	16	0 - 5 cm <sup>1</sup>	<sup>3</sup>
22.08.1993	12-16	70	0 -15 cm <sup>2</sup>	0 - 2.5 cm
09.09.1993	12-16	70	0 -15 cm <sup>2</sup>	0 - 2.5 cm
01.10.1993	10-15	70		0 - 2.5 cm

<sup>1</sup> Uttatt samleprøve med jordbor, 3 pr jordart (12.05), 3 pr jordart og vanningsregime (28.05)

<sup>2</sup> Jordas vanninnhold målt med TDR-utstyr, 1 måling pr sylinder

<sup>3</sup> Jordtemperatur målt med termistorfølere, for dypet 0-5 cm. Registreringer hvert 15. minutt

Ved de vanninnhold og temperaturer målingene er utført antas at forutsetningene tilnærmet vil være gyldige. I jord vil summen av konsentrasjonene av O<sub>2</sub> og CO<sub>2</sub> være tilnærmet konstant, 21 vol%. Laboratorieundersøkelser har vist at det er først ved lave oksygenkonsentrasjoner at respirasjonen hemmes på grunn av for liten tilgang på oksygen. Når det gjelder den andre forutsetningen beregnet Richter (1972) at en endring i jordtemperatur fra 7 til 15 °C i de øverste 30 cm i jorda ved et vanninnhold på 15 vekt-% tilsvarte en frigjøring av CO<sub>2</sub> på 0.20 g CO<sub>2</sub> pr kvadratmeter. Hvis en antar at denne oppvarmingen av jorda skjer i løpet av 6 timer så vil dette tilsvare en flukstetthet på ca 0.03 g CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> og time. For målingene i vårperioden vil dette representere ca 10% av den målte flukstettheten. Siden målingene er foretatt i periodene med liten eller ingen plantevekst vil det være den mikrobielle respirasjonen en måler.

Massebalansen i et jordsjikt kan derved settes opp som (Richter 1972):

$$e * \frac{dc}{dt} = T + P$$

e = luftfylt porevolum

c = konsentrasjon av CO<sub>2</sub> i jordlufta

t = tid

T = transport-parameter

P = produksjons-parameter

Endringen i CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen med tiden kan da beskrives som summen av en transportparameter, T, og en produksjonsparameter, P. Gassutvekslingen mellom jordlufta og atmosfæren kan skje både som massestrøm og diffusjon. Massestrøm av gass vil i første rekke være tilknyttet perioder med stor infiltrasjon, f.eks. kraftig nedbør/vanning, snøsmelting. Gassutvekslingen i jorda vil derfor i hovedsak skje ved diffusjon som kan beskrives ved Fick's lov. Transportparameteren, T, kan derved skrives som:

$$T = -D_a \frac{dc}{dz}$$

D<sub>a</sub> = diffusjons-koeffisienten for CO<sub>2</sub> i jord, z = dyp

Diffusjonskoeffisienten i jord vil være lavere enn i fri luft og er oftest angitt som en funksjon av luftfylt porevolum og porenes kontinuitet (Richter 1987). Hvis en antar stasjonære forhold, dvs. endringen i CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i jorda med tiden er null så vil produksjonen, P, være lik transporten, T. For kortere tidsperioder uten store vanninnholds- endringer er dette en rimelig antagelse (Richter 1972). Hvis en antar at massebalansen gjelder for hele jordprofilen, så vil den målte flukstettheten av CO<sub>2</sub> gjennom jordoverflaten tilsvare den totale produksjon av CO<sub>2</sub> i jorda. Senere i artikkelen blir flukstettheten omtalt som jordrespirasjon.

## RESULTATER OG DISKUSJON

Det ble valgt å foreta målingene utenom sesongen for plantevekst både for ikke å forstyrre igangværende forsøk og for å unngå problemet med å skille en eventuell rotrespirasjon fra den mikrobielle respirasjonen. På 6 datoer i 1993, 3 om våren og 3 om høsten ble jordrespirasjonen målt på alle jordsylinderene i modellforsøks-anlegget. Midlere jordtemperatur og jordas vanninnhold ved de enkelte måletidspunkt er vist i tabell 2.

Ved målingene 09.09.1993 var det store temperaturforskjeller, opptil 20 °C, i løpet av måleperioden og disse målingene er derfor holdt utenfor ved sammenligninger av effektene av forsøksbehandlingene. Resultatene tas senere med under punktet om jordrespirasjon som funksjon av temperatur.

I tilknytning til sammenligningen av jordrespirasjon på de samme datoer skal det nevnes at det kan være forskjeller i forløpet til årskurven for jordrespirasjon på forskjellige jordarter (Richter 1987). Denne effekten er i første rekke tilknyttet den tidlige vårperioden og kan skyldes både biologiske faktorer og forskjeller mellom jordarter i opptørring/oppvarming. Som eksempel kan nevnes at ei sandjord vil tørke opp og varmes opp raskere om våren enn ei siltjord. I den perioden målingene er foretatt antar vi at denne effekten har relativt liten betydning.

Tabell 2. Jordas vanninnhold og jordtemperatur på ulike måledatoer. Målemetode og prøvedyp er vist i tabell 1

Jordart	Jordas vanninnhold, vol%			Jordtemperatur, °C	
	Uvannet	Vannet	Middel	0-2,5 cm	0-5 cm
<u>11.05</u>					
Apelsvoll					23.5
Øsaker					22.2
Bjørnebekk					22.1
Larvik					22.7
<u>12.05</u>					
Apelsvoll			28.7		9.6
Øsaker			27.0		9.4
Bjørnebekk			24.1		9.1
Larvik			23.4		10.0
<u>26.05</u>					
Apelsvoll	22.3	26.8		18.6	16.8
Øsaker	25.7	31.4		19.6	17.6
Bjørnebekk	22.3	27.6		19.0	17.1
Larvik	18.9	26.5		20.0	17.7
<u>22.08</u>					
Apelsvoll	23.4	25.1		17.2	
Øsaker	26.1	27.8		17.0	
Bjørnebekk	23.3	25.3		18.8	
Larvik	23.7	25.0		19.8	
<u>09.09</u>					
Apelsvoll	22.3	22.8		10.2	
Øsaker	24.0	27.0		13.8	
Bjørnebekk	20.9	25.1		16.9	
Larvik	20.6	21.4		18.0	
<u>01.10</u>					
Apelsvoll				6.0	
Øsaker				7.4	
Bjørnebekk				8.2	
Larvik				7.5	

### Variasjon i målingene av jordrespirasjon.

Hver måling av jordrespirasjon tar ca 2 minutter og måling av alle sylindere i modellforsøksanlegget tar ca 4 timer. Over en såpass lang tidsperiode er det stor fare for at jordtemperaturen endres fra første til siste måling. For å minimalisere denne effekten er målingene hvis det har vært mulig, foretatt på overskyete dager. Selv om temperaturen ble målt i hver av jordsylindere samtidig med jordrespirasjons-målingene mangler en foreløpig gode nok funksjoner for sammenhengen mellom jordtemperatur og jordrespirasjon til at en kan standardisere resultatene til samme temperatur. Ved siden av variasjonen i temperatur over tid vil det også kunne være en variasjon både i jordtemperatur og også jordrespirasjon innen hver sylinder. Tverrsnittsarealet på kammeret for måling av jord-

## 28 Jordrespirasjon på ulike jordarter

respirasjon dekker bare ca 1.5 % av overflaten på jordsylinderen. Vi har ikke kunnet utføre en omfattende analyse av variasjonsårsaker, men for å få et visst inntrykk er en enkel sammenligning foretatt. På måledatoene 27.05. ble det foretatt to påfølgende måleserier på 16 av jordsylinderene. Ved ny måling ble nytt sted valgt tilfeldig innen hver sylinder. Jordtemperaturen økte i middel for de to måleseriene fra 20.4° til 21.1 °C for dypet 0-2.5 cm og fra 17.4° til 18.4 °C for dypet 0-5 cm. Forskjellen i jordrespirasjonen mellom to målinger innen hver jordsylinder varierte fra 0.01 til 0.36 g CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> og time med medianverdi på 0.15 g CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> og time. Denne forskjellen tilsvarer ca 20 % av den gjennomsnittlige jordrespirasjonen for begge måleseriene.

### Monolitter - sjiktvis fylte sylindere.

I følge Uhlen et al (1992) er det to fullstendige gjentak for jordartene Apelsvoll og Larvik, mens for jordartene Øsaker og Bjørnebekk består det ene gjentak av sjiktvis fylte sylindere og det andre av jordsylindere uttatt som monolitter. I monolittene er den opprinnelige jordstrukturen tilnærmet bevart, mens i de sjiktvis fylte sylindere vil den opprinnelige jordstrukturen til dels være ødelagt. Ødeleggelsen av den opprinnelige strukturen i jord ved f eks sikting har vist seg å innvirke på tilgjengeligheten av det organiske substratet for mikrobiell nedbrytning og derved respirasjonen (Hassink 1992). Men målingene av jordrespirasjon på de to typene av jordsylindere viste ingen slike effekter på de to jordartene. Her nevnes bare målingene fra 11.05 som eksempel. I middel for begge jordartene ved denne datoen var jordrespirasjonen for sjiktvis fylte og monolitter henholdsvis 0.39 og 0.38 g CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> og time. Ved den videre statistiske behandlingen av dataene er det derfor også for jordartene Øsaker og Bjørnebekk brukt to fullstendige gjentak.

### Undervekster

På to av jordartene, Apelsvoll og Larvik, ble halvparten av jordsylindere tilsådd med raigras som undervekst i 1992. Resultatene er vist for hver jordart i tabell 3. Materialet er lite og det er få statistisk sikre forskjeller, men for begge jordartene har innblandingen av undervekster ført til økt jordrespirasjon i vårperioden 1993. Forskjellen avtar utover høsten, noe som antyder at den største nedbrytningen av raigraset skjer før neste høst. Jenkinson (1977) fant i en undersøkelse over nedbrytningen av raigras at for den lettomsættelige delen, ca 70 %, var halveringstiden 0.25 år. Dette samsvarer med den relativt raske omsetningen av raigraset som målingene av jordrespirasjon tyder på.

For sandjorda fra Larvik viser resultatene om våren at jordrespirasjonen var høyere for jordsylindere hvor raigras var innblandet. Denne tendensen ble funnet for alle gjødslingsleddene. For jorda fra Apelsvoll er det relativt liten endring i jordrespirasjon på ledd d, med husdyrgjødsel, om våren, mens de andre gjødslingsleddene gir høyere jordrespirasjon etter innblanding av raigraset.

### Jordart

Det var ingen statistisk signifikante samspill mellom jordart, vanning eller gjødsling ved noen av måletidspunktene, så bare hovedeffektene vil bli omtalt nærmere. Ved alle måletidspunktene var det tendens til en høyere jordrespirasjon fra Apelsvoll jorda enn fra de andre jordartene, men forskjellene var ikke statistisk signifikante (Tabell 4). Resultatene

fra jorda fra Apelsvoll og Larvik er fra jordsylindere uten undervekster i 1992.

Tabell 3. Jordrespirasjons-målinger (g CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> og time) i modellforsøksanlegg vår og høst 1993. Effekt av raigras innblandet høsten 1992, 0 er uten tilførsel av raigras

Sted	Rai-gras	Gjødsling				Middel
		a	b	c	d	
<u>11.05.1993</u>						
Apelsvoll	0	0.37	0.42	0.39	0.73	0.48
	1	0.73	0.57	0.52	0.72	0.63 (*)
Larvik	0	0.29	0.26	0.27	0.44	0.31
	1	0.37	0.53	0.44	0.59	0.48 *
<u>12.05.1993</u>						
Apelsvoll	0	0.20	0.21	0.20	0.31	0.23
	1	0.41	0.33	0.30	0.35	0.35 *
Larvik	0	0.13	0.16	0.19	0.21	0.17
	1	0.26	0.24	0.21	0.36	0.27 *
<u>26.05.1993</u>						
Apelsvoll	0	0.46	0.57	0.54	0.72	0.57
	1	0.76	0.83	0.70	0.70	0.75 *
Larvik	0	0.46	0.28	0.28	0.52	0.38
	1	0.42	0.49	0.46	0.53	0.47
<u>22.08.1993</u>						
Apelsvoll	0	0.42	0.49	0.40	0.53	0.46
	1	0.67	0.38	0.49	0.60	0.53
Larvik	0	0.32	0.22	0.35	0.50	0.35
	1	0.41	0.37	0.37	0.54	0.42
<u>01.10.93</u>						
Apelsvoll	0	0.17	0.17	0.16	0.31	0.20
	1	0.17	0.23	0.13	0.12	0.16
Larvik	0	0.10	0.10	0.14	0.11	0.11
	1	0.16	0.18	0.18	0.16	0.17

(\*) = statistisk signifikant forskjellig på 10%-nivå

\* = statistisk signifikant forskjellig på 5%-nivå

### 30 Jordrespirasjon på ulike jordarter

Tabell 4. Jordrespirasjon (g CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> og time) vår og høst 1993. Effekt av jordart, vanning og gjødsling

Jord	Gjødsling				Vanning		Jord
	a	b	c	d	0	1	
<u>11.05.1993</u>							
Apelsvoll	0.37	0.42	0.39	0.73	0.42	0.53	0.48
Øsaker	0.33	0.29	0.34	0.47	0.33	0.38	0.35
Bjørnebekk	0.42	0.32	0.33	0.58	0.43	0.39	0.41
Larvik	0.29	0.26	0.27	0.44	0.32	0.30	0.31
Middel	0.36 b	0.31 b	0.33 b	0.54 a	0.38	0.40	0.39
<u>12.05.1993</u>							
Apelsvoll	0.20	0.21	0.20	0.31	0.22	0.24	0.23
Øsaker	0.18	0.16	0.15	0.23	0.15	0.20	0.18
Bjørnebekk	0.17	0.17	0.16	0.22	0.15	0.21	0.18
Larvik	0.13	0.16	0.19	0.21	0.14	0.20	0.17
Middel	0.17 b	0.17 b	0.17 b	0.24 a	0.16	0.21	0.19
<u>26.05.1993</u>							
Apelsvoll	0.46	0.57	0.54	0.72	0.46	0.68	0.57
Øsaker	0.40	0.34	0.35	0.54	0.32	0.50	0.41
Bjørnebekk	0.42	0.49	0.51	0.57	0.39	0.59	0.49
Larvik	0.46	0.28	0.28	0.52	0.29	0.47	0.38
Middel	0.43	0.42	0.42	0.57	0.36 a	0.55 b	0.46
<u>22.08.1993</u>							
Apelsvoll	0.42	0.49	0.40	0.53	0.45	0.46	0.46
Øsaker	0.31	0.36	0.30	0.49	0.40	0.33	0.37
Bjørnebekk	0.37	0.29	0.43	0.59	0.41	0.43	0.42
Larvik	0.32	0.22	0.35	0.50	0.39	0.31	0.35
Middel	0.35	0.33	0.37	0.53	0.41	0.38	0.40
<u>01.10.1993</u>							
Apelsvoll	0.17	0.17	0.16	0.31	0.21	0.20	0.20
Øsaker	0.11	0.12	0.08	0.17	0.11	0.12	0.12
Bjørnebekk	0.19	0.13	0.17	0.20	0.18	0.17	0.17
Larvik	0.10	0.10	0.14	0.11	0.07	0.15	0.11
Middel	0.14	0.13	0.13	0.19	0.14	0.15	0.15

Ulike bokstaver angir statistisk signifikante forskjeller på 5%-nivå.

#### Gjødsling

Det er små forskjeller i jordrespirasjon mellom de ulike leddene med uorganisk gjødsel,



mens derimot leddet med husdyrgjødsel skiller seg klart ut ved målingene om våren (Tabell 4). Jordrespirasjonen er i størrelsesorden 20-40 % høyere på husdyrgjødselleddet, og en har den samme effekt på alle jordartene. Det er tendens til at denne effekten holder seg også ved de første målingene etter høsting.

### Vanningsregime

Første vanning av jordsylindere skjedde 25.05.1993, og målinger tilknyttet denne perioden blir nærmere omtalt for seg. Men en ser at for målingene den 26.05 har den ekstra vanntilførselen, 20 mm, gitt en økning i jordrespirasjonen på alle jordartene (Tabell 4). Før første vanning er det ingen effekt av ulik tildekning om vinteren. Målingene etter høsting viser heller ingen effekt på jordrespirasjonen av ulik vanntilførsel i vekstsesongen.

For nærmere å undersøke effekten av vanning på jordrespirasjonen ble en relativt tett måleserie foretatt i forbindelse med første vanning, 25.05.1993. Målingene ble startet opp dagen før og fortsatte tre dager etter vanning. For at forskjellen i jordtemperatur ved hver måling skulle være minst mulig ble det valgt å foreta målingene på bare 16 sylindere, 2 med vanning og 2 uten vanning for hver jordart. De valgte jordsylindere var alle gjødslet med husdyrgjødsel.

Under måleperioden ble jordtemperaturen målt for dypet 0-5 cm hvert 15. minutt i en sylinder med vanning og en uten vanning for hver jordart. Forskjellen i jordtemperatur mellom ulike jordarter med og uten vanning var av størrelsesorden 1 - 2 °C og derfor er bare en gjennomsnittlig jordtemperatur over jordart og vanningsregime for hver periode for måling av jordrespirasjon, ca 1 time, vist i tabell 5. I samme tabell er jordrespirasjon med og uten vanning samt nedbør og vanning i perioden mellom målingene vist. Kvelden og natten før første vanning kom det totalt 9.8 mm nedbør. Sammenligninger av jordrespirasjonen mellom vanningsregime for hver jordart er utført som en t-test for uavhengige observasjoner.

Tabell 5. Effekt av vanning på jordrespirasjonen, 24.05 - 28.05 1993

Dato	Kl	Nedbør <sup>1</sup> , Jord-		Jordrespirasjon ( g CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> og time)							
		mm	temperatur, 0 - 5 cm	Apelsvoll		Øsaker		Bjørnebekk		Larvik	
				UV	V	UV	V	UV	V	UV	V
24.05	1300	0	26.8	0.91	1.02	0.55	0.67	0.78	1.06	0.83	1.07
24.05	1600	0	25.3	0.99	1.01	0.49	0.55	0.73	0.76	0.75	0.82
24.05	2100	3.6	18.2	1.08	1.21	0.60	0.57	0.74	0.60	0.71	0.73
25.05	0800	6.2	11.8	0.72	0.79	0.71	0.58	0.54	0.61	0.83	0.51
25.05	1000	20.0 <sup>2</sup>	14.4	0.79	1.03	0.66	0.38(*)	0.60	0.48	0.60	0.72
25.05	1400	0	17.8	0.95	0.80	0.60	0.60	0.66	0.88	0.58	0.89(*)
26.05	1200	0	16.3	0.63	0.78	0.47	0.61	0.45	0.69(*)	0.43	0.62*
27.05	1100	0	15.8	0.60	0.75	0.49	0.55	0.56	0.65	0.53	0.59
27.05	1200	0	16.7	0.68	0.99(*)	0.42	0.60	0.45	0.85*	0.42	0.60
28.05	1000	0	18.2	0.71	0.82	0.42	0.59	0.45	0.72	0.42	0.59

<sup>1</sup> Nedbør fra forrige måletidspunkt

<sup>2</sup> Vanning, 10 l vann pr kar gitt med sprøytekanne

(\*) = statistisk signifikant forskjellig på 10%-nivå

\* = statistisk signifikant forskjellig på 5%-nivå

## 32 Jordrespirasjon på ulike jordarter

Jordtemperaturen ved målingen kl 16 den 24.05. var ca 25 °C og ved den siste målingen samme dag, kl 21, var den nede i ca 18 °C. Selv om jordtemperaturen falt 7 °C så var den gjennomsnittlige jordrespirasjonen tilnærmet den samme, i middel henholdsvis 0.76 og 0.78 g CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> og time. I perioden mellom de to målingene falt det 3.6 mm nedbør, og dette har tydelig hatt en positiv effekt på jordrespirasjonen. I løpet av natten falt det ytterligere 6.2 mm. Ved neste måling om morgenen 25.05 var gjennomsnittlig jordtemperatur nede i ca 12 °C. Jordtemperaturen var halvert fra målingen kl 16 dagen før, mens gjennomsnittlig jordrespirasjonen hadde gått ned ca 15 %. Dette viser at ved målingene om dagen 24.05 var jordrespirasjonen redusert på grunn av for lavt vanninnhold i jorda. Målingene av jordas vanninnhold i sjiktet 0-5 cm den 28.05. indikerer ut fra jordartenes pF-kurver (G. Uhlen pers. medd.) at vanninnholdet i jorda var lavere enn vanninnholdet tilsvarende pF 3.

Det er få statistisk sikre forskjeller mellom vanningsregime. Men trenden er at på jordartene Apelsvoll og Larvik økte jordrespirasjonen ved første måling etter vanning med 20 mm sammenlignet med ledd uten vanning. Mens på leirjordartene Øsaker og Bjørnebekk er det antydning til en reduksjon av jordrespirasjonen rett etter vanning. Men etter noen timer så er jordrespirasjonen også for disse jordartene høyest i karene som er vannet. Under en slik rask infiltrasjon, som ved vanning, så gjelder neppe forutsetningen om stasjonære forhold lenger. Målinger av CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i ulike jordlag vil derfor være nødvendig for å beskrive det som skjer. Men den målte nedgangen i flukstettheten av CO<sub>2</sub> gjennom overflaten på jordartene Øsaker og Bjørnebekk kan skyldes at det har skjedd en blokkering av porene for gasstransport. Hvis transporten av gass ut av profilet er mindre enn produksjon vil dette medføre en økning i konsentrasjonen av CO<sub>2</sub> i jorda. Så endringen i målt jordrespirasjon for disse jordartene skyldes derfor neppe en nedgang i selve jordrespirasjonen men en nedgang i transporten av CO<sub>2</sub> ut av profilet. På de mer sandige jordartene, Apelsvoll og Larvik, har en tilstrekkelig luftutveksling blitt gjenopprettet relativt raskt, og en finner ikke en tilsvarende nedgang i flukstettheten av CO<sub>2</sub>.

Den mikrobielle aktiviteten beskrives ofte som en konstant aktivitet innenfor et begrenset vanninnholdsområde (se f.eks Jenkinson 1990). Når en nærmer seg metning avtar aktiviteten på grunn av en nedgang i luftfylte porer, og over en lengre periode kan dette medføre at oksygentransporten blir den begrensende faktor. I den andre enden av kurven, mot tørrere jord, avtar aktiviteten med avtakende vanninnhold. Den nedre grensen ligger i området rundt et vanninnhold ved pF 3, noe som viser et relativt bra samsvar med de viste resultater.

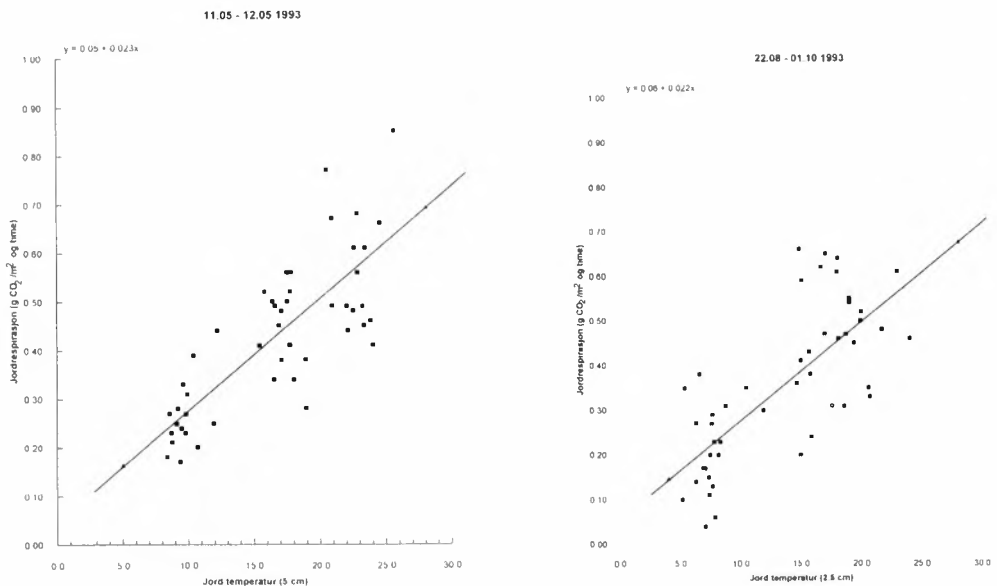
### Jordtemperatur

For å sammenligne den målte jordrespirasjonen med jordtemperaturen er det forsøkt å velge perioder med tilnærmet samme vanninnhold i jorda. En periode om våren, 11.05 - 12.05, hvor jordtemperaturen ble målt for dypet 0-5 cm og en periode etter høsting, 22.08 - 01.10, hvor jordtemperaturen ble målt for dypet 0-2.5 cm ble valgt ut. Vanninnholdet 22.08 og 09.09 var tilnærmet det samme og selv om en ikke har målinger av vanninnhold 01.10 så antar en at dette ligger innenfor området hvor en ikke har restriksjoner på jordrespirasjon på grunn av jordas vanninnhold.

For 16 sylindere, 4 på hver jordart, ble det 11.05-12.05 foretatt målinger ved 3 ulike tidspunkt, se tabell 1. Alle sylindere var fra gjødselsledd d, husdyrgjødsel. Bare til-

pasningen til en lineær regresjon er undersøkt for datamaterialet. Det var kun mindre forskjeller i regresjonsligningen mellom jordarter og den lineære regresjonsligningen for alle jordartene samlet er vist i figur 1. Ut fra regresjonsligningen kan 62% av variasjonen i jordrespirasjon forklares ut fra variasjoner i jordtemperatur for dypet 0-5 cm. Jordrespirasjon ved 10° og 20°C beregnet ut fra regresjonsligningen var henholdsvis 0.28 og 0.51 g CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> og time. Dette tilsvarer en økning i jordrespirasjonen med en faktor 1.8 ved en økning i jordtemperaturen med 10 °C.

I høstperioden, 22.08 - 01.10, ble målinger av jordrespirasjon og jordtemperatur for dypet 0-2.5 cm på de samme 16 jordsylinderene benyttet ved regresjonsberegningen. Ut fra den lineære regresjonsligningen for alle jordartene samlet forklarte forskjeller i jordtemperatur 53 % av variasjonen i jordrespirasjon (Figur 1). Den 22.08 og 09.09 var også vanninnholdet i laget 0-15 cm bestemt i hver jordsylinder. Men medtaking av denne variabelen i regresjonsligningen ga ingen økt forklaringsgrad. Jordrespirasjon ved 10° og 20°C beregnet ut fra regresjonsligningen var henholdsvis 0.28 og 0.50 g CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> og time. Dette tilsvarer en økning i jordrespirasjonen med en faktor 1.8 ved en økning i jordtemperaturen med 10 °C. Dette er identisk med resultatet for perioden 11.05 - 12.05.



Figur 1. Jordrespirasjon som funksjon av jordtemperatur for periodene 11.05 - 12.05 og 22.08 - 01.10 - 1993

Oftest ser en at jordtemperaturens effekt på jordrespirasjonen er beskrevet som en mer eller mindre eksponensiell funksjon, se f eks Jenkinson (1990). Slike kurver er oftest fra målinger på laboratoriet hvor en har bedre mulighet til å kontrollere den rene temperatur-effekten. Ved feltmålinger vil spørsmål som hvilke jordtemperatur, dvs hvilket måledyp, skal en velge for sammenligninger med jordrespirasjon måtte nærmere undersøkes. Ved

siden av vil variasjoner i f eks vanninnhold og tilgjengeligheten av organisk substrat for mikrobiell nedbrytning innenfor jordsylinderene være mulige feilkilder. Selv om vi bare har sett på tilpasningen til en lineær regresjon så er spredning i datamaterialet relativt stort slik at også en type eksponensiell funksjon ville gitt en god tilpasning til dataene.

## SAMMENDRAG

Våren og høsten 1993 ble jordrespirasjonen målt i 72 lysimeter, diameter 80 cm og jorddybde ca 100 cm. Anlegget benyttes til måling av vann- og næringsstoffbalanse ved ulik vanntilgang og gjødsling. Jordartene i anlegget er lettleire over siltig sand (Apelsvoll), mellomleire (Øsaker), siltig lettleire (Bjørnebekk) og siltig sand (Larvik).

Det var tendens til høyere jordrespirasjonen fra Apelsvoll jorda enn fra de andre jordartene. Alle jordartene viste en høyere jordrespirasjon, 26.05, fra jordsylindere tilført 20 mm vann 25.05 sammenlignet med jordsylindere uten ekstra vanning.

Det var ingen forskjeller i jordrespirasjon mellom ulike nitrogen-nivåer gitt som kalkammonsalpeter eller fullgjødsel. Ledd med husdyrgjødsel, 4 tonn storfegjødsel/dekar tilført om høsten 1992, ga en høyere jordrespirasjon våren 1993 enn ledd med kalkammonsalpeter eller fullgjødsel.

Innblanding av undervekster (raigras) i jorda høsten 1992 ga en økning i jordrespirasjonen i vårperioden 1993. Effekten avtok utover høsten 1993.

For målingene på alle jordarter hvor husdyrgjødsel, 16 jordsylindere, var tilført ble det for en periode om våren (11.05-12.05) og en periode om høsten (22.08-01.10) funnet en lineær sammenheng mellom jordrespirasjon og jordtemperaturen. Om våren var jordtemperaturen målt i dypet 0-5 cm og om høsten var dypet 0-2.5 cm. Variasjoner i jordtemperaturen forklarte 53-62 % av variasjonen i jordrespirasjon. For begge perioden økte jordrespirasjonen med en faktor 1.8 fra 10° til 20°C estimert ut fra den lineære regresjonsligningen.

## LITTERATUR

Bakken, L.R. 1982. The turnover of C and N in cultivated soil at different fertilizer levels. Agricultural University of Norway. Dr.scient. avhandling ved Institutt for mikrobiologi, NLH. 197 pp.

Hassink, J. 1992. Effects of soil texture and structure on carbon and nitrogen mineralization in grassland soils. *Biology and fertility of soils* 14: 126-134.

Jenkinson, D.S. 1977. Studies on the decomposition of plant material in soil. *J. Soil Sci.* 28: 424-434.

Jenkinson, D.S. 1990. The turnover of organic carbon and nitrogen in soil. In: Greenwood, D.J., P.H. Nye & A. Walker (Eds.). Soil productivity and pollution. Proceedings of a royal society discussion meeting held on 7 and 8 March 1990. The Royal Society, London. 361-367.

Richter, J. 1972. Zur methodik des bodengashaushaltes. I Ökologische modell. Z. Pflanzenern. Bodenkunde, 132: 220-239.

Richter, J. 1987. The soil as a reactor. Modelling processes in the soil. Catena Verlag, Cremlingen West-Germany. 192 pp.

Uhlen, G. 1991. Long-term effects of fertilizers, manure, straw and crop rotation on total-N and total-C in soil. Acta Agric. Scand. 41: 119-127.

Uhlen, G., L.E. Haugen & A.G. Kolnes 1992. Avrenningsundersøkelser i lysimetre på Ås. Forsøksanlegg og resultater 1989/91. Norsk landbruksforskning 6: 73-91.

# Dynamics of trace element movement in the soil-root interface

NIELS ERIK NIELSEN

Section for Soil, Water and Plant Nutrition, Department of Agricultural Sciences,  
The Royal Veterinary and Agricultural University, Thorvaldsensvej 40, DK-1871  
Copenhagen, Denmark

Supplying plants with inorganic nutrients including trace elements is one of the major functions of the roots. Research in recent decades has shown that roots and soil interact in the transfer of nutrients and trace elements from the soil into plants (Nye & Tinker 1977; Barber 1984; Nielsen 1983, Jungk & Claassen 1989; Gahoonia & Nielsen, 1991, 1992a, 1992b). Plant roots absorb nutrients and trace elements mainly from the soil solution. Roots absorb trace elements in the dissolved state only. Therefore, the soil solution is the immediate source of nutrients. The uptake of any trace element, (M) from soil by plants can be divided into a sequence of processes (Nielsen 1976) as shown in Figure 1.

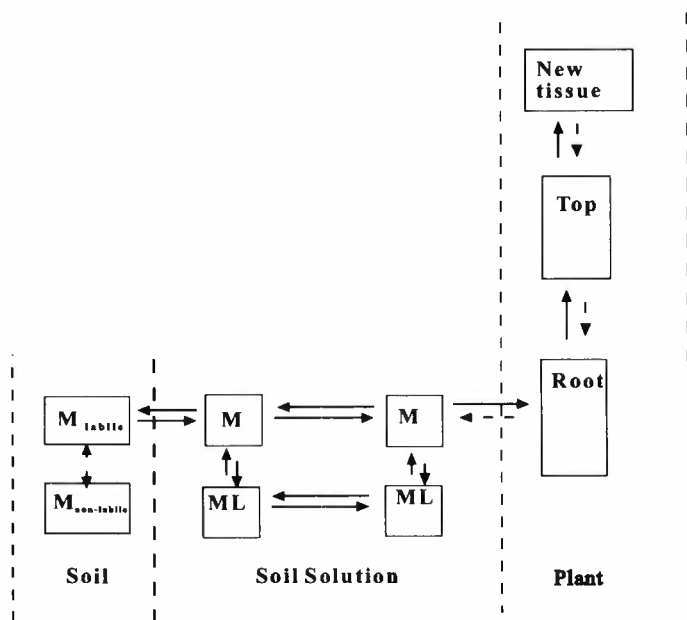


Fig. 1. Soil- Soil solution - Plant system

In Figure 1 ML denotes complexes and ion pairs dissolved in the soil solution,  $\langle \text{---} \rangle$  denotes solid phase processes which slowly are approaching equilibrium, and  $\rightleftharpoons$  denotes reversible processes which spontaneously approach equilibrium. Depending on ion species, ion concentration at the root surface, and plant age, the symbol  $\rightleftharpoons$  denotes processes which may be irreversible. The irreversible processes are rate determining although reversible processes may also be rather limiting. Usually only a small fraction of the trace elements is dissolved in the soil solution. The availability of trace elements to plant roots is for this reason governed by a complex of soil properties including the properties of the solid phases.

The term 'available amounts of a trace element in soil' includes at least four different aspects: the capability of solid phases to replenish trace elements in the soil solution, solute movement from the solid phases to the roots, the position of trace element and root in the root zone, and rhizosphere processes. The major processes and factors that contribute and interact in the movement of trace elements from soil to plants are summarized in Table 1.

Table 1. Processes and factors involved in nutrient transfer from soil to plant

Process	Factors
Dissolution of trace elements in the soil solution	Chemical and physical properties of the solid phases
Root development	Root length, root distribution in the root zone, root morphology, diameter and root hairs, rate of root growth
Solute movement by mass flow and diffusion to roots	Transpiration, concentration of trace element in the soil solution, value of the diffusion coefficient, buffer power of the soil
Nutrient uptake	Trace element concentration of the root surface. Kinetics of uptake by roots
Rhizosphere effects	Depletion of the soil solution by roots. Root exudates ( $H^+$ , $HCO_3^-$ , reducing agents, chelates, organic anions, enzymes). Microbial activity. Mycorrhizal infection

Trace elements bound to the solid soil phase are virtually immobile. As a trace element must reach the root surface and as roots must be able to absorb the trace element from solution of very low concentration, the kinetics of uptake is of fundamental importance for trace element uptake by plants. The trace element uptake by the root is usually rate determining, although solute movement to the root may be rate limiting.

This paper intends to outline processes involved in trace element movement to roots and the kinetics of their uptake.

## TRACE ELEMENT SUPPLY FROM SOIL TO PLANT ROOTS

Contact between the root surface and trace elements dissolved in the soil solution is a prerequisite for nutrient uptake. Contact can be brought about in two ways, e.g. by growth of roots to the sites where trace elements are located, and by movement of trace elements from the bulk of the soil to the root surface.

### ROOT INTERCEPTION

Root interception is the process by which trace elements in the soil solution are intercepted by the growth of the root through the soil, and hence do not have to move to the root surface, (Barber et al. 1962). As root volume of annual crop plants is usually less than 1% of the soil volume in the densely rooted plough layer, less than 1% of the available trace elements in the soil solution can be obtained by root interception.

### SOLUTE MOVEMENT IN SOIL NEAR PLANT ROOTS

All trace elements have to move over a certain distance through the soil and cell walls before they reach the outside cell membrane of a root cortical cell. The mechanisms of transport are mass flow and diffusion, (Barber et al. 1962); Nye & Tinker 1977). The driving force for the net movement of trace elements is the uptake of elements and water by the plant root. When roots take up trace elements and water at their root surface, they create gradients in the soil water potential and in the chemical potential (concentration) of the trace element of the ambient soil solution. The results are movements of water and nutrients along these gradients by simultaneous mass flow and diffusion. The total flux ( $F_T$ ) is the sum of both

$$F_T = F_m + F_d \quad (1)$$

where  $F_m$  is mass flow and  $F_d$  is diffusive flux.

Mass flow is the movement of nutrients through the soil to the root in the flow of water caused by the water uptake by the plant root. The amount of trace element movement by mass flow is related to the water used and trace element concentration of this water (soil solution) at the root surface.

$$F_m = w_0 c_0 \quad (2)$$

where  $w_0$  is the water flux into root ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) and  $c_0$  is the trace element concentration of soil solution at the root surface ( $\text{mol cm}^{-3}$ ).

Diffusion is the spontaneous movement of trace elements or molecules which is caused by thermal agitation. Concentration gradients are necessary for net movement of a solute. If mass flow accounts for smaller or higher quantities of ions than those actually taken up



by the roots, the resulting concentration gradient would cause net diffusion through the soil root interface.

The flux,  $F_d$ , by diffusion can be expressed by

$$F_d = -D_e b \frac{dc}{dr} \quad (3)$$

The  $b = dC/dc$  in Equation 3 denotes the soil buffer power for the trace element concerned, where  $c$  is the concentration of the trace element in the soil solution, and  $C$  is the total concentration of diffusible trace elements in the soil. The latter is the sum of the amount of trace element in the soil solution and the amount of adsorbed trace element that can replenish the trace element in the soil solution spontaneously. The  $r$  denotes the radial distance from the centre of the root. Hence  $r_0$  is the root radius, and  $c_0$  is the element concentration at the root surface.

$D_e$  denotes the effective diffusion coefficient in homogeneous soil.  $D_e$  differs between media, but it can be calculated in relation to the diffusion coefficient  $D_0$  for the trace element in free soil solution.

The influence of soil on diffusion can be expressed by the following equation (Nye 1966)

$$D_e = D_0 \theta f/b \quad (4)$$

where  $\theta$  is the volumetric water content expressed as a fraction, and  $f$  is the impedance factor/tortuosity factor that essentially allows for the increase of actual diffusion distance because of the tortuous pathway of water-filled soil pores and water films.

The average distance of diffusion,  $\Delta \bar{x}$ , can be expressed by Equation 5 (Jost, 1952)

$$\Delta \bar{x} = \sqrt{2D_e t} \quad (5)$$

For example, using Equation 5 and data in Table 2, zinc would be expected on average to move

$\sqrt{2 * 10^{-9} * 8.64 * 10^4 * 10} = 0.4$  mm in 10 days. The corresponding value for  $H_3BO_3$  would be 4 mm. Such information is important for understanding trace element uptake by soil-grown plants, because it indicates that trace element mobility in the soil is so low that mainly soil close to the roots supplies trace elements to the roots. Rhizosphere processes are for that reason of special importance.

Table 2. Expected diffusion coefficients of some trace elements in soil at field capacity of water content (after Barber 1984)

Element	$D_e$ ( $cm^2s^{-1}$ )
Boron	$1 * 10^{-7}$
Iron	$1 * 10^{-10}$
Manganese	$1 * 10^{-9}$
Molybdenum	$1 * 10^{-9}$
Zinc	$1 * 10^{-9}$

## RHIZOSPHERE PROCESSES

The ability of the root system to absorb trace elements depends on three of its properties,

- net influx per unit of root length
- root length or root area per unit of shoot weight
- duration of activity of each root segment.

Net influx of trace elements into plants under conditions in which the rate determining step is located in the root can be expressed by the equation (Nielsen 1976)

$$\bar{I}_n = \frac{\bar{I}_{\max} (c_0 - c_{\min})}{Km + c_0 - c_{\min}} \quad (6)$$

$\bar{I}_{\max}$  (mol cm<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>) is the mean maximum influx,  $Km$  (mol cm<sup>-3</sup>) is the Michaelis-Menten factor,  $c_0$  is the concentration of the trace element at the root surface, and  $c_{\min}$  is the trace element concentration at which  $I_n = 0$ . Further,  $I_n = \frac{1}{2}\bar{I}_{\max}$ , if  $c_0 = Km + c_{\min}$ . The values of the parameters  $\bar{I}_{\max}$ ,  $Km$  and  $c_{\min}$  vary according to the type of trace element, temperature, plant species/genotype and plant age. Kinetics of trace element uptake by roots may be influenced by ion interactions.

A systematic attempt to estimate values of  $\bar{I}_{\max}$ ,  $Km$  and  $c_{\min}$  for various trace elements is absent. However, Carroll & Lonergan (1969) observed zinc uptake by plant roots at a concentration as low as 0.01 μM Zn in solution. A study of kinetics of copper uptake by barley (Nielsen 1976) showed that  $Km = 0.11 \mu\text{mol (Cu}^{2+} + \text{CuL)}$  and  $c_{\min} = 0.045 \mu\text{mol (Cu}^{2+} + \text{CuL)}$ . As about 1 % only of the total Cu (= Cu<sup>2+</sup> + CuL) is free Cu-ions, the above values of  $Km$  and  $C_{\min}$  correspond to 0.001 and 0.0005 μM Cu<sup>2+</sup>, respectively.

The actual value of  $c_0$  is affected by the balance between  $I_n/2\pi r_0$  and  $F_T = F_d + F_m$ , and affected by root-induced changes in the rhizosphere as emphasized by, e.g., Marschner (1986).

The conditions in the rhizosphere differ in many respects from those in the bulk soil. Roots not only act as a sink for ions and trace elements transported to the root surface by mass flow and diffusion, they also take up ions and water selective which may lead to depletion or accumulation of ions and trace elements. Roots release H-ions and CO<sub>2</sub> which change pH. Roots consume or release O<sub>2</sub>, which causes alternations in the redox potential. Root exudation may mobilize trace elements directly, although it primarily provides the energy for microbial activity in the rhizosphere. Although chemical properties of the bulk soil (e.g. the pH and the level of trace elements) are important for root growth and mineral nutrient availability, the conditions in the rhizosphere and the root-induced changes are decisive for mineral nutrient uptake.

In the rhizosphere there is usually a depletion of phosphate, of potassium, and most probably of the trace elements. This leads to increased solubility of soil organic matter, and thereby mobility of many complexing trace elements.

On the other hand, a higher rate of water uptake than of a particular ion leads to accumulation of that ion in the rhizosphere. This has been directly measured for sulphate in the rhizosphere of onion root (see Nye & Tinker 1977). Precipitation of CaSO<sub>4</sub> in rhizosphere soil has been demonstrated, too (see Barber 1984). However, salt accumulation in the rhizosphere is of particular importance in saline soils.

## RHIZOSPHERE pH AND REDOX POTENTIALS

Redox reactions in the soil plant system are highly correlated to the product of the proton and the electron activities or usually linearly related to  $\text{pH} + \text{pe}$  in which  $\text{pe} = -\log a_e$ . At 25°C the actual value of  $\text{pe} = \Delta E/59.2$  in which  $\Delta E$  denotes the measured redox potential in millivolt.

Changes in rhizosphere pH are brought about predominantly by the net excretion of H-ions from the root. This excretion is related to the acid-base regulation in the plant and the cation/anion uptake ratio and is a consequence of the need to approach electrochemical balance both in root cells and in the soil solution. The form ( $\text{NH}_4\text{-N}$  or  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) absorbed by the root has the highest influence on the cation/anion uptake ratio and the acid-base balance in the plant, and hence on rhizosphere pH.  $\text{NO}_3\text{-N}$  uptake is correlated with lower net excretion of H-ions than  $\text{NH}_4\text{-N}$  uptake. The pH differences between the rhizosphere and the bulk soil may be as high as 2 pH units. Considerable differences in the rhizosphere pH exist among plant species growing in the same soil. Buckwheat and chickpea have a lower rhizosphere pH than that of wheat and maize (Raij & Diest 1979; Marschner & Römheld 1983).

Plants having  $\text{N}_2$  fixation rather than nitrate uptake absorb considerably more cations than anions, since unchanged  $\text{N}_2$  enters the root. Cation/anion uptake ratio of plants with  $\text{N}_2$  fixation corresponds to that of plants with ammonium nutrition solely. In alfalfa,  $\text{N}_2$  fixation would produce soil acidity equivalent to  $600 \text{ kg CaCO}_3 \text{ ha}^{-1}$ , if  $10 \text{ tons ha}^{-1}$  of top dry matter is produced. In well-aerated arable soils reliable data on redox potentials in the rhizosphere are missing. It is emphasized that it is difficult to make precise measurements even in the bulk soil. However, even in well-aerated arable soils there are anaerobic microsites that vary in location and size. Such microsites seem to be more abundant in the rhizosphere because of  $\text{O}_2$  consumption by both microbial and root respiration. In addition, root exudates may directly affect redox processes in the rhizosphere.

In submerged soils, rice plants for example maintain high redox potentials in the rhizosphere by translocation of  $\text{O}_2$  from the shoots to the roots. Most of the root exudates are gelatinous material (mucilage) and sloughed-off cells, particularly root-cap cells. Free soluble exudates (low-molecular-weight organic compounds) are only a minor part of the rhizo-deposition. The main constituents of free root exudates are sugars, organic acids, amino acids, and phenolic compounds. Quantitatively, sugars and organic acids are the major compounds. Organic acids and phenolic compounds are soluble chelators which enhance the rate of mobilization of trace elements in the rhizosphere. Furthermore, some of the organic acids, and in particular phenolic compounds, act as reductants for, e.g.,  $\text{Fe}^{3+}$  and  $\text{Mn}^{4+}$ .

A particular exudate (phytosiderophores) exists in grasses including grain crops for the solubilization of  $\text{Fe}^{3+}$  and other trace elements in the rhizosphere.

## MODELLING TRACE ELEMENT DYNAMICS AT THE SOIL-ROOT INTERFACE

The general equation at continuity used to describe movements in a direction normal to a cylinder, e.g. to a root, may be expressed as

$$\left[ b \frac{\delta c}{\delta t} = - \frac{1}{r} \frac{\delta r}{\delta r} F_T + U \right]_{r,t} \quad (7)$$

Solution of Equation 7 depends on our knowledge of the value of the source/sink term,  $U$ , at various  $r$  and  $t$  values. If  $U = 0$ , Equation 7 can be reduced to

$$b \frac{\delta c}{\delta t} = - \frac{1}{r} \frac{\delta r}{\delta r} F_T = \frac{1}{r} \frac{\delta}{\delta r} \left[ r D_e b \frac{dc}{dr} + r w c \right]_{r,t} \quad (8)$$

The integration of Equation 8 may then be performed under the following initial and boundary conditions

if  $t = 0$ ,  $r > r_0$ , then  $c = c_1$ ,  
if  $t > 0$ ,  $r = r_0$  then

$$2\pi r_0 \left[ D_e b \frac{dc}{dr} + w_0 c_0 \right] = \frac{\bar{I}_{\max} (c_0 - c_{\min})}{c_0 - c_{\min} + Km}$$

if  $t > 0$ ,  $r = r_1$  (half distance between roots) then

$$D_e b \frac{dc}{dr} + \frac{r_0}{r_1} w_0 c_0 = 0$$

in which  $r_1 = \frac{1}{\sqrt{\pi L_v}}$  where  $L_v$  denotes root density ( $\text{cm}/\text{cm}^3$ ).

As the depletion zone spreads outward with time until it coincides with the boundary of the equivalent cylinder at  $r_1 = \frac{1}{\sqrt{\pi L_v}}$ , simulation of this is achieved by inserting the condition

$$(r_1)_t = 2\sqrt{Dt} + r_0 \text{ until } 2\sqrt{Dt} + r_0 > \frac{1}{\sqrt{\pi L_v}}$$

into the programme calculation.

## FINAL REMARKS

Transfer of trace elements from soil into plants includes plant and soil processes that interact in the rhizosphere.

The amounts of trace elements that reach the root surface are the results of the dynamic processes varying with time and distance from the root surface. Trace element dynamics in the rhizosphere thus appears to be a key for understanding trace element uptake of plants growing in soil. Research in the last two decades has established the quantitative relationship between mass flow + diffusion and the factors that affect them. Integration of a substantial number of the involved processes is obtained with Equation 8, which can

simulate transfer of a trace element from soil into plants by diffusion and mass flow.

However, the quantitative effects of rhizosphere processes on the source/sink term in Equation 7 are almost unknown. This includes the mobilization/immobilization of trace elements caused by root-induced pH and redox changes, by root exudates, enzymes, as well as by mycorrhizal fungi and bacteria.

Further research should therefore be aimed in this direction. In this connection the method developed recently by Gahoonia & Nielsen (1991) for studying rhizosphere processes in thin soil layer (0.2 mm) of different proximity to roots under conditions in which nutrition of the plants and pH at the soil root interface are controlled (Gahoonia & Nielsen 1992b) may prove to be an important breakthrough.

## REFERENCES

- Barker, S.A., J.M. Walker & E.W. Vasey 1962. Principles of ion movement through the soil to the plant root. Pp.121-124. In Proc. of Intern. Soil Sci. Conf., New Zealand.
- Barber, S.A. 1984. Soil Nutrient Bioavailability. Wiley, New York.
- Carroll, M.D. & J.F. Lonergan 1969. Response of plant species to concentrations of zinc in solution. II. Rates of zinc absorption and their relation to growth. Aust. J. Agric. 20: 457-463.
- Gahoonia, T.S. & N.E. Nielsen 1991. A method to study rhizosphere processes in thin soil layer of different proximity to roots. Plant and Soil 135: 143-146.
- Gahoonia, T.S. & N.E. Nielsen 1992a. Control of pH at soil root interface. Plant and Soil 140: 49-54.
- Gahoonia, T.S. & N.E. Nielsen 1992b. The effect of root induced pH change on the depletion of inorganic and organic phosphate. Plant and Soil 143: 185-191.
- Jost, W. 1952. Diffusion in Solids, Liquids and Gases. Academic Press, New York.
- Jungk, A. & N. Claassen 1989. Availability in soil and acquisition by plants as the basis for phosphorus and potassium supply to plants. Z. Pflanzenernaehr. Bodemkd. 152: 151-157.
- Marschner, H. 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press.
- Marschner, H. & V. Römheld 1983. *In-vivo* measurement of root-induced pH changes at the soil-root interface: Effect of plant species and nitrogen source. Z. Pflanzenphysiol. 111: 241-251.

Nye, P.H. & P.B. Tinker 1977. Solute Movement in the Soil-Root System. Studies in Ecology, vol. 4. Blackwell Scientific, Oxford.

Nielsen, N.E. 1976 A transport kinetic concept for ion uptake by plants. III. Test of the concept by results from matter culture and pot experiments. *Plant and Soil* 45: 659-677.

Nielsen, N.E. 1983. Plant parameters controlling the efficiency of nutrient uptake from soil. Pp.199-217. In *Efficient Use of Fertilizers in Agriculture. Developments in Plant and Soil Sciences*, vol. 10, 352 pp. Martinus Nijhoff/W. Junk Publ.

Raij, V. von & A. von Dienst 1979. Utilization of phosphate from different sources by six plant species. *Plant and Soil* 51: 577-589.

List of main symbols

Symbol	Definition	Units
b	solute buffer power (dC/dc)	
c	concentration of solute in soil solution	mol cm <sup>-3</sup> of liquid
C	concentration of diffusible solute in soil	mol cm <sup>-3</sup> of soil
D <sub>e</sub>	diffusion coefficient of solute in soil	cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
D <sub>0</sub>	diffusion coefficient of solute in the soil solution	cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
F <sub>T</sub>	total net flux of solute	mol cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
F <sub>in</sub>	net flux of solute by mass flow	mol cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
F <sub>d</sub>	net flux of solute by diffusion	mol cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
c <sub>0</sub>	concentration of soluble in soil solution at the root surface	mol cm <sup>-3</sup>
c <sub>min</sub>	concentration of solute at which $\bar{I}_n = 0$	mol cm <sup>-3</sup>
c <sub>i</sub>	initial concentration of solute in soil solution	mol cm <sup>-3</sup>
θ	soil moisture fraction by volume	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>
f	diffusion impedance factor	
t	time	s
$\bar{I}_n$	mean net influx into roots	mol s <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup> of root
$\bar{I}_{max}$	mean maximal net influx into roots	mol s <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup> of root
Km	Michaelis-Menten factor $\bar{I}_n = \frac{1}{2} \bar{I}_{max}$ if $c_0 = Km + c_{min}$	mol cm <sup>-3</sup>
U	source/sink term. The rate at which diffusible trace elements are being produced or removed by chemical, physical or biological transformation processes	mol s <sup>-1</sup> cm <sup>-3</sup>
w	water flux	cm <sup>3</sup> cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
w <sub>0</sub>	water flux at the root surface	cm <sup>3</sup> cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
r	radial distance from the centre of the root	cm
r <sub>0</sub>	root radius	cm

# Sink som plantenæringsstoff

## Oversikt over arbeidet i Noreg

IVAR AASEN

Noregs landbrukshøgskole,  
Institutt for Jord- og vassfag, Ås.

Grunnstoffet sink (Zn) høyrer med til mikronæringsstoffa og er nødvendig for normal vekst og utvikling både hos planter, dyr og menneske. Sink er eit tungmetall, og for stor tilgang er skadeleg.

I siste halvdel av det førre hundreåret vart det påvist at sink er nødvendig for visse mikroorganismar. Men først i 1926 vart det lagt fram overtydande bevis for at sink er eit nødvendig næringsstoff for høgare planter (Sommer & Lipman 1926). I åra som følgde, vart sinkmangel på kulturplanter oppdaga over store delar av verda, mellom anna i USA, Australia, India, Pakistan og Japan, og blir rekna for å vera ein av dei mest utbreidde mikronæringsstoffmanglane (Lindsay 1972). I Europa var sinkmangel, etter ein FAO-rapport (Ryan et al. 1967), påvist i 10 land inntil 1967, mellom desse kan nemnast England, Frankrike, Nederland, Polen og Spania. Av dei nordiske landa var berre Sverige nemnt.

### SINK I JORDA

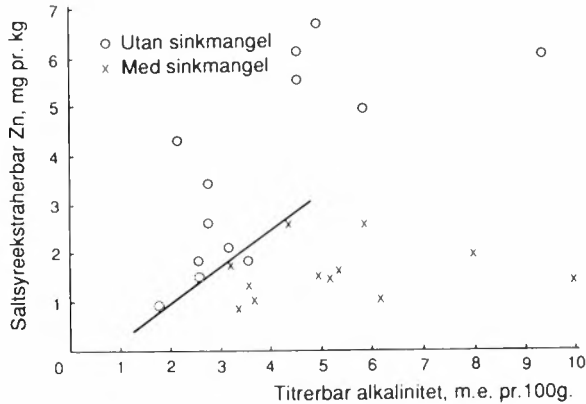
Totalinnhaldet av sink i jorda er i litteraturen oppgitt noko ulikt, verdiar på 10-300 mg pr kg tørr jord er vanleg brukt (Lindsay 1972). I eit stort tal norske jordprøver, tatt ut frå dyrka jord på Austlandet, var sinkinnhaldet i middel 150 mg pr kg, med variasjon 16-433 mg (Wu, Aasen & Selmer-Olsen 1991). I sterkt ureina jord kan innhaldet vera mykje større. I jordprøver frå overflatesjiktet ved industrisentret Odda er det funne 1,3-22 g sink pr kg jord (Låg 1972).

I jordskorpa finst sink for ein stor del i sulfidmineral (Krauskopf 1972). Innhaldet er lite i silisiumrike bergarter som granitt og lys sandstein, medan basiske bergarter har større innhald. Opphavsmaterialet har såleis stor betydning for sinkinnhaldet i jorda. I dei fleste jordartene er det likevel rikeleg med sink, men tilgjengelegeita varierar mykje. Sterkt utvaska sandjord kan iblant ha så lågt totalinnhald at det fører til sinkmangel.

Ved låg pH er sinkminerala etter måten lett løyselege. Sink opptre i jordvæska som to-verdig ion ( $Zn^{2+}$ ). Når pH stig opp mot 7 eller høgare, går mykje av  $Zn^{2+}$  over til  $ZnOH^+$ . I denne forma blir sink til dels sterkt bunde, og konsentrasjonen av sink i jordvæska minkar sterkt. Sink blir også komplekst bunde til organiske komponentar i jorda. Avhengig av kor store desse kompleksa er, kan dette både auka og minska tilgangen av sink til plantene.



For å finna eit uttrykk for plantetilgjengeleg sink i jorda, er brukt ulike ekstraksjonsmiddel. Her i landet har 0,2 N HCl vore mest vanleg brukt. I tillegg til sink må også bestemmast titerbar alkalinitet, eit mål for bufferkapasiteten mot pH-ending. Di større verdiar for titerbar alkalinitet, di større må sinkverdiarne vera (figur 1).



Figur 1. Verdiar for saltsyreekstraherbar sink og titerbar alkalinitet i jord som ikkje inneheld kalsiumkarbonat (Etter Nelson et al. 1959)

Figure 1. Acid-extractable zinc and titratable alkalinity values for noncalcareous soils (After Nelson et al. 1959)

I det tidlegare nemnde prøvematerialet frå Austlandet var innhaldet av HCl-løseleg sink i middel 9,1 mg pr kg jord med variasjon 0,9-45 mg. Dei lågaste verdiarne var funne på siltjord. Også i andre distrikt er det funne låge verdiar for HCl-løseleg sink i sand- og siltjord, heilt ned til 0,3 mg pr kg.

Eit anna ekstraksjonsmiddel for plantetilgjengeleg sink i jord, DTPA-CaCl<sub>2</sub>-TEA (Lindsay & Norvell 1978), har gitt lovande resultat på norske jordprøver (Wu & Aasen 1992), men er enno lite utprøvd i praksis her i landet.

Lågt innhald av plantetilgjengeleg sink er som regel knytta til høge pH-verdiar, frå 6,7 og høgare. Men frå sandjord med låg pH kan plantetilgjengeleg sink lett bli vaska ut. Derfor kan slik jord i distrikt med mykje nedbør ha lågt innhald av plantetilgjengeleg sink enda om totalinnhaldet er etter måten stort. Også i distrikt med moderate nedbørmengder er det i sand- og siltjord med pH heilt ned mot 5 iblant funne svært låge verdiar for plantetilgjengeleg sink.

## OPPTAK, TRANSPORT OG OPPGÅVER I PLANTENE

Sink blir tatt opp vesentleg som Zn<sup>2+</sup>. Opptaket er aktivt. Dersom tilgangen er stor, vil sink kunna akkumulere i røtene. Sink blir nokså sterkt bunde i plantene, og omplassing frå eldre til yngre blad går seint, særleg dersom sinktilgangen er knapp.

Sink går inn i mange enzymesystem. I nokre system kan sink erstattast av magnesium

eller mangan, medan andre er heilt avhengige av sink for å fungera. Sink er heilt nødvendig for danning av det viktige veksthormonet indol-3-eddiksyre (auxin). Mangel på sink fører mellom anna til sedsett proteindanning og opphoping av enkle, lågmolekylære nitrogensambindingar. Også for karbohydratstoffskiftet har sink betydning og verkar mellom anna på danninga av stive.

## MANGELSYMPTOM

Sinkmangel fører ofte til klorose med bleikgrøn, gul eller iblant kvit farge i vevet mellom bladnervane, små og til dels stive blad, hemma strekningsvekst i skott og stenglar, og dårleg rotutvikling. Klorosen viser seg som regel først i utvaksne blad, men kan stundom koma også på yngre blad. Etter kvart blir det utvikla nekrotiske striper eller flekkar i dei klorotiske felta. Tidleg bladfall er vanleg.

Sinkmangel hos bygg kan gi bladflekkar som liknar sterkt på grå augefleck som er framkalla av skivekonidiesoppen *Rhynchosporium secalis* (Oudem.) J.J. Davis, til dels kan flekkane også likna på byggbrunfleck (oval brunfleck) framkalla av sekksporesoppen *Pyrenophora teres* Drechs. (Aasen 1991).

I ein byggåker i Grue i Solør, med flekkevis sterk sinkmangel, vart det sommaren 1989 oppdaga planter med avslitne bladslirer og gulning og visning av tilhøyrande blad. Dette kan truleg skuldast mangel på auxin, og dermed nedsett elastisitet hos cellene i vekstsonene i bladslirene. Desse plantene stod i overgangen mellom felt med sterk misvekst og felt med meir normale planter. Sorten var Pernilla.

Symptom på sinkmangel hos fleire norske jord- og hagebruksvokstrar er nøye beskrive av Aasen (1986).

Sinkkonsentrasjonen i plantene, og kritiske grenser for denne, varierar etter veksttilhøve og planteart. Til dels kan det vera store sortsskilnader innan same art. Til rettleiing kan følgjande grenseverdier setjast opp for konsentrasjonen av sink i fullt utvaksne blad:

Mangel	under	20		mg pr kg tørrstoff
Tilstreккеleg		20	-150	mg pr kg tørrstoff
Skadeleg	over	200	-500	mg pr kg tørrstoff

Resultat frå våre kar- og markforsøk med sink til kornartene bygg, havre og kveite viser at den nedre grenseverdien for tilstrekkeleg innhald av sink i kjerne kan setjast til 20-25 mg pr kg tørrstoff. Same grenseverdien kan også brukast for sams prøve av overjordiske plantedelar like før begynnande skyting.

## UTBREIING AV SINKMANGEL I NOREG

Inntil siste delen av 1960-åra var sinkmangel på dyrka planter lite påakta her i landet. Dei fleste tilfella var kjent i samband med sterk kalking til grønsaker, særleg kål, og nokre få tilfelle på eple. I distrikt med særleg lågt sinkinnhald i jorda, var det påvist nokre få tilfelle av sinkmangel på storfe.

I dei siste 25 åra har sinkmangel blitt oppdaga over store delar av Austlandet,

Trøndelag, indre delar av Møre og Romsdal og indre delar av Sogn. Det er særleg på gardsbruk og i kulturar der det ikkje eller sjeldan blir brukt husdyrgjødsel at sinkmangel dukkar opp. På areal som jamleg blir tilført husdyrgjødsel, er det sjeldan påvist sinkmangel på plantene. Ei medverkande årsak til dette er at det blir tilsett sink i mineralføret til husdyra, og ein god del av denne finst att i gjøsla i tilgjengeleg form.

Sinkmangel er påvist mellom anna på ulike grønsaker, jordbær, eple og potet, i karforsøk også på raps og fleire grasarter. Dei fleste tilfella, og størst utbreiing, er likevel funne i korn, der sinkmangel har vore årsak til misvekst på til dels store areal. Sterk og ukontrollert kalking er oftast årsak til mangelen. Men i dei seinare åra er det også påvist sinkmangel i korn dyrka på sinkfattig sandjord med pH godt under 6. Sinkmangel er også påvist på forvittringsjord og morenejord, men hittil ikke på stiv leirjord. På torvjord er sinkmangel lite undersøkt.

### NOKRE TREKK FRÅ ARBEIDET MED SINK SOM PLANTENÆRINGSSTOFF I NOREG

Dei første resultatane frå norske forsøk med sink til korn vart lagt fram av Helge Bergh (1945). Bergh arbeidde med dyrking både i næringsløysning og i markforsøk. Han fann tydelege vekstforstyrningar og avlingsnedgang for tilføring av store mengder sink som sinksulfat og også ein viss avlingsauke for mindre mengder. Forsøka var grundig utførte, men likevel er det tvilsamt om den avlingsauken Bergh fann for tilføring av mindre mengder sinksulfat, skuldast sink, for sinkkonsentrasjonen i kjerne av korn frå ledd utan tilførsel var om lag dobbelt så stor som den nedre kritiske grenseverdien vi reknar med i dag. Markforsøka var dessutan utførte på leirjord med pH rundt 5,5. Ved så låg pH var det neppe for liten tilgang på sink. Den positive verknaden Bergh fann av mindre mengder sinksulfat i desse forsøka, kan kanskje skuldast svovel. Men svovelinnhaldet i plantene var ikkje undersøkt, og noko bevis for dette kan derfor ikkje leggjast fram.

Gunnar Semb, forsøksleiar ved Statens jordundersøkelse, har påvist lågt sinkinnhald i sandjord og siltjord fleire stader. I ei omfattande undersøking av næringsstoffinnhaldet i dyrka jord i Solør og Sør-Odal i slutten av 1960-åra var innhaldet av HCl-løseleg sink i halvparten av prøvene frå sand- og siltjord  $\leq 1,5$  mg pr kg. I ein firedel av prøvene var innhaldet av sink  $\leq 1$  mg pr kg.

Singh og Steenberg (1974 a og b) undersøkte opptak og fordeling av sink og mangan i unge planter av mais og bygg dyrka i karforsøk, i sterkt kalka siltig sandjord med pH 7,3. Tilførsel av sink gav ein svak avlingsauke og auka opptak av sink i røter, stengel og blad. Når sink ikkje vart tilført, vart det utvikla karakteristiske symptom på sinkmangel hos mais, men ikkje hos bygg. I eit seinare arbeid med bygg dyrka i sterkt sink-ureina jord, har dei same fortattarane undersøkt samspelet mellom sink og fleire andre mikronæringsstoff (Singh og Steenberg 1975).

Singh og Låg (1976) har i karforsøk med bygg i sterkt sink-ureina jord undersøkt verknaden av store mengder sinksulfat på avling og opptak av sink, mangan, jarn, koppar, fosfor, kalium, kalsium og magnesium. Innblanding av store mengder sinksulfat i jorda førte til sterk auke av sinkkonsentrasjonen i plantene, til dels også til litt mindre avling. Synlege symptom på sinkforgifting vart ikkje påvist. Av dei undersøkte stoffa i tillegg til

sink, var det einast mangan som var påverka av sinktilførsla.

Ved Institutt for jordkultur vart sink tatt opp i arbeidsprogrammet frå 1970, først i karforsøk i veksthus, seinare også i markforsøk både ved instituttet og ute i distrikta. Til karforsøka vart det dei første åra brukt sinkfattig sand- og siltjord. Sink vart tilført som sinksulfat og innblanda i jorda i mengder svarande til 1 kg sink pr dekar. Når pH i jorda vart halde rundt 6 eller lågare, var det berre små avlingsutslag for sink. Straks jorda vart kalka til pH opp mot 7 eller høgare, vart det nesten fullstendig misvekst utan sinktilførsel, men normal avling der det var gitt sink (Aasen 1974).

Den sterke negative verknaden av sterk kalking på tilgjengelegheita av sink gjorde at vi ville sjå nærare på om visse vekstproblem på sterkt kalka grønsakjord kunne skuldast sinkmangel. Til undersøking i karforsøk vart samla inn sterkt kalka jord frå 15 grønsakdyrkarar i ulike delar av Austlandet og Trøndelag. I 11 av desse jordpartia utvikla forsøksplantene symptom på sinkmangel og gav klare positive avlingsutslag for tilførsel av sink. HCl-løyseleg sink i desse 11 partia var mindre enn 4,5 mg pr kg jord, og i 10 av desse var titerbar alkalinitet 7 m.e. eller større pr 100 g jord (jamfør figur 1). I nokre få tilfelle var det ekstra avlingsauke for å gi mangan i tillegg til sink.

I karforsøka er brukt mange ulike forsøksvokstrar. Mais, bygg, kveite, raudkløver og gulrot har alle reagert sterkt på sinkmangel. Men også engsvingel, hundegras, raigras og timotei, raps, kålrot og blomkål har gitt avlingsauke for tilførsel av sink.

I markforsøka våre er sink for det meste tilført som sinksulfat gjennom bladgjødsling. I to fastliggjande mangeårige bladgjødslingsfelt i Ås er verknaden av ulike konsentrasjonar i sprøytevæska, ulike væskemengder og ulike sprøytetider undersøkt. Jorda var sterkt kalka sandig lettleire med pH 7,5, HCl-løyseleg sink 1,6 mg pr kg og titerbar alkalinitet 11 m.e. pr 100 g. Til korn har to gongers sprøyting med 1 % oppløysning av sinksulfat, 25 l pr dekar kvar gong, gitt best resultat når den første sprøytinga var gjort 1-2 veker etter oppspiring og den andre om lag 3 veker etter oppspiring. Til potet har same konsentrasjon og væskemengde som til korn gitt godt resultat. Første sprøytinga i potet bør gjerast om lag 2 veker etter oppspiring og gjentakast 2 veker seinare.

Verknaden av sinksulfat til bygg tilført med bladgjødsling eller innblanda i jorda, er samanlikna i eit eittårig markforsøk ved Kvithamar forskingsstasjon (Myhr 1988). Jorda var sterkt kalka siltig mellomleire med pH 7,6. Kornavlinga for etter tur utan sink, bladgjødsling, og innblanding i jorda, var 137, 329 og 341 kg pr dekar. Avlingsskilnaden mellom bladgjødsling og innblanding i jorda var ikkje statistisk sikker. Med bladgjødslinga vart tilført 0,5 kg sinksulfat (114 g sink) pr dekar, ved innblanding i jorda vart tilført 5 kg sinksulfat (1,14 kg sink).

Kor lenge ei tilførsel av sink i jorda vil vera verksam, er lite undersøkt her i landet. Lindsay (1972) reknar med 3-8 år, avhengig av mengde, vekst, jord og klima. I dei fastliggjande bladgjødslingsforsøka i Ås vart sinkinnhaldet i jorda undersøkt etter 8 år (Aasen 1987). Sink var tilført i 5 av åra. Ved bladgjødslinga vil noko av sprøytevæska falla på jorda. Litt sink blir også tilført jorda med planterestar. HCl-løyseleg sink i jorda viser tydeleg auke for stigande mengde tilført med bladgjødsling (tabell 1). Men også i kontrollledet har sinkinnhaldet auka, frå 1,6 mg pr kg da forsøka starta til 2,3 mg etter 8 år. Årsaka til dette er truleg at jordarbeidinga har ført til litt overdraging av sink frå bladgjødsla ruter og til kontrollrutene.

Verknaden av det auka sinkinnhaldet i jorda er undersøkt med raudkløver som

forsøksvekst (Aasen 1987). Resultatet går fram av tabell 2. Både avlinga og sinkkonsentrasjonen i plantene viser tydeleg samanheng med sinkinnhaldet i jorda. Etter at forsøksbehandlinga på feltet var avslutta, er det ikkje lenger funne mangelsymptom på plantene på ruter som i tidlegare år har vore bladgjødsla med sink. Dette viser at sink som har blitt oppmagasinert i jorda gjennom bladgjødsling, er til stades i tilgjengeleg form.

Tabell 1. Verknad av bladgjødsling med sinksulfat gjennom 5 år på HCl-løseleg sink i jorda  
Table 1. HCl-extractable soil zinc as influenced by foliar application of zinc sulphate for 5 years

Tal sprøytingar pr år <i>Number of sprayings per year</i>	Total mengde Zn tilført, kg pr dekar <i>Total amounts of Zn applied, kg per 0.1 ha</i>	HCl-løseleg Zn i lufttørr jord, mg pr kg <i>HCl-extractable Zn on air-dry soil, mg per kg</i>
0	0	2,3
1	0,487	3,0
2	0,970	3,2
3	1,139	3,8

Tabell 2. Verknad av ulikt sinkinnhald i jorda etter bladgjødsling i tidlegare år på avling av raudkløver og konsentrasjon av sink i plantene

Table 2. Effect of different soil zinc content, caused by foliar application in previous years, on the yield and the zinc concentration in red clover

HCl-løseleg Zn i lufttørr jord, mg pr kg <i>HCl-extractable Zn on air-dry soil, mg per kg</i>	Tørrstoffavling, kg pr dekar <i>Yield, dry matter, kg per 0.1 ha.</i>		Konsentrasjon av Zn i tørrst., mg pr kg <i>Zn concentration, mg per kg dry matter</i>	
	1.haust. <i>1. cut</i>	2.haust. <i>2. cut</i>	1.haust. <i>1. cut</i>	2.haust. <i>2. cut</i>
2,3	308	226	13,2	12,8
3,0	381	217	19,0	15,1
3,2	390	242	21,4	17,2
3,8	393	269	23,0	19,0

Verknaden av sinksulfat innblanda i jorda, anten som sinkhaldig NPK-gjødsel eller gitt separat, er samanlikna i eit to-årig karforsøk med vårkveite (Wu & Aasen 1993). Sinktilførsla har verka like godt anten sinken har vore inngranulert i gjødsla eller gitt separat. Dette gjeld både verknad på avlingsmengda av korn og på sinkinnhaldet i kornet.

Verknaden av pH i jorda på sinkkonsentrasjonen i kjerne av korn er undersøkt i mange forsøk. I tabell 3 er vist nokre døme frå karforsøk ved Institutt for jordkultur (Aasen 1981). Av tabellen går det fram at kalking til høg pH i jorda har ført til sterk senking av sinkkonsentrasjonen i kornet både utan og med tilførsel av sink.

## 52 Sink som plantenæringsstoff

Tabell 3. Verknad av kalking og tilførsel av sink til jorda på konsentrasjonen av sink i kornet, mg Zn pr kg tørrstoff

Table 3. Zinc concentration (mg per kg dry matter) in grains as influenced by liming and zinc application to the soil

Vekst Crop	Utan kalk Without lime			Med kalk With lime		
	pH	Zn <sub>0</sub> <sup>1)</sup>	Zn <sub>1</sub> <sup>2)</sup>	pH	Zn <sub>0</sub> <sup>1)</sup>	Zn <sub>1</sub> <sup>2)</sup>
Bygg Barley	5,1	40	71	6,9	14	29
"	5,5	30	51	7,2	18	28
"	6,1	18	31	7,4	10	17
Kveite Wheat	5,4	29	47	7,2	10	20
"	5,7	25	39	6,9	12	24

<sup>1)</sup> Utan sink. Without zinc

<sup>2)</sup> Med sink. With zinc

## SLUTTORD

Sink er eit livsnødvendig mineralstoff både for planter, dyr og menneske. Tilstreккеleg tilgang av plantetilgjengeleg sink er viktig ikkje berre for å oppnå gode avlingar, men også for god avlingskvalitet til fôr og mat. Sterk og ukontrollert kalking er ofte årsak til sinkmangel. Derfor bør behovet for kalk alltid undersøkast før jorda blir kalka. Sink kan tilførsast både med bladgjødsling og med innblanding i jorda. I sinkfattig sandjord med låg pH vil plantetilgjengeleg sink lett bli utvaska. På slik jord vil derfor bladgjødsling vera mest føremålstenleg. Sink er eit tungmetall og bør ikkje tilførsast utan at behov for tilførsel er påvist.

## LITTERATUR

Bergh, H. 1945. Sink som plantenæring og plantegift. Det Kgl. Norske Vidensk. Selsk. Skr. 1945: (3) 1-67.

Krauskopf, K.B. 1972. Geochemistry of micronutrients. In: Micro-nutrients in Agriculture. Ed. committee: Mortvedt, J.J., P.M. Giordano & W.L. Lindsay. Madison, Wisconsin USA. s. 7-40.

Lindsay, W.L. 1972. Zinc in soils and plants. Adv. Agron. 24: 147-186.

Lindsay, W.L. & W.A. Norvell 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.

- Låg, J. 1972. Norsk jordbunnsforskning i relasjon til problemer om naturforurensning med tungmetaller. Symposium om tungmetallforurensning, Hurdal. NAVF, NLVF, NTNF, Oslo 1972: 52-58.
- Myhr, K. 1988. Gjødsling med sink og mangan til bygg på alkalisk jord. Norsk landbruksforskning 2: 103-109.
- Nelson, J.L., L.C. Boawn & F.G. Viets Jr. 1959. A method for assessing zinc status of soils using acid-extractable zinc and "titratable alkalinity" values. Soil Sci. 88: 275-283.
- Ryan, P., J. Lee & T.F. Peebles 1967. Trace element problems in relation to soil units in Europe. World Soil Resources, Rep. No. 31. FAO, Rome. 55 s.
- Singh, B.R. & K. Steenberg 1974a. Plant response to micronutrients. I. Uptake, distribution and translocation of zinc in maize and barley plants. Plant and Soil 40: 637-646.
- Singh, B.R. & K. Steenberg 1974b. Plant response to micronutrients. III. Interaction between manganese and zinc in maize and barley plants. Plant and Soil 40: 655-667.
- Singh, B.R. & K. Steenberg 1975. Interactions of micronutrients in barley grown on Zinc-polluted soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39: 674-679.
- Singh, B.R. & J. Låg 1976. Uptake of trace elements by barley in zinc-polluted soils: 1. Availability of zinc to barley from indigenous and applied zinc and the effect of excessive zinc on the growth and chemical composition of barley. Soil Sci. 121: 32-37.
- Sommer, A.L. & C.B. Lipman 1926. Evidence on the indispensable nature of zinc and boron for higher plants. Plant Physiol. 1: 231-249.
- Wu, X., I. Aasen & A.R. Selmer-Olsen 1991. A study of extraction methods for assessing soil zinc availability: I. Soil zinc extractability and soil zinc buffering capacity in relation to soil properties. Norw. J. Agric. Sci. 5: 89-107.
- Wu, X. & I. Aasen 1992. A study of extraction methods for assessing soil zinc availability: III. Zinc concentration in barley plants as a function of soil extractable zinc and soil buffering capacity. Norw. J. Agric. Sci. 6: 85-98.
- Wu, X. & I. Aasen 1993. Effect of zinc application and soil pH on yield and element nutritional status of wheat (*Triticum aestivum* L.). Norw. J. Agric. Sci. 7: 159-174.
- Aasen, I. 1974: Sinkmangel på planter. Reaksjon på gjødsling med sink til korn, gras og gulrot dyrka i jord med lågt sinkinnhold. Informasjonsmøte Jordbruk, Hamar. LOT 1974: (2) 9-14.

54 *Sink som plantenæringsstoff*

Aasen, I. 1981. Copper, manganese, and zinc concentrations in barley, oats, and wheat as influenced by different rates of supply. Mineal Elements '80. Proc. Part I. Helsinki 1981: 5-10.

Aasen, I. 1986. Mangelsjukdomar og andre ernæringsforstyrningar hos kulturplanter. Landbruksforlaget, Oslo. 95 s. + 57 fargebilete.

Aasen, I. 1987. Zinc application to cereals, potatoes, and red clover on a heavily limed zinc-deficient soil in Norway. In: The Utilization of Secondary and Trace Elements in Agriculture (Ed.: United Nations). Developments in Plant and Soil Sciences 29. Nijhoff, Dordrecht 1987. s. 161-171.

Aasen, I. 1991. Sinkmangel på bygg - forveksling med grå augeflekk. Informasjonsmøte Plantevern. SFFL. Faginfo 1991: (2) 201-204.



# Vurdering av plantetilgjengeligheten av akkumulert fosfor i jord ved hjelp av isotopfortynningmetoden ( $^{32}\text{P}$ )

## *Estimation of plant availability of residual phosphorus in soils using the isotopic dilution technique*

BAL RAM SINGH

Norges landbrukshøgskole, Institutt for jord og vannfag, Ås, Norge

*Agricultural University of Norway, Department of Soil and Water Sciences, Ås, Norway*

Singh, B.R. 1993. Estimation of plant availability of residual phosphorus using the isotopic dilution technique. Norsk landbruksforskning. Supplement No. 16: 55-62. ISSN 0802-0914.

In a greenhouse experiment the uptake of phosphorus by wheat as affected by rate of P application on soils with increasing concentrations of residual P was investigated using the isotopic dilution technique. The residual P in the soils varied from 2.7 to 14 mg 100 g<sup>-1</sup> soil. Phosphorus was applied at the rate of 0, 5 and 15 mg P kg<sup>-1</sup> soil equivalent to 0, 1 and 3 kg P da<sup>-1</sup>. The dry matter yield of wheat increased significantly with increased rate of P-application but, only up to the second level of residual P in the soil. However, each increment of residual P in the soil also increased the yield significantly. The concentration of  $^{32}\text{P}$  in plants increased consistently with increased rate of P-application but that of total P was little affected by P fertilization. The total P-concentration was, however, increased almost linearly with increased levels of residual P in the soil. The P derived from fertilizer increased with increased rates of P-fertilization but decreased with increased levels of residual P in the soil. A-values increased with increased levels of residual P in the soil and they showed a very good relationship with P-AL values. These results suggest that 20-30% of the P from continuous fertilization in the past several years was still available to the plant growth and that greater proportions of P in plants at higher levels of A-value came from the soil.

Key words: "A-value", plant available P, P-uptake, radioactive P( $^{32}\text{P}$ ), residual P wheat

*Bal Ram Singh, Agricultural University of Norway, Department of Soil and Water Sciences, P.O. Box 5028, N-1432 Ås, Norway.*

Akkumuleringen av plantetilgjengelig fosfor i jord skyldes enten naturlig høy P tilstand i jorda eller tidligere gjødsling eller begge deler. Jordanalyser fra Landbrukets Analysesteder viser at fosfortilstanden i en stor del (> 75%) av dyrket jord i Norge kan klassifiseres som god eller meget god (Jordanalyser Statistikk, 1991). I hvilken grad plantene utnytter dette fosforet er

avhengig av P-innholdet i jorda, jordegenskaper, tid siden P ble tilført, og dyrkingsintensitet (Barrow, 1980; Barrow and Shaw, 1974). Forståelsen av forholdet mellom P-opptak i planter og P-konsentrasjon i jordvæske i fosforrik jord er viktig både for gjødslingsplanlegging og tap av P til vassdraget. Havlin (1984) fant en endring i Olsen-P på 0.17 mg P kg<sup>-1</sup> jord for hvert mg P kg<sup>-1</sup> jord som ble fjernet fra en mellomleire i Colorado. Tilsvarende endring i New Mexico var 0.21 mg P kg<sup>-1</sup> (Leamer, 1963) og 0.13 til 0.35 mg P kg<sup>-1</sup> i Michigan (Yerogun og Christensen, 1990).

Fosforet som går over i jordvæske kan måles ved hjelp av forskjellige ekstraksjonsmidler, men også med isotop teknikk. Denne teknikken måler plantetilgjengelig P ved merking med radioaktivt P(<sup>32</sup>P). Teknikken estimerer plantetilgjengelige næringsstoffene i jorda, også kalt "A-verdi". "A-verdien" i denne sammenheng betyr at plantene som har to kilder for næringsstoffene, jord og tilført gjødsel, vil ta opp stoffene i direkte proporsjon til den mengden som er tilgjengelig for plantene. Denne teknikken er mest brukt for å bestemme plantetilgjengelig fosfor i jord.

I dette veksthusforsøket har en ved hjelp av isotopmerket fosfor (<sup>32</sup>P) undersøkt opptaket av fosfor i vårhvete fra fosforgjødsel og fra jorda med stigende P innhold ved anlegg. Videre har en sett på sammenhengen mellom "A-verdi" og P-AL (P ekstrahert ved ammoniumlaktat).

## FORSØKSMETODIKK

Jorda i dette forsøket ble tatt fra 0-15 cm sjikt fra et langvarig markforsøk med P og K gjødsling til korn (Delvis beskrivelse i Uhlen og Rød, 1983) utført ved Institutt for jord og vannfag. Gjødselmengder i markforsøket var 0, 1.6, 3.2, og 4.8 kg P da<sup>-1</sup> årlig for en periode på 26 år. Dette resulterte i at P innholdet i jorda hentet fra disse leddene ved anlegg av karforsøket var henholdsvis 2.7, 6.7, 9.8, og 14.0 mg P 100 g<sup>-1</sup> jord. P-AL ved anlegg av markforsøk i 1966 var 5 mg 100 g<sup>-1</sup>. Andre egenskaper ved jorda er vist i tabell 1. pH i jorda ble målt ved pH meter i et jord til væskeforhold på 1:2.5. Fosfor, K, Ca og Mg ble bestemt etter metode av Egner et al. (1960). Organisk karbon i jorda ble bestemt ved brenning i en EC-12 LECO karbon analysator.

Tabell 1. Kjemiske egenskaper av jord  
*Table 1. Some chemical properties of the soils used*

Jord nr. & tidl. gjødsel. <i>Soil No &amp; past fert.</i>	pH	Org.C	P-AL	K-Al	Mg-Al	Ca-AL
A (0)	5,5	2,9	2,7	11	7,2	166
B (1.6)	5,7	3,1	6,7	6,8	5,5	183
C (3.2)	5,6	3,1	9,8	6,4	5,3	190
D (4.8)	5,7	2,9	14,0	5,5	5,4	198

Jorda ble tørket, siktet gjennom 2 mm sikte og fylt i 3 kg plastikk kar. Forsøksleddene var de 4 P nivåer i jord fra feltet med stigende P ved anlegg, som vist ovenfor og i tabell 1,

kombinert med 3 mengder tilført P-gjødsel i Ca (H<sub>2</sub> PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> som 3 fosfordoser. Fosfordosene var 0, 5 og 15 mg P kg<sup>-1</sup> jord tilsvarende 0, 1 og 3 kg P da<sup>-1</sup>. For hvert P trinn ble benyttet 3 paralleller. Fosfor i gjødselen ble merket med 35 mikrocurie av <sup>32</sup>P per kar. Mengder av N og K tilført var 120 mg kg<sup>-1</sup> jord for hver av disse næringsstoffene og samtidig en standard dose av en blanding av mikronæringsstoffene Fe, Mn, Cu, B, og Mo til hvert kar. Jorda ble blandet godt med gjødsel, <sup>32</sup>P løsning, og mikronæringsblanding før fylling av karene. Femten frø av hvete ble sådd i hvert kar og etter spiringen ble det tynnet til 10 planter. Det ble vannet med deionisert vann til ca 15 % jordfuktighet gjennom hele vekstsesongen.

Hvete ble høstet ved begynnende skyting og tørrstoffavlingene ble bestemt. Planteprøver fra hvert kar ble analysert både for kjemisk P og radioaktiv P (<sup>32</sup>P).

For bestemmelse av "A verdi" og prosent P opptatt av plantene fra gjødsel ble det benyttet følgende ligninger:

$$A = \frac{B(1-Y)}{Y}$$

Hvor A = mengde av fosfor tilgjengelig i jorda; B = mengde av fosfor i tilført gjødsel; y = proporsjon av fosforet i planter som stammet fra tilført gjødsel.

$$\% \text{ Pdff} = \frac{\text{P opptak fra } ^{32}\text{P i planter}}{\text{Totalt P opptak i planter}} \times 100$$

hvor % Pdff er prosent P i planter som stammet fra tilført gjødsel.

## RESULTATER OG DISKUSJON

### Avlinger

Det ble funnet signifikant økning i tørrstoffavling av hvete med økt tilførsel av fosforgjødsel på jorda med P-AL tall < 7 mg 100 g<sup>-1</sup> ved anlegg. Men på jord med høyere P-AL tall var ikke differansen mellom fosfor-leddene signifikant (Tabell 2). Avlingsforskjellen mellom jord med varierende P-AL tall ved anlegg var signifikant helt opp til P nivået av 9.8 mg 100 g<sup>-1</sup> jord uansett av mengder av tilført P. Ofte var avlingen høyest på største nivå av P-AL (14 mg 100<sup>-1</sup>) i jorda. Resultatene av forsøket viser at økt akkumulering av fosfor i jorda etter langvarig bruk av fosforgjødsel hadde stor betydning for avlingsmengde og at fosforgjødsling til jorda med middels til god P tilstand ikke hadde noe særlig virkning på avlingene.

### Konsentrasjon av P i planter og opptak av <sup>32</sup>P og totalt P

Konsentrasjonen og opptaket av <sup>32</sup>P i planter økte med økt tilførsel av fosforgjødsel på alle nivåer av P tilstand i jorda ved anlegg. Men differansen i <sup>32</sup>P konsentrasjon eller <sup>32</sup>P opptak ved planter mellom jord med varierende P tilstand var små og avstanden mellom disse

leddene ble mindre med stigende P tilstand i jorda (Tabell 3). Konsentrasjonen av totalt P i planter var lite påvirket av P-gjødsling, men viste økende tendens med økt tilførsel av fosforgjødsel, og spesielt på det høyeste nivået (15 mg kg<sup>-1</sup>). Virkningen av P tilstanden i jorda ved anlegg på konsentrasjonen og opptaket av totalt P i planter var tydelig i forsøket hvor både konsentrasjonen og opptak ved planter økte nesten lineart med stigende P tilstand i jord (Tabell 3). Disse resultatene tyder på at P akkumulert i jord over lengere tid fremdeles var tilgjengelig for plantene og at en større andel av plantenes fosforsbehov på middels til god P tilstand i jorda, ble oppfylt med fosfor akkumulert i jorda. Resultatene fra dette forsøk kan sammenlignes med de som er rapportert av Pothuluri et al. (1990) fra U.S.A. De fant høyere tørrstoffavlinger og økt P opptak i planter med stigende P nivå i jord (i forsøk) og at totalt P opptak ved planter var høyere for gjødslet leddene enn for ugjødslet ledd.

Tabell 2. Virkingen av P gjødsling på tørrstoffavlinger(g/kar) av hvete i jord med stigende P innhold  
 Table 2. Dry matter yield of wheat(g/pot) as influenced by P application to soils with different initial P status

P dose <i>P rate</i> mg kg <sup>-1</sup>	P innhold i jord ved anlegg (P-AL mg/100g) <i>Soils and their P status</i>				Midd. <i>Mean</i>
	A (2,7)	B (6,7)	C (9,8)	D(14)	
0	8,1	10,3	11,6	12,3	10,6
5 (1kgda-1)	8,9	10,3	11,9	12,2	10,8
15 (3kgda-1)	10,1	11,1	12,0	11,7	11,2
Midd.( <i>Mean</i> )	9,1	10,6	11,9	12,1	

LSD 0,05 for P dose (P rate) = 0,72 g/kar for P innholdet ved anlegg (*Initial P levels*) = 0,83 g/kar

### Fosfor opptatt ved planter fra gjødsel og "A verdi"

Fosfor opptatt(%Pdff) i planter fra gjødsel var høyest ved minste P-AL nivå i jorda ved anlegg og opptatt fosfor ble gradvis redusert med stigende nivå av P-AL i jorda på begge mengder av tilført fosfor (Tabell 4). Men opptatt P i planter fra gjødsel var større ved høyere mengde av P tilført uansett av P-AL nivået i jorda. I sammenligning med dette forsøket fant Venkatreddy et al.(1982) også størst andel av opptatt P(% Pdff) i planter fra jorda uten fosforgjødsling (P<sub>0</sub>) og at andelen av opptatt P fra gjødsel i leddene som hadde fått husdyrgjødsel eller NPK gjødsel var bare 50% av de leddene som ikke hadde fått enten husdyr-eller NPK-gjødsel. Resultatene viser at en større andel av fosforet i plantene ble tatt opp fra tilført gjødsel ved lavere enn ved høyere nivå av P-AL i jorda.

"A-verdien" ble økt gradvis med økende P-AL tall i jorda og denne verdien var mer enn tre ganger så stor som på jord med største P-AL tall som ved minste P-AL tall (Tabell 4). Dermed viste "A verdiene" en positiv og høy korrelasjon til P-AL tall i jord (Fig.1). Men "A verdiene" var like store om P tilførselen var 5 eller 15 mg kg<sup>-1</sup> jord, noe som betyr at verdien ikke var påvirket av tilført fosforgjødsel. Resultatene viser at P tilstanden i jorda ved anlegg påvirket i stor grad opptak og utnyttelse av P fra gjødsel og resulterte i større "A-verdi" som var også observert i tidligere undersøkelser (Sinha og Datta, 1974; Venkatreddy et al., 1982). En høy "A-verdi" i denne sammenheng kunne antyde en lav utnyttelse av tilført gjødsel, er videre bekreftet av lav opptatt P fra gjødsel (%Pdff) på høyere P-AL tall i jorda ved anlegg (Tabell 4). Økningen i "A-verdiene" med økende P-

anrikning av jorda på grunn av langvarig P gjødsling tyder på at noe av fosforet i jorda fremdeles var tilgjengelig til plantene og at bare 10% av tilført P ble tatt opp i plantene når "A-verdien" var større en 20 kg da<sup>-1</sup>. En høy korrelasjon mellom "A-verdi" og P-AL tall i jorda indikerer at begrepet "A-verdi", selv om empirisk, kan anvendes til å vurdere mengder av plantetilgjengelig fosfor i jord.

Tabell 3. Virkningen av P gjødsling på konsentrasjonen og opptaket av <sup>32</sup>P and total-P i hvete dyrket på jord med stigende P-AL tall ved anlegg

Table 3. Effect of P rates on the concentration and uptake of <sup>32</sup>P and total P in wheat grown in soils with different P levels

P dose P rate mg kg <sup>-1</sup>	P innholdet i jord ved anlegg (P-AL mg/100g) Soils and their P status			
	A (2,7)	B (6,7)	C (9,8)	D (14,0)
	<b>Kons. (cons)<sup>32</sup> P (mg kg<sup>-1</sup>)</b>			
0	-	-	-	-
5 (1kgda-1)	80	80	60	60
15 (3kgda-1)	250	200	190	190
	<b>Kons.Total-P (cons. total) (%)</b>			
0	0,09	0,14	0,18	0,22
5 (1kgda-1)	0,10	0,14	0,18	0,22
15 (3kgda-1)	0,11	0,14	0,19	0,25
	<b>Opptak av (uptake of) <sup>32</sup>P(mg/pot)</b>			
0	-	-	-	--
5 (1kgda-1)	0,70	0,70	0,71	0,66
15 (3kgda-1)	2,28	2,12	2,16	2,08
	<b>Opptak av total-P (uptake of total) (mg/ pot)</b>			
0	6,26	13,10	19,82	24,70
5 (1kgda-1)	8,07	14,04	19,89	24,96
15 (3kgda-1)	10,19	14,52	21,35	27,07

Tabell 4. Opptatt P fra tilført gjødsel og " A values"

Table 4 Effect of P enrichment and P levels on percent P derived from fertilizer(%Pdff) and A-values

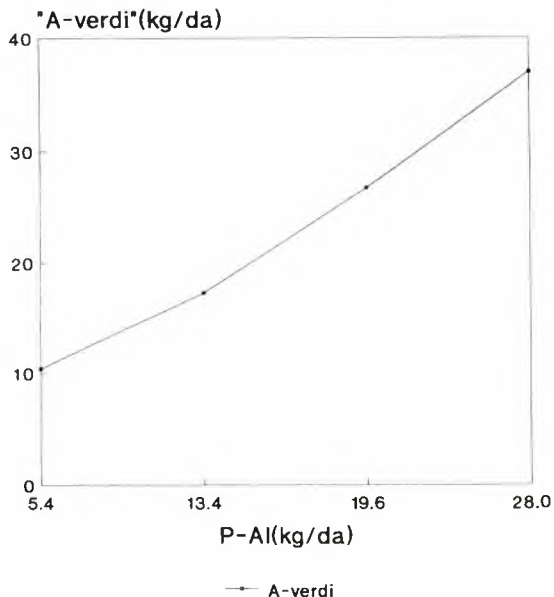
Jordnr. Soils	P-AL ved anlegg P status(P-AL) mg100g <sup>-1</sup>		% Pdff kg da <sup>-1</sup>		A value ( kg da-1)	
					<i>P dose(rate)</i> (Kg da <sup>-1</sup> )	
			(mgkg <sup>-1</sup> )		( Kg da <sup>-1</sup> )	
			5	15	1	3
A	2,7	5,4	8,7	22,7	10,5	10,4
B	6,7	13,4	5,0	14,6	19,0	17,3
C	9,8	19,6	3,7	10,1	26,8	26,7
D	14,0	28,0	2,6	7,5	37,5	37,0

% Pdff = prosent P opptatt fra gjødsel (percent P derived from fertilizer)

## 60 Vurdering av plantetilgjengeligheten av akkumulert fosfor

Fig.1. Forhold mellom P-AL og "A-verdi" i jorda

Fig.1. Relationship between P-AL and "A-values" in the soil



I løpet av 1966-1992 ble tilført pr deker over 40 kg pr dose i markforsøket. Med korreksjon for et lite meropptak i avlinger, 10-15% av alt tilført, finner en at økningen i "A-verdi" er 22-30, av restinnhold av P i jord. Økningen i P-AL er nesten like stor som økning i "A-verdi" uttrykt i kg P pr deker (Tabell 4). I en tilsvarende undersøkelse med isotopfortynningsmetoden i karforsøk med havre fant Uhlen og Steenberg (1982) at fosfor tilført 15 år tidligere i rammeforsøk uten plantevekst hadde en virkning som tilsvarte 20-25% av nytt tilført fosfor. En fikk samme økning i P-AL som i "A-verdier". Dette var i middel for jord i dårlig fosfortilstand fra 15 forsøkssteder på østlandet.

### SAMMENDRAG

I et veksthusforsøk ble opptaket av fosfor i vårhvete fra gjødsel og fra jord med stigende P innhold ved anlegg undersøkt ved hjelp av isotopmerket P ( $^{32}\text{P}$ ). Fosforinnholdet i jorda ved anlegg varierte fra 2.7 til 14.0 mg P 100 g<sup>-1</sup> jord. Fosfordoser på hvert P nivå av jorda var 0, 5 og 15 mg P kg<sup>-1</sup> jord tilsvarende 0, 1, og 3 kg P da<sup>-1</sup>. Signifikant økning i tørrstoffavling av hvete med økt tilførsel av fosforgjødsel på jorda med P-AL tall < 7 mg 100 g<sup>-1</sup> ved anlegg var observert. Avlingsforskjellen mellom jord med varierende P-AL tall ved anlegg var også signifikant helt opp til P nivået av 9.8 mg 100<sup>-1</sup> jord. Konsentrasjonen og opptaket av  $^{32}\text{P}$  i planter ble økt med økt tilførsel av fosforgjødsel. Derimot var konsentrasjonen av totalt P i planter lite påvirket av P gjødsling, mens P opptaket i planter viste økende tendens med økt tilførsel av fosforgjødsel. Både konsentrasjon og opptak i planter økte nesten lineært med stigende P tilstand i jord. Andelen av opptatt P (%Pdff) i planter fra gjødsel økte med økt fosforgjødsling, men andelen ble gradvis redusert med stigende nivå av P-AL i jorda ved anlegg. "A-verdi" ble økt gradvis med økende P-AL tall i jorda og dermed viste "A verdiene" en positiv og høy korrelasjon til P-AL tall i jord. Resultatene

viser at 20-30% av P akkumulert i jord etter langvarig fosforgjødsling fremdeles var tilgjengelig til planter og at en større andel av fosforbehovet, på middels til god P tilstand i jorda, ble oppfylt med akkumulert P i jorda.

## ETTERORD

Dette forsøk ble utført i regi av et samarbeidsprosjekt om landbruksrelatert forskning om handelsgjødel mellom Institutt for jord og vannfag og Norsk Hydro.

## LITTERATUR

Barrow, N.J. 1980. Evaluation and utilization of residual phosphorus in soils. p. 333-359. In F.E. Khasawneh et al. (eds.) The role phosphorus in agriculture. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, Wi.

Barrow, N.J. & T.C Shaw 1974. Factors affecting the long term effectiveness of phosphate and molybdate fertilizers. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 5: 355-364.

Egner H., H. Riehm & W.R. Domingo 1960. Untersuchungen über die Chemische Bondenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des nährstoffzustandus der Boden. K. Lantbrukhgsk. Ann. 36:199-215.

Havlin, J.L., DG. Westfall & H.M. Golus 1984. Six years of phosphorus and potassium fertilization of irrigated alfalfa on calcareous soils. Soil Sci Soc. Am. J. 48: 331-336.

Jordanalyser Statistikk, 1991. Landbrukets Analyse Senter, Ås-NLH.

Leamer, R.W. 1963. Residual effects of phosphorus fertilizer in an irrigated rotation in the southwest. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 65-68.

Novais, R and E.J. Kamprath. 1978. Phosphorus supplying capacities of previously heavily fertilized soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 931-935.

Pothuluri, J.V., D.A. Whitney & D.E. Kissel 1991. Residual value of fertilizer phosphorus in selected Kansas soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 399-404.

Sinha, A.K. & N.P. Datta 1974. Efficiency of phosphate fertilizers in Alluvial soils. Proc. Symposium on use of Radiation and Radioisotopes in Studies of Plant Productivity. Pantnagar 520-528.

Uhlen, G. & D. Rød 1983. Rammeforsøk sammenlignet med kar-og markforsøk for måling av virkningen av fosfor-og kaliumgjødning. Meld. Norg. Landbr. Høgsk. 62, 23 p.14.

Uhlen, G. & K. Steenberg 1982. The residual effects of phosphorus fertilizers as measured by an isotopic method and by chemical tests. *Meld. Norg. Landbr. Høgsk.* 61(11) p.14.

Venkatreddy, N., M.C. Saxena & R. Srinivasulu 1982. E-, L-, and A-Values for estimation of plant-available soil phosphorus. *Plant Soil* 69: 3-11.

Yerokun, O.A. & D.R. Christenson 1990. Relating high soil test phosphorus concentrations to plant phosphorus uptake. *Soil Sci. Soc. Am.J.* 54: 796-799.



# Effekt av förfrukt och växtföljd på markens kväveleverans

## *Effects of crop rotation and previous crop on N-uptake*

JAN PERSSON & LENNART MATTSSON

Institutionen för markvetenskap, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala, Sverige  
*Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala,  
Sweden*

Persson, J. & L. Mattsson 1993. Effects of crop rotation and previous crop on N-uptake. Norsk landbruksforskning. Supplement No. 16: 63-70. ISSN 0802-0914.

The influence of crop rotation and previous crops on N-uptake was demonstrated using data from six long-term field experiments. One rotation (I) involved barley, ley, winter wheat and sugar beets. In the other rotation (II) the ley was replaced by winter rape. The N-uptake was determined in years when both rotations had the same crop. The N-uptake in rotation I was given a value of 100 and N-uptake in rotation II was expressed in relation to that. In the sugar beet and winter wheat crops in rotation II, the N-uptake approached 50% of that in rotation I. This indicates that the N supply is exhausted. In rotation I, farmyard manure was applied to the sugar beet crop and the ley contained clover, whereas in rotation II the rape straw was ploughed down. Barley following sugar beets gave fairly good yields in rotation II. In rotation I, the beet tops were removed but in rotation II they were returned and ploughed down. Apparently, the big differences between crops and the regular shape of the curves could be attributed to short-term effects, specified as *previous crop effects*, mainly depending on N supply. However, there was also an overall decrease with time in rotation II relative to rotation I, which was attributed to long-term changes in soil fertility and designated as *crop rotation effect*.

Key words: Crop residues, crop rotation, humus fractions, N-uptake, soil nitrogen.

*Jan Persson & Lennart Mattsson, Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, P.O. Box 7014, S-750 07 Uppsala, Sverige.*

Markens kväve är nästan helt knutet till organiskt material. Det finns i färsk skörderester, i mikroorganismer och i humussubstanser. Det är vanligt, att man gör en indelning i halvstabla (young humus) och stabla (old humus) humussubstanser. Man brukar ange omsättningstiden till några decennier respektive flera sekler för de båda fraktionerna (Paul & Juma 1981, Parton et al. 1985). I synnerhet den halvstabla humusfraktionens storlek kan ändras som följd av ändrade odlingsåtgärder. Det tar dock lång tid innan ett nytt

jämviktsläge etablerats (Jenny 1933, Jenkinson & Johnston 1977, Stevenson 1982).

Kväve ställs till växternas förfogande genom mineralisering av både färskt organiskt material och humussubstanser. Av humussubstanserna är det främst den halvstabila humusfraktionen som härvidlag är av betydelse. Nedbrytning av den stabila fraktionen går så långsamt att den har liten betydelse för kvävemineraliseringen. Omsättning av färskt material kan också leda till immobilisering av kväve.

Kvävemineraliseringen påverkas kortsiktigt av mängden och sammansättningen hos det färskta organiska material, som tillförs. Långsiktigt påverkas kvävemineraliseringen om den halvstabila humusfraktionens storlek ändras. Storleken hos denna fraktion kan variera inom vida gränser (Parton et al. 1983). En ökad N-frigörelse motsvarande upp till 10 kg ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> har konstaterats i långliggande försök, som under 10-27 år tillfördes 100 kg ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> N (Mattsson 1987).

Den kväveeffekt man erhåller av kväverika skörderester (exempelvis leguminoser) kan vara betydande. Bartholomew (1965) uppger att 60 % av kvävet i en baljväxtgröda kan mineraliseras under första året. Lindén (1984) kom till liknande resultat. Denna kraftiga mineralisering klingar av snabbt. Redan andra året efter tillförseln av det färskta materialet är kväveeffekten ganska blygsam. En stor del av skörderesternas kväve dras genom mikroorganismerna in i det biologiska kretsloppet och byggs in i mikrobiomassa, metaboliter och humussubstanser. Många författare rapporterar om den stora stabiliteten hos detta kväve (Jansson 1963, Bartholomew 1965, Legg & Allison 1967, Westerman & Kurtz 1972). I isotopundersökningar fann Jansson (1968) att detta kväve efter några år av jämviktsinställelse hade en halveringstid på 40 år, vilket inte skiljde sig mycket från markens ursprungliga kväve.

I föreliggande studie önskade vi belysa betydelsen av förfrukten och växtföljden för N-upptaget. Vi undersökte årliga skillnader i N-upptaget i två växtföljder, en med vall och stallgödsel och en med enbart avsalugrödor och utan tillförsel av stallgödsel. Vår hypotes var att det föreligger skillnader mellan växtföljderna, som beror dels på kortsiktiga åtgärder, som vidtages inom ramen för försöksplanen, dels på att humusförrådet långsiktigt byggs upp, också som följd av försöksåtgärderna.

## MATERIAL OCH METODER

Data från sex långliggande försök i södra Sverige utnyttjades för studien. Två växtföljder, 4 PK-nivåer och 4 N-nivåer prövades i försöken. Försöksplanen sammanfattas i Tabell 1. För detaljerad information se Jansson (1975).

För de år de båda växtföljderna hade samma gröda bestämdes N-upptaget i kornkärna, höstvetekärna samt i blast och rötter hos sockerbetor. För varje år sattes N-upptaget i växtföljd I lika med 100. N-upptaget i växtföljd II relaterades till detta. Beräkningarna gjordes för N-nivåerna 0, 2 och 3. Som PK-nivå valdes svag uppgödsling. Resultaten beräknades som medeltal av de sex försöksplatserna.

Tabell 1. Fastliggande försök i södra Sverige med 2 växtföljder, 4 PK-nivåer och 4 N-nivåer. Sammanfattning av försöksplan

Table 1. Long-term field experiments in south Sweden with 2 crop rotations, 4 PK-levels and 4 N-levels. Summary of treatment design

Växtföljd *Crop rotation*

I	II
Korn <i>Barley</i>	Korn
Vall <i>Ley</i>	Oljeväxter <i>Oil seed</i>
Höstvete <i>Winter wheat</i>	Höstvete
Sockerbeter <i>Sugar beets</i> <sup>1)</sup>	Sockerbeter
Alla skörderester bortföres <i>All crop residues removed</i>	Alla skörderester återföres <i>All crop residues returned</i>

N-nivå, gäller båda växtföljderna  
*N-level, valid for both rotations*

Nivå <i>Level</i>	kg ha <sup>-1</sup> växtföljd <sup>-1</sup> <i>kg ha<sup>-1</sup> crop rot.<sup>-1</sup></i>
0	0
1	200
2	400
3	600

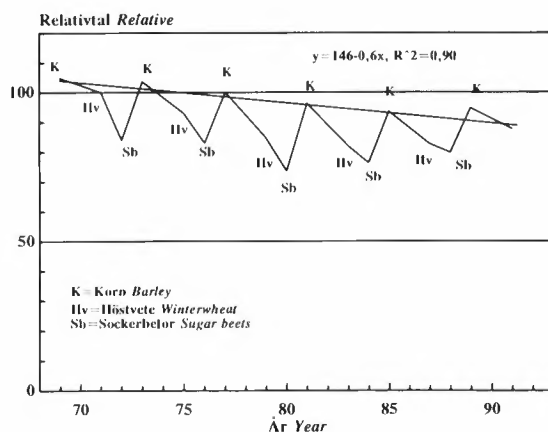
PK-nivå, gäller båda växtföljderna  
*PK-level, valid for both rotations*

Nivå <i>Level</i>	kg ha <sup>-1</sup> växtföljd <sup>-1</sup> <i>kg ha<sup>-1</sup> crop rot.<sup>-1</sup></i>
A	0
B	Ersättning <i>Replacement</i>
C	-"- + 60 P + 160 K
D	-"- + 120 P + 320 K

<sup>1)</sup> 30 ton ha<sup>-1</sup> stallgödsel *FYM*

## RESULTAT

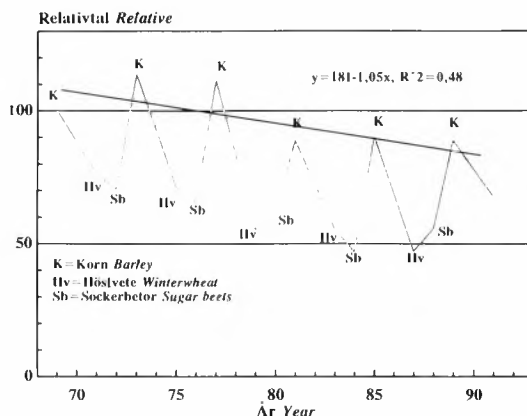
Figur 1 visar, vid den lägsta N-nivån, skördarna i växtföljd II relaterade till skördarna i växtföljd I. Några värden för vall/rapsåren har inte införts i diagrammet. Nästan genomgående var N-skörden störst i växtföljd I. Enda undantagen utgjorde kornskördarna under de tre första åren. Relativtalen skiljde sig mycket mellan de olika grödorna. Den största skillnaden mellan växtföljderna erhöles i höstvete och sockerbeter. N-skörden för dessa grödor var endast ca 50 % av vad den var i växtföljd I. Genomgående hävdade kornet sig bäst.



Figur 1. Kväveskörden i växtföljd II i relation till kväveskörden i växtföljd I (utan respektive med vall och stallgödsel). Kvävenivå 0, ingen oorganisk N-tillförsel. Regressionslinjen beräknad på observationerna för korngrödan, där  $y$ =relativt och  $x$ =år (69, 73, 77, 81, 85 och 89)

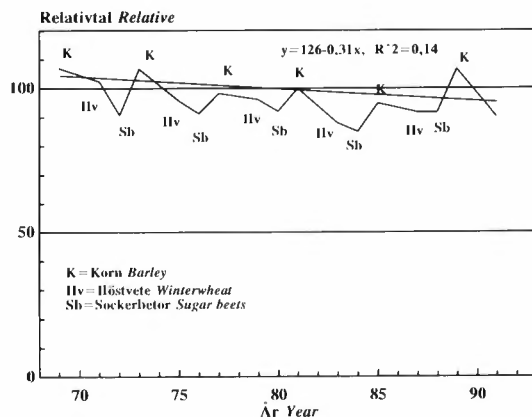
Figure 1. *N uptake in rotation II related to the N uptake in rotation I (without and with ley and manure, respectively). Nitrogen level 0, no inorganic N applied. The regression line was calculated from the barley observations, where  $y$ =relative and  $x$ =year (69, 73, 77, 81, 85 and 89)*

Figur 2 och 3 visar relativtalen vid de båda högre N-nivåerna. Den allmänna trenden var densamma som vid den lägsta N-nivån, men skillnaden mellan grödorna var betydligt mindre och minst vid den högsta N-nivån.



Figur 2. Kväveskörden i växtföljd II i relation till kväveskörden i växtföljd I (utan respektive med vall och stallgödsel). Kvävenivå 2, 100 kg ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Regressionslinjen beräknad på observationerna för korngrödan, där  $y$ =relativt och  $x$ =år (69, 73, 77, 81, 85 och 89)

Figure 2. *N uptake in rotation II related to the N uptake in rotation I (without and with ley and manure, respectively). Nitrogen level 2, 100 kg ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. The regression line was calculated from the barley observations, where  $y$ =relative and  $x$ =year (69, 73, 77, 81, 85 and 89)*



Figur 3. Kväveskörden i växtföljd II i relation till kväveskörden i växtföljd I (utan respektive med vall och stallgödsel). Kvävenivå 3, 150 kg ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Regressionslinjen beräknad på observationerna för korngrödan, där  $y$ =relativtal och  $x$ =år (69, 73, 77, 81, 85 och 89)

Figure 3. N uptake in rotation II related to the N uptake in rotation I (without and with ley and manure, respectively). Nitrogen level 3, 150 kg ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. The regression line was calculated from the barley observations, where  $y$ =relative and  $x$ =year (69, 73, 77, 81, 85 and 89)

Tabell 2 visar grödornas N-upptag. Detta ökade med N-nivån och var större i växtföljd I än i växtföljd II. Vid den högsta N-nivån var skillnaden mellan växtföljderna endast hälften så stor som vid det ogödslade alternativet.

Tabell 2. Kväueupptagningen, kg ha<sup>-1</sup>, i höstvete- och kornkärna samt i blast och rötter hos sockerbeter under perioden 1969-1991,

Table 2. Nitrogen taken up, kg ha<sup>-1</sup>, in grain of barley and winter wheat and in tops and roots of sugar beets over the period 1969-1991

N-giva N supply	Växtföljd Crop rotation	
	I	II
Utan N No N	1092	727
Normal Moderate	2044	1734
Hög High	2374	2213

## DISKUSSION

De dramatiska skillnaderna mellan grödorna när man relaterade deras N-upptag i de båda växtföljderna synes till största delen kunna förklaras utifrån de kortsiktiga odlingsåtgärder, som vidtogs inom ramen för försöksplanen. Det är uppenbart, att skillnaderna i huvudsak

berodde på kvävetillgången eftersom de uppmätta skillnaderna minskade med N-nivån.

Den relativt sett låga höstveteskörden i växtföljd II kan förklaras av efterverkan av föregående års gröda - raps mot klöver/gräs i växtföljd I. De kväverika vallresterna utgjorde en viktig kvävekälla för höstvetet i växtföljd I. I växtföljd II hade föregående års rapsbalm brukats ner, vilket förmodligen ledde till immobilisering av kväve.

Att kväveinnehållet i sockerbetsskörden blev mycket lägre i växtföljd II än i växtföljd I kan förklaras dels av att stallgödsel gavs till sockerbeterna i växtföljd I, dels av att föregående års höstvetehalm plöjdes ner i växtföljd II med N-immobilisering som följd.

Kornet hävdade sig bättre i växtföljd II än de övriga grödorna. Främsta orsaken till detta synes vara att sockerbetsblasten, som är N-rik brukades ner i växtföljd II. Att N-skörden trots detta under flera år blev lägre i växtföljd II kan bero på efterverkan av stallgödseln i växtföljd I och på en långtidseffekt, som diskuteras närmare nedan.

De erhållna skillnaderna mellan grödor och mellan växtföljder minskade men upphörde inte vid stigande kvävenivå. Markfysikaliska och växtpatologiska effekter kan därför inte uteslutas. Men den dominerande faktorn synes ändå vara kvävetillgången. Denna i sin tur berodde på vilken gröda som odlades föregående år och hur denna grödas skörderester behandlades. De erhållna effekterna kan därför benämnas förfruktseffekter och är kortsiktiga, ett till två år.

Eftersom odlingsåtgärderna skiljer sig i de båda växtföljderna kan man förvänta sig, att marken utvecklas olika. Detta visar sig bland annat i att halten organiskt C och N var högre i växtföljd I än i växtföljd II (Persson 1987). Det betyder, att mängden halvstabila humussubstanser var större i växtföljd I. Därmed var också den kväveleverande förmågan högre. Dessa förändringar sker långsamt och successivt. Regressionslinjen i figur 1-3, som visar relativtalens utveckling för kornet över tiden indikerar att en sådan förändring skett. Sådana förändringar kan benämnas växtföljdseffekter och är i motsats till förfruktseffekterna långsiktiga. Det krävs ett antal växtföljdsomlopp för att de ska kunna registreras. Växtföljdseffekter kan betraktas som ett uttryck för bördighetsförändringar. För både förfrukts- och växtföljdseffekter spelar kvävemineraliseringen en betydande roll. Men som redan nämnts har även markfysikaliska och växtpatologiska effekter betydelse i sammanhanget.

## KONKLUSION

Markens förmåga att leverera kväve till grödan kan bero på vilka odlingsåtgärder som vidtogs de närmast föregående året (åren). Av betydelse är vilken gröda som odlades, hur man behandlade skörderesterna samt sammansättningen hos dessa. Dessa effekter kan sammanfattas under begreppet förfruktseffekter.

Kväve frigöres också genom att humussubstanser mineraliseras. Främst är det en relativt labil fraktion av humusförrådet med några decenniers omsättningstid som har betydelse. Kvävemineraliseringen beror på mängden och kvaliteten hos denna fraktion. Långsiktigt kan leveransförmågan ändras beroende på vilket odlingssystem som används. På grund av långsiktigheten kan man tala om växtföljdseffekter. Föreliggande studie har visat, att förfruktseffekten ofta överskuggar växtföljdseffekten.

## LITTERATUR

- Bartholmew, W.V. 1965. Mineralization and immobilization of nitrogen in the decomposition of plant and animal residues. In: *Soil Nitrogen, Agronomy* 10: 285-306.
- Jansson, S.L. 1963. Balance sheet and residual effects of fertilizer nitrogen in a 6-year study with <sup>15</sup>N. *Soil Sci.* 95: 31-37.
- Jansson, S.L. 1968. On the role of immobilized fertilizer nitrogen in the long-term nitrogen economy of cropped soil. In: *Festskrift för Hans Laurits Jensen*, 45-60. Gadgaard Nielsen Bogtryckeri, Lemvig.
- Jansson, S.L. 1975. Bördighetsstudier för markvård. K. Skogs- o Lantbr. Akad. Tidskr. Suppl 10.
- Jenkinson, D.S. & A.E. Johnston 1976. Soil Organic matter in the Hoosfield continuous barley experiment. In: *Rothamsted Exp. Sta. for 1976. Part 2*. Harpenden, Herts, England, 81-101.
- Jenny, H. 1930. A study of influence of climate upon the nitrogen and organic matter content on the soil. *Missouri Agric. Exp. Stat. Res. Bull.* 152.
- Legg, J.O. & F.E. Allison 1967. A tracer study of nitrogen balance and residual nitrogen availability with 12 soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 31: 403-406.
- Lindén, B. 1984. Ärternas inverkan på mineralkvävetillgången i marken och efterföljande grödas gödselkvävebehov. NJF - utredning/rapport nr 15.
- Mattsson, L. 1987. Long-term effects of N fertilizer on crops and soils. *Inst. för markvetenskap, Avd. för växtnärlära. Rap.* 170.
- Parton, W.J., J.Persson & D.W. Anderson 1983. Simulation of organic matter changes in Swedish soils. In: W.K. Lauenroth, G. Skogerboe & M. Flug (eds). *Analysis of Ecological Systems: State-of-the-Art in Ecological Modelling*. Elsevier Sci. Publ. Co. Amsterdam, Oxford, New York, 511-516.
- Paul, E.A. & N.G. Juma 1981. Mineralization and immobilization of soil nitrogen by microorganisms. In: F.E. Clark & T. Rosswall (eds). *Terrestrial nitrogen cycles: Processes, Ecosystem strategies and management impacts*, *Ecol. Bull.* 33, Stockholm, 179-195.
- Persson, J. 1987. Skördenivån och skörderestbehandlingen inverkan på den organiska substansen. K. Skogs- o Lantbr. Akad. Tidskr. Suppl. 19: 21-28.

Stevenson, F.J. 1982. Origin and distribution of nitrogen in soil. In: Nitrogen in Agricultural Soils, Am. Soc. Agron., Madison, Wis., 1-42.

Westerman, R.L. & L.T. Kurtz 1972. Residual effects of <sup>15</sup>N-labelled fertilizers in a field study. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36: 91-94.



# Langvarige virkninger av vekstomløp, husdyrgjødsel og halmnedpløying på jordas struktur

SVEIN SKØIEN

Institutt for jord- og vannfag

Fra omløpsforsøket som ble startet ved Institutt for jordkultur i 1953 ble det i mai 1992 tatt ut jordprøver for bestemmelse av aggregatstabilitet og aggregatstørrelsesfordeling.

Med hensyn på aggregatstørrelsesfordelingen ble det bare funnet små forskjeller mellom omløpene og gjødslingsleddene. Aggregatstabilitet ble målt for fraksjonene 6-2 mm og 0,6-2 mm. Her var det store forskjeller. Vekstomløp med en stor andel eng gir jorda en høy aggregatstabilitet, noe som er vel kjent. Bruk av husdyrgjødsel virker gunstig, mens i dette forsøket har årlig nedpløying av halm ikke hatt noen klar positiv virkning på aggregatstabiliteten i forhold til fjerning av halmen.

Aggregatstabiliteten har stor betydning for jordas motstand mot erosjon. Stabiliteten varierer med jordtype og driftsform og er en dynamisk faktor. Ved fastsetting av faktorer for jordas eroderbarhet bør driftsform og gjødslingsmåte vurderes i tillegg til jordtype.

Målinger av jorderosjon fra landbruksarealer i Norge startet for relativt få år siden. Selv om det ikke kan dokumenteres med målinger, er det grunn til å tro at jorderosjonen har økt i løpet av de siste 30-40 år som følge av omlegging til mer åpen åker. Det er også antatt at jordas motstandsevne mot erosjon gradvis har blitt redusert på grunn av faktorer som jordpakking og dårligere struktur.

I leirjordsområdene på Sør-Østlandet er den akseptable årlige erosjonen antatt å være 100-200 kg/daa (Morgan 1986). Fra forsøksfelt er det målt erosjon som langt overstiger dette (Lundekvam 1992). Det finnes imidlertid også målinger fra jordarter hvor erosjonen er svært liten (Haraldsen et al. 1992; Børresen & Uhlen 1991). Jordartenes eroderbarhet er svært forskjellig. Bakkeplanerte arealer med lavt humusinnhold og dårlig struktur er svært erosjonsutsatte, mens nylig ompløyd beitemark med høyt humusinnhold er svært lite erosjonsutsatt (Lundekvam 1992). Jordas struktur og motstandsevne mot erosjon varierer over tid og med hvordan jorda drives. Dette må vi ta hensyn til når vi skal fastsette faktorer for jordartenes eroderbarhet.

En mer fullstendig beskrivelse finnes i Skøien (1993).

Forsøket ble startet av Uhlen ved Institutt for jordkultur i 1953 og har vært drevet kontinuerlig siden. Forsøksplanen har 4 forskjellige 6-årige vekstomløp:

- I. Kontinuerlig korn (bygg, havre, hvete)
- II. 3 år korn og 3 år radvekster.
- III. 2 år eng og 4 år korn.
- IV. 4 år eng og to år korn.

## 72 Langvarige virkninger av vekstomløp, husdyrgjødsel of halmnedpløying

I åra 1972-77 ble enga tatt ut for å se nærmere på ettervirkninger av eng på de etterfølgende kornavlingene.

Gjødslingsbehandlingene er

- A. Samme gjødsling til alle vekster
- B. Normal gjødsling med mineralgjødsel
- C. Normal gjødsling inkludert husdyrgjødsel
- D. Omløp I og II normal gjødsling med halmnedpløying  
Omløp III og IV sterk enggjødsling + husdyrgjødsel

Husdyrgjødsel tilføres en gang i 6-års perioden, 6 tonn/daa.

### RESULTATER

#### Aggregatstørrelsesfordeling

For aggregatstørrelsesfordelingen ble det bare påvist små forskjeller mellom de forskjellige vekstomløp.

Tabell 1. Aggregatstørrelsesfordeling for vekstomløpene. Vektprosent av jordprøven i ulike fraksjoner

Omløp	> 20 mm	6-20 mm	2-6 mm	0.6-2 mm	< 0.6 mm
I	6	20	29	28	17
II	7	21	28	28	17
III	4	19	33	29	16
IV	3	17	37	28	15
LSD = 5%	1.5	3.9	2.4	3.2	2.3

Vi ser likevel at omløpene med eng gir jorda en mindre grov struktur. Dette kan variere fra år til år. For omløp IV ble det tatt tilsvarende prøver i mai 1993. Resultatene viser en struktur med en større andel finere aggregater dette året. Jordarbeidinga har gitt en finere smuldring 1993.

Tabell 2. Aggregatstørrelsesfordeling for omløp IV 1993

Omløp	> 20 mm	6-20 mm	2-6 mm	0.6-2 mm	< 0.6 mm
IV	1	11	23	35	30

For halmbehandling og ulik gjødsling ble det ikke funnet forskjeller i aggregatstørrelsesfordeling.

### Aggregatstabilitet

Aggregatstabiliteten ble målt for aggregatfraksjonene 6-2 mm og 0,6-2 mm. De lufttørre aggregatene ble lagt på en sikt og utsatt for kunstig regn av en viss varighet og intensitet. Resten som ikke er vasket ut gjennom sikten av regnet, blir tørket og veid. Stabiliteten oppgis som prosent vekt av aggregatene etter regnbehandlingen. Metoden brukes rutinemessig ved Institutt for jord- og vannfag.

### Virkninger av vekstomløp

Tabell 3. Aggregatstabilitet (AS). Middell for hvert omløp.

Omløp	AS % 6-2 mm
IV	81
III	65
I	59
II	50

LSD<sub>5%</sub> = 3.0 %

Omløp	AS % 0.6-2 mm
IV	80
III	57
I	49
II	42

LSD<sub>5%</sub> = 3.2 %

For begge fraksjonene finner vi den høyeste stabiliteten for omløp IV og den laveste for omløp II. Virkningen av eng er tydelig.

Det er velkjent at flerårig eng og beitemark fører til økt humusinnhold og mer stabile jordaggregater. Under varig eng blir det tilført mer plantemasse til jorda, og nedbrytningen forsinkes. Aktiviteten av røtter, hyfer og andre former for jordliv som fører til aggregering er større enn i åpen åker (Tisdall & Oades 1982). I tillegg beskytter vegetasjonen mot fysisk nedbrytning av aggregater f.eks. med regndråper. Flere undersøkelser antyder at en periode på 3-4 år med eng skal til for å få en vesentlig økning av jordaggregatens stabilitet. Fra dette forsøket synes det klart at en høy aggregatstabilitet opprettholdes i omløpet med 4 år eng, mens 2 år eng i et 6-årig omløp ikke er tilstrekkelig for å opprettholde en aggregatstabilitet på et høyt nivå.

74 Langvarige virkninger av vekstomløp, husdyrgjødsel of halmnedpløying

For omløp IV ble det tatt ut prøver i mai 1993 for å få en antydning om utviklingen av aggregatstabilitet i omløpsperioden. Resultatene viser at den høye aggregatstabiliteten opprettholdes.

Omløp IV. Aggregatstabilitet. Prøver fra samme ruter 1992 og 1993

	1992		1993	
	0,6-2 mm	2-6 mm	0,6-2 mm	2-6 mm
Vekst:	Bygg		Vårhvetete m/ gjenlegg	
	79	79	82	73
Vekst:	4. års eng		Bygg	
	82	79	83	83

*Virkninger av gjødsling*

Tabell 5. Aggregatstabilitet. Middell for A, B og C.

Ledd	AS % 6-2 mm
C	61
A	54
B	54

LSD<sub>5%</sub> = 3.2 %

Ledd	AS % 0.6-2 mm
C	67
B	62
A	61

LSD<sub>5%</sub> = 3.0 %

Bruk av husdyrgjødsel har gitt en signifikant høyere stabilitet.

## Virkninger av halm

Tabell 6. Aggregatstabilitet for 0.6-2 mm fraksjonen. Sammenlikning mellom B og D

Blokk		6	1	2	3	4	5
Omløp							
I	B	64	56	64	64	55	52
	D	54	62	58	64	64	49
II	B	39	61	52	42	49	28
	D	55	54	63	55	51	30

LSD<sub>5%</sub> = 3

Tabell 7. Aggregatstabilitet for fraksjonen 6-2 mm. Sammenlikning mellom B og D

Blokk		6	1	2	3	4	5
Omløp							
I	B	46	48	49	52	52	42
	D	46	53	42	55	57	47
II	B	34	51	44	31	39	28
	D	44	51	47	41	39	25

LSD<sub>5%</sub> = 3.1

Virkningen av halmnedpløying er ikke tydelig.

I et forsøk på Øsaker fant Njøs & Børresen (1991) en liten økning i aggregatstabilitet etter 19 år med halmnedpløying sammeliknet med halmbrenning.

*Sammenhenger med eroderbarhet*

En rekke parametere er forsøkt brukt for å forklare forskjellene i erosjon fra ulike jordtyper. Parametere for fasthet brukes. Det er ofte klar sammenheng mellom fasthet og motstand mot erosjon. Fastheten avhenger av kohesjonen i jorda og dermed av leirinnholdet, men også av jordas tendens til å danne aggregater. Dårlig aggregert siltjord er svært eroderbar, mens jord med høyt leirinnhold ofte er lite erosjonsutsatt. Det er ikke påvist god sammenheng mellom aggregatstørrelsesfordeling og eroderbarhet, men størrelsesfordelingen kan påvirke fastheten. Dersom det er en stor andel svært små aggregater, har jorda større tendens til skorpedannelse. Dette øker sjansene for vannerosjon (Alberts & Wendt 1985; Zobeck & Popham 1992).

For vinderosjon er det en direkte sammenheng mellom eroderbarhet og aggregatstørrelsesfordeling (Zobeck 1991). Vinderosjon i forekommer særlig på sandjord og er

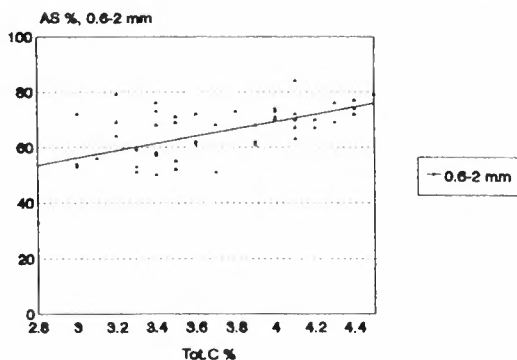
lite aktuelt for jordarten som er undersøkt i dette forsøket.

Aggregatstabilitet er en av de viktigste faktorene som påvirker eroderbarhet (De Ploey & Poesen 1985). Aggregatstabilitet for fraksjoner større enn 0.5 mm kan brukes som en indeks for eroderbarhet (Bryan 1977). Høy stabilitet er korrellert med liten erosjonsfare.

I erosjonsmodeller, som den reviderte USLE, arbeides det med å innarbeide virkningen av tidligere bruk av jorda på struktur (Renard et al. 1991).

Det finnes omfattende litteratur om jordstruktur og dannelse av jordaggregater. Organiske materiale er viktig, men ikke den eneste faktoren av betydning for aggregeringen. Aggregering og utvikling av stabile aggregater er resultat av biologiske, kjemiske og fysiske faktorer. Vi kan derfor ikke vente å finne sterk korrelasjon mellom organisk materiale målt som totalt karboninnhold og aggregatstabilitet.

Plot of Tot.C vs. aggregate stability for the 0.6-2 mm fraction. Rotation III.



Figur 1. Plott av aggregatstabilitet for fraksjonen 0,6-2 mm mot Tot.C i jorda. Omløp III

## REFERANSER

Alberts, E.E. & R.C. Wendt 1985. Influence of soybean and corn cropping on soil aggregate size and stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1534-1537.

Bryan, R.B. 1977. Assessment of soil erodibility: new approaches and directions. In: T.S. Toy, *Erosion. Research Techniques, Erodibility and Sediment Yield*. Geo Books. Norwich.

Børresen, T. & G. Uhlen 1991. Jorderosjon og fosfortap ved overflateavrenning i feltlysimeter i Ås vinteren 1989/90. *Norsk Landbruksforskning* 5:47-54.

De Ploey, J. & J. Poesen 1985. Aggregate stability, runoff generation and interrill erosion. In: K.S. Richards, R.R. Arnett & S. Ellis (eds.), *Geomorphology and Soils*. Pp. 99-120. George Allen & Unwin. London.

Haraldsen, T.K., A.H. Aastveit, R. Eltun & G. Guttormsen 1992. Avrenningsundersøkelser i SFL 1991. Statens fagteneste for landbruket. Faginfo nr. 8.

Lundekvam, H. 1992. Resultat frå nyare forsøk med erosjon. Foredrag SFLL-konferanse Kolbotn 17.-18. september 1992. Manuskript.

Morgan, R.P.C. 1986. Soil degradation and soil erosion in the loamy belt of northern Europe. In: G. Chisci & R.P.C. Morgan (eds.), Soil erosion in the European Community. A.A. Balkema, Rotterdam.

Njøs, A. & T. Børresen 1991. Long-term experiment with straw management, stubble cultivation, autumn and spring plowing on a clay soil in S.E. Norway. Soil & Tillage Research 21: 53-66.

Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies & J.P. Porter 1991. RUSLE. Revised universal soil loss equation. J. Soil and Water Conservation January-February 1991: 30-33.

Skøien, S. 1993. Long-term effects of crop rotation, manure and straw on soil aggregation. Norwegian Journal of Agricultural Sciences 7: 231-247.

Tisdall, J.M. & J.M. Oades 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. Journal of Soil Science 33: 141-163.

Zobeck, T.M. 1991. Soil properties affecting wind erosion. J. Soil and Water Conservation 46: 112-118.

Zobeck, T.M. & T.W. Popham 1992. Influence of microrelief, aggregate size, and precipitation on soil crust properties. Trans. ASAE 35 (2): 487-492.

# Prognoser av behovet for nitrogengjødsling

## *Prediction of nitrogen fertilizer requirements*

HUGH RILEY<sup>1</sup>, UNNI ABRAHAMSEN<sup>2</sup> & OLE FUGLEBERG<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Statens forskingsstasjoner i landbruk, Apelsvoll forskingsstasjon, avdeling Kise, Nes på Hedmark, Norge

<sup>1</sup> *The Norwegian State Agricultural Research Stations, Apelsvoll Research Station, Division Kise, Nes på Hedmark, Norway*

<sup>2</sup> Statens forskingsstasjoner i landbruk, Apelsvoll forskingsstasjon, Kapp

<sup>2</sup> *The Norwegian State Agricultural Research Stations, Apelsvoll Research Station, Kapp, Norway*

<sup>3</sup> Norges Landbrukshøgskole, Institutt for matematiske fag, Ås

<sup>3</sup> *Agricultural University of Norway, Department of Mathematical Sciences, Ås, Norway*

Riley, H., U. Abrahamson & O. Fugleberg 1993. Prediction of nitrogen fertilizer requirements. Norsk landbruksforskning. Supplement No. 16: 78-93. ISSN 0802-0914.

A project is described in which levels of soil mineral nitrogen have been monitored in spring and autumn over a period of two to four years at about 600 locations on agricultural land throughout many regions in Norway. The same locations are sampled each year. Information is collected on previous fertilization, cropping, yield levels and other agronomic features of the sample sites, and stored in a database. Local fertilizer recommendations are adjusted on the basis of these measurements. The extent and variability of the data collected are discussed. Trends in mineral nitrogen levels in various regions are presented, and the extent to which residual levels in autumn are affected by crop type is examined. The possibility of predicting levels of N-MIN in spring on the basis of measurements made in autumn is discussed. A model for simulating crop nitrogen response under varying growing season conditions is also discussed.

Key words: Nitrogen fertilization, nitrogen leaching, nitrogen modelling, soil mineral nitrogen, variability.

*Hugh Riley, Apelsvoll Research Station, Division Kise, N-2350 Nes på Hedmark, Norway.*

Optimal gjødslingsnivå for nitrogen varierer fra år til år, på grunn av variasjoner i N-mineralisering og utvasking, og fra sted til sted innen år, på grunn av ulikheter i jordtype, vekstskifte og tidligere gjødsling. Fordi mengden av nitrogen som er i plantetilgjengelig form i jorda endres raskt, og fordi denne mengden utgjør bare en liten del av det totale nitrogenet som er til stede i jorda, finnes det ingen enkel indikator av N-tilstanden som kan brukes til å bestemme gjødslingsbehovet. Ulike typer av inkubasjonstest har vært prøvd for



å måle N-frigjøring fra jorda. Disse har ofte gitt gode korrelasjoner med plantenes opptak av nitrogen i karforsøk under kontrollerte vekstbetingelser (Bærug et al. 1973, Robinson 1974), men de har funnet liten anvendelse under praktiske feltforhold, hvor variasjoner i klima og andre faktorer spiller inn.

Noe av usikkerheten ved å bestemme gjødslingsbehovet kan fjernes ved å ta hensyn til mengden av mineralisert nitrogen (N-MIN) som er i jorda allerede ved vekststart, selv om dette alene ikke forklarer hele variasjonen som man finner i optimalt gjødslingsnivå (Neeteson et al. 1989, Nielsen og Østergaard 1990, Stabbetorp og Lyngstad 1988). I mange land er det etablert omfattende prøvetakingsrutiner for å skaffe tilveie opplysninger om N-MIN reservene. I Danmark utføres for eksempel målinger til 1 m dybde flere ganger årlig i et 7x7 km rutenett med ca. 700 målepunkt på dyrket mark (Østergaard 1989). I Belgia og Nord-Frankrike hadde antallet av N-MIN jordanalyser som ble brukt i gjødselveiledning nådd nesten 20.000 pr. år i 1990 (Vandendriessche et al. 1991). I Sverige blir slike analyser benyttet sammen med vekstanalyser til gjødselveiledning i korn (Siman 1993). I Norge har det siden 1988 blitt tatt prøver til N-MIN analyse høst og vår fra et stort antall skifter i de viktigste jordbruksdistriktene (Abrahamsen 1993). Noen resultater fra det norske prosjektet er presentert her, samtidig som vi tar opp noen av de metodiske og tolkningsmessige spørsmål som arbeidet reiser.

Som et supplement til måling av N-MIN reservene i jorda, arbeides det også med ulike måter å ta hensyn til endringene i N-tilgjengelighet som skjer i løpet av vekstsesongen. Poenget her er å få grunnlag for å tilpasse gjødselmengden til de rådende værforhold, for eksempel ved delt gjødsling. Direkte metoder, som innebærer analyse av enten nitrat eller total N i planten, er under utprøving i korn og potet (Dæhlin 1993). Et problem med denne framgangsmåten er å vurdere slike "øyeblikksverdier" i forhold til utviklingsstadiet, da optimalnivået synker raskt utover vekstsesongen. Et alternativ er bruk av simuleringsmodeller som tar for seg de viktigste sidene ved N-omsetting i jord og opptak hos planter. En modell av denne typen, rettet mot praktisk rådgivning for jord- og hagebruksvekster (Greenwood og Draycott 1989), er under utprøving i Norge (Riley 1993a,b). Det gis her en oversikt over modellens krav til inngangsdata og noen eksempler av resultatene fra modellberegninger for hvitkål sammenlignet med avlinger målt i feltforsøk.

## MATERIALE OG METODER

### **Prosjektets omfang og organisering**

Kartlegging av N-MIN i et rutenett ble vurdert som lite aktuelt i Norge, på grunn av jordbrukets spredte fordeling. Derfor ble det plukket ut ca. 20-50 skifter i de viktigste jordbruksområdene (fylke eller distrikt). På disse skiftene blir mengden av N-MIN i jorda målt høst og vår hvert år, og det samles inn opplysninger om årsveksten, gjødsling, jordarbeiding, avlingsnivå mm. Disse opplysningene registreres fortløpende i en database som også inneholder data om gården, kartreferanser og jordanalyser.

Prosjektet ble startet i 1988 i regi av fylkeslandbrukskontoret i Østfold, og ble utvidet til et landsomfattende prosjekt året etter. De første årene ble prosjektet finansiert av STIL, mens det er nå støttet direkte av Landbruksdepartementet. Prosjektet dekker idag ca. 610

skifter fordelt over store deler av landet, med hovedtyngden i åpenåkerkulturene på Østlandet. I den videre omtalen er flere av områdene gruppert sammen til regioner:

Sør-Østlandet: Østfold, Aurskog-Høland, Vestfold og Buskerud

Mjøsbygdene: Østre og Vestre Toten og Hedemarkskommunene

Fjellbygdene: Ottadalen, Valdres og Hallingdal

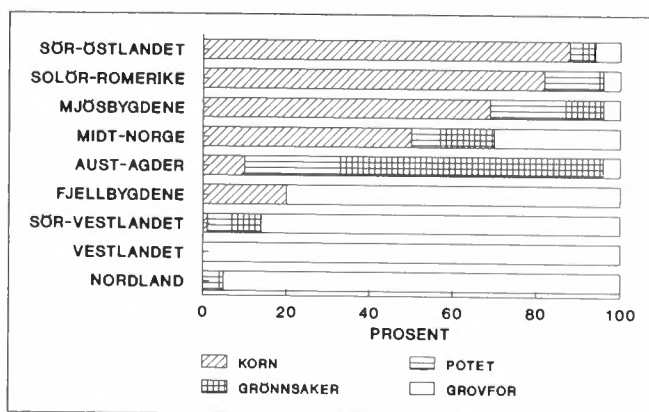
Sør-Vestlandet: Vest-Agder og Jæren

Vestlandet: Midt-Hordaland, Nordfjord og Nordre Sunnmøre

Midt-Norge: Møre og Trøndelag

Andre områder er Aust-Agder, Solør-Romerike og Nordland (Salten).

Det ble lagt vekt på å velge ut skifter som er representative for området med tanke på jordart og driftsform. Vekstfordelingen i de ulike regionene vises i figur 1. Den gjennomsnittlige N-gjødslingen til de ulike vekstgruppene er vist i tabell 1, i sum av handelsgjødsel og det som antas å være tilgjengelig første året etter bruk av husdyrgjødsel, ifølge gjødsleplanprogrammet til SFFL (1989).



Figur 1. Fordelingen av vekstgruppene på prøveskiftene i de ulike regionene. Middelt av alle år  
Figure 1. The average distribution of crop types as a percentage of sample fields in different regions of Norway

### Prøveuttak

Prøvene tas av matjordlaget (0-25 cm) og av undergrunnen ned til 60 cm. Hver prøve består av 20 stikk tatt med ca. 5-10 m mellomrom tvers over skiftet, og på nøyaktig de samme stedene hvert år. Prøvene blir tatt med maskindrevet jordbør der klimaforholdene ligger til rette for dette (dvs. på Østlandet og i Aust-Agder). I de andre distriktene tas prøvene for hånd, og som regel bare ned til 40 cm.

Prøvene tas ut som regel to ganger i året, hhv. sent på høsten og etter snøsmelting/telegang om våren, slik at analyseresultatene foreligger før våronna. På skiftene med tidlige grønnsaker i Aust-Agder blir det også tatt prøver rett etter høsting i tillegg til sent på høsten, for å registrere evt. utvasking på ettersommeren. Alle prøvene blir analysert for nitrat-N og ammonium-N som beskrevet nedenfor.

Tabell 1. Gjennomsnittlig N-gjødsling til vekstgruppene i de ulike regionene, og fordeling mellom mengden gitt som handelsgjødsel og husdyrgjødsel. Middel av alle skiftene<sup>1</sup>

Table 1. Average N-fertilization of various crops in the different regions studied, and the proportions derived from artificial sources and farmyard manure

Region (antall skifter pr. år)	N-gjødsling (kg/daa/år)				% gjødsel gitt som	
	Korn	Potet	Grønnsaker	Eng	Handels-gjødsel	Husdyr-gjødsel
Sør-Østlandet (146)	13	-	-	-	95	5
Solør-Romerike (80)	12	11	-	-	95	5
Mjøsbygdene (80)	12	11	17	-	96	4
Midt-Norge (56)	11	16	10	21	77	23
Aust-Agder (50)	11	17	26	-	95	5
Fjellbygdene (60)	8	-	-	17	72	28
Sør-Vestlandet (40)	-	-	-	30	66	34
Vestlandet (60)	-	-	-	25	72	28
Nordland (40)	-	-	-	15	75	25

<sup>1</sup> Unntatt vekstgrupper med liten utbredelse i regionen.

### Forbehandling og analyse av jordprøvene

Med mindre jordprøvene kan analyseres umiddelbart etter uttak (noe som sjelden er aktuelt), blir de frosset ned for senere analyse, for å hindre frigjøring av nitrogen under transport og lagring (Selmer-Olsen et al. 1971, Øien et al. 1974). Resultatene presenteres på tørrvektbasis ved å måle vanninnholdet i en delprøve. Rask tørking av jorda ved 50-80° C endrer lite på nitratinnholdet, men forstyrrer ammoniuminnholdet betydelig (Lindén 1981, Riley unpubl.).

Optiming av frosne prøver i kjøleskap medfører liten fare for nitrifikasjon (Albertson 1990), men dersom prøvene blir stående ved romtemperatur, kan det oppstå store endringer over relativt kort tid (Bleken & Selmer-Olsen 1993). For å gardere mot dette, er det nå blitt vanlig å male prøvene i frossen tilstand slik at jorda ikke tiner før ekstraksjonsvæsken tilsettes. En robust kvern, som tåler jordprøver med småstein og grus, er konstruert til formålet.

Ulike ekstraksjonstider, blandingsforhold og konsentrasjoner på ekstraksjonsvæsken er rapportert i litteraturen. Valget har vanligvis liten innvirkning på resultatene innenfor ganske vide marginer (Lindén, pers. medd.). Ved vårt laboratorium bruker vi ekstraksjon av 40 g jord i 200 ml 1M KCl ved risting i 1 time.

Resultatene regnes om til arealbasis ved å anta verdier for jordtetthet på mineraljord på hhv. 1,25 kg/cm<sup>3</sup> i matjordlaget og 1,5 i undergrunnen. På myrjordsprøver blir

resultatene korrigerert med jordtetthetsverdier estimert på laboratoriet. Det blir ikke gjort noen korrigerering for steininnholdet i jorda, og verdiene for morenejord kan dermed være overestimert i noen tilfeller.

### **Prøvetakingsvariabilitet**

Jordas innhold av mineral nitrogen er blant de parametrene som er funnet å variere mest over korte avstander (Chalk & Waring 1970). Dette stiller store krav til antall prøvestikk som må tas for å få representative prøver. Fra Kanada meldte Briggs (1974) om en variasjonskoeffisient (CV) for nitrat på 11% om høsten og 35% om våren.

For å undersøke variabiliteten under norske forhold ble det høsten 1989 tatt individuelle prøver, hver av 5-6 stikk, hver tiende meter langs prøvelinjen på 21 av prøvestedene på Hedemarken, hvorav 16 var kornåker og resten grønnsaker eller potet. Fire felt var blitt tilført husdyrgjødsel om våren.

CV-verdiene for N-MIN var i middel 25% i matjorda og 30% i undergrunnen. Variasjonen var like stor for både nitrat og ammonium. Variabiliteten i jordas vanninnhold og i andelen av N-MIN som bestod av nitrat var til sammenligning mye mindre (ca. 10%). Antall prøvestikk som er nødvendig for å oppnå resultater med ulik presisjon (% av sann middelværdi) i 95% av tilfellene, ble beregnet til følgende, i middel av alle felt:

<u>Presisjon</u>	<u>15%</u>	<u>10%</u>	<u>5%</u>
Matjord	11	24	97
Undergrunn	18	40	160

Dette tyder på at feltmålingene som blir gjort på rutinebasis trolig vil ligge innenfor 15-20% av den sanne verdien.

## **RESULTATER OG DRØFTING**

### **Variabilitet mellom felt**

I prognosearbeidet søker man å gi tilrådinger på grunnlag av målingene for ulike vekstgrupper innenfor regioner med relativt homogene klima-, dyrkings- og jordartsforhold. Det er derfor av interesse å undersøke hvor stor variabilitet som finnes for N-MIN innenfor slike regioner. Dette er belyst her for seks vidt forskjellige regioner, der man har valgt ut dataene for den dominerende vekstgruppe i hvert tilfelle. For å oppnå et tilstrekkelig antall observasjoner til den statistiske analysen, er det benyttet data samlet over flere år. Datasettene er en kombinasjon av tverrsnitts- og tidsseriedata, hvor variasjonen over tid delvis skyldes klimavariasjon. Statistiske mål for dataene er vist i tabell 2.

Sannsynlighetsfordelingen for N-MIN om høsten og om våren er estimert ved en metode som kalles for ikke-parametrisk tetthetsestimering (Silverman 1986). Den kan betraktes som en avansert form for glatting av histogram (Fugleberg 1994). Fordelingene for de seks regionene vises i figur 2. Alle kurvene er høyre skjeve, med til dels svært lang høyre hale. Sistnevnte skyldes som regel 3 til 6 observasjoner (av totalt 50 til 150) med svært høye verdier for N-MIN. Den ekstremt lange halen for Solør og Romerike skyldes ett eneste felt, hvor N-MIN verdien var 65 kg/daa. Slike verdier må trolig skyldes forhold som bruk av husdyrgjødsel kort tid i forveien.

Tabell 2. Statistiske mål for nivå og variasjon i N-MIN innholdet i jorda målt høst og vår i seks regioner i perioden 1990-1992. Data er valgt ut for den dominerende vekstgruppen i (kg/daa) hver region  
 Table 2. Statistics for the level and variability of soil N-MIN measured in spring and autumn in six regions during the period 1990-1992. Data are chosen for the dominant (kg/daa) crops in each region

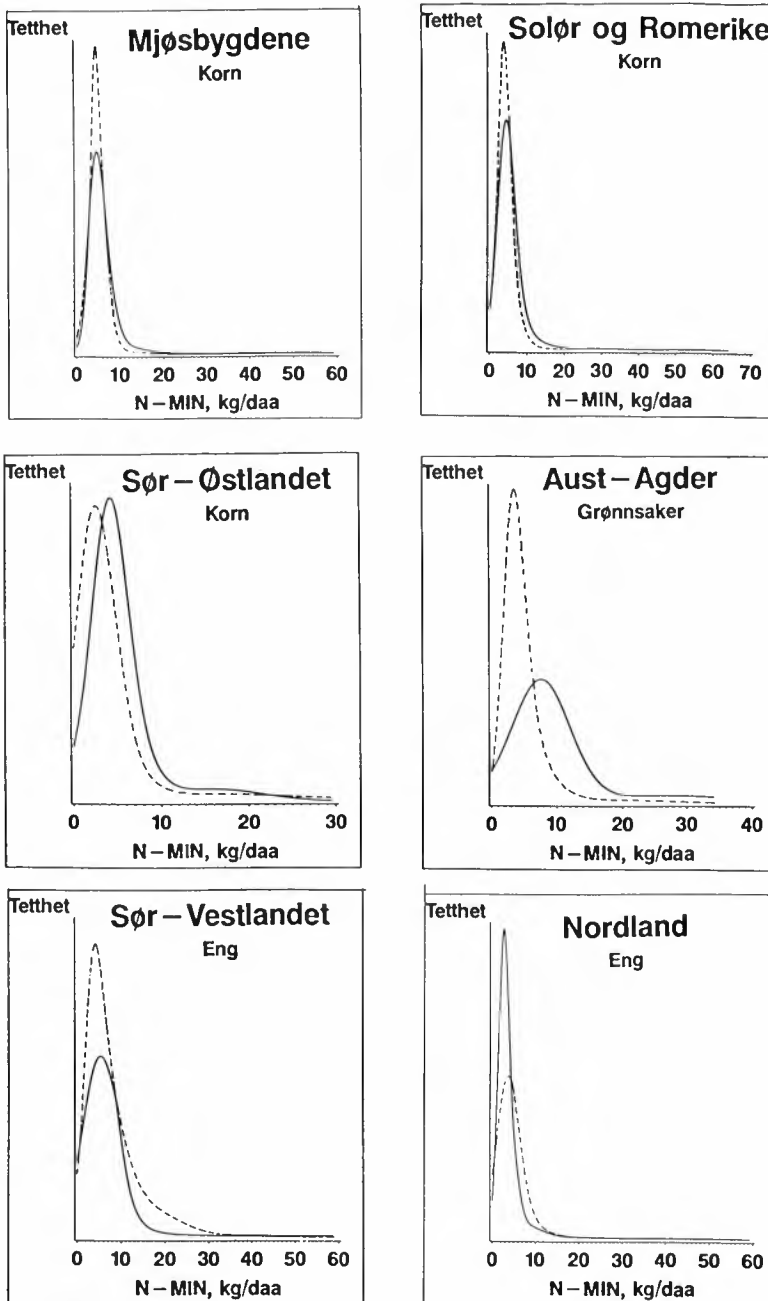
Region og tidspunkt	Antall	Middel	Median	Std. avv.	Nedre kvart.	Øvre kvart.	Min.	Maks.
MJØSBYGDENE (kom)								
Om høsten	125	5,6	4,8	4,1	3,7	6,4	1,5	43,4
Om våren	90	5,2	4,5	5,3	3,5	5,9	0,7	50,7
SOLØR-ROMERIKE (kom)								
Om høsten	141	5,8	4,7	5,7	3,5	6,3	2,1	63,5
Om våren	115	4,6	4,0	3,3	3,1	5,4	0,7	31,2
SØR-ØSTLANDET (kom)								
Om høsten	23	5,5	4,6	3,8	3,5	6,1	1,8	16,8
Om våren	41	4,4	2,8	5,1	2,1	3,9	1,4	26,5
AUST-AGDER (grønnsaker)								
Om høsten	33	9,1	7,1	7,4	4,0	10,8	1,5	31,6
Om våren	74	4,9	3,8	3,4	3,0	5,5	1,3	21,7
SØR-VESTLANDET (eng)								
Om høsten	43	6,1	3,9	5,8	2,9	7,4	1,2	29,9
Om våren	22	5,8	4,4	3,9	4,0	6,6	1,5	19,6
NORDLAND (eng)								
Om høsten	105	3,8	3,1	2,7	2,1	4,7	0,7	18,2
Om våren	74	5,3	3,7	6,4	3,3	5,6	0,8	54,0

Prøvene tatt om høsten har som regel høyere verdier enn prøvene tatt om våren, og fordelingene er mer høyre skjeve. Dette gjenspeiler dårlig utnyttelse av gjødsel i vekstsesongen eller frigjøring av nitrogen etter høsting på enkelte felt. Fordelingene for Sør-Vestlandet skiller seg ut ved at N-MIN verdiene er gjennomgående høyere om våren. Dette skyldes trolig mer bruk av husdyrgjødsel i dette distriktet og/eller at det skjer en større N-frigjøring fra høst til vår på grunn av mildere vinterklima.

Tetthetsestimatene tyder på at N-MIN verdiene er lognormalt fordelt. Denne hypotesen ble bekreftet ved statistisk testing. En slik fordeling innebærer at middelverdien ofte er vesentlig større enn medianverdien, fordi den påvirkes sterkt av de få observasjonene i "halen", mens medianen ikke er følsom for slike verdier. Forventningen til en lognormalt fordeling avviker fra den til en normal fordeling, avhengig av hvor skjev den er.

Praksisen ved utarbeiding av N-prognoser har hittil vært å basere seg på middelverdier, der "uventet" høye N-MIN verdier er blitt ekskludert skjønnsmessig. På bakgrunn av de sterke indikasjonene på lognormalitet, vil en mer objektiv framgangsmåte være å basere seg på forventningen til en slik fordeling. Foreløpige undersøkelser har ikke vist at dette gir vesentlig forskjellige resultater fra metoden som er brukt i praksis, men den blir likevel vurdert brukt i framtida.

Feltene med svært høyt N-MIN innhold fortjener uansett nærmere gransking, da de trolig utgjør en meget stor risiko for utvasking. Det er derfor viktig å finne ut hva som karakteriserer disse feltene, slik at man kan gi veiledning om hvordan slike situasjoner kan unngås.



Figur 2. Fordelingen av tetthetsestimater for N-MIN målt om høsten (hel kurve) og våren (stiplet kurve) i seks regioner. Dataene for den dominerende vekstgruppen i hver region er brukt

Figure 2. The distribution of density estimates for soil N-MIN measured in autumn (solid curve) and in spring (hatched curve) in six regions. Data selected for the major crop in each region

## Prognoser

Anbefalinger om justering av N-gjødslingsnivå blir gitt på bakgrunn av jordanalyse-resultatene. Med bare 3-4 års målinger å basere seg på, er det selvsagt vanskelig å gjøre seg opp en mening om hva som er "normalinnholdet" for et område. På grunn av den store variasjonen som er funnet i datamaterialet, har man foreløpig konsentrert seg om områdene med de mest ensartete produksjonsformene, dvs. områdene som domineres av korn og poteter med relativt liten andel av grønnsaker eller husdyr.

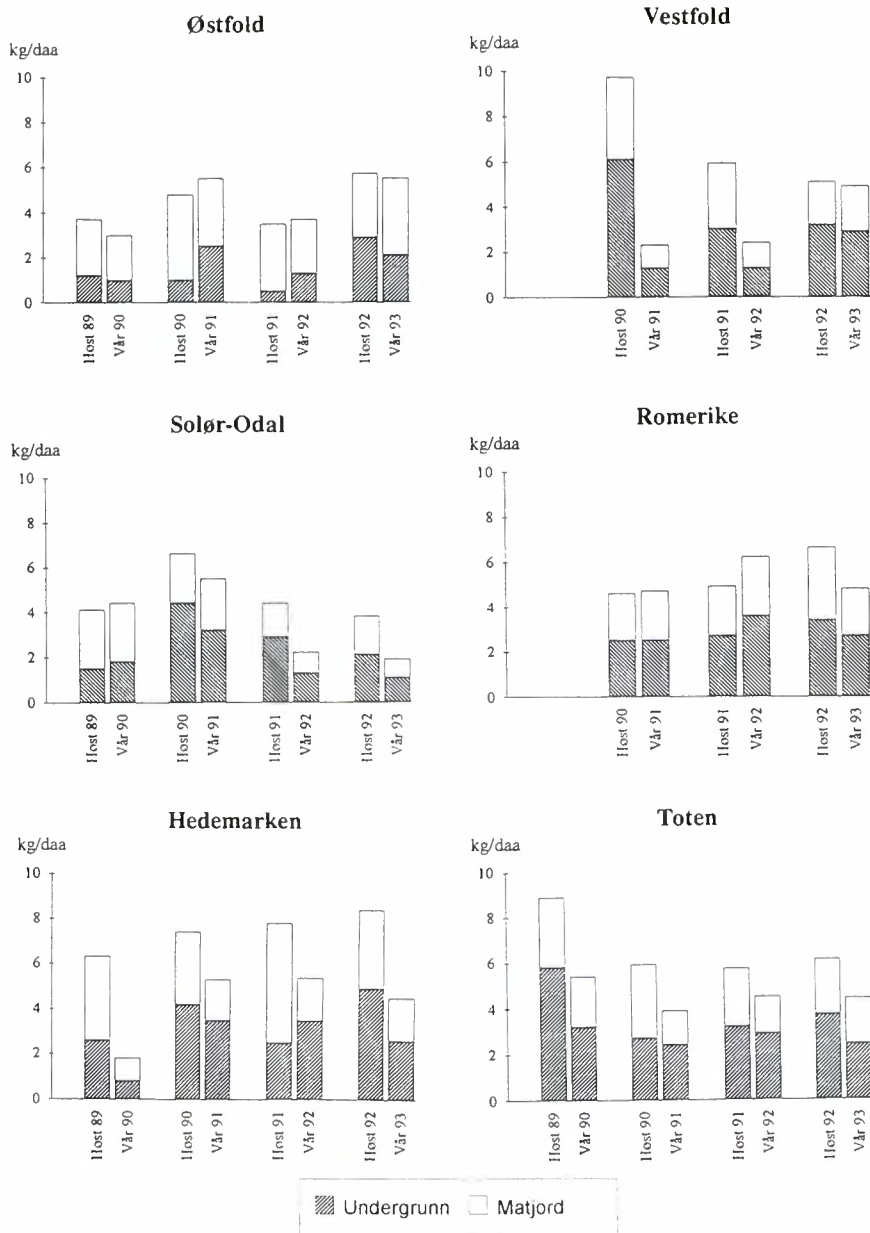
Figur 3 viser middelverdiene av N-MIN målt på skifter hvor det ble dyrket korn og potet året før, for seks områder på Østlandet, etter at ekstremverdier er ekskludert som nevnt ovenfor. Det er variasjoner i N-MIN nivået både mellom år og mellom områdene samme året. Endringen fra høst til vår svinger også ganske sterkt fra sted til sted, eksempelvis vinteren '90/'91 i Østfold og Vestfold. Dette kan skyldes ulikheter i nedbør, snødekke, frost mm. I utarbeidelsen av anbefalingene blir det lagt ekstra vekt på mengden av N-MIN i matjordsjiktet om våren. I flere år har man anbefalt å redusere N-gjødslinga i Østfold på grunn av høye verdier der, mens i 1992 ble en viss økning anbefalt i Vestfold. Etter tørken i 1992 ble det anbefalt å redusere gjødslinga på de stedene som var hardest rammet.

Gjødslingsforsøkene som er lagt ut på noen av skiftene med N-MIN målinger har hittil ikke gitt sikre holdepunkt for hva som er optimal gjødsling ved ulikt N-MIN innhold om våren. Resultatene blir ofte påvirket av forstyrrende forhold (tørke osv.) i vekstsesongen. Man får imidlertid en bekreftelse på at N-MIN innholdet i jorda er viktig ved å se på mengden av nitrogen som blir tatt opp i veksten på uggjødslete ruter i slike forsøk. Figur 4 viser sammenhengen mellom N-MIN målt om våren i 0-60 cm dybde og mengden av nitrogen tatt opp i kornet på 9 forsøk i 1992.

## Nitrogenrester etter ulike vekster

Tallene i tabell 2 viser høyere verdier for N-MIN om høsten etter grønnsaker enn etter korn eller eng i andre regioner. Dette skyldes trolig en kombinasjon av større gjødselrestmengder og mer nitrogen frigjort fra planterestene etter grønnsaker. I det samlede materialet for hele landet var det vanskelig å finne forskjeller mellom ulike vekstgrupper. Dette kan ha sammenheng med variasjoner i bruk av husdyrgjødsel eller andre forhold. For Nord-Østlandet er det imidlertid klare forskjeller mellom vekstgruppene (tabell 3).

Grønnsaksgruppen i denne regionen består mest av kål, gulrot og løk. Denne gruppen hadde om høsten ca. 4 kg/daa mer N-MIN enn etter korn, mens forskjellen om våren var ca. 2 kg. Poteter hadde 1 kg/daa mer om høsten og 0,5 kg/daa mer om våren. Tallet for eng var noe lavere om høsten enn tallet for korn, men det var svært få engskifter med i materialet. Gjødslingsanbefalingene etter grønnsaker og potet bør trolig justeres med mer enn forskjellen i N-MIN målt på ett tidspunkt, da nitrogen frigjøres fra planterestene over et lengre tidsrom. Etter kålvekster kan man f.eks. redusere N-gjødsling til korn og potet med 6-8 kg/daa (Dragland, pers. medd.).



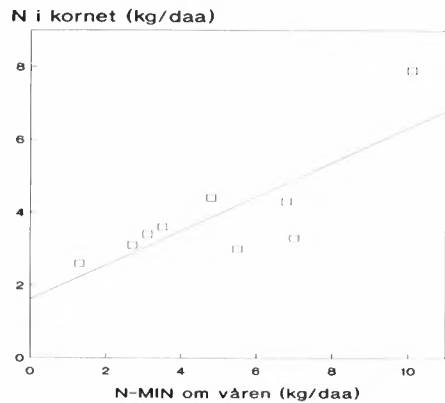
Figur 3. Mengdene av N-MIN målt høst og vår på skifter med korn eller potet i seks områder på Østlandet i perioden 1989-1993

Figure 3. The levels of soil N-MIN measured in spring and autumn on fields with cereals or potatoes in six districts within south-east Norway during the period 1989-1993



Figur 4. Mengden av nitrogen som ble tatt opp i kornet i ni forsøk (ugjødslet ledd) i 1992, sett i forhold til N-MIN mengden som ble målt i jorda om våren (Abrahamssen 1993)

Figure 4. The amount of nitrogen taken up in cereal grain in nine trials (unfertilized treatment) in 1992, in relation to the amount of N-MIN measured in the soil in spring



Tabell 3. Mengdene av N-MIN (kg/daa) målt i jordprofilen om høsten og om våren etter dyrking av ulike vekstgrupper på Nord-Østlandet (Mjøsbygdene og Solør-Romerike) i årene 1989-1992

Table 3. Average levels of N-MIN measured in the soil profile in autumn and in spring following various crop types in the region north of Oslo over the years 1989-1992

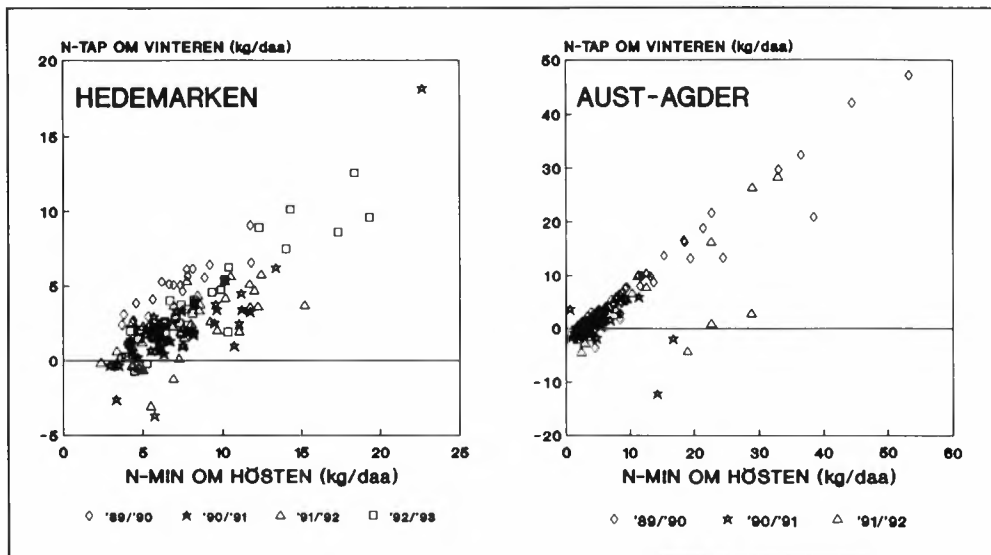
	KORN	POTET	GRØNNSAKER	ENG
Om høsten/ <i>In autumn</i>	5,8	7,0	9,6	5,0
Om våren/ <i>In spring</i>	4,4	4,9	6,0	4,6
(Antall skifter/ <i>No. of fields</i> )	(370)	(75)	(27)	(6)

### Nitrogentap om vinteren

Nedgangen i N-MIN om vinteren gir et inntrykk av nettotapet som har skjedd mellom to tidspunkt. De totale utvaskingstapene kan selvfølgelig være større hvis det har skjedd en mineralisering i mellomtiden. Nettotapene er, som ventet, størst på skiftene hvor høye N-MIN verdier ble målt om høsten. Dette kom klart fram i dataene for Hedemarken og Aust-Agder (figur 5). Sammenhengene i enkeltår var enda sterkere enn i det samlede materialet. Dette gjenspeiler variasjonene i utvasking mellom år på grunn av klimavariasjoner. Noenganger har det trolig skjedd en betydelig utvasking allerede før høstmålingene ble gjort, for eksempel i Aust-Agder i 1990. På Sør-Vestlandet var det en økning i N-MIN i løpet av vinteren på omtrent halvparten av alle skiftene.

### Forutsigelse av N-MIN om våren

Et betydelig problem i prognosearbeidet er å få gjennomført prøveuttak, analysering og tallbehandling raskt nok til at resultatene kan brukes til justering av gjødslinga om våren. Derfor er det ønskelig å kunne si noe om sannsynlige nivå på bakgrunn av målingene høsten i forveien.



Figur 5. Mengdene av nitrogen tapt fra skiftene i løpet av vinteren i ulike år i to områder, sett i forhold til mengden av N-MIN målt i jorda høsten i forveien

Figure 5. The net amounts of nitrogen lost from fields during the winter in different years within two regions, in relation to the amount of soil N-MIN measured in autumn

Foreløpig er sammenhengen undersøkt ved regresjon av vår-verdiene mot høst-verdiene og de ulike agronomiske variablene som er målt, slik som tidligere gjødsling, avlingsnivå, jordarbeiding om høsten, jordart og moldinnhold. Denne framgangsmåten har gitt god statistisk forklaring i enkelte år og enkelte distrikt, men sammenhengene varierer mye og er ikke alltid lett å tolke på faglig grunnlag. Derfor blir de ikke presentert her. Jordarbeiding og tidligere gjødsling har gitt signifikante bidrag i noen tilfeller, men bare i samspill med andre faktorer. Den videre analysen av disse sammenhengene vil inkludere opplysninger om værforholdene i de ulike områdene når disse er tilgjengelige.

### Beregningsmodeller

Det finnes mange ulike typer av beregningsmodell som tar for seg nitrogenomsetning i jordplante systemet. Det skiller ofte mellom detaljerte, fysisk baserte modeller, som gjerne brukes for å få bedre forståelse av enkeltprosesser innen et system, og enklere, anvendte modeller som omfavner helheten på en slik måte at de lar seg bruke til praktisk veiledning (Neeteson og Van Veen 1987). Modellen til Greenwood og Draycott (1989) tilhører siste gruppen.

*Jordprosesser* i modellen omfatter beregning av vannbalansen, netto N-frigjøring fra jorda og N-transport i jordprofilet. N-frigjøring blir estimert som en funksjon av jordtemperaturen i toppsjiktet, med utgangspunkt i den typiske mineraliseringen som skjer ved en bestemt temperatur. Denne forenklede framgangsmåten krever godt kjennskap til jordas tidligere gjødsling, vekstskifte og naturlige fruktbarhet. Utvasking blir beregnet etter

modellen til Burns (1974), som trolig passer bra på sandjord og lettleire, men som kan undervurdere tap på jord med sprekkdannelse, eller overvurdere dem hvis overflateavrenning inntreffer.

*Planteprosesser* i modellen omfatter beregning av aktuelt N-opptak og plantevekst på bakgrunn av N-mengden som til enhver tid er tilgjengelig i rotsonen. Brukeren oppgir forventet potensielt avlingsnivå, og modellen beregner en passende vekstkurve som korrigeres daglig når den beregnete N-konsentrasjonen i planten kommer under et kritisk nivå. Dette nivået avtar med økende tørrstoffmasse på omtrent samme måten for svært mange vekster (Greenwood et al. 1986, 1991).

Nødvendige inngangsdata til modellen er :

*Vær:* Nedbør, potensiell fordampning, jordtemperatur ved 10 cm

*Jord:* Vannlagringsevne, maks. rottybde, N-MIN ved start, N-mineraliseringskonstant ved en bestemt temperatur

*Plante:* Plantevekt ved start og forventet tørrstoffmasse, plante- og høstedataer, maksimal N-gjennvinningsgrad

Modellen har gitt relativt god overenstemmelse med resultater fra norske gjødslingsforsøk i hodekål på lettleire og sandjord (Riley 1993a, Riley & Guttormsen 1994). I disse forsøkene ble det oppnådd svært ulikt avlingsnivå på disse to jordartene ved samme N-gjødsling, på grunn av ulikheter i jordartenes vannlagring, og mengdene av nedbør pluss vanning som feltene fikk. Ifølge modellberegningene førte dette til store utvaskingstap på sandjorda, og følgelig mye mindre planteopptak av nitrogen (tabell 4).

Tabell 4. Skjebnen til 30 kg/daa N-gjødsel tilført om våren til vinterkål dyrket på to jordarter. Tallene er prosent av tilført

Table 4. The destiny of 300 kg/ha N-fertilizer applied in spring to winter cabbage grown on loamy and sandy soils (% of applied)

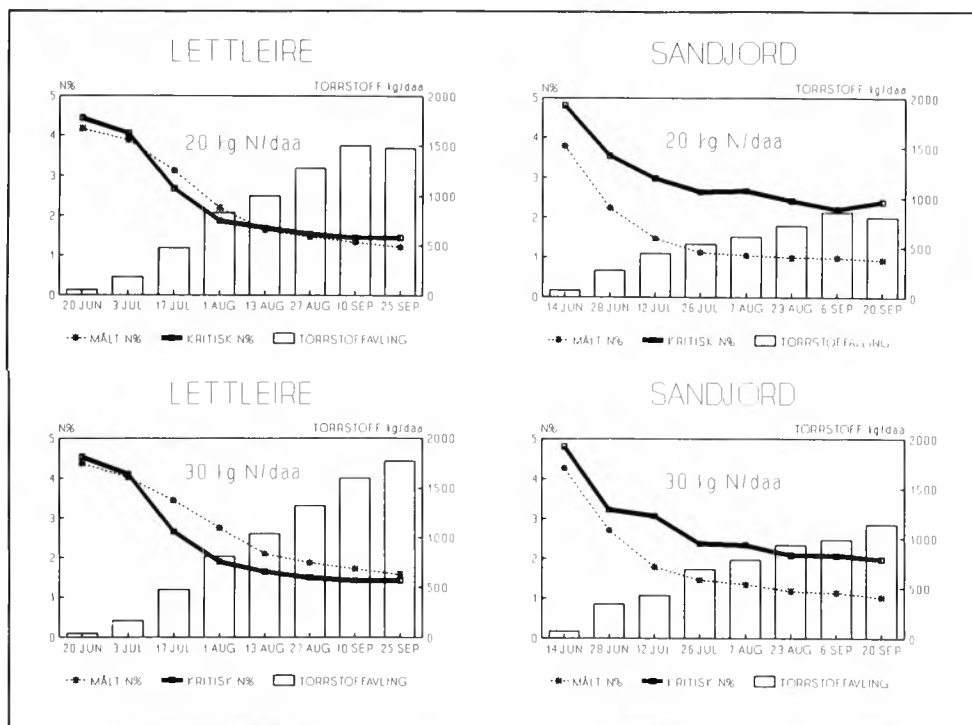
	LETTLEIRE LOAMY SOIL			SANDJORD SANDY SOIL		
	Utvasket <sup>1</sup> <i>Leached</i>	Opptatt <sup>2</sup> <i>Taken up</i>	Sum	Utvasket <sup>1</sup> <i>Leached</i>	Opptatt <sup>2</sup> <i>Taken up</i>	Sum
1990 SOMMERKÅL	1	60	61	48	43	91
1990 VINTERKÅL	5	79	84	64	47	111
1991 SOMMERKÅL	14	62	76	67	31	98
1991 VINTERKÅL	15	59	74	77	11	88

<sup>1</sup> Beregnet etter modell <sup>2</sup> Målt i plantetørrstoff

Utviklingsforløpet hos vinterkål i disse forsøkene ved to N-gjødseltrinn (20 og 30 kg N/daa) er vist i figur 6. På sandjorda lå den målte N-konsentrasjonen i plantene betydelig under kritisk nivå hele tiden, og veksten stagnerte derfor tidlig. På lettleira fortsatte veksten så lenge N-konsentrasjonen holdte seg over det kritiske nivået.

Følsomhetsanalyse av inngangsparametrene til modellen har vist at konstanten som bestemmer mineraliseringshastigheten har spesielt stor betydning. Det er trolig på dette området at det trengs mest forskning i framtida. En ny versjon av modellen, som på en

enkel måte tar hensyn til N-frigjøring fra planterester, er nå under utvikling (Greenwood, pers. medd.).



Figur 6. Tørrstoffutviklingen over tid hos vinterkål på to jordarter, sett i forhold til N% målt i plantene og beregnede verdier for kritisk N% ved de aktuelle tørrstoffmengdene. Middeldata for 1990 og 1991 (etter Riley 1993a)

Figure 6. The development of dry matter yield of winter cabbage over time on two soil types, in relation to the total N% measured in the plants and the critical N% values calculated for the relevant levels of dry matter

## KONKLUSJON

Nitrogengjødsel er trolig den innsatsfaktoren som har størst virkning på avlingsnivå, men tilførsel av for store mengder gir uønskede virkninger på produktkvalitet og miljø, ved siden av å være uøkonomisk. Derfor er det nødvendig med et system som gjør det mulig for den enkelte dyrkeren å ta hensyn til variasjonene som oppstår i jordas N-MIN innhold. Det nåværende prøvetakingsopplegget ble valgt fordi man regnet det som lite sannsynlig at den enkelte dyrkeren i Norge kunne gjennomføre prøvetaking på egen gård, slik det blir gjort i enkelte land med lengre vekstsesong og mer ensartete forhold. For at opplysningene skal tas i praktisk bruk, bør eksisterende gjødselplanleggingsprogram utvides til å inkludere spørsmål om N-MIN nivået.

Prøvetaksarbeidet har vist seg å være en stor utfordring organisasjonsmessig, med mange involverte personer og strenge krav til prøvetransport og forbehandling, samt korte

tidsfrister for analyse og tallbehandling. Slike data har ikke vært tilgjengelige før, og resultatene av dette prosjektet er derfor et viktig grunnlagsmateriale. Mens målingene gjort om våren er av direkte nytte i gjødselplanlegging, avdekker høstmålingene uheldige sider ved dagens gjødselpraksis, og gir et bilde av utvaskingsrisikoen. Årsakssammenhengen for den variasjonen som er funnet i N-MIN målingene er ennå ikke fullstendig belyst. En nærmere karakterisering av klima- og andre forhold på de enkelte feltene vil kanskje avhjelpe dette. I framtida vil man forhåpentlig kunne forutsi situasjonen om våren på bakgrunn av høstmålingene og værforholdene om vinteren.

Riktig dosering av nitrogengjødsel krever også at man tar hensyn til dynamikken i jord-plante systemet i løpet av vekstsesongen. Avlingsnivået (og dermed nitrogenbehovet) bestemmes delvis av faktorer som tørke og skadegjørere, som har ingen direkte forbindelse med nitrogentilgangen. Disse faktorene er det lettest å ta hensyn til hos vekstene som egner seg godt til delt gjødsling, som f.eks. grønnsaker, potet og høstvetete.

Bruk av simuleringsmodeller, av den typen som er beskrevet her, kan være av stor verdi i denne forbindelsen. Det er verdt å merke seg at mange av inngangsdataene er de samme som brukes i dagens gjødselplanleggingsprogram eller som blir gjort tilgjengelig gjennom de automatiske værstasjonene som er etablert i landbruksdistriktene. Slike modeller vil trolig i første omgang få mest anvendelse hos forskere og veiledere, men kan etter hvert også tas i bruk av dyrkere når vi får bedre kjennskap til passende parameterverdier for mineraliseringshastighet på ulike jordtyper.

## ETTERORD

En takk rettes til de mange medarbeiderne ved Statens forskingsstasjoner i Landbruk og i Landbrukets forsøksringer som har sørget for utvalg av prøvelokalitetene og uttak av jordprøver, og til feltvertene som alle har vist stor velvilje ved deltakelse i prosjektet.

## LITTERATUR

Abrahamsen, U. 1993. Tilpasset nitrogengjødsling: Nitrogenprognoser. Jord- og plantekultur 1993, 165-171.

Albertson, M.L. 1990. Provtagning och hantering av jordprover i samband med kväveprognos. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst. för Markvetenskap, Avd. för Växtnäringslära, Rapport nr. 69, 29 s. Uppsala.

Bleken, M.A. & A.R. Selmer-Olsen 1993. Variasjon i nitrat- og ammoniumanalyser av frosne jordprøver med lavt innhold av mineral-N. Norsk landbruksforskning 7: 49-55.

Briggs, K.G. 1974. Soil sampling and soil uniformity for N, P and K in a small plot area. Can. J. Soil Sci., 54: 115-117.

Burns, I.G. 1974. A model for predicting the redistribution of salts applied to fallow soil after excess rainfall or evaporation. *Journal of Soil Science* 25: 165-178.

Bærug, R., I. Lyngstad, A.R. Selmer-Olsen & A. Øien 1973. Studies on soil nitrogen. I. An evaluation of laboratory methods for available nitrogen in soils from arable and ley-arable rotation. *Acta Agric. Scand.* 23: 173-181.

Chalk, P.M. & S.A. Waring 1970. Evaluation of rapid tests for assessing nitrogen availability in wheat soils. 2. Effect of factors associated with field sampling, sample treatment and laboratory analysis. *Aust. J. of Exper. Agric. An. Husb.* 10: 306-312.

Dæhlin, E. 1993. Tilpasset nitrogengjødsling: Planteanalyser. *Jord- og plantekultur 1993*: 171-175.

Fugleberg, O. 1994. Analyse av innflytelsesrike observasjoner i regresjonsanalyse av nitrogen innhold i jord. *Norsk landbruksforskning*. In prep.

Greenwood, D.J., J.J. Neeteson & A. Draycott 1986. Quantitative relationships of the dependence of growth rate of arable crops on their nitrogen content, dry weight and aerial environment. *Plant & Soil* 91: 281-301.

Greenwood, D.J., & A. Draycott 1989. Experimental validation of an N-response model for widely different crops. *Fert. Res.* 18: 153-174.

Greenwood, D.J., F. Gastal, G. Lemaire, A. Draycott, P. Millard & J.J. Neeteson 1991. Growth rate and %N of field grown crops: Theory and Experiments. *Annals of Botany* 67: 181-190.

Lindén, B. 1981. Ammonium- og nitratkvävet rörelser och fördelning i marken, II. Metoder för mineralkväveprovtagning och analys. *Sveriges lantbruksuniversitet, Inst. för Markvetenskap, Avd. för Växtnäringslära, Rapport nr. 137, 71 s. Uppsala.*

Neeteson, J.J., K. Dilz & G. Wijnen 1989. Nitrogen recommendations for arable crops. s. 253-266 i J.C. Germon (red.) *Management systems to reduce impact of nitrates*, Elsevier, London.

Neeteson, J.J. & J.A. Van Veen 1987. Mechanistic and practical modelling of nitrogen mineralization-immobilisation in soils. s. 145-155 i J.R. Wilson (red.) *Advances in N-cycling in agricultural ecosystems*. CAB-International.

Nielsen, J.D. & H.S. Østergaard 1990. Jordanalyser for kvælstof. *Tidsskiift for Planteavl* 94, Beretning nr. S 2056.

Riley, H. 1993a. Modellberegning av N-gjødslingsbehov til grønnsaker, NJF-seminarium nr. 215, Växtanalyse i gödslingsrådgivningens tjänst, NJF-utredning/rapport nr. 81, 77-88.

Riley, H. 1993b. Tilpasset nitrogengjødsling: Nitrogenmodeller. *Jord- og plantekultur* 1993, 175-177.

Riley, H. & G. Guttormsen 1994. N requirements of cabbage crops grown on contrasting soils in Southern Norway. I. Field trials. II. Model predictions. *Norw. Journal of Agric. Sciences*. In prep.

Robinson, J.B.D. 1975. The soil nitrogen index and its calibration with crop performance to improve fertilizer efficiency on arable soils. Special Publ. No. 1, Commonwealth Bureau of Soils, 53. s. C.A.B.

Selmer-Olsen, A.R., A. Øien, R. Bærug & I. Lyngstad 1971. Pretreatment and storage of soil samples prior to mineral nitrogen determination. *Acta Agric. Scand.* 21, 57-63.

SFFL (1989). GJPLAN Versjon 3. EDB-program for gjødselplanlegging i jordbruket. Statens fagteneste for landbruket.

Silverman, B.W. 1986. Density estimation for statistics and data analysis. Chapman and Hall, London - New York.

Siman, G. 1993. Principen för växtanalysmodeller som grund för gödslingsrådgivning. NJF-seminarium nr. 215, Växtanalyse i gödslingsrådgivningens tjänst, NJF-utredning/rapport nr. 81: 28-39.

Stabbetorp, H., & I. Lyngstad 1988. Mineralnitrogen i jorda ved korndyrking på Østlandet. *Norsk landbruksforskning* 2: 83-91.

Vandendriessche, H., J. Bries & M. Geypens 1991. Mineral nitrogen reserve in the soils of Belgium and the northern part of France during the winter of 1990. *Pedologie* XL-1: 39-46.

Øien, A., A.R. Selmer-Olsen, R. Bærug & I. Lyngstad 1974. Studies on soil nitrogen. III. Effects of drying, deep-freezing and storage of moist soil on nitrogen mineralization. *Acta Agric. Scand.* 24: 222-226.

Østergaard, H.S. 1989. Analytical methods for optimization of nitrogen fertilization in agriculture. s. 224-235 i J.C.Germon (red.) *Management systems to reduce impact of nitrates*, Elsevier, London.

# Virkingen på jord og avling av undervekster i korn i feltforsøk på Apelsvoll og Staur

## *The effect on soil properties and yields of two years' continuous undersown cover crops in cereals in field experiments at Apelsvoll and Staur*

TROND BØRRESEN<sup>1</sup> & RAGNAR ELTUN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Norges Landbrukshøgskole, Institutt for jordfag, Ås, Norge

*Agricultural University of Norway, Department of Soil Sciences, Ås, Norway*

<sup>2</sup>Statens forskingsstasjoner i landbruk, Apelsvoll forskningsstasjon, Kapp, Norge

*The Norwegian State Agricultural Research Stations, Apelsvoll Research Station, Kapp, Norway*

Børresen, T. & R. Eltun 1993. The effect on soil properties and yields of continuous undersown cover crops in cereals in field experiments at Apelsvoll and Staur. Norsk landbruksforskning, Supplement No. 16: 94-110. ISSN 0802-0914.

Cover crops such as Italian ryegrass, white clover, and a mixture of Italian ryegrass and white clover were compared with no cover crops at three rates of nitrogen application (0, 60 and 120 kg ha<sup>-1</sup>) and twice for mouldboard ploughing (spring and autumn) in two factorial field experiments on loamy soils in Southeastern Norway. The experiments were established in the spring of 1989, and the measurements discussed in this paper were made in 1989 and 1990. The main crops were spring barley (*Hordeum vulgare* L.) and spring wheat (*Triticum aestivum* L.). The soil structure was measured by volumetric relations, size distribution and stability of aggregates. The physical properties had not changed after two years with different cover crops. The yields and the nitrogen content of the grain were depressed by the Italian ryegrass particularly, at low nitrogen application rates. White clover increased the grain yields significantly in the second year. The nitrogen content in the grain was not affected by white clover. The total nitrogen content in grain and cover crops was about the same as that for grain cropped without a cover crop. The Italian ryegrass reduced the content of ammonium and nitrate to a rate of 20-40 kg haa<sup>-1</sup> in the upper 60 cm of the soil in autumn. White clover slightly increased the content of ammonium and nitrate in the soil in autumn and this effect of white clover was also measurable in spring.

Key words: Ammonium, cover crops, grain yields, nitrate, nitrogen, soil structure.

*Trond Børresen, Agricultural University of Norway, Department of Soil Sciences, P.O. Box 5028, N-1432 Ås, Norway.*



Hensikten med å så en undervekst i kornet er at underveksten skal fortsette å vokse etter at hovedveksten er høstet. Redusert nitrogenutvasking, nitrogenfiksering, høyere total tørrstoffproduksjon, beskyttelse mot erosjon og forbedring av jordstrukturen er mulige positive virkninger av en undervekst. Hensikten med dette prosjektet var å undersøke mulighetene for å bruke undervekster som et middel for å oppnå en mer bærekraftig utvikling i ensidig kornproduksjon.

I ensidig kornproduksjon er ofte halmen det eneste organiske materiale som tilføres jorda utenom rester av rotsystemet. Dyrkingssystemer som øker jordas innhold av organisk materiale, forbedrer ofte jordas egenskaper med hensyn til plantevekst (Macrae & Mehuy 1985). Aggregatstabiliteten øker under eng, mens den blir redusert under åpenåker vekster (Tisdall & Oades 1982).

Raigras brukt som undervekst har redusert kornavlingene i mange forsøksserier (Breland 1989; Løvgren 1989; Rasmussen 1991). Rasmussen (1991) påpeker at effekten av raigras på kornavlingen er avhengig av klimatiske forhold. I forsøkene til Breland (1989) ga hvitkløver som undervekst, i middel mindre avlingsreduksjon enn raigras.

Hvitkløver har hatt en positiv ettervirkning med hensyn til kornavling i forsøk utført av Breland (1989) og Grønnerud (1989). De fant at i første året etter dyrkingen av hvitkløver som undervekst tilsvarte avlingsøkningen opp til 6 kg nitrogen pr dekar. I de samme forsøkene viste det seg at raigras hadde liten ettervirkning på kornavlingene.

I denne artikkelen behandles virkningen på jordas fysiske egenskaper, kornavling og nitrogeninnholdet i jorda av undervekster i kombinasjon med nitrogengjødsling og pløyetidspunkt.

## MATERIALE OG METODER

### Beskrivelse av jord og sted

Forsøkene ble utført på Apelsvoll forskningsstasjon, Kapp og på Staur forsøksgård, Stange. Høyden over havet var ca 250 m på Apelsvoll og 160 m på Staur. Jorda på Apelsvoll var ei moreneleitleire med 15% leir, 40% silt og 50% sand i plogsjiktet. Leirinholdet øker noe nedover i profilet. Jorda på Staur var også ei moreneleitleire med 23% leir, 34% silt og 43% sand i de øvre 30 cm.

### Forsøksopplegg og behandlinger

Forsøksopplegget var en split-split plot faktoriell plan med jordarbeiding på de største rutene, nitrogengjødsling på de mellomste rutene og undervekster på minste rutene. Det var tre gjentak. Forsøkene ble anlagt våren 1989 og de jordfysiske målingene som rapporteres her, er utført i 1990.

Jordarbeidingsleddene var to pløyetidspunkter; vår (VP) og høst (HP). Pløyedybden var 20-25 cm og jorda ble sloddet og harvet om våren. Nitrogen ble tilført som kalksalpeter i følgende mengder; 0 (N0), 6 (N1) og 12 (N2) kg daa<sup>-1</sup>. Undervekstene ble sådd 1 til 7 dager etter såingen av kornet. Følgende behandlinger var med; ingen undervekst (a), italiensk raigras (*Lolium multiflorum* Lam. var *Italicum*) (b), hvitkløver (*Trifolium repens* L.) (c) og en blanding av b og c (d). Undervekstene ble sådd på de samme rutene begge år. Sæmengden for undervekster i 1989 var for it. raigras 2,5 kg daa<sup>-1</sup>, hvitkløver 1 kg daa<sup>-1</sup> og blandingen 0,5 kg daa<sup>-1</sup> hvitkløver og 1 kg daa<sup>-1</sup> it. raigras, men disse mengdene ble

halvert i 1990.

Feltene ble grunnkjødslet med 40 kg daa<sup>-1</sup> PK 7-13. Det ble dyrket bygg (*Hordeum vulgare* L.) begge år på Apelsvoll og vårhvete (*Triticum aestivum* L.) begge år på Staur.

### **Avlingsbestemmelser og jordanalyser**

Høsterutene for korn var 9 m<sup>2</sup> og de ble høstet med forsøktresker. Avlingene av korn er oppgitt med 15% vanninnhold som kg pr dekar. 1000-kornvekt er bestemt ved å telle 200 korn to ganger og hektolitervekt ved å veie 0.25 liter av kornet to ganger. Mengden av undervekster ble bestemt ved å høste to ganger 0.25 m<sup>2</sup> pr rute. Innholdet av nitrogen i plantemateriale ble bestemt ved Kjeldahl-metoden.

Det jordfysiske måleprogrammet omfattet aggregatstørrelsesfordeling, aggregatstabilitet, porestørrelsesfordeling, luftvolum, porevolum, jordtetthet og luftpermeabilitet. Det relative forhold mellom fraksjonene luft, vann og fast materiale ble bestemt i 100 cm<sup>3</sup> uforstyrrede jordprøver (von Nitzsch 1936). Porestørrelsesfordeling ble målt ved bruk av keramiske trykkplater (Richards 1947, 1948). Luftvolum ved -10 kPa matriks potensial (pF<sub>2</sub>) ble bestemt med et luftpyknometer (Torstensson and Eriksson 1936), og totalt porevolum er gitt som summen av luft- og vanninnhold ved -10 Kpa matriks potensial (pF<sub>2</sub>). Aggregatstørrelsesfordeling ble utført ved tørrsolding (Njøs 1967). Aggregatstabilitet ble målt med hjelp av en regnsimulator, beskrevet av Marti (1984). Luftpermeabilitet ble målt ved -10 kPa matriks potensial (pF<sub>2</sub>) etter en metode beskrevet av Green and Fordham (1975).

Nitrat- og ammoniuminnholdet i jorda ble målt i et 2M KCl ekstrakt og bestemt etter metoder beskrevet av Henriksen & Selmer-Olsen (1970) (nitrat) og Selmer-Olsen (1971) (ammonium). Jordprøvene ble tatt i sjiktene 0-20, 20-40 og 40-60 cm om høsten og i 0-10 og 10-20 cm på forsommeren.

## **RESULTATER**

### **Jordfysiske egenskaper**

Resultatene for jordtetthet og porevolum er vist i tabell 1. Forskjellen mellom behandlingene var ikke signifikante. Det er heller ingen tendens til forskjell i resultatene for de ulike undervekster. Tallmessig har vårpløying lavere jordtetthet og høyere porevolum på begge felt. Jordas luftvolum ved feltkapasitet var heller ikke signifikant forskjellig for behandlingene i disse to forsøkene (Tabell 2). Målingene viste at luftinnholdet ved feltkapasitet generelt var høyt på denne morenejorda. På Apelsvoll har bruk av raigras som undervekst gitt tallmessig lavere luftvolum og porevolum samt høyere jordtetthet enn de andre undervekstbehandlingene. Dette skyldtes antakelig variasjon i jorda på forsøksfeltet og ikke virkning av raigras.

Luftpermeabilitet ble målt når jorda var i likevekt ved feltkapasitet (pF<sub>2</sub>) (Tabell 2). På begge felta var det leddet uten undervekst som hadde størst luftpermeabilitet og raigras minst. Forskjellen er stor, men ikke signifikant. Dette skyldtes at det var stor variasjon for denne parametere på disse felta.

Porestørrelsesfordelingen (ikke vist) i jorda var lite påvirket av undervekster og jordarbeiding i disse to forsøkene. Jorda på Apelsvoll inneholder noe mere porer mindre enn

30  $\mu\text{m}$  der det er blitt dyrket raigras som undervekst. På Staur var det ingen forskjell i porestørrelsesfordelingen på høst- og vårpløyd jord. På Apelsvoll var det mere grove porer ( $>30\mu\text{m}$ ) i vårpløyd sammenlignet med høstpløyd jord.

Tabell 1. Jordtetthet ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) og porevolum (vol%) i dybden 5-10 cm på N1 ruter etter to år med undervekster ved høst- og vårpløying

Table 1. Bulk density ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) and porosity (% v/v) for 5-10 cm depth on N1 plots after two years with cover crops on spring and autumn ploughed soil

	Jordtetthet Bulk density		Porevolum Porosity	
	Apelsv.	Staur	Apelsv.	Staur
Ingen undervekst/No cover crop	1.31	1.38	50.1	49.0
It. raigras/It. ryegrass	1.39	1.38	47.1	47.4
Hvitkløver/White clover	1.36	1.35	48.0	48.6
Blanding/Mixture	1.34	1.35	49.4	48.3
Høstpløying/Autumn ploughing	1.37	1.37	48.0	48.2
Vårpløying/Spring ploughing	1.33	1.35	49.4	48.5

Hverken hovedeffekten av undervekster og pløyetidspunkt eller samspillet mellom disse var signifikante ( $P=0.05$ )  
The main effect of cover crops and time of ploughing and the interaction between these treatments did not differ significantly ( $P=0.05$ )

Tabell 2. Luftvolum (vol%) og luftpermeabilitet ( $\mu\text{m}^2$ ) ved -10kPa matrisepotensial (pF2) i dybden 5-10 cm på N1 ruter etter to år med undervekster ved høst- og vårpløying

Table 2. Air porosity (% v/v) and air permeability ( $\mu\text{m}^2$ ) at -10kPa matrix potential for 5-10 cm depth on N1 plots after two years with cover crops on spring and autumn ploughed soil

	Luftvolum Air porosity		Luftpermeabilitet Air permeability	
	Apelsv.	Staur	Apelsv.	Staur
Ingen undervekst/No cover crop	20.0	18.7	26.7	32.3
It. raigras/It. ryegrass	15.0	17.0	12.0	15.6
Hvitkløver/White clover	17.4	19.9	20.0	26.5
Blanding/Mixture	18.1	19.7	17.5	32.6
Høstpløying/Autumn ploughing	16.0	18.8	14.0	23.4
Vårpløying/Spring ploughing	19.3	18.9	24.1	30.1

Hverken hovedeffekten av undervekster og pløyetidspunkt eller samspillet mellom disse var signifikante ( $P=0.05$ )  
The main effect of cover crops and time of ploughing and the interaction between these treatments did not differ significantly ( $P=0.05$ )

Vannlagringsevnen i jorda beregnet som differansen mellom feltkapasitet (pF2) og visnegrense (pF4.2) er høyere for ledd med raigras alene eller i blanding med hvitkløver på Apelsvoll (Tabell 3). Høstpløyd jord hadde større evne til å lagre vann enn vårpløyd jord på Apelsvoll. På Staur var det ikke forskjell på vår- og høstpløyd jord med hensyn på vannlagringsevnen.

Aggregatstørrelsesfordelingen i såbedet (0-5 cm) var god på begge feltene (Fig. 1). Det var en høy andel av aggregater i fraksjonen 0.6-6 mm som regnes å være den ideelle fraksjonen med hensyn på plantevekst (Russell 1973). Undervektene hadde liten innvirkning på aggregatstørrelsesfordelingen (Fig. 1). Pløyetidspunkt viste signifikant utslag på størrelsesfordelingen av aggregater på begge felta (Fig. 1). Det var mer av store aggregater på vårpløyd sammenlignet med høstpløyd jord.

Stabiliteten til aggregatene var heller ikke signifikant påvirket av undervektene på disse felta (Tabell 3). På begge felta hadde vårpløyd jord bedre stabilitet enn høstpløyd jord.

Tabell 3. Nyttbart vann (vol%) i dybden 5-10 cm og aggregatstabilitet i dybden 0-5 cm på N1 ruter etter to år med undervekster ved høst- og vårpløying

Table 3. Available water capacity (AWC) (% v/v) for 5-10 cm depth and aggregate stability (% w/w) on N1 plots after two years with cover crops on spring and autumn ploughed soil

	Nyttbart vann AWC		Agg. stabilitet Agg. stability	
	Apelsv.	Staur	Apelsv.	Staur
Ingen undervekt/ <i>No cover crop</i>	18.8	18.4	76.2	71.7
It. raigras/ <i>It. ryegrass</i>	20.1	18.6	76.1	72.4
Hvitkløver/ <i>White clover</i>	18.8	17.4	76.0	69.9
Blanding/ <i>Mixture</i>	19.7	17.4	77.9	72.0
Høstpløying/ <i>Autumn ploughing</i>	20.1	18.0	74.1	68.7
Vårpløying/ <i>Spring ploughing</i>	18.6	17.9	79.0	74.3

Hovedeffekten av jordarbeiding var signifikant ( $P=0.05\%$ ), men hovedeffekten av undervekster og samspillet mellom undervekster og jordarbeiding var ikke signifikante ( $P=0.05$ )

The main effect of tillage was significant ( $P=0.05\%$ ). The main effect of cover crops and the interaction between cover crops and tillage treatments did not differ significantly ( $P=0.05$ )

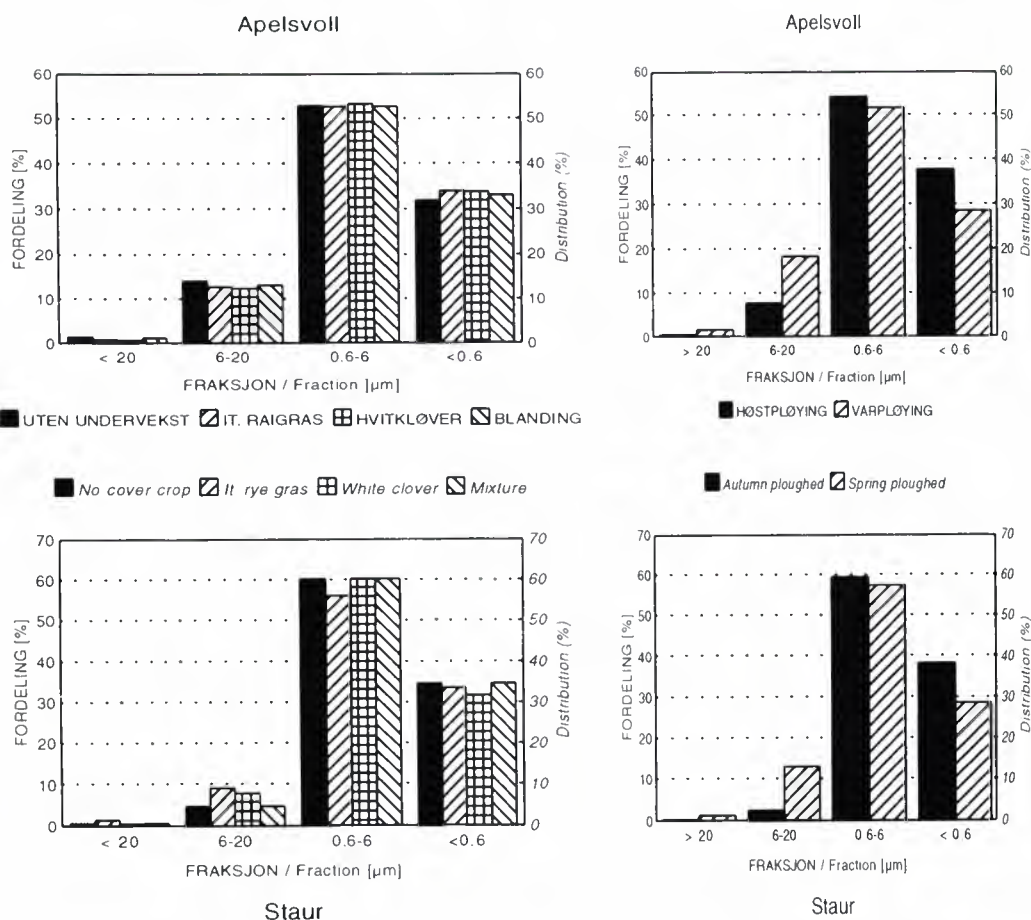


Fig. 1. Aggregatstørrelsesfordeling i såbedet (0-5 cm) etter ulike undervekster og to pløyetidspunkt på Apelsvoll og Staur i 1990

Fig. 1. Aggregate size distribution in the layer 0-5 cm after sowing in spring 1990 for different cover crops and two times for ploughing

### Kornavling

Kornavlingene var signifikant forskjellige både for hovedeffekt av undervekster og nitrogen gjødsling og samspillet mellom disse det første året på Apelsvoll (Fig. 2). Ledd med raigras reduserte avlingene på alle gjødseltrinn. Det samme gjorde blandingen av hvitkløver og raigras, men utslaget var noe mindre. Resultatene første året på Staur viste tildels samme tendens som på Apelsvoll, spesielt når en sammenligner uten undervekst med raigras (Fig. 3). Hvitkløver ga på Staur like god avling som uten undervekst på ledd uten nitrogen gjødsling. Ved 6 og 12 kg N daa<sup>-1</sup> ga hvitkløver lavere avling enn uten undervekst.

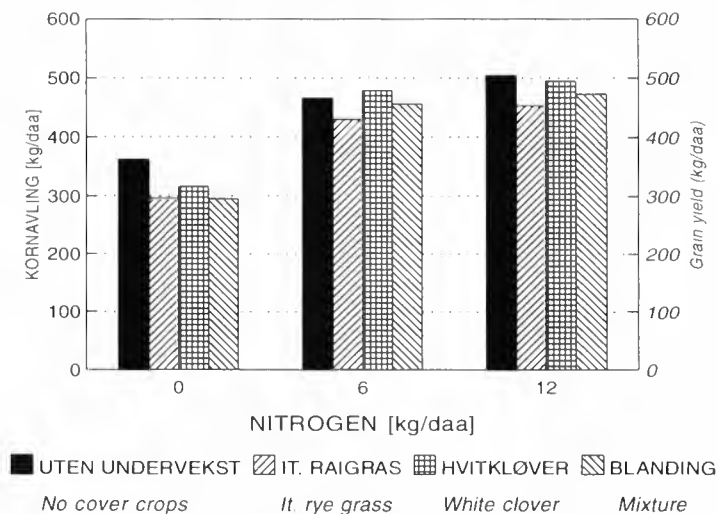


Fig. 2. Kornavling i 1989 ved bruk av ulike undervekster ved tre nitrogenmengder på Apelsvoll (LSD5% = 55)  
 Fig. 2. Grain yield in 1989 after different cover crops at three levels of nitrogen application at Apelsvoll (LSD5% = 55)

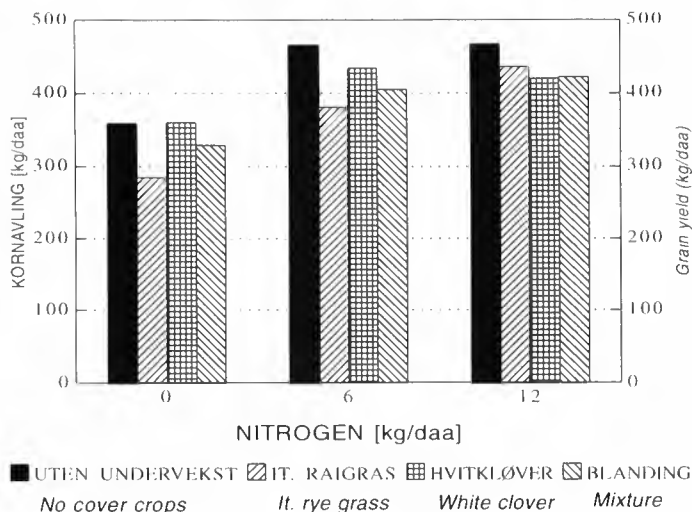


Fig. 3. Kornavling i 1989 ved bruk av ulike undervekster ved tre nitrogenmengder på Staur (LSD5% = 30)  
 Fig. 3. Grain yield in 1989 after different cover crops at three levels of nitrogen application at Staur (LSD5% = 30)

Resultatene i 1990 viste at raigras ga langt lavere avling enn de andre behandlingene i begge forsøkene med unntak av ved 12 kg N daa<sup>-1</sup> på Apelsvoll (Fig. 4 og 5). Hvitkløver har tildels gitt betydelige avlingsøkninger ved 0 og 6 kg nitrogen daa<sup>-1</sup>. Det er spesielt stort utslag for hvitkløver uten nitrogengjødsling på Apelsvoll. Her har hvitkløver gitt en avlingsøkning på 177 kg daa<sup>-1</sup> mens raigras reduserte avlingen med 100 kg daa<sup>-1</sup>.

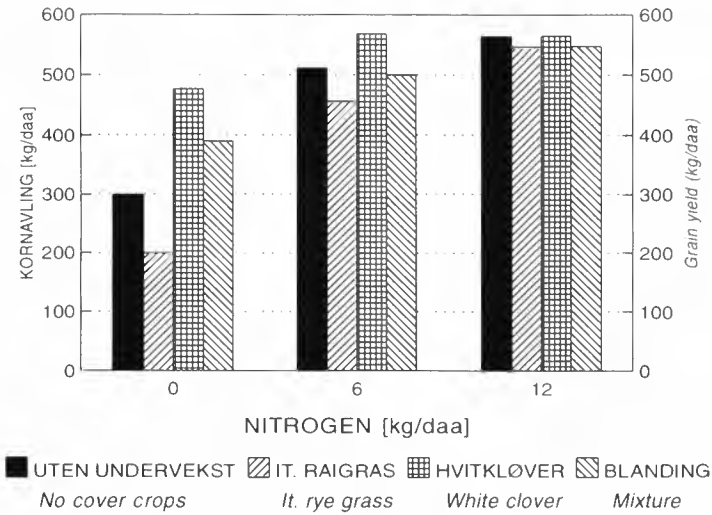


Fig. 4. Kornavling i 1990 ved bruk av ulike undervekster ved tre nitrogenmengder på Apelsvoll (LSD5% = 35)  
 Fig. 4. Grain yield in 1990 after different cover crops at three levels of nitrogen application at Apelsvoll (LSD5% = 35)

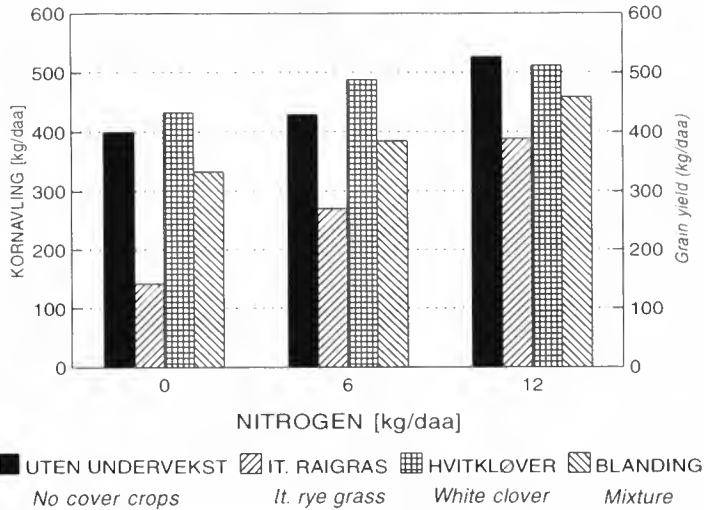


Fig. 5. Kornavling i 1990 ved bruk av ulike undervekster ved tre nitrogenmengder på Staur (LSD5% = 40).  
 Fig. 5. Grain yield in 1990 after different cover crops at three levels of nitrogen application at Staur (LSD5% = 40).

### Kornkvalitet

Det først året (1989) var det ingen utslag på hektolitervekt og 1000-kornvekt av undervekstene. I 1990 ble hektolitervekta og 1000-kornvekta redusert der det var raigras som

undervekst, mens det var motsatt utslag for hvitkløver. Økt gjødsling med nitrogen har i hovedsak redusert både hektolitervekt og 1000-kornvekt. Vårpløying har gitt signifikant reduksjon i 1000-kornvekt sammenlignet med høstpløying på Staur. Ellers har det ikke vært noen virkning av tidspunktet for pløying på disse parametrene.

### Nitrogen i kornet

Raigras som undervekst, har redusert innholdet av nitrogen i kornet på Staur (Fig. 6). På Staur har leddene med hvitkløver alene eller i blanding med raigras hatt liten virkning på innholdet av nitrogen i kornet. På Apelsvoll var ikke virkningene av undervekster på nitrogeninnholdet i kornet så klar, men raigras har redusert innholdet av nitrogen sammenlignet med ingen undervekst (Fig. 7). Økt nitrogen gjødsling har økt innholdet av nitrogen i kornet på begge felt.

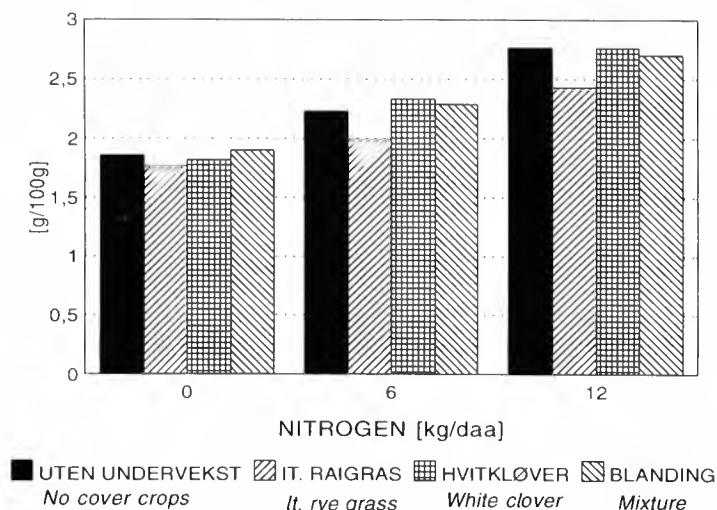


Fig. 6. Nitrogeninnhold i korn i 1989 ved bruk av ulike undervekster ved tre nitrogenmengder på Staur

Fig. 6. Nitrogen content in grain in 1989 after different cover crops at three levels of nitrogen application at Staur

### Opptak av nitrogen

Opptaket av nitrogen i undervekst og korn er vist i figur 8 og 9. På Apelsvoll er mengden av nitrogen i kornet ca 5, 8 og 10,5 kg daa<sup>-1</sup> ved henholdsvis 0, 6 og 12 kg N daa<sup>-1</sup> og uten undervekst (Fig. 8). Hvitkløver som undervekst har ikke redusert mengden av nitrogen i kornet. Raigras alene eller i blanding med hvitkløver har redusert mengden nitrogen i kornavlinga. Feltet på Staur viste samme utslag, men det var her liten forskjell på hvitkløver alene og i blanding med raigras særlig ved det høyeste gjødseltrinnet (Fig. 9).



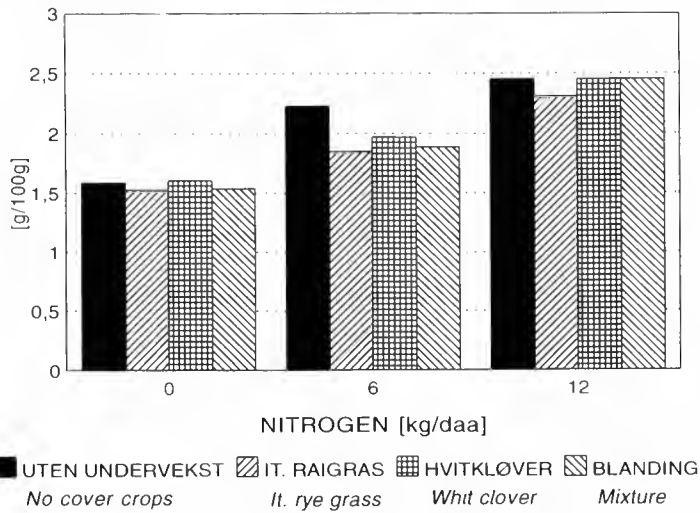


Fig. 7. Nitrogeninnhold i korn i 1989 ved bruk av ulike undervekster ved tre nitrogenmengder på Apelsvoll  
 Fig. 7. Nitrogen content in grain in 1989 after different cover crops at three levels of nitrogen application at Apelsvoll

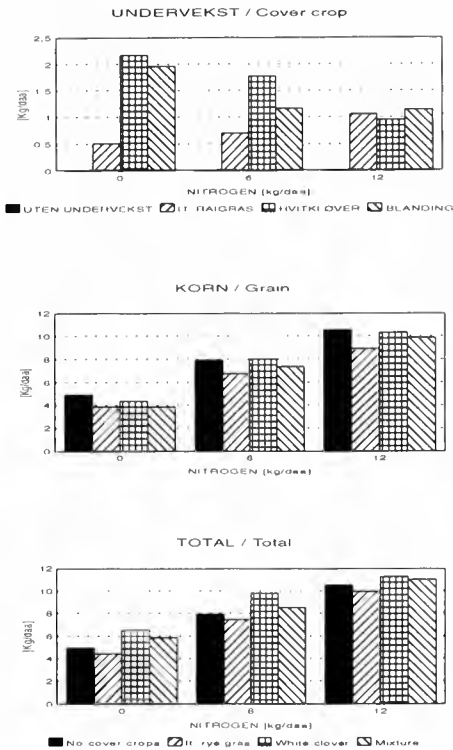
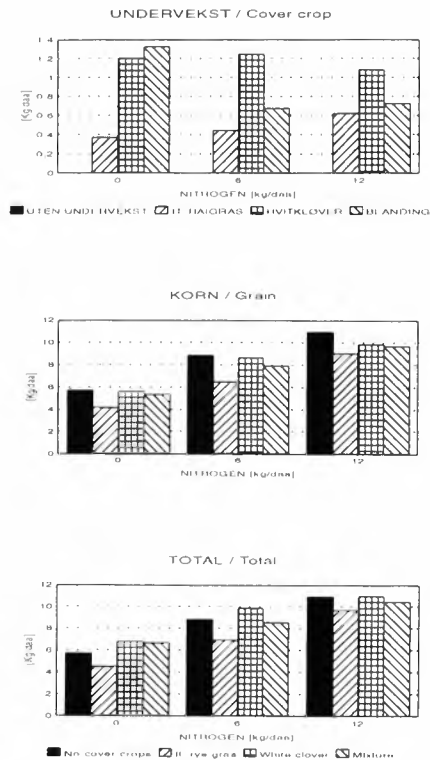


Fig. 8. Nitrogen i avling av korn og undervekst i 1989 ved bruk av ulike undervekster ved tre nitrogenmengder på Apelsvoll  
 Fig. 8. Nitrogen in yields of grain and cover crops in 1989 after different cover crops at three levels of nitrogen application at Apelsvoll

Fig. 9. Nitrogen i avling av korn og undervekst i 1989 ved bruk av ulike undervekster ved tre nitrogenmengder på Staur

Fig. 9. Nitrogen in yields of grain and cover crops in 1989 after different cover crops at three levels of nitrogen application at Staur



Nitrogenmengden i undervekstene varierte med undervekst og gjødselstyrke. Raigraset inneholdt fra 0.5 til 1.0 kg N daa<sup>-1</sup> ved henholdsvis 0 og 12 kg N daa<sup>-1</sup> på Apelsvoll (Fig. 8), mens nitrogenmengden på Staur var noe mindre (Fig. 9). Avling av hvitkløver inneholdt over 2 kg N daa<sup>-1</sup> uten gjødsling med nitrogen på Apelsvoll, men ved sterkest nitrogen-gjødsling var dette redusert til det halve. På Staur inneholdt avlinga med hvitkløver mellom 1 og 1.2 kg N daa<sup>-1</sup> uavhengig av nitrogengjødsling. Blanding av raigras og hvitkløver inneholdt omtrent samme mengde nitrogen som hvitkløveravlinga ved 0 kg N daa<sup>-1</sup>. Ved 6 og 12 kg N daa<sup>-1</sup> var mengden nitrogen i raigras og blanding relativt lik på begge felt.

Total mengde nitrogen i korn og undervekst er generelt høyest der hvitkløver ble dyrket som undervekst og lavest der raigras ble brukt (Fig. 8 og 9).

### Nitrogen i jord

Undervekstens virkning på innholdet av nitrat og ammonium i jorda til ulike tider er vist i figurene 10 - 13. Raigras som undervekst har redusert innholdet av nitrat + ammonium signifikant ned til 60 cm dybde både høsten 1989 og 1990 på begge felt (Fig. 10 og 11). På Apelsvoll utgjorde dette 1.9 og 2.7 kg nitrogen daa<sup>-1</sup> for henholdsvis 1989 og 1990 beregnet ned til 60 cm dybde. Tilsvarende tall for Staur var 4.3 (1989) og 2.5 (1990) kg nitrogen daa<sup>-1</sup>. Hvitkløver har både på Staur og Apelsvoll økt mengden nitrat og ammonium i enkelte sjikt i jorda. På forsommeren er det tatt ut prøver på leddet uten nitrogengjødsling

(Fig. 12 og 13). På Staur er det klart mer nitrat og ammonium i 0-10 og 10-20 cm dybde der hvitkløver ble brukt som undervekst (Fig. 13). På dekarbasis utgjorde denne økningen 1.1 kg i 1989 og 1.8 kg i 1990. På Apelsvoll hadde ikke hvitkløver noen virkning på innholdet av nitrat + ammonium i jorda. I begynnelsen av juni har raigraset også økt innholdet av ammonium og nitrat i jorda i 10-20 cm dybde på Staur, men ellers har ikke raigras vist noe utslag sammenlignet med uten undervekst. På Apelsvoll er det i plogsjiktet som helhet mest ammonium og nitrat på leddet uten undervekst (Fig. 12). Raigraset har redusert innholdet av ammonium og nitrat også på forsommeren på Apelsvoll.

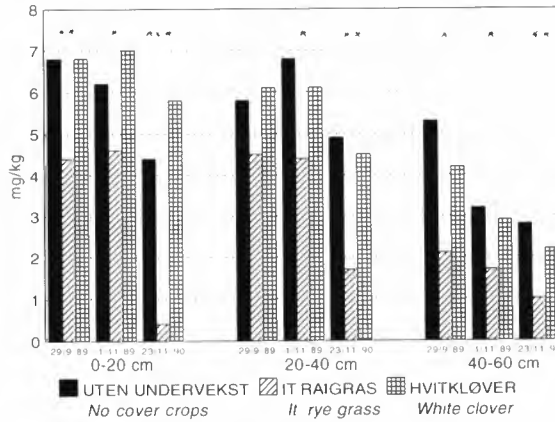


Fig. 10. Ammonium + nitrat i sjiktene 0-20, 20-40 og 40-60 cm dybde ved to tidspunkt høsten 1989 og et tidspunkt høsten 1990 ved bruk av ulike undervekster på Apelsvoll. Signifikansnivå er merket med stjerne (\*, \*\*, \*\*\*)

Fig. 10. Ammonium + nitrate in the horizons 0-20, 20-40 and 40-60 cm at two dates in autumn 1989 and one date autumn 1990 after different cover crops at Apelsvoll. Significance level is marked with asterisks (\*, \*\*, \*\*\*)

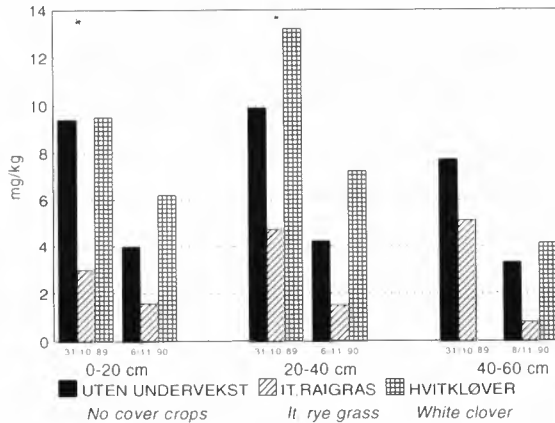


Fig. 11. Ammonium + nitrat i sjiktene 0-20, 20-40 og 40-60 cm dybde ved et tidspunkt høsten 1989 og høsten 1990 ved bruk av ulike undervekster på Staur. Signifikansnivå er merket med stjerne (\*, \*\*, \*\*\*)

Fig. 11. Ammonium + nitrate in the horizons 0-20, 20-40 and 40-60 cm at in autumn 1989 and in autumn 1990 after different cover crops at Staur. Significance level is marked with asterisks (\*, \*\*, \*\*\*)

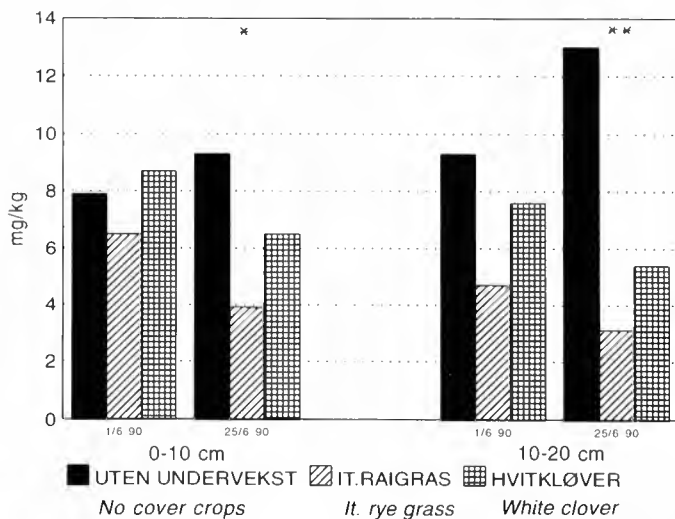


Fig. 12. Ammonium + nitrat i sjiktene 0-10 og 10-20 cm dybde ved to tidspunkt forsommeren 1990 ved bruk av ulike undervekster på Apelsvoll. Signifikansnivå er merket med stjerne (\*, \*\*, \*\*\*).  
 Fig. 12. Ammonium + nitrate in the horizons 0-10, 10-20 cm at two dates in summer 1990 after different cover crops at Apelsvoll. Significance level is marked with asterisks (\*, \*\*, \*\*\*)

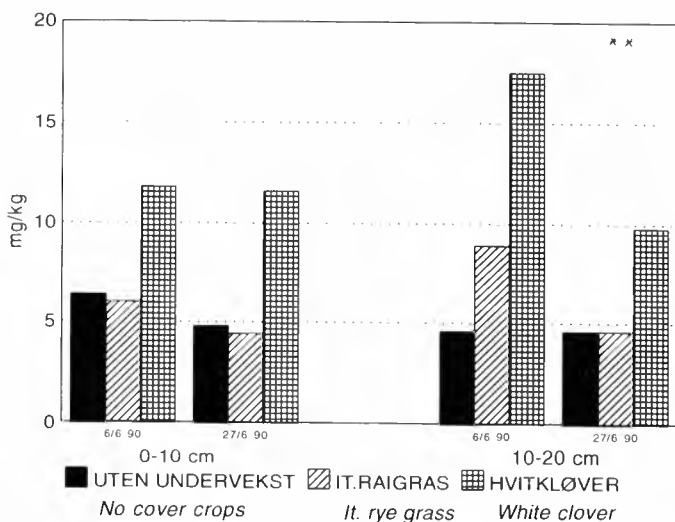


Fig. 13. Ammonium + nitrat i sjiktene 0-10 og 10-20 cm dybde ved to tidspunkt forsommeren 1990 ved bruk av ulike undervekster på Staur. Signifikansnivå er merket med stjerne (\*, \*\*, \*\*\*).  
 Fig. 13. Ammonium + nitrate in the horizons 0-10 and 10-20 cm at two dates in summer 1990 after different cover crops at Staur. Significance level is marked with asterisks (\*, \*\*, \*\*\*)

## DISKUSJON

Isåing av undervekster har hatt liten innvirkning på jordfysiske egenskaper i disse to forsøkene. Når det gjelder egenskaper som jordtetthet, pore- og luftvolum er det ingen sikre utslag i disse to forsøkene. Breland (1989) fant også svake utslag for disse egenskapene ved bruk av raigras som undervekst. Andre forsøk har vist en svak nedgang i tetthet og svak økning i luft- og porevolum etter raigras eller kløver som undervekst (Czeratcki & Ruhm 1974; Rasmussen 1991). Jorda på Apelsvoll og Staur har i utgangspunktet høyt luft- og porevolum og relativt lav jordtetthet hvis en tar innholdet av stein i betraktning. På slik jord skal det mye til for å finne virkning av undervekster allerede etter to år. De samme forhold gjør seg gjeldene for vannlagringsevne og luftpermeabilitet.

Debruck (1974) fant at grønn gjødsling ga økt andel aggregater større enn 5 mm. På Staur viste raigras denne tendensen, men ikke hvitkløver og blanding av hvitkløver og raigras. På Apelsvoll var det liten forskjell mellom ledd med undervekst. Uten undervekst hadde noe færre aggregater mindre enn 0.6 mm og noe mere aggregater større enn 6 mm. Tidspunktet for pløying hadde større betydning for aggregatstørrelsesfordelingen enn undervekster. Vårpløying ga på begge felt færre aggregater mindre enn 0.6 og flere aggregater større enn 6 mm. Fraksjonen 0.6-6 mm var relativt lite påvirket av pløyetidspunktet. Njøs & Børresen (1990) rapporterte et langt grovere såbed på stiv leire etter vårpløying sammenlignet med høstpløying.

Aggregatstabiliteten for jorda på disse to forsøkene må generelt sies å være god. Effekten av to år med undervekster var derfor liten. Hvis undervektene på sikt gir et høyere innhold av organisk materiale, vil stabiliteten øke (Harris et al. 1965). Vårpløying ga høyere aggregatstabilitet enn høstpløying på begge felt. På stiv leire derimot fant Njøs & Børresen (1990) at stabiliteten til aggregatene var litt bedre på høstpløyd sammenlignet med vårpløyd jord.

Kornavlingene er i middel redusert ved bruk av raigras som undervekst. Ved økt mengde nitrogen gjødsel ble avlingsnedgangen ved raigras som undervekst mindre. Hvitkløver ga også noe nedsatt avling av korn først år, men i andre året var virkningen positiv særlig ved liten nitrogentilførsel. Dette tyder på at hvitkløver har hatt en betydelig nitrogeneffekt. Raigras har tydeligvis brukt nitrogen i konkurranse med kornet. Breland (1989) har funnet tilsvarende virkning av raigras og hvitkløver brukt som undervekst. Nitrogeninnholdet i kornet ble redusert ved bruk av raigras som undervekst. Dette viste også at raigras har konkurrert med kornet om nitrogen. Hvitkløver ga ingen slik reduksjon i innholdet av nitrogen i kornet. Blanding av raigras og hvitkløver kommer ofte i en mellomstilling når det gjelder virkning på kornavling.

På denne jordarten har ikke pløyetidspunktet så mye å si på avlingene (Njøs & Ekeberg 1980). Effekten av vår- og høstpløying viser heller ingen signifikante utslag i disse forsøkene, men tallmessig har høstpløying gitt noe større avling enn vårpløying i begge forsøkene (+ 14 og + 26 kg daa<sup>-1</sup> på henholdsvis Apelsvoll og Staur). Forutsatt lik såtid vil pløyetidspunktet normalt ha liten betydning for kornavlingen på disse forsøksarealene.

Beregningene for opptatt nitrogen i plantemateriale viste at selv uten gjødsling inneholdt kornet 5 - 6 kg N daa<sup>-1</sup>. Jorda på disse to forsøksstedene har relativ store reserver med nitrogen. Bare ved 12 kg N daa<sup>-1</sup> inneholdt kornavlingene mindre nitrogen enn det som ble tilført ved gjødsling. Det dreide seg bare om 1 - 1.5 kg N daa<sup>-1</sup> og da er ikke halmen

medregnet. Raigraset har senket opptaket av nitrogen i kornet mer enn det selv har tilført i total avling. Der hvitkløver var med som undervekst, ble total nitrogenavling vel så høy som korn i renbestand. Målinger av ammonium og nitrat i jorda viste at raigraset senket innholdet av ammonium + nitrat betydelig ned til 60 cm dybde. Dette dreide seg om 2-4 kg daa<sup>-1</sup> i sjiktet 0-60 cm. Når dette ikke er funnet igjen i avlingene må det være bundet i raigrasets rotsystem. På Staur forårsaket hvitkløver høyere verdier for ammonium + nitrat (1-2 kg daa<sup>-1</sup>) sammenlignet med leddet uten undervekst. Målingene på ledd uten nitrogen gjødsling fra forsommeren tydet ikke på at det var vasket ut mer ammonium og nitrat fra leddet med hvitkløver enn fra andre ledd.

## KONKLUSJON

Undervekster av raigras, hvitkløver og en blanding av disse har hatt liten innvirkning på jordas fysiske egenskaper i disse to forsøkene. Målinger etter to år med undervekster viste bare små utslag på jordtetthet, porevolum, luftvolum og nyttbar vannlagringsevne. Heller ikke størrelsesfordeling og stabilitet av aggregater ble påvirket av undervektene i disse forsøkene. Pløyetidspunktet hadde faktisk større betydning på de to sist nevnte parametre.

Kornavlingene ble i middel redusert av undervekster. Spesielt gjaldt dette for raigras og særlig ved små mengder av nitrogen gjødsel. Hvitkløver hadde svak negativ virkning på avlingene første år, men i andre år var virkningen positiv ved 0 og 6 kg N daa<sup>-1</sup>. Blandingen av raigras og hvitkløver kom ofte i en mellomstilling sammenlignet med disse to vekstene i renbestand som undervekst.

På grunn av nedgangen i avlinger og nitrogeninnhold i kornet ved bruk av raigras var den totale mengden nitrogen i plantemateriale større for korn i renbestand enn i korn og raigras. Hvitkløver som undervekst påvirket ikke den totale mengden av nitrogen i plantemateriale. Raigras har likevel helt klart redusert innholdet av ammonium og nitrat i jorda om høsten. Dette utgjorde ca 2-4 kg daa<sup>-1</sup> i disse to forsøkene. Hvitkløver viste en tendens til å gi økt innhold av ammonium og nitrat (1-2 kg daa<sup>-1</sup> på Staur) i jorda. Dett var likevel ikke noe som tydet på økt nitrogenutvasking etter hvitkløver som fangvekst.

## LITTERATUR

Breland, T.A. 1989. Soil organic carbon and nitrogen dynamics in grain cropping. IV. Green manuring with clover and ryegrass catchcrops undersown in small grain: Effect on soil structure. Dr.scient. Theses, Agricultural University of Norway, 11 p.

Czeratzcki, W. & E. Ruhm 1974. Untersuchungen über die Wirkung von Stoppelbehandlungen und Zwischenfruchten auf einigen physikalische Bodeneigenschaften und den Ertrag in einer Zuckerrubenfolge auf einer Pseudogley - Parabraunerde. Landbauforschung Volkenrode Heft 2: 111-122.

Debruck, J. 1974. Die Veränderung von Faktoren der Bodenfruchtbarkeit durch langjährige Stroh-Gründüngung. Landwirtsch Forsch Sonderheft 30/II: 167-177.

Green, R.D. & S.J. Fordham 1975. A field method for determining air permeability in soil. In: Soil Physical Conditions and Crop Production. MAFF Technical Bulletin No. 29: 273-288.

Harris R.F., G. Chester, & O.N. Allen 1965. Dynamics of soil aggregation. *Adv. Agron.* 18: 107-160.

Henriksen, A. & A.R. Selmer-Olsen 1970. Automatic methods for determining nitrate and nitrite in water and soil extracts. *Analyst* 95: 514-518.

Lövgren, B. 1989. Fanggrödor ger båda möjligheter och svårigheter - Hur skal de odlas? *Växtpressen* nr 2, 1989.

MacRae, R.J. & G.R. Mehuys 1985. The effect of green manuring on the physical properties of temperate - area soils. In: B.A. Stewart (ed). *Advances in Soil Science*, Vol 3, Springer Verlag, New York, pp 71-94.

Marti, M., 1984. Kontinuerlicher Getreidebau ohne Pflug im Süd osten Norwegens - Wirkung auf Ertrag, Physikalische und Chemische Bodenparameter. Dr.scient. Thesis, Agricultural University of Norway, 155 pp.

Njøs, A. 1967. Dry sieving. In: M. de Boodt (editor), *West-European Methods for Soil Structure Determination*. Ghent, p. V 34.

Njøs, A. & E. Ekeberg 1980. Forsøk med pløying til to dybder høst og vår på morenejord i Stange i årene 1969 og 1975. *Forskning og forsøk i landbruket* 31: 221-242.

Njøs A. & T. Børresen 1990. Long-term experiment with straw management, stubble cultivation, autumn and spring ploughing on a clay soil in S.E.Norway. *Soil Tillage Res.* 21: 53-66.

Rasmussen, K.J. 1991. Reducert jordarbejdning og italiensk raigras som efterafgrøde. Jordtetthet, rotutvikling og jordkjemi. *Tidsskrift for planteavl* 95: 139-154.

Richards. L.A. 1947. Pressure-membrane apparatus, construction and use. *Agric. Eng.* 28: 451-454; 460.

Richards. L.A. 1948. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soils. *Soil Sci.* 66: 105-110.

Russell, E.W. 1973. *Soil Conditions and Plant Growth*, 10th edition, Longmans, London, 849 pp.

Selmer-Olsen, A.R. 1971. Determination of ammonium in soil extracts by an automated indophenol method. *Analyst* 96: 565-568.

Tisdall J.M. & J.M. Oades 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33: 141-163.

Torstensson, G. & S. Eriksson 1936. A new method for determining the porosity of the soil. *Soil Sci.* 42: 405-417.

von Nitzsch, W., 1936. Der Porengehalte des Ackerbodens. Messverfahren und ihre Brauchbarkeit. *Plf. Ernähr. Düng. Bodenk.* 1 (46): 101-115.



# Ulike husdyrgjødselslag og -fraksjoner til eng, korn og grønnfôrvekster

## *The effects of various manures and manure fractions in grassland, small grains and green fodder crops*

STEINAR TVEITNES & INGVAR LYNGSTAD

Institutt for jord- og vannfag, Norges landbrukshøgskole, Ås, Norge

*Agricultural University of Norway, Department of soil and water sciences, Ås, Norway*

Tveitnes, S. & I. Lyngstad 1993. The effects of various manures and manure fractions in grassland, small grains and green fodder crops. Norsk landbruksforskning. Supplement No. 16: 111-123. ISSN 0802-0914.

Liquid fractions of mechanically separated and gravity-drained cattle manure were more efficient as fertilizers than untreated liquid manure. Wet composted cattle manure was less efficient, because of substantial ammonia loss during the composting process. Farmyard manure and solid fractions of separated and gravity-drained liquid manure were efficient compared with fertilizer when equal amounts of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  were applied. The correlation between added  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  with the various manure types and fractions and crop yields was significant, with the highest level of significance observed where the liquid fractions were used. Significant differences in the effect of manure from cattle and pigs were not found.

Key words: Farmyard manure, gravity-drained manure, separated manure, wet composted manure.

*Steinar Tveitnes, Agricultural University of Norway, Department of Soil and Water Sciences, P.O. Box 5028, N-1432 Ås, Norway.*

Virkningen av husdyrgjødsel vil i stor grad være avhengig av hvor godt nitrogenet tas vare på og utnyttes av plantene. En god utnytting av næringsstoffene i gjødsel vil også gi minst risiko for forurensning. Det er utført en rekke forsøk med husdyrgjødsel her i landet, hvor en først og fremst har prøvd ulike mengder til forskjellige vekster. Disse forsøkene har stort sett vist god virkning av husdyrgjødsel, men ved bruk av moderate mengder har det gjennomgående vært behov for tilleggsgjødsling med N i Fullgjødsel (Uhlen 1956, Bærug 1964, Tveitnes 1973). I flerårige forsøk er det påvist betydelig ettervirkning av husdyrgjødsel (Hovde 1972, Tveitnes 1979). I et langvarig forsøk på Østlandet utgjorde ettervirkningen av husdyrgjødsel halvparten av total-virkningen (Uhlen 1956).

Det driftsopplegg som er vanlig i mange distrikter i dag, medfører at det blir store mengder husdyrgjødsel pr. arealenhet. Eng utgjør ofte storparten av arealet hvor det meste

av husdyrgjødsla må spres. Tveitnes (1979) fant tydelig avlingsøkning ved gjødsling helt opp til 10 tonn bløtgjødsel pr. dekar til eng i kyst- og fjordstrøk, mens forsøk på Østlandet ga relativt liten virkning av bløtgjødsel til eng (Lyngstad 1972). Husdyrgjødsla virker best når den blir moldet ned, og i forsøk med grønnfôrvekster fant både Tveitnes (1979) og Aase (1981) god virkning av store gjødselmengder.

Bløtgjødsel brukt til eng har flere negative sider. Ved grashøsting kan gjødselrester lett følge med fôret og forårsake redusert fôrkvalitet. Bløtgjødsel kan også tette til jorda slik at infiltrasjonsevnen reduseres (Myhr 1984), og skorpedannelse som følge av uttørring av gjødsla kan hemme planteveksten eller kvele plantene. Sykdomsfremkallende parasitter og bakterier kan også spres med bløtgjødsla.

Tilsetting av vann til bløtgjødsla slik at den kan transporteres og spres gjennom rørledninger, er en spredemetode som egner seg godt i bratt terreng (Næss & Myhr 1976, Myhr 1979). Vanntilsetning øker N-virkningen av bløtgjødsla ved at ammoniakktapet blir mindre. Land har i forsøk gitt de minste tapene (Morken 1992). Våtkompostering av bløtgjødsel gir en homogen gjødsel som er lett å spre, er luktsvak og inneholder færre ugrasfrø og sykdomsfremkallende organismer enn ubehandlet bløtgjødsel. Myhr et al. (1990) fant mindre tiltetting av jorda ved bruk av våtkompostert bløtgjødsel sammenlignet med ubehandlet.

Våtkompostering av bløtgjødsla reduserer tørrstoffprosenten og senker viskositeten, slik at spredeegenskapene blir bedre. Forsøk med våtkompostert gjødsel har vist varierende resultater sammenlignet med ubehandlet. Ved våtkompostering kan noe av nitrogenet gå tapt, og Tveitnes & Tjernshaugen (1984) fant noe mindre avling ved bruk av kompostert gjødsel. I andre tilfelle har en fått litt bedre effekt av våtkompostert gjødsel sammenlignet med ubehandlet (Tveitnes & Håland 1989, Myhr et al. 1990). Myhr et al. (1990) fant ellers at våtkompostert gjødsel reduserte vanninfiltrasjonen i jorda mindre enn ubehandlet bløtgjødsel.

Det er i prinsippet to hovedlinjer i håndteringen av husdyrgjødsla, bløtgjødselmetoden og skilling av fast og flytende gjødsel-fraksjoner. Den faste fraksjonen benyttes fortrinnsvis i åker, mens den flytende også er godt egnet til bruk på eng. Den kan spres gjennom rørsystemer, enten det benyttes stasjonære anlegg eller ulike former for slepeslangesystemer. Husdyrgjødsel er særlig egnet på humusfattige jordarter. Den nitrogenfattige, tørre fraksjonen er et godt jordforbedringsmiddel. Fosforinnholdet vil imidlertid være begrensende for mengdene som bør benyttes pr. arealenhet.

Formålet med behandling av husdyrgjødsla er å gjøre den lettere håndterbar og å fjerne eller redusere eventuelle uheldige virkninger. Ulike behandlingsmåter har vært under utprøving i forbindelse med NLHs husdyrgjødselprogram 1989-1993. I tilknytning til dette har en også utført en serie markforsøk for å sammenligne virkningen av ulike gjødseltyper og gjødsel-fraksjoner. En foreløpig rapport er publisert av Tveitnes & Lyngstad (1991).

## MATERIALE OG METODER

I forsøkene ble det brukt typer og fraksjoner av husdyrgjødsel som vist i tabell 1.

Tabell 1. Typer og fraksjoner av bløtgjødsel fra storfe og gris som ble brukt i forsøkene

Table 1. Liquid cattle and pig manure types and fractions applied in the experiments

Fraksjon Manure fraction	Separert Separated		Drenert Gravity drained		Våtkompostert Wet composted	Vassblandet Manure diluted		Talle Manure/ straw beddings	Ubehandlet Untreated		
	S	G	S	G	S	S	G	S	S	G	
Flytende Liquid	*	*	*	*	*	*	*			*	*
Fast Solid	*	*	*					*	*	*	

S = Storfegjødsel G = Grisejødsel

S = Cattle manure G = Pig manure

### Separert gjødsel fra storfe og gris

Gjødsla ble hentet fra storfefjøsset og grisehuset ved NLH. Bløtgjødsel fra storfe og gris ble separert ved hjelp av en skruepresesseparator fra firma Reime A/S. Bløtgjødsla skrur mot en hard gjødselpropp og gjødselvæska presses ut gjennom en sylindrisk sil (Fjellidal et al. 1993).

Tørrstoffinnholdet i fraksjonene avhenger av gjødselslag, siltype og mottrykk. Forskjellig tørrstoffinnhold i bløtgjødsla påvirket ikke separatorens arbeidsevne. Væskefraksjonen inneholdt mellom 3 og 7,5 % tørrstoff, mens fastgjødselfraksjonen inneholdt 25-35 %. Grisejødsel var lettest å separere. Storfegjødsla lot seg lettest separere om den inneholdt noe strø, f.eks sagflis eller korthakket halm (Fjellidal et al. 1993). Fastgjødsla som ble brukt på forsøksfeltene var ikke kompostert.

### Drenert gjødsel fra storfe og gris

Drenert storfegjødsel ble hentet fra en melkedyrbesetning ved Kongsvinger, men den drenerte grisejødsla kom fra et grisehus med purker og slaktegris i Skiptvedt.

Dreneringa foregår ved at urinen renner fra skantilen gjennom et eget rør- eller drengsystem til en egen kum. Den faste gjødselfraksjonen skrapes bort med et vanlig skrapeanlegg, og presses gjennom veggen til et utvendig, åpent lager.

### Våtkompostert gjødsel

Storfegjødsel fra gjødsellagre ved NLH er våtkompostert i en komposteringsreaktor (Fjellidal et al. 1993).

### Ubehandlet gjødsel fra storfe og gris

Vanlig bløtgjødsel fra gjødsellagre ved NLH er benyttet i forsøkene.

**Vassblandet gjødsel fra storfe og gris**

Dette er ubehandlet bløtgjødsel tilsatt vann i forholdet 1:1.

Materialet omfatter to forsøksserier, en med flytende og en med faste fraksjoner av gjødsla. Begge forsøksseriene ble utført på Sør-Østlandet i åra 1990-92 og besto av ettårige felter. Det var tre felt årlig i hver serie.

Forsøkene med flytende gjødselfraksjoner ble anlagt i eng av varierende alder, dels i ren graseng, og dels i eng med kløver/grasblanding. I serien med faste gjødselfraksjoner var det fem felter med korn og fire med grønnfôrvekster. Det ble prøvd én mengde av hver husdyrgjødseltype, som på engfeltene ble fordelt på vårgjødsling og gjødsling etter første slått i forholdet 1:0,75. Etter planen skulle den totale tilførsel tilsvare 14 kg  $\text{NH}_4\text{-N}$  pr dekar i husdyrgjødsel til eng, mens det på felta i åpen åker ble brukt 3,5 og 7,0 tonn gjødsel pr. dekar til henholdsvis korn og grønnfôrvekster.

Virkningen av husdyrgjødsel ble sammenlignet med fullgjødsel i begge serier, tilsvarende 14 og 21 kg N pr. dekar i fullgjødsel på engfeltene, 7,5 kg N til korn og 15 kg N til grønnfôrvekster. Dessuten var det i alle forsøk med et ledd uten gjødsel.

Feltene ble anlagt på mineraljord. Teksturen varierte fra sand til stiv leire. Ved anlegg av feltene var pH i det øverste 20 cm jordsjiktet for det meste i området 5,5-6,0, mens P-AL og K-AL var i middel omkring 12 mg 100 g<sup>-1</sup> tørr jord.

Husdyrgjødsla som ble brukt på de enkelte feltene ble analysert for total-N,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , P, K, tørrstoff og dels for  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ . Avvik i innhold i gjødsla fra år til år medførte større og mindre forskjeller mellom tilførte N-mengder. I tabell 2 er vist innhold i gjødsla av N, P, K og tørrstoff i middel for husdyrgjødsel brukt de tre årene.

Tabell 2. Prosent tørrstoff, og innhold av total-N,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , P og K i flytende gjødselfraksjoner og våtkompostert, vassblandet og ubehandlet bløtgjødsel brukt i forsøkene i middel for tre år. g kg<sup>-1</sup> gjødsel

Table 2. DM percentage and content of Total-N,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , P and K in liquid manure fractions, wet composted, water diluted and untreated liquid manure applied in the experiments. Mean of three years

Fraksjon Fraction	Separert Separated		Drenert Gravity- drained		Våtkompostert Wet composted	Vassblandet Diluted		Ubehandlet Untreated	
	S	G	S	G	S	S	G	S	G
Tørrst.-% DM-%	3,9	2,0	1,3	0,6	2,7	2,6	1,9	7,3	7,0
Total-N	2,8	2,9	3,5	1,8	1,6	1,5	1,4	3,1	3,4
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	1,4	1,8	2,8	1,4	0,9	0,8	0,9	1,6	1,9
P	0,5	0,7	0,5	0,3	0,3	0,2	0,4	0,6	0,9
K	2,8	1,3	5,9	0,9	2,4	2,2	0,9	3,0	1,4

S = Storfegjødsel G = Grisejødsel

S = Cattle manure G = Pig manure

Tabell 3. Prosent tørrstoff, og innhold av total-N,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , P og K i de faste fraksjonene av separert og drenert bløtgjødsel, og i talle. g  $\text{kg}^{-1}$  gjødselTable 3. DM-percentage and content of Total-N,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , P and K in solid fractions for separated and gravity-drained liquid manure, and in manure/straw beddings. g  $\text{kg}^{-1}$  manure

	Separert Separated		Drenert Gravity drained		Talle Manure/straw beddings
	S	G	S	G	S
Tørrst.-%	20	28	16	24	25
DM-%					
Total-N	3,1	4,4	4,5	8,2	4,9
$\text{NH}_4\text{-N}$	1,2	1,3	1,2	2,5	0,6
P	0,7	1,9	1,0	3,9	0,9
K	2,8	1,2	3,4	2,3	6,0

S = Storfegjødsel G = Grisejødsel

S = Cattle manure G = Pig manure

Gjødsla ble spredd for hand. Den flytende gjødsla ble fylt i bøtter og fordelt jevnest mulig på rutene. Det ble vurdert å bruke maskinelt spredesutstyr beregnet på forsøksruter, men det ble ansett som upraktisk da det skulle spres flere gjødseltyper på hvert felt.

### Værforhold

Virkningen av husdyrgjødsla er i stor grad avhengig av værforholdene, særlig nedbøren. I 1990 ble engforsøkene gjødslet i slutten av april, og på Ås kom det i dette tidsrommet ca. 10 mm regn. Mai var ekstremt tørr, mens det senere kom bra med nedbør. Åpenåkerfeltene ble anlagt første uka i mai, og det ble også her en lang periode etter gjødsling med lite nedbør.

I 1991 ble feltene anlagt i første halvdel av mai. I tillegg til en nedbørfattig april fikk vi også dette året en tørr mai. I juni-juli var nedbøren større enn normalt, og gjødslinga etter første slått i juli lå an til å gi større effekt enn vårgjødslinga.

Året 1992 ble svært tørt på Sør-Østlandet, særlig på grunn av en nedbørfattig juni. En tilnærmet normal nedbørmengde i mai var svært ujevnt fordelt, og dette førte til noe ulik virkning i engfeltene, som ble anlagt i løpet av de to første ukene i mai. Etter første slått ble gjødsla tilført i midten av juni på to av feltene, dvs. i en meget tørr periode. Åpenåkerfeltene, som dette året ble anlagt omkring 20. mai, fikk også en relativt lang periode med lite nedbør.

## RESULTATER OG DISKUSJON

### Forsøkene med flytende gjødselraksjoner

I serien med flytende gjødselraksjoner til eng ble alle feltene høstet to ganger. Ett felt i 1990 og to i 1992 ble høstet en tredje gang. Den botaniske sammensetningen i enga varierte fra ren graseng (hundegras) til eng med betydelig kløverinnslag. Det ble foretatt

skjønnsmessig botanisk analyse før høsting på de fleste feltene.

Avlingene er oppgitt i kg tørrstoff for alle vekster som var med i forsøkene. Et sammendrag av resultatene for hvert av de tre årene er vist i tabell 4.

Tabell 4. Virkning av storfe- og grisejødseltyper til eng. Flytende fraksjoner etter separering og drenering, gylle, våtkompostert og ubehandlet bløtgjødsel. Middell for tre felt. Kg tørrstoff pr. dekar  
*Table 4. Effect of manure types in grassland. Liquid fractions from separated and gravity-drained manure, liquid manure diluted, wet composted and untreated liquid manure. Mean of three experiments. DM, kg daa<sup>1</sup>*

	1990		1991		1992	
	1.sl. <i>1st cut</i>	2.sl. <i>2nd cut</i>	1.sl. <i>1st cut</i>	2.sl. <i>2nd cut</i>	1.sl. <i>1st cut</i>	2.sl. <i>2nd cut</i>
Ugjødslet <i>Control</i>	461	248	335	269	401	221
<u>Storfejødsel</u> <i>Cattle manure</i>						
Separert <i>Separated</i>	621	357	427	401	503	304
Drenert <i>Gravity-drained</i>	647	367	403	439	552	394
Våtkompostert <i>Wet composted</i>	505	266	406	391	514	280
Vassblandet <i>Liquid manure, diluted</i>	647	353	381	404	500	303
Ubehandlet <i>Untreated</i>	549	340	330	373	491	283
<u>Grisejødsel</u> <i>Pig manure</i>						
Separert <i>Separated</i>	645	364	396	421	511	297
Drenert <i>Gravity-drained</i>	662	359	370	333	497	307
Vassblandet <i>Liquid manure, diluted</i>	647	416	387	427	529	375
Ubehandlet <i>Untreated</i>	638	370	355	439	556	329
<u>Fullgjødsel</u> <i>NPK fertilizer</i>						
NPK 1 (14 kg N/daa)	714	396	450	437	542	356
NPK 2 (21 kg N/daa)	721	444	436	445	577	394
LSD <sub>5%</sub>	43	56	87	50	57	36

Tabell 5 viser virkningen av de ulike gjødseltypene i middel for treårsperioden 1990-1992, og mengdene av ammonium-N som er tilført i middel for årene.

Tabell 5. Virkning av storfe- og grisegjødseltyper til eng. Flytende fraksjoner etter separering og drenering, gylle, våtkompostert og ubehandlet bløtgjødsel. Middel for tre felt i 3 år. Tørrstoffavling og tilført  $\text{NH}_4\text{-N}$ , kg daa<sup>-1</sup>

Table 5. Effect of manure types on grass yield. Liquid fractions of separate and gravity-drained liquid manure, liquid manure diluted, wet composted and untreated manure. Mean of three experiments and three years. DM crop yield and applied  $\text{NH}_4\text{-N}$ , kg daa<sup>-1</sup>

	Avling Crop yield		Sum Sum	Tilført $\text{NH}_4\text{-N}$ Applied $\text{NH}_4\text{-N}$
	1. sl. 1st cut	2. sl. 2nd cut		
Ugjødset Control	399	246	689	-
<u>Storfegjødsel</u> Cattle manure				
Separert Separated	517	354	920	13,4
Drenert Gravity-drained	534	400	998	20,5
Våtkompostert Wet composted	475	312	835	7,8
Vassblandet Liquid manure, diluted	509	353	915	13,7
Ubehandlet Untreated	457	332	840	15,2
<u>Grisegjødsel</u> Pig manure				
Separert Separated	517	361	922	14,7
Drenert Gravity-drained	510	333	856	10,5
Vassblandet Liquid manure, diluted	521	406	982	16,9
Ubehandlet Untreated	516	379	954	16,1
<u>Fullgjødset</u> NPK fertilizer				
NPK 1 (14 kg N/daa)	565	396	1018	14,0
NPK 2 (21 kg N/daa)	578	428	1071	21,0
LSD <sub>5%</sub>	35	26	49	-

Resultatene varierer noe fra felt til felt. Dette kan i noen tilfelle forklares ut fra ulike nedbørsforhold, men variasjonen kan også ha andre årsaker som ikke så lett kan forklares. Et generelt trekk er at det i alle forsøksårene har vært lange tørkeperioder i veksttiden. Virkningen av tørkeperiodene på effekten av gjødsla har variert, avhengig av varighet og når de inntraff.

I 1990 ble gjødsla spredd i slutten av april på alle tre feltene. Det kom noe nedbør straks etter spredning av gjødsla, men mai var svært nedbørfattig flere steder på Sør-Østlandet, med bare 12 mm i Ås. Nedbørforholdene ble adskillig gunstigere senere på

sommeren, og det ble relativt store avlinger.

Mengdene av  $\text{NH}_4\text{-N}$  tilført i gjødsel ved begge spredetidspunkter var stort sett ganske like på de ulike forsøksledd. Et unntak fra dette var våtkompostert storfegjødsel, som mistet mesteparten av det lettlosløse nitrogenet under komposteringsprosessen.

I forhold til tilført mengde  $\text{NH}_4\text{-N}$  har separert og drenert gjødsel av storfe og gris, i hovedsak gitt samme resultat ved første høsting. Storfegylle ga best resultat, mens bløtgjødsel og gylle fra gris lå på linje med de flytende fraksjonene fra separert og drenert gjødsel.

Bløtgjødsel fra storfe ga betydelig mindre avling enn de øvrige gjødseltypene ved første høsting, noe som kan skyldes større  $\text{NH}_3$ -tap og/eller skade på plantedekket ved tildekking med gjødselrester. Virkningen av nitrogen i husdyrgjødseltypene (unntatt våtkompostert storfegjødsel) utgjorde i middel ca. 50% av virkningen av nitrogen i gjødsel.

Virkningen av bløtgjødsel fra storfe var atskillig bedre ved andre høsting enn ved første, men lå fortsatt under de fleste andre typene. Virkningen av grisejødsel var stort sett litt bedre enn av tilsvarende typer av storfegjødsel. Bløtgjødsel og gylle fra gris ga relativt sett de største avlingene ved andre høsting, et resultat som i hovedsak skyldes utslagene på ett av feltene. Virkningen av husdyrgjødsel var bedre ved andre enn ved første høsting, noe som delvis skyldes ettervirkning av vårgjødslinga. På to av de tre feltene var det kløverfattig eng, mens det på det tredje feltet var et betydelig innslag av kløver. Her var det særlig små utslag for husdyrgjødsel ved andre høsting.

Svært lite nedbør i første halvdel av mai førte til små utslag for gjødsling ved første høsting i 1991. Særlig hadde bløtgjødsel liten virkning. Tilført mengde  $\text{NH}_4\text{-N}$  varierte noe mellom enkelte gjødseltyper, og mengdene av drenert grisejødsel ble ved en feil altfor små ved begge gjødslinger. Virkningen i middel for alle husdyrgjødseltypene ved første gjødsling utgjorde ca. 40% av fullgjødselvirksomhet, som viste tendens til avlingsnedgang ved økning i gjødselmengden tilsvarende mineralgjødsel fra 8 til 12 kg N.

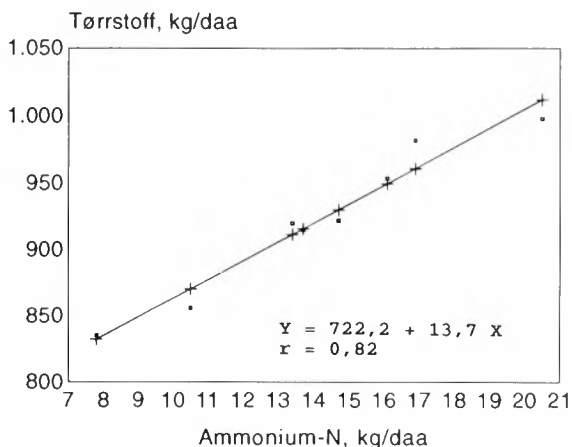
Gunstige nedbørforhold senere i veksttiden resulterte i akseptable meravlinger etter andre gjødsling. I middel var det omtrent like stor effekt av husdyrgjødsel som av gjødsel. Dette skyldes nok dels en større ettervirkning av husdyrgjødsel. Bløtgjødsel fra storfe lå også her etter de andre gjødseltypene i virkning.

Totalt sett viste resultatene dette året litt større effekt av separerte og drenerte flytende fraksjoner enn av gylle og våtkompostert bløtgjødsel fra storfe. Når det gjelder grisejødsel, er sammenligningen vanskeligere på grunn av mer varierende N-mengder, men totalt sett er det en tendens til at bløtgjødsel har hatt noe mindre virkning enn de andre grisejødseltypene. Forskjellen er likevel mindre enn når det gjelder tilsvarende gjødseltyper fra storfe.

På grunn av stor variasjon i  $\text{NH}_4\text{-N}$  i enkelte gjødseltyper fra ett år til til det neste, ble det i 1992 betydelig forskjell i tilførte N-mengder mellom de enkelte gjødseltypene. Dette vanskeliggjør sammenligningen når det gjelder virkningen av ulike gjødsel. Gjødsel ble spredd i første halvdel av mai, og nedbørforholdene den nærmeste tiden etter spredning var noe ulike for de tre feltene. I ett tilfelle kom det svært lite nedbør i den aktuelle perioden. Juni var svært nedbørfattig på Sør-Østlandet dette året, og utslaget for gjødsling ble derfor relativt lite. Ved andre høsting var det forholdsvis små avlinger og utslag for gjødsling på to av feltene, sannsynligvis mest på grunn av for dårlig vanntilgang. På det tredje feltet, som hadde et betydelig innhold av kløver, var det store avlinger ved begge høstingene.



En vurdering av resultatene ut fra årsavlingene i 1992 tyder på at våtkompostert gjødsel har gitt relativt god virkning. Bløtgjødsel fra storfe hadde dårligst virkning. Bløtgjødsel fra gris har f.eks gitt betydelig større avling. Drenert fraksjon fra storfe gjødsel ga størst avling på grunn av ekstra stor N-tilførsel. Avlingsutslagene i forhold til mengden av tilført  $\text{NH}_4\text{-N}$  viser at virkningen av storfe gjødsel står noe tilbake for Fullgjødselvirkningen.



Figur 1. Virkning av  $\text{NH}_4\text{-N}$  i ulike bløtgjødselstyper på avlingen av grastørrstoff. Middell for tre felter i tre år  
 Figure 1. Effect on grass DM yield of  $\text{NH}_4\text{-N}$  in various liquid manure types. Mean of three experiments and three years

Av figur 1 går det fram at det er god korrelasjon mellom  $\text{NH}_4\text{-N}$  tilførselen med de ulike husdyrgjødselstypene og avling av grastørrstoff ( $Y=722,2 + 13,7 X$ ,  $r = 0,82$ ). Flytfraksjonene av separert og drenert gjødsel og gylle har stort sett virket likt. Ubehandlet bløtgjødsel er noe dårligere både ved vårgjødsling og etter 1. slått. Dette kan henge sammen med et større ammoniakktap etter spredning og/eller negativ virkning som følge av skade på plantebestanden. Bløtgjødsel fra gris har derimot like god virkning som de tyntflytende fraksjonene av samme gjødsel. Grise gjødsel var mer tyntflytende enn tilsvarende storfe gjødsel, og dette kan ha bidratt til forskjellen i virkning. Ved gjødsling etter 1. slått ga forøvrig alle typer grise gjødsel like god virkning som storfe gjødsel.

### Fastfraksjoner

Forsøkene med fastfraksjoner omfatter fem felter i korn, to i raigras, ett i förmargkål og ett i förraps. For virkningen av fastgjødsel er det viktig at den molde ned snarest mulig etter spredning, og at jorda er fuktig. I alle forsøksårene var det perioder med tørke, og dette førte til tildels variable resultater. Tabell 6 viser en oversikt over resultatene i korn og fôrvekster.

Avlingene viser heller dårlig sammenheng med mengden av tilført total-N, men for korn er det relativt god sammenheng mellom avling og tilført  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Separert gjødsel fra begge dyreslag viser her litt mindre virkning enn bløtgjødsel og drenert gjødsel. Dette kan muligens bero på ulikt innhold av strø i gjødsel. Husdyrgjødsel har hatt god virkning i forhold til mineralgjødsel om en sammenligner ut fra innholdet av  $\text{NH}_4\text{-N}$  i husdyrgjødsel. I forhold til innholdet av total-N, har derimot virkningen av husdyrgjødsel vært langt svakere.

120 Ulike husdyrgjødselslag og -fraksjoner til eng, korn og grønnfôrvekster

Tabell 6. Virkning av storfe- og grisegjødseltyper til korn. Faste fraksjoner etter separering og drenering, talle og ubehandlet bløtgjødsel. Middel for tre felt i 1990, 1 felt i 1991 og 1 felt i 1992. Korn, kg daa<sup>1</sup>

Table 6. Effect of manure types on grain yields. Solid fractions of separated and gravity-drained liquid manure, manure/straw beddings and untreated liquid manure. Mean of three experiments in 1990, one experiment in 1991 and one experiment in 1992. Grain yields, kg daa<sup>1</sup>

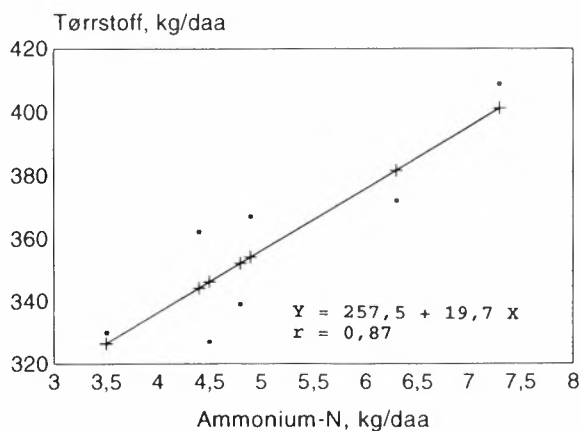
	1990 Korn <i>Grain</i>	1991 Korn <i>Grain</i>	1992 Korn <i>Grain</i>	Middel Korn <i>Grain</i>	Tilført NH <sub>3</sub> N <i>Applied NH<sub>3</sub>N</i>
Ugjødset <i>Control</i>	370	212	190	302	-
<u>Storfegjødsel</u> <i>Cattle manure</i>					
Separert <i>Separated</i>	385	248	233	327	4,5
Drenert <i>Gravity-drained</i>	440	257	231	362	4,4
Talle <i>Manure/straw beddings</i>	404	275	163	330	3,5
Ubehandlet <i>Untreated</i>	445	259	241	367	4,9
<u>Grisegjødsel</u> <i>Pig manure</i>					
Separert <i>Separated</i>	398	294	210	339	4,8
Drenert <i>Gravity-drained</i>	485	337	254	409	7,3
Ubehandlet <i>Untreated</i>	459	283	199	372	6,3
<u>Fullgjødset</u> (7,5 kg N/daa) <i>NPK fertilizer</i>	518	334	248	429	7,5
LSD <sub>5%</sub>	27	85	58	22	

Talle og separert fast gjødset har gitt relativt liten effekt. I talle har nitrogenet i stor grad blitt bundet i strøet (høyt C:N-forhold). Det samme ser ut til å ha vært tilfelle i den faste delen av separert gjødset. Her er det brukt mye sagflis som strø, og dette kan da forklare den dårlige virkningen. Ved dyrking av enkelte vekster med lengre veksttid, ville forskjellen i virkning mellom de ulike gjødsettypene muligens bli mindre, som følge av ettervirkning i påfølgende vekstsesonger.

Tabell 7. Virkning av storfe- og grise gjødselstyper til grønnfôrvekster. Faste fraksjoner etter separering og drenering, talle og ubehandlet bløtgjødsel. Tørrstoff, kg daa<sup>1</sup>

Table 7. Effect of manure types on yields of fodder rape and Marrow stem kale. Solid fractions of separated and gravity-drained liquid manure, manure/straw beddings and untreated liquid manure. Crop DM yield, kg daa<sup>1</sup>

	1991		1992		Middel Mean	Tilført	
	Fôrraps Fodder rape	Raigras Ryegrass 1. + 2. sl.	Fôrmargkål Marrow stem kale	Raigras Mean 1. + 2. + 3. sl.		Total-N Applied Total-N	NH <sub>4</sub> -N NH <sub>4</sub> -N
Ugjødset Control	323	308	517	481	407	-	-
<u>Storfe gjødsel</u> Cattle manure							
Separert Separated	513	368	836	634	588	22,7	7,6
Drenert Gravity-drained	478	357	841	742	605	31,9	7,9
Talle Manure/straw beddings	455	342	542	586	481	26,3	1,0
Ubehandlet Untreated	575	399	708	749	608	15,6	8,8
<u>Grise gjødsel</u> Pig manure							
Separert Separated	631	416	739	716	626	32,9	8,9
Drenert Gravity-drained	456	481	926	806	667	64,2	16,0
Ubehandlet Untreated	769	531	911	809	755	27,2	14,1
<u>Fullgjødset</u> (15 kg N/daa) NPK fertilizer	607	462	928	835	708	15,0	15,0
LSD <sub>5%</sub>	139	52	369	75			

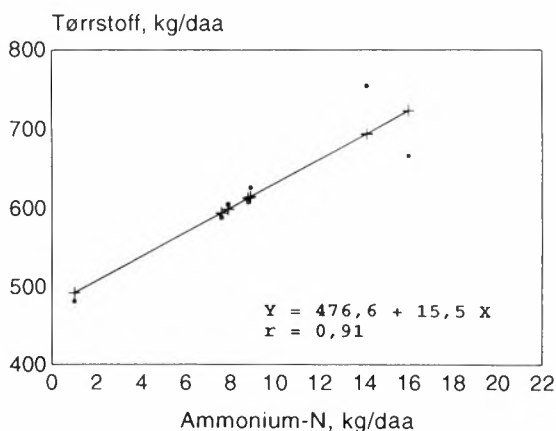


Figur 2. Virkningen av NH<sub>4</sub>-N i ulike husdyrgjødselstyper på kornavlingene. Middel for tre forsøksfelter 1990-1992

Figure 2. Effect of NH<sub>4</sub>-N in various manure types on grain yields. Mean of three experiments 1990-1992

Figur 3. Virkningen av  $\text{NH}_4\text{-N}$  i ulike husdyrgjødselstyper på tørrstoffavling av grønnfôrvekster. Middell for sju høstinger 1991-1992

Figure 3. Effect of  $\text{NH}_4\text{-N}$  in various manure types on yields of fodder rape and Marrow stem kale. Mean of seven harvestings 1991-1992.



## SAMMENDRAG

I regi av NLHs husdyrgjødselprogram ble det i årene 1990 - 1992 gjennomført 18 ettårige markforsøk med ulike husdyrgjødselslag og -fraksjoner. Formålet var å undersøke hvorledes ulik behandling av husdyrgjødsel påvirker gjødseleffekten til ulike vekster. Til eng ble det benyttet flytende husdyrgjødselstyper og til åpen-åkervekster faste gjødselstyper.

Flytende fraksjoner av mekanisk separert og drenert gjødsel hadde jevnt over bedre virkning enn vanlig bløtgjødsel. Våtkompostert storfegjødsel hadde dårlig virkning, da mye ammoniakk gikk tapt under komposteringsprosessen.

Fastgjødsel og fastgjødselfraksjonene etter separering og drenering viste god virkning sammenlignet med mineralgjødsel, beregnet ut fra mengde  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  tilført.

Sammenhengen mellom tilført  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  med de ulike gjødseltypene og tørrstoffavling var meget god for både faste og flytende gjødselfraksjoner.

Det ble ikke påvist sikre forskjeller i virkningen av gjødsel fra storfe og gris i dette materialet.

## LITTERATUR

Bærug, R. 1964. Handelsgjødsel og husdyrgjødsel til poteter. Forskning og forsøk i landbruket 15: 125-134.

Fjellidal, E., O.J. Skjelhaugen & J. Fjeld 1993. Behandlingsmåtar for husdyrgjødsel. I Tveitnes, S., red. Husdyrgjødsel, kapittel 6.

Hovde, A. 1972. Forsøk med stigande mengder husdyrgjødsel til attlegg 1966-1971. Forsking og forsøk i landbruket 23: 203-217.

Lyngstad, I. 1972. Forsøk med bløtgjødsel og kloakkslam. Rådet for jordbruksforskning. Informasjonsmøte. Fortrykk: 16-20.

Morken, J. 1992. Ammoniakktaut etter tilføring av husdyrgjødsel i eng. Innvirkning av tilføringsteknikk og gjødseltype. Norsk landbruksforskning 6: 315-330.

Myhr, K. 1979. Forsøk med store mengder gylle til eng. Forskning og forsøk i landbruket 30: 416-431.

Myhr, K. 1984. Verknad av gylle og jordpakking på infiltrasjon av vatn i dyrka jord. Forskning og forsøk i landbruket, 35: 185-192.

Myhr, K., Å. Håland & L. Nesheim 1990. Verknad av våtkompostert og ubehandla blautgjødsel, og av jordpakking, på infiltrasjonen av vatn i dyrka jord. Norsk landbruksforskning 4: 161-172.

Næss, O. & K. Myhr 1976. Gylle til eng på Vestlandet. Forskning og forsøk i landbruket 27: 145-159.

Tveitnes, S. 1973. Bruk av husdyrgjødsel i norske markforsøk. Institutt for jordkultur, NLH, Særtrykk nr. 121: 1-7.

Tveitnes, S. 1979. Store mengder husdyrgjødsel pr. arealeining til grønnfôrvekstar og eng. Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole 58: 1-28.

Tveitnes S. & Å. Håland 1989. Gjødselverknaden av våtkompostert og ubehandla blautgjødsel. Norsk landbruksforskning 3: 211-216.

Tveitnes, S. & I. Lyngstad 1991. Bruk av husdyrgjødsel, spredetid, -måte og -mengder under norske forhold. NJF Utredning/Rapport nr. 74, 43-49.

Tveitnes, S. & O. Tjernshaugen, 1984. Treatment of liquid manure and the effects of treated manure on agricultural crops. Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole 62: 1-21.

Uhlen, G. 1956. Noen langvarige gjødslingsforsøk på Østlandet. Forskning og forsøk i landbruket 7: 34-79.

Aase, K. 1981. Store mengder husdyrgjødsel til grønnfôrnepe og eng. Forskning og forsøk i landbruket 32: 65-73.

# Avrenning, erosjon og stofftap ved ulike dyrkingssystem og jordarter i Akershus/Østfold

## *Runoff, erosion and nutrient losses under different cultivation systems and soil types in Akershus/Østfold.*

HELGE LUNDEKVAM

Institutt for jord- og vassfag, NLH, Boks 5028, 1432 Ås

*Agricultural university of Norway, Department of soil and water sciences, Box 5028, N-1432 Ås, Norway*

Den såkalla Nordsjøplanen går ut på å redusere N- og P-tilførslene til Nordsjøen med ca 50 % innan 1995. For å nå det målet må både punktkjelder og arealtap til vassdrag reduserast. Det er turvande med ei kvantifisering av den aktuelle storleiken av ulike arealtap ved ulike driftsformer, slik at tap til Nordsjøen og verknaden av ulike tiltak kan reknast ut.

Arealropa kan vere jordpartiklar som inneheld mineralstoff og organisk materiale og som held næringsstoff som N og P adsorberte eller i bunden form. Dessutan tapest løyst stoff, som N i nitratform. N og P verkar eutrofierande (har gjødselverknad på algar og andre vassplanter), og jordpartiklar grumsar vatnet.

Tapa skjer vesentleg ved yte- og grøfteavrenning, der partiklar og fosfor men òg noko N fylgjer ytevatnet, og mest N men òg ei variabel mengde P fylgjer grøftevatnet.

Det er etter dette viktig å få tal for yte- og grøfteavrenninga og innhald i desse vassstypene.

Erosjonsformer og -storleik må kvantifiserast ved ulik drift og ulike jordarter.

I denne artikkelen vil ein gå inn på yteavrenning og erosjon målt ved ei rad ulike dyrkingssystem på 3 jordtypar. Dessutan vil ein gje tal for P og N-tap med ytevatnet. Ein del stader har òg grøfteavrenninga vore målt slik at totaltap kan gjevast. Resultata drøftast i samanheng med vær, jord, terreng og driftstilhøve.

Erosjonen kan delast i tynnsjikt- og småfureerosjon til saman kalla flateerosjon. Denne erosjonstypen vert målt på mindre ruter, hellingslengder 21-70 m. Grovfureerosjon dannast når mykje ytevatn samlast i større felt, gjerne i små dalsøkk. Summen av flate og grovfureerosjon, og grovfureerosjonen åleine har ein søkt målt i eit småfelt (27 daa).

### MATERIALE OG METODAR.

Målingane vart utførde i 5 ruteforsøk (feltlysimeter) eller i 2 småfelt (nedbørfelt med topografisk avgrensing under normal drift). Ruteforsøka hadde til saman 38 ruter og 18 ulike forsøkksspørsmål.

I alle felt vart målt yteavrenning, i to rutefelt og båe småfelta vart òg målt grøfteavrenning.

Avrenninga vart i rutefelta målt med vippekar. I småfelta nytta ein limnigraf og trekantoverlaup.

Vassprøvetakinga var volumproporsjonal ved at litt vatn frå annakvart vipp gjekk gjennom ei dyse og ein slange til ein oppsamlingsdunk. Også småfelta hadde vippekar for prøvetakingsføremål, ved at noko vatn gjekk gjennom eit smalt V-overlaup og gjennom vippekar.

Vassprøvene vart analyserte for suspendert tørrstoff, totalfosfor og totalnitrogen etter norsk standard.

Med basis i vassmengder og konsentrasjonar i vatnet vart stofftapa utrekna.

Grovfureerosjonen (sjå innleiinga) vart utrekna ved direkte måling av tverrsnitt og lengder av grovfurene.

Gjødsla til rutefelta var gjennomgåande 10 kg N/daa i form av fullgjødsel 21-4-10 og det vart dyrka vårkorn (bygg og havre). Syverudfeltet (sjå nedanfor) fekk berre 8,5 kg N i form av 21-4-10 i 1992.

Det vart òg utførde kjemiske og fysiske jordanalyser, og det vart målt avling.

Forsøksspørsmåla var oftast ulik jordarbeiding, men òg ulike hellingslengder, ulike jordarter, ulik dreneringsintensitet, tilsetjing av slam eller bark, med eller utan halm, gras kontra korndyrking var med. Fleire forsøksspørsmål vart berre prøvde på 1-2 felt, for di det praktisk, teknisk og økonomisk ikkje var mogleg å lage fleire felt med komplette forsøksplaner.

Nedanfor fylgjer nærare opplysningar om dei ulike felta:

#### *Rutefelt*

- 1) Bjørnebekk, Ås. Starta i 1989. Jord: siltrik mellomleire, planert i 1979. Fall 12%, hellingslengde 21 m. Rutestorleik 168 m<sup>2</sup>, 4 dyrkingssystem: Tidleg og sein haustpløying, tidleg haustharving, vårpløying. Alle ruter vart vårharva før såing. Haustkorn vert prøvd frå og med hausten 1993. Berre ytevatn vert målt. To gjentak.
- 2) Syverud, Ås har same klima som Bjørnebekk, men ei anna jordart, uplanert lettleire med høgare moldinnhald. Bjørnebekk og Syverud kan difor samanliknast med omsyn på jordart. Starta 1990. Fall 13-16%, hellingslengde 30 m, rutestorleik 210 m<sup>2</sup>. Både yte- og grøftevatn vert målt. Forsøksspørsmål: tidleg haustpløying, vårpløying, båe med eller utan halmfjerning om hausten. To gjentak.
- 3) Askim i Østfold. Starta 1986. Jord: som Bjørnebekk, planert og grøfta i 1986. Fall: 12 %, hellingslengder: 24 og 44 m, rutestorleikar: 147 og 267 m<sup>2</sup>. Både yte- og grøftevatn vert målt. Forsøksspørsmål: haustpløying til normal tid, berre vårharving, vårharving kombinert med bark tilført ved anlegg, 2 grøfteavstandar (4 og 8 m), og 2 hellingslengder. 1 eller 2 gjentak.
- 4) Øsaker ved Sarpsborg. Starta 1989, men planert og anlagt fyrste gong i 1980. Jord: stiv leire. Fall: 12%, Hellingslengde: 22 m, Rutestorleik: 165 m<sup>2</sup>. Forsøksspørsmål: Stubbharving og normal haustpløying, sein haustpløying, tidleg haustharving, direkte-såing vår. Haustkorn vert prøvd frå og med hausten 1993. To gjentak.

- 5) Hellerud, Akershus. Anlagt 1991 i samarbeid med Selskapet for Norges Vel. Jord: siltrik mellomleire, planert ca 1975. Fall: ca 10%, hellingslengder: 30 og 70 m, rutenleikar: 180, 720, 840 m<sup>2</sup>. Forsøks spørsmål: Normal haustpløying på langs med 30 eller 70 m hellingslengder, tverspløying haust, berre vårharving, vårharving kombinert med kloakkslam (20 tonn tørrstoff/ha ved anlegg), gras. 1 eller 2 gjentak.

#### *Småfelt*

- 6) Holt, Ullensaker, Akershus, 27 daa. Målingar frå 1984. Terreng: jamt hellande øvre del, relativt smal dalsøkkform i nedre del. Fall ca 8%. Hellingslengde ca 300 m. Jord: siltrik mellomleire, planert og grøfta 1974. Drift: vårkorn, stubbharving og normal haustpløying + vårharving. Pløyeretning: Noko på skrå i høve til fallet. Hausten 1990 vart søkkt ikkje pløygde for å redusere grovfureerosjonen. Hausten 1992 vart sett ned kum i søkkt for å redusere hellingslengda samstundes som søkka ikkje vart pløygde. Gjødsling: ca 12 kg N/daa som 21-4-10. Føremålet er å måle avrenning og stofftap ved normal drift. Både yte- og grøftevatn vert målt.
- 7) Enerstujordet, Ås, 90 daa. Målingar frå 1984. Fall ca. 5%, Terreng: brei søkkform. Jord: morene, lettleire. Drift: åker på ein halvdel, veksling mellom eng og åker på den andre. Både yte- og grøftevatn vert målt. Berre hydrologiske data vert viste frå dette feltet.

## RESULTAT

### **Hydrologiske data**

Nokre hydrologiske data er gjevne i tabell 1 og 2. Nedbøren i Ås 1984-92 var 835 mm/år, 50 mm over normalnedbøren 1961-90 på 785 mm/år som atter var nøyaktig lik normalen 1931-60. Normalnedbøren i Askimfeltet var om lag som for Ås, medan han for Holt var rundt 100 mm lågare pr år. På Øsaker (Kalnes) var normalnedbøren 1931-60 801 mm/år og på Hellerud 81 mm/år.

Fordelinga over året i medel for 1984-92 avveik stort sett lite frå normalen, men ein merkar seg høg augustnedbør.

Det var store skilnader mellom åra. 1984-88 hadde ein snøvintrar med smelteperiode mars/april, men med tele i 1984-86 og lite tele i 1987 og 88. Det forklarar den store yteavrenninga 1984-86 på Holt og Enerstujordet.

Åra 1987 og 88 hadde 25% større nedbør enn normalt, men det meste av avrenninga kom gjennom grøftene. Uvanleg kraftig nedbør, 61 mm 16. oktober 1987 og 86 mm 22. august 1988, førde likevel til nokså stor yteavrenning også på Enerstujordet. Enerstujordet gjev til vanleg lite eller ikkje yteavrenning i frostfri periode. Maksimal avrenningsintensitet var i baa desse tilfella oppe i ca 15 l/sek/ha i dette 90 daa store feltet.

1989 hadde minst yteavrenning av alle åra, for di det var lite tele og heller ingen høge nedbørintensitetar.

Åra 1990-92 var vintrane relativt milde men med fleire kuldeperiodar. Mykje av nedbøren kom som regn til dels på tela bakke. Sjølv om telen ikkje gjekk særleg djupt, var



det nok til å skape stor yteavrenning. Tilhøva var verst i 1990 med 94 og 138 mm nedbør høvesvis for januar og februar, langt over normalen.

Tabell 1. Yteavrenning (mm/år) i ulike felt og år og nokon handsamingar: HPT er haustpløying tidleg, HPS er haustpløying seint, HPN er haustpløying normalt, VP er vårpløying, VH er vårharving, HH er haustharving. For småfelt Enerstujordet, er både yte- og grøfteavrenning gjeven

Table 1. Surface runoff (mm/year) for different experimental sites and years for some treatments: HPT is plowing autumn early, HPL is plowing autumn late, HPN is plowing autumn normal time, VP er spring plowing, VH is harrowing spring, HH is harrowing autumn. For minicatchment Enerstujordet, both surface- and drain runoff are given

Felt Site	Handsaming Treatment	Ruteforsøk Plot trials							
		1987	1988	År Year		1991	1992		
Askim	VH	239	397	160	241	228	125		
" "	HPN	244	419	203	300	263	228		
Bjørneb.	VP				312	221	144		
" "	HPT				348	260	172		
" "	HPS				387	292	285		
" "	HH				330	252	166		
Syverud	VP					176	86		
" "	HPT					59	30		
Felt Site	Hands Treat	Småfelt Minicatchments							
		1984/85	1986	1987	År Year		1990	1991	1992
Holt	HPN	136	135	73	77	20	191	157	100
Enerstujordet, Ås									
Ytevatn, Surface		160	187	32	55	17	74	83	31
Grøftevatn, Drain		378	312	675	670	369	412	364	444
Nedbør, Ås									
Precipitation		834	709	977	986	741	890	745	802

Spesielt for desse åra var at yteavrenninga for det meste føregjekk om vinteren og var avslutta 1-2 månader før normalt. Desse åra hadde ein tilnærma samanhengande lågvassperiode april-september, minst 2 månader lenger enn normalt. Dette har medført betra sedimentasjonstilhøve og dermed moglege lågare partikkelkonsentrasjonar i sjøar i låglandsvassdrag.

Vedrørande yteavrenninga var dei planerte felta på siltrik mellomleire, Bjørnebekk og Askim, nokså like, men desse felta låg betydeleg over den uplanerte lettleira på Syverud. Det var òg skilnader mellom jordarbeidingane, og desse skilnadene varierte mellom jordtypane, sjå tabell 1 og samanlikn Askim/Bjørnebekk med Syverud.

I Askimfeltet var yteavrenninga mindre ved vårharving enn ved haustpløying, og skilnaden hadde aukande tendens med åra.

Bjørnebekk gav òg noko lågare yteavrenning ved vårpløying enn haustpløying.

Tabell 2. Månadleg yte- og grøfteavrenning for Enerstujordet i Ås og månadsnedbør for Ås i medel for åra 1984-92

Table 2. Monthly surface and drain water runoff for Enerstujordet, Ås and monthly precipitation for Ås for the years 1984-92

Vasstype Water type	Månad Month											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
						mm/mnd		mm/month				
Yte surface	13	6	2	35	0	0	0	2	1	3	1	7
Grøft drain	25	38	34	82	17	12	9	28	25	58	74	42
Total	38	44	55	117	17	12	9	30	26	61	75	49
Nedbør, Ås 1984-92. Precipitation, Ås 1984-92.												
	56	44	63	44	34	73	82	118	74	102	86	58
Normalnedbør, Ås 1961-90. Normal precipitation, Ås 1961-90.												
	49	35	48	39	60	68	81	83	90	100	79	53

Utslaga var heilt omsnudde på den uplanerte lettleira på Syverud, der haustpløying gav minst ytevatn. Dette er i samsvar med andre målingar på uplanert jord: Børresen og Uhlen (1991), Eltun og Hoel (1993), Oskarsen (1992).

Sein haustpløying gav meir ytevatn enn tidleg haustpløying på Bjørnebekk for di tilhøva ved pløyinga då var meir klinete med dårleg struktur som resultat.

På Enerstujordet føregjekk yteavrenninga vesentleg ved snøsmelting eller regn på tela bakke vinter/vår. Men sporadisk avrenning førekom ved kraftig nedbør elles i året. Liknande tilhøve hadde ein på Syverud.

Dei planerte felta viste same hovudtendens, men i desse felta kunne det òg vere betydeleg avrenning om hausten før frost og i nokre høve om sommaren. Infiltrasjonsevna på planert jord måtte i periodar vere ned mot 1-2 mm/time for å forklare dette.

Yteavrenninga i frostfri periode førekom oftast under metta tilhøve. Unntaksvis førekom Hortonsk yteavrenning dvs. at nedbørintensiteten oversteig infiltrasjonsfarten sjølv om jorda ikkje var metta. Planert jord var mest utsett for dette.

Til samanlikning med dei funne tala for yteavrenning nemnast at Øyen og Oskarsen (1992) målte 60 mm/år frå 3 småfelt på Jæren 1990/91, at Eltun og Hoel (1993) målte 37 mm/år ved haustpløying og 83 mm/år ved vårharving på Apelsvoll for 1990/92 og at Oskarsen (1992) målte 17 mm/år ved haustpløying og 47 mm/år ved vårpløying på Skjetlein for 1990/92 og 83 mm/år på Kvithamar for 1990/92. Alle dei nemde tala er frå uplanert jord.

Dette viser ein stor variasjon i yteavrenning, og at område i Akershus og indre Østfold ligg høgt i så måte. Den planerte leirjorda ser ut til å liggje 2-4 gonger høgare enn uplanert jord ved haustpløying, men berre 30-50% høgare når jorda ikkje vert haustarbeidd.

STOFFTAP, BJØRNEBEKK MED MELLOM- OG INNANÅRSVARIASJON.

Tabell 3. Bjørnebekk 1990-92. Yteavrenning og tap av jord, P og N og konsentrasjonar av desse stoffa  
 Table 3. Bjørnebekk 1990-92. Surface runoff and losses of soil, P and N. Concentrations of soil, P and N

Jordarbeiding Tillage System	Ytevatn Runoff mm	Tap i kg/ha/år Losses kg/ha/year			Konsentrasjonar mg/l Concentrations mg/l		
		Soil	P	N	Soil	P	N
Vårpløying Spring plowing	226	840	1,24	7,2	374	0,55	3,2
Haustrarving Autumn harrowing	260	3400	4,25	8,8	1310	1,63	3,4
Sein haustpløying Plow. late aut.	322	7150	9,02	15,3	2220	2,80	4,8
Tidleg haustpløying Plow. aut. early	249	5500	6,63	11,7	2210	2,66	4,7

På denne planerte leirjorda fekk ein svært stor reduksjon av jord og fosfortap ved vårharving samanlikna med haustpløying. Det meste av dette skuldast eit betre vern mot jorderosjon i den tida då yteavrenninga føregjekk. Slik god verknad av inga jordarbeiding om hausten er òg funnen i Finland, Puustinen (1993). Også haustrarving hadde verknad, men vesentleg ringare enn haustpløying. Men intensiteten av harvinga var viktig. Grunn harving med planterestar på yta var mykje betre enn svart-harving. I USA vert det lagt stor vekt på planterestar i yta, og med "conservation tillage" vert meint at minst 20-30% av yta er dekt med planterestar.

Sein haustpløying gav større tap av jord og fosfor enn tidleg haustpløying. Det skuldast vesentleg større yteavrenning som før nemt.

N-tapa med ytevatnet var små, men tapa var tydeleg større ved haustpløying enn ved haustrarving og vårpløying. Det skuldast at ytevatnet fekk kontakt med eit større jordvolum etter pløying. Av same grunn fekk ein òg auka elektrolyttap (høgare elektrolytisk leiingsevne) etter haustpløying.

Tabell 4. Bjørnebekk, Ås. Stofftapsvariasjon mellom år  
 Table 4. Bjørnebekk, Ås. Variation between years

Handsaming Treatment	1990	Tap i kg/ha/år. Losses in kg/ha/year				
		Jord 1991	Soil 1992	1990	Nitrogen 1991	1992
Vårpløying Plowing spring	1950	240	350	8,5	4,1	8,9
Tidleg haustrarving Harrowing early autumn	7000	1750	1420	9,0	7,0	10,7
Sein haustpløying Plowing late autumn	9200	3500	8700	15,6	10,5	19,8
Tidleg haustpløying Plowing early autumn	8900	5000	2650	11,7	6,8	16,8

130 Avrenning, erosjon og stofftap ved ulike dyrkingssystem og jordarter

I tabellane 4, 5 og 6 har ein prøvd å framstille årsvariasjonar og sesongvariasjonar i stofftap og konsentrasjonar, og kva snødekket hadde å seie. Jordtapa var størst i 1990 og minst i 1992 med unntak av sein haustpløying. Dette kunne i hovudsak forklarast med yteavrenninga og vintertilhøva nemde i hydrologiavsnittet. For sein haustpløying var òg konsentrasjonane høgare i 1992 enn tidlegare år, som kom av sær s våte tilhøve ved pløyinga hausten 1991. Den dårlege jordstrukturen medførde dårlegare plantedekke, og dermed dårlegare jordvern, mindre fordunsting og auka yteavrenning også fylgjande vår, sommar og haust. P-tapa med ytevatnet synte same årsvariasjon som jordtapa, tala er difor ikkje viste. Også N-tapa viste liknande årsvariasjon, tabell 4.

Tabell 5. Bjørnebekk, Ås, 1990-92. Jordkonsentrasjonar og jordtap fordelt på ulike periodar i året og ulike handsamingar. Periodar: 1) fyrste del av vekstsesong, 2) andre del av vekstsesong, 3) stubbåker, 4) mellom fyrste og andre haustpløying, 5) mellom siste haustpløying og vårpløying, 6) mellom vårpløying og såing. Handsamingar: VP er vårpløying, HPT er tidleg haustpløying, HPS er sein haustpløying, HH er haustharving  
 Table 5. Bjørnebekk, Ås, 1990-92. Soil concentrations and soil losses differentiated between periods and treatments. Periods: 1) first part of the growing season, 2) second part of the growing season, 3) after harvesting but before first autumn tilling, 4) after the first autumn tilling but before the late autumn plowing, 5) after late autumn plowing but before spring plowing, 6) after spring plowing but before spring sowing. Treatments: VP is spring plowing, HPT is plowing early autumn, HPS is plowing late autumn, HH is harrowing early autumn

Handsaming Treatment	Jordkonsentrasjonar (g/l) Soil concentration (g/l)				Jordtap (% av årstotal) Soil loss (% of ann. total)			
	HPT	HPS	HH	VP	HPT	HPS	HH	VP
Periode								
1	5,9	4,5	2,7	1,7	2,5	1,4	2,5	0,6
2	3,0	6,2	2,2	2,7	3,9	8,0	3,7	3,6
3	1,7	1,4	0,28	0,60	0,9	1,4	0,1	0,5
4	7,6	0,75	1,9	0,69	18,6	1,9	4,4	3,7
5	1,8	2,2	1,3	0,51	73	83	88	90
6	1,4	3,3	0,88	2,0	0,8	4,6	0,9	1,6

Tabell 6. Bjørnebekk, Ås. Avrenning, jordtap og jordkonsentrasjonar gruppert over snøfaktor og handsamingar. Handsamingane er avkorta som i tabell 5. Snøfaktor er: snø = 0 ikkje snø eller tele, snø = 1 tele og lite eller ikkje snø, snø = 2 rel. djupt snødekke

Table 6. Bjørnebekk, Ås. Runoff, soil losses and soil concentrations grouped according to snow factor and treatments. Treatments are abbreviated as in table 5. The snow factor: Snow = 0 no frost in soil, snow = 1 frost in soil with little or no snow cover, snow = 2 deep snow cover

Handsaming Treatment	Ytevatn (mm) Runoff (mm)			Jordtap (tonn/ha) Soil losses (tons/ha)			Jordkons. (g/l) Soil conc. (g/l)		
	0	1	2	Snøfaktor Snow factor			0	1	2
HPT	52	163	34	2,2	3,3	0,06	4,2	2,0	0,18
HPL	84	204	33	2,0	5,1	0,10	2,4	2,5	0,30
HH	36	187	36	0,84	2,5	0,09	2,3	1,3	0,25
VP	25	165	36	0,11	0,72	0,01	0,45	0,44	0,02

Tabell 5 viser at 70-90% av jordtapa føregjekk etter siste haustpløying og før vårpløying for alle handsamingane. Det var årsaka til den ringe verknaden av sein haustpløying. Men den høge jordkonsentrasjonen for tidleg haustpløying i periode 4, viser at ved tidleg kraftig haustnedbør med yteavrenning, kan tapa ved tidleg haustpløying verte store. Ein slik situasjon førekom i oktober 1987. Altfor tidleg haustpløying er difor risikabelt, men ved for sein arbeiding kan strukturen verte øydelagd.

Konsentrasjonane i ytevatnet var på denne jorda høge i vekstsesonen, og dei var jamtover lågast i stubbåkeren. Etter vårarbeidinga var jorda erosjonsutsett, og det tok tid før plantedekket gav godt nok vern for di tørke ofte medførde ujamn spiring og utvikling. På betre jord vil plantedekket utvikle seg raskare. Liknande innanårsvariasjon i erosjonsrisiko er òg påvist i USA, Wischmeier (1978).

Tabell 6 viser at største avrenning og jordtap føregjekk på tela jord med lite eller ingen snø. Konsentrasjonane var mykje lågare ved avrenning på godt snødekt jord enn ved avrenning ved lite eller ingen snø anten jorda var frosen eller ikkje. Med eit godt snødekke får vatnet for liten fart og for dårleg jordkontakt til å erodere. Kritisk periode er slutten av snøsmeltinga eller ved regn på tela bakke med lite snø. Det har ein hatt dei siste vintrane.

Statistisk analyse av alle Bjørnebekkdata der ein grupperte over faktorane handsaming, år, periode og snøfaktor viste signifikant verknad av alle faktorar for jord- og fosfortap og for jord- og fosforkonsentrasjon. Ved analyse på årsmedeltal vart det signifikant utslag over handsaming og år for fylgjande variable: yteavrenning, tap av jord, -fosfor, -nitrogen og -elektrolyttar og dessutan for konsentrasjonane av dei same stoffa.

## STOFFTAP, SYVERUD OG SAMANLIKNING MED BJØRNEBEKK.

Summariske resultat for dette feltet er gjevne i tabell 7.

Vassbalansen stemmer ikkje heilt, noko som sikkert skuldast at ein ikkje hadde full kontroll med grøftevatnet, noko som er relativt vanleg på grøtfefelt av denne typen. Ein meiner at dette ikkje endrar konklusjonane. Grøfteavrenninga var større ved haustpløying enn vårpløying som fylgje av at yteavrenninga var mindre. Jordtapa var små og berre noko mindre ved vårpløying enn ved haustpløying både for yte- og grøftevatn. Dette var svært ulikt resultatata frå Bjørnebekk som har same klima. Der var jordtapa svært store og ein fekk god verknad av vårpløying i høve til haustpløying. Skilnadene i avrenning mellom dei to felta for dei to handsamingane forklarar noko. Men det var òg mykje mindre konsentrasjonsskilnad mellom vår- og haustpløying på Syverud enn Bjørnebekk.

K-faktoren i den Universelle jordtapslikninga (USLE) (Wischmeier, 1978) var ikkje i stand til å forklare skilnaden i jordtap mellom Syverud og Bjørnebekk. Dette viser at USLE ikkje utan vidare kan brukast i Norge, og den passar sikkert dårlegast på planert jord som ikkje går inn i det materialet likninga byggjer på. Den ulike verknaden av vårpløying mellom dei to felta er heller ikkje i samsvar med USLE, som reknar med lik verknad av eit tiltak uansett jordtype.

Det er litt tidleg å dra endelege kvantitative konklusjonar, då Syverudmålingane berre har gått i to år, og ein har nokon etterverknader av tidlegare grasmark på felta.

Tabell 7. Syverud, Ås, 1991-92. Yte- og grøfteavrenning og tap av jord, P og N gruppert over vårpløying (VP) og tidleg haustpløying (HPT)

Table 7. Syverud, Ås, 1991-92. Surface- and drain water runoff, and losses of soil, P and N grouped over spring plowing (VP) and early autumn plowing (HPT)

Vasstype Water type	Avrenn mm/år Runoff mm/yr		Tap i kg/ha/år Jord Soil		Losses in kg/ha/year			
	VP	HPT	VP	HPT	P		N	
					VP	HPT	VP	HPT
Ytevatn Surface	131	45	75	84	0,370	0,173	4,2	1,5
Grøftevatn Drain	279	321	27	41	0,116	0,135	45,0	53,2
Totalt All water	410	366	102	125	0,486	0,308	49,2	54,9

Jordtapa gjennom grøftene på dette feltet var svært små. Det er gamle grøfter frå før 1960, og filtreringa gjennom jorda er god. Det var likevel noko konsentrasjonsvariasjonar over året, og dessutan oftast noko høgare konsentrasjonar ved stor enn lita vassføring. Konsentrasjonsskilnadene mellom vår- og haustpløying var små.

P-tapa var totalt større ved vår- enn haustpløying på dette feltet, heilt motsett av resultatane frå Bjørnebekk. Det forklarast med den langt større yteavrenninga ved vårpløying på Syverud. Dessutan var andelen løyst fosfor større på Syverud enn Bjørnebekk. Også på Apelsvoll (Eltun og Hoel, 1993) vart funne liknande resultat som på Syverud. P-konsentrasjonane i vatnet var om lag like for vår- og haustpløying på Syverud.

P-tapa frå Syverud var små samanlikna med Bjørnebekk, men likevel langt større enn dei 0,06-0,12 kg/ha/år som reknast som tap frå skog. Ein har altså eutrofiverknad også av Syverudfeltet, og P-tapa ser ut til å vere svært vanskeleg å redusere på dette feltet, medan ein får gode verknader på Bjørnebekk.

N-tapa var relativt store frå dette feltet. Det skuldast nok etterverknad av eng, problem med kveke i 1991 og tørke i 1992 som medførde mindre kornavlingar enn venta på denne jorda.

Vårpløying gav ca 6 kg/ha/år mindre jordtap enn haustpløying. Dette skuldast større avrenning etter haustpløying i 1991, men òg høgare N-konsentrasjonar etter haustpløying i 1992.

Handsaminga med og utan halm har berre gått eit år. Det vert berre gjort målingar i ytevatnet. Så langt har ein ikkje funne nokon verknad av denne handsaminga. Det kan skuldast at jorda er lite erosjonsutsett og difor reagerer lite. Dessutan er det funne i USA (Wischmeier, 1978) at verknaden av planterestar aukar mykje ved dekningsgradar opp til ca 30% og vidare auke er liten. På Syverud vart ståande halmstubb ikkje fjerna, slik at dekkinga vart nokså høg sjølv med fjerning av treskehalm. Det kan sjå ut som at det ikkje er naudsynleg å ta vare på all halmen på lite erosjonsutsett jord ut frå erosjonskriteria. På erosjonsutsett jord kan ventast betre verknad, men dette er førebels ikkje granska i Norge. Forsøk med dette vert starta i 1994.

## STOFFTAP, ASKIM MED JORD- OG SLAMANALYSER.

Hovudresultata er viste i tabell 8. Som for Bjørnebekk hadde ein svært stor reduksjon av jord- og P-tap ved inga jordarbeiding om hausten. Tapa var av same storleiksorden som for Bjørnebekk som var venta sidan jord og klima var nokså likt.

Ein har førebels ikkje fått nokon positiv verknad av å redusere grøfteavstanden frå 8 til 4 m, sjølv om ein positiv trend kan anast (data for dette er ikkje viste). Ein kan difor ikkje tilrå tettare grøfting på jord som alt har normal grøfteavstand, derimot er det viktig at grøftetrengande jord vert grøfta. Fremst her er planert, ugrøfta jord.

Tabell 8. Askim 1987-92. Yteavrenning, jord- og P-tap og konsentrasjonar av jord og P i ytevatn. Handsamingar: HPN24 er normal haustpløying med 24 m hellingslengde, HPN44 som HPN24 men 44 m lengde, VH24 er vårharving og 24 m lengde, VHB44 er VH24 + bark ved anlegg og 44 m lengde. "Korr" tyder at jordkonsentrasjonar frå 44 m lengde er omrekna til 24 m ved hjelp av jordtapslikninga

Table 8. Askim 1987-92. Surface runoff, soil and P losses, and concentrations of soil and P in surface water. Treatments: HPN24 = Plowing autumn, slope length 24 m. HPN44 = HPN24 but length 44 m, VH24 = Harrowing spring, length 24, VHB44 = VH24 + bark applied at start and length 44 m. "Korr" means that soil concentrations from 44 m length are corrected to 24 m using the Universal soil loss equation

Handsaming Treatment	Ytevatn Runoff mm/år mm/year	Tap (kg/ha) Losses (kg/ha)		Konsentrasjonar (mg/l) Concentrations (mg/l)		
		Jord Soil	P	Jord Soil	P	Korr
HPN24	275	5074	5712	1848	2080	1848
HPN44	275	9421	10545	3422	3829	2527
VH24	234	747	1068	319	457	319
VHB44	218	1188	2403	545	1103	403

Tapa auka mest lineært med hellingslengda, langt meir enn det som skulle ventast ut frå jordtapslikninga. Det ser ein frå kolonna merka "Korr" der tala frå 24 og 44 m lengde skulle vore like for haustpløying om jordtapslikninga var rett. Årsaka til dette resultatet er mest truleg at fureerosjon i samband med snøsmelting er viktigare i Norge enn i USA.

Konklusjonen er at hellingslengda er særst viktig for erosjonen og fosfortapet. Lengda bør ikkje vere over ca 150 m på erosjonsutsett jord i hellande terreng. I dalsøkk er det viktig at det enten er graskledde vassvegar eller mange nok kummar.

Ut frå tabell 8 kan ein ikkje utan vidare sjå nokon verknad av bark, dette kjem av at bark og hellingslengde verkar samstundes og i motsett retning. Brukar ein hellingslengde-verknaden frå haustpløying og korrigerer den lange barkruta, vert reduksjonen av jordtapet på grunn av bark i medel 10%. Det var ein tydeleg aukande positiv trend, slik at for dei 3 siste åra var verknaden rundt 40%. Verknaden var dårlegare på P-tapet.

Vedrørande skilnader mellom periodar innan år og verknader av snødekke, fekk ein liknande resultat som før vist på Bjørnebekk.

I tabell 9 er grøfteavrenning og yteavrenning i medel for haustpløying og vårharving samanlikna. Tala kan samanliknast med Syverud. Jord- og P-tapa gjennom desse grøftene var høvesvis 60 og 10 gonger større enn for Syverud, medan N-tapa var 60% mindre i Askim.

Tabell 9. Askim 1990-92. Yte- og dreinsvatn og tap med desse vasstypene frå 24 m lange ruter. Vårharving og haustpløying er slått saman for di det ikkje var separat oppsamling av grøftevatn.  
 Table 9. Askim 1990-92. Surface and drain runoff with soil, P and N losses. Data from 24 m plots. Effects of autumn plowing and spring harrowing were mixed, because plowed and harrowed plots were drained by the same drains

Variabel <i>Element considered</i>	Ytevatn <i>Surface water</i>	Grøftevatn <i>Drain water</i>	Total <i>Total</i>
Avrenning (mm/år) <i>Runoff (mm/year)</i>	230	302	532
Jordtap (tonn/ha/år) <i>Soil losses (tons/ha/year)</i>	3,3	2,1	5,4
P-tap (kg/ha/år) <i>P-losses (kg/ha/year)</i>	3,6	2,6	6,2
N-tap (kg/ha/år) <i>N-losses (kg/ha/year)</i>	5,7	17,3	23,0

Skilnad i jordtype og tid sidan grøf팅 må vere årsaka til dei store skilnadene i jord- og P-tap. Lågt moldinnhald på den planerte jorda i Askim var mest truleg årsak til det låge N-tapet samanlikna med Syverud. Avlingsnivået var lågast i Askim og N-gjødselnivået 5 kg/ha/år høgare i Askim enn Syverud.

Det var av interesse å sjå om handsamingane hadde nokon verknad på jordeigenskapane og om erodert materiale avveik frå jorda det var erodert frå. Askimfeltet hadde i 1993 gått i 7 år, slik at det der kunne ventast skilnader. Jordprøver vart uttekne i pløyselaget 0-20 cm, dessutan i 45-65 cm djup. På harva ruter vart matjordlaget delt i to sjikt ved kjemiske analyser. Resultata går fram av tabell 10. Berre 24 m ruter er presenterte. Jordtypen er ei siltrik mellomleire, med noko meir leire og mindre sand i djupaste laget enn i toppsjiktet. Det var ingen skilnad i kornfordeling mellom handsamingane.

Ser ein på kjemiske analyser i matjordlaget ligg Tot-P, Tot-N og Tot-C noko høgare i sjiktet 0-10 enn 10-20cm for vårharving. Tala for 0-10cm er òg noko høgare for vårharving enn for haustpløying 0-20 cm.

Ei slik utvikling var venta for Tot-P, for di gjødsla ved harving vart grunnare innblanda enn ved pløying. Det er ma utrekna av Lundekvam (1990). Vedrørande Tot-N og Tot-C var ei stiging og venta her for di det organiske materialet vart grunnare innblanda.

Slamanalysene etter haustpløying viste noko større leirinnhald og noko auke i Tot-P, Tot-N og Tot-C samanlikna med jorda. Endringane var vesentleg større etter vårharving. Det føregjeikk altså selektiv erosjon, særleg på vårharva ruter. Dei finaste og mest næringsrike partiklane vart anrika i slammet.

Anrikinga har i røynda vore større, for di ein her berre har analysert dei partiklane som har sedimentert, medan mesteparten av partiklane passerte utan å sedimentere. Desse har truleg vore enno finare og meir næringsrike, noko som høvetal P/jord i ytevatnet på godt over 1 promille indikerer.

Høvetalet P/jord i vatnet var 1,12 for haustpløying, 1,43 for vårharving utan bark, og 2,0 med bark, alt rekna som promille. Noko av dette skuldast løyst fosfor i vatnet, men anriking av fosfor i topplaget og selektiv erosjon var òg viktige årsaker til at P-tapet etter vårharving vart redusert mindre enn jordtapet samanlikna med haustpløying.



Avrenning, erosjon og stofftap ved ulike dyrkingssystem og jordarter 135

Tabell 10. Jord- og slamanalyser frå Askimfeltet uttekne 1993. Slammet er det som har sedimentert i slamkar, ikkje alt slam som har passert måleutstyret. VH er vårharving, HPN er haustpløying

Table 10. Soil- and sediment analysis from Askim 1993. Sediment do not represent all particles that left the soil, only the part that sedimented in a small tank that runoff water passed through. VP is harrowing spring, HPN is plowing autumn

Handsaming <i>Treatment</i>	Djup <i>Depth</i>	Jordanalyser <i>Soil analysis</i>								
		Sand <i>Sand</i> %	Silt <i>Silt</i> %	Leire <i>Clay</i> %	pH	P-Al <i>P-Al</i> mg/100g	K-Al <i>K-Al</i> mg/100g	Tot-P <i>Tot-P</i> mg/kg	Tot-N <i>Tot-N</i> %	Tot-C <i>Tot-C</i> %
VH	0-10 cm				6,4	6,4	12,0	751	0,13	1,25
	10-20 cm				7,0	7,6	9,0	713	0,10	0,8
	0-20 cm	11	61	28						
	45-65 cm	5	62	33	7,6	6,5	8,9	752	0,07	0,6
HPN	0-20 cm	11	60	29	6,8	6,5	8,7	715	0,11	1,1
	45-65 cm	6	60	34	7,3	9,7	10,3	736	0,08	0,6
Slamanalyser <i>Sediment analysis</i>										
VH		1	54	45	6,0	7,5	27,0	914	0,24	1,7
HPN		5	63	32	6,6	3,8	14,0	765	0,18	1,4

STOFFTAP, ØSAKER.

Summariske konsentrasjonsdata er gjevne i tabell 11. Data stør opp under det som tidlegare er vist for Bjørnebekk og Askim. Men konsentrasjonane på denne stive leirjorda var ca 2/3, yteavrenninga ca 1/2 og jordtapet difor ca 1/3 av det som vart funne på tilsvarende handsamingar på Bjørnebekk. Verknadene på fosfortapa var noko mindre enn jordtapa, jamfør Bjørnebekk.

Tabell 11. Øsaker 1990-april 1993. Medelkonsentrasjonar av jord i ytevatnet i mg/l og relativt  
Table 11. Øsaker 1990-april 1993. Soil mean concentrations in mg/l and as relative numbers

Handsaming <i>Treatment</i>	Jordkons. (mg/l) <i>Soil Conc. (mg/l)</i>	Rel. kons. <i>Rel. Conc.</i>
Direktesåing vår <i>Direct sowing spring</i>	218	0,14
Sein haustpløying <i>Plowing late autumn</i>	1387	0,88
Tidleg haustharving <i>Harrowing early autumn</i>	1028	0,65
Stubbharving og haustpløying <i>Stubble harrowing and plowing autumn</i>	1576	1,00

## STOFFTAP, HELLERUD

Tabell 12. Hellerud, sum for vintrane 1992 og 1993. Yteavrenning, jordtap, P-tap og N-tap. Hell tyder hellingslengde, Ret er retning der L er langs og T er tvers

Table 12. Hellerud, sums for winters 1992 and 1993. Surface runoff, soil, P and N-losses. Hell means slope length, Ret means tilling direction where L is along and T is across slope

Handsaming Treatment	Hell	Ret	Ytevatn Runoff mm	Tap i kg/ha Losses in kg/ha		
				Jord	Soil	P
Eng Meadow	30m	-	127	73	0,55	2,7
Haustpløying						
Plowing autumn	30m	L	115	2590	3,20	4,4
Som over <i>As</i> above	70m	L	130	6000	6,90	5,0
Som over <i>As</i> above	30m	T	96	960	1,25	4,1
Vårharving						
Harrowing spring	30m	L	144	265	0,90	3,4
Som over med slam						
<i>As</i> above + sludge	30m	L	124	66	0,56	3,5

Feltet har berre gått i to vintrar enno og ein hadde noko problem med avrenningsmålingane fyrste vinteren. Resultata er difor noko usikre, men tendensane er klare nok.

Tverspløying har redusert jord- og P-tap betydeleg. Liknande verknad er registrert i Finland (Puustinen, 1993). I Danmark (Sibbesen et al., 1993) er dessutan vist at tverssådd haustkveite gjev mindre jordtap enn langssådd haustkveite. I USA har tversarbeiding vore praktisert lenge. Det bør leggjast større vekt på tversarbeiding i Norge.

Vårharving har som i Askim redusert tapa mykje, det same har nedkorting av hellingslengda. Tilsetjing av 20 tonn slamtørrstoff/ha i starten har betra verknaden av harvinga slik at tapa vart like låge som frå eng. Dette stør tidlegare målingar (Njøs og Hove, 1986).

På planert jord er innhaldet av organisk materiale lågt, og slammet vil verke relativt best på slik jord. Det organiske materialet har best verknad i topplaget og må ikkje pløyast ned. Slam betrar mest straks strukturen og erosjonsmotstanden til jorda, medan bark (jamfør Askim) verkar seint. Barken må omsetjast før han får humuseigenskapar, og det tek tid.

## STOFFTAP FRÅ SMÅFELT HOLT. GROVFUREEROSJON. JORDANALYSER.

Dette er eit småfelt på 27 daa med ca 8% fall under normal vårkorndyrking (sjå metodeavsnittet). Årlege tapstal for jord, P og N for ulike vasstypar er gjevne i tabell 13. 86 % av jordtapet og 78 % av P-tapet kom gjennom ytevatnet, medan 88 % av N-tapet kom gjennom drensavatnet. Medel årleg jordtap var 3550 kg/ha med variasjon 820 - 8500 kg/ha, medel årleg P-tap var 3,7 kg/ha med variasjon 1,3 - 7,3 kg/ha og medel årleg N-tap 20,7 kg/ha variasjon 11,3 - 38,9 kg/ha.

Tabell 13. Holt 1984-92. Årlege tap av jord, P, og N med yte- og grøftevatn og totalt  
 Table 13. Holt 1984-92. Yearly losses of soil, P, N through surface, drain and total runoff. Ytevatn = surface runoff, grøftevatn = drain water, totalt = totally

Vasstype Water type	År Year								Medel Mean
	84/85	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	
	Jordtap kg/ha/år Soil losses kg/ha/year								
Ytevatn	3400	950	1400	880	120	8400	3130	5840	3058
Grøftevatn	230	290	1200	1200	700	100	370	170	499
Totalt	3630	1240	2600	2080	820	8500	3500	6010	3567
	P-tap kg/ha/år P-losses kg/ha/year								
Ytevatn	2,90	1,00	1,75	1,14	0,20	7,10	3,56	5,34	2,88
Grøftevatn	0,50	0,50	2,00	2,00	1,10	0,20	0,29	0,34	0,83
Totalt	3,40	1,50	3,75	3,14	1,30	7,30	3,85	5,68	3,70
	N-tapkg/ha/år N-losseskg/ha/year								
Ytevatn	2,1	1,2	2,0	1,5	0,8	6,0	2,0	4,7	2,5
Grøftevatn	14,1	18,5	36,9	14,9	15,2	3,3	15,8	30,9	18,2
Totalt	16,2	19,7	38,9	16,4	15,7	11,3	17,8	34,3	20,7

Jord- og P-tapa var store, noko som skuldast erosjonsutsett jord (planert, siltrik mellomleire), lange hellingslengder (ca 300 m) og stubbharving med haustpløying.

Grovfureerosjonen i dalsøkket var viktig i dette feltet og mengdene vart målte i 1990 og 1992. Ein kom til 4,4 og 3,2 tonn/ha/år for dei to åra svarande til ca 50% av totalt jordtap for kvart av dei to åra.

Hausten 1990 vart søkket ikkje pløygd og grovfureerosjonen vinter/vår 1991 var difor mest eliminert. Ut frå yteavrenninga og vinterværet skulle ein i 1991 ha venta eit jordtap om lag som medel av 1990 og 1992. Men jordtapet i 1991 vart berre kring halvdel av dette.

Ein nærare analyse av målingane i 1991 og 1992 viste at i dette feltet tok grovrillerrosjonen til når "nedbørfeltet" ovanfor oversteig ca 0,3 ha. Tapa auka deretter progressivt med arealet illustrert med fylgjande tal: areal 0,5 ha, tap 0,34 tonn; areal 1 ha, tap 1,38 tonn; areal 1,5 ha, tap 3,4 tonn; areal 2 ha, tap 6,3 tonn; areal 3 ha, tap 14,7 tonn. I hellande terreng med mange dalsøkk, så vil grovfureerosjonen utan tvil vere svært viktig. På jord som normalt har liten flateerosjon, vil grovfureerosjonen ofte vere den viktigaste.

Vern av søkka ved graskledde vassveggar eller nok kummar kombinert med inga pløying i søkka vil vere viktige tiltak mot jord- og fosfortap.

Med nedslagsfelt til kummane på 1 ha ved haustpløying, ville ein i dette høvet med 8% fall fått grovfuertap på 1,38 tonn/ha, som er for stort. Arealet burde difor vere mindre enn 1 ha. Ved inga pløying i søkka kan nedbørfelta til kummane sikkert doblast med minst like godt resultat. Det har likevel vist seg at om vassmengdene vert store nok, så skjer vatnet gjennom halmstubben. Kutta halm hadde liten verknad mot grovfureerosjonen for di han flaut vekk med vatnet.

Nitrogentapet på 21 kg/ha/år i høve til gjødslinga på 120 kg N/ha/år var lite i dette feltet samanlikna med den utvaskingskurva som ein finn i (Uhlen, 1988). Etter den kurva burde tapet vore 30 kg N/ha/år. Forklaringa på avviket må vere at den planerte jorda på

Holt hadde lågt innhold av organisk materiale, slik at N-frigjeringa difor var mindre enn på ei normal jord. Det forklarar òg at N-tapet på Holt berre var ca. halvparten av tapet på Syverud for same åra. Dette viser som venta at N-utvaskingskurver må differensierast etter jordart. Det store N-tapet i 1987 skuldast tørke i 1986 og dessutan utvasking av gjødsel-N sommaren 1987. Tapa i 1992 skuldast tørke. Ein hadde fleire døme på at nedbør med avrenning etter vårgjødsling førde til høge N-konsentrasjonar i grøftevatnet. Det viser at ein i periodar hadde såkalla "bypass flow" gjennom jorda.

I tabell 14 har ein vist fysiske/kjemiske analyser av jorda på feltet og av slam som låg att i reguleringsbassenget. Slammet var svært likt matjorda på Holt. Ein burde ha venta ein auke i sandfraksjonen og reduksjon av leirfraksjonen ut frå at sedimentasjonstida til leirpartiklar er lang. Resultata viser at leira i stor mon vart lausriven og transportert som aggregat som sedimenterte like raskt som silt/sand. Årsaka var at på dette store feltet med lange hellingar dominerte grovfure- og fureerosjonen, slik at partikkelseleksjonen vart liten. Resultata frå Holt likna resultata frå Askim ved haustpløying. Seleksjonen i Askim gjorde seg mest gjeldande ved vårharving.

Resultata frå Holt viser at sedimentasjonsbasseng plassert i jordekanten vil kunne halde attende betydelege mengder jord, for di ein stor del av leira må vere i aggregatform. Det forklarar dei etter måten gode verknadene av sedimentasjonsdammar som er funne av Braskerud (1993).

Tabell 14. Holt. Analyser av jord og av slam sedimentert i reguleringsbasseng før trekantoverlauf  
Table 14: Analysis of soil and of particles sedimented in basin before a V-notch weir

Djup Depth	Jordanalyser Soil analysis								
	Sand Sand %	Silt Silt %	Leire Clay %	pH	P-Al mg/100g	K-Al	Tot-P mg/kg	Tot-N %	Tot-C %
0-20 cm	5	67	28	6,6	4,9	9,2	863	0,18	1,5
45-65 cm	2	61	37	6,8	12,0	9,4	885	0,11	0,5
	Slamanalyser Sediment analysis								
	8	65	27	6,7	6,1	10,3	960	0,19	1,75

## KONKLUSJON

Dei relative verknadene av nokre dyrkingssystem på ulike jordarter summerast opp i tabell 15.

For 1990-92 var jordtapa ved haustpløying 120 kg/ha/år på Syverud, 2000 kg/ha/år på Øsaker og 5700 kg/ha/år på Bjørnebekk/Askim. På Syverud var tapet lite og krev ingen tiltak, på den erosjonsutsette jorda var tapet uakseptabelt. Skilnaden i erodibilitet mellom jordtypane var langt større enn det som kan forklarast med K-faktoren i den Universelle jordtapslikninga.

Inga jordarbeiding om hausten samanlikna med haustpløying reduserte jordtapa mykje på erosjonsutsett jord, men hadde liten verknad på lite erosjonsutsett jord. Dette er heller

ikkje i samsvar med jordtapslikninga.

Førebels har det vore liten skilnad på vårharving, vårpløying og direktesåing om våren. Harving og direktesåing tek vare på organisk materiale i topplaget slik at strukturen på sikt vert betre med slik handsaming.

Haustharving verka godt ved grunn harving med mykje planterestar i yta, men verknaden var dårleg ved svartharving. Slam verka raskt ved innharving i topplaget. Erosjonen var då like liten som på eng. Innharva bark betra òg strukturen, men mykje seinare enn slam. Organisk materiale trengst særleg på moldfattig jord med dårleg struktur, td. planert leire. Sein haustpløying frååast.

Tverspløying har førebels redusert erosjonen betydeleg samanlikna med langspløying. Dette er i samsvar med resultat

Tabell 15. Relative verknader av nokre dyrkingssystem på jordtapt på tre jordarter. Relativt tidleg haustpløying er standard. PSIML = planert siltrik mellomleire, PSL er planert stiv leire, UPLL = uplanert lettleire struktur-stabil

Table 15. Relative effects of some cultivation systems on soil losses on three soil types. Relatively early autumn plowing is a standard. PSIML = levelled silt loam, PSL = levelled clay, UPLL = unlevelled loam with high structural stability

Dyrkingssystem Tillage system	Relative jordtap <i>Relative soil losses</i>			
	Bjørnebekk/Askim PSIML	Hellerud PSIML	Øsaker PS	Syverud UPLL
Tidl. haustpløying <i>Plow. aut. early</i>	1,0	1,0	1,0	1,0
Gras <i>Meadow</i>		0,03*		
Vårharving + slam <i>Harr. spring + sludge</i>		0,03*		
Vårharving + bark <i>Harr. spring + bark</i>	0,09			
Berre vårharving <i>Harrowing spring only</i>	0,13	0,11*		
Direktesåing vår <i>Direct sowing spring</i>			0,14	
Vårpløying <i>Plowing spring</i>	0,15			0,8
Tidleg haustharving <i>Harr. autumn and spring</i>	0,6 (0,35-0,8)		0,65	
Tverspløying haust <i>Plowing autumn across</i>		0,4*		
Sein haustpløying <i>Plow autumn late</i>	1,3		0,9	

\* Førebels resultat. \* Preliminary results

frå USA, Finland og Danmark. Tversarbeiding bør nyttast meir i Norge, td bør haustkorn såast på tvers av fallet.

Erosjonen pr arealeining aukar bortimot proporsjonalt med hellingslengda. I små dalsøkk kan grovfureerosjonen utgjere rundt 50 % av totalt jordtap. Nedkorting av

hellingslengder og kontroll med ytevatnet er difor svært viktig. Verknaden av hellingslengda er større enn føreskrive av jordtapslikninga.

På lite erosjonsutsett jord har ein førebels ikkje fått mindre erosjon ved å ta vare på treskehalmen når stubben står att. Betre verknad av halm er venta på erosjonsutsett jord som treng betre til vern av jordyta.

Tettare grøfting enn normalt har heller ikkje hatt føremonar så langt. Men grøfte-trengande jord, td. planert leire, vil gje mindre ytevatn og mindre erosjon ved grøfting.

Leira tapest vesentleg i aggregatform, difor kan sedimentasjonsdammar plasserte nær jordet fange opp vesentlege mengder jord. Vegetasjonsstriper mm. vil òg ha verknad.

Yteavrenninga har variert frå 17 til 419 mm/år og er avhengig av jordtype, jordarbeiding og værtilhøve. Planert jord har størst yteavrenning. Yteavrenninga har oftast føregått vinter/vår, på planert jord også seinhaust og til dels sommar. Ut frå dette er jordarbeiding eller gjødsling om hausten ikkje å tilrå. Dei snøfattige vintrane på 90-talet med regn på tela jord har auka erosjonen, men ureininga har nådd vassdraga 1-2 månader tidlegare enn vanleg med tilsvarende lenger sedimentasjonsperiode. Partikkelkonsentrasjonane i låglandsvassdrag kan difor ha vorte lågare om sommaren, trass store tap om vinteren.

Fosfortapa har variert mellom 0,3 og 9 kg/ha/år. Det meste av P-tapa skjedde gjennom yteavrenning, men tapa gjennom grøftene var òg viktig, særleg på planert jord grøfta mindre enn 10 år sidan.

På erosjonsutsett jord styrer erosjonen fosfortapa, men på lite erosjonsutsett jord er det òg ein stor del løyst fosfor. Erosjonshindrande tiltak er difor effektive mot fosfortap der erosjon er stor, medan slike tiltak har liten eller ingen verknad ved liten erosjon. Tiltak som harving og direktesåing medfører grunnare innarbeiding av gjødsel enn ved pløying slik at konsentrasjonane av P vert større i topplaget. Overskotsgjødsling med P aukar òg konsentrasjonane og medfører større tap av partikulært P på sikt.

N-tapa varierte totalt mellom 12 og 63 kg/ha/år. Tapa var dobbelt så store frå god kulturjord som frå ei planert leire. Samanhengen mellom gjødsling og N-utvasking vil difor variere mellom jordartene. Haustpløying gav på ei god kulturjord ca 6 kg større N-tap/ha/år enn vårpløying. N-tapa var klart størst gjennom drensvatnet. Også gjennom ytevatnet fekk ein større N-tap ved haust- enn vårpløying på planert jord.

## LITTERATUR.

Braskerud, Bent 1993. Konstruksjon og effekt av fangdammer. Rapport nr 6.24.09-2A frå Jordforsk.

Børresen, Trond og Gotfred Uhlen 1991. Jorderosjon og fosfortap ved overflateavrenning i Ås vinteren 1989/90. Norsk landbruksforskning 5: 47-54. ISSN 0801-5333.

Eltun, Ragnar og Bernt Hoel 1993. Driftsmåten sin betydning for miljø, produktivitet og økonomi. Jord- og plantekultur 1993. SFFL.

Lundekvam, Helge 1990. Open åker og erosjonsproblem. Foredrag ved konferansen om Landbrukspolitikk og miljøforvaltning i Drammen 30.-31. jan. 1990. SEFO.

Njøs, Arnor og Peder Hove 1986. Erosjonsundersøkelser - vannerosjon 1 og 2. Sluttrapport nr 655 frå NLVF.

Oskarsen, Helge 1992. Feltlysimeter Kvithamar og Skjetlein. I rapport frå Jordovervakingsprogrammet for 1992 ved Gro Ludvigsen, Jordforsk.

Puustinen, Markku 1993. Effect of soil tillage on erosion and nutrient transport in surface runoff. NJF-utredning/rapport nr. 88: 218-224.

Sibbesen, Erik & A. C. Hansen & J. D. Nielsen & T. Heidmann 1993. Effect of soil tillage on surface runoff, soil erosion and leaching and loss of phosphorus - plot studies. NJF - utredning/rapport nr. 88: 29-37.

Uhlen, Gotfred og Helge Lundekvam 1988. Avrenning av nitrogen, fosfor og jord fra jordbruk 1949/1979-88. Rapp. nr 7, SEFO.

Wischmeier, W. H. and D. D. Smith (1978). Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. US Dep. of agriculture, Agricultural handbook no 537.

# Virkingen av ulike størrelsesfraksjoner av kalkstein og dolomitt på pH i jord

## *The effect of particle size of calcitic and dolomitic limestones on pH in soil*

INGVAR LYGSTAD

Norges landbrukshøgskole, Institutt for jord- og vannfag, Ås, Norge

*Agricultural University of Norway, Department of Soil and Water Sciences, Ås, Norway*

Lyngstad, I. 1993. The effect of particle size of calcitic and dolomitic limestones on pH in soil. Norsk landbruksforskning. Supplement No. 16: 142-154. ISSN 0802-0914.

The effect of particle size of a calcitic limestone (Silurian) and a dolomitic limestone on soil pH was measured in a frame experiment on two mineral soils over a 10-year period. Oat was chosen as crop in most years to obtain near-normal plant growth in all cells. The particles of calcitic limestone between 0.4 and 0.6 mm had a pH effect comparable with that for stones of less than 0.4 mm after two years. After four years particles less than 1.0 mm had about the same effect. Coarser material (1.0-3.0 mm) reacted more slowly, but caught up with finer particles after eight years on both soils. Corresponding particle sizes of dolomitic limestone were less soluble and it was found that the 1.0-3.0 mm material was of little value for liming. The oat yield harvested at heading was not significantly affected by the particle size. The Ca concentration of the crop decreased with increasing coarseness of the calcitic lime material. The dolomitic limestone had little effect on the Ca concentration of the crop, but Mg increased significantly.

Key words: Calcitic limestone, Ca-uptake, coarse lime, dolomitic limestone, Mg-uptake, particle size, soil pH, yield,

*Ingvar Lyngstad, Agricultural University of Norway, Department of Soil and Water Sciences, N-1432 Ås, Norway.*

I 1980-åra skjedde endringer i varespektret når det gjaldt kalkingsmidler her i landet, særlig ved at mjølprodukter i stor grad ble erstattet av grovknust vare. Tidlig på 1980-tallet hadde granulerte kalkprodukter en betydelig markedsandel i en kortere periode, men disse produktene utgjør nå mindre enn 10% av totalforbruket. Omsetningen av mjølvare og grovknuste produkter er i dag av omtrent samme størrelse og utgjør tilsammen ca. 85% av totalforbruket.

Lavere innhold av finstoff medfører at grovknust materiale blir mindre følsomt for fuktighet. Dette gjør at handtering og lagring blir enklere, og at støvproblemet ved spredning blir lite i forhold til tørr mjølvare. Grovere kalkprodukter er dessuten enklere og billigere å produsere.



Innholdet av grovere materiale vil på den annen side gå ut over kalkvirkningen. I praksis blir det derfor spørsmål om hvor mye mer en må bruke av en grov vare for å oppnå samme effekt som av mjølvaren innen en rimelig tid etter kalking.

Regler for findelingsgrad av kalkingsmidler er fastsatt av Norges Standardiseringsforbund. Krav til grovkalk og grovdolomitt ble gjort gjeldende fra 1979 (NS 2885), og er seinere justert (1987).

Partikkelstørrelse og hardhet eller porøsitet er i stor grad bestemmende for oppløseligheten av kalk i jorda. Meyer & Volk (1952) sammenlignet ulike fraksjoner av kalsitt og dolomitt i karforsøk og kom til at alle partikler mindre enn 0,4 mm hadde omtrent like god effekt. Materiale fra 0,6 til 0,85 mm hadde virkning på noe lengre sikt, mens partikler større enn ca. 2 mm var av liten verdi. Motto & Melsted (1960) studerte effekten av ulike kalsteinsfraksjoner i tre sure jordtyper over en ett-års periode, og fant at kalkkorn mellom 0,6 og 2,0 mm hadde en effekt tilsvarende bare 14% av virkningen til materiale under 0,15 mm. Kalkkorn grovere enn 2 mm hadde også i denne undersøkelsen liten effekt på jordas pH. I et karforsøk med leir-, sand- og myrjord fant Jaakkola & Jokinen (1980) at fraksjonen mindre enn 0,15 mm var flere ganger mer effektiv for heving av pH enn grovere materiale (0,15-2,0 mm) den første tida etter kalking, men at forskjellen avtok etter hvert og utgjorde ikke over 20% etter 2-3 år. Markforsøk på tilsvarende jordtyper viste at forskjellen mellom fint og grovere materiale avtok seinere enn i karforsøket.

Luktvaslimo (1981) og Jørgensen (1982) utførte omfattende undersøkelser over pH-effekten i jord av ulike størrelsesfraksjoner og varettyper, og betydningen av hardhetsgraden i stein- og skjellmateriale. Dessuten ble det utført vekstforsøk med ulike varettyper. Resultater av laboratorieforsøk utført av Luktvaslimo viste tilnærmet samme virkning av fraksjoner mindre enn 0,4 mm i middel for fem kalksteinstyper på ei sterk sur mineraljord etter ett år, mens materiale opp til 1 mm ga stort sett lik effekt på ei ekstrem sur myrjord. Både Luktvaslimo og Jørgensen fant at kalkfraksjoner større enn 1,0 mm hadde liten pH-virkning i vanlig sur mineraljord på kort sikt. Videre ble det i begge undersøkelser påvist effekter av ulik hardhet i kalkmaterialet. For grovere fraksjoner var det tydelig forskjell i pH-virkning mellom silurkalk og marmorkalk, og Jørgensen påviste også forskjeller mellom ulike typer dolomitt.

Ved vurderingen av grovknuste kalktyper er det av betydning å ha kjennskap til virkningen av de grove fraksjoner over flere år. Persson (1985) undersøkte virkningen av ulike fraksjoner og steintyper i et 4-årig karforsøk. For silur- og ordovicisk kalk ga materiale opp til 1,0 mm omtrent samme pH-effekt som kritt kalk etter fire år. Den groveste fraksjonen som ble prøvd (1-3 mm) hadde seinere virkning, og for marmor og dolomitt gjaldt dette også for fraksjonen 0,5-1,0 mm. En lignende undersøkelse ble utført av Bertilsson & Persson (1985) i et 5-årig rammeforsøk. Her ble det registrert en avtakende effekt med åra av kritt kalk og kalksteinsfraksjoner under 0,15 mm, mens det skjedde en økning i pH for de grovere fraksjonene (0,7-1,0 og 2,4-2,8 mm). Dette medfører at grovknuste kalktyper øker i relativ effekt med tida.

Denne rapporten omhandler resultatene av et langvarig rammeforsøk, hvor en dels har undersøkt effekten av ulike størrelsesfraksjoner av kalkstein og dolomitt og dels sammenlignet ulike standard kalkingsmidler. Enkelte resultater fra undersøkelsen er publisert tidligere (Lyngstad 1987, 1988).

## MATERIALE OG METODER

Til anlegg av rammeforsøket ble det tatt jord fra to steder (Enebakk og Ås). Hver celle bestod av nedgravde betongrør med diameter 45 cm. Før ifylling av jord ble dybden i alle sylindere justert til ca. 70 cm ved tilføring av sand i bunnen. Undergrunnsjorda på de to stedene ble tatt i et 30-40 cm sjikt under matjorda, sikta gjennom et 2 cm sikt, blanda og fylt i sylindrene tilsvarende ca. 40 cm høyde i hver. Matjorda ble sikta gjennom et 6 mm sikt, og etter blanding ble hver sylinder tilført 32 liter, tilsvarende et ca. 20 cm lag. Før ifylling ble sylindrene foret innvendig med et lag plastfolie for å hindre kontakt mellom jord og rørvegg. Jorda fra Enebakk ble tatt og fylt i sylindrene høsten 1979, mens jorda fra Ås ble tatt og ifylling foretatt våren 1980. Noen fysiske og kjemiske egenskaper i de to jordtypene er angitt i tabell 1.

Tabell 1. Fysiske og kjemiske analyser av jordtypene brukt i forsøket  
 Table 1. Physical and chemical characteristics of the experimental soils

Sted/Site	Jordtype/Soil type	pH	%	%	mg/100 g	
			Org.C	Tot. N	P-AL	K-AL
Enebakk	Siltig mellomleire <i>Silty clay loam</i>	4,6	5,1	0,46	1,2	17
Ås	Lettleire <i>Loam</i>	5,1	3,3	0,28	9,0	11

Oppdelingen i ulike størrelsesfraksjoner ble utført ved tørrsiktning gjennom trådsikt. Fraksjoner og varettyper som ble brukt i forsøket, er vist i tabell 2. Kalksteinsfraksjonen under 0,4 mm ble satt sammen av like mengder av fraksjonene under 0,2 mm og 0,2-0,4 mm, og den groveste fraksjonen bestod av halvparten med 1-2 mm og halvparten med 2-3 mm for begge steintyper. Sammensetningen av kalksteinsmjøl og grovkalk var i henhold til Norsk Standard og i samsvar med vanlig handelsvare. Analyser av CaO og MgO ble utført i separate prøver for hver fraksjon. Gjennomsnittlig innhold av CaO + MgO i kalkstein var 42,8% og i dolomitt 49,1%.

Våren 1980 ble de ulike fraksjoner av kalkstein og dolomitt og kalsteinsmjøl og grovkalk tilført i mengder tilsvarende 250 og 500 kg CaO + MgO pr. dekar. Kalken ble blanda inn i hele matjordsjiktet ved at jordmassen ble lagt utover på et Brett og kalken blanda inn for hånd. Hvert kalkingsledd ble anlagt med 2 paralleller.

Alle sylindere ble gjødslet likt med N, tilsvarende 15 kg pr. dekar årlig i ammoniumnitrat. Fosfor- og kaliumgjødsla var relativt sterke de første par åra, men utgjorde i de fleste år 4 kg P og 10 kg K pr. dekar. Havre ble brukt som vekst de fleste år (1 år bygg og 1 år raigras). Dette ble gjort for i størst mulig grad å unngå negative virkninger på veksten ved lave pH-verdier, og dermed hindre at ulike vekstforhold påvirket pH-målingene.

Tabell 2. Størrelsesfraksjoner (\*) og sammensetning av kalktyper brukt i forsøket  
 Table 2. Particle-size fractions (\*) and composition of lime products used in the experiment

Kalkmateriale Lime material	Størrelsesfraksjoner/Particle-size fractions, mm					
	<0,2	0,2-0,4	<0,4	0,4-0,6	0,6-1,0	1,0-3,0
Kalkstein (Silur) Calcitic limestone (Silurian)			*	*	*	*
Dolomitt Dolomitic limestone	*	*		*	*	*
Kalksteinsmjøl, % Powdered lime, "			80	10	10	
Grovkalk % Coarse lime "			35	11,7	23,3	30

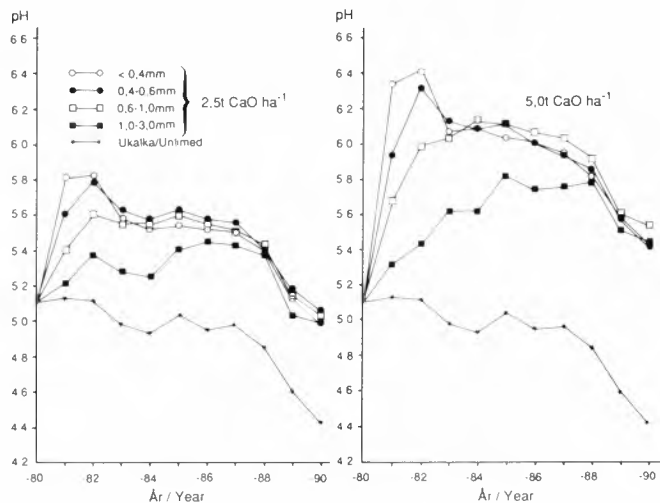
Forsøksanlegget var ikke sikret mot skade av fugl, og kornet ble derfor høsta på grønnforstadiet. Avlinga fra hver sylinder ble tørka og veid, og det ble tatt prøver til bestemmelse av Ca og Mg. Jordprøver ble tatt fra alle sylindre tidlig om våren hvert år for bestemmelse av pH. Prøvene ble tørka før pH-målingen, som ble utført i vann (jord:vann=1:2,5). Jorda i sylindrene ble bearbeidet bare om våren. Høstarbeiding ble sløffet for å hindre tilslemming og for å unngå at jord ble vaska over sylinderkanten ved sterkt regn.

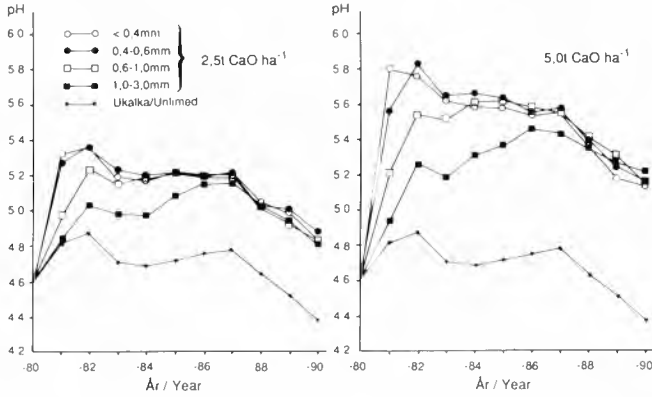
RESULTATER

**pH-virkning av ulike størrelsesfraksjoner**

Utviklingen i pH over en 10-års periode for ulike fraksjoner av kalkstein og dolomitt ved to kalkmengder er vist for de to jordtypene i henholdsvis figurene 1-2 og figurene 3-4.

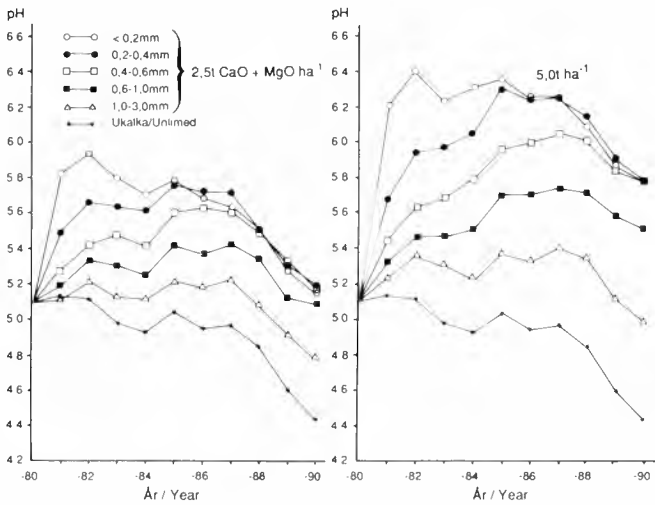
Figur 1. Virkningen av ulike mengder og størrelsesfraksjoner av kalkstein på pH i ei sterk sur lettleire over en 10-års periode  
 Figure 1. The effect of rate and particle size of calcitic limestone on pH in a strongly acid loam soil during a 10-year period





Figur 2. Virkningen av ulike mengder og størrelsesfraksjoner av kalkstein på pH i ei sterk sur siltig mellomleire over en 10-års periode

Figure 2. The effect of rate and particle size of calcitic limestone on pH in a strongly acid silty clay loam during a 10-year period



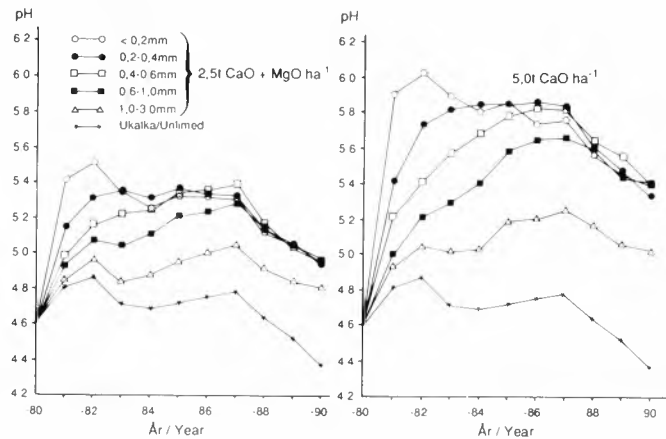
Figur 3. Virkningen av ulike mengder og størrelsesfraksjoner av dolomitt på pH i ei sterk sur lettleire over en 10-års periode

Figure 3. The effect of rate and particle size of dolomitic limestone on pH in a strongly acid loam soil during a 10-year period

Mellomleira hadde i utgangspunktet lavere pH enn lettleira, og dette har blant annet medført at oppløsningen av de grovere fraksjonene har foregått raskere i mellomleira. Den fineste fraksjonen av kalkstein ga en rask stigning i pH, som viste en topp de to første åra og deretter sank til et lavere nivå hvor den holdt seg relativt stabil i flere år. Virkningen av fraksjonen 0,4-0,6 mm var på høyde med den fineste fraksjonen i begge jordtyper etter to år, og etter fire år var det stort sett lik virkning av de tre kalksteinsfraksjonene under 1,0 mm.

Figur 4. Virkningen av ulike mengder og størrelsesfraksjoner av dolomitt på pH i ei sterk sur siltig mellomleire over en 10-års periode

Figure 4. The effect of rate and particle size of dolomitic limestone on pH in a strongly acid silty clay loam during a 10-year period



Etter en del år viste kalksteinsfraksjonene 0,4-0,6 mm og 0,6-1,0 mm til dels signifikant større pH-virkning enn materialet mindre enn 0,4 mm. Dette har sannsynligvis sammenheng med at finfraksjonene (< 0,4 mm) større oppløselighet har medført økt opptak i avling og økt utvasking i forhold til grovere fraksjoner. Dessuten kan det ha vært en økt produksjon av sure grupper i jorda ved den fineste fraksjonen som følge av at flere jordpartikler kommer i kontakt med kalken når kalkkorna er små. Fraksjonen 1,0-3,0 mm hadde som ventet liten virkning de første åra, men etter 5-6 år begynte dette grove materialet å nærme seg virkningen av de finere fraksjonene i begge jordtypene.

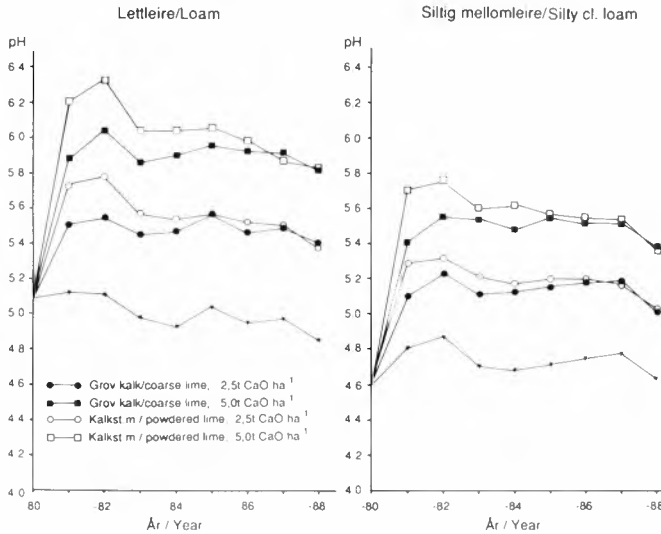
Resultatene i figurene 3 og 4 viser at den kortsiktige virkningen av dolomitt i stor grad var avhengig av den fineste fraksjonen (< 0,2 mm), og at denne til dels lå over kalkstein i virkning. Dette beror på at MgO i dolomitt ikke ble omregnet til CaO-ekvivalenter ved beregning av de tilførte mengder. Virkningen av fraksjonen 0,2-0,4 mm lå betydelig etter de første åra, og var på høyde med den fineste fraksjonen først etter 5-6 år på lettleira og 3-4 år på mellomleira. Grovere materiale har suksessivt gitt dårligere kalkvirkning. På lettleira var virkningen av dolomittfraksjonen 0,6-1,0 mm lik med eller mindre enn for den grovste kalksteinsfraksjonen (1,0-3,0 mm). Dolomittmateriale større enn 1 mm hadde liten kalkvirkning i dette forsøket.

Målingene de tre siste åra viste en tydelig nedgang i pH for alle forsøksledd på begge jordtyper. Dette kan skyldes flere forhold. Noe av forklaringen kan være at det i disse åra var milde vintre med relativ stor utvasking. Avlingene i forsøket viste dessuten en sterk nedgang i disse åra, og som indirekte kan ha bidratt til større N-utvasking (Fig. 6).

### Kalksteinsmjøl og grovkalk

Resultater av pH-målinger i sylindere med kalksteinsmjøl og grovkalk er vist i figur 5 for de to jordtypene og kalkmengdene. Grovkalken lå klart etter kalksteinsmjøl i virkning de første åra, men etter fem år stod de to kalktypene likt, og det samme var tilfelle ved de seinere målingene.

## 148 Virkningen av ulike størrelsesfraksjoner av kalkstein og dolomitt på pH i jord



Figur 5. Virkningen av grovkalk sammenlignet med kalksteinsmjøl på jordas pH ved to kalkmengder og på to ulike jordtyper over en 8-års periode  
 Figure 5. The effect of a coarse lime compared to powdered material on soil pH at two lime rates and on two soil types during an 8-year period

Kalkingen av den sterkt sure, moldrike mellomleira førte til en moderat pH-stigning, og de største mengdene av kalksteinsmjøl og grovkalk resulterte i pH-heving bare på nivå med den minste kalkmengden på lettleira. På grunn av det høye pH-nivået i lettleira, var det her en tendens til lavere oppløselighet av grovkalk ved størst kalkmengde. En kommer seinere tilbake til disse resultatene i forbindelse med beregninger av virkningsgrad for grovkalk ut fra pH-effekten av enkelte fraksjoner.

### Beregning av virkningsgrad

I tabellene 3 og 4 er vist relative tall for virkningen av ulike kornstørrelser av henholdsvis kalkstein og dolomitt. Forskjellen i pH mellom kontrollledd og de fineste fraksjoner av kalkstein og dolomitt (<0,2 og < 0,4 mm) ble satt til 100 i hvert enkelt år. Beregningene ble utført for hver jordtype og hver kalkmengde, og tallene i tabellene viser middelresultatene.

Tabell 3. Relativ virkning av ulike størrelsesfraksjoner av kalkstein. Middeler for to jordtyper og to kalkmengder  
 Table 3. Relative effect of various particle-size fractions of calcitic limestone. Average values for two soils and two lime rates

År Year	Størrelsesfraksjoner/Particle-size fractions, mm			
	<0,4	0,4-0,6	0,6-1,0	1,0-3,0
1981	100	76	39	11
1982	100	99	73	39
1983	100	106	95	54
1984	100	106	103	60
1985	100	109	106	75
1986	100	103	104	85
1987	100	104	102	85
1988	100	102	103	96
1989	100	106	103	95
1990	100	107	104	101

Tabell 4. Relativ virkning av ulike størrelsesfraksjoner av dolomitt. Middell for to jordtyper og to kalkmengder  
 Table 4. Relative effect of various particle-size fractions of dolomitic limestone. Average values for two soils and two lime rates

År Year	Størrelsesfraksjoner/Particles-size fractions, mm				
	<0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-1,0	1,0-3,0
1981	100	54	29	16	7
1982	100	70	46	33	20
1983	100	89	67	45	22
1984	100	96	77	55	31
1985	100	100	85	65	32
1986	100	105	97	73	38
1987	100	107	101	79	42
1988	100	104	103	88	47
1989	100	103	103	88	52
1990	100	100	101	94	57

Virkningen av kalksteinsfraksjonen 0,4-0,6 mm var som ventet mindre enn virkningen av fraksjonen under 0,4 mm den første tida, men etter noen år lå effekten av denne fraksjonen over det finere materialet. Lignende resultater gjorde seg gjeldende for fraksjonen 0,6-1,0 mm, mens den groveste fraksjonen var på linje med effekten av det fineste materialet først etter 8-10 år.

Den relative virkning av ulike dolomittfraksjoner gjenspeiler en større hardhet i materialet i forhold til silurkalken. Materiale mellom 0,2 og 0,6 mm kom etter hvert på høyde med, og lå til dels over den fineste fraksjonen (<0,2 mm) i virkning. Fraksjonen 0,6-1,0 mm var sammenlignbar med den groveste kalksteinen, mens dolomittkorn større enn 1,0 mm hadde liten virkning.

Tilsvarende beregninger av virkningsgrad ble utført for sammenligningen av kalksteinsmjøl og grovkalk. Da det ikke var noen tydelig forskjell mellom jordtypene, gjengis her bare middeltalla (Tabell 5). Resultatene viser at etter ett år utgjorde virkningen av grovkalk 65% av kalksteinsmjølets effekt, mens den relative effekten av grovkalk var 95% etter fem år.

Tabell 5. Virkningen av grovkalk (35% < 0,4 mm) i forhold til kalksteinsmjøl ved direkte sammenligning i forsøk og ved beregning ut fra virkningen av størrelsesfraksjoner. Middell for to jordtyper og to kalkmengder. Virkningen av kalksteinsmjøl satt til 100 hvert år

Table 5. The effect of a coarse lime product (35% < 0,4 mm) relative to powdered material measured directly and calculated from the effect of various particle-size fractions. Average values for two soils and two lime rates. The effect of powdered lime was fixed to 100 in the separate years

Metode Method	År/Year							
	-81	-82	-83	-84	-85	-86	-87	-88
Direkte sammenligning Compared directly	65	76	84	88	95	94	101	100
Fraksjoner - beregnet Fractions - calculated	62	77	86	89	94	96	96	99

Materialet gir mulighet for å jamføre resultatet av den direkte sammenligning av kalksteinsmjøl og grovkalk med en beregnet virkning basert på virkningsgraden av enkeltfraksjoner. I tabell 5 er derfor også tatt med resultatet av sistnevnte beregningsmåte. Det framgår av tabellen at virkningsgraden av grovkalk i stor grad er overensstemmende ved de to beregningsmåtene. Teoretisk skulle en forvente at beregnet virkningsgrad av en kalktype basert på enkeltfraksjoner skulle gi høyere verdier enn ved direkte sammenligning. Dette beror på at ved bruk av reine fraksjoner vil det grovere materiale befinne seg i et surere miljø og således oppløses raskere enn i en blanding av fint og grovt materiale. Forskjellen mellom denne metoden og direkte sammenligning av kalktyper ser likevel ut til å være relativt liten. Resultater av målinger basert på enkeltfraksjoner er mer anvendelige, ved at en lett kan beregne endringer i virkningsgrad for en kalkvare om siktekurven endres.

Resultatene i tabell 5 gjelder grovkalk med 35% under 0,4 mm. En justering i forhold til någjeldende standard (40% under 0,4 mm) førte bare til en mindre økning i beregnet virkning av grovkalk de to første åra, fra henholdsvis 62 til 64% etter ett år og fra 77 til 78% etter to år i middel for begge jordtyper.

Beregnet virkning av grovdolomitt i forhold til mjølvaren på de to jordtypene er vist i tabell 6 over en 8-års periode. Her framkom det etter hvert en tydelig forskjell mellom de to jordtypene med hensyn til virkningen av grovdolomitt, og som etter alt å dømme hadde sammenheng med ulik pH i de to jordtypene. På den sterkt sure mellomleira var den relative effekten av grovdolomitt vel 90% etter fire år, mens tilsvarende virkning ble oppnådd først etter sju år på lettleira. Det framgår ellers at grovdolomitt lå under grovkalk i virkning i forhold til mjølvaren.

Tabell 6. Virkningen av grovdolomitt (30% <0,2 mm) i forhold til dolomittmjøl beregnet på grunnlag av virkningen av størrelsesfraksjoner i de to jordtypene. Middel for to kalkmengder. Virkningen av dolomittmjøl ble satt til 100 hvert år

Table 6. The effect of a coarse dolomitic lime product (30% <0,2 mm) relative to powdered material calculated from the effect of various particle-size fractions in the separate soils. Average values for two lime rates. The effect of powdered dolomite was fixed to 100 in the separate years

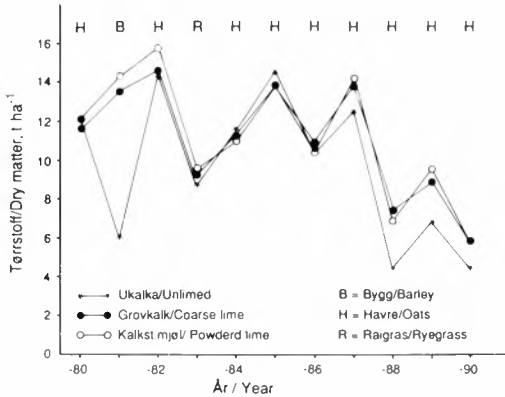
Jordtype Soil type	År/Year							
	-81	-82	-83	-84	-85	-86	-87	-88
Lettleire Loam	60	72	77	80	84	89	92	93
Siltig mellomleire Silty clay loam	63	71	86	93	95	99	100	102

### Avlinger

Kalking ga som venta stor og signifikant avlingsøkning i byggåret (2. året). På mellomleira var det bortimot misvekst uten kalking og liten virking av den grovste kalkfraksjonen (1-3 mm). Raigraset i fjerde forsøksår greide seg betydelig bedre uten kalking, men ga likevel signifikant mindre avling uten enn med kalk. På mellomleira var det dessuten i middel signifikant ( $P < 0.01$ ) forskjell mellom de kalka ledd, og som skyldes en suksessiv avlingsnedgang ved stigende partikkelstørrelse. Tilsvarende forskjeller forekom ikke på lettleira.



I de åtte åra med havredyrking var det bare unntaksvis en fant signifikante forskjeller i avling mellom ulike kalka ledd. I middel for alle år var det heller ingen klar tendens i noen retning. En skal derfor ikke gå nærmere inn på disse resultatene, men bare gi en summarisk oversikt over avlingene i forsøksperioden for leddene uten kalking og med kalksteinsmjøl og grovkalk (Fig. 6).



Figur 6. Avlinger i de enkelte år for ledd uten kalking og ved tilføring av grovkalk og kalksteinsmjøl. Middel for to kalksteinsmengder og to jordtyper

Figure 6. Yields in the separate years at zero lime and by applications of coarse and powdered lime. Average values of two lime rates and two soil types

Det var en tendens til at kalksteinsmjøl ga litt større avling enn grovkalk de første åra. Tilsvarende fant en samme tendens ved sammenligning av fine og grovere fraksjoner. Som nevnt tidligere skjedde en tydelig pH-nedgang i siste del av forsøksperioden. Figur 6 viser at også avlingsnivået sank betydelig i disse åra, særlig på ukalka ledd og i begge jordtyper. Dette kan delvis henge sammen med nedgangen i pH, men kan også sees i sammenheng med de milde vintrene som blant annet medførte økt utvasking av næringsstoffer fra jorda.

### Kjemiske avlingsanalyser

Kjemiske analyser av avlingen ble utført i prøver fra de sju første forsøksåra. Kalsium ble bestemt i leddvise prøver for hele materialet, mens Mg ble bestemt bare i de ledd som ble tilført dolomitt. Et sammendrag av resultatene som gjelder havregrønnfor (6 år) er vist i tabellene 7 og 8.

Tilføring av silurkalk førte til signifikant øking i Ca-innholdet i avlingen. Ved minste mengde var det ingen tydelig forskjell mellom ulike størrelsesfraksjoner, mens det ved største kalkmengde var tendens til avtakende Ca-effekt ved økende partikkelstørrelse. Grovkalk viste i middel litt lavere Ca-innhold enn kalksteinsmjøl. Beregninger av opptatt Ca i avling viste i middel noe nær samme opptak for fraksjoner mindre enn 1 mm og lavere for fraksjonene 1-3 mm. Grovkalk ga redusert Ca-opptak i forhold til kalksteinsmjøl, særlig ved største kalkmengde.

Tabell 7. Innhold av Ca i havregrønnfor ved tilføring av ulike størrelsesfraksjoner og kalktyper. Middell for 6 år i % av tørrstoff

Table 7. Concentration of Ca in oat harvested at heading stage as affected by various particle-size fractions and products of calcitic limestone. Average values for 6 years in percent of DM

CaO, t ha <sup>-1</sup>	Størrelsesfraksjoner/Particle-size fractions				Kalkst.- mjøl Powered lime	Grovkalk Coarse lime	
	<0,4 mm	0,4-0,6 mm	0,6-1,0 mm	1,0-3,0			
2,5	0,32	0,33	0,31	0,33	0,33	0,32	0,04
5,0	0,39	0,38	0,36	0,34	0,39	0,36	

Tabell 8. Innhold av Ca og Mg i havregrønnfor ved tilføring av ulike størrelsesfraksjoner av dolomitt. Middell for 6 år i % av tørrstoff

Table 8. Concentration of Ca and Mg in oat harvested at heading stage as affected by various particle-size fractions of a dolomitic limestone. Average values for 6 years in percent of DM

t CaO + MgO/ha	Størrelsesfraksjoner/Particle-size fractions, mm Element	Størrelsesfraksjoner/Particle-size fractions, mm					LSD 5%
		<0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-1,0	1,0-3,0	
2,5	Ca	0,26	0,27	0,26	0,28	0,28	n.s.
5,0	"	0,29	0,27	0,27	0,28	0,29	
2,5	Mg	0,15	0,16	0,15	0,13	0,11	0,01
5,0	"	0,19	0,18	0,17	0,16	0,14	

n.s. = ikke signifikant/non-significant

Innholdet av Ca ved tilføring av dolomitt lå i underkant av talla for leddet uten kalking. Det var ingen tydelig forskjell mellom ulike størrelsesfraksjoner, og en dobling av dolomittmengden ga heller ingen signifikante utslag. Opptatt Ca i avling ved tilføring av ulike dolomittfraksjoner var ikke forskjellig fra 0-leddet ved minste kalkmengde, mens det var en tendens til økt Ca-opptak ved største mengde, men ingen signifikante forskjeller mellom ulike fraksjoner. Mg-innholdet i avlingen var derimot tydelig påvirket av kalking med dolomitt. Av tabell 8 framgår forøvrig at Mg-innholdet stort sett avtok ved økende partikkelstørrelse, men at det var en liten effekt av den groveste fraksjonen.

## DISKUSJON

I denne undersøkelsen har en studert kalkvirkningen av ulike størrelsesfraksjoner av to ulike steintyper. Når det gjelder den kortsiktige effekten, viste disse resultatene til dels noe mindre virkning av grovere fraksjoner enn i labortaorieforsøk med tilsvarende jordtyper og

kalkfraksjoner (Luktvaslimo 1981; Jørgensen 1982). En jevnføring av resultater fra noen kar- og rammeforsøk utført av Persson (1985) og Bertilsson & Persson (1985) med våre undersøkelser, viser relativ god overensstemmelse både når det gjelder kort- og langsiktig kalkvirkning av sammenlignbare fraksjoner og steintyper.

Bruken av utsikta fraksjoner i forsøk i stedet for varetyper gjør at det blir enklere å vurdere kalkverdien ved endring i varetypene. Med en slik metode vil en antakelig favorisere oppløsningen av grovere partikler i ei sur jord ved at pH vil endre seg lite. Tilsvarende kan en forvente at grovt materiale har relativt liten kalkvirkning på jord med høyere pH. Love et al. (1960) påviste slike effekter av pH på oppløseligheten av ulike dolomittfraksjoner i et 3-årig forsøk.

I denne undersøkelsen fant en imidlertid ingen tydelig forskjell om virkningsgraden av grovkalk ble bestemt ved direkte sammenligning med mjølvere eller ved beregning ut fra effekten av enkeltfraksjoner. Dette var tilfelle på begge jordtyper. For dolomitt fant en derimot mindre kalkvirkning på lettleire enn på den surere mellomleira, særlig av de grovere fraksjoner. Disse resultatene tyder på at forskjell i oppløselighet som følge av ulik pH i jorda, særlig gjør seg gjeldende for hardere steintyper, mens det er mindre fremtredende for bløtere materiale, i hvert fall ved lavt pH-nivå som i disse undersøkelsene.

Ved bruk av grovere kalktyper bør reduksjonen i virkning i forhold til kalksteinsmjøl kompreseres ved økte mengder. Økningen vil i noen grad være avhengig av hardheten av kalksteinen. Etter disse forsøkene vil en ved økning av grovkalkmengden på 20-30% oppnå like stor effekt som av kalksteinsmjøl etter 2-3 år. Virkingen i gjennomsnitt for en kalkingsperiode på 6-7 år vil da bli tilnærmet like stor for de to kalktypene. For å oppnå en tilsvarende virkning av grovdolomitt i forhold til mjølproduktet, må en etter disse forsøkene øke mengdene med minst 30%.

## SAMMENDRAG

I et rammeforsøk ble målt effekten av ulike størrelsesfraksjoner av silurkalk og dolomitt på avling og pH i to sterkt sure jordtyper over en 10-års periode. Planen omfattet dessuten sammenligning av kalksteinsmjøl og grovkalk. Som vekst ble brukt havre høsta som grønnfor de fleste år, avbrutt av ett år med raigras og ett år med bygg.

Materiale av silurkalk mindre enn 0,4 mm hadde en rask virkning. Fraksjonen 0,4-0,6 mm var på høyde med den fineste fraksjonen etter to år, og etter fire år var det stort sett lik virkning av alle fraksjoner under 1,0 mm. Materiale større enn 1 mm hadde liten kalkvirkning de første åra, men etter 5-6 år begynte det grovere materialet (1,0-3,0) å nærme seg virkingen av finere fraksjoner.

Tilsvarende fraksjoner av dolomitt viste betydelig mindre oppløselighet enn silurkalken. Dolomittmateriale større enn 1,0 mm hadde liten kalkvirkning.

På grunnlag av årlige pH-målinger ble virkningsgraden for ulike størrelsesfraksjoner av silurkalk og dolomitt bestemt. (Tab. 1-4). Beregninger av virkningsgrad for grovkalk i forhold til kalksteinsmjøl på grunnlag av pH-effekt av enkeltfraksjoner samsvarte godt med resultatet av den direkte sammenligningen av de to kalktypene i forsøket (Tab. 5-6).

For kalka ledd var det bare unntaksvis signifikante forskjeller i avlingene av havre. Kjemiske avlingsanalyser viste økt Ca-innhold ved tilføring av silurkalk, men avtakende

effekt ved økende kornstørrelse (Tabell 7). Dolomitt hadde liten effekt på Ca-innholdet, men ga tydelig økning i innholdet av Mg (Tabell 8).

## LITTERATUR

Bertilsson, G. & J. Persson 1985. Kalkfraksjoner och kalkningseffekt. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap. Rapport nr. 163, 18 s.

Jaakkola, A. & R. Jokinen 1980. Comparison of fine and coarse limestones in pot and field experiments. *Ann. Agric. Fenn.* 19: 108-124.

Jørgensen, K.-J. 1982. Sammenlikning av noen norske kalkingsmidler i sammenheng med findelingsgradens betydning for virkninga på jordreaksjon og plantevekst. Hovedoppgave, Norges landbrukshøgskole, 216 s.

Love, J.R., R.B. Corey & C.C. Olsen 1960. Effect of particle size and rate of application of dolomitic limestone on soil pH and growth of alfalfa. *Trans. 7th Int. Congr. Soil Sci.* III, 293-301.

Luktvasslimo, J. 1981. Findelingsgradens betydning for virkingen av kalkstein på jordreaksjon og plantevekst. Hovedoppgave, Norges landbrukshøgskole, 96 s.

Lyngstad, I. 1987. Virkning av ulike kalkingsmidler. *Aktuelt fra SFFL* 1987:(1) 161-168.

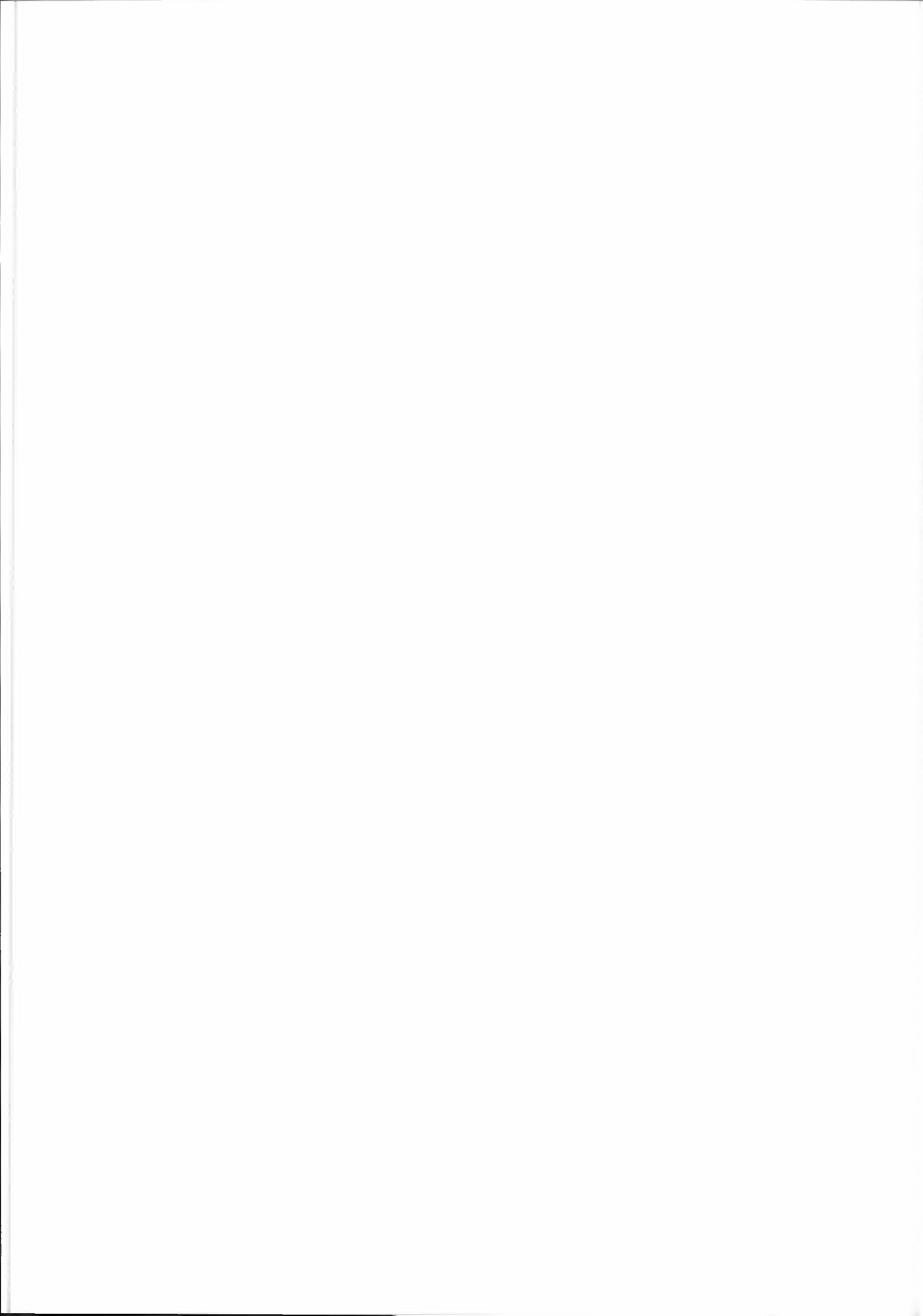
Lyngstad, I. 1988. Kalking og kalkingsmidler. *Aktuelt fra SFFL* 1988:(10) 101-108.

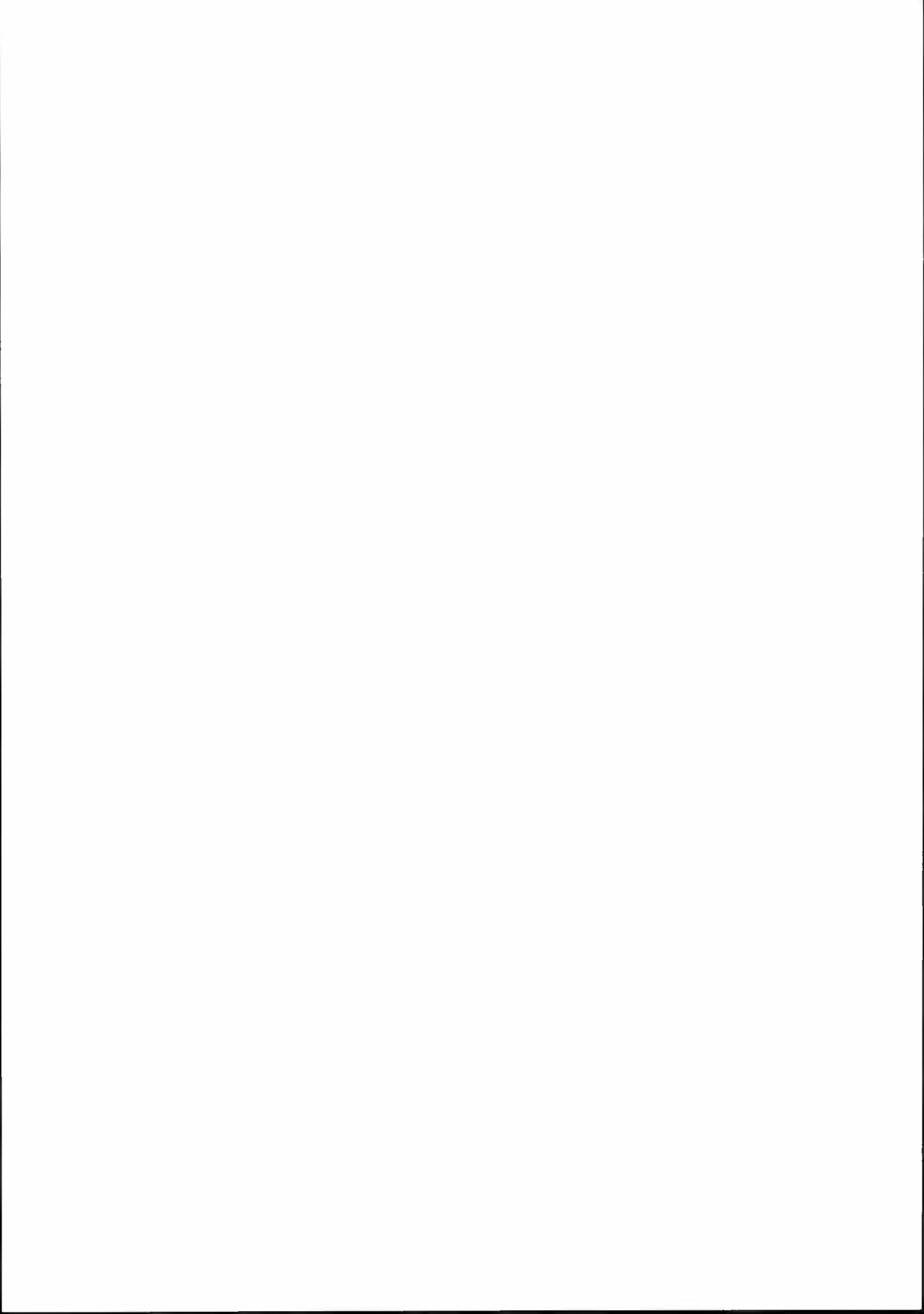
Meyer, T.A. & G.W. Volk 1952. Effect of particle size of limestones on soil reaction, exchangeable cations, and plant growth. *Soil Sci.* 73: 37-52.

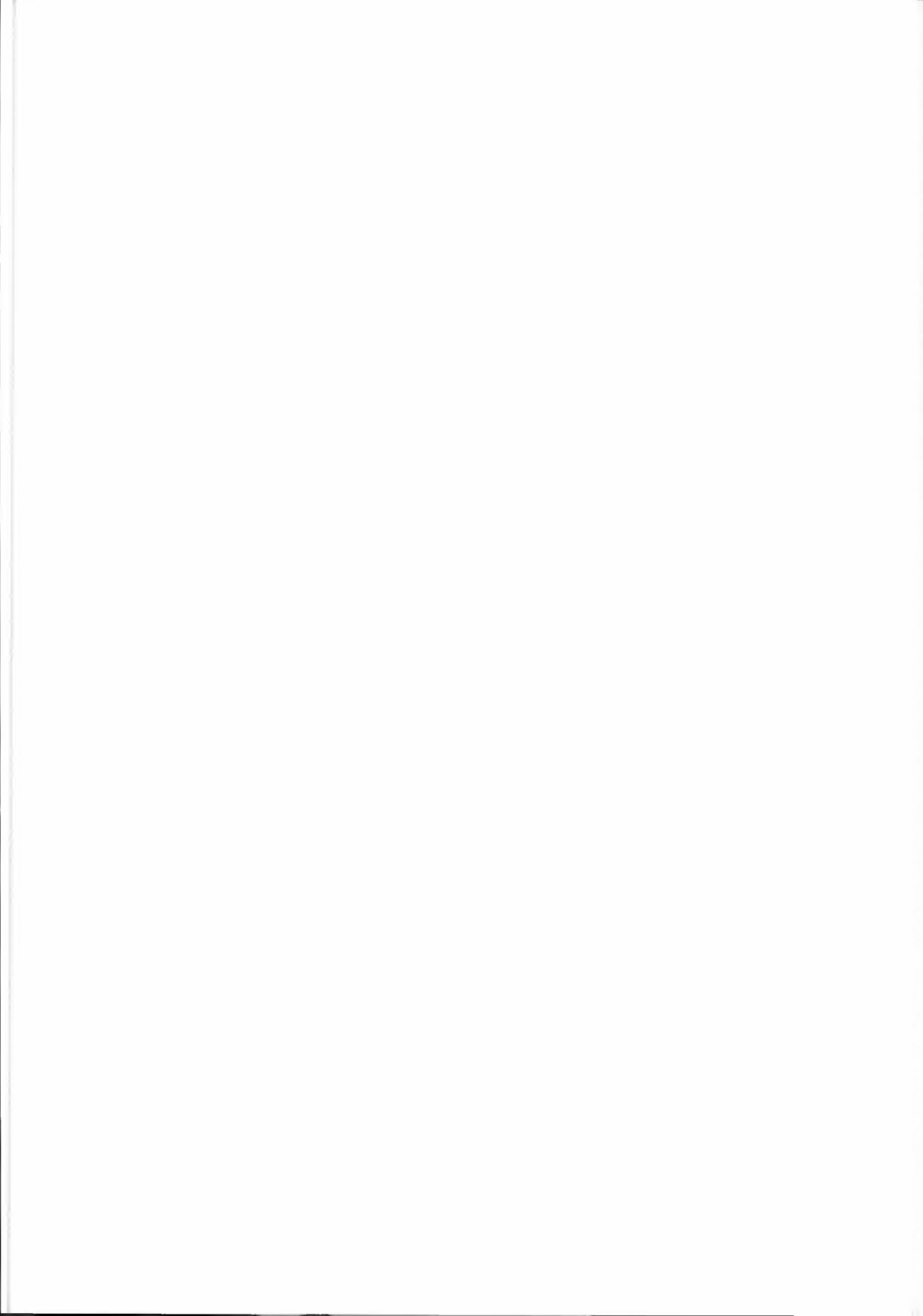
Motto, H.L. & S.W. Melsted 1960. The efficiency of various particle-size fractions of limestone. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 24: 488-490.

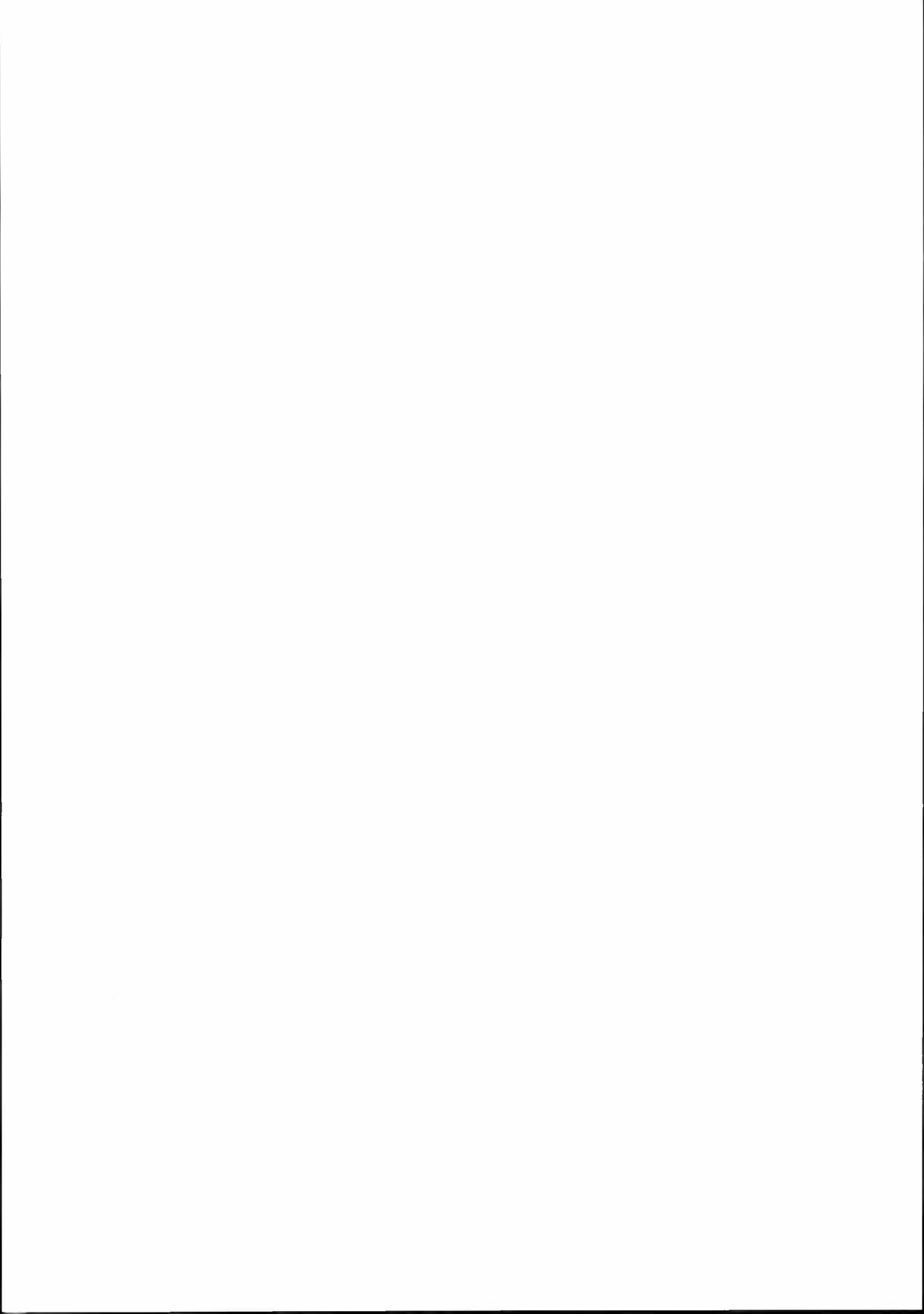
Norges Standardiseringsforbund. Kalkingsmidler for landbruket. Norsk standard, 1. utg. 1979 og 2. utg. 1987.

Persson, J. 1985. Kalkningseffekt - betydelsen av kalkslag och sikt kvalitet. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap. Rapport nr. 162, 22 s.

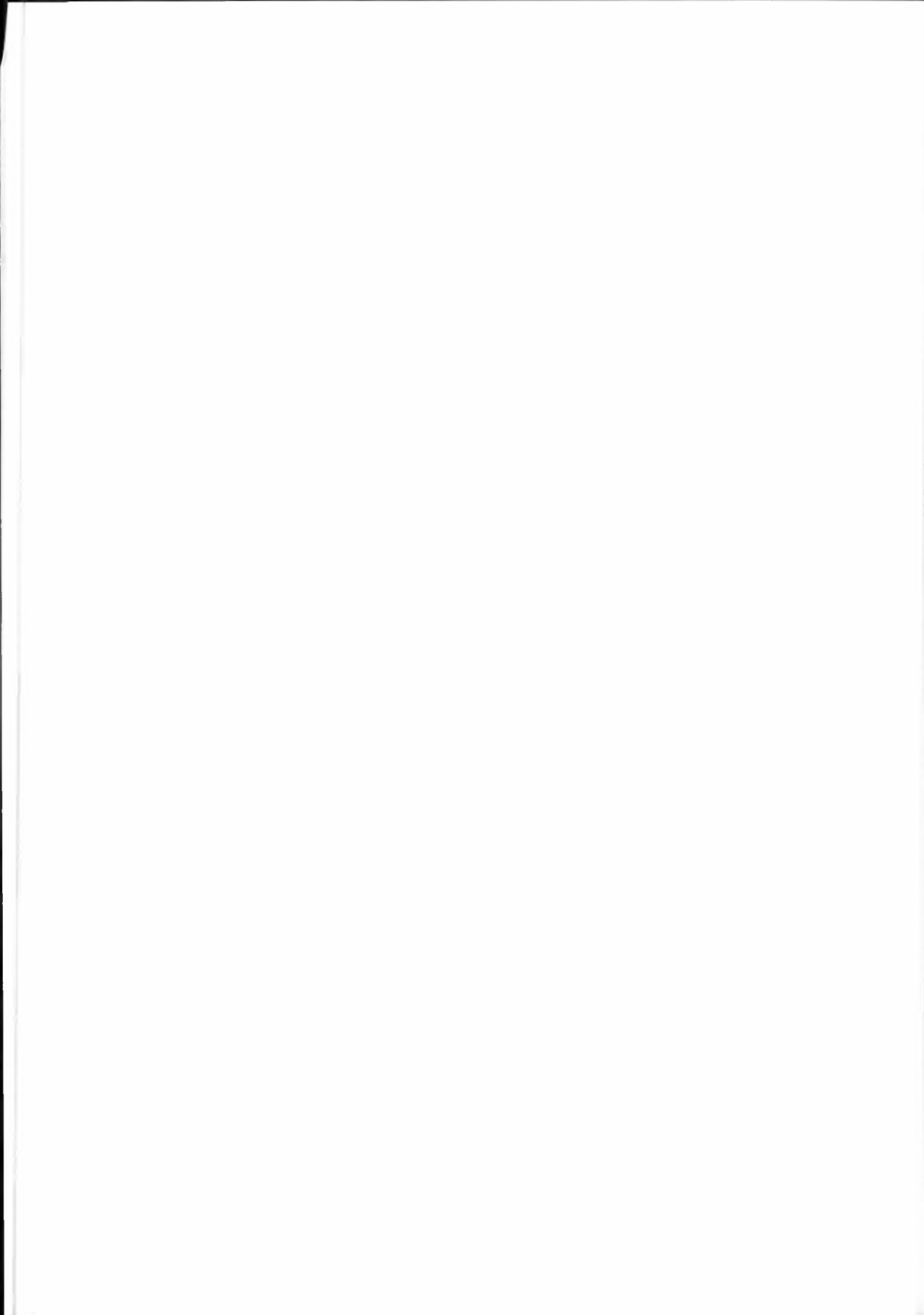


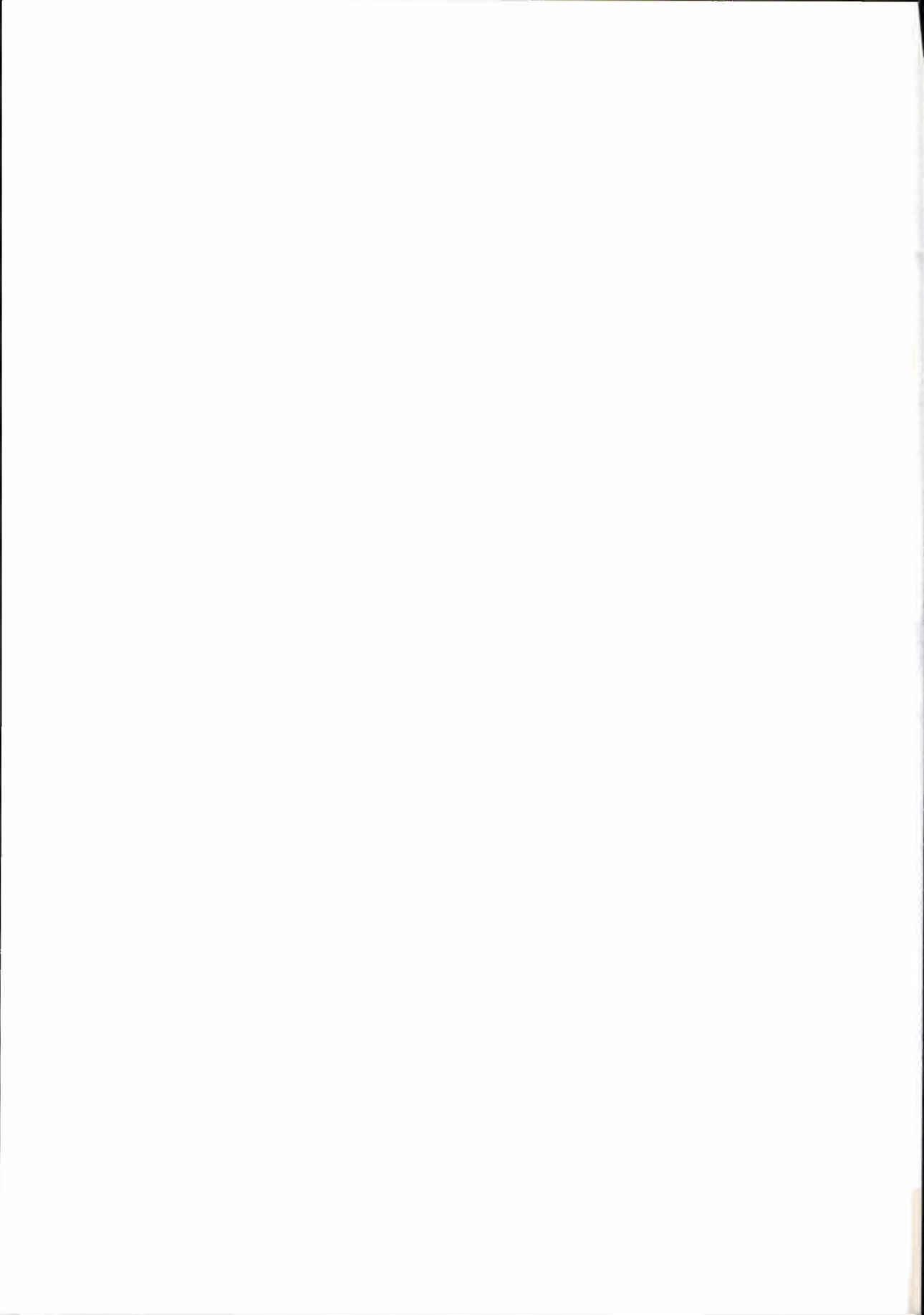












## RETTLEIING FOR FORFATTARAR

## MANUSKRIPDET

Manuskriptet skal vera maskinskrive på ei side av papiret. Bruk 8 mm lineavstand (3 liner per tomme) og ein marg på minst 3 cm. Lat kvar av dei følgjande bolkane byrja på nytt ark: (1) tittel, (2) utdrag og nøkkelord, (3) teksta, (4) etterord, (5) litteraturliste, (6) tabellar, (7) figurtekster.

Nummerer sidene med 1 på tittelsida.

Artikkelen skal normalt vera delt inn i (1) innleiing, (2) materiale og metodar, (3) resultat, (4) drøfting og (5) samandrag.

Det kan brukast tre gradar av underoverskrifter, som deler opp og klargjer teksta. Artiklane skal vera så korte som råd og vanlegvis ikkje lengre enn 20 manussider medrekna tabellar og figurar. Dei må sendast redaksjonen i to eksemplar.

## TITTELSIDA

På tittelsida skal stå:

1. Tittelen på artikkelen.

Gjer tittelen presis, men så kort som råd. Undertittel kan brukast, men òg han må vera stutt. Både tittel og undertittel skal vera omsette til engelsk.

2. Ein forkorta tittel, som skal brukast som kolumnetittel, og som ikkje bør vera på meir enn 40 bokstavar.

3. Fullt namn på alle forfattarar.

4. Namn og adresse på institusjonar og/eller avdelingar med fagleg ansvar for granskinga. Institusjonsnamna skal også vera på engelsk.

## UTDRAG OG NØKKELOD

Utdrag og nøkkelord skal vera på engelsk (abstract, key words). Bruk nøkkelord som er lista i Agrovoc. Utdraget skal ikkje vera lengre enn 150 ord. Det skal gi eit kort samandrag av artikkelen med hovudvekt på resultat og konklusjonar og mindre vekt på føremålet med granskinga og metodane. Bruk berre standard forkortingar i utdraget.

Bruk ikkje fleire enn 10 nøkkelord, som skal førast opp alfabetisk. Oppgi namn og adresse på den forfattaren som skal ta imot eventuell korrespondanse, korrektur og særprent.

## ETTERORD

Takk skal rettast berre til personar som har ytt noko vesentleg til granskinga. Forfattaren skal sikra seg at personar som vert nemnde, kan gå god for resultat og konklusjonane i artikkelen.

## TABELLAR

Skriv kvar tabell med 8 mm lineavstand på eige ark. Nummerer tabellane med arabiske tal. Gi kvar tabell ei stutt, men dekkjande tekst så lesaren kan skjønna tabellen utan å sjå i artikkelteksta. Bruk fotnotar til forklaring av forkortingar o.l., og bruk desse symbola i rekkjefølgja: ')', ')', ')', ')', ')').

Unngå loddrette og vassrette liner i tabellane. Tabellteksta og all tekst i tabellen skal vera omsett til engelsk.

## FIGURAR

Alle illustrasjonar vert rekna som figurar. Dei skal nummereast med arabiske tal. Bokstavar, tal og symbol må vera klare, stå i høve til kvarandre og vera store nok til å tåla minsking. Forfattaren bør gjera seg opp ei meining om figurane skal dekkja 1, 1½ eller 2 spaltar og teikna figurane slik at tal og bokstavar i alle vert om lag like store etter minsking. Fotografi bør vera så nær den prenta storleiken som mogleg. Om forstørring eller minsking er viktig for fotografiet, bør målestokken stå på baksida av fotografiet og ikkje i teksta til bildet. Kvar figur skal ha ei tekst som gjer han skjønleg utan å sjå i artikkelteksta. Alle figurtekstene skal skrivast på eige ark og med engelsk omsetjing.

## LITTERATURTILVISINGAR

I teksta vert det vist til litteratur ved forfattarnamn og årstal etter Harvardsystemet: Høeg (1971) eller (Høeg 1971). Eit arbeid av to forfattarar vert vist til ved begge namna kvar gong: Oen & Vestrheim (1985) eller (Oen & Vestrheim 1985). Når det er fleire enn to forfattarar, skal ein visa til første forfattaren med tillegget «et al.»: Aase et al. (1977) eller (Aase et al. 1977). Litteraturlista vert ordna alfabetisk etter forfattarnamn, og under kvar forfattar i kronologisk orden. Er ein vist til fleire publikasjonar av same forfattar same året, må ein føya til a, b osv. etter årstalet både i litteraturlista og ved tilvising i teksta.

Høeg, O.A. 1971. Vitenskapelig forfatterskap. 2. utg. Universitetsforlaget, Oslo. 131 s.

Junttila, O. & I. Schjelderup 1984. Seed production and viviparity in timothy (*Phleum pratense* L.), s. 51–55 i H. Riley & A.O. Skjelvåg (red.). The Impact of Climate on Grass Production and Quality. Proceedings of The 10th General meeting of The European Grassland Federation, Ås–Norway 26–30 June 1984.

Oen, H. & S. Vestrheim 1985. Detection of non-volatile acids in sweet cherry fruits. *Acta agriculturæ scandinavica* 35: 145–152.

Strømnes, R. 1983. Maskinell markberedning og manuell planting. *Landbrukets årbok* 1984: 265–278.

Uhlen, G. 1968. Nitrogengjødsling til ettårig raigras. *Jord og avling* 10 (3): 5–8.

Aase, K.F., F. Sundstøl & K. Myhr 1977. Forsøk med strandrøyr og nokre andre grasarter. *Forskning og forsøk i landbruket* 27: 575–604.

Legg merke til at:

- Berre første forfattaren skal ha etternamnet først
- Teiknet & vert brukt mellom forfattarnamn
- Årstalet etter forfattarnamnet er prentearåret for publikasjonen
- Heftennummer vert sett i parentes etter band/årgangsnummer. Heftennummer vert teke med berre når kvart hefte byrjar med side 1
- Det skal brukast kolon framfor sidetal for tidskriftartiklar
- Årstal skal nyttast der band/årgangsnummer vantar
- Ved tilvising til bok skal forlag og utgjevarstad førast opp etter tittelen på boka. Dersom boka har komme i fleire utgåver, skal det stå kva for utgåve som er nytta
- Det vert ikkje tilrådd å forkorta namnet på publikasjonar. Eventuelle forkortingar bør følgja World List of Scientific Periodicals med tillegget av BUCOP, British Union Catalogue of Periodicals

## FORKORTINGAR

Bruk standard forkortingar. Avstyttingar som ikkje er standard, skal forklarast i teksta første gongen dei vert brukte. Kvantum og einingar skal vera i samsvar med «Système International d'Unités» (SI).

## KORREKTUR

Første korrektur, som er på ferdigmonterte sider, vert sendt til forfattaren, som straks les gjennom og returnerer korrektoren til redaksjonen. Prentefeil skal rettast med blått og eventuelle endringar som forfattaren gjer, med raudt. Andre korrektur vert lesen av redaksjonen.

## SÆRPRENT

Saman med første korrektoren til forfattaren vert det sendt ei prisliste og eit kort til tinging av særprent. Forfattaren får 50 særprent gratis. Tinging må sendast redaksjonen saman med korrektoren.

Martin Sandvik

Norsk institutt for skogforskning

Høgskoleveien 12

1432 ÅS

*Bibliotek*