

INSTITUTT FOR JORDKULTUR  
NORGES LANDBRUKSHØGSKOLE  
1432 AS-NLH

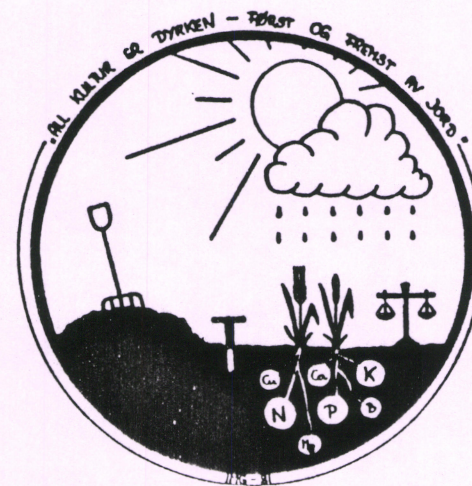
---

SERIE B 2/85

TUNGMETALLOPPTAK I PLANTER VED  
BRUK AV KLOAKKSLAM

AV

EINAR VIGERUST OG ALF REIDAR SELMER-OLSEN\*



DEPARTMENT OF SOIL FERTILITY AND MANAGEMENT

\* ANALYTICAL CHEMICAL LABORATORY

AGRICULTURAL UNIVERSITY OF NORWAY

N-1432 AS-NLH, NORWAY





INSTITUTT FOR JORDKULTUR  
NORGES LANDBRUKSHØGSKOLE  
1432 AS-NLH

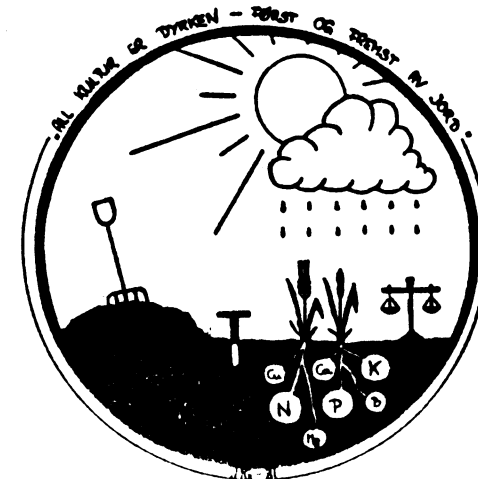
---

SERIE B 2/85

TUNGMETALLOPPTAK I PLANTER VED  
BRUK AV KLOAKKSLAM

AV

EINAR VIGERUST OG ALF REIDAR SELMER-OLSEN\*



DEPARTMENT OF SOIL FERTILITY AND MANAGEMENT

\* ANALYTICAL CHEMICAL LABORATORY

AGRICULTURAL UNIVERSITY OF NORWAY  
N-1432 AS-NLH, NORWAY



- 34) Schauer, P.S., W.R. Wright and J. Pelchat, 1980. Sludge-borne heavy metal availability and uptake by vegetable crops under field conditions. J. Environ. Qual. Vol. 9, No. 1: 69-73.
- 35) Sheaffer, C.C., A.M. Decker, R.L. Chaney and L.W. Douglass, 1979. Soil temperature and Sewage sludge effects on metals in crop tissue and soils. J. Environ. Qual. Vol. 8, No. 4: 455-459.
- 36) Selmer-Olsen, A.R. og G. Goffeng, 1977. Fysisk og kjemisk avfallssammensetning. Kongsvingerundersøkelsene, melding nr. 9, 16 s.
- 37) Siriratpiriya, O., E. Vigerust and A.R. Selmer-Olsen (in press). Effect of temperature and heavy metal application on metal content in lettuce. Sci. reports of the agric. university of Norway.
- 38) Sorteberg, A., 1972. Kloakkslam og tungmetaller. Norsk Landbruk nr 22, 7 s.
- 39) Statens Forurensningstilsyn, 1982. Retningslinjer for lagring og disponering av kloakkslam. TA-573, SFT. 102 s.
- 40) Torp, M., 1980. Kloakkslam til jordbruksformål. Hovedoppgave Inst. f. jordkultur, NLH, 125 s.
- 41) Valdmaa, K., 1972. Jordbrukets krav på slamkvalitet. Attonde nordiska symposiet om vattenforskning. Nordforsk. Publikasjon 1972-3: 223-236.
- 42) Vigerust, E. og T. Guldahl, 1981. Bruk av kloakkslam på grøntarealer. Slamdisponering 4. Proj.nr. 2.2.15. NTNFS Utvalg for fast avfall. 69 s.
- 43) Vigerust, E., 1983. Use of sewage sludge on green area. CEC.-Proceedings of a Seminar. Uppsala, June 1983: 36-46.
- 44) Vigerust, E. og J.G. Weng, 1983. Kalkholdig kloakkslam - Metoder, virkning og bruk. Inst. f. jordkultur, Serie B 4/83, 31 s.
- 45) Zwarich, M.A. and J.G. Mills, 1979. Effects of sewage sludge application on the heavy metal content of wheat and forage crops. Can. J. Soil Sci. 59: 231-239.

## TUNGMETALLOPPTAK I PLANTER VED BRUK AV KLOAKKSLAM

Av Einar Vigerust og Alf Reidar Selmer-Olsen

### INNHOOLD

I	INNLEDNING .....	1
II	KLOAKKSLAM OG AVFALLSKOMPOST TIL JORDBRUKS- FORMÅL .....	2
	1. Forsøksopplegg.....	2
	2. Innhold og tungmetaller og avfallskompost brukt i forsøkene.....	3
	3. Tungmetallinnhold i avlingsprøver.....	6
	a. Kadmium.....	6
	b. Bly.....	7
	c. Sink.....	8
	d. Nikkel.....	10
	e. Kopper.....	12
	f. Mangan.....	14
	g. Jern.....	14
	h. Kobolt.....	16
	i. Bor.....	17
	j. Konklusjoner.....	17
III	FORSØK MED ULIKE VEKSTER DYRKET I 0, 10 CM OG 40 CM OMSATT SLAM.....	18
	1. Forsøksopplegg.....	18
	2. pH og andre jordanalyser.....	21
	3. Tungmetallinnhold i ulike planteslag og ulike plantedeler.....	24
	a. Kadmium.....	25
	b. Bly.....	25
	c. Sink.....	27
	d. Nikkel.....	27
	e. Kopper.....	28
	f. Mangan.....	28

	SIDE
g. Krom.....	30
h. Jern.....	30
i. Kvikksølv.....	30
j. Kobolt.....	33
k. Bor.....	34
l. Sammenfatning.....	35
4. Virkning av kalk på metalloptak i planter.....	36
a. Dyrking i rent kalkslam.....	36
b. Ulik kalking på felt med kloakkslam..	37
5. Virkning av dremsforhold.....	40
6. Metallinnhold i ulike plantedeler.....	42
7. Metallinnhold i ulike blad av forbete...	44
8. Innhold i salat og spinat etter ulik høstetid.....	45
IV SAMMENSTILLING AV ANDRE UNDERSØKELSER.....	46
V DISKUSJON.....	48
VI SAMMENDRAG.....	53
VII LITTERATUR.....	56

- 17) Furr, A.K., W.C. Kelby, C.A. Bache, H. Gütenmann and D.J. Lisk, 1976. Multielement absorption by crops grown in pots on municipal sludge-amended soil. *J. Agric. Food Chem.* 24, 889-892.
- 18) Gaynor, J.D. and R.L. Halstead, 1976. Chemical and plant growth on soils amended with sludge. *Can. J. Soil Sci.* 56: 1-8.
- 19) Giordano, P.M., J.J. Mortvedt and D.A. Mays, 1975. Effect of municipal wastes on crop yields and uptake of heavy metals. *J. Environ. Qual.*, Vol. 4: 394-399.
- 20) Hallberg, P.A. og E. Vigerust, 1981. Slamdisponering 3. Tungmetaller i kloakkslam. Prosjekt 2.2.15 Utvalg for fast avfall, NTNF, 82 s.
- 21) Hamar, T.O., 1974. Kloakkslam til plantedyrking. Hovedoppgave Inst. f. jordkultur, NLH. 127 s.
- 22) Hornum, M.F., 1981. Cirkulation af bly, cadmium, kobber, zink og nikkel i dansk landbrug. *Slammets Jordbrugsanvendelse. II Fokusering*, Poly-teknisk forlag, Lyngby, s. 85-118.
- 23) John, M.K. and C.J. Van Laerhoven, 1976. Effects of Sewage Sludge Composition, Application Rate, and Lime Regime on Plant Availability of Heavy Metals. *J. Environ. Qual.* Vol. 5, No. 3: 246-251.
- 24) Kelling, K.A., D.R. Keeney, L.M. Walsh and J.A. Ryan, 1977. A field study of the agricultural use of Sewage Sludge: III Effect on uptake and Extractability of sludge - borne metals. *J. Environ. Qual.* Vol. 6, No. 4: 352-358.
- 25) Koskela, I., 1978. Disposal of municipal sludges containing heavy metals in agriculture Seminar on Heavy Metals, Technological Methods for the Limitation of Discharges. Copenhagen 4. - 7. June. 3,5: 1-12.
- 26) Kaaber, W.R., N.K. Veien and J.C. Tjell, 1978. Low nickel diet in the treatment of patients with chronic nickel dermatitis. *British Journal of Dermatology*, 98 p.
- 27) Latterell, J.J., R.H. Dowdy and W.E. Larson, 1978. Correlation of extractable metals and metal uptake of snap bean grown on soil amended with sewage sludge. *J. Environ. Qual.* Vol. 7, No. 3: 435-440.
- 28) Linnman, L., A. Andersson, K.O. Nilsson, B. Lind, T. Kjellström and L. Friberg, 1973. Cadmium uptake by wheat from sewage sludge used as a plant nutrient source. *Archiv. Environ. Health.* Vol. 27: 45-47.
- 29) Martinsen, J.H., 1976. Kloakkslam som gjødsel og jordforbedringsmiddel. Inst. f. jordkultur, NLH, stensiltrykk, 221 s.
- 30) McIntyre, D.R., W.J. Silver and K.S. Griggs, 1977. Trace elements uptake by field-grown plants fertilized with waste water sewage sludge. *Compost Sci.* 18,5: 22-29.
- 31) Nystuen, J., 1985. Personlige opplysninger.
- 32) Sabey, B.R. and W.E. Hart, 1975. Land application of sewage sludge: I. Effect on growth and chemical composition of plants. *J. Environ. Qual.* Vol. 4, No. 2: 252-256.
- 33) Sauerbeck, D. 1982. Welche Schwermetallgehalte in Pflanzen dürfen nicht überschritten werden, ein Wachstumsbeeinträchtigungen zu vermeiden. Kongressband 1982. Vorträge 94. VDLUFA-Kongress, Münster. Sept. 1982 s. 108-129.



## VII LITTERATUR

- 1) Andersson, A. og K.O. Nilsson, 1976. Influence on the levels of heavy metals in soil and plant from sewage sludge used as fertilizer. Swedish J. agric. res., 6:151-159.
- 2) Andersson, A., 1983. Composted municipal refuse as fertilizer and soil conditioner. Effects on the content of heavy metals in soil and plant, as compared to sewage sludge, manure and commercial fertilizers. CEC. Utilization of Sewage Sludge on Land. Proceedings of a Seminar, Uppsala, p. 146-156.
- 3) Bergmann, W. und P. Neubert, 1976. Pflanzendiagnose und pflanzenanalyse. VEB GUSTAV FISCHER VERLAG, JENA, 710 s.
- 4) Bærug, R. and J.H. Martinsen, 1977. The influence of sewage sludge on the content of heavy metals in potatoes and on tuber yield. Plant and Soil, Vol. 47, No. 2: 407-417.
- 5) Chaney, R.L., 1974. Recommendations for management of potentially toxic elements in agricultural and municipal wastes. USDA National Program Staff Soil, Water and Air Sciences Beltsville, U.D.
- 6) Chaney, R.L., S.B. Hornick and P.W. Simon, 1977. Heavy metal relationships during land utilization of sewage sludge in the northeast. Land as a Waste Management Alternative. U.S. Dep. of Agric. Beltsville, Maryland: 283-310.
- 7) Christensen, T.H. and J.C. Tjell, 1983. Interpretation of experimental results on cadmium crop uptake from sewage sludge amended soil CEC - Proceedings of the Third International Symposium, Brighton, Sept. 83: 358-369.
- 8) Cunningham, T.D., D.R. Keeney and J.H. Ryan, 1975. Yield and metal composition of corn and rye forage grown on sewage sludge-amended soil. J. Environ. Qual. Vol. 4, No. 4: 448-454.
- 9) Damgaard-Larsen, S., K.E. Larsen og P. Søndergaard Klausen, 1979. Årlig tilførsel af slam fra rensningsanlæg til landbrugsjord. Tidsskr. f. Planteavl. 83: 349-386.
- 10) Damgaard-Larsen, S., P. Søndergaard Klausen og K.E. Larsen, 1979. Engangstilførsel af slam fra rensningsanlæg til landbrugsjord. Tidsskr. f. Planteavl. 83: 387-403.
- 11) Dowdy, R.H. and W.E. Larson, 1975. Metal uptake by barley seedlings grown on soil amended with sewage sludge. J. Environ. Qual. Vol. 4, No. 2: 229-233.
- 12) Dowdy, R.H. and W.E. Larson, 1975. The availability of sludge-borne metals to various vegetable crops. J. Environ. Qual., Vol. 4, No. 2: 278-282.
- 13) Dudas, M.J. and S. Pawluk, 1975. Trace elements in sewage sludges and metal uptake by plants grown on sludge-amended soils. Can. J. Soil Sci. 55, 239-243.
- 14) Elinder, C.-G., L. Friberg og M. Piscater, 1978. Hälsoeffekter av kadmium. Läkartidningen. Vol. 75, Nr. 47: 4365-4347.
- 15) Elinder, C.-G. and E. Kessler, 1983. Toxicity of metals. CEC. Proceedings of a Seminar, Uppsala, 1983.
- 16) Frøslie, A., 1980. Økotoksikologiske problemer i Norge fra en veterinær synsvinkel. Symposium om økotoksikologi 6. og 7. nov. 1978, stensiltrykk.

## TUNGMETALLOPPTAK I PLANTER VED BRUK AV KLOAKKSLAM

Av Einar Vigerust og Alf Reidar Selmer-Olsen

### I INNLEDNING

Det er frykt for at tungmetaller kan medføre skadevirkninger på planter, dyr og mennesker. Det har derfor vært lagt særlig stor vekt på innholdet av metaller i menneskelig ernæring. Det synes å være enighet om at stoffene kadmium, bly og kvikksølv er de metallene som er mest skadelig for dyr og mennesker.

Høyt innhold av kopper i fôret kan gi alvorlige skader hos sau (FRØSLIE, 1980). Nikkel kan forårsake allergi hos mennesker og en økning av nikkelinhold i kosten kan øke frekvensen av nikkelbetinget allergi (KAABER et al. 1978). Flere av tungmetallene er imidlertid nødvendige for planter, dyr og mennesker.

Stoffene sink, nikkel, kopper og mangan kan i høye konsentrasjoner skade planteveksten, mens de under normale forhold sjelden er toksiske overfor dyr og mennesker (unntak Cu-effekt på sau). Flere av metallene er livsnødvendige og mangel kan forekomme.

Kloakkslam og avfallskompost kan ha høyt innhold av tungmetaller. Spørsmålet om bruk av avfallsstoffer på jordarealer blir derfor knyttet til risikoen for skadelige effekter av tungmetaller. I retningslinjene (SFT, 1982) for bruk av kloakkslam er det angitt maksimale doseringer pr areal-enhet og maksimale konsentrasjoner av enkelte metaller i kloakkslammet. Dette er gjort for å hindre at belastningen av metaller skal bli for stor.

Til jordbruksformål blir det ofte brukt relativt ferskt kloakkslam. Slammengder på 3-4 tonn tørrstoff pr dekar vil stort sett dekke nitrogenbehovet til korn. Avhengig av slamkvaliteten kan større mengder virke hemmende på veksten. Innen jordbruket er en mest interessert i slam som jordforbedringsmiddel, det betyr at det er ønske om å bruke så store mengder som mulig på den dårligste jorda, men uten at en får veksthemming.

For å unngå lukt eller risiko for spredning av sykdoms-smitte må en på grøntarealer utelukkende bruke slam som er godt omsatt. Slamkompost har vesentlig mindre N-effekt enn ferskere slam.

På grøntarealer er det selve massen organisk stoff en er interessert i. Forsøk antyder at det helst ikke bør brukes mengder over 4-10 cm ren slamkompost (VIGERUST og GULDAHL, 1981). Dette er avhengig av hvilken N-effekt komposten har og hvilken N-virkning en kan akseptere. De mengdene med slam som det er ønskelig å bruke på grøntarealer er derfor vesentlig høyere enn til jordbruksformål.

Rapporten omhandler to typer vekstforsøk med kloakkslam. Hovedvekten er lagt på planteanalysene.

A) Til jordbruksformål er stigende mengde kloakkslam eller avfallskompost sammenlignet.

B) En rekke ulike vekster er dyrket i:

- a) matjord, b) 10 cm slam blandet med matjord,
- c) 40 cm rent slam.

Forsøksseriene omtales hver for seg.

## II KLOAKKSLAM OG AVFALLSKOMPOST TIL JORDBRUKSFORMÅL

### 1. Forsøksopplegg

Det er utført en rekke markforsøk, de fleste utført av forsøksringer ulike steder på Østlandet og Sørlandet.

3. En sammenstilling av en del publiserte resultater viste at etter tilføring av slam fikk en i middel disse pst.-vise økningene i plantene: Zn 117%, Cd 84%, Ni 64%, Cu 56%. Innholdet av Pb, Hg og Cr var omtrent ikke påvirket. I flere av forsøkene som inngikk, var det brukt meget store mengder slam som til dels hadde svært høyt innhold av tungmetaller.
4. På grunnlag av forsøksresultatene er bl.a. aktuelle bruksmåter for slam diskutert.



uregelmessig påvirket av slam for enkelte vekster kan slamtilførsel ha gitt plantetoksiske effekter. Selv rent slam ga neppe skadelige effekter av Ni på plantene.

Innholdet av Pb, Hg, Cr og Co i plantene økte ubetydelig med slammengdene.

Mn-innholdet var til dels meget høyt i planter dyrket i rent slam, mens innholdet var lavt etter dyrking i 0 og 10 cm slam.

- b) Innholdet av tungmetaller varierte sterkt med plante-slag og plantedel. Korn hadde jevnt over lavt innhold av tungmetaller, det var oftest merkbart høyere i halmen. Metallinnholdet var også lavt i potetknoller uavhengig av behandlingen. Innholdet var regelmessig høyere i bladverket enn i rotfruktene (og potet). Salat, og dels rødbeter, spinat og mais hadde relativt høyt innhold av flere av metallene.
- c) Tilføring av kalk til jorda reduserer normalt tilgjengeligheten av de fleste tungmetaller. Kalking av slam eller slamblanda jord har derimot i liten grad senket metallinnholdet i plantene.
- d) I 100 l kar med rent slam med og uten drenering ble det dyrket raps. Udrenert slam ga planter med tydelig høyere innhold av Fe og med litt høyere innhold av Pb, Cu, Cd og Cr enn i udrenert slam. For Zn, Mn og Ni var det liten virkning av dreneringen.
- e) De små ytterbladene av forbete hadde betydelig lavere innhold av Cd, Zn og Mn enn tilfelle var for hele bladmassen. Ytterbladene hadde derimot betydelig høyere innhold av Fe. For Cu og Ni var det liten forskjell.
- f) Salat og spinat ble høstet på to ulike tidspunkter. Innholdet av Cd og Ni gikk ned fra 1. til 2. høstetid, innholdet av Pb, Cu og Cr var derimot størst ved siste høsting. For Zn og Mn var det små forskjeller mellom høstetidene.

Forsøkene tok sikte på å klarlegge virkningen av kloakkslam og avfallskompost på vekstforhold. De fleste forsøkene var kombinert med N-gjødsling for å klarlegge slammets nitrogen-effekt. Det har vært nyttet litt ulike forsøksplaner med stigende mengde kloakkslam pr dekar.

De fleste forsøkene er utført i korn, i tillegg har det vært 2 forsøk i eng og 3 forsøk med raps.

Det er også utført 2 markforsøk med avfallskompost til eng. I det ene forsøket sammenlignet en virkningen av avfallskompost og kloakkslam. I tillegg var det ett markforsøk med stigende mengde avfallskompost til korn.

De fleste forsøkene har gått i 2 år. Det er tatt ut avlingsprøver fra forsøksleddene. Rapporten behandler bare resultater av de kjemiske analysene av avlingsprøver.

For forsøksledd med slam ble det bare analysert prøver fra ledd uten tilleggsjødsling av N. Uten slam ble det bare analysert avlingsprøver fra ledd tilført N-gjødsel for å kompensere slammets N-effekt. Det var derfor liten forskjell i avling mellom de analyserte forsøksleddene.

Fra forsøkene er det tatt ut jordprøver etter 1. eller 2. forsøksår, i noen tilfelle begge deler. For forsøksledd som ikke var tilført kalkslam, har det som helhet vært ubetydelige endringer i pH for stigende tilføring av kloakkslam (bortsett fra ett unntak). I tabellene som viser avlingsanalysene er ført opp pH for kontrollleddet vanlig uttatt høsten etter 1. avling.

2. Innhold av tungmetaller i slam og avfallskompost brukt i forsøkene

Det er utført analyser av slam og avfallskompost som er brukt i de fleste av forsøkene. Resultatene framgår av tabell 1.

Tabell 1. Tungmetallinnhold i slam og avfallskompost  
nyttet til vekstforsøk, mg pr kg tørrstoff

Forsøkssted	Cd	Pb	Zn	Ni	Cu	Mn	Cr	Hg
Ås	2.6	102	810	35	438	1010	54	
Elverum	1.2	41	430	13	291	169	21	
Ådal	1.7	252	264	7	206	71	37	
Jeløy	1.4	8	84	9	106	116	21	
Vestby	1.5	141	140	23	166	78	26	
Sel 1	2.5		578	32	209	220		
Sel 2	1.2		388	9	178	80	90	
Evje	5	140	600	80	880		49	2.2
Gjøvik	8	80	1300	64	630		46	2.6
Brummundal *)	5	105	290	52	290		23	0.9
Nes *)	4	81	2630	35	130		24	2.9
Kapp *)	6	68	450	41	182		58	1.5
Tynset	5	130	820	29	250			6.7
Bekkelaget *)	3.9	166	1180	75	799	385	411	4.8
VEAS fersk *)	2.2	100	511	34	426	275	71	2.5
VEAS kompost *)	1.9	95	617	37	513	309	63	2.0
Avfallskompost <sup>1)</sup>	7	690	3200	51	360	800	360	4
Øvre grense <sup>2)</sup> "normal slam"	10	300	3000	100	1000	500	200	7
Medianverdi norske r.a. <sup>3)</sup>	4	79	612	30	370	265	65	4

\*) Renseanlegget slammet kommer fra.

1) SELMER-OLSEN OG GOPFENG (1977)

2) SFT (1982)

3) HALLBERG og VIGERUST (1981)

andre driftsformer. Halmen bør også vurderes i denne sammenheng.

Mye tyder på at belastningen av de fleste metallene er moderat under norske forhold i dag. Tungmetallinnholdet i slam fra norske renseanlegg må karakteriseres som lavt.

Kloakkslammet betyr et tillegg i belastningen av tungmetaller i vårt miljø. Det er viktig å ha klart for seg at dette problemet må vurderes på lang sikt.

#### VI SAMMENDRAG

Undersøkelsene tok sikte på å klarlegge hvilken virkning bruk av kloakkslam har på innholdet av tungmetaller i planter.

#### 1. Forsøk med slam til jordbruksformål.

a) I 16 feltforsøk (28 felthøstinger) har tilført kloakkslam i svært liten grad endret innholdet av Cd, Pb og Fe i plantene (korn, gras og raps). Stigende mengde slam førte til moderat men jevn økning av Cu og Mn i avling. Innholdet av Zn økte derimot sterkt og regelmessig med stigende mengde slam. Zn-innholdet nådde likevel ikke kritiske verdier i plantene.

b) Store mengder avfallskompost førte til en viss økning av innhold av Cd, Pb, Ni og Mn i gras og korn. Innholdet av Zn økte sterkt og regelmessig med doseringen av avfallskompost.

#### 2. I forsøk som gikk over 3-4 år ble det dyrket ulike vekster i 0, 10 og 40 cm omsatt slam.

a) Som helhet for alle vekster ble metallinnholdet påvirket i denne rekkefølgen:

Zn >> Ni > Cd > Cu > Pb > Cr, Hg.

Stigende mengde slam har hevet innholdet av Zn spesielt mye og regelmessig. For flere vekster ble nivået for plantetoksiske effekter overskredet.

Innholdet av Ni, Cd og Cu økte moderat i forhold til metallmengdene tilført med slam. Innholdet av Cu var

Ved bruk av slam på typiske kornarealer kan en oppnå en svært god fortytning av tungmetallet Cd i produktene, idet korn fra ulike arealer blir blandet. Over en årrekke kan en også få en god fortytning av metaller bl.a. med markedsførte grønnsaker. Ved en slik vurdering betyr ikke mengden slam tilført pr arealenhet så mye, selv om det er ønskelig med en jevn fordeling. Det kan en likevel oppnå på lenger sikt. Stor belastning av et enkelt areal, er derimot særlig betenkelig for dem som stadig konsumerer mat dyrket på samme areal, det vil si gårdbrukerne selv eller hageeiere. I Norge har vi sterkt anbefalt at slam ikke nyttes på arealer der det er normalt å dyrke grønnsaker.

Den samla mengde slam er svært forskjellig i ulike fylker. En beregning antyder at mengden Cd i slam pr dekar av hele jordbruksarealet i fylket er 6-30 ganger større i Akershus med Oslo enn i de andre fylkene. Innen hvert fylke vil det igjen bli mest tilført i bynære strøk. Den samla mengden tungmetaller som blir tilført jordbruksarealene vil bli svært mye større i områder rundt ytre og indre Oslofjord og som normalt kan nås med slamtransporter enn andre steder.

Generelt sett vil også andre kilder for metalltilføring til dyrka jord være størst nær tettstedene. På lang sikt vil derfor jorda i bynære strøk bli mer anriket på metaller enn tilfelle ellers. Samtidig er disse arealene en særlig viktig leverandør av matvarer, særlig grønnsaker, til tettstedene. Denne gradvise økte belastningen i byenes nærområder innebærer på lang sikt en større risiko enn om det tillates spredd store mengder slam på visse arealer ellers i landet. Ved bruk av slam vil en oppnå en særlig sikkerhet om en unngår spredning på arealer der det er normalt å dyrke grønnsaker.

I Norge er det særlig aktuelt og ønskelig å bruke slam i jordbruket på dårlige jordarealer hvor korndyrking er normalt. Ensidig korndyrking er i dag en svært vanlig driftsform her i landet. Under slike forhold betyr doseringsmengden pr arealenhet svært lite når det gjelder risikomomenter ved tungmetaller. Kanskje kan det til og med være riktigere å tillate relativt store slammengder brukt på disse arealene framfor å ta i bruk arealer med

Tabell 2. Kadmiuminnhold i avlingen fra vekstforsøk med kloakkslam og avfallskompost, mg pr kg tørretstoff.

Forsøkssted	Vekst	Jordart	pH	Tonn s/amtørretstoff pr dekar					
				0	1.5	3.0	4.5	6	12
Ås	1.år havre	Leirjord	6.0	0.12	0.09	0.11	0.10		
Elverum	1.år "	Sandjord	5.6	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10		
"	2.år "	"		0.03		0.02	0.02		0.02
Vestby	1.år "	Leirjord	5.8	<0.1		<0.1	<0.1		
"	2.år "	"		0.024			0.025		
Sel I	2.år "	Morene	5.8	0.048				0.068	0.103
Ådal	1.år "	Sandjord	6.0	<0.1		<0.1	<0.1		<0.1
"	1.år h.halm	"		0.13		0.10	0.15		0.17
"	2.år bygg	"	6.0	0.005			0.008		
Gjøvik	1.år havre	Morene	6.6	0.056			0.046		0.057
"	2.år bygg	"		0.043	0.034	0.040	0.038		0.040
Sel II	2.år "	Sandjord	5.7	0.079				0.054	0.061
Jelsøy	1.år "	Sandjord	6.6	<0.1		<0.1	<0.1		<0.1
"	2.år "	"		0.017			0.021		0.015
Eidevoll	1.år "	Sandjord	6.5	0.045		0.041	0.039	0.060	0.053
Evje	2.år "	Sandjord	5.9	0.14		0.15		0.17	
Tynset	1.år eng	Silt	5.8	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
"	2.år "1.et	"		0.012			0.015		
"	" "2.et	"		0.017			0.020		
Otta	2.år "1.et	Morene	5.8	0.019			0.026		
Ås	2.år raps	Leirjord	6.0	0.027			0.029		
Sel I	1.år "	Sandjord		0.019				0.026	0.021
Sel 2	1.år "	Sandjord		0.039			0.01		0.031
Stigende mengde kalkslam						0	2.5	5	7.5
Toten	1.år bygg	Morene	5.8				0.026		0.012
"	2.år havre	Morene					0.035	0.035	0.038

Ulike typer slam 6 t. TS/dekar	VEAS		BEKELAGET				
	0	fersk	kompost	fersk			
Røyken 1.år bygg	Leirjord	6.6	0.076	0.049	0.046	0.070	
Røyken 2.år hvete	"		0.078		0.075	0.082	
Ulike typer slam 7.5 t. TS/da				0	Moelv	Nes	Brumundal
Ringsaker 1.år bygg	Morene	5.3	0.024	0.025	0.028	0.038	

	Jordart	pH	Tonn avfallskompost TS/da			
			0	5	10	15
Flekkefjord 1.år eng	Sandjord	6.6	0.081			0.163
" 2.år eng 1.sl.	"		0.036	0.040	0.045	0.080
" " 2.sl.	"		0.049	0.059	0.095	0.088
" 3.år 1.sl.	"		0.071	0.088	0.116	0.144
" 2.sl.	"		0.085	0.193	0.310	0.108
			0	12 t avf.komp.	6 t kalkslam	
Kr.sand 2.år eng	Sandjord	5.8	0.028	0.040		0.018
Kingsvinger havre	silt		0	8	16	24t
			0.12	0.13	0.19	0.16

Alle slamprøvene viste lavere innhold av de aktuelle tungmetallene enn øvre grenseverdi for "normalslam" eller retningslinjene for disponering av kloakkslam (SFT, 1982). Analyseverdiene i tabellen er vurdert i forhold til 1/2 og 1/3 av grenseverdien:

	Cd	Pb	Zn	Ni	Cu	Cr
Antall analyser	16	14	16	16	16	14
Antall >1/2 grenseverdien	2	2	1	4	2	1
" >1/3 " "	9	6	2	9	4	2

Innholdet av tungmetaller i det slam som er brukt i forsøkene må stort sett karakteriseres som lavt. En undersøkelse tyder på at innholdet av de viktigste tungmetallene stort sett er lavt i slam fra norske renseanlegg (HALLBERG og VIGERUST, 1981).

Det er ikke foretatt analyser av avfallskompost nyttet i forsøkene.

### 3. Tungmetallinnhold i avlingsprøver

#### a) Kadmium, Cd (tabell 2)

For flere avlingsprøver er Cd-innholdet oppgitt til mindre enn 0,1 mg pr kg tørrstoff. Som helhet har ikke stigende mengde kloakkslam ført til høyere Cd innhold i korn.

Det eneste forsøket som ga tydelig økt innhold av Cd-innholdet i korn var forsøket på Sel (I). Slammet som var brukt hadde lavt Cd-innhold (2,5 mg Cd pr kg). Imidlertid har stigende slammengde senket jordas pH. Dette kan være en del av årsaken til økt Cd-opptak med slam. I tillegg var det middels sand med lavt moldinnhold. Moldfattig middels fin sand hadde også forsøkene i Ådal, Elverum og Jeløy. Her var det omtrent ingen endring i plantenes Cd-innhold etter tilføring av kloakkslam.

Ifølge ELINDER og KESSLER (1983) øker Cd-innholdet i menneskelige organismer som nyrer gradvis med alderen. Det må også bety at det samla opptaket over en årrekke har betydning. De hevder også at absorpsjonen av Cd i kroppen er avhengig av innholdet av bl.a. Zn i kosten og slik at økende Zn innhold reduserer Cd-opptaket. Tilføring av slam har spesielt hevet Zn-innholdet i plantene, dermed kan eventuelle skadevirkninger av Cd bli redusert. I denne sammenheng har Zn en dobbelt effekt idet tilgjengelig Zn i jorda reduserer plantenes opptak av Cd (CHANEY, 1974). Ved bruk av slam er det f.eks. anbefalt at Cd konsentrasjonen i slam ikke bør overstige 0.5 pst. av sinkinnholdet (l.e.).

Absorpsjonen av Cd i nyrer varierer sterkt blant ulike individer. Dette framgår av fig. 10, gjengitt etter ELINDER et.al (1978). Den heltrukne kurven i figuren antyder fordelingen i 1974, mens stipla kurve antyder mulig fordeling om Cd-innholdet i nyrebarken i middel blir økt 20 til 50 µg/g våtvekt. Det skraverte feltet antyder andelen av befolkningen som da risikerer kroniske nyreskader (det antydes at Cd-skader eventuelt kan oppstå også ved noe lavere innhold enn 20 µg/g i nyrene).

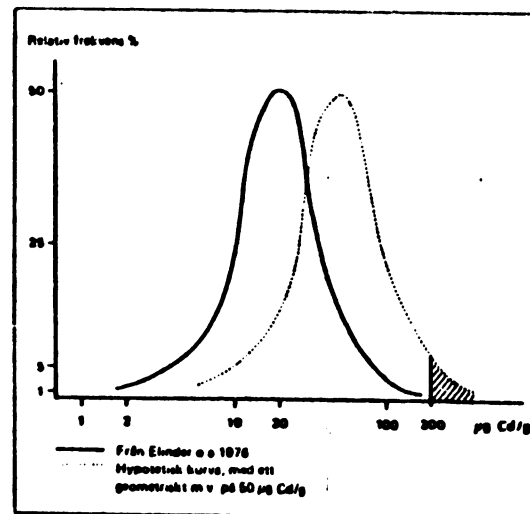


Figure : Distribution of frequency over Cd concentrations in kidney cortex of Swedes 1974 (left curve) and corresponding distribution at a geometric mean of 50 µg Cd/g (right curve)

Kurvene understreker ytterligere det langsiktige aspektet vedrørende Cd-belastningen. Dette må en ta med i vurderingen av det praktiske opplegget for slamdisponering, anbefalinger og retningslinjer for bruk av slam osv.



Dyrking i rent slam har gitt meget høye verdier av Mn i flere vekster. Det kan dels skyldes høyt Mn-innhold i slammet og dels at forholdsvis meget var i opptagbar form for plantene. Tilgjengeligheten av Mn var imidlertid størst i perioden med stor mikrobiologisk aktivitet.

Etter hvert som slammet blir mer omsatt blir trolig tilgjengeligheten av Mn mindre, dels fordi strukturen tillater større luftveksling slik at Mn blir oksydert. Dels kan også reduserende stoffer i starten blir borte. I tillegg krever også stor mikrobiologisk aktivitet i startfasen mye oksygen.

Selv ved dyrking i rent slam har ikke Ni-innholdet i plantene kommet opp i et nivå for antatt skadevirkning (SAUERBECK, 1982).

Innholdet av Pb, Hg, Cr og Co i plantene var praktisk talt det samme etter dyrking i matjord og rent slam. Flere litteraturreferanser stadfester at innholdet av disse metallene i plantene i svært liten grad blir påvirket av slamtilførselen.

Norske undersøkelser har vist at innholdet av Cd, Zn, Mn og Fe i plantene øker merkbart ved stigende temperatur (SIRIRATPIRIYA et.al, 1985). Økt temperatur hadde derimot liten virkning på innholdet av Cu, Ni og Mo.

Bare en meget liten andel av de metallene som ble tilført jorda med slam i disse undersøkelsene, ble opptatt i plantene. Innholdet i jorda derimot tiltok sterkt.

Danske beregninger viser at det blir tilført tydelig større mengder metaller til dyrket jord enn det som samla blir ført bort. Vi er inne i en klar akkumuleringsfase for tungmetaller i slik jord (HOVMAND, 1981).

Det synes være enighet om at Cd er det mest betenkelige av de tilførte metallene.

I to forsøk har tilføring av slam ført til en svært beskjeden økning i Cd-innholdet i gras. Tilsvarende resultat fikk en i 3 forsøk med raps som forsøksvekst.

I et forsøk med kalkslam var det tendens til lavere Cd-innhold i korn med økt dosering av slam.

Som helhet viser forsøksseriene at stigende mengde slam har ført til små eller ubetydelige endringer i plantenes Cd-innhold.

I et forsøk ga stigende mengde avfallskompost liten økning i Cd-innholdet i korn, til tross for at det ble tilført opp til 24 tonn tørrstoff pr dekar.

I to andre forsøk har store mengder avfallskompost merkbart hevet Cd-innholdet i gras.

b) Bly, Pb (tabell 3)

Tidligere forsøk har vist at bruk av slam i liten grad har hevet Pb-innholdet i plantene (se litteratur, del IV). Dette var årsaken til at innholdet av bly i avlingsprøver bare ble bestemt i enkelte forsøk.

Tabell 3. Blyinnhold i avling fra vekstforsøk med kloakkslam og avfallskompost, mg Pb pr kg tørrstoff.

		pH	Tonn slamtørrstoff pr dekar				
			0	1.5	3.0	4.5	6
Ås havre	Leirjord	6.0	0.72	0.78	0.77	0.80	
Elverum havre	Sandjord	5.6	0.66	0.56	0.58	0.56	
Evje bygg	Sandjord	5.9	0.68		0.56		0.71

		Tonn avfallskompost. TS pr dekar				
		0	8	16	24	
Kongsvinger havre	Sandj.	0.84	0.93	0.98	0.84	

		0	5	10	15	
Flekkefjord 1.år eng	Sandj.	6.6	1.67			3.10
2.år 1.slått	"		0.52	0.52	0.97	0.99
	2.slått		0.94	1.16	2.51	2.10
3.år 1.slått			0.73	0.76	0.68	0.65
	2.slått		1.13	3.90	4.70	1.80

Tilføring av slam har omtrent ikke påvirket plantenes bly-opptak.

Avfallskompost har forholdsvis høyt innhold av bly (ANDERSSON, 1983, SELMER-OLSEN og GOFFENG, 1977).

I et forsøk med avfallskompost var det uregelmessig endring i Pb-innholdet i korn etter stigende dosering. Stigende kompostmengder økte derimot blyinnholdet i gras.

c) Sink, Zn (tabell 4)

Tilføring av stigende mengde kloakkslam førte til en regelmessig økning av Zn-innholdet i korn. For 7 forsøk (12 høstinger) har tilføring av 4.5 tonn slam-tørrstoff pr dekar økt Zn-innholdet i kornkjernene med 29 pst. i middel i forhold til kontrollleddet. I 7 forsøk (9 høstinger) resulterte 12 tonn slam-tørrstoff i middel 74 pst. høyere Zn-innhold i korn i forhold til uten slam.

Innholdet av Zn i halm ble bare bestemt fra ett forsøk. I ledd uten kloakkslam var innholdet knapt 1/3 av innholdet i kornet. Etter tilføring av 4.5 tonn tørrstoff pr dekar var Zn-innholdet i korn vel det dobbelte av konsentrasjonen i halm. Tilføring av 12 tonn slam-tørrstoff pr dekar ga derimot vel det dobbelte innholdet i halm i forhold til korn.

Tilføring av stigende mengde kalkslam til korn har i meget liten grad hevet innholdet i korn (Toten). Slam fra renseanleggene VEAS, Nes, Brummundal og Kristiansand har også høyt kalkinnhold og har i liten grad påvirket plantenes Zn-innhold.

I to forsøk med slam til eng har 4.5 tonn TS/da økt Zn-innholdet i gras til ca det dobbelte. I to forsøk på Sel har både 6 og 12 tonn slam-tørrstoff økt Zn-innholdet i raps til det dobbelte av innholdet etter dyrking uten slam. I et forsøk på Ås var derimot Zn-innholdet i raps ikke endret etter bruk av 4.5 tonn tørrstoff pr dekar.

mellomprodukter som trolig kan kompleksbinde tungmetaller på ulik måte og med ulik styrke.

Det er indikasjoner på at noe av det organiske materialet i slam er nokså bestandig mot nedbrytning (VIGERUST, 1983).

Ved mikrobiell nedbrytning dannes CO<sub>2</sub> som kan forårsake utfelling av metaller i form av karbonater (CHRISTENSEN og TJELL, 1984). Slik utfelling er muligens av begrenset omfang ved så lave pH-verdier som i forsøket. Det er vanskelig å forklare dette i detalj. Kalking har trolig stimulert den mikrobiologiske aktiviteten og dermed ble de fysikalsk-kjemiske forholdene påvirket på en allsidig måte.

En nedbrytning kan også ødelegge en del metallkomplekser og dermed gi utfellinger av metallene. En pH-forandring kan også forårsake visse forandringer i metallforbindelsene.

Det er mulig at kalking av rent slam på lengre sikt vil påvirke tilgjengeligheten av tungmetaller mer etter hvert som det lett omsettbare materiale er borte og det særlig blir mere stabile forbindelser tilbake.

Undersøkelsene viste at Zn var det metallet som lettest ble tatt opp fra slam eller jord tilført slam. Ved bruk av store mengder slam slik det kan være aktuelt på grøntarealer, kan plantenes innhold av Zn nå kritiske verdier. Innholdet av Cu nådde også kritiske verdier uten at det var så klar sammenheng med behandlingen.

Undersøkelsene kan tyde på at de grenseverdiene for skadelig effekt av Zn og Cu som er angitt etter litteratursammenstillinger (SAUERBECK, 1982) var for lave etter de forholdene en hadde i disse forsøkene. Bruk av store mengder slamkompost kan likevel skade planteveksten også fordi nedbrytning av organisk stoff fører til oppkonsentrering av slike uorganiske forbindelser. Et høyt innhold av Zn og Cu vil kunne gi en slik virkning som neppe vil være forbigående.

Sammenstillingen antyder at tilføring av slam har hevet innholdet av Cd i plantene i denne rekkefølgen: Salat > rødbete > kløver > raps. Av kornartene var hvete mer påvirket enn havre og bygg. Dette stemmer også godt med resultatene i denne rapporten.

Som helhet viser oversikten at metallene var påvirket av slamtilførsel i denne rekkefølgen:

Zn > Cd > Ni > Cu.

For stoffene Pb, Hg og Cr var det omtrent ikke endringer i metalloptaket.

#### V DISKUSJON

Tilføring av slam og avfallskompost til jordbruksformål (opp til 12 tonn TS pr dekar med slam) ga ingen eller liten endring i avlingens innhold av viktige tungmetaller som Cd og Pb. Sitert litteratur viser at bruk av slam sjelden endrer plantenes innhold av Hg og Cr.

Stigende mengde slam og kompost til jordbruksformål medførte moderat økning av plantenes innhold av Ni, Cu og Mn, mens innholdet av Zn økte sterkt og regelmessig.

Resultatet av forsøkene har trolig sammenheng med at slammet som ble brukt hadde moderat til lavt innhold av tungmetaller ved siden av at metallinnholdet har vært lite tilgjengelig for plantene. Plantetilgjengeligheten av de enkelte metallene kan ha sammenheng med innholdet av visse organiske forbindelser i slammet eller det kan være en følge av reaksjoner hvor organiske stoffer inngår. Innholdet av organisk stoff i slam kan muligens være et mål for tilgjengeligheten av tungmetallene. Ved tilføring av store mengder slam kan effekten av organisk stoff være særlig stor.

Dette antyder at en også bør vurdere hele nedbrytningsfasen av organisk materiale, særlig ved vurdering av problemet på lang sikt. Likevel antyder forsøkene at omsetning av organisk stoff også på kort sikt har betydning for metallenes tilgjengelighet. Ved omsetning dannes forskjellige

Tabell 4. Sinkinnhold i avlingen fra vekstforsøk med kloakkslam, mg pr kg tørrstoff.

Forsøkssted	Vekst	Jordart	pH	Tonn slamtørrstoff pr dekar					
				0	1.5	3.0	4.5	6	12
Ås	1.år havre	Leirjord	6.0	37	40	43	40		
Elverum	1.år "	Sandjord	5.6	50	50	46	51		
"	2.år "	"		28		28	29		53
Vestby	1.år "	Leirjord	5.8	33		38	41		
"	2.år "	"		36			43		
Sel I	2.år "	Morene	5.8	40				50	67
Ådal	1.år "	Sandjord	6.0	30		43	47		50
"	1.år h.halm	"		9		27	21		103
"	2.år bygg	"	6.0	32			46		
Gjøvik	1.år havre	Morene	6.6	34			39		49
"	2.år bygg	"		27	31	29	32		49
Sel II	2.år "	Sandjord	5.7	21				36	38
Jeløy	1.år "	Sandjord	6.6	15		30	40		34
"	2.år "	"		27			38		44
Eidevoll	1.år "	Sandjord	6.5	23		36	36	40	42
Evje	2.år "	Sandjord	5.9	45		57		59	
Tynset	1.år eng	Silt	5.8	26	30	38	38		
"	2.år "1.st	"		24			46		
"	" "2.st	"		21			48		
Otta	2.år "1.st	Morene	5.8	36			76		
Ås	2.år raps	Leirjord	6.0	29			27		
Sel I	1.år "	Sandjord	5.8	32				79	68
Sel 2	1.år "	Sandjord	5.8	16				31	30
Stigende mengde kalkslam						0	2.5	5	7.5
Toten	1.år bygg	Morene	6.6			27			39
"	2.år havre	Morene				28	28	29	31
Ulike typer slam 6 t. TS/dekar					0	VEAS fersk kompost		BEKKELAGET fersk	
Røyken	1.år bygg	Leirjord	6.6	23	31	36			49
Røyken	2.år hvete	"		34		33			40
Ulike typer slam 7.5 t. TS/da					0	Moelv	Nes	Brumundal	
Ringsaker	1.år bygg	Morene	5.3	33	64	40			38
Sinkinnhold i gras fra forsøk med avfallskompost mg pr kg tørrstoff.					Tonn avfallskompost TS/da				
					0	5	10	15	
Flekkefjord	1.år eng	Sandjord	6.6	45					107
"	2.år eng 1.sl.	"		21	48	53			78
"	" " 2.sl.	"		30	53	74			86
"	3.år 1.sl.	"		30	63	74			78
"	" 2.sl.	"		31	73	81			87
					0	8	16	24	
Kongsvinger	1.år korn	Silt		38	50	55			63
					0	12 t avf.komp.		6 t kalkslam	
Kr.sand	2.år eng	Sandjord		44		77			38

Stigende mengde avfallskompost ga regelmessig høyere Zn-innhold i korn. I enda større grad har stigende mengde kompost hevet Zn-innholdet i gras, 15 tonn TS pr dekar har nesten 3-doblet innholdet i forhold til kontrolleddet.

Som helhet viste forsøkene at Zn var det metallet som mest ble påvirket i plantene etter tilføring av slam eller avfallskompost.

d) Nikkel, Ni (tabell 5)

I middel for 10 høstinger (7 forsøk) ga 4.5 tonn TS pr dekar det samme Ni-innhold i korn som kontrolleddet. I middel for 9 høstinger (7 forsøk) ga 12 tonn slamtørrstoff pr dekar 14 pst høyere Ni-innhold i korn enn det en fikk uten slam.

Ni-innholdet ble bare bestemt i halm fra ett forsøk. For kontrolleddet var innholdet i halm vel dobbelt så høyt som i korn. Stigende mengde slam ga tydelig høyere Ni-innhold i halm, mens endringen i korn var liten og uregelmessig.

Nikkelinnholdet i slam brukt i forsøket i Evje var på 80 pst. av grenseverdien for normal-slam (SFT, 1982). Likevel var Ni-innholdet i korn lite påvirket av slammet.

Slam fra Bekkelaget r.a. har også relativt høyt Ni-innhold. Tilføring av 6 tonn TS i slam ga et Ni-innhold i korn som var 11 ganger høyere enn i korn fra ledd uten slam. Dette slammet førte imidlertid til en pH-senking i jorda (fra pH 6.6 til 6.3). Det kan være en viktig årsak til økt Ni-opptak. I 2 forsøksår ga det samme slammet lavere Ni-innhold i hvete enn uten slam, pH i forsøksleddene var da likt.

Ni-innholdet i eng var lite påvirket av slamtilførsel i 2 forsøk (4 høstinger). To forsøk viste også små utslag i Ni-innholdet i raps etter tilføring av slam.

Tabell 23. Gjennomsnittlig innhold av ulike metaller i planter for forsøksledd uten slam (0), mg/kg TS og relative tall for forsøksledd med slam (s) (uten slam=100). I parentes antall forsøk

	0 Cd	0 Pb	0 Hg	0 Ni	0 Zn	0 Cu	0 Cr	tonn TS/ha
BYGG korn	0.10 (10)	0.90 (6)	0.024 (8)	0.3 (5)	58 (13)	4.9 (13)	0.33 (4)	106
halm	0.17 (9)	3.00 (9)	0.041 (7)	1.3 (7)	36 (9)	208 (11)	0.90 (4)	89
HAVRE korn	0.11 (6)	0.42 (4)	0.010 (2)	1.2 (2)	35 (6)	140 (6)	0.42 (2)	95
halm	0.12 (6)	1.70 (6)	0.042 (6)	1.7 (6)	54 (6)	117 (6)	0.38 (6)	126
HVETE korn	0.07 (22)	0.44 (13)	0.030 (2)	5.4 (10)	36 (17)	228 (17)	0.30 (6)	93
halm	0.19 (11)	1.10 (11)	0.148 (3)	0.6 (7)	23 (12)	700 (9)	4.29 (6)	80
RUG korn	0.15 (6)	0.93 (2)		0.9 (6)	25 (6)	240 (6)	1.10 (4)	127
GRAS	0.21 (8)	2.40 (6)	0.035 (4)	2.4 (6)	58 (9)	121 (9)	0.85 (2)	88
KLØVER	0.13 (6)	1.31 (6)	0.041 (2)	2.8 (6)	73 (6)	223 (6)	0.75 (2)	61
FORRAPS	0.32 (7)	0.78 (7)	0.014 (1)	1.2 (7)	50 (7)	610 (7)	0.33 (7)	148
GULROT rot	0.77 (7)	1.83 (3)		9.0 (4)	46 (7)	135 (6)	1.10 (2)	91
GRAS	1.53 (4)	5.15 (2)	0.020 (1)	4.3 (4)	63 (4)	135 (4)	1.60 (2)	119
POTEI knoller	0.23 (4)	1.50 (2)		1.0 (2)	21 (12)	129 (12)	1.20 (1)	100
RØDBETE rot	0.35 (4)	287 (21)		8.8 (2)	82 (4)	122 (2)		2.9
blad	1.20 (4)	292 (2)		8.2 (2)	125 (2)	27.6 (2)		2.9
BØNNE frukt	0.18 (10)	1.57 (3)		4.6 (3)	36 (10)	150 (8)		5.4
veg.del	0.50 (2)	160 (2)		5.0 (2)	34 (8)	259 (6)		5.6
TOMATER frukt	0.46 (8)	235 (6)			24 (8)	146 (7)		18.0
veg.del	0.80 (3)	75 (3)			30 (3)	140 (3)		9.0
SALAT	0.81 (19)	285 (11)	4.42 (2)	4.2 (6)	43 (11)	300 (13)	10.0 (13)	7.9
Middel relative tall	184	98	104	164	217	156	102	7.8



Plantene har vokst noe fra 1. til 2. høstetid. Dannelse av organisk plantemateriale vil ha en fortyningseffekt på plantenes stoffinnhold.

#### IV SAMMENSTILLING AV ANDRE UNDERSØKELSER

I ulike land er det utført mange forsøk for å klarlegge i hvilken grad spredning av slam fører til økt metall-opptak i planter. Desverre er det vanskelig å presentere resultater fra mange undersøkelser på en kortfattet og enkel måte. I 1981 ble det gjort en sammenstilling av resultater fra en del andre undersøkelser. Denne registreringen var ikke på noen måte fullstendig. De enkelte undersøkelsene er utført med ulike mengder slam, metallinnholdet i slammet har vært forskjellig og forsøkene er utført under svært forskjellige forhold. En sammenstilling av deler av resultatene kan derfor ikke gi noe representativt bilde av hvilken påvirkning som kan ventes. En gjengivelse av enkelt-resultatene fører alt for lang.

Et sammendrag av forsøksresultatene (se tabell 23) er oppdelt etter planteart. Det er beregnet middeltall for metallinnhold i avling for forsøksledd uten kloakkslam. For ledd med slam er innholdet beregnet som relative tall (innhold uten slam = 100).

For forsøk med ulike mengder slam gjelder beregningen største dosering. Det må tas sterke forbehold ved vurdering av tabellen. Hensikten har primært vært å gi en indikasjon på hvilke resultater andre forsøk har gitt.

I egen rubrikk er gjengitt gjennomsnittlig mengde slam, tonn tørrstoff pr dekar. Det antyder at det i forsøkene vanlig er brukt meget store doseringer av slam. Til enkelte av forsøkene er det også brukt slam med høyt eller meget høyt innhold av noen metaller. Av de sammenstilte forsøkene var det bare unntaksvis brukt slam med så lave metallinnhold som det var nyttig i de norske forsøkene.

Tabell 5. Nikkelinnhold i avlingen fra vekstforsøk med kloakkslam, mg pr kg tørrstoff  
Tonn slam/tørrstoff pr dekar

Forsøkssted	Vekat	Jordart	pH	0	1.5	3.0	4.5	6	12
Ås	1.år havre	Leirjord	6.0	1.8	2.0	1.9	2.1		
Elverum	1.år "	Sandjord	5.6	1.6	1.2	1.1	1.1		
"	2.år "	"		1.7		1.4	1.1		1.3
Vestby	1.år "	Leirjord	5.8	3.2		3.2	2.8		
"	2.år "	"		2.7			2.6		
Sel I	2.år "	Morene	5.8	8.3				7.9	9.9
Ådal	1.år "	Sandjord	6.0	0.5		1.5	1.4		0.6
"	1.år h.helm	"		1.2		1.7	1.7		3.5
"	2.år bygg	"	6.0	<0.2			0.3		
Gjøvik	1.år havre	Morene	6.6	1.2			0.8		1.5
"	2.år bygg	"		0.1	0.1	0.1	0.1		0.2
Sel II	2.år "	Sandjord	5.7	0.3				0.3	0.4
Jeløy	1.år "	Sandjord	6.6	0.7		1.1	1.1		0.8
"	2.år "	"		<0.2			<0.2		<0.2
Eidsvoll	1.år "	Sandjord	6.5	0.2		0.3	0.2	0.2	0.2
Evje	2.år "	Sandjord	5.9	1.2		1.4		1.0	
Tynset	1.år eng	Silt	5.8	3.5	2.9	3.6	3.3		
"	2.år "1.st	"		2.0			1.5		
"	" "2.st	"		2.1			1.7		
Otta	2.år "1.st	Morene	5.8	1.4			2.1		
Ås	2.år raps	Leirjord	6.0	0.6			0.5		
Sel I	1.år "	Sandjord	5.8	1.8				7.2	6.4
Sel 2	1.år "	Sandjord		1.3				2.0	1.9
Stigende mengde kalkslam						0	2.5	5	7.5
Toten	1.år bygg	Morene	5.8			<0.2			0.2
"	2.år havre	Morene				0.8	0.6	0.6	0.6
Ulike typer slam 6 t. TS/dekar				0	VEAS ferek		BEKKELAGET kompost ferek		
Røyken	1.år bygg	Leirjord	6.6	0.1	0.1	0.3	1.1		
Røyken	2.år hvete	"		0.5		0.5	0.2		
Ulike typer slam 7.5 t. TS/dn				0	Moelv	Nes	Brummundal		
Ringsaker	1.år bygg	Morene	5.3	0.25	<0.20	0.20	0.28		
Nikkelinnhold i gras fra forsøk med avfallskompost mg pr kg tørrstoff.				Tonn avfallskompost TS/de					
			Jordart	pH	0	5	10	15	
Flekkjord	1.år eng	Sandjord	6.6	0.2				0.6	
"	2.år eng 1.sl.	"		0.2	0.5	0.5	0.7	0.8	
"	" " 2.sl.	"		0.4	0.5	0.7	0.8		
"	3.år 1.sl.	"		0.3	0.7	0.6	0.5		
"	2.sl.	"		0.3	0.6	0.6	0.6		
				0	8	16	24		
Kongsvinger	1.år havre	Silt		0.9	1.0	1.1	1.1		
				0	12 t avf.komp.		6 t kalkslam		
Kr.sand	2.år eng	Sandjord		2.2		1.8	1.0		

I et forsøk på Sel (I) var det første året meget store utslag for Ni-opptak med stigende mengde slam. I andre forsøksår ble det dyrket havre. Ni-innholdet i kornet var usedvanlig høyt uavhengig av tilføringen av slam. Dette ene forsøket viser i særklasse de høyeste verdiene for Ni-innhold i avlingsprøver (8-10 ppm). Ifølge SAUERBECK (1982) kan plantetoksiske effekter opptre når Ni-innholdet i plantene overstiger 20-30 mg/kg.

Dette høye Ni-innholdet i plantene kan ha sammenheng med opphavsmaterialet til jorda. Olivin, serpentin og til dels også grønnstein og grønnskifer, som vanlig forekommer i området, kan ha høyt innhold av Ni (NYSTUEN, 1985). Det hevdes (l.c.) også at virkningen i forsøket kan ha sammenheng med at røttene gikk ned i normal sone for grunnvann, 1983 var et utpreget tørkeår. Dersom denne forklaringen er riktig, er det grunn til å være oppmerksom på at det kan foreligge en risiko for naturlig Ni-forgiftning på planter i området.

I et forsøk med avfallskompost var Ni-innholdet i korn lite endret selv etter meget store tilførsler. Avfallskompost til eng derimot førte til markert høyere Ni-innhold i gras enn tilfelle var uten kompost. Selv store doseringer av kompost ga likevel ikke Ni-konsentrasjoner som kan karakteriseres som høye.

e) Kopper, Cu (tabell 6)

Av 12 høstinger (7 forsøk) har 4.5 tonn tørrstoff pr dekar i middel hevet Cu-innholdet i korn med 27 pst. i forhold til uten slam. En slammengde på 12 tonn tørrstoff pr dekar har i 9 høstinger (7 forsøk) tilsvarende gitt i middel 27 pst. høyere Cu-innhold i korn.

I to engforsøk (4 høstinger) er Cu-innholdet i forhold til kontrolledet økt med 40 pst. etter 4.5 tonn slam-tørrstoff pr dekar. Slam brukt til raps hevet Cu-innholdet lite.

Kalkslam har forårsaket en moderat økning av Cu-innholdet i korn.

Det var her meget store forskjeller mellom de ulike metallene når det gjaldt avleiring i de ulike delene av bladverket.

#### 8. Innhold i salat og spinat etter ulik høstetid

I 1981 ble det dyrket salat og spinat på felt II, 40 cm rent slam (sådd 12/5). Det ble foretatt høsting 3/7 (normal høstetid) og 5/8 (sein høstetid). Ved begge høstingene ble det tatt hele planter til analyse. Analyseresultatene er gjengitt i tabell 22.

Tabell 22. Tungmetallinnhold i salat og spinat ved ulik høstetid (mg/kg TS), dyrket i 40 cm slam, ukalka og kalka.

	S A L A T				S P I N A T			
	H ø s t e - t i d				H ø s t e - t i d			
	Ukalka		Kalka		Ukalka		Kalka	
	3/7	5/8	3/7	5/8	3/7	5/8	3/7	5/8
Cd	2.0	1.8	2.2	1.9	2.	2.0	2.	2.23
Pb	5.7	7.6	6.0	9.0	5.0	7.0	5.7	6.1
Zn	455	425	400	408	850	903	652	607
Ni	7.5	6.5	7.3	6.5	6.3	6.1	5.6	5.2
Cu	17	29	23	51	21	47	30	33
Cr	2.6	3.4	3.8	5.3	2.2	2.5	2.2	4.1
Co	1.7	1.6	1.8	1.8	-	-	-	-
Mn	658	450	495	383	778	555	309	385

Av tabellen framgår det at innholdet av Cd og Ni i plantene går ned fra 1. til 2. høstetid. Innholdet av Pb, Cu og Cr i plantene har derimot økt fra 1. til 2. høsting. Innholdet av Mn og Zn viser ikke entydige forskjeller mellom høstetidene.

Potet er et meget viktig norskavla næringsmiddel. Planten gir tydelig størst metallavleiring i riset i forhold til knoller. For Cd, Zn og Mn øker forholdstallet meget sterkt med økende belastning fra slam.

For gulrot er det liknende tendens, men ikke så markert.

Rødbete har ikke gitt så regelmessige endringer i forholdstallene for stigende slamtilførsel, men for Cd, Ni, Cr, Mn og Pb synes det å være en tendens til økt innhold i den spiselige delen ved økt belastning. Av de nevnte vekstene har rødbete det største tungmetall-innholdet, men forbruket av rødbeter er ikke stort.

#### 7. Metallinnhold i ulike blad av forbete

Plantenes utviklingsstadium kan bety mye for innholdet av ulike stoffer.

I undersøkelsen er det vanlig tatt prøver til analyse av en blanding av overjordisk bladverk. Det ble også gjort for forbete. For rute med rent slam (tilsatt kalk) ble det i tillegg tatt egne prøver av små blad som vokste ytterst i bladkransen, det er antatt at dette er yngre blad. Metallinnholdet framgår av tabell 21.

Tabell 21. Tungmetallinnhold i en normal bladprøve av forbete og prøve av de små ytterbladene, mg/kg tørrstoff.

	Cd	Zn	Ni	Cu	Mn	Fe
Normal bladprøve	1.88	720	7.9	27.9	760	75
Små ytterblad	0.39	85	9.5	30.0	200	260

Innholdet av Cd, Zn og Mn er betydelig høyere i normal bladprøve enn i de små ytterbladene (forholdstall fra 38-85). Innholdet av Ni og Cu er tilnærmet likt i prøvene, mens innholdet av Fe er 3.5 gang høyere i småbladene.

Tabell 6. Kopperinnhold i avlingen fra vekstforsøk med kloakkslam, mg pr kg tørrstoff.

Forsøkssted	Vekst	Jordart	pH	Tonn slam/tørrstoff pr dekar				6	12
				0	1.5	3.0	4.5		
Ås	1.år havre	Leirjord	6.0	6.6	5.7	5.7	5.0		
Elverum	1.år "	Sandjord	5.6	3.6	3.6	3.7	3.4		
"	2.år "	"		6.8		12.0	7.0		6.5
Vestby	1.år "	Leirjord	5.8	4.3		4.8	8.9		
"	2.år "	"		4.5			5.1		
Sel I	2.år "	Morene	5.8	4.6				4.2	5.1
Ådal	1.år "	Sandjord	6.0	4.1		6.6	9.3		10.8
"	1.år h.halm	"		2.4		2.0	3.0		8.4
"	2.år bygg	"	6.0	4.5			5.2		
Gjøvik	1.år havre	Morene	6.6	4.4			5.2		6.2
"	2.år bygg	"		5.2	4.8	4.5	4.8		6.3
Sel II	2.år "	Sandjord	5.7	7.0				8.0	9.1
Jeløy	1.år "	Sandjord	6.6	7.8		9.2	9.1		4.9
"	2.år "	"		4.9			4.7		4.5
Eidsvoll	1.år "	Sandjord	6.5	4.5		8.3	10.1	9.7	9.7
Evje	2.år "	Sandjord	5.9	6.1		6.0		6.1	
Tynset	1.år eng	Silt	5.8	5.8	5.0	5.3	6.3		
"	2.år "1.st	"		4.6			8.1		
"	" "2.st	"		4.2			6.3		
Otta	2.år "1.st	Morene	5.8	5.3			7.5		
Ås	2.år raps	Leirjord	6.0	3.6			4.2		
Sel I	1.år "	Sandjord		4.4				4.0	3.8
Sel 2	1.år "	Sandjord		2.8				4.0	3.5
Stigende mengde kalkslam						0	2.5	5	7.5
Toten	1.år bygg	Morene	6.6			4.9			5.5
"	2.år havre	Morene				4.0	4.3	4.4	4.6

Ulike typer slam 6 t. TS/dekar	0	VEAS		BEKKELAGET		
		ferak	kompost	ferak	ferak	
Røyken 1.år bygg	Leirjord	6.6	4.3	6.0	6.8	8.9
Røyken 2.år hvete	"		6.6		9.9	6.5
Ulike typer slam 7.5 t. TS/da		0	Moelv	Nes	Brumundal	
Ringsaker 1.år bygg	Morene	5.2	5.2	6.6	5.7	6.2

Kopperinnhold i gras fra forsøk med avfallskompost mg pr kg tørrstoff	Jordart	pH	Tonn avfallskompost TS/da			
			0	5	10	15
Flekkefjord 1.år eng	Sandjord	6.6	7.1			14.0
" 2.år eng 1.sl.	"		4.1	5.4	6.5	7.9
" " 2.sl.	"		6.1	7.7		19.3
" 3.år 1.sl.	"		6.8	9.3	10.1	10.8
" 2.sl.	"		7.7	10.1	10.6	10.0
Kongsvinger 1.år havre	Silt		0	8	16	24
			3.7	4.1	4.3	4.7
			0	12 t avf.komp.	6 t kalkslam	
Kr.sand 2.år eng	Sandjord		4.5	5.9		4.5

Stigende mengde avfallskompost til korn har gitt en jevn, men moderat heving av Cu-innholdet i korn. Bruk av 15 tonn avfallskompost pr dekar økte Cu-innholdet i gras til mer enn det dobbelte av nivået uten kompost.

Som helhet synes imidlertid tilføring av Cu med slam eller avfallskompost å gi noe økt Cu-innhold i avlingen i forhold til uten slam.

f) Mangan, Mn (tabell 7)

I de fleste av forsøkene har tilførsel hverken av slam eller avfallskompost resultert i økt Mn-innhold i avlingsprøver.

I noen få forsøk har likevel store mengder slam økt Mn-innholdet i avlingen ganske mye. Dette kan ha sammenheng med at reduserende betingelser har gjort Mn mer tilgjengelig for plantene.

g) Jern, Fe (tabell 8)

Det kan tilføres store mengder Fe med slam og avfall, særlig om Fe blir brukt som fellingsmiddel. Jordas naturlige innhold av Fe er også høyt. Plantenes optak av Fe er særlig avhengig av jernets tilstandsform. Det viktigste spørsmålet er kanskje om tilføring av store mengder lettomsettlig organisk stoff kan endre jernets tilgjengelighet for plantene.

De fleste metallene har forholdstall Me halm:Me korn >1. For Cd, Zn, Ni, Mn og Pb avleires det mer i halm i forhold til korn ved stigende slammengde. For Cr, derimot, avtar dette forholdstallet med slammengden. For Cu påvirkes ikke forholdstallet så entydig av behandlingen.

Planter dyrket i matjord har høyere Zn konsentrasjoner i korn enn i halm. Ved økt Zn belastning med slamtilførsel avleires mest i halmen.

Det er også en viss forskjell mellom ulike vekster. Det avleires forholdsvis mer Cd, Pb og Ni i halmen hos bygg enn tilfelle hos havre og hvete. Hvete har lavere forholdstall for Mn enn bygg og havre.

På tilsvarende måte er forholdstallet mellom konsentrasjon, rot og blad (Me rot:Me blad) for rotfrukter og potet. Her gjengis bare forholdstallene for potet, gulrot og rødbete (tabell 20).

Tabell 20. Forholdstall for metall i blad/rot (tørrestoff).  
Forsøk I 1979-81 (Me blad:Me rot)

	Cd			Pb			Zn			Ni		
	0	10	40	0	10	40	0	10	40	0	10	40
Potet	2.6	6.2	16.5	3.3	2.9	4.2	5.4	11.5	15.7	2.0	2.2	2.2
Gulrot	1.5	2.5	2.4	5.3	3.7	3.7	1.4	2.3	3.3	1.6	1.6	1.2
Rødbete	4.7	3.3	3.9	4.4	3.3	3.5	3.8	3.8	3.3	2.8	2.0	1.6
	Cu			Cr			Mn					
	0	10	40	0	10	40	0	10	40			
Potet	1.3	0.8	1.7	3.7	2.7	5.5	6.7	9.2	53.4			
Gulrot	1.2	1.7	1.7	2.3	2.1	1.8	5.1	4.9	8.9			
Rødbete	0.9	1.2	1.0	4.7	2.9	2.4	6.1	5.5	5.4			

For kålrot, nepe, forbete og reddik var det ikke så klare tendenser i forholdstallene.



## 6. Metallinnhold i ulike plantedeler

Planter av bygg, havre og hvete ble i 1979 delt opp i blad, stengel og frø (korn). Innholdet i stengel og frø (tørrstoff) beregnet i pst. av bladinnholdet og standardavvik (s) var:

	Cd		Pb		Zn		Ni		Cu		Cr	
	St.	Frø	St.	Frø	St.	Frø	St.	Frø	St.	Frø	St.	Frø
%	65	54	54	33	141	238	76	96	117	111	45	47
s	41	50	35	19	44	202	35	65	89	100	19	35

Middeltallene antyder at innholdet av Cd, Pb, Cr og delvis Ni er høyere i blad enn i stengel og frø-del. Innholdet av Zn var derimot størst i korn og lavest i bladene. De store variasjonene (standardavviket) skyldes dels at innholdet i ulike plantedeler ble påvirket av forsøksbehandlingen. Dette framgår ellers av figurene 3-10. Forholdstallet mellom innhold av hvert metall i halm og korn (Me halm:Me korn) er beregnet av gjennomsnittelig innhold i årene 1979-81 (se tabel 19).

Tabell 19. Forholdstall for metallinnhold i halm og korn (tørrstoff).  
Forsøk I 1979-81 (Me halm:Me korn)

	Cd			Pb			Zn			Ni		
	0	10	40	0	10	40	0	10	40	0	10	40
Bygg	1.6	2.2	7.0	1.5	2.0	2.4	0.4	0.8	1.4	1.6	2.1	2.3
Havre	1.2	1.8	1.8	1.0	2.0	0.8	0.4	0.9	2.9	0.6	0.4	1.1
Hvete	1.2	1.5	1.8	1.0	1.3	1.7	0.3	0.8	1.2	0.6	0.6	1.1

	Cu			Cr			Mn			B		
	0	10	40	0	10	40	0	10	40	0	10	40
Bygg	0.6	0.8	0.7	2.5	2.0	1.3	1.1	1.2	3.4	3.7	7.1	14.8
Havre	1.8	0.7	1.1	2.0	1.5	0.6	1.5	1.0	2.6	2.9	2.3	4.6
Hvete	0.7	0.2	0.4	2.5	1.0	1.5	0.8	0.8	1.3			

Tabell 7. Mn-innhold i avlingen fra vekstforeøk med kloakkslam, mg pr kg tørrstoff

Forsøkssted	Vekt	Jordart	pH	Tonn slamtørrstoff pr dekar					
				0	1.5	3.0	4.5	6	12
Ås	1.år havre	Leirjord	6.0	37	35	36	35		
Elverum	1.år "	Sandjord	5.6	76	76	64	62		
"	2.år "	"	"						
Vestby	1.år "	Leirjord	5.8						
"	2.år "	"	"	45			41		
Sel I	2.år "	Morene	5.8	66		70		78	
Ådal	1.år "	Sandjord	6.0	16			14		16
"	1.år h.halm	"	"	27			19		64
"	2.år bygg	"	"	15			15		
Gjøvik	1.år havre	Morene	6.6	46			48		68
"	2.år bygg	"	"	14	14	14	14		19
Sel II	2.år "	Sandjord	5.7						
Jeløy	1.år "	Sandjord	6.6						
"	2.år "	"	"	15			15		13
Eidsvoll	1.år "	Sandjord	6.5						
Evje	2.år "	Sandjord	5.9	66		81		52	
Tynset	1.år eng	Silt	5.8						
"	2.år "1.st	"	"	92			126		
"	" "2.st	"	"	96			149		
Otta	2.år "1.st	Morene	5.8	65			154		
Ås	2.år raps	Leirjord	6.0	16			14		
Sel I	1.år "	Sandjord	"	138				151	88
Sel 2	1.år "	Sandjord	"	34				82	84

Stigende mengde kalkslam				0	2.5	5	7.5
Toten	1.år bygg	Morene	6.6		18		18
"	2.år havre	Morene	"		41	33	38
							36

Ulike typer slam 6 t. TS/dekar	Jordart	pH	VEAS		BEKKELAGET		
			ferøsk	kompost	ferøsk		
Røyken	1.år bygg	Leirjord	6.6	11	17	17	36
Røyken	2.år hvete	"	"				

Ulike typer slam 7.5 t. TS/da				0	Moelv	Nes	Brummundal
Ringsaker	1.år bygg	Morene	5.3	22	21	21	23

	Jordart	pH	Tonn avfallskompost TS/da				
			0	5	10	15	
Flekkefjord	1.år eng	Sandjord	6.6	33			37
"	2.år eng 1.el.	"	"	12	11	12	17
"	" " 2.el.	"	"	23	21	26	28
"	3.år 1.el.	"	"				
"	2.el.	"	"				

				0	12 t avf.komp.	6 t kalkslam
Kr.sand	2.år eng	Sandjord	"	88	83	35

Tabell 8. Jerninnhold i avling fra vekstforsøk med kloakkslam og avfallskompost, mg pr kg tørrstoff.

	pH	Jordart	0	1.5	3.0	4.5	6	12
Ås havre 1.år	6.0	leirjord	67	69	73	77		
Elverum havre 1.år	5.6	sandjord	78	78	75	74		
Vestby havre 2.år	5.8	leirjord	62			72		
Ådal bygg 2.år	6.2	sandjord	30			28		
Gjøvik havre 1.år	6.6	morene	91			88		88
Jeløy bygg 1.år	6.6	sandjord	42			42		39
Setesdal bygg 1.år	5.9	"	48		42		53	
Tynset eng 2.år 1.st	5.8	siltjord	70			74		
" eng 2.år 2.st			70			81		
Otta eng 2.år 1. st	5.8	morene	150			206		
Ås rape 2. år	6.0	leirjord	142			158		
Sel I rape 1. år	5.8	sandjord	153				133	92
Stigende mengde kalkslam			0	2.5	5	7.5		
Toten bygg 1. år	5.8	morene	63			80		
Ulike typer slam 7.5 t. TS/dekar			0	Moelv	Nes	Br.dal		
Ringsaker bygg	5.2	morene	47	63	83	69		
Kalkslam og avfallskompost			0	12 t. avfallek.	6 t. kalkslam			
Kristiansand eng	5.9	sandjord	40	52	58			

Som helhet er Fe-innholdet i avlingen lite påvirket av hvorvidt det blir tilført slam eller avfallskompost.

h) Kobolt, Co

Innholdet av Co er bare bestemt i avlingsprøver (korn og halm) fra forsøket i Ådal. Alle prøvene hadde imidlertid innhold under 0.5 ppm hvorav de fleste <0.3 som var følsomhetsgrensen for den kjemiske bestemmelsen.

Tabell 18. Tungmetallinnhold mg/kg tørt materiale i formargkål dyrket i drenert og udrenert slam fra Løxa og Bekkelaget renseanlegg.

	Løxa		Bekkelaget	
	Drenert	Udrenert	Drenert	Udrenert
Cd	0.51	0.89	1.19	1.41
Pb	3.1	4.4	3.8	4.6
Zn	91	86	394	398
Ni	2.0	1.9	8.7	7.7
Cu	10.0	16.1	22.4	31.0
Cr	0.7	1.4	1.0	1.6
Mn	61	71	96	95
Fe	55	265	171	660
N	4.6	4.1	7.1	6.7

Drenering førte til litt bedre plantevekst. Normalt skulle det gi litt reduserte konsentrasjoner i plantene.

Drenert slam ga litt høyere innhold av Ni i plantene. Innholdet av Zn var tilnærmet det samme i planter med og uten drenering.

For de andre metallene ga udrenert slam høyest innhold i plantene. Innholdet av Fe var 4-5 ganger høyere i planter dyrket i udrenerte kar.

Mn blir normalt mindre tilgjengelig både ved stigende pH og ved bedre lufttilgang i jorda. Her har drenering senket pH og gitt tørrere slam. pH og tørrstoffinnhold hadde trolig motsatt effekt på tilgjengeligheten av Mn. Et relativt stort Fe-opptak kan også ha hindret opptaket av Mn.

## 5. Virkning av dreneringsforhold

Våren 1979 ble 100 l kar fylt med rent slam fra h.h.v. Løxa og Bekkelaget renseanlegg. Halvparten av karene hadde åpninger i bunn (drenering), de andre karene var tette. Forsøket tok sikte på å klarlegge utvasking, for-damping fra karene osv. Samtidig ble planteprøver analysert for tungmetaller.

I 1979 var slammene rått og ga derfor ujevn vekst. I 1980 var det god vekst i alle karene, selv om plantene hadde litt vanskelig for å etablere seg i udrenerte kar med råere slam.

Avling av formargkål, g pr kar, samt tørrstoffpst. og pH i ulike sjikt av slammene framgår av tabell 17.

Tabell 17. Avling av formargkål, g pr kar, samt pH og tørrstoffpst. i ulike sjikt høsten 1980.

Slam fra	Sjikt	Med drenering		Uten drenering	
		TS %	pH	TS%	pH
Løxa				112	94
	0-10 cm	38	6.9	20	7.2
	20-30 cm	43	6.8	20	7.3
	50-60 cm	35	6.9	25	7.3
Bekkelaget				107	69
	0-10 cm	44	5.6	29	6.9
	20-30 cm	45	5.4	25	6.8
	50-60 cm	43	5.4	28	6.9

Slam fra Løxa var ved fellingen tilsatt kalk og hadde høy pH. Drenering førte til bedre opptørking av slammene og senket pH. En skulle ventet at senket pH skulle gjort metallene mere tilgjengelige for plantene. Drenering hadde imidlertid ulik effekt på opptaket av de enkelte metallene (se tabell 18).

## i) Bor, B

Bor er ikke tungmetall. Det er likevel tatt med fordi innholdet i slam kan være så høyt at det kan være risiko for borforgiftning på korn. Innholdet av B er bestemt i havre (korn og halm) fra forsøket i Ådal, med dette resultat, mg B pr kg tørrstoff:

	Slam, tonn TS pr dekar		
	0	4.5	12
Korn	0.64	0.70	0.95
Halm	1.91	2.10	6.35

Slam har hevet B-innholdet både i korn og halm.

## j) Konklusjoner

Som en ren oversikt er det beregnet gjennomsnittsverdier for hvert metall med utgangspunkt i alle forsøkshøstinger og alle vekster. Det foreligger ikke avlingsanalyser for alle mengdene av slam som er brukt. Sammenligningen mellom ledd uten slam og den enkelte slammengde er gjort på grunnlag av de forsøk hvor leddene er representert. Kalkslam er holdt utenom denne beregningen. Middeltallene er omregnet til relative tall, konsentrasjonen for kontrollleddet = 100. (Se tabell 9.)

Stigende mengde slam har i svært liten grad endret plantenes innhold av Cd. Innholdet av Pb var praktisk talt uendret. Stigende slammengde førte til sterk og regelmessig økning av plantenes Zn-innhold. Slammengder på 6 og 12 tonn slam-tørrstoff har tydelig økt avlingens Ni-innhold. Spesielt var det tilfelle 1. året i 2 forsøk. Høyt Ni-opptak var dels forårsaket av at slammene også senket pH. I 2. forsøksår senket ikke slammene pH. Samtidig var Ni-innholdet nær det samme som uten slam.

Stigende mengde slam førte til moderat men jevn heving av Mn- og Cu-innholdet i plantene. Innholdet av Fe var lite påvirket av slamtilføring.

Tabell 9. Tungmetallinnhold i avling fra vekstforsøk.  
Relative tall uten slam = 100. Antall forsøks høstinger  
i parentes.

	Slam, tonn TS pr dekar					
	0	1.5	2.0	4.5	6	12
Cd	100	65(3)	91(6)	93(14)	108(7)	112(10)
Pb	100	97(2)	93(3)	99(2)	104(1)	
Zn	100	109(4)	131(11)	141(18)	166(8)	208(12)
Ni	100	89(4)	111(11)	99(16)	145(8)	154(11)
Cu	100	92(4)	119(11)	130(18)	128(8)	134(12)
Mn	100	100(3)	102(5)	112(12)	120(4)	124(7)
Fe	100	101(2)	130(3)	105(8)	110(1)	96(2)

III FORSØK MED ULIKE VEKSTER DYRKET I 0, 10 CM OG 40 CM  
OMSATT SLAM.

1. Forsøksopplegg

Forsøkene med slam til jordbruksformål ga små utslag i plantenes innhold av tungmetaller. Det var derfor aktuelt å forsøke større doseringer.

Ved bruk av slam på grøntarealer er det ønskelig å bruke store mengder. Forsøk antyder at 4-10 cm slamkompost er aktuell dosering avhengig av hvilken N-effekt som kan aksepteres (VIGERUST og GULDAHL, 1981).

Våren 1979 ble det satt i gang et forsøk med følgende behandling (felt I):

- A. Uten slam (matjord)
- B. 10 cm slam, blandet med matjord til 20 cm
- C. 40 cm slam.

Det ble brukt anaerobt stabilisert slam fra Bekkelaget renseanlegg, Oslo. Slammet var tilkjørt i løpet av 2 dager høsten 1978. Behandlingsmåten gjør at slammet blir meget godt blandet, alt slammet hadde derfor tilnærmet samme innhold.

For felt II hevet kalkingen pH med 0.65. Det reduserte plantenes innhold av Mn, Zn og Ni (til dels også Cd), mens innholdet av Cr og dels Cu tiltok.

I 1982 førte kalking (600 kg CaO/da) av slam til redusert innhold av alle metaller som var bestemt. I middel var konsentrasjonen av alle metaller høyere etter største kalkmengde (800 kg CaO/da). Dette kan ha sammenheng med at denne feltdelen i 1981 ikke var jordarbeidet (mindre luftveksling) og var uten plantevekst.

Som helhet har kalking endret plantenes innhold av tungmetaller mindre enn ventet. Observasjoner tyder ikke på at kalking har påvirket plantenes vekst.

Det er grunn til å tro at kalkingen øker omsetningshastigheten av organisk stoff. Dette kan også ha virket inn på tilgjengeligheten av metaller for plantene.

Tabell 16. Innhold av tungmetaller i planter på kalka felt i forhold til analysetall på ukalka felt, relative tall kons. for ukalka felt = 100. Antall vekster, inklusive plantedeler i parantes.

	FELT I				FELT II		
	1980 Liten kalkm. 10 cm	40 cm	1981 Stor kalkm. 10 cm	40 cm	1981 40 cm	1982 40 cm	Meget stor kalkm.
Cd	110 (5)	113 (5)	103 (11)	86 (10)	96 (8)	92 (14)	95 (14)
Pb	117 (7)	97 (7)	102 (8)	108 (7)	102 (9)	-	-
Zn	104 (7)	114 (7)	81 (12)	84 (11)	74 (8)	90 (14)	94 (14)
Ni	94 (7)	132 (7)	103 (12)	89 (11)	89 (9)	82 (14)	84 (14)
Cu	104 (7)	103 (7)	106 (12)	82 (11)	105 (9)	86 (14)	90 (14)
Cr	117 (3)	100 (4)	86 (8)	100 (7)	127 (7)		
Mn	162 (7)	105 (7)	165 (12)	76 (11)	73 (9)	74 (14)	90 (14)
Fe						76 (14)	59 (14)

Kalkmengden som ble brukt våren 1980 var for liten til å endre pH nevneverdig. Den høsten ble følgende pH målt i sjikt 0-15 cm:

	Uten slam	10 cm slam	40 cm slam
Ukalka	6.48	5.86	5.92
200 kg CaO pr dekar	-	5.94	6.01

Det var en svak tendens til at kalkingen økte plantenes metallinnhold i 1980.

Sterkere kalking på felt I 1981 hevet pH-tallene for begge slamdoseringene med ca 1.0 pH-enheter (fra 6.0). Det førte til litt redusert innhold av Cd, Zn, Ni og Cu. I større grad reduserte kalkingen Mn-innholdet.

Ved tømning fløt slammet utover. Om vinteren var det tele i hele slamlaget. Det førte til at slammet våren etter fikk løs og lett struktur.

Matjorda besto av lettleire med moldinnhold på 8 pst (moldrik). For hver behandling ble det anlagt en rute for dyrking av ulike vekster. Kornartene, gras, kløver, raps og formargkål ble sådd på ruter 1 m brede og 7 m lange. De andre vekstene ble radsådd, 70 cm avstand, 7 m lange. Følgende vekster ble dyrket:

1979; Bygg, havre, hvete, vårraps, formargkål, timotei, rødsvingel, engrapp, kvein, raigras, kvitkløver, rødkløver, kålrot, salat, gulrot, bønner og poteter.

1980; Bygg, havre, hvete, vårraps, timotei, rødkløver, formargkål, raigras, poteter, hodekål, salat, rød-bete, nepe, gulrot, purre og mais.

1981; Bygg, havre, hvete, formargkål, forraps, timotei, rødkløver, potet, rødbete, gulrot, spinat, bønner, reddik og salat.

Med unntak av timotei og rødkløver ble vekstene omplassert hvert år på feltene.

I 1981 ble ruta uten slam flyttet til et annet sted (like ved).

Ved gjødsling er det forsøkt å kompensere for slammets gjødselvirkning spesielt med hensyn til nitrogen.

Våren 1980 ble rutene med 10 og 40 cm slam delt i to, den ene halvdel ble kalket med 200 kg CaO pr dekar.

Matjordruta ble ikke delt ettersom pH her var høyere enn for slamrutene. Denne kalkmengden endret pH lite i forhold til ukalka, derfor ble det våren 1981 tilført 400 kg CaO pr dekar i tillegg (i alt 600 kg CaO).

Våren 1981 ble felt II anlagt på rent slam tilkjørt høsten i forveien. Det ble også anlagt en ny feltdel uten slam. Den ene halvdel av feltet med slam ble kalket med 600 kg CaO pr dekar og blandet inn til 20 cm. Innhold av tungmetaller i matjord og kloakkslam framgår av tabell 10.

Tabell 10. Tungmetallinnhold i slam og jord mg/kg tørrstoff og kg pr dekar til 20 cm dybde.

Felt I	Cd	Pb	Zn	Cu	Cr	Mn	Ni
Uten slam mg/kg TS	0.78	27	83	16	29	463	29
" " kg/dekar	0.2	7	20	4	7	110	7
Slam/matjord mg/kg TS	2.48	103	383	238	92	463	43
(10cm) kg/dekar	0.4	16	61	38	15	74	7
Slam mg/kg TS	5.50	271	516	492	148	268	42
(40cm) kg/dekar	0.4	20	37	35	11	19	3
<b>Felt II</b>							
Uten slam mg/kg TS	0.52	23	72	15	26	519	27
" " kg/dekar	0.1	5	17	4	6	125	6
Slam mg/kg TS	3.90	158	711	445	126	313	37
(40cm) kg/dekar	0.3	11	49	31	9	22	3
BAV-kompost mg/kg TS	2.4	149	813	454	68	269	23
kg/dekar	0.1	6	35	20	3	12	1
Kalkslam mg/kg	1.7	56	236	224	32	236	20
kg/dekar	0.2	5	21	21	3	22	2
Slam fra Löxa mg/kg	2.6		810	438	54	1010	35
kg/dekar	0.2		49	26	3	61	2

Analysetallene er også beregnet som kg pr dekar til 20 cm etter bestemmelser av jordas volumvekt.

Innholdet av tungmetaller mg/kg tilar sterkt med økende slamtilførsel. Endringen er derimot ikke på langt nær så sterk ved beregning i kg pr dekar, ettersom jordas volumvekt avtar med stigende innhold av organisk materiale.

Tabell 15. Innhold av tungmetaller i planter dyrket i matjord (M) og kalkslam (KS) 40 cm dybde mg/kg tørt materiale.

		Cd	Pb	Zn	Ni	Cu	Co	Mn
Bygg korn	M	<0.2	0.8	36	<0.2	13	<0.2	13
	KS	<0.2	1.3	41	0.3	20	<0.2	20
halm	M	<0.2	1.8	18	0.8	9.2	0.4	9.3
	KS	0.34	2.4	35	1.1	31	<0.2	31
Raigras	M	0.24	4.9	23	3.1	25	0.6	112
	KS	0.20	3.6	62	2.4	10.6	0.4	25
Gulrot rot	M	0.35	1.29	21	1.5	7.8	0.7	9.2
	KS	0.17	1.17	22	1.0	7.6	0.3	4.5
blad	M	0.75	6.31	35	2.2	11.3	1.5	47
	KS	0.54	5.04	44	1.2	11.6	0.9	24
Salat	M	1.17	7.40	41	3.6	12	3.9	120
	KS	1.58	7.54	109	2.5	31	2.4	96

Metallinnholdet i kalkslammet var lavt (se tabell 10). Tabell 15 viser at kalkslam ga et høyere metallinnhold i bygghalm enn ved dyrking uten slam, unntatt Cr. For korn av bygg og de andre vekstene var det små forskjeller i tungmetallinnhold med og uten slam. Salat og raigras hadde høyere Zn etter dyrking i kalkslam.

Planter dyrket i rent slam (felt I) i 1980 hadde regelmesig høyere innhold av Cd, Zn, Ni, Mn og dels Cu enn planter dyrket i kalkslam. Det kan både skyldes forskjeller i metallinnhold og pH i slammet.

b) Ulik kalking på felt med kloakkslam

Halvparten av rutene med slam ble kalket våren 1980 og våren -81. Våren 1981 ble felt II startet, en rutehalvdel ble tilført 600 kg CaO pr dekar. I 1982 ble det tatt med en rute i tillegg, tilsatt 800 kg CaO.

Kalking hadde stort sett samme virkning på innholdet av metaller i de ulike vekstene. Det er derfor beregnet gjennomsnittstall for alle vekstene, inklusiv ulike plantedeler. For kalka ruter er middeltallene oppgitt som relative tall, innholdet i plantene fra ukalka ruter samme felt og samme behandling = 100 (tabell 16). En kan således ikke sammenligne innhold i vekster dyrket ulike år osv.



Tabell 14. Innhold av ulike tungmetaller, gjennomsnittsverdier for ulike vekster og ulike plantedeler. For forsøksledd beregnet som mg/kg og som relative tall for forsøksledd 10 cm slam og 40 cm slam. Konsentrasjonen for matjordledd = 100.

	Tilført slam		
	0	10 cm	40 cm
	mg/kg	relative tall	
Cd	0.51	127	168
Pb	3.4	115	127
Zn	46	269	420
Ni	2.4	130	218
Cu	10.6	114	157
Cr	1.0	110	110
Mn	53	109	485

Stigende mengde slam (0, 10 cm og 40 cm) har påvirket plantenes innhold i denne rekkefølgen:

$Zn > Mn^* > Ni > Cd > Cu > Pb > Cr$

\*) Mn skiller seg ut ved at 10 cm slam økte metallinnholdet lite, dyrking i rent slam derimot ga meget høye innhold i plantene.

#### 4. Virkning av kalk på metalloptak i planter

##### a) Dyrking i rent kalkslam

I likhet med felt I ble det høsten 1978 tilkjørt kalkslam. Det ble lagt ut et felt med 40 cm tykkelse. Våren 1980 ble det sådd bygg, raigras, gulrot og salat, med samme såtid og høstetid som for felt I.

Kalkbehandlingen av slammet skjedde ved innblanding av brent kalk (CaO) etter avvanning, mengden svarte til 1/3 CaO av tørrstoffvekta. Slammet hadde således svært stor kalkvirkning. Etter lagring et par måneder sank pH til 7-8 p.g.a. overgang fra CaO til CaCO<sub>3</sub>.

Tungmetallinnholdet i planter dyrket i kalkslam er sammenlignet med felt I uten slam (tabell 15).

I prinsippet er angivelse av stoffinnhold pr volumenhet jord mest korrekt. Analyseverdiene svarer tilnærmet til totalinnholdet, som sier lite om tilgjengeligheten av metallene.

I 1979 ble det høstet en rute av hver vekst og avlingen ble veid, det var små forskjeller i veksten. Seinere år er det bare tatt ut prøver til kjemiske analyser, uten avlingsbestemmelse. Så vidt mulig er det tatt ut prøver fra planter (og knoller) med samme størrelse. For planteprøvene ble hele den overjordiske delen homogensiert, med mindre det ble foretatt en oppdeling av plantene.

Alle røtter til analyseprøver var grundig vasket i destillert vann. I de fleste tilfelle ble det også gjort for overjordiske plantedeler.

Forsøksopplegget har avgjorte svakheter. For det enkelte år var det ikke samruter mellom behandlingene. På den andre side er det vanlig at en i forsøk nøyer seg med å analysere en samleprøve for hvert forsøksledd.

Innholdet av tungmetaller i planter kan variere sterkt mellom ulike dyrkingssteder fordi viktige egenskaper som humusinnhold, leirinnhold, opphavsmateriale og jordas pH varierer. Et forsøk utført på ett bestemt sted gir derfor ikke noe representativt bilde av tungmetall opptaket i planter.

På den andre siden bør et slikt opplegg godt klarlegge ulike plantearters evne til å ta opp ulike metaller og ulikheter i innhold mellom plantedelene. Virkningen av kalking på tilgjengeligheten av metaller på slambehandla ruter burde også relativt sikkert bli klarlagt. I tillegg skulle en få pålitelig sammenligning av plantetilgjengelighet for ulike metaller.

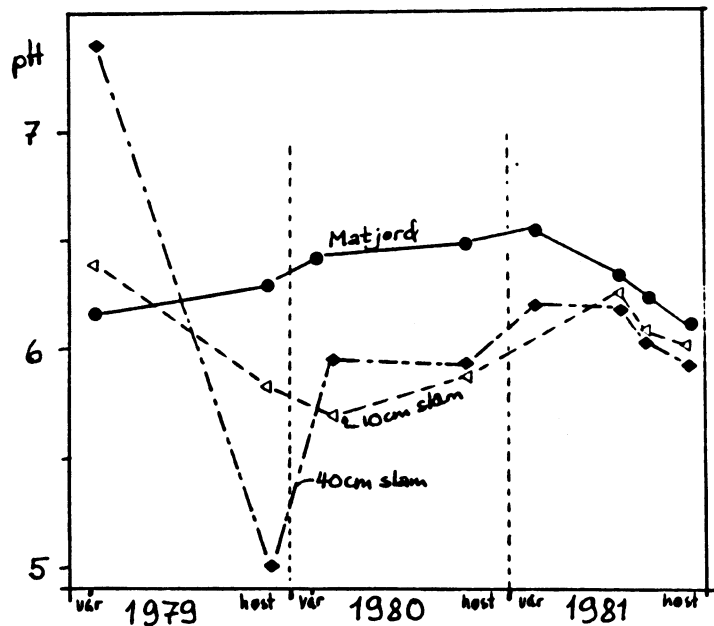
#### 2. pH og andre jordanalyser

Jordas pH betyr svært mye for plantetilgjengeligheten av enkelte metaller.

Undersøkelser har vist at pH i slam senkes i løpet av lagringstida etter hvert som slammet tørker opp. Etter 1 eller 2 år har pH gradvis steget igjen (VIGERUST og WENG, 1983). I markforsøk er det eksempler på at slam fra Bekkelaget renseanlegg har hatt en forsurende virkning på jorda 1. året. Dette har ellers ikke vært tilfelle i forsøk med slam fra andre steder (1.c).

Det ble tatt ut jordprøver bl.a. til pH-bestemmelse etter ulike tid, forandringene i pH er vist i fig. 1 og 2.

Fig 1. Utviklingen av pH i sjikt 0-15 cm fra felt I.



Grasarter var dyrket på felt II, anlagt våren 1981. Planter fra rute med rent slam hadde meget høye B-innhold.

De andre vekstene var dyrket på felt I, anlagt våren 1979. Kompost av slam/sagflis var tilkjørt høsten 1980.

Omsatt slam er lett gjennomtrengelig for vann. Bor er regnet for å være lett bevegelig i jord og vil derfor etter hvert bli vasket ut fra det øvre jordlaget.

I 1982 ble bygg dyrket både på felt I og II, prøver av bygg dyrket i rent slam viste dette B-innholdet i mg/kg tørt materiale:

	Halm	Korn
Felt I anlagt våren -79	14.9	1.3
Felt II " " -81	82.9	5.1

På rent slam ble det hvert år hos blad av bygg og hvete påvist symptomer som ble antatt å være borforgiftning. Disse symptomene avtok litt med årene, fra 1979-82, men var ikke helt borte selv etter 4 år.

Litteratursammenstilling av BERGMANN og NEUBERG (1976) viser at borforgiftning på planter gjør seg gjeldende ved svært forskjellig B-innhold i plantene avhengig av art, plantedel og tidspunkt for prøvetaking. Bygg er særlig utsatt for B-forgiftning. I disse forsøkene ble det ikke påvist spesielle symptomer på grasarter. Resultatene tyder derfor ikke på noen nær sammenheng mellom analysetall og vekstskade.

1) Sammenfatning

Som ren orientering er det for hvert metall beregnet middel av innholdet i alle vekster, inklusiv plantedeler. Beregningene omfatter bare vekster som har analysetall for hvert av de 3 behandlingsleddene (tabell 14).

Tabell 12. Co-innhold i planteprøver, mg pr kg tørrstoff. 1981.

		Uten slam	10 cm ukalka	Slam kalka	40 cm ukalka	Slam kalka	Slam/sagflis kompost
Bygg	korn	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	0.5
	halm	0.6	0.6	0.7	1.0	1.4	1.2
Havre	korn	<0.3	<0.3	0.4	0.4	0.4	0.8
	halm	0.4	0.8	0.9	1.0	1.1	0.9
Hvete	korn	<0.3			<0.3		
	halm	<0.3			0.6		
Salat		2.1	2.6	2.5	2.1	2.0	1.6

k) Bor, B

B-innholdet i planteprøvene er gjengitt i tabell 13.

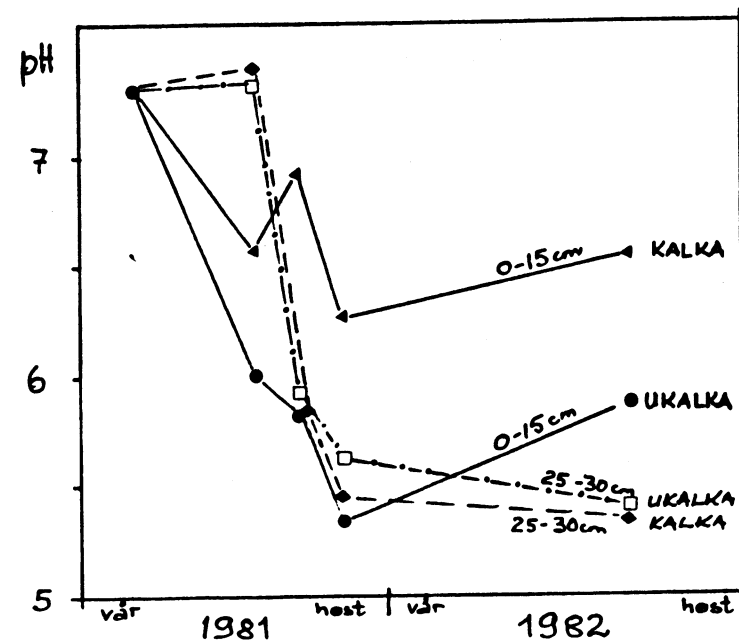
Tabell 13. B-innhold i planteprøver, mg/kg tørrstoff. 1981.

		Uten slam	10 cm slam ukalka	10 cm slam kalka	40 cm slam ukalka	40 cm slam kalka	Slam/sagflis kompost
Bygg (I)	korn	1.33	0.76	0.95	1.21	1.02	1.27
	halm	4.8	5.7	7.4	17.7	10.7	8.7
Havre (I)	korn	1.72	2.03	1.27	1.7	1.4	1.65
	halm	5.0	4.6	5.4	7.8	8.4	23.0
Hvete (I)	korn	0.40			0.19		2.8
	halm	2.9			2.3		8.9
Salat (I)		23.9	25.5	25.2	21.7	21.7	37.9
Raigras (II)		10.1			74.8		
Timotei (II)		11.3			59.0		
Hundegras (II)		6.2			108.0		
Engrapp (II)		11.9			85.0		

B-innholdet var tydelig høyere i halm enn i korn for alle 3 kornslagene.

Det var tendens til at B-innholdet i halm tiltok med økt slamdosering, dette var ikke tilfelle for kornkjernene.

Fig 2. Utviklingen i pH i rent slam i sjikt 0-15 cm og 25-30 cm.



I rent slam gikk pH sterkt ned i løpet av den første sommeren. Det er her vanskelig å si hvilken pH-verdi som kan ha vært mest representativ for den perioden da stoffopptaket i plantene var størst.

I nesten hele forsøksperioden var pH i matjorda tydelig høyere enn pH i slam eller slamblanda jord.

Den biologiske aktiviteten i slam eller slamblanda jord ventes å være høyere enn i matjord. Det skulle også tilsi et høyere CO<sub>2</sub>-trykk i jordvaska. Eventuelle forskjeller vil påvirke den aktuelle pH-verdien. Mye tyder likevel på at selve målemetoden i liten grad vil reflektere forskjeller av ulikt CO<sub>2</sub>-trykk, spesielt om prøvene blir tørket før målingen. Etter dette kan den målte pH-verdien ha vært høyere enn den verdien en hadde ved høy biologisk aktivitet.

Tilføring av 200 kg CaO pr dekar til slam og slamblanda jord våren 1980 resulterte bare i beskjeden økning av pH. Dels kan dette skyldes stor buffer-evne, særlig fra selve slammet, dels kan kalkingen også ha stimulert den biologiske aktiviteten, som førte til underskudd på oksygen.

Prøver fra felt II viste sterk nedgang i pH i slam første sommeren. I de dypere lagene kom forsuringen seinere og varte lenger, noe som kan ha sammenheng med mindre oksygentilgang.

Første året kan en regne med anaerobe forhold i de dypere slamlag, dermed har røttene i liten grad gått ned. Dette er observert i lagra slam andre steder. Neste år var materialet mer omsatt, dermed skulle også røttenes mulighet til å gå dypere ned ha vært større. På denne tiden var imidlertid pH i sjiktet under 20 cm relativt lav.

Jordprøver uttatt høsten 1981 viste følgende verdier, angitt som ammoniumlaktatløselige næringsstoffer (P-Al, K-Al osv) i mg pr 100 g tørt materiale, i parentes angitt som mg for 100 ml:

	pH	P-Al	K-Al	Mg-Al	Ca-Al
Uten slam	6.2	15	14	9	123
10 cm slam uten kalk	6.0	62(50)	15(12)	22(18)	250(200)
" " " med "	7.0	56(45)	20(16)	24(19)	530(424)
40 cm slam uten "	6.0	53(19)	33(12)	31(11)	360(130)
" " " med "	7.1	51(18)	42(15)	93(33)	2300(826)

Innblanding av 10 cm slam har gitt høyere innhold av lett-løselig P enn det var i rent slam. Innholdet av de 4 næringsstoffene må sies å være høyt for alle behandlingsmåter.

### 3. Tungmetallinnhold i ulike planteslag og ulike plantedeler

Tungmetallinnhold i ulike planteslag og plantedeler etter dyrking i matjord, 10 cm slam og 40 cm slam er framstilt i diagrammer for hvert enkelt metall (fig 3-10). Alle diagrammene gjelder ukalka feltdeler.

Tabell 11. Hg-innhold i ulike planter og plantedeler, mg pr kg tørrstoff.

		Matjord	Slamblanding 10 cm	Slam 40 cm
Bygg	Korn	< 0.02	< 0.02	< 0.02
	Halm	0.04	0.03	0.04
Havre	Korn	< 0.02	< 0.02	< 0.02
	Halm	0.02	0.03	0.03
Hvete	Korn	< 0.01	< 0.01	< 0.01
	Blad	0.54	0.33	0.14
	Stengel	0.06	0.07	0.07
	Røtter	0.50	0.43	0.40
Gulrot (to år)	Rot	0.03	0.05	0.05
	Blad	0.06	0.17	0.16
Rødbete	Rot	0.07	0.03	-
	Blad	0.18	0.22	0.08
Potet	Knoll	< 0.01	< 0.01	< 0.01
	Ris	0.07	0.04	0.03
Salat		0.40	0.18	0.10

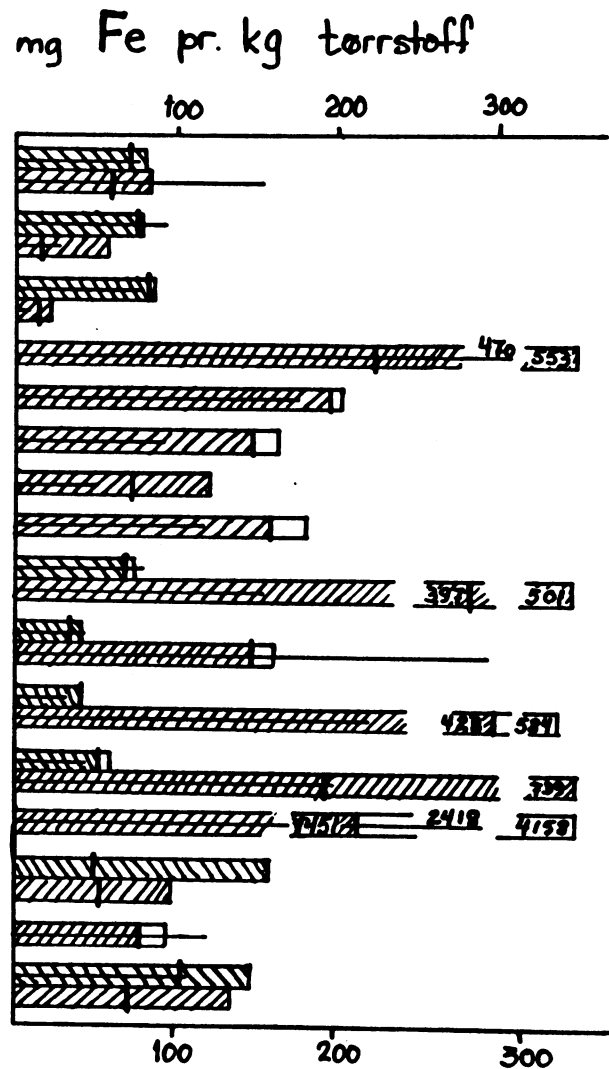
I likhet med andre tungmetaller varierte Hg-innholdet sterkt etter planteslag og plantedel. Innholdet i blad og røtter av hvete var f.eks. over 50 ganger høyere enn i kornet. Innholdet var også høyere i bladverket enn i rotfrukter av gulrot og rødbete samt knoller av potet.

Det var også tydelig tendens til at innholdet av Hg i bladprøver ble redusert ved stigende slamdosering. En må regne med at Hg bindes sterkt til organisk materiale, eventuelt kan det også bli utfelt som uorganiske forbindelser (HgS).

j) Kobolt, Co (tabell 12).

Innholdet i halm var tydelig høyere enn i korn. Av de få vekstene hadde salat høyest innhold. Behandlingen har i liten grad påvirket Co-innholdet.

fig. 10



Signatur; se fig. 3

## a) Kadmium, Cd (fig 3)

Av fig 3 framgår at det var store forskjeller i Cd-innhold mellom ulike planteslag og mellom ulike plantedeler, uansett slambehandling. Det var lavest innhold i korn av bygg og hvete, samt i potetknoller. Dette er viktige norskavla matprodukter.

For kornartene var det tydelig høyere innhold i halm enn i korn. I tillegg førte økte slammengder til at Cd-innholdet i halm økte mer enn i korn.

Rotvekstene nepe, kålrot, gulrot, rødbete, forbete og reddik hadde høyere Cd-innhold i bladverket enn i røtter (spiselig del). Potetris og rødbeteblad hadde særlig høye Cd-konsentrasjoner. Det var tendens til at slambehandlingen hevet innholdet i bladene mer enn i røttene.

Salat, mais og rødbete var de vekstene som hadde størst Cd-innhold. For disse vekstene ga slamtilføring stort merinnhold.

Mais plantet i rent slam døde etter en tid. Maisplantene nådde ikke modning hverken på felt med matjord eller slamblending.

For de fleste vekstene har dyrking i slam eller slamblending bare gitt forholdsvis moderate økninger av Cd-innholdet i plantene, spesielt om det vurderes ut fra de totale Cd-mengdene som er tilført.

## b) Bly, Pb (fig 4)

Innholdet av Pb varierte med planteslag og var svært forskjellig i ulike deler av plantene.

Innholdet var jevnt over høyere i halm enn i korn. Rotvekster og potet hadde tydelig høyere Pb-innhold i bladene enn i rotfrukter og knoller. Det høyeste innholdet ble påvist i salat dyrket i slamblending eller i rent slam. For andre vekster hadde tilføring av slam liten virkning.

fig. 3

mg Cd pr. kg tørrstoff

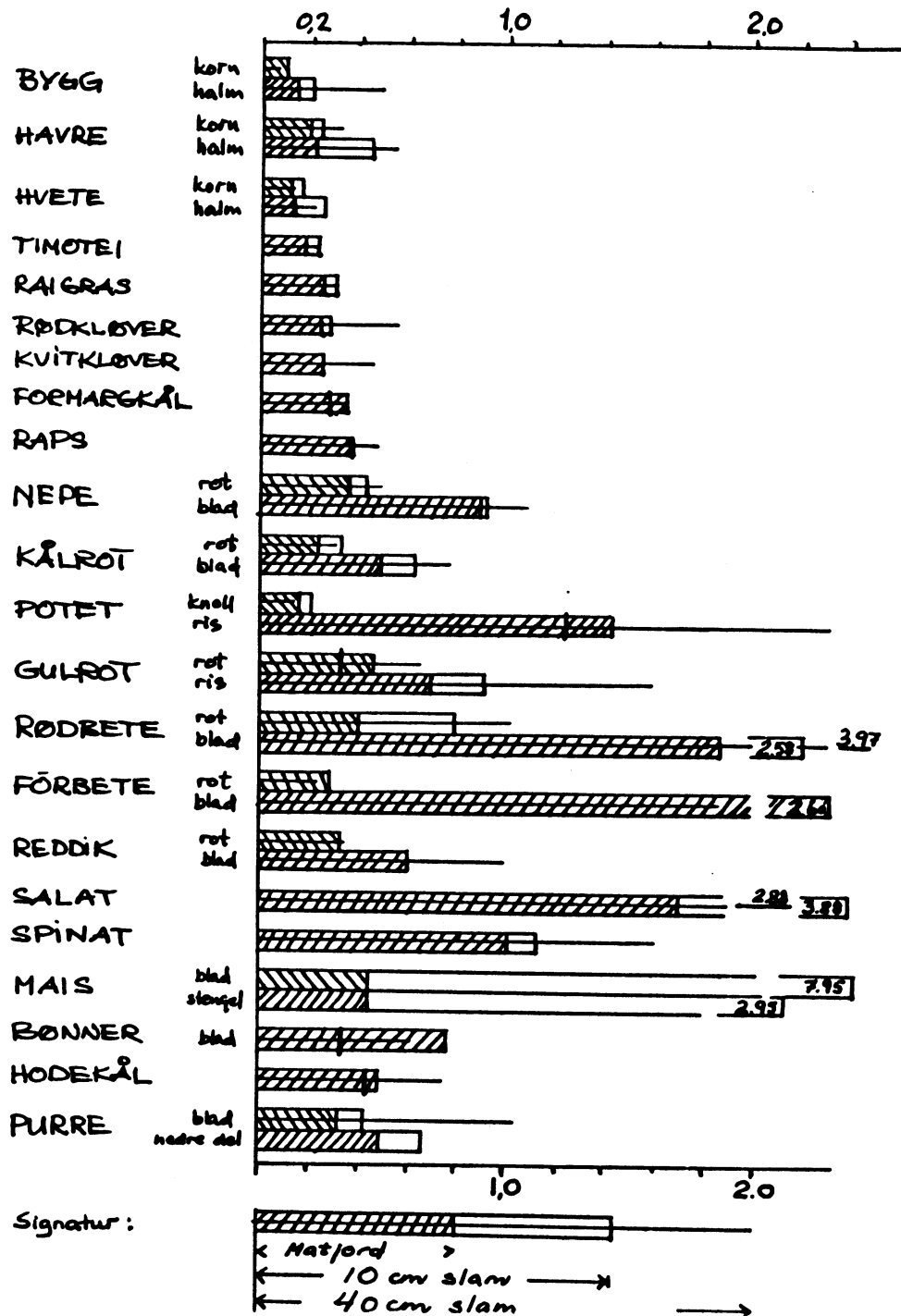
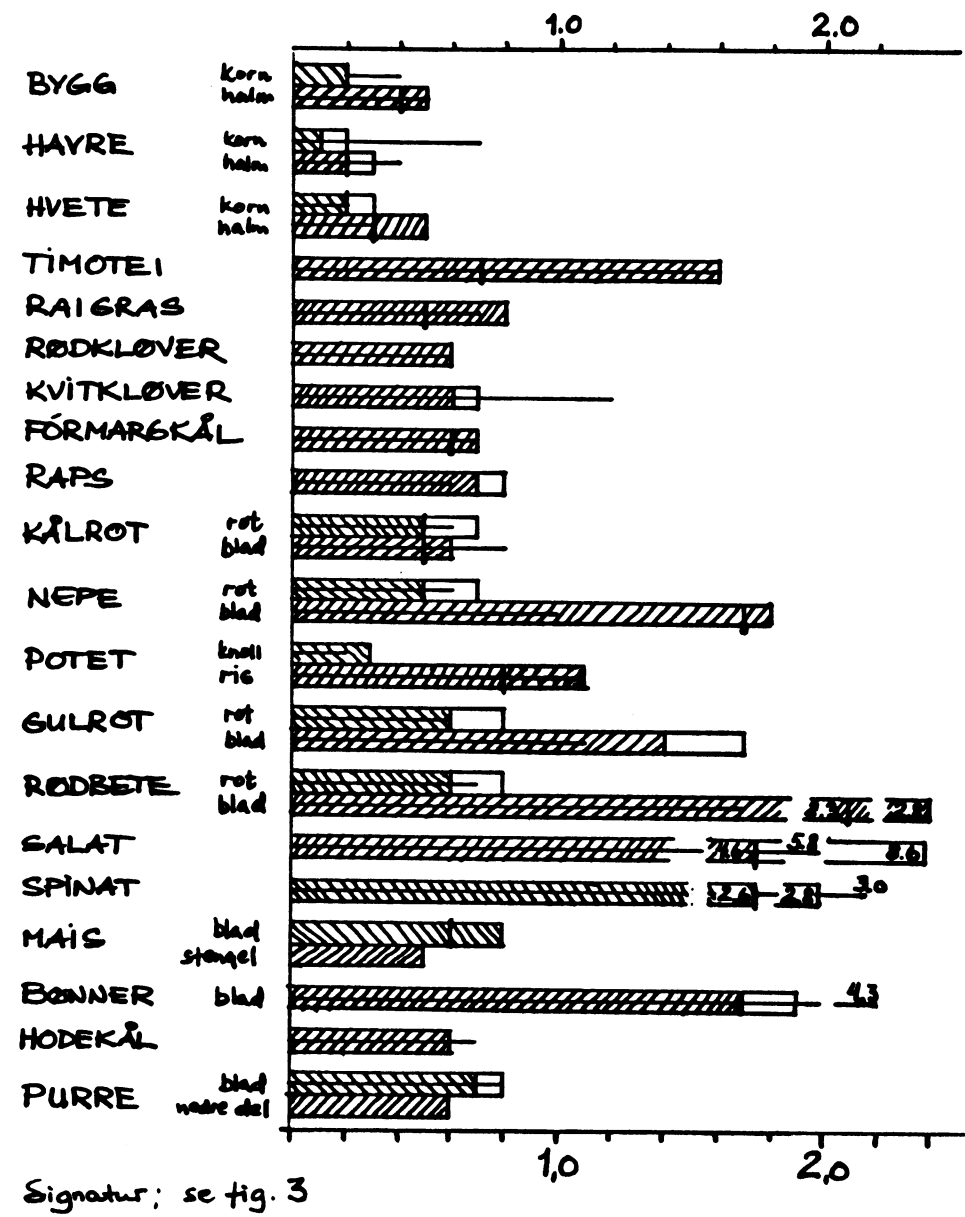


fig. 9

mg Cr pr. kg tørrstoff





g) Krom, Cr (fig 9)

Slam har i meget liten grad påvirket plantenes Cr-innhold. Salat var den eneste veksten som tydelig reagerte med økt innhold ved tilføring av slam. I middel for de andre vekstene (inkludert ulike plantedeler) har behandlingsmåten omtrent ikke endret plantenes Cr-innhold.

Innholdet av Cr var spesielt lavt i korn og potet.

h) Jern, Fe (fig 10)

Plantenes innhold av Fe ble bare bestemt i 1980 (og i noen spesielle underøkkelser i 1982).

Innholdet var spesielt høyt i de vegetative plantedelene.

Salat var den eneste veksten med tydelig høyere Fe-innhold etter slambehandling. For flere vekster var det tvert imot tendens til at stigende mengde slam ga reduisert innhold i plantene. DOWDY og LARSON (1975) påviste at bruk av slam på sur jord senket plantenes Fe-innhold. De antar at dette skyldes kompleksdannelse slik at Fe blir mindre tilgjengelig.

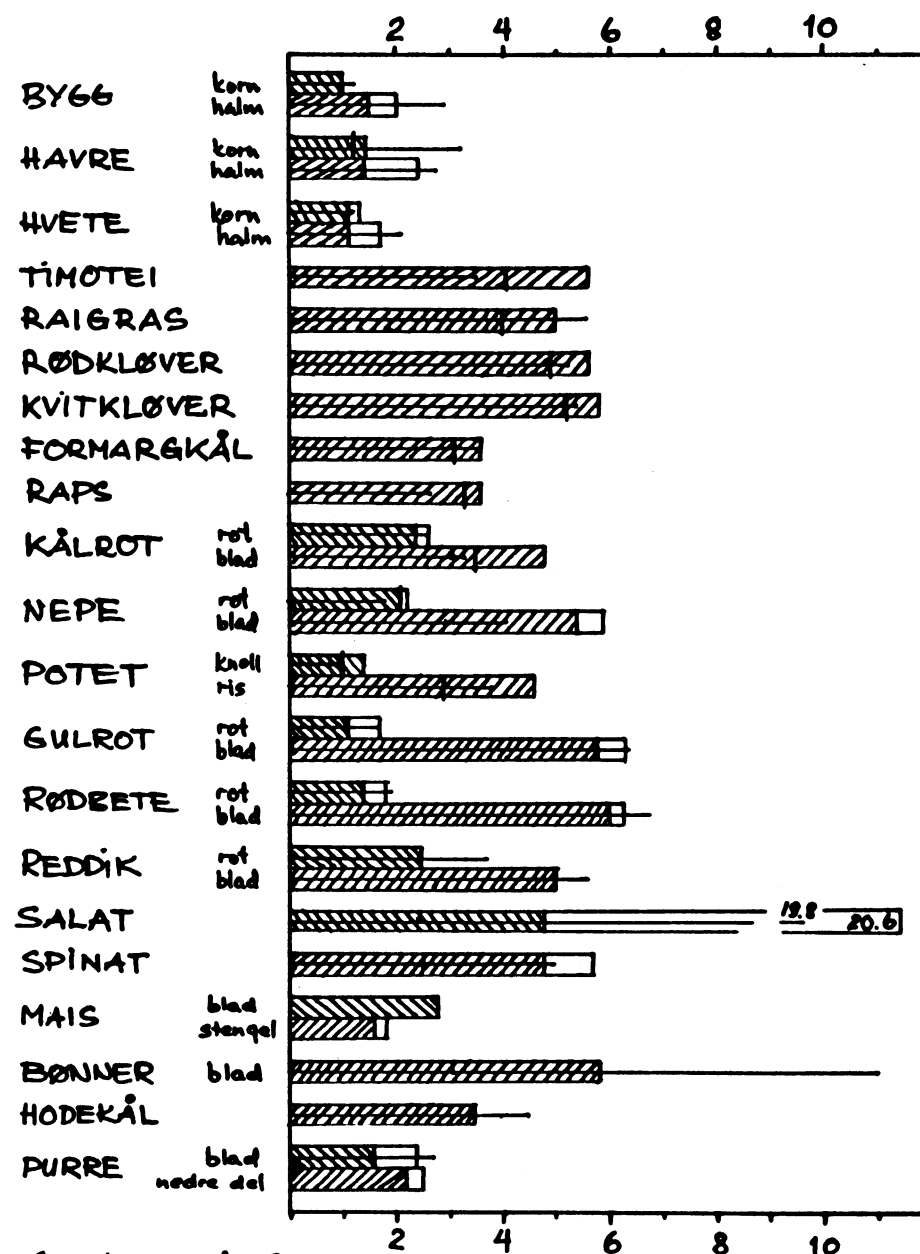
Store mengder slam vil også endre oksidasjons-/reduksjonsforholdene, samtidig som slammene ga en forsurende virkning. De fysikalsk-kjemiske forholdene i slam og slamblanda jord påvirkes sterkt av omsetningsforløpet. Virkningene overfor de enkelte stoffene kan derfor bli kompliserte. Plantenes opptak vil være sterkt knyttet til omsetningsforholdet i veksttida det enkelte år.

Planteanalysene av Fe stammer fra 2. vekstår. Den biologiske aktiviteten var da trolig redusert i forhold til første sommeren.

i) Kvikksølv, Hg (tabell 11).

Bestemmelse av er bare utført i en del av prøvematerialet.

fig. 4 mg Pb pr. kg tørrstoff.



Signatur; se fig. 3

c) Sink, Zn (fig 5)

Innholdet av Zn i plantene tiltok med økende mengde tilført slam.

Ved dyrking i matjord var innholdet av Zn i de 3 kornartene høyere i kjernene enn i halmen. Økt Zn-tilførsel med slam førte til at en forholdsvis større andel ble avleiret i halmen.

Innholdet av Zn var moderat i rotfrukter og potetknoller, det var regelmessig høyere i bladverket.

Vekstene rødbete, forbete, spinat, salat og rødkløver hadde spesielt høyt Zn-innhold i bladene.

En litteratursammenstilling (SAUERBECK, 1982) antyder at plantetoksisk virkning kan inntreffe når innholdet i planten overstiger 150-200 mg/kg TS. Flere vekster dyrket i rent slam og enkelte vekster dyrket i slamblanding hadde vesentlig høyere innhold enn dette.

d) Nikkel, Ni (fig 6)

Ni-innholdet varierte sterkt med planteart og plantedel. Havre og hvete hadde høyere innhold i korn enn i halm.

Innholdet var jevnt over noe lavere i rotfrukter enn i bladprøver.

Som helhet har stigende sjikt-tykkelse av kloakkslam forhøyet Ni-innholdet i plantene. Denne økningen må likevel betraktes som moderat vurdert i forhold til de store mengdene Ni som er tilført. I tillegg er det vanlig å regne med at Ni er relativt lett plantetilgjengelig. Ved dyrking i rent slam lå innholdet i planter godt under den grenseverdi på 20-30 ppm Ni som SAUERBECK (1982) angir for vekstskade.

e) Kopper Cu (fig 7)

Ulike sjikttykkelser av slam har ikke ført til store forskjeller i plantenes Cu-innhold. Utslagene for Cu var ikke så regelmessig som tilfelle for Cd og Zn.

For hver behandling var det høyere innhold i korn enn i halm av bygg og hvete. For rotvekster var det ikke så klare forskjeller i Cu-innholdet mellom rottdel og bladverk som beskrevet for metallene foran. Innhold i potet var lite påvirket av slam-behandlingen.

Cu-innholdet var særlig høyt i salat, forbete, reddik og kvitkløver. Disse vekstene, ved siden av spinat, var mest påvirket av slamtilføring.

Cu-innholdet oversteg for mange vekster den grenseverdien på 15-20 ppm Cu som er angitt etter litteraturstudier (SAUERBECK, 1982).

f) Mangan, Mn (fig 8)

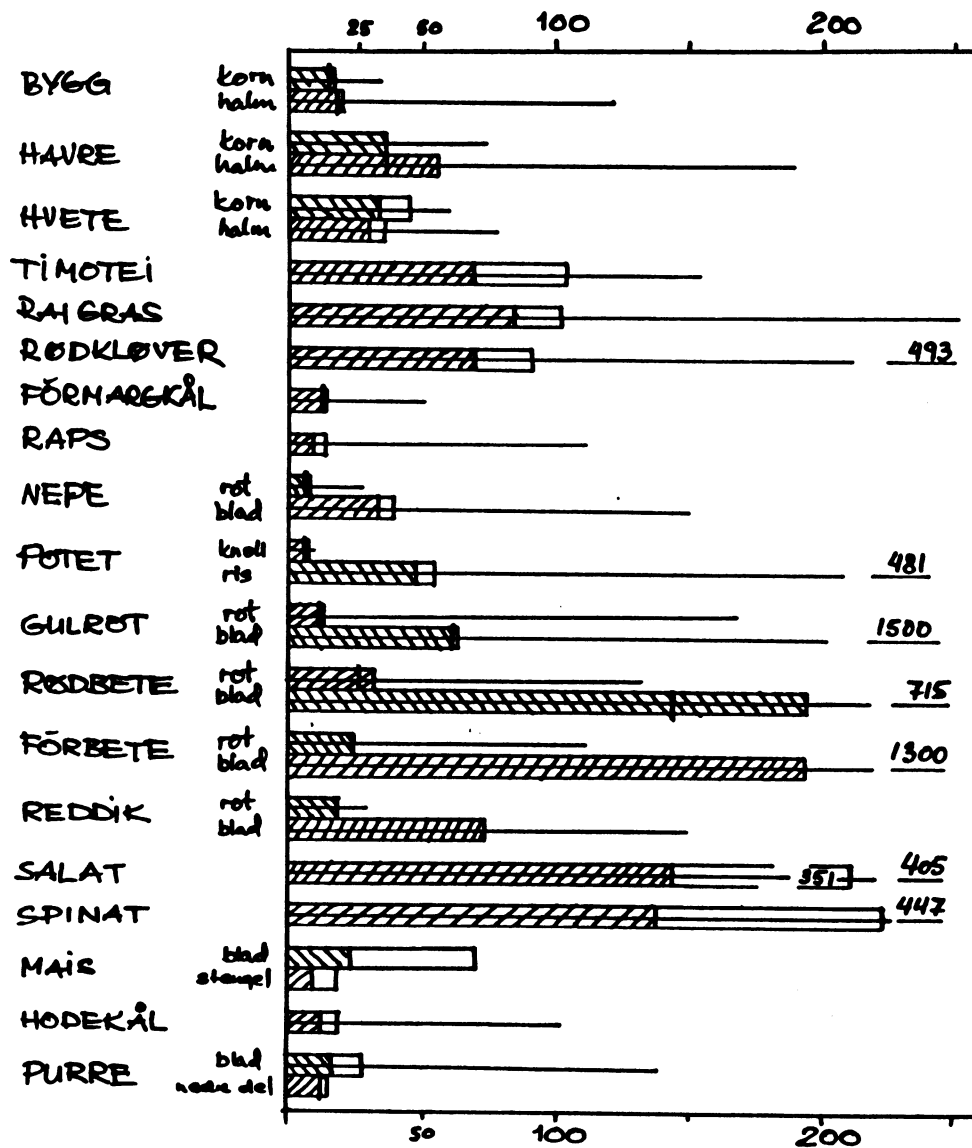
Innholdet av Mn var svært forskjellig i ulike planteslag og ulike plantedeler. Rotvekster og poteter hadde betydelig høyere innhold i bladverket enn i rotfruktene og knollene.

Innblanding av 10 cm slam i jorda har bare gitt en svak heving av plantenes Mn-innhold i forhold til planter dyrket i matjord.

Dyrking i rent slam ga derimot meget høye Mn-innhold i plantene. I noen tilfelle kan det ha gitt toksiske effekter. Dette kan skyldes stor tilførsel av Mn med slammet. Større virkning hadde trolig omsetning av store mengder organisk stoff, det endrer lett red.-oks. forholdene på en slik måte at Mn blir lett tilgjengelig for plantene. I tillegg vil senking av pH ha betydning på samme måten.

fig. 8

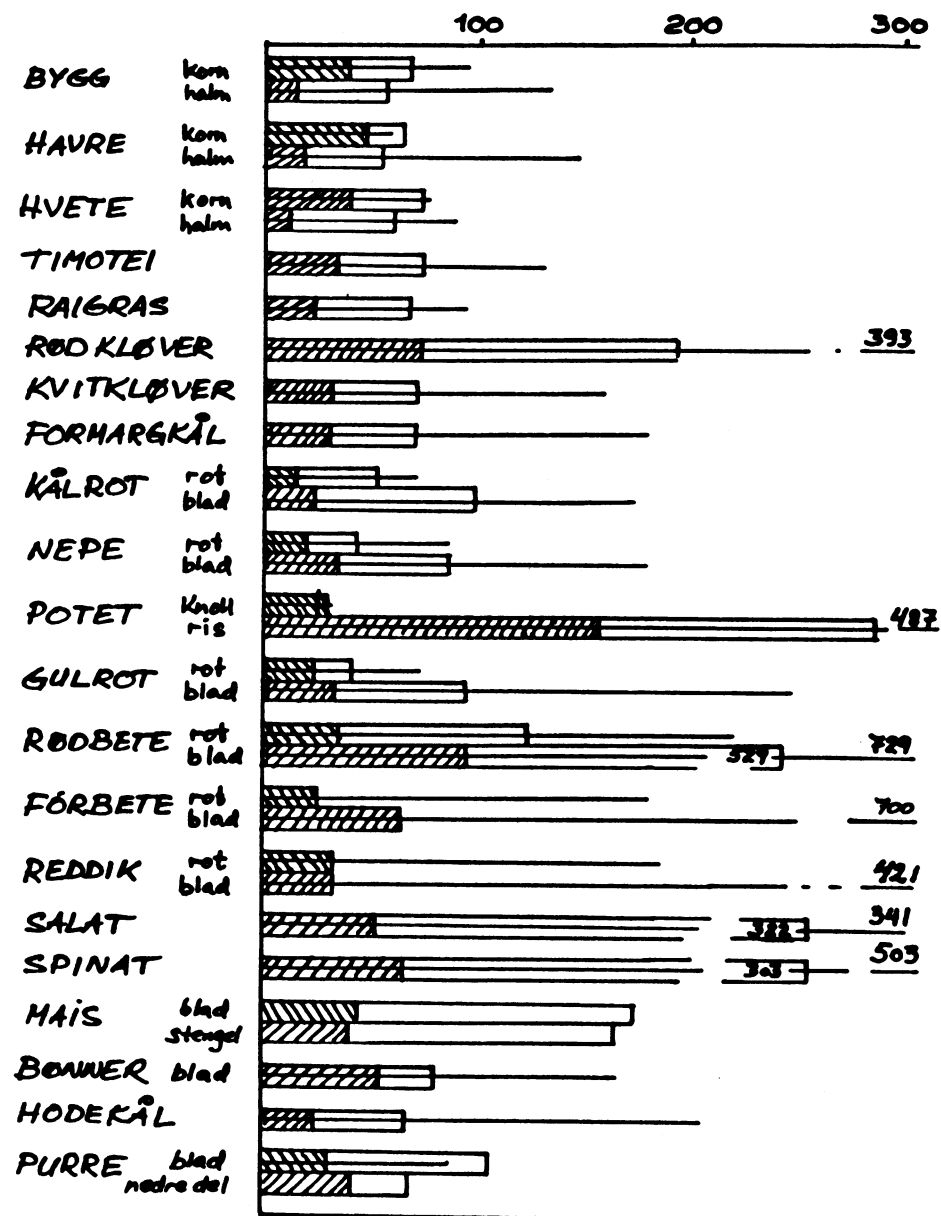
mg Mn pr. kg tørrstoff



Signatur; see fig.

fig. 5

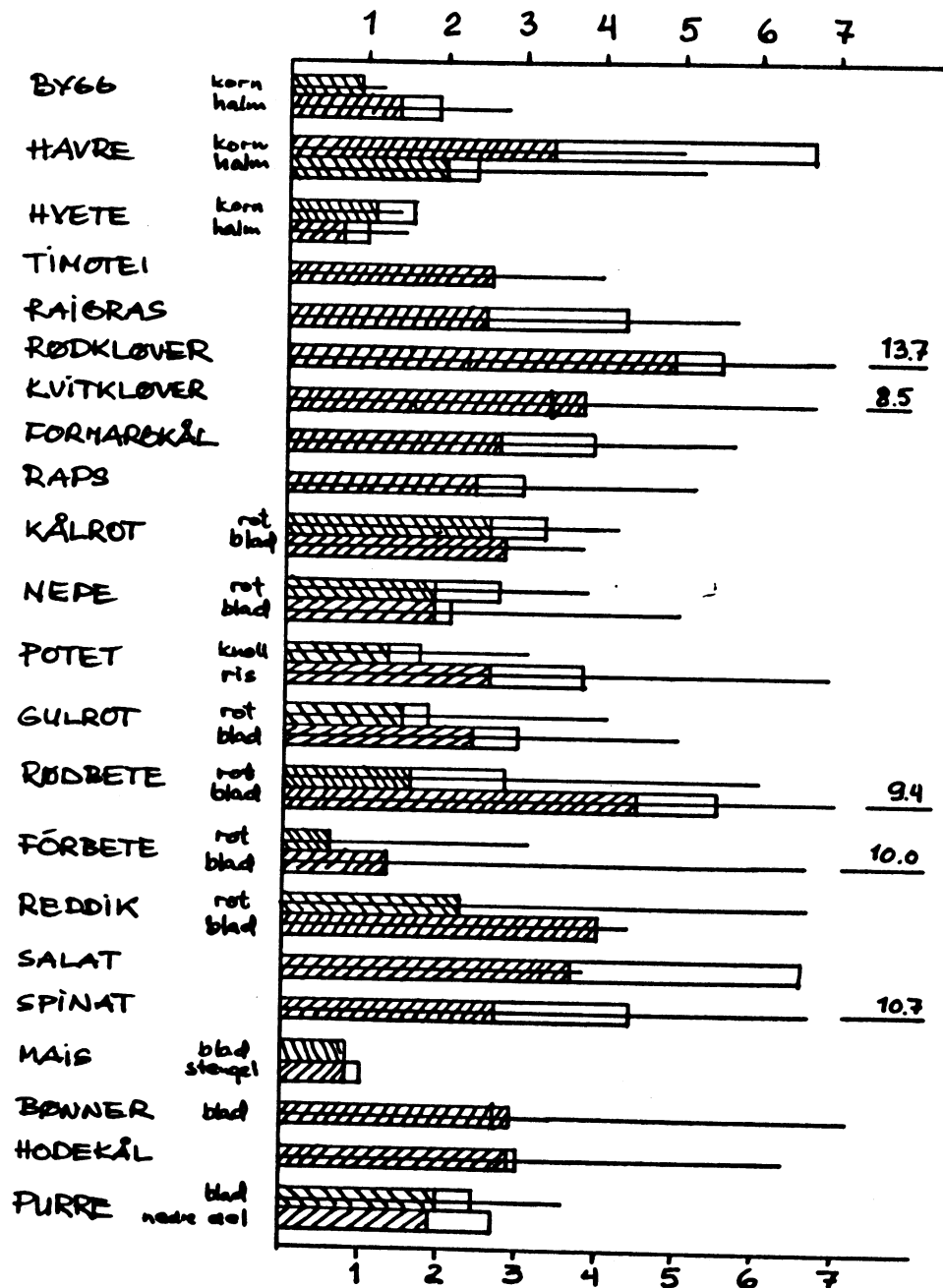
mg Zn pr. kg tørrstoff



Signatur; se fig. 3

fig. 6

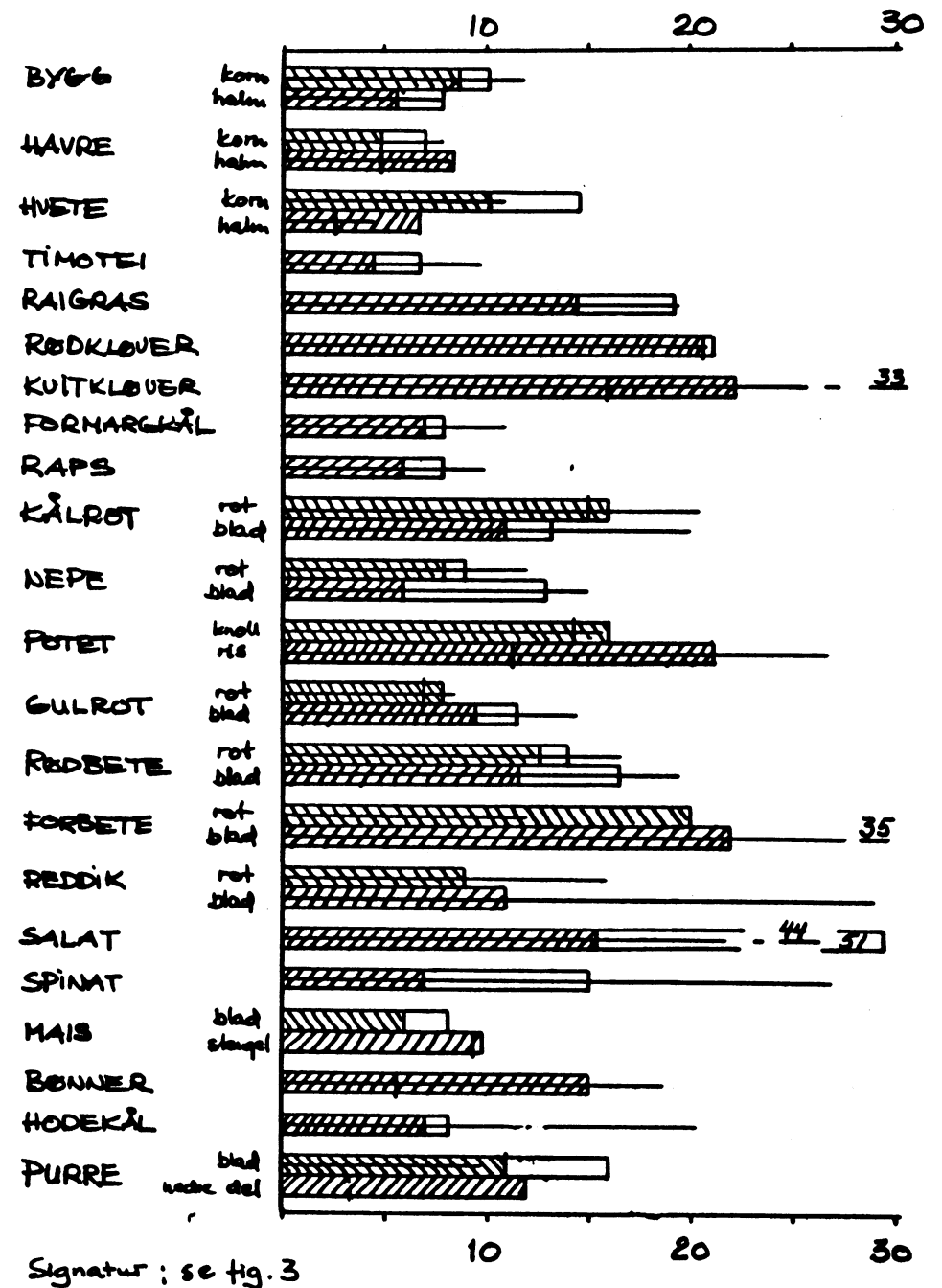
mg Ni pr. kg tørrstoff



Signatur; se fig. 3

fig. 7

mg Cu pr. kg tørrstoff



Signatur; se fig. 3