

Bioforsk Rapport

Bioforsk Report

Vol. 10 Nr. 57 2015, M361 | 2015

Nyttig bruk av organisk avfall

Vurderinger av organisk gjødsel, jordforbedringsmidler og ingredienser i jordblandinger

Trond Knapp Haraldsen og Bente Føreid

Bioforsk Miljø

www.bioforsk.no



**Hovedkontor/Head office**

Frederik A. Dahls vei 20
N-1432 Ås
Tel.: (+47) 40 60 41 00
post@bioforsk.no

Bioforsk Miljø**Bioforsk Environmental Division**

Frederik A. Dahls vei 20
1430 Ås
Tel.: (+47) 40 60 41 00
Trond.haraldsen@bioforsk.no

Tittel/Title:

Nyttig bruk av organisk avfall. Vurderinger av organisk gjødsel, jordforbedringsmidler og ingredienser i jordblandinger

Forfatter(e)/Author(s):

Trond Knapp Haraldsen og Bente Føreid

Dato/Date: 26.06.2015	Tilgjengelighet/Availability: Åpen	Prosjekt nr./Project No.: 8849	Saksnr./Archive No.:
Rapport nr./Report No.: 57/2015, M361 2015	ISBN-nr./ISBN-no: 978-82-17-01425-6	Antall sider/Number of pages: 31	Antall vedlegg/Number of appendices:

Oppdragsgiver/Employer: Miljødirektoratet	Kontaktperson/Contact person: Elisabeth Møyland
---	---

Stikkord/Keywords: Avløpsslam, biorest, kompost, jordforbedring Anaerobic digestates, composts, sewage sludge, soil conditioners	Fagområde/Field of work: Jordkvalitet, grøntanlegg og miljøteknologi Environmental technology, urban greening, soil quality
---	--

Sammendrag:

I denne rapporten er det oppsummert norsk erfaringsgrunnlag med bruk av ulike typer behandlet organisk avfall som gjødsel, jordforbedringsmidler og ingredienser i jordblandinger. Det er lagt vekt på å belyse hvordan ulike organiske avfallsmaterialer kan anvendes som nyttige produkter, men det er også vist eksempler på problemer knyttet til bruk og misbruk av slike materialer. Det er viktig å skille mellom materialer som bør brukes årlig som gjødsel, og materialer som har flerårig virkning og anvendes som jordforbedringsmidler. Organiske avfallsmaterialer oppfattes som spesielt nyttige i åkerdyringsområder med liten tilgang på husdyrgjødsel, siden de både tilfører løselige næringsstoffer og organisk materiale. Det er få eksempler på problemer med bruk av organiske avfallsmaterialer på jordbruksarealer, mens det er betydelige utfordringer med bruk av organiske avfallsmaterialer både i offentlige og private grøntanlegg. Til grøntanlegg er det en utfordring både å tilfredsstille behovet for passende mengde organisk materiale og behovet for løselige næringsstoffer i dyrkingsmediet ved bruk av organisk avfall. Gjeldende forskrift medfører betydelig risiko for å overdosere med løselige næringsstoffer ved bruk av maksimalt tillatte mengder organiske avfallsmaterialer i grøntanlegg.

Summary:

This report gives an overview of recent Norwegian results and experience on use of different types of organic waste products as organic fertilizers, soil conditioners and ingredients in soil mixtures. The main topic in the report is on utilization of different types of organic wastes as useful products, but some examples on problems related to use and improper use are also given. It is needed to divide organic waste materials that should be used annually as fertilizer and materials with perennial effects that should be applied as soil conditioners. Organic waste materials are especially attractive in areas dominated by arable cropping and limited availability to animal manure, as application of such materials both supply plant nutrients and organic matter to soils. There are few reports on problems related to use of organic waste products in agriculture, while problems related to use of organic waste materials in urban greening is numerous. In urban greening it is a challenge to meet both the need for organic matter and suitable amounts of available plant nutrients with use of organic waste materials. The present Norwegian regulations represent a considerable risk for supply of much more soluble plant nutrients than the plants demand in urban greening when maximum allowed amounts of organic waste materials are used.

Land/Country: Norge

Fylke/County:

Kommune/Municipality:

Sted/Lokalitet:

Godkjent / Approved

Prosjektleder / Project leader



Trond Mæhlum



Trond Knapp Haraldsen

Innhold

1.	Innledning	3
2.	Organisk stoff i jord	5
2.1	Ulike former for organisk materiale i jordsmonn	5
2.2	Organisk materiale og avlingspotensiale	6
2.2.1	Organisk materiale og ulike jordtyper	6
2.2.2	Geografisk variasjon	6
2.2.3	Utvikling over tid	7
2.3	Virkning av organisk materiale på fysiske-, kjemiske- og biologiske egenskaper	8
3.	Organiske avfallsprodukter som gjødsel/ jordforbedring	10
3.1	Bruksområder for organiske avfallsprodukter	12
3.2	Fosfor i avløp og kretsløp	16
3.3	Negative virkninger ved bruk av organiske avfallsmaterialer	17
3.4	Klassifisering av ulike typer organisk avfall	22
3.5	Brukes organiske avfallsprodukter etter bevisst planlegging?	25
3.5.1	Kjøttbeinmel – fra foringrediens til gjødsel og nye markeder	25
3.5.2	Avløpsslam med flersidige effekter	26
3.5.3	Bruk av kompost på jordbruksarealer	26
3.5.4	Flytende biorest – organisk NPK gjødsel med stort brukspotensial	27
3.5.5	Forutsetninger for at organiske gjødselprodukter blir attraktive	27
4.	Konklusjoner	29
5.	Referanser	30

1. Innledning

Bakgrunnen for denne rapporten var en forespørsel fra Miljødirektoratet i 2014. De ønsket å få klarlagt ulike spørsmål knyttet til organisk materiale og utnyttelse av organisk avfall.

1. Hvor stort behov eksisterer for tilførsel av organisk materiale til norsk landbruksjord?

Vi vet at ulike type organiske gjødselvarer (f.eks. husdyrgjødsel og avfallsbaserte gjødselvarer) brukes på landbruksarealer i dag for å tilføre jorda både nødvendige næringsstoffer, men også organisk materiale. For å kunne vurdere nytteverdien av en gjødseltype, må vi blant annet ha kunnskap om behovet jorda har for tilførsel av gjødsel og organisk materiale. Vi går ut i fra at bonden vet godt hvor mye gjødsel han skal tilføre jorda for å få best mulig avling.

- Men vet vi også noe om hvordan tilførsel av organisk materiale påvirker avlingsresultatet?

- Kan vi si noe om det er behov for tilførsel av organisk materiale i ulike regioner i landet?

- Hvor stort er behovet for tilførsel av organisk materiale for ulike jord- og veksttyper?

- Har bonden et bevist forhold til jordas behov for organisk materiale når han velger gjødseltype eller vil andre forhold være viktigere for valg av ulike gjødseltyper?

- Vi ønsker deres vurdering på om ulike typer organisk avfall, herunder avløpsslam, kompost og biorest har ulik nytteverdi når det gjelder gjødselverdi og andre jordforbedrende egenskaper

- Vi ønsker en vurdering av ulike varianter/blandinger av 1-7, i kompost og biorest, og egnetheten av disse materialene som "gjødsel", "jordforbedringsmiddel" og "ingredienser i jordblandinger". Vi foreslår følgende avfallsbaserte gjødseltyper:

1 Stabilisert avløpsslam

2 Kompostert avløpsslam

3 Kompost av park- og hageavfall/matavfall

4 Biorest basert på matavfall

5 Biorest av avløpsslam

6 Slam fra fiskeoppdrettsanlegg.

7 Aske

2. Tilgjengelighet av næringsstoffene i kompost, biorest og avløpsslam

Organiske gjødselvarer har ulik plantetilgjengelighet av næringsstoffer. Vi vet for eksempel at fosfor er lite plantetilgjengelig i avløpsslam fra renseanlegg som bruker fellingskjemikalier. Vi ønsker at dere gir en vurdering av fosfortilgjengelighet i avløpsslam opp mot biorest og kompost. Det er også interessant å vite om aktuelle forbehandlingsmetoder endrer tilgjengeligheten av næringsstoffene.

Det er en målsetning å redusere avfallsmengder og bruke avfall til noe nyttig, slik at stoff kan gå i kretsløp så mye som mulig. Mange organiske avfallsprodukter kan brukes som gjødsel eller jordforbedringsmiddel, og vil kunne tilføre jorda organisk materiale og næringsstoffer. I dag er bruk av organiske avfallsprodukter stort sett regulert i forhold til risiko for å spre smitte og miljøgifter, men behovet for gjødsel og jordforbedring bør også tas med i vurderingen av ved bruk av organiske avfallsprodukter.

Egenskapene til resirkulert organisk materiale må også ses i sammenheng med naturlig organisk materiale i jordsmonn, nemlig råhumus, torv- og mold. De naturlige

humusformene har stor spennvidde i fysiske-, kjemiske- og biologiske egenskaper, og tilførsel av resirkulert organisk avfall vil også påvirke prosessene i naturlige humustyper. Ved tilførsel av produkter basert på organisk avfall vil omsetning av torv og råhumus gå i retning av molddannelse, noe som gir en rikere jordfauna og normalt et bredere spekter av jordmikroorganismer.

Ved utarbeidelsen av denne rapporten har vi tatt utgangspunkt i dokumentert kunnskap om egenskaper til norsk jordsmonn i ulike deler av landet, og sett på variasjoner i moldinnhold i dyrka jord i ulike deler av landet og knyttet til spesielle avsetningstyper. Videre har vi laget en sammenstilling av resultater fra ulike prosjekter på resirkulering av organisk avfall, som er publisert. Det foreligger ikke forskningsdata for alle problemstillingene som ønskes belyst. I tillegg har vi derfor presentert en del kunnskap om bruk av organiske avfallsmaterialer i praksis som ikke har vært systematisk undersøkt, men som vi vet noe om gjennom omfattende kontakt med ulike aktører blant avløpsrensaneanlegg, avfallsbehandlingsanlegg og veiledere innen Norsk landbruksrådgiving. Dette gjelder særlig i forhold til bakgrunnen for at bønder tar i bruk organiske avfallsmaterialer, noe som det i liten grad finnes studier på. Der et stort antall bønder tar i bruk organiske avfallsmaterialer i sin jordbruksdrift kan det anses et behov for denne typen produkter. Tilgangen på organiske avfallsprodukter er ulik i de forskjellige delene av landet, og bruken av organiske avfallsmaterialer er i stor grad preget av hva slags produkter som leveres fra lokale avfallsbehandlere rundt omkring i landet.

2. Organisk stoff i jord

2.1 Ulike former for organisk materiale i jordsmonn

Organisk stoff i jord er differansen mellom tilførselen og nedbrytningen over tid. Imidlertid varierer nedbrytbarheten mellom fraksjoner av organisk materiale i jorda (Lutzov et al. 2006). Dette er svært komplisert, men generelt kan vi si at jordtype er viktig for hvor mye organisk materiale jorda kan holde stabilt (leirjord kan holde mer enn sandjord). Økt tilførsel av organisk stoff vil øke mengden av organisk stoff, men ikke så mye som man skulle tro, fordi dette vil inngå i de relativt lett nedbrytbare fraksjonene. Unntaket er der nedbrytningsprosessen er hemmet, for eksempel av anaerobe forhold og/eller lav pH. Da vil organisk stoff nedbrytes langsomt og kunne akkumuleres (for eksempel myr). På mineraljord vil også «ny» jord, dvs. jord som enda ikke fylt sin kapasitet for stabilt organisk stoff (for eksempel jord der en isbre trekker seg tilbake og flomsedimenter langs større vassdrag) og på degradert jord kan man også forvente at tilførsel av organisk stoff vil ha langvarig effekt. Nedbrytningen frigjør også næringsstoffer, og muligheten for å utnytte disse næringsstoffene bør i de fleste tilfeller være den viktigste faktoren for å avgjøre hvor og hvordan organiske gjødselmidler skal brukes.

I naturlig jordsmonn skiller en ofte mellom tre hovedformer av organisk materiale: mold, råhumus og torv.

Mold er dannet ved at mikroorganismer og jordfauna har finfordelt det organiske materialet og blandet det med mineralmateriale. Naturlig mold består derfor i stor grad av ekskrementer av ulike jorddyr (meitemark, spretthaler, midd, insektlarver). Det er disse ekskrementene som gir moldjord god grynstruktur. I naturen finnes mold oftest i lauvskog på finkornige jordarter.

Råhumus er svært vanlig i barskog. Råhumus er mindre nedbrutt enn mold og ligger som et tydelig sjikt over mineraljorda. I råhumus spiller ulike sopper en viktigere rolle enn jordfaunaen i nedbrytningen.

Torv dannes ved delvis nedbrytning av moser og andre våtmarksplanter uten oksygentilgang (anaerobe forhold). Både råhumus og torv er sure humustyper med lite innhold av næringsstoffer. De vil bli videre nedbrutt hvis miljøforholdene ligger til rette for det.

Matjord er en folkelig betegnelse på topplaget i dyrket jord, som har høyere moldinnhold enn i undergrunnsjorda. Et matjordlag er blitt til gjennom langvarig jordarbeiding, gjødsling og kalking, og ved at meitemark og andre jordorganismer har omsatt råtnende planterester til humus og næringsstoffer som plantene kan utnytte. Egenskapene til et "matjordlag" varierer mye, og det er stor forskjell på egenskapene til jord som har vært dyrket i flere tusen år i forhold til nybrottsfelt som er etablert de siste tiårene. Forskjellene viser seg tydelig når det gjelder struktur, og mye relativt nydyrket jord har lavere moldinnhold og tynnere "matjordlag" enn det en finner på jord som har vært dyrket lenge.

2.2 Organisk materiale og avlingspotensiale

2.2.1 Organisk materiale og ulike jordtyper

Om tilførsel av organisk materiale har noe å si for avlingspotensialet avhenger av jordtype, planteslag og om området er utsatt for tørke eller erosjonsrisiko. På ellers god jord har tilførsel av organisk materiale som oftest lite å si for avlingspotensialet, i alle fall på kort sikt. Det blir ofte påstått at noe tilførsel av organisk stoff er nødvendig for å opprettholde jordas fruktbarhet på lang sikt. Dette støttes delvis av forsøk. På Rothamsted i England er det gjort flere langvarige forsøk med dyrking med mineralgjødning, husdyrgjødsel og ingen gjødning. På leirjord er det ikke funnet forskjell i avling mellom husdyrgjødsel og mineralgjødning, selv etter mer enn 150 år med korndyrking (Rothamsted Research, 2008). Et lignende eksperiment på mer sandholdig jord har imidlertid vist forskjell i avling, men bare etter mer enn 100 års dyrking.

2.2.2 Geografisk variasjon

Sammenhengen mellom gjennomsnittlig byggavling for årene 1990-2007 for gårdsbruk på Østlandet og gjennomsnittlig org. C-innhold (organisk karbon) i jordprøver ble undersøkt av Grønlund (2010). Bruk som hadde gjennomsnittlig org. C-innhold lavere enn 1 % hadde betydelig lavere gjennomsnittsavling enn bruk med høyere org. C-innhold. Derimot var det ubetydelige forskjeller i byggavling når innholdet av org. C var mellom 1 og 5 % (Tabell 1). En regner jord som moldfattig når moldinnholdet er lavere enn 3 %, noe som tilsvarer organisk karbon på 1,75 %. Om en regner at klassene med org. C < 2 % dekker det som kan karakteriseres som moldfattig jord, utgjør det 35 % av prøvene i dette materialet fra Østlandet.

Tabell 1. Fordeling av jordprøver på klasser for org. C-innhold i Norge (Grønlund 2010).

Gj.sn. org. C-innhold i %	Antall jordprøver	% av jordprøver	Antall gårdsbruk	Gjennomsn. Byggavling	St.avvik byggavling
<1	1 541	2,2	128	337	71
1-2	23 445	33,2	1 724	359	76
2-3	28 693	40,6	1 983	364	82
3-4	10 990	15,5	796	372	83
4-5	3 660	5,2	294	370	89
5-6	1 336	1,9	123	366	86
>6	1 027	1,5	92	353	87
Sum/gj.sn.	70 692	100,0	5 140	363	81

Det er en del forskjeller i mengden organisk materiale i dyrka jord mellom landsdeler i Norge (Tabell 2). Tallene er beregnet på grunnlag av glødetapsanalyse av ca 85 000 jordprøver. Innholdet av org. C varierer mellom landsdeler og er høyest på Vestlandet og Sørlandet. Innholdet stiger også med økende andel eng på gården. Nord-Norge viser et avvikende mønster som trolig skyldes at jord med naturlig høyt karboninnhold (myr som er omdannet til mineraljord) er foretrukket som åkerjord. En del av den tilsynelatende effekten av andel eng kan skyldes at jordprøvedybden er mindre på grasmark (Grønlund 2010). Ut fra tabell 2 er gjennomsnittlig innhold av org. C i ploglaget av norsk dyrka jord 2,9 %, noe som tilsvarer et moldinnhold på 5 % og godt innenfor klassen moldholdig (3-6 % moldinnhold).

Tabell 2. Gjennomsnittlig org. C-innhold (%) i matjordlaget i mineraljord på gårdsbruk med ulik andel eng (Grønlund 2010).

Prosent eng	<10	10-50	50-90	>90	Alle
Østlandet	2,4	2,7	3,0	3,1	2,7
Sørlandet	2,2	3,5	4,0	4,3	3,9
Vestlandet	2,8	4,9	4,1	4,4	4,2
Trøndelag	2,6	2,9	3,3	3,7	3,2
Nord-Norge	2,9	3,8	3,3	3,0	3,2
Hele landet	2,5	2,9	3,3	3,4	2,9

2.2.3 Utvikling over tid

I Norge er størstedelen av dyrka jord opparbeidet på arealer som har vært skogbevokst eller hatt annen biologisk produksjon (for eksempel myrareal) før det var dyrket. Moldinnholdet i dyrka jord er således en funksjon av lang tids oppbygning av organisk materiale, der dyrkingen både endrer egenskapene og fordelingen av det organiske materialet i jordsmonnet. Hvordan arealbruken kan endre fordelingen og egenskapene til organisk materiale ble undersøkt av Sveistrup et al. (2005) på siltjord på Vansemb, Nes på Romerike. Undersøkelsen ble gjennomført på et område med siltjord med opprinnelig lik jordsmonnsutvikling. Jordsmonnet i naturskog, planta skog på tidligere beite, og dyrka jord ble undersøkt og sammenlignet (Tabell 3). I skog besto det organiske materialet av et råhumuslag som lå skarpt avgrenset fra mineraljord. I underliggende mineraljordlag var det finfordelt humus ned til ca. 10 cm dybde. På det tilplanta beitet var det opprinnelige råhumuslaget bioturbert av meitemark, og en kunne tydelig se at mineraljord var blandet inn i humuslaget. Økt biologisk aktivitet i jordsmonnet hadde redusert innholdet av organisk materiale, og medført at C/N forholdet var redusert. På dyrka jord var det et ploglag på 25 cm med et org. C innhold på 1,7 %, altså snaut 3 % organisk materiale. C/N forholdet i dette laget var ytterligere redusert i forhold til plantefeltet på tidligere beite (Tabell 3). Ved bare å se på mengden org. C i de forskjellige sjiktene, kan det virke som om det har vært en dramatisk reduksjon i mengden organisk materiale ved oppdyrkingen. En har i tabell 3 ikke tatt hensyn til at det er store forskjeller i densitet mellom de ulike sjiktene. Organisk materiale er lett, og det skal ikke mye innblanding av mineralmateriale til for å redusere innholdet av org. C i et jordsjikt på vektbasis. Når en blander like mengder torv og sand på volumbasis, vil den homogene blandingen komme ut med et innhold av organisk materiale på om lag 5 % målt på vektbasis. Derfor innebærer oppdyrking en omfordeling av organisk materiale i topplaget i forhold til i udyrka jord, og det starter en prosess med molddannelse som gradvis reduserer C/N-forholdet til 10-15 når det naturlige organiske materialet er råhumus.

Sveistrup (1992) undersøkte hvordan oppdyrking påvirket fordelingen av organisk materiale ved oppdyrking av en sandjord i Pasvik og en siltjord på elveslette i Tana. På sandjords-lokaliteten var det et torvlag som lå over et lag av moldfattig mellomsand (0,5 % org. C) før oppdyrking. Etter oppdyrking hadde sanda fått topplag på 7 cm tykkelse med 3,1 % organisk C, mens laget under ned til 21 cm tykkelse hadde 1,1 % org. C. Lokaliteten i Tana hadde bjørkeskog med et moldrikt topplag på 7 cm tykkelse (6,3 % organisk C), og et moldfattig lag under ned til 25 cm med 0,8 % org. C. På dyrka arealet med eng og samme jordtype var det et ploglag ned til 23 cm der org. C var 2,5 % i de øverste 5 cm og videre 2 % ned til 23 cm. Undersøkelsene til Sveistrup (1992) underbygger bildet av at innholdet av organisk materiale i dyrka jord har nær sammenheng med at det allerede var bygd opp en betydelig mengde organisk materiale i jordsmonnet før dyrkingen tok til. Når det i utgangspunktet er relativt lavt innhold av organisk materiale i jorda og består av mold, vil det kunne øke som følge av dyrkingen siden produksjonen av biomasse/rotmasse øker.

I internasjonal sammenheng er det gjennomgående et høyt innhold av organisk materiale i norsk jordsmonn. Dette er en konsekvens av høy produksjon av biomasse, fuktig klima, kort vekstsesong og relativt lave jordtemperaturer, som medfører at nedbrytning av organisk materiale skjer langsommere enn i jordsmonn lenger sør i Europa med høyere jordtemperaturer og lengre vekstsesong.

Tabell 3. Utvikling av organisk materiale i skog, tilplanta beite og dyrka jord på Vanse (Sveistrup et al. 2005).

Sjikt: dybde	leir-silt-sand* %	pH H ₂ O	organisk C g 100g ⁻¹	Kjeldahl-N g 100g ⁻¹	C/N
Skog					
H1: 6- 0 cm		3.8	47.0	1.37	34
H2: 0- 5 cm	04-86-10	3.8	2.0	0.10	20
H3: 5-10 cm	03-87-10	4.0	2.0	0.13	15
H4: 10-15 cm	01-77-22	4.8	0.3	<0.04	-
H5: 15-35 cm	01-73-26	4.8	0.2	<0.04	-
H6: 35-50 cm	01-51-49	5.5	0.1	<0.04	-
H7: 50-63 cm	01-72-28	5.0	0.1	<0.04	-
H8: 63-100 cm	43-51-06	5.6	0.2	0.06	3.3
Tilplantet beite					
H1: 0- 5 cm		4.7	12.0	0.66	18
H2: 5-10 cm	06-83-11	4.3	3.2	0.24	13
H3: 10-15 cm	06-86-08	4.6	0.5	nd	-
H4: 15-35 cm	03-77-21	4.9	0.4	nd	-
H5: 35-50 cm	02-69-29	4.9	0.2	nd	-
H6: 50-98 cm	07-93-01	4.9	0.2	nd	-
H7: 98-100 cm	22-65-13	5.1	0.2	nd	-
Dyrket					
H1: 0-25 cm	14-77-08	6.1	1.7	0.16	11
H2: 25-35 cm	03-80-17	5.9	0.3	nd	-
H3: 35-50 cm	01-66-33	5.8	0.1	nd	-
H4: 50-90 cm	01-54-45	5.8	0.1	nd	-
H5: 90-100 cm	22-64-14	5.6	0.1	nd	-

* Leir: <0,002 mm; silt: 0,002-0,06 mm, sand: 0,06-2 mm.

2.3 Virkning av organisk materiale på fysiske-, kjemiske- og biologiske egenskaper

Tilførsel av organisk stoff bedrer jordstrukturen ved å øke aggregat-stabiliteten. Dette kan redusere erosjon. Spesielt i jord som er degradert kan tilførsel av organisk materiale hjelpe til i rehabiliteringen ved å bedre jordstrukturen. Organisk stoff kan også øke jordas evne til å holde på vann, og det kan ha betydning på jord/områder som lett tørker ut. Sannsynligvis vil «ny» jord dvs. jord som aldri tidligere har hatt mye tilførsel av organisk materiale og derfor har veldig lavt innhold av organisk stoff også kunne ha stor nytte av tilførsel. I Norge er det i første rekke på planerte leirjordsarealer at jordstrukturen er dårlig og innhold av organisk stoff lavt. I tillegg vil elveavsetninger i dalstrøk med større elver og betydelige arealer med dyrka jord på elvesletter representere områder med «ny» jord (flomsedimenter) og derfor lavt innhold av organisk materiale. Omfanget av planerte leirjordsarealer er om lag 350.000 dekar (Njøs 1999), og arealet på elvesletter med lavt innhold av organisk materiale er trolig i samme størrelsesorden. På disse typene arealer vil

økt innhold av organisk materiale gi betydelige jordforbedringseffekter ved økt vannlagringsevne, bedre jordstruktur og økt motstand mot erosjon (vannerosjon på siltrike leirjordtyper og vinderosjon på tørkeutsatte sandavsetninger).

Hva det organiske materialet består av synes også å ha stor betydning, ikke minst for jordfaunaen og virkningen av den på jordas egenskaper. Tilførsel av husdyrgjødsel ga økt antall og biomasse av meitemark i forhold til bruk av Fullgjødsel i et sjuårig forsøk med eng. Den økte meitemarkpopulasjonen etter tilførsel av husdyrgjødsel ga også utslag i målbar økning av meitemarkekskrementer på jordoverflata (Haraldsen et al. 1994). Bakken et al. (2006) viste utvikling i meitemarkfauna og jordegenskaper etter omlegging til økologiske dyrkingssystemer i Grimstad, Ås og Stjørdal. Selv med økt tilbakeføring av organisk materiale gjennom kompost (Grimstad) og husdyrdyrking (Ås og Stjørdal) var det ingen entydig virkning på moldinnholdet fra 1993 til 1999. På feltene i Ås og Stjørdal var det en markant endring i jordstrukturen i ploglaget fra 1993 til 2000 med en velutviklet grynstruktur av meitemarkekskrementer. Dette hadde sammenheng med at meitemarkbiomassen i ploglaget ble mer enn fordoblet på disse lokalitetene, og det ble også påvist en signifikant økning av meitemarkganger i nedre del av ploglaget og rett under ploglaget. Omleggingen til økologisk drift senket nivået av løselig fosfor og kalium (i jorda) både i Ås og i Stjørdal. Det ble altså tatt opp i plantene mer næringsstoffer fra jorda enn det ble tilført gjennom kompost og husdyrgjødsel, men jordstrukturen, rotutviklingen og levevilkårene for meitemark ble forbedret av omleggingen. Det viser at organiske avfallsmaterialer må vurderes både i forhold til tilførsel av organisk materiale, virkningene av organisk materiale på jordfauna og biologiske prosesser i jord, og i hvilken grad tilførsel av organiske avfallsmaterialer bidrar til å opprettholde næringsstoffbalansen i jorda.

3. Organiske avfallsprodukter som gjødsel/jordforbedring

I organiske avfallstyper vil det være fraksjoner av organisk materiale med ulik stabilitet. Ved kompostering eller biogassproduksjon nedbrytes den lettest nedbrytbare fraksjonen, og næringsstoffene i den frigjøres. Denne fraksjonen er også den som vil nedbrytes raskest hvis det uomdannede materialet tilføres jorda direkte. Derfor vil slike forbehandlinger ha relativt lite å si for jordas innhold av organisk stoff på litt lengre sikt. Forbehandling vil derimot ha betydning for tilgjengeligheten av næringsstoffene. De viktigste næringsstoffene er nitrogen (N) fosfor (P) og kalium (K). Mineralgjødsel (NPK) inneholder alle disse næringsstoffene i et forhold som er optimalt for plantene. I organiske avfallsmaterialer vil det som oftest være ett eller flere næringsstoffer som det er mye av, mens det er lite av andre.

Tabell 4. Sammenstilling av næringsinnhold i forskjellige typer kompost. Verdier i det enkelte produkt og parti kan variere fra tabellen.

Kg/tonn TS	Slamkompost	Hage/parkkompost	Matavfallskompost	Matavfallskompost Global Envirorektor	Hestegjødsel- kompost	Landbrukskompost
TOC	200-450	200-300	300-400	450-520	300-400	100-250
C/N	10-35	15-25	15-25	9-13	20-30	20-30
Tot-N	10-20	8-12	20-30	30-50	10-15	5-10
NH ₄ -N+NO ₃ -N	0.1-4	0,1-0,5	0,5-2	1	0,1-0,5	0,2-0,8
P	5	1,5-2,5	4-6	4-6	3-4	3-4
P-AL	0,5-0,6	0,6-1	1,5-3	3-4	1-2	0,5-1
K-AL	0,8-2,5	3,5-6	4-6	3-8	4-6	3-4

Det er stor forskjell mellom ulike typer kompostmaterialer når det gjelder innhold av organisk materiale og mengde løselige næringsstoffer. I tabell 4 er vist innhold av organisk karbon (TOC), C/N-forhold og total N og P, samt løselig fosfor og kalium. Tallgrunnlaget for denne tabellen er et stort antall prøver av ulike kompostprodukter fra norske avfallsforedlingsbedrifter. Et meget interessant funn er at det er svært stor variasjon i mengde organisk materiale i kompost, noe som har sammenheng med egenskapene til materialene som komposteres. Det som i denne tabellen er kalt landbrukskompost, er materiale av grønnsakavfall som er samkompostert med hestegjødsel. Sammenlignet med hestegjødselkompost oppnås langt større grad av nedbrytning ved å samkompostere et lett nedbrytbart materiale med hestegjødsel med mye flis. Hage/parkavfallskompost er som oftest et materiale med relativt lavt innhold av organisk materiale, noe som skyldes at en ofte har oppnådd høy temperatur i ranker over lang tid. Det gjenværende organiske materialet i slik kompost er til gjengjeld ganske stabilt og moldlignende. Slamkompost er den mest variable komposttypen, der noen materialer synes å ha stoppet opp i nedbrytningsprosessen på grunn av høyt C/N forhold (>30). Forholdet mellom slam og strukturmateriale synes å ha stor betydning for egenskapene til slamkompost. Noen typer slamkompost har lavt C/N forhold og et betydelig innhold av mineralsk nitrogen. Slike produkter bidrar med nitrogen som er plantenyttbart, noe tilgjengelig fosfor, og stabilt organisk materiale. I slamkompost kommer kaliuminnholdet fra strukturmaterialet som benyttes, og i svært liten grad fra slammet.

Evnen til å utnytte næringsstoffer i organiske gjødningsmidler vil variere mellom veksttyper fordi næringen i organiske gjødningsmidler frigjøres langsommere enn mineralgjødsel (Bøen & Haraldsen, 2013). Generelt vil planteslag som har lang vekstsesong og tar opp næring under hele perioden (for eksempel gress, roer og kålvekster) kunne nyttegjøre seg organiske gjødningsmidler bedre enn planteslag som er avhengig av å ta opp mesteparten av næringen i en kort periode (for eksempel kornslag) (Rothamsted Research, 2008). Organiske gjødseltyper ser også ut til å være bedre beskyttet mot N-utvasking i vekstsesongen enn mineralsk N-gjødsel siden de avgir næring langsomt, og inneholder mineralsk nitrogen i form av ammonium-N som kan bindes som kation til jordpartikler. Haraldsen et al. (2011) fant at ammoniumbaserte organiske gjødseltyper knapt ga målbar utvasking av nitrogen, mens var til dels betydelig utvasking av nitrogen når det ble tilført nitratholdige gjødseltyper (kalksalpeter og nitrifisert biorest). Når en bruker organiske gjødningsmidler vil også noen av næringsstoffene være igjen til året etter, så ideelt sett bør man ta hensyn til dette når man velger planteslag også påfølgende år. Nitrogenet i kjøttbeinmel (KBM) er lett mineraliserbart, og en stor andel av dette nitrogenet vil kunne tas opp av plantene samme år som det er tilført. KBM inneholder også betydelige mengder fosfor, bundet til partikler av knuste beinfragmenter, som løses opp langsomt og frigjøres over flere år (Bøen & Haraldsen 2013).

Når det gjelder organiske avfallsmaterialer, finner vi det formålstjenlig å gruppere slike materialer i tre kategorier: organisk gjødsel, organiske jordforbedringsmidler og organiske ingredienser i jordblandinger. Det er de organiske avfallsmaterialenes egenskaper som avgjør hvilken kategori de passer best i (Blytt et al. 2011). Det vil finnes overganger mellom disse kategoriene, og der ulike bruksområder er mulig avhengig av hva som det er behov for.

Gjødsel: materialer som inneholder konsentrasjoner av løselige plantenæringsstoffer som gjør produktet egnet til **årlig** bruk i forhold til plantenes behov for næringsalter. Et organisk gjødselprodukt skal ha forutsigbar effekt som gjødsel (målestokk husdyrgjødsel 200-400 kg TS/daa/år).

Jordforbedringsmiddel: materialer som har positiv virkning på en eller flere jordegenskaper (kjemisk, biologisk, fysisk) og som tilføres som en engangstilførsel med **flerårig virkning** (målestokk avløpsslam, ulike typer kompost 2-4 tonn TS/daa/10 år).

Ingredienser i jordblandinger (dyrkingsmedier): materialer som har lave konsentrasjoner av næringsstoffer på tørrstoffbasis, ikke kritisk høye konsentrasjoner av tungmetaller eller andre veksthemmende stoffer og gode, og med stabile fysiske egenskaper.

3.1 Bruksområder for organiske avfallsprodukter

Viktige organiske avfallsressurser er husdyrgjødsel, matavfall, avløpsslam, hage/parkavfall og slam fra fiskeoppdrettsanlegg. Aske er strengt tatt ikke et organisk avfallsprodukt, men produseres ved forbrenning av organiske produkter. Organiske avfallsprodukter kan nedbrytes anaerobt for å få biogass og biorest eller komposteres. I begge prosesser blir de lett nedbrytbare organiske stoffene nedbrutt. Ettersom de lettest nedbrytbare fraksjonene også ofte er de fraksjonene som har høyest næringsinnhold, vil det også frigjøre næringsstoffer. Noe nitrogen vil tapes som gass under kompostering, hvor mye avhenger av prosessen. Vi har ikke direkte undersøkelser der vi har sammenlignet det samme materialet som biorest og kompost, men det foreligger undersøkelser av flytende biorest av matavfall, hurtigkompostert storhusholdningsavfall (Global Enviro reaktor), kjøttbeinmel og mineralsk gjødsel (Haraldsen et al 2011).

Matavfallskompost ble sammenlignet med bruk av biorest og kjøttbeinmel i feltforsøk på Kise på Hedmark (Haraldsen & Børtnes 2009). Disse forsøkene var i et økologisk dyrkingssystem. I vekstsesongen 2007 var det mye nedbør på Østlandet og 8 kg N/daa i form av kjøttbeinmel og biorest av matavfall ga større avling av hodekål og rødbeter enn Fullgjødsel 11-5-18 mikro, mens til hvete var det klart bedre virkning av Fullgjødsel enn av kjøttbeinmel eller biorest. I disse forsøkene ga matavfallskompost ingen avlingsøkning av hvete, men positiv virkning i rødbeter og hodekål som har lenger veksttid og opptak av næringsstoffer over en lengre tidsperiode enn korn.

Biorest vil ha høyt vanninnhold, og flytende biorest av matavfall vil ha høyt innhold av tilgjengelig nitrogen og er egnet som gjødsel (Haraldsen et al. 2011). Avvannet biorest av matavfall og husdyrgjødsel er først og fremst fosforgjødsel, siden fosforet følger det organiske materialet, mens mineralsk nitrogen og kalium følger den flytende delen. Ved kompostering av avløpsslam eller matavfall tilsettes ofte andre materialer (bark, hageavfall etc.) for å gjøre det tørrere og gjøre næringsinnholdet mindre. Ved riktig dosering kan nitrogentap under prosessen reduseres, og produktet blir et jordforbedringsmiddel som vil avgi næringsstoffer langsomt over flere år. Hvis det blir for lite nitrogen i blandingen, kan imidlertid komposten immobilisere nitrogen når den tilføres jorda, og gi avlingstap første år (Boen & Haraldsen 2011).

Flere av forsøkene som er gjennomført av Bioforsk, ble utformet for å klargjøre konsekvensene av mengdebegrensninger i gjeldende forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav. Haraldsen & Pedersen (2003) fant at 30 vol. % avløpsslam (VEAS) ga forsinket spiring og etablering sammenlignet med 25 vol. % avløpsslam, noe som ble tolket som en effekt av høyt ammonium-N innhold i rotsonen. Effekten var kortvarig, og da veksten kom i gang ble den voldsom. Det ble antatt at veksten kom i gang når mesteparten av ammonium-N var nitrifisert. Basert på hvor sterk tilvekst det var, ble det anbefalt å begrense mengden avløpsslam i jordblandingen til 10 vol. %. I dette forsøket undersøkte en også hvor mye organisk materiale som var igjen i jordblandingen etter avsluttet forsøksperiode med fire høstinger av raigras. Jordblandingen med avløpsslam hadde lavere innhold av organisk karbon enn ved bare bruk av NPK-gjødsel, men slaminnblandingen hadde gitt signifikant lavere C/N forhold i jorda enn ved bruk av NPK-gjødsel. I et annet forsøk med blandinger av moldrik skogsjord, steinmel og avløpsslam slo

mengden og typen moldrik skogsjord mye mer ut på moldinnholdet i jordblandingene enn mengden avløpsslam. Det ble sammenlignet tilførsel av 10 og 20 vol. % VEAS slam til jordblandinger med moldrik sur skogsjord og til en svakt alkalisk skogsjord. Doblet slammengde til jordblandinger med høy andel sur skogsjord ga tendens til lavere innhold av org. C etter avsluttet forsøk, mens det var klar økning i mengde org. C ved innblanding av slam i jordblandinger med høy andel av svakt alkalisk skogsjord.

I et jordblandingsforsøk med torv, kompost og avløpsslam ble det forsøkt å lage to nivå av organisk materiale i jordblandingene: 2,5 % og 5 %. I dette forsøket ble det foretatt to høstinger av raigras uten ekstra tilførsel av næringsstoffer. Da ble det oppnådd like liten avling etter innblanding av kompost (hage/parkkompost eller matavfallskompost) som av torv, mens det var betydelig økt tilvekst ved innblanding av VEAS-slam (Haraldsen et al. 2000). Når en brukte en blanding av VEAS-slam og kompost fikk en like stor avling som med bruk av VEAS-slam alene. Når en så på gjenværende mengde organisk karbon etter høsting, var det store forskjeller (Tabell 5). Alle blandinger med VEAS-slam hadde lavere innhold av org. C enn de rene kompost- og torvleddene. Det var påfallende å observere at mens innholdet av løselig fosfor hadde økt med doblet mengde organisk avfallsmateriale tilført, var effekten på org. C i jordblandingene mye mindre. Som ventet var det ingen økning i mengde løselige næringsstoffer ved innblanding av torv.

Tabell 5. Kjemiske egenskaper til jordblandinger med innblanding av ulike typer organisk materiale i to mengder (dosert til 2,5 % og 5 % vektprosent organisk materiale)

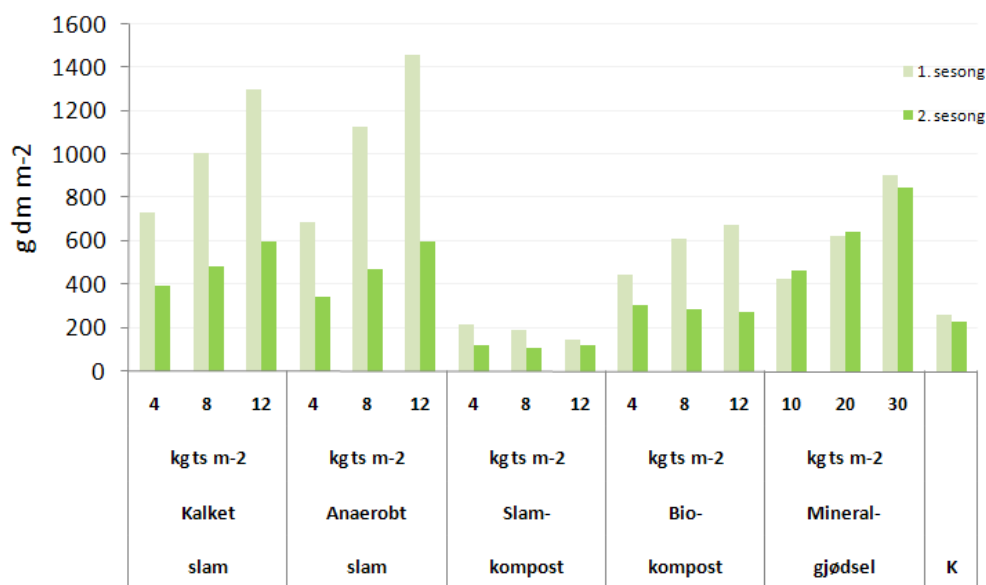
Org. mat.	Mengde	pH	P-AL mg/ 100g	K-AL mg/ 100g	Org. C g/100g	Tot. N g/100g	C/N
Torv	1	7,8	1,0	4,3	2,0	0,05	40,0
Torv	2	7,7	0,8	4,4	2,7	0,07	38,6
Oslo-Kompost	1	8,0	2,7	6,0	1,6	0,07	22,9
Oslo-Kompost	2	7,8	6,6	12,9	2,7	0,12	22,5
Lindum-Komp.	1	7,9	11,3	6,0	2,1	0,13	16,2
Lindum-Komp.	2	8,0	20,5	8,6	2,9	0,19	15,2
Oslo+Lindum K	1	8,0	6,4	6,6	2,0	0,10	20,0
Oslo+Lindum K	2	7,8	15,5	14,1	2,9	0,17	17,1
VEAS Slam	1	7,9	9,3	4,5	1,1	0,05	22,0
VEAS Slam	2	7,9	13,2	4,5	1,3	0,06	21,7
VEAS + torv	1	8,1	5,3	3,5	1,3	0,05	26,0
VEAS + torv	2	7,7	10,6	4,8	2,3	0,07	32,9
VEAS + Lindum K	1	8,1	10,1	4,0	1,3	0,06	21,7
VEAS + Lindum K	2	7,9	21,4	2,9	1,7	0,09	18,9
VEAS + Oslo K	1	8,1	11,7	3,5	1,4	0,06	23,3
VEAS + Oslo K	2	7,9	17,8	4,9	2,0	0,10	20,0

Forsøkene til Haraldsen & Pedersen (2001) og Haraldsen et al. (2000) indikerte at bruk av kalkbehandlet avløpsslam i kombinasjon med andre typer organisk materiale (kompost eller sur skogsjord) kan forårsake økt mineralisering av organisk materiale i jorda, og dermed økt frigjøring av næringsstoffer. Tilsvarende virkning er ikke funnet for avløpsslam som ikke er kalkbehandlet.

Boen & Haraldsen (2011) viste hvordan stigende mengder av ulike organiske avfallsmaterialer virket på tilveksten av raigras. Minste mengde av organiske avfallsmaterialer i dette forsøket var 4 tonn TS/daa, tilsvarende mengden som er tillatt for kvalitetsklasse I. Det ble i tillegg brukt 8 og 12 tonn TS/daa og raigras ble brukt som forsøksvekst. Største mengde avløpsslam ga vesentlig større tilvekst enn 30 kg N/daa som Fullgjødning i

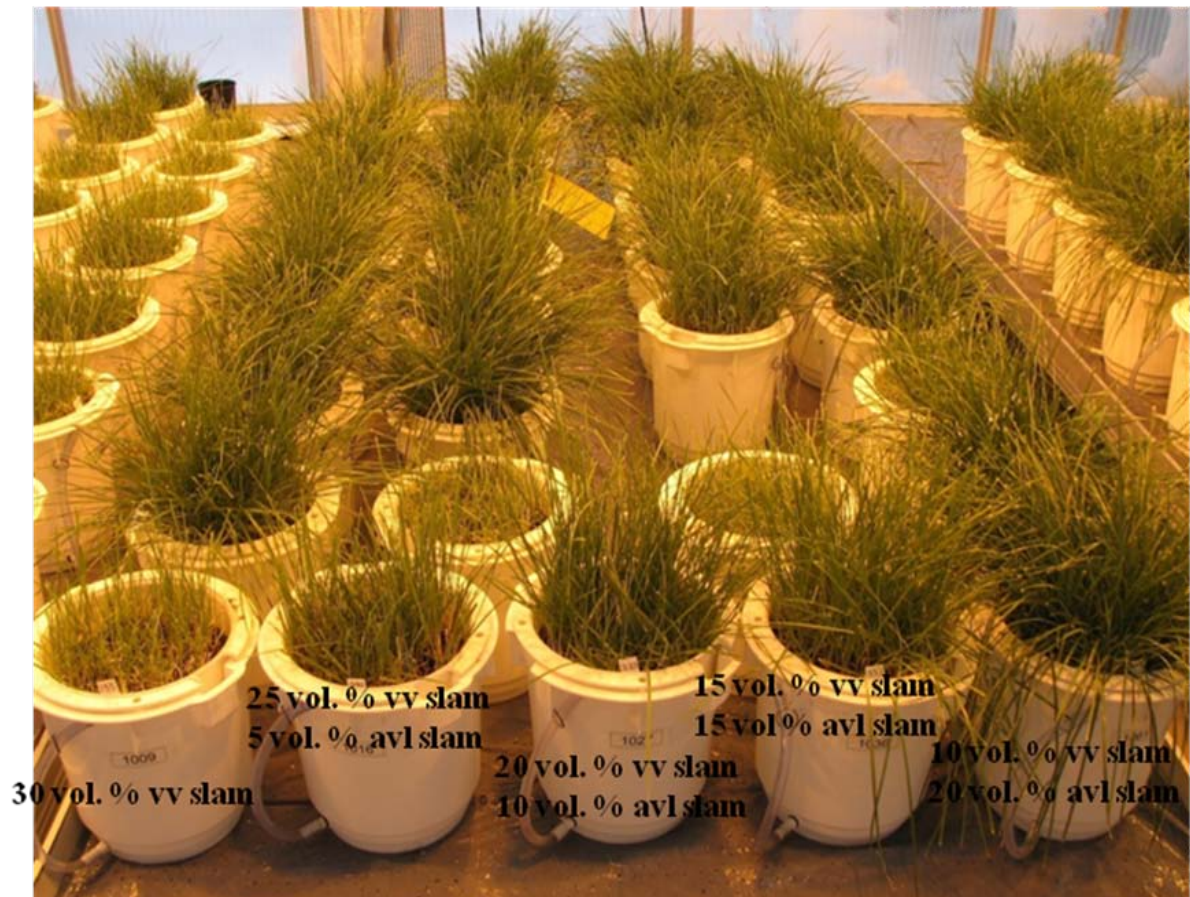
spredeåret, mens slamkomposten med et C/N forhold på 37 ikke ga fra seg nitrogen i det hele tatt og ga lavere avling enn kontrollen uten tilførsel av gjødsel (Figur 1). Matavfalls-komposten som ble undersøkt i dette forsøket, ga fra seg nitrogen som ga jevn og fin tilvekst av raigraset i første vekstsesong, men liten ettervirkning i andre vekstsesong.

Ettersom en hadde observert at avløpsslam kunne gi vesentlig sterkere tilvekst enn ønskelig i grøntanlegg når en brukte opp mot maksimalt tillatt mengde på 30 vol. % i en jordblanding, ble det gjennomført forsøk med 30 vol. % avfallsmaterialer i jordblandinger ved forskjellige blandingsforhold av avløpsslam, vannverksslam og hage/parkkompost (Haraldsen et al. 2014). Et vesentlig spørsmål som denne undersøkelsen skulle avklare, var i hvilken grad fellingskemikaliene som ble brukt til felling av vannverksslammene ville påvirke fosfortilgjengeligheten i jordblandingene.



Figur 1. Avling av raigras med stigende mengder avløpsslam, slamkompost og biokompost (data fra Boen & Haraldsen 2011).

Som i undersøkelsene til Haraldsen & Pedersen (2003) ble det funnet at avløpsslammet ga økt avling ved stigende mengder i jordblandinger (Figur 2). Hage/parkkompost ga ikke signifikant bedre tilvekst enn innblanding av vannverksslam, men når også litt avløpsslam ble blandet inn ble tilveksten fin (Figur 3). Haraldsen et al. (2014) oppsummerer resultatene av disse forsøkene ved å anbefale 10 vol. % avløpsslam som maksimal mengde av dette materiale, og at en oppnår gode blandinger til grøntanlegg med 10 vol. % hageparkkompost og 10 vol. % vannverksslam, eller 20 vol. % vannverksslam i tillegg til avløpsslammet. Når en vurderer resultatene til Haraldsen & Pedersen (2003), Boen & Haraldsen (2011) og Haraldsen et al. (2014) samlet, synes 10 vol. % avløpsslam (avvannet og hygienisert) å være en maksimal mengde som kan forsvares til bruk i jordblandinger til grøntanlegg. Dersom en nytter større mengder avløpsslam vil en oppnå uønsket sterk tilvekst, forhøyet nivå av P-AL i jorda, og risiko for at en stor del av veksten vil skje ut over høsten.



Figur 2. Tilvekst av raigras i blandinger av vannverksslam og avløpsslam.



Figur 3. Tilvekst av raigras i blandinger med varierende mengde hage/parkkompost.

3.2 Fosfor i avløp og kretsløp

I behandlingen av avløpsslam ønsker man oftest å felle fosfor slik at dette kommer i den faste fasen. Bøen (2010) sammenstilte ulike måter å gjøre dette på, og hvilken virkning det har på plantetilgjengelighet av fosfor. Det vanligste er å felle fosfor med jern- eller aluminium- forbindelser. Dette reduserer plante-tilgjengeligheten av fosforet drastisk. I noen tilfeller tilsettes kalk etterpå, det bedrer fosfor-tilgjengeligheten. Fosfor kan også felles med kalk-forbindelser, dette gir bedre fosfortilgjengelighet. Den beste fosfortilgjengelighet får man med biologisk fosforfjerning, ofte lik mineralgjødning. Stabilisert slam som er tilsatt kalk vil gi fra seg fosfor over tid, mens stabilisert slam som ikke er tilsatt kalk har en fraksjon av fosfor som ser ut til å være varig utilgjengelig og det kan også gjøre fosfor som er i jorda fra før mindre tilgjengelig (Bøen et al., 2013). Stabilisert slam kan brukes til biogass produksjon eller komposteres, men fosfortilgjengeligheten vil fortsatt være lavere enn for andre avfallsprodukter. Undersøkelsene til Haraldsen et al. (2014) viste imidlertid en interessant reaksjon når en laget jordblandinger med vannverksslam og avløpsslam, som begge var felt med aluminiumssalter. I vannverksslammet var det også mikronisert marmor (som brukes for å justere pH i drikkevannet), og jordblandinger med både avløpsslam og vannverksslam hadde vesentlig mer løselig fosfor enn forventet og ingen begrensninger i fosforopptaket i raigras. Fellingskemikalene i vannverksslammet førte til reduksjon av mengden tilgjengelig P i jorda når det bare var tilført vannverksslam, og tilførsel av ekstra mineralsk N ga symptomer på P-mangel på dette forsøksleddet. På grunn av den uventede positive virkningen på fosfortilgjengeligheten med bruk av avløpsslam i jordblandingen, ble det ingen effekt verken av Fullgjødning eller kjøttbeinmel når det var noe avløpsslam i jordblandingen.

Når store deler av fosforet som tilføres ikke er tilgjengelig for planter, vil det akkumuleres i jorda. Det kan medføre risiko for tap og eutrofiering. Fosfor kan tapes som løselig fosfat, men for det meste tapes det som partikler. Bøen et al. (2013) viste at mengden P fra avløpsslam som er direkte utvaskbart utgjør om lag 2 % av tilført P. Tilførsel av slam gir akkumulering av fosfor i jorda, men også tilførsel av organisk materiale. Dette gir ofte bedre aggregat stabilitet og mer stabil jordstruktur som kan gi mindre erosjon og tap av partikler. De forsøk som er gjort tyder på at slamtilførsel reduserer fosfortap (Øgaard & Bøen, 2012), men her er det behov for mere kunnskap over flere forhold og over lengre tid. Det ser derfor ut til at stabilisert slam inneholder en fosforfraksjon som er inert, dvs. hverken er tilgjengelig for planter eller for tap. I så fall er den ikke et forurensningsproblem, men likevel dårlig utnyttelse av fosfor som er en begrenset ressurs.

Hamilton et al. (2014) har laget en oversikt over fosforstrømmer i ulike materialer i Norge. I perioden 2009-2011 ble det brukt 8400 tonn P/år i norsk landbruk som mineralgjødning, foredlet av råfosfat. Den totale mengden fosfor i alle typer avfallsmaterialer var vesentlig større, hele 28 400 tonn P/år. Husdyrgjødsel utgjorde den største delen av dette avfallsmaterialet, og omfattet 12 000 tonn P/år. Storfegjødsel utgjorde 60 % av fosformengden i husdyrgjødsel. Videre utgjorde tap av organisk materiale med fosfor fra oppdrettsnæringen 9000 tonn P/år (fiskeslam og forrester), altså i samme størrelsesorden som hele forbruket av mineralgjødning P i landbruket. Slakteriavfall i form av kjøttbeinmel utgjorde 2074 tonn P/år, avløpsslam 1887 tonn P/år og matavfall 1142 tonn P/år.

Med bakgrunn i et pottforsøk med raigras ble det gjort en beregning av hvor stor andel av fosforet i de ulike avfallsmaterialene som var plantetilgjengelig på samme måte som mineralsk P-gjødsel (Brod et al. 2015 a,b). Forsøket viste at fosfortilgjengeligheten hadde sammenheng med materialenes egenskaper, pH i jorda og hvordan det organiske avfallsmaterialet var behandlet. Når en setter tilgjengeligheten av P i mineralgjødning til 100 %, ble det funnet følgende verdier av tilgjengelig P i de ulike avfallsmaterialene:

husdyrgjødsel 100 %, fiskeslam 60-97 %, kjøttbeinmel 10-70 % (svært pH avhengig), avløpsslam 12-39 % og matavfall 20-85 % (pH avhengig).

Om bruker forsøksresultatene til å estimere hvor store mengder P som kan være plantetilgjengelig i organiske avfallsmaterialer, kommer en til noe mellom 13400 og 19200 tonn P/år. Med bakgrunn i tall fra 2009-2011 finner en at 20 % av mengden kjøttbeinmel, 50 % av avløpsslammet og bare 3 % av matavfallet ble tilbakeført til jordbruksareal. Det tilsvarer 160-690 tonn plantetilgjengelig fosfor årlig, og viser at en har et stykke å gå før en har lykkes i å erstatte mineral P med resirkulert P med like god virkning.

3.3 Negative virkninger ved bruk av organiske avfallsmaterialer

Ved bruk av organiske avfallsmaterialer på jordbruksarealer, har en i liten grad kunne påvise skadelige effekter når en nyttet materialene i henhold til forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav. De negative virkningene som er påvist, har hatt å gjøre med tilgjengelighet av mikronæringsstoffer å gjøre. Både i behandling av avløpsslam og ved kompostering av våtorganisk avfall benyttes kalktilsetning som et ledd i behandlingsprosessen. Kalken gjenfinnes i ferdige produkter og bidrar til at disse får virkning som kalkingsmiddel i tillegg til at de tilfører organisk materialer og ulike næringsstoffer. Kalkbehandlet avløpsslam kan inneholde såpass mye kalk at 2 tonn TS/daa gir vesentlig større økning i jordas pH enn det er ønskelig. Det har vært observert sink og manganmangel i felt der en har fått høyere pH enn 7 etter spredning av kalkbehandlet slam eller slamkompost. Veiledningstjenesten (Norsk landbruksrådgivning), avløpsrensaneanlegg og bedrifter som foredler ulike typer organisk avfall er i økende grad klar over problemstillingen, og har i noen grad endret bruksanbefalingene for kalkbehandlet organiske avfallsmaterialer.

For noen år siden ble det rapportert om omfattende borforgiftning etter spredning av avløpsslam på jordbruksarealer. Det viste seg at de fleste tilfellene av borforgiftning kunne spores til tilsetning av boraks i et produkt som var tilsatt slammet under etterbehandling. Produsenten ble bedt om å fjerne bortilsetningen i produktet siden det skapte forgiftning ved bruk av behandlet avløpsslam og kompost. Produktet som nå benyttes i behandling av avløpsslam og kompost er ikke tilsatt bor, og det har heller ikke vært rapportert om borforgiftning knyttet til dette produktet etter av bortilsetningen ble avsluttet. Noen avløpsrensaneanlegg tar inn sjøvann i forbindelse med fellingsprosessen av avløpsvann. Sjøvann har vesentlig høyere borinnhold enn ferskvann, og de anleggene som benytter sjøvann kan ha høyere borinnhold i avløpsslammet enn anlegg som ikke benytter sjøvann. Bor er det mikronæringsstoffer der det er kortest vei fra mangel til forgiftning (Aasen 1997), og det har vært hevdet at spredning av avløpsslam med høyt borinnhold har gitt avlingsskade på korn. Selv om det ble funnet forhøyede borkonsentrasjoner i plantemateriale ved bruk av store mengder slikt avløpsslam (8 og 12 tonn TS/daa), ble det ikke observert noen form for misvekst eller forgiftningssymptomer i våre undersøkelser. Vi har heller ikke gjort sikre funn av borforgiftning på de områdene der det angivelig skulle ha oppstått borforgiftning etter spredning av avløpsslam. Det er imidlertid enn vel kjent at borinnholdet i marine leiravsetninger er vesentlig større enn i jordsmonn utviklet over marin grense (Aasen 1997). En kan derfor ikke utelukke at tilførsel av borholdig avløpsslam i jord med naturlig høyt borinnhold vil kunne øke borkonsentrasjonen i jorda over grensa til misvekst for borfølsomme vekster.

I grøntanlegg er det funnet flere eksempler på misvekst på grunn av bruk av produkter basert på organiske avfallsmaterialer, men de fleste av disse tilfellene representerer bruk av mengder eller produkter som ikke er i samsvar med kravene i forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav. Bruk av for store mengder næringsrik matavfallskompost i anleggsjord medførte at ingenting spirte og plantede vekster døde på grunn av for høyt innhold av løselige salter i vekstmediet. I andre tilfeller er det funnet omfattende misvekst og unormal vekst på ulike grøntanleggsplanter (Figur 4). I bedene som er vist i Fig. 4 var nivåene av kobber og sink i jorda tilsvarende tilstandsklasse 2 (Hansen & Danielsberg, 2009), og det var svært høye verdier av løselig fosfor og pH over 7. Kombinasjonen av disse forholdene ga et svært uoversiktlig bilde av forgiftningssymptomer og mangelsymptomer.



Figur 4. Misvekst i plantefelt med ulike busker grunnet bruk av store mengder organisk avfall med høyt tungmetallinnhold i jordblanding.

Selv når en holder seg innenfor forskriftens krav og mengdebegrensninger (basert på tungmetallinnhold), kan det oppstå misvekst på grunn av ubalanse mellom næringsstoffer når en bruker for store mengder organisk avfall.

Flere biogassanlegg som behandler matavfall har tradisjonelt separert bioresten i en flytende og en fast fraksjon. Mesteparten av det organiske materialet havner da i den faste fasen og det gjør også fosforet. I den flytende fasen er det hovedvekt av løste næringsstoffer som ammonium N ($\text{NH}_4\text{-N}$), kalium (K), natrium (Na) og klor (Cl). Siden den faste fasen har konsistens som et avvannet slam, har en som oftest blandet den med hage/parkavfall og laget et kompostprodukt som siden er nyttet i anleggsjord. Når en bruker 30 vol. % av en slik kompost i en jordblanding, vil den som oftest inneholde svært mye løselig fosfor og nitrogen og gjerne ha høy pH. Under slike forhold kan tilgangen på sink bli så liten at det oppstår omfattende misvekst. Fra tid til annen blir det oppslag i media om slike saker (<http://www.ostlendingen.no/nyheter/elverum/blomstene-visnet-i-hera-jord-1.4607255>, <http://www.gd.no/nyheter/article6708787.ece>). Aasen (1997) angir at kombinasjonen av høy pH og svært sterk gjødsling med fosfor kan være årsak til mangel av visse mikronæringsstoff, særlig sink og jern, men også kopper og bor. Bøen (2013) fant at store mengder matavfallskompost ga høye konsentrasjoner av vannløselig fosfor i jorda, og tydelig økt risiko for utvasking av fosfor gjennom jorda.

For å anskueliggjøre hvilke mengder fosfor det kan være snakk om i jordblandinger med store mengder kompost, kan en ta utgangspunkt i 50 mg P-AL/100 g jord. Det er et slikt nivå av fosfor som kombinert med høy pH har vist seg å gi problemer med misvekst. I landbruket har en erfaring for at P-AL nivå over 14 mg P-AL/100 g jord tilsier at behovet for fosfortilførsel er dekket. Dersom en har 50 mg P-AL/100 g jord i et topplag på 20 cm tykkelse med densitet 1,2 tonn/m³, tilsvarer det 120 kg P-AL/dekar. Dette gjelder altså en relativt løselig fosforfraksjon, som regnes som plantetilgjengelig og som nyttes som grunnlag for gjødslingsplanlegging. En regner normalt behov for fosfor til jordbruksvekster på rundt 1,5 kg P/daa årlig, mens grøntanleggsplanter som skal gjødsles i forhold til estetiske forhold og ikke maksimal produksjon, har lavere fosforbehov.

På slutten av 1970-tallet og begynnelsen av 1980-tallet var barkkompost et stort produkt og en betydelig ingrediens i dyrkingsmedier som ble brukt i veksthusnæringen. Dette ble det brått stopp for etter at det en sesong ble funnet alvorlig misvekst i omtrent alle veksthusene som det ble brukt vekstmedier med barkkompost. Årsaken ble etter hvert identifisert som manganforgiftning. Bark inneholder nemlig store mengder mangan, som er et mikronæringsstoff som har stor evne til å endre valens fra toverdig til treverdig. Under reduserende forhold kan mengden Mn²⁺ i jordvæska bli ekstremt høy og når det ble brukt en barkkompost som ikke var tilstrekkelig aerobt behandlet, ble det i disse vekstmediene ekstreme nivå av Mn²⁺ i forhold til det plantene hadde behov for. Dermed ble opptaket av andre næringsstoffer som Ca²⁺ og jern forstyrret, og omfattende misvekst ble resultatet. Kjemisk analyse av barkkompost etter ekstraksjon med 0,5 M magnesiumnitrat viste seg å være en god måte å klarlegge om det forelå risiko for manganforgiftning eller ikke. Det er henvist til denne metoden i NS 2890 (Standard Norge 2003), som også angir maksimalnivå av løselig mangan for å være sikker på at manganforgiftning ikke vil opptre. Disse grenseverdiene vil også gjelde når bark er brukt som strukturmateriale ved kompostering av annet organisk materiale, som matavfall eller avløpslam.

Organiske avfallsprodukter kan brukes både i mineralske- og organiske jordblandinger, men får veldig forskjellig virkning avhengig av om en blander med mineralske masser eller med torv. Deklarasjonsmessig brukes betegnelsen blandet dyrkingsmedium om produkter som er satt sammen av to eller flere ingredienser, dyrkingsmediet er vesentlig organisk og bruksområdet er pottejord (innendørs eller utendørs). Betegnelsen anleggsjord brukes om jordblandinger som er satt sammen av to eller flere ingredienser (råvarer), som gir et mineralsk dyrkingsmedium egnet til grøntanlegg. I henhold til NS 2890 brukes det forskjellige typer deklarasjoner for disse to produkttypene.

Det er en vesentlig forskjell om behandlet organisk avfall blandes med et mineralsk materiale, som har vesentlig større densitet enn det organiske materialet eller om det blandes med torv eller andre typer organiske materialer. Torv har mye lavere densitet enn de fleste kompostprodukter. Kjemisk blir det derfor veldig stor forskjell om en blander 30 vol. % kompost med sand eller 30 vol. % kompost med torv. I det førstnevnte tilfellet vil komposttilsetningen gi en moderat økning av innholdet av næringsstoffer i dyrkingsmediet. Blandet med torv vil 30 vol. % kompost styre omtrent alle kjemiske egenskaper i dyrkingsmediet, siden komposten både er tyngre enn torva og torva i praksis ikke inneholder løselige næringsstoffer. Når 30 vol. % organisk avfall i en jordblanding har vært benyttet som en grenseverdi for forsvarlig innblanding, har det vært ut fra erfaringer fra blandinger av kompost og torv. Sterrett (2001) har gitt en oversikt over en rekke publiserte undersøkelser som viser hvilke problemer som oppstår når mengden kompost i dyrkingsmediet blir for stor. De mest vanlige problemene var relatert til ustabil eller umoden kompost, for høyt saltinnhold og at vekstmediet ikke hadde tilstrekkelig gode fysiske egenskaper for normal rotutvikling.

For å klarlegge kvalitetsforskjeller mellom ulike jordprodukter i sekk som ble tilbudt hobbydyrkere på hagesentre i Norge, ble det gjort en omfattende dyrkingstest (Haraldsen et al. 2005, 2006). I Figur 5 er det vist variasjonen i vekst av sommergeorginer fra total misvekst til normal vekst. Produktet med sterkest misvekst hadde ut fra varedeklarasjonen en meget høy andel kompost, langt større enn maksimalt tillatt innhold på 30 vol. % i gjeldende forskrift om organisk gjødsel og var markedsført som en miljøvennlig jordblanding med lite torv. Gjennom forskningsprogrammet "Recycling organic waste effects on soil quality, plant nutrient supply and environmental impact" ble det gjennomført forsøk med å erstatte en del av torva med kompost, bruke bunnaske som kalkingsmiddel i stedet for kalksteinmel og gjøre gjenbruk av filterleca i stedet for sand. Både gjennom dette arbeidet og tilgrensende prosjekter for leverandører av jordblandinger kom det tydelig fram at torv og kompost ikke er ekvivalente materialer. Blandingsforholdet mellom torv og kompost viste seg å ha avgjørende betydning for hvilken vekst som ble oppnådd (Figur 6).



Figur 5. Vekst av sommergeorginer i ulike jordblandinger. Planten bak til venstre har normal utvikling.

Med de samme råvarene til rådighet kunne resultatet bli alt fra normal og god vekst, til ulike typer misvekst (Figur 6). Når det var brukt for mye kompost lot det seg ikke gjøre å kompensere ved gjødsling. De forkrøblede, mørkt grønne plantene til venstre ble gjødslet med samme mengde Fullgjødsel 11-5-18 mikro som i potten helt til venstre med normal vekst. Uten denne gjødslingen ble det lys grønn bladfarge og en annen form for misvekst (plante nr. 2 fra høyre). Den sannsynlige årsaken til denne typen misvekst er overskudd av sink i vekstmediet, og ved en forgiftningssituasjon vil ikke ekstra gjødsling kunne rette opp misveksten. Aasen (1997) angir at ukritisk bruk av slam og avfallskompost kan være årsak til høyt sinkinnhold i planter, særlig dersom jorda har dårlig kalktilstand. Han angir at agurk er en av de plantene som er spesielt lite tolerante for store sinkmengder. Utslagene på veksten av agurk i figur 6 stemmer godt over ens med både nivåene av sink i

dyrkingsmediet og at agurk er spesielt følsom for store sinkkonsentrasjoner. Et lignende forhold ble meldt inn av en produsent av torvtak, som ikke fikk etablert normal grasvekst på torvtakene. Han brukte en kompost i med sinkinnhold i kvalitetsklasse II og kompostert bark, som også inneholdt sink (kvalitetsklasse I). Dette vekstmediet var svært næringsrikt og hadde innhold av næringsstoffer som en blomsterjord. Det som skilte dette jordproduktet fra en normal blomsterjord var et ekstremt høyt innhold av løselig sink, og totalt sinkinnhold var over grensa til kvalitetsklasse II. Ideen var å unngå bruk av torv og erstatte torva med barkkompost som også er næringsfattig.

Ut fra våre erfaringer med innblanding av kompost i organiske vekstmedier, kan en del av torva erstattes av kompost i en mengde som tilsvarer plantenes behov for næringsstoffer i dyrkingmediet. Mens torv er et surt materiale, har de fleste typer kompost nøytral eller svakt alkalisk reaksjon, og kalkbehandlede komposttyper har betydelig kalkingsvirkning. Fordi de fleste komposttypene har nøytral eller svakt alkalisk reaksjon vil innblanding av kompost i torvbaserte dyrkingsmedier gi redusert behov for kalktilsetning for å justere pH siden de erstatter et surt torvmateriale, og komposttilsetningen gir dermed flersidig effekt i forhold til klimagassproblematikk. Kalk i form av kalsiumkarbonat (CaCO_3) er et vanlig brukt kalkingsmiddel både i landbruket og i jordblandinger. Kalsiumkarbonat representerer fossilt karbon, som når det tas i bruk som kalkingsmiddel blir tatt inn i karbonkretsløpet igjen. Kompostinnblanding i dyrkingsmedier bidrar med resirkulert organisk karbon, resirkulerte næringsstoffer, og minsker i tillegg kalkingsbehovet.

Med kompostmaterialer i kvalitetsklasse 0 foreligger det liten risiko for å skape forgiftning av tungmetaller, men det er funnet misvekst ved innblanding av store mengder kompost i kvalitetsklasse I for sink og spesielt når det har vært benyttet kompost med sinkinnhold i kvalitetsklasse II. Det en del jordprodusenter ikke synes å være klar over, er at kompostert bark også inneholder til dels betydelige mengder tungmetaller som kadmium og sink. Som tidligere nevnt, kan kompostert bark ha manganproblematikk. Når en så forsøker å sette sammen organiske vekstmedier med lite torv, kan en lett komme i skade for å få såpass høye konsentrasjoner av tungmetaller i vekstmediet at det oppstår forgiftningssituasjoner. Det vil derfor være viktig at det settes krav til maksimalt innhold av tungmetaller i dyrkingsmedier som skal omsettes, slik at en ikke omsetter jord som i henhold til forurensningsforskriften ikke kan betraktes som rene masser. Et slikt krav bør gjelde både organiske og uorganiske dyrkingsmedier. Det vil være langt mer treffsikkert tiltak for å sikre at jordblandinger ikke inneholder uønskede mengder tungmetaller enn regelen om maksimalt 30 vol. % organisk avfall som gjelder ut fra dagens forskrift. Som et apropos kan nevnes en jordblanding med organiske avfallsmaterialer som alle var i kvalitetsklasse 0 ble blandet med steinmel med et tungmetallinnhold tilsvarende kvalitetsklasse II. Jordblandingen kom da ut med kvalitetsklasse II med tilhørende bruksbegrensninger som jordforbedringsmiddel, mens intensjonen var å lage et produkt som fritt kunne brukes som dyrkingsmedium til økologisk landbruk. Løsningen i det tilfellet var å bytte ut steinmelet til en kvalitet som hadde uproblematisk lavt innhold av tungmetaller.



Figur 6. Vekst av agurk i ulike blandinger med kompost. Plantene i potte 1, 4, 5 og 7 fra venstre hadde ikke visuelle symptomer på misvekst.

Når en lager anleggsjord som er basert på mineraske råvarer, vil innblanding av kompost gi veldig mye mindre påvirkning av tungmetallkonsentrasjonene i vekstmediet enn i organiske jordblandinger. På bakgrunn av erfaringer med utvikling av grøntanleggene på Fornebu, og en rekke utviklingsprosjekter av blandinger av anleggsjord for ulike produsenter, har vi kommet fram til et vurderingsgrunnlag for å bestille anleggsjord. Kravspesifikasjonene som Statens vegvesen benytter er utviklet av Bioforsk (Statens vegvesen 2014), og når jordblandingen har egenskaper som tilfredsstiller de angitte krav, har en erfaring for at tilslaget ved etablering av grøntanleggsplanter blir i samsvar med planene. Når en nytter disse kravspesifikasjonene for å lage anleggsjord, må en vurdere næringsinnholdet i organiske avfallsmaterialer nøye for å unngå å få høyere næringsinnhold enn de angitte kravene. De aller fleste organiske avfallsmaterialer har en nøytral til alkalisk reaksjon, noe som vil medføre at jordblandingen lett får høyere pH enn ønskelig. Det er derfor vanlig å bruke litt innblanding av torv for å senke pH til passende nivå, og samtidig øke innholdet av organisk materiale til optimalt nivå uten å øke innholdet av næringsstoffer. Sur skogsjord fra utbyggingsprosjekter kan være et alternativt materiale for noen produsenter for å oppnå samme virkning, men det er de færreste som har tilgang på slikt materiale. Erfaringsmessig er det nødvendig å ha tilgang på et surt organisk materiale som torv eller råhumus for å nøytralisere den alkaliske effekten som innblanding av de fleste typer kompost gir i anleggsjord. Å lage vekstmedier til surjordsplanter krever tilgang på sure organiske materialer. Å bruke sur, umoden kompost til dette formålet har vist seg å være fatalt, da slikt materiale er i stand til å ta knekken på så vel Thuja som Rhododendron, spesielt når en benytter slikt materiale som jorddekke (Sæbø et al., 2005).

3.4 Klassifisering av ulike typer organisk avfall

Resultater av tidligere forsøk bl.a. Blytt et al. (2011), Boen & Haraldsen (2011), Brod et al. (2012, 2014); Bøen et al. (2013), Gebauer & Eikebrokk (2006), Haraldsen & Pedersen (2003), Haraldsen et al. (2011) for bruksområder for spesifikke avfallsprodukter kan oppsummeres slik:

Organisk gjødsel

Når det gjelder organisk gjødsel, inneholder disse produktene som oftest så høye konsentrasjoner av næringsstoffer at det er dosering av næringsstoffer ut fra plantenes behov som bør regulere bruken. Dosering ut fra maksimalt tillatt mengde basert på tungmetallkonsentrasjonene vil medføre betydelig risiko for overdosering av næringsstoffer og utvasking til resipienter.

Husdyrgjødsel: Biorest av husdyrgjødsel har noenlunde samme kjemiske egenskaper som husdyrgjødsel, men lavere tørrstoffinnhold. Ved å ta utgangspunkt i mengden mineralisk N i biorest og husdyrgjødsel og korrigere for risiko for ammoniakktap, kan en oppnå like store avlinger ved bruk av slik gjødsel som med Fullgjødsel®, særlig ved bruk av små mengder gjødsel (8 kg N/daa).

Fiskeslam: Fiskeslam er N og P gjødsel med tilgjengelighet omtrent som husdyrgjødsel. Både kompostert fiskeslam og biorest av fiskeslam har også høyt innhold av tilgjengelig N og P.

Biorest av matavfall: Flytende biorest av matavfall egner seg godt som korngjødsel. Ved dosering ut fra mineralisk N, vil en dekke behovet for fosfor og kalium. Avvannet biorest av matavfall er først og fremst P-gjødsel, og må doseres ut fra mengde P-AL (løselig P) eller annen metode for vurdering av plantetilgjengelig P. Forholdet mellom næringsstoffer (nitrogen eller fosfor) og tungmetaller er avgjørende for hvor mye tungmetaller som tilføres pr. dekar når en bruker matavfallsbasert organisk gjødsel.

Aske: Aske er tradisjonelt betraktet som jordforbedringsmiddel med kalkingseffekt. Det er bare bunnasker fra ristbrenneranlegg som har tilstrekkelig lavt innhold av tungmetaller til å kunne benyttes som gjødsel/jordforbedringsmidler i landbruket. Kalkingseffekten har sammenheng med mengden kalsium i asken. En del asketyper har relativt høyt innhold av kalium og andre kationer. Fosforinnholdet i aske ble antatt å være lite tilgjengelig basert på kjemiske analyser, men har i dyrkingsforsøk vist høy grad av tilgjengelighet, opp mot nivået av mineralisk P (Brod et al. 2014). Nivået av fosfor og kalium i enkelte asketyper er så høyt at asken er egnet til blanding med N-rike avfallsprodukter i en resirkulert NPK-gjødsel. Ettersom forbrenning oppkonsentrerer tungmetaller i asken kan tungmetallinnholdet begrense bruksområdet etter gjeldende gjødselvarerforskrift. Brukt i jordblandinger og i gjødselblandinger, bør det kunne brukes askematerialer som kommer i kvalitetsklasse III for enkelte tungmetaller, siden aktuell mengde av aske pr. areal vil reguleres av enten kalkingsvirkningen eller gjødselvirkningen. En bør i denne sammenheng se på forholdet mellom næringsstoffer og tungmetaller, evt. kalsium og tungmetaller. Også mineralisk kalk kan inneholde tungmetaller som kadmium (Chaudary et al. 2011), og det har nylig vært lagt fram forslag til grenseverdier for tungmetaller i kalkingsmidler i EU. Disse grenseverdiene er trolig bedre tilpasset egenskapene til aske regelverket for organisk avfall.

Organiske jordforbedringsmidler

Bruksbegrensningene i gjeldende forskrift om organisk gjødsel er i hovedsak tilpasset materialer som egner seg som jordforbedringsmidler, og regulerer bare mengden tungmetaller pr. arealenhet. Flere av materialene har betydelig innhold av næringsstoffer og kalk som også bør tas med i betraktning når en vurderer miljømessig forsvarlig bruk.

Avløpsslam: Biorest av avløpsslam har samme egenskaper som avløpsslam og tilsvarende bruksbegrensninger som avløpsslam. Avvannet avløpsslam som jordforbedringsmiddel på jordbruksareal er det mest vanlige bruksområdet, tilført som 2 eller 4 tonn TS/daa

avhengig av kvalitetsklasse. Når slammet er kalkbehandlet, vil tilførsel av slam også gi en betydelig kalkingseffekt. Flere avløpsrensplanlegg har nå redusert mengden avløpsslam til 1 tonn TS/daa for å unngå høy pH i jorda etter spredning av avløpsslam. Flytende biorest (av avløpsslam) kan også brukes som N-gjødsel. Her er begrensningen for mengde kvalitetsklassen. Som eksempel på slik bruk er beregnet N-virkning på ca. 2-2,5 kg/daa ved tilførsel av 200 kg TS/daa (4 m³/daa). For å dekke behovet for nitrogen, må det tilføres mineralsk NK-gjødsel i tillegg til slambioresten, om lag 8 kg N/daa. Slamkompost er et jordforbedringsmiddel som først og fremst gir økt moldinnhold i jorda, og kan gi kalkingsvirkning dersom slammet er kalkbehandlet. Noen typer slamkompost frigir også mineralsk nitrogen, mens andre har ubetydelig N-virkning eller til og med svakt negativ N-virkning. I jordblandinger til grøntanlegg bør en ikke bruke mer enn 10 vol. % avløpsslam

Matavfallskompost: Matavfallskompost er hovedsakelig et jordforbedringsmiddel med N, P, K effekt og noe kalkingsvirkning. N-friggjøringen er langsom, og brukt som gjødsel er virkningen best i flerårige vekster og grønnsaker med lang veksttid. Kan brukes i økologiske dyrkingssystemer på grunn av lav konsentrasjon av tungmetaller. Ved bruk av like mengder nitrogen vil det tilføres langt lavere mengder tungmetaller ved bruk av biorest av matavfall enn ved bruk av matavfallskompost. De fleste typene matavfallskompost inneholder ubetydelige mengder tungmetaller (kvalitetsklasse 0), mens noen kommer i kvalitetsklasse I. Strukturmateriale som benyttes under komposteringen kan ha stor betydning for hvilken kvalitetsklasse komposten kommer i.

Hestegjødselkompost: Hestegjødsel er vanligvis blandet med flis eller annet strømateriale, og må komposteres før en har et brukbart produkt. Fordi en må foreta slik behandling for å oppnå et brukelig jordforbedringsmiddel eller ingrediens i jordblandinger, ser en i praksis at store dunger med hestegjødsel ligger passivt lagret i årevis. Mens hageavfall og matavfall leveres til godkjente anlegg, som mottar midler for å behandle slikt materiale, er det ingen økonomiske insitamenter for å behandle hestegjødsel. Hestehold er heller ikke definert som del av landbruket når det gjelder næringsvirksomhet. Kompostert hestegjødsel er gjennomgående noe mer næringsrik enn kompost av hage/parkavfall, og har lignende bruksområde. Med dagens rammebetingelser er det få som klarer å oppnå god økonomi ved å kompostere hestegjødsel, men hestegjødselkompost har i forsøk vist seg å være godt egnet i organiske og mineralske jordblandinger. Så langt representerer hestegjødselkompost en lite utnyttet ressurs, som flere aktører burde lære seg å behandle og benytte.

Hage/parkavfall: Hage/parkkompost er et jordforbedringsmiddel med liten N-effekt, og god tilgjengelighet av P og K. Denne komposttypen egner seg best som ingrediens i jordblandinger og til jordforbedring. På grunn av at moden kompost har god og moldlignende struktur, er det økende interesse for bruk av slik kompost på jordbruksarealer.

Torv brukes i liten grad som jordforbedringsmiddel, men i områder med rikelig tilgang på torv fra utbyggingsprosjekter har det vært noe interesse for bruk av slik torv på tørkeutsatt sandjord med lite moldinnhold. Torv er også av interesse som jordforbedringsmiddel i områder som har så høyt naturlig tungmetallinnhold at bruk av organiske avfallsmaterialer ikke er tillatt. Innblanding av torv som jordforbedringsmiddel brukes utelukkende der en ønsker å endre de fysiske egenskapene til dyrka jord.

Ingredienser i jordblandinger

Slamkompost: Mange typer slamkompost inneholder relativt lite slam og mye strukturmateriale, noe som gir et kompostprodukt med relativt høyt innhold av organisk materiale, men forholdsvis lite innhold av løselige næringsstoffer. Slike materialer egner

seg godt i jordblandinger til grøntanlegg. Noen typer slamkompost er mer næringsrike og er mer preget av slam enn strukturmateriale, og fungerer godt som jordforbedringsmidler i jordbruket.

Barkkompost: Barkkompost er et kompostert materiale av barkprodukter, som inneholder mye organisk materiale og lite løselige næringsstoffer. Barkkompost kan inneholde noe kadmium, og betydelige mengder mangan. For å være egnet til bruk i vekstmedier må barkkomposten være godt moden og aerob, ellers er det risiko for manganforgiftning.

I tillegg til de resirkulerte organiske avfallsmaterialene, er det nødvendig å ta med litt om bruk av torv i jordblandinger. Som nevnt innledningsvis er torv en naturlig organisk materiale, som er surt, næringsfattig og blir nedbrytbart i aerobt miljø. I organiske jordblandinger utgjør torv massen som skal gi blandingen riktige fysiske egenskaper, mens kompost skal doseres for å gi passene innhold av næringsstoffer uten at de fysiske egenskapene forringes i vesentlig grad. Så lenge en har kontroll på at kompostmaterialene ikke inneholder spiredyktige frø eller andre uønskede organismer, kan det bli veldig bra blandinger av blandet dyrkingsmedium. Det eneste materialet som har noenlunde like egenskaper som torv av torvmoser (Sphagnum) er kokosfiber, som er et restprodukt fra kokosproduksjonen. Kokosfiber importeres bl.a. fra India og Sri Lanka i betydelige mengder når en må lage organiske jordprodukter uten torv.

I anleggsjord erfarer mange jordprodusenter at de ikke klarer å lage jordblandinger som tilfredsstiller deklarasjonskrav fra bestillere av jord (jfr. Statens vegvesen 2014) uten å bruke noe torv. Når en både har krav til et angitt nivå av løselige næringsstoffer, mengde organisk materiale og pH, må en ha tilgang til organiske materialer med sur reaksjon når en skal bruke organiske avfallsprodukter til å gi jordblandingen passende næringsinnhold. Hvis en doserer organiske avfallsmaterialer i forhold til kravet til innhold av organisk materiale, vil en som oftest både overdosere med næringsstoffer og oppnå uønsket høy pH i jordblandingen. Dette gjelder spesielt for produsenter som markedsfører sine jordprodukter med at det ikke brukes torv i blandingene. Det er rapportert om betydelige problemer med å etablere god vekst av planter i slik jord, og det er et spørsmål i hvilken grad disse blandingene er godt egnet til dyrking av planter, slik at veksthemmende effekt unngås (jfr. § 10.8 første setning i forskrift om organisk gjødsel). Vekstproblemer kan oppstå selv om det ikke er brukt mer enn 30 vol. % av avfallsmaterialer.

3.5 Brukes organiske avfallsprodukter etter bevisst planlegging?

Mange typer organiske avfallsmaterialer har vært tilgjengelig i mange år, og brukerne har hatt lang tid til å kunne evaluere positive og negative effekter. Etter hvert som nye behandlingsmåter for organisk avfall er kommet i bruk (bl.a. biogassbehandling), er det blitt tilgjengelig nye produkter med andre egenskaper enn tradisjonelle jordforbedringsmidler.

Når det gjelder vår kunnskap om hvordan ulike organiske avfallsprodukter brukes i Norge i dag, har vi ikke gjennomført systematiske undersøkelser. Vår kunnskap stammer i stor grad fra omfattende kontakt med bedrifter som driver behandling av avløpsslam og ulike typer organisk avfall, samt veiledere tilknyttet Norsk landbruksrådgivning i ulike regioner.

3.5.1 Kjøttbeinmel – fra foringrediens til gjødsel og nye markeder

Kjøttbeinmel (KBM) ble før år 2000 brukt i ulike typer fôrblandinger av kraftfôr. Etter at sammenhengen mellom prioner og utvikling av kugalskap kunne spores til dårlig

varmebehandlet KBM, ble det totalforbud i EU og EØS land om bruk av KBM i fôr til produksjonsdyr i 2001. Dermed hopet det seg opp store lagre av KBM, og kunnskapen om hvordan dette produktet kunne brukes til andre anvendelser var mangelfull. Gjennom omfattende forskning ble det klarlagt at KBM hadde god virkning som nitrogengjødsel, og langtidsvirkning som fosforgjødsel (Haraldsen et al. 2005; Jeng et al. 2004, 2006). Kunnskapen om den gode gjødselvirkningen ble raskt gjort kjent for landbruksveiledere, og mange bønder oppnådde svært gode avlinger med denne gjødsla. I de første sesongene ble KBM tilbudt gratis levert på Norsk proteins anlegg. Etter at vi fikk sikker kunnskap om gjødslingseffekten, ble det innført en pris pr. kg KBM. Etterspørselen etter KBM økte fra år til år, selv om prisen ble lagt på, ble produktet fremdeles regnet som rimelig i forhold til annen gjødsel, og ble spesielt populært i økologisk landbruk. På topp hadde Norsk Protein bestilling for mye mer enn de kunne produsere årlig. Siden KBM er et utmerket proteintilskudd i fôr, ble det forsøkt i kjæledyrfôr med stort hell, og dette markedet var både mer betalingsvillig enn gjødselmarkedet og en oppnådde en høyere verdi i avfallshierarkiet. Norsk Protein faset dermed ut leveranser av KBM til konvensjonelt landbruk, men leverer fremdeles KBM til produsenter av organisk gjødsel til økologisk landbruk. Disse produsentene lager gjødselblandinger av KBM og ulike andre organiske gjødselvarer, som kan brukes i økologiske dyrkingssystemer.

3.5.2 Avløpsslam med flersidige effekter

Mange avløpsrensaneanlegg har drevet med rensing av avløpsvann i flere tiår, og har i lang tid tilbudt avløpsslam til jordbruksformål. Flere typer avløpsslam har vist seg å gi svært gode effekter på jordas egenskaper, og mange ønsker å få ny tilførsel av avløpsslam ti år etter forrige spredning. Dette gjelder ikke minst kalkrike typer av avløpsslam, der VEAS – slam er en av slamtypene som er spesielt etterspurt. Dette avløpsslammet er kalkrikt og tilføres i mange tilfeller i stedet for jordbrukskalking, og slamspredningen gir da i tillegg en del andre positive effekter. I spredeåret oppnås en virkning av nitrogentilførselen. Det tilføres betydelige mengder fosfor som gjør at en kan redusere bruken av mineralisk fosforgjødsel, og en tilbakefører noe organisk materiale som virker positivt til organismer i jorda. Det er nå ventetid på å få leveranser av denne slamtypen, slik at en gjerne må bestille et år i forveien for å få levert slammet til den tida en ønsker. Fordi VEAS slam og en del andre slamtyper har betydelig kalkingsvirkning, har en i stor grad redusert spredd slammengde i forhold til ønsket kalkingsvirkning i stedet for å utnytte maksimalt tillatt mengde slam i forhold til gjødselvarerforskriftens krav. Mer agronomisk riktig bruk av avløpsslam har vært et satsingsområde for Norsk vann, slik at avløpsrensaneanleggene får økt egenkompetanse om egenskapene til egne slamprodukter. Flere veiledere i Norsk landbruksrådgivning har lært seg å lage gjødslingsplaner som tar hensyn til frigjøring av næringsstoffer fra avløpsslam, og kan vurdere kalkingsvirkningen av kalkbehandlet slam.

3.5.3 Bruk av kompost på jordbruksarealer

Mange avfallsanlegg benytter hage/parkkompost, matavfallskompost og ulike typer slamkompost i ulike typer jordblandinger til grøntanlegg. Tradisjonelt har disse brukt opp til maksimalt tillatt mengde på 30 vol. % kompostmateriale i jordblandingene. I mange tilfeller har det medført at jordblandingene har fått lavere innhold av organisk materiale enn optimalt, men altfor mye næringsstoffer. For å oppnå riktig mengde organisk materiale, har flere anlegg nyttet torvinnblanding i tillegg for å få nok organisk innhold i jordblandingene. De som har ønsket å unngå bruk av torv har i en del tilfeller brukt en høyere andel av organisk avfall enn de angitte 30 vol. % for å få riktig innhold av organisk materiale, og mørkfarget jord. Slike produkter er ikke i samsvar med kravene i gjeldende forskrift, og har i tillegg unødvendig stort innhold av løselige næringsstoffer.

Fra bønder som driver økologisk jordbruk, har det vært etterspørsel etter kompostprodukter med lavt innhold av tungmetaller (klasse 0) eller innenfor kravene for bruk i økologisk landbruk. Det har stort sett vært matavfallskomposter som har hatt denne kvaliteten, og slike kompostprodukter har vært etterspurt. Interessen for bruk av kompost har også "smittet" over på en del nabobønder som driver konvensjonelt, spesielt når det er snakk om næringskrevende grønnsaksproduksjoner. Den økte interessen for bruk av kompostprodukter med lavt tungmetallinnhold i landbruket, kan også ses i sammenheng med prosjektet "Levende jord" som er gjennomført i Buskerud. Konsekvensen av økende grad av tilbakeføring av næringsstoffer gjennom bruk av kompost i landbruket er at en kan foreta en reduksjon i bruken av mineralsk gjødsel. Lindum har opplevd at det nå er interesse for bruk av både matavfallskompost, hage/parkkompost og bioest av slam i landbruket, mens de fokuserer på anvendelse av slamkomposter i jordblandingene til grøntanlegg.

3.5.4 Flytende bioest – organisk NPK gjødsel med stort brukspotensial

De første avfallsanleggene som begynte med behandling av kildesortert matavfall i biogassanlegg anså et fast bioestprodukt som den mest anvendbare, siden det lignet mest egenskapene de kjente fra matavfallskompost. Dermed innførte de separasjon av fast og flytende fase. Det faste produktet ble blandet med hage/parkavfall og kompostert, og ble deretter nyttet i jordblandinger til grøntanlegg. Skjebnen til den flytende fasen var mindre ærerik. Den gikk i stor grad til nærmeste renseanlegg, eller ble forsøkt infiltrert i sandavsetninger. Dette skapte dels svært stor belastning i renseanleggene med store mengder nitrogenrikt vann og finpartikulært materiale, og dels forurenset det grunnvannet.

Forsøk viste at det var store mengder plantetilgjengelige næringsstoffer i slik bioest, og Mjøsanlegget bygde opp en stor lagertank for flytende bioest på anlegget på Lillehammer. Bønder fra nærområdet fikk anledning til å hente bioest på lagertanken, og de hentet gjødsel og fylte opp gjødselkjellere med dette produktet. Noen fylte opp tomme gjødselkjellere, mens andre blandet det med egen husdyrgjødsel. Gjødsla ble spredd ut med vanlig utstyr for husdyrgjødselspredning, og ble i stor grad spredd på eng. Forsøkene i regi av prosjekter ved Bioforsk gikk stort sett til korn, mens bøndene i dette området i brukte bioesten i hovedsak til eng. Jostein Skretting ved Norsk landbruksrådgivning Oppland laget gjødslingsplaner, og har opparbeidet betydelig kompetanse på å vurdere blandinger av bioest og ulike typer husdyrgjødsel. Det har vist seg at flytende bioest og ulike typer husdyrgjødsel har gitt bedre virkning av næringsstoffene enn gjødselproduktene hver for seg. Særlig velegnet har blandingen av flytende bioest og sauegjødsel vist seg å være. Den gir langt bedre utnyttelse av næringsstoffene i sauegjødsel enn ved spredning av bare sauegjødsel. Konsekvensen av bruk av bioest sammen med husdyrgjødsel har vært langt mindre behov for bruk av mineralsk gjødsel. Til korn har flytende bioest supplert med litt mineralsk nitrogen vist seg å gi like bra avlinger som mineralsk NPK-gjødsel.

3.5.5 Forutsetninger for at organiske gjødselprodukter blir attraktive

Eksempelene som er vist i dette kapitlet, viser at organiske gjødsel/jordforbedringsprodukter etterspørres når de anses å være fordelaktige å bruke ut fra forskjellige forutsetninger. Den første forutsetningen er at det foreligger objektiv informasjon, som viser at produktene er trygge og ikke inneholder stoffer som virker negativt inn på veksten eller produksjonsevnen til jorda på kort og lang sikt. Det er stor bevissthet om tungmetaller og organiske miljøgifter blant profesjonelle brukerne. Motivasjonen for å bruke produkt basert på organisk avfall varierer, men tilførsel av

organisk materiale er som oftest ikke hovedgrunnen. Å bruke husdyrgjødsel som et sammenligningsgrunnlag er informasjon som brukere kan forholde seg til, og organiske avfallsprodukter med mindre tungmetallbelastning enn husdyrgjødsel er det lett å argumentere for. Det gjelder bl.a. kjøttbeinmel, biorest av kildesortert matavfall og fiskeslam.

Ellers legger brukere vekt på følgende egenskaper når de skal dyrke matvekster:

- Dokumentert gjødselvirkning i forsøk (nødvendig for riktig gjødslingsplanlegging)
- Naboer og andre kjente har hatt god erfaring med produktene
- Produktene kan spres med utstyr som er allment tilgjengelig (f.eks. utstyr for spredning av husdyrgjødsel)
- Leverandører og veiledningstjenesten i landbruket har produktkjennskap, og kan svare på spørsmål
- Bøndenes organisasjoner er positive til bruk av produktene

Når det gjelder kjøpere av jordprodukter og jordforbedringsmidler, er kunnskapsnivået om jordegenskaper og krav til jord veldig variabelt. Det er knapt noen vanlige forbrukere som er i stand til å lese og forstå en varedeklarasjon på en jordsekk som kjøpes på hagesentre. Større jordkøpere som Statens vegvesen og andre større aktører har i økende grad stilt krav til sine jordleverandører, og har fått vekstmedier som gir forventet tilslag av de vekstene som skal etableres. På privatmarkedet er det stor variasjon i egenskaper til tilbudte produkter, og Bioforsk har i årenes løp mottatt mange henvendelser om vekstmedier som tilsynelatende skal være miljøvennlige og gode, men som ikke gir forventet etablering av planlagt vegetasjon. En god del henvendelser gjennom rådgivningstjenesten i FAGUS, Faglig senter for grøntanleggssektoren, går på det samme. I mange tilfeller er årsaken til problemene at innblanding av organiske avfallsmaterialer gir dyrkingsmediet uheldige egenskaper, men innblanding av uvasket skjellsand, store mengder sterkt omdannet torv og steinmel med uheldig sammensetning kan også gi store problemer med å få planter til å vokse normalt.

Konsekvensene av feil med dyrkingsmedier kan få store samfunnmessige konsekvenser når vegetasjonsetableringen ikke slår til. Når sidearealer til veier og store arealer for eksempel på flyplasser ikke får planlagt vegetasjonsdekke og blir utsatt for så sterk grad av erosjon av vann eller vind at en må foreta periodevis stenging for å rydde opp, påløper store kostnader. Konsekvensene for avrenning og utvasking av næringsstoffer fra grøntarealer der det har vært brukt store mengder organisk avfall er lite belyst forskningsmessig. Det er imidlertid paradoksalt at gjeldende forskrift gir anledning til å bruke langt større mengder av organiske avfallsmaterialer til grøntarealer enn til jordbruksarealer, når en vet at behovet for næringsstoffer til grøntanleggsplanter er vesentlig mindre enn for jordbruksvekster.

4. Konklusjoner

Det er et stort potensial for økt bruk av organisk avfall til jord som benyttes til planteproduksjon.

- Enkelte jordtyper og områder (utsatt for tørke, erosjon og degradert jord) vil ha stor nytte av tilførsel av organisk stoff. I de fleste tilfeller bør imidlertid organiske gjødningsmidler tilføres med tanke på utnyttelsen av næringsstoffer mer enn organisk stoff. Den biologiske virkningen av resirkulering av organisk avfall vil omfatte både effekten av bedre fysiske forhold (vannlagringsevne/struktur), være en funksjon av økt biologisk aktivitet i jorda, og en virkning av tilgjengelige næringsstoffer
- Organiske avfallsprodukter med høyt innhold av tilgjengelige næringsstoffer kan brukes som gjødsel (bl.a. kjøttbeinmel, fiskeslam, biorester av matavfall, biorester av husdyrgjødsel og matavfall)
- Andre organiske avfallsprodukter kan brukes som jordforbedrings midler (bl.a. avløpsslam, hage/parkkompost, matavfallskompost, komposter av grønnsakavfall, hestegjødselkompost og biorester av avløpsslam)
- Noen organiske avfallsmaterialer egner seg best som ingredienser i jordblandinger (bl.a. barkkompost og slamkompost).
- Det er en del forskjeller i behandlingsløsninger mellom forskjellige bedrifter som driver avfallsbehandling, og det kan påvirke om produktene er best egnet som jordforbedringsmidler eller ingredienser i jordblandinger.
- I stabilisering av slam tilsettes fellingskjemikalier som gjør fosfor mindre plantetilgjengelig. Ved biogassbehandling av avløpsslam sammen med andre typer biogassubstrater, vil som oftest overskuddet av fellingskjemikalier i avløpsslammet påvirke tilgjengeligheten av fosforet i bioresten. Biorester av avløpsslam vil derfor bære større preg av avløpsslammet enn av de andre materialene som utråtnes. Det betyr at fosfor kan akkumuleres i jorda når en bruker slambasert biorest, på lik linje med det en får når en bruker avløpsslam som ikke er utråtnet.
- Når en skal vurdere bruken av behandlet organisk avfall, må en vurdere behovet for tilførsel av næringsstoffer som nitrogen og fosfor, risikoen for skader av tungmetaller og miljøgifter direkte og gjennom akkumulering i jordsmonnet, og behovet for tilbakeføring av organisk materiale.
- Profesjonelle brukere, som nytter organiske avfallsprodukter ved produksjon av matvekster, er svært opptatt av produktenes nytteverdi og hvordan de virker på kort og lengre sikt. Denne kundegruppen er fokusert på innhold av tungmetaller og miljøgifter sett i relasjon til nytteverdi, og har bevisst forhold til hvorfor de velger å ta i bruk organiske avfallsmaterialer.
- Vanlige privatkunder som handler dyrkingsmedier på hagesentre eller får levert jord til hager av jordprodusenter har generelt liten kunnskap om jord, og vil i liten grad kunne skille gode og dårlige produkter. En del som har kjøpt jord med compost, har dårlige erfaringer med tilslaget av veksten. Det er imidlertid en rekke andre ingredienser i dyrkingsmedier som kan gi store problemer med veksten.
- Brukt på rett måte vil organiske avfallsmaterialer kunne brukes for å optimalisere biologiske-, kjemiske- og fysiske egenskaper til så vel organiske som uorganiske dyrkingsmedier.

5. Referanser

- Bakken AK, Breland TA, Haraldsen TK, Aamlid TS & Sveistrup TE (2006) Soil fertility in three cropping systems after conversion from conventional to organic farming. *Acta Agriculturae Scandinavica, Sect. B, Soil and Plant Science*, 56, 81-90.
- Blytt LD, Haraldsen TK, Helness H, Paulsrud B & Ulgenes Y (2011). Håndtering av slam fra rensing av avløp i settefiskanlegg. Forprosjektrapport.
- Boen A & Haraldsen TK (2011). Fertilizer effects of increasing loads of compost and biosolids in urban greening. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10, 231-238.
- Brod E, Haraldsen TK & Breland TA (2012). Fertilization effects of organic waste resources and bottom wood ash: Results from a pot experiment. *Agricultural and Food Science*, 21, 332-347.
- Brod E, Haraldsen TK & Krogstad T (2014) Combining waste resources as compound fertiliser to spring cereals. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science*, 64, 329-340.
- Brod E, Hamilton H & Haraldsen TK (2015) The recycling potential of phosphorus in Norwegian waste products in a system's context. Abstract submitted to RAMIRAN 2015 – 16th International Conference Rural-Urban Symbiosis, 8-10 September, Hamburg, Germany
- Brod E, Øgaard AF, Haraldsen TK & Krogstad T (2015) Norwegian waste products as alternative phosphorus fertilisers to ryegrass (*Lolium multiflorum*). Part II: Predicting P fertilisation effects by chemical extraction. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (Manuscript)
- Bøen A (2010). Fosfor i avløpsslam – fraksjonering og plantetilgjengelighet. Bioforsk Rapport 5, 62.
- Bøen A (2013) Waste-based products as slow-release fertilizers – with emphasis on phosphorus fertiliser effects. Norwegian University of Life Sciences, Philosophiae Doctor (PhD) Thesis 2013: 25
- Bøen A & Haraldsen TK (2013) Meat and bone meal and biosolids as slow-release phosphorus fertilizers. *Agriculture and Food Science*, 22, 235-246
- Bøen A, Haraldsen TK & Haaland S (2013) Effects of high compost and biosolid application rates on phosphorus leaching from soil. In: Bøen, A. Waste-based products as slow-release fertilizers – with emphasis on phosphorus fertilization effects. Norwegian University of Life Sciences, Philosophie Doctor (PhD) Thesis 2013: 25, 21 pp.
- Bøen A, Haraldsen TK & Krogstad T (2013). Large differences in soil phosphorous solubility after the application of compost and biosolids at high rates. *Acta Agriculture Scandinavica Section B – Soil & Plant Science*. Doi: 10.1080/09064710.2013.801508.
- Chaudary M, Mopps HJ, Almås ÅR & Singh BR (2011) Assessing long-term changes in cadmium availability from Cd-enriched fertilizers at different pH by isotopic dilution. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 91, 109-117.
- Gebauer R & Eikebrokk B (2006). Mesophilic anaerobic treatment of sludge from salmon smolt hatching. *Bioresource Technology*, 97, 2389-2401.
- Hamilton, HA, Brod E, Hanserud OS, Gracey EO, Vestrum MI, Bøen A, Steinhoff FS, B. Müller DB & Brattebø H (2015) Investigating cross-sectoral synergies through integrated aquaculture, fisheries and agricultural phosphorus assessments: Norway as a case. *Journal of Industrial Ecology* (In press)
- Hansen, HJ & Danielsberg (2009) Helsebaserte tilstandsklasser for forurenset grunn. Veileder. SFT TA 2553. 27 s.
- Haraldsen TK & Børtnes G (2009) Virkning på plantevekst og utvaskingsrisiko av ulike typer organisk avfall basert på restprodukter. *Bioforsk FOKUS* 4,(2), 48-49.

- Haraldsen TK & Pedersen PA (2003) Mixtures of crushed rock, forest soils, and sewage sludge used as soils for grassed green areas. *Urban Forestry*, 2, 41-51.
- Haraldsen TK, Larsen MA & Myhr K (1994) Effects of cattle slurry and soil compaction on the earthworm population in a silty clay loam soil in central Norway. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, 8, 231-241.
- Haraldsen, TK, Andersen U, Krogstad, T & Sørheim R (2011) Liquid digestate from anaerobic treatment of source-separated household waste as fertilizer to barley. *Waste Management & Research*, 29, 1271-1276.
- Haraldsen, TK, Brod E & Krogstad T (2014) Optimising organic components of topsoil mixtures for urban grasslands. *Urban Forestry and Urban Greening* 13, 821-830.
- Haraldsen TK, Grønlund A, Pedersen PA, Nordal O & Westby T (2000). Construction of soils for green areas at the former airport Fornebu, Oslo, Norway. First International Conference on Soils of Urban, Industrial, Traffic and Mining Areas, University of Essen, Germany, 12-18 July 2000, Proceedings, Vol. II, pp. 523-528.
- Haraldsen TK, Bøen A, Pedersen PA & Zakariassen E (2005). Test av jordblandinger til hobbyhagebruk. *Jordforsk rapport 104/05*. 23 s.
- Haraldsen TK, Bøen A, Pedersen PA & Zakariassen E (2006). Jordtest. Plantejord, blomsterjord eller spesialjord med kompost? *Norsk Hagetidend* 4/2006: 38-41.
- Haraldsen TK, Jeng A, Grønlund A, Pedersen PA, Lindemark PO, Solberg H & Vagle A (2005). Kjøttbeinmel som nitrogen og fosforgjødsel. Resultater fra kar- og markforsøk i 2003 og 2004. *Jordforsk rapport 10/05*. 21 s.
- Lutzov Mv, Kogel-Knabner I, Ekschmitt K, Matzner E, Guggenberger G, Marschner B & Flessa H (2006). Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different conditions – a review. *European Journal of Soil Science*, 57, 426-445.
- Njøs A (1999). Sikrere og rimeligere hydrotekniske tiltak i jordbruket. Bunnledninger i store fyllinger etter bakkeplanering. *Jord forsk Rapport 22/99*, 14 s.
- Standard Norge 2003. Dyrkingsmedier, jordforbedringsmidler og jorddekkingsmidler. Varedeklarasjon, pakking og merking. Norsk Standard NS 2890, 2. Utgave juni 2003.
- Sterrett, SB (2001) Composts as horticultural substrates for vegetable transplant production. In: Stofella PJ & Kahn BA (Eds.) *Compost utilization in horticultural cropping systems*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 227-240.
- Rothamsted Research (2008). Guide to the Classical and other Long-term Experiments, Datasets and Sample Archive, Rothamsted Research, Harpenden, Herts, UK.
- Statens vegvesen (2014). Håndbok R761 Prosesskode 1 Standard beskrivelsestekster for vegkontrakter Hovedprosess 1 – 7. http://www.vegvesen.no/_attachment/61418/binary/964092?fast_title=H%C3%A5ndbok+R761+Prosesskode+1+Standard+beskrivelsestekster+for+vegkontrakter.pdf
- Sveistrup TE (1992) Morphological and physical properties of virgin and cultivated silty and sandy soils from Finnmark, Northern Norway. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, 6, 45-58.
- Sveistrup TE, Haraldsen TK, Langohr R, Marcelino, V & Kværner J (2005) Impact of land use and seasonal freezing on morphological and physical properties of silty Norwegian soil. *Soil & Tillage Research*, 81, 39-56.
- Sæbø A, Asdal Å, Fløistad IS, Hanslin HM, Haraldsen TK, Netland J, Sjursen H & Pedersen PA (2005). Sluttrapport for ORIO-prosjektet "Slam og kompost til grøntanlegg". *Planteforsk*.
- Øgaard AF & Bøen A (2012). Effekt av avløpsslam på risiko for fosfortap. *Bioforsk Rapport* 7, 104.
- Aasen I (1998). Mangelsjukdomar og andre ernæringsforstyrrelser hos kulturplanter. Landbruksforlaget, Oslo, 95 s. + 16 s. bilder.