

Miljøprojekt Nr. 521 2000

Genanvendelse af slam til fremstilling af organisk rig overfladejord

Peter Andreasen, Peer Bo Mortensen, Henning
Pedersen,
Anneke Stubsgaard
DHI - Institut for Vand og Miljø

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	7
Summary and conclusions	11
1 INDLEDNING	15
2 FORMÅL	17
3 LITTERATURGENNEMGANG AF SLAMS ANVENDELIGHED TIL LANDSKABSFORMÅL	19
3.1 BETINGELSER FOR EN STABIL PLANTEVÆKST.....	19
3.2 EGENSKABER VED TOPJORD	19
3.3 PROBLEMER MED ANVENDELSE AF SPILDEVANDSSLAM.....	20
3.4 METALLER	20
3.5 JORDENS FYSISK/KEMISKE EGENSKABER	20
3.6 JORDENS BIOLOGISKE EGENSKABER	21
3.7 UDVASKNING OG AFSTRØMNING AF KVÆLSTOF OG FOSFOR	21
4 FREMSTILLING AF SORTJORD	25
4.1 ANVENDTE TYPER SLAM.....	25
4.2 ANVENDT MINERALSK MATERIALE	25
4.3 METODE.....	26
4.4 SORTJORDSPRODUKTER.....	28
4.4.1 Karakteristik af sortjordsblandinger.....	28
4.4.2 Stofsammensætning	29
5 LAGRING OG MODNING	31
5.1 METODE.....	31
5.2 SORTJORDSKARAKTERISTIK.....	32
5.2.1 Nibe stakken.....	32
5.2.2 Marselisborg stakken	32
5.2.3 Aars stakken.....	33
5.3 pH, TØRSTOF OG ORGANISK MATERIALE I STAKKENE.....	34
5.4 NÆRINGSSALTE	36
5.4.1 Kvælstofomsætning	36
5.4.2 Nitrifikation i sortjord.....	38
5.4.3 Fosfor- og kaliumindhold.....	39
5.5 KARAKTERISTIK AF 1 ÅR GAMMELT SORTJORD.....	40
5.6 UNDERSØGELSER AF VAND FRA LAGERSTAKKE	41
6 METODER TIL BESTEMMELSE AF MODENHED	45
6.1 ILTPROFILER I SORTJORD	45
6.2 POTENTIETLT ILTFORBRUG AF SORTJORD UNDER LAGRING	47
7 SORTJORDEN SOM VÆKSTMEDIE	53
7.1 SPIRINGSFORSØG	53
7.2 VÆKST AF GRÆS PÅ ET ÅR GAMMEL SORTJORD FRA AARS RENSEANLÆG.....	54
7.3 VÆKSTFORSØG PÅ FORSØGSPARCELLER.....	55
8 MILJØBESKYTTELSE	57
8.1 LUGT OG ÆSTETISKE FORHOLD	57
8.2 HYGIEJNE	57
8.3 MILJØFREMMEDTE STOFFER, METALLER OG NÆRINGSSALTE.....	58

8.4 SORTJORD SOM ALTERNATIV TIL ANDEN AFSKAFFELSE AF SLAM	60
8.5 AFGIFTER OG ØKONOMI	60
9 DISKUSSION OG KONKLUSION	61
10 REFERENCER	65
Bilag 1	67

Forord

Denne rapport er udarbejdet med støtte fra Rådet Vedrørende Genanvendelse og Mindre Forurenende Teknologi med henblik på at undersøge mulighederne for at genanvende slam til fremstilling af organisk rig overfladejord. Denne anvendelse kunne være et supplement til den nuværende genanvendelse som gødning på landbrugsjord.

Landområder kan udsættes for forskellige hændelser, fx fjernelse af overjord, der hindrer etablering af et stabilt plantedække. Ved reetablering af disse landområder påføres jord (topjord), hvori et plantesamfund kan etableres. Mængderne af topjord, som er til rådighed til reetableringsopgaver og andre anlægsopgaver, er begrænsede. Derfor er der interesse for et plantevækstmedium, som kan erstatte naturlig topjord.

Rapporten er udarbejdet af VKI, som har fået stor hjælp fra Aars Kommune og Aars Renseanlæg, som har lagt mandskab, tid og ressourcer i projektet. VKI vil i den forbindelse gerne takke specielt driftsleder Poul Vejen og afdelingsingeniør Bent Skærlund.

Projektet har haft en styregruppe bestående af:

Svend Erik Jepsen	Miljøstyrelsen
Bo Skovmark	Nordjyllands Amt
Bent Skærlund	Aars Kommune
Poul Vejen	Aars Kommune
Peter Andreasen	VKI

VKI vil gerne takke styregruppens øvrige medlemmer for gode diskussioner og forslag.

Sammenfatning

Anvendelse af slam til produktion af organisk rig overfladejord

Formålet med projektet er at undersøge, om det er muligt at fremstille et vækstmedie ud fra spildevandsslam og mineralsk jord. Et sådant vækstmedie kan anvendes på lokaliteter med dårlige betingelser for plantevækst, herunder fjernet topjord. I Danmark kunne disse lokaliteter fx være vejskåninger, lossepladser, råstofgrave, erosionspåvirkede lokaliteter, til kystsikring og skovrejsning.

Slam har været brugt til produktion af vækstmedie i London, hvor produktet baseret på slam og mineralsk jord, kaldet sortjord, er benyttet til produktion af topjord. Desuden er slam blevet anvendt til udlægning i mineområder, hvor planter ikke har kunnet gro. På disse lokaliteter er der ligeledes opnået gode resultater med etablering af permanent plantevækst. Slammets indhold af organisk stof, som gerne må udgøre op til 5% med effekt på vandbinding, ionbyttekapacitet, samt næringssalte, har bevirket de forbedrede vækstforhold for planter.

Sortjordsproduktion

Der er til projektet blevet produceret et simpelt sortjordsprodukt på basis af sand og de mest udbredte slamtyper: Aerobt stabiliseret aktiv slam, anaerobt stabiliseret primær slam og aktiv slam, samt kalkbehandlet primær slam og aktiv slam. Anvendelse af en anden og mere sammensat mineralsk jord vil kunne give et bedre produkt. Der er til opblandingen anvendt et kalkslamblandeanlæg, som er tilført omtrent i forholdet 1 sand :1 aerobt stabiliseret aktiv slam (volumen : volumen), 2 sand :1 anaerobt stabiliseret slam, og endelig 2 sand :1 kalkbehandlet slam. Omtrent 4 m³ af disse blandinger er tilført hver sin container, som er monteret med opsamling af eventuelt perkolat og overfladevand. I det konkrete tilfælde var der ingen arbejds- eller lugtmæssige problemer med de to sidste typer, mens den aerobt stabiliserede slam lugtede en del under og efter blandingen, som var mindre behageligt at arbejde med. Der kan ikke generaliseres med henblik på anvendeligheden af slamtyperne. Mængden af organisk stof var høj i tilfældet med aerobt stabiliseret slam, og tørstofindholdet var betydeligt lavere, ca. 50% mod de to andres 75%. Ved at øge tørstofindholdet i en mindre portion sortjord baseret på aerobt stabiliseret slam ændres egenskaberne væsentligt til det bedre, hvorved produktet blev mere porøst og lugtede mindre.

De enkelte blandinger egner sig ikke umiddelbart til plantevækst, men må først modnes inden anvendelsen, hvilket også kendes fra kompost. Modningen bevirker, at produktets iltforbrug falder til et acceptabelt niveau, hvor der vil være tilstrækkeligt ilt til planternes rødder.

Modningsprocessen

Sortjorden modnes først i overfladen på grund af udtørring og ilttilførslen til overfladelaget. Med tiden modnes et stadigt tykkere lag ind i stakken, fordi ilten trænger længere ind, jo mere omsat de ydre lag er.

Den nødvendige tid til modning af et sortjordsprodukt fra top til bund vil afhænge af højden, anvendt slamtype og slammængde i forhold til sand. Modningstiden vil desuden afhænge af graden af mekanisk vending/omstikning, fordi iltforbrugende områder i stakken derved udsættes for ilt. Lagringstiden afhænger også i høj grad af stakkens forhold mellem overflade og volumen. Der må forventes lagringstider fra 3 måneder til år. Hvor-

vidt produktet er klart til beplantning, kan måles via iltprofiler og iltforbruget. En moden sortjord af de typer, der er produceret i dette projekt, minder om en sandet muldjord.

Potentielt iltforbrug

Den nødvendige modningstid er en væsentlig parameter, dels fordi den er af betydning i økonomiske overvejelser, dels fordi sortjorden skal være garanteret egnet til plantevækst, før der sås og plantes i den. Derfor er der i projektet udviklet en metode til vurdering af sortjordens modenhed: I en opslæmning af sortjord og vand måltes sortjordens potentielle iltforbrug (mg ilt forbrugt /g tørstof/time), både som funktion af dybden i sortjordsstakkene og som funktion af tid efter lagringsstart. Såfremt det potentielle iltforbrug er tilstrækkeligt lavt, vil sortjorden være moden og kan beplantes. Vækstforsøg viste, at plantespining og -vækst var god i moden sortjord.

Sortjordens potentielle iltforbrug, samt øvrige resultater fra projektet viste, at blandingen af slam og sand skal produceres i et sådant forhold, at tørstofprocenten bør være over 50%, gerne helt oppe på 75%, således at der skabes porøsitet i sortjorden. Derved fremmes den aerobe modningsproces. Med et sådant blandingsforhold bliver sortjorden hurtigere moden til plantevækst.

Hygiejne

Der kunne ikke påvises hverken salmonella eller fækale streptokokker i de øverste 10 cm af sortjordsstakkene efter 5 måneders lagring. Dog var der 300 fækale streptokokker pr. g tørstof i en sortjordsblanding med under 50% tørstof, og som ikke var modnet færdig.

Organiske, miljøfremmede stoffer

Risikoen for nedsivning af miljøfremmede stoffer kan mindskes ved at anvende slamkvaliteter, som overholder gældende regler for slams anvendelse som gødning på landbrugsjord. Det forventes samtidigt, at den aerobe omsætning af organisk stof i stor udstrækning omsætter organiske miljøfremmede stoffer i slammet.

Metaller

Såfremt ikke forurenede sand, med metalkoncentrationer i baggrundsniveau, blandes med slam, som overholder kriterierne for landbrugsanvendelse, vil sortjorden have metalkoncentrationer, som i langt de fleste tilfælde vil overholde amternes kriterier for ren jord.

Næringsstofmængder i gødning, sortjord og muldjord

Sortjordens indhold af kvælstofforbindelser vil minimum blive halveret under modningen. Dette er sket ved en kombination af fordampning af ammoniak og biologisk kvælstoffjernelse.

Ved anvendelse af sortjord til anlægsarbejde skal der udlægges et op til 30 cm tykt lag. Derfor er den mængde af næringssalte, som udlægges, meget større end den mængde næringssalte, der må spredes ved gødning af landbrugsjord. Den umiddelbart største risiko herved er nedsivning af kvælstof til grundvandet.

Det er dog muligt at forholde sig til denne problemstilling ved at sammenligne sortjordens indhold af organisk stof og kvælstof med indholdet i alternativer til sortjord, hvor der skal spredes et muldjordslignende produkt som grundlag for vedvarende bevoksning.

Indholdet af organisk stof og kvælstof i sortjorden viser sig at være i samme størrelsesorden som i egeskov, i granskov, og på græsarealer. Indholdet er dog højere end på agerland, hvor der ofte pløjes og høstes, med tab af organisk stof og kvælstof til følge.

Risikoen for nitratedsivning ved udlægning af topjord vil derfor ikke være anderledes for sortjord end for en anden udlægning af naturlig, organisk rig topjord.

Desuden bør det i denne sammenhæng nævnes, at Slambekendtgørelsens begrænsninger mht. udbringning af næringssalte er udarbejdet på grundlag af gentagen udbringning af gødning, mens det kun er hensigten at udbringe sortjord før tilplantning. Dette har betydning for bl.a. vurdering af metalbelastning, herunder belastningen fra kunstgødning.

Risikoen for nedsivning kan minimeres ved at udlægge sortjord om sommeren, hvor nettonedbøren er lav. Desuden kan sortjorden allerede ved udlægning tilsås, således at uorganisk kvælstof kan optages af de spirende planter.

Anvendelse som topjord

Sortjord vil med indholdet af organisk stof og næringssalte have en positiv effekt på etablering af en permanent vegetation. På basis af indholdsstoffer og bestemmelse af produktets modenhed kan produktet med god sikkerhed anvendes som et vækstmedie.

Lovgrundlag for anvendelsen af sortjord

Derfor skal der foretages en individuel vurdering i de enkelte tilfælde, hvor dette produkt ønskes anvendt (Miljøbeskyttelsesloven, kap. 4, §19).

Genanvendelse af slam som sortjord vil være betinget af, at økonomien for produktion og udlægning er bedre end for forbrænding af slammet.

Summary and conclusions

Use of sludge for production of organically rich topsoil

The objective of the present project is to examine whether it is possible to produce a growing medium from waste water sludge and mineral soil. Such a growth medium can be used in areas with poor plant growth conditions, including removed topsoil. In Denmark, such areas would include banks, waste dumps, raw material pits, and erosion affected localities.

In London, sludge has been used for the production of growing medium used in landscaping. The product called blacksoil is based on sludge and mineral soil and is used instead of a natural topsoil. Furthermore, sludge has been applied in mining areas, where plants have been unable to grow. In these areas good results have been achieved in establishing a permanent vegetation. The organic substance content of the sludge, which may amount up to 5% has resulted in improved plant growth conditions by increasing water-binding, ion exchange capacity and nutrients.

Blacksoil production

In this project simple blacksoil products have been manufactured from sand and the most used sludge types: aerobically stabilised activated sludge, anaerobically stabilised primary sludge and activated sludge and finally limed primary sludge and activated sludge. The application of another and more compound mineral soil will result in a better product. For the mixing, a lime sludge mixing plant is applied, which is provided with approximately 1 sand : 1 aerobically stabilised activated sludge (volume : volume), 2 sand : 1 anaerobically stabilised sludge, and finally 2 sand : 1 limed sludge. About 4 m³ of these compounds are added to containers, which collect any percolate and surface water. In the specific cases there were no problems for the two former types regarding performance or odour emission, while the aerobically stabilised sludge smelled less during and after the mixing. It is not possible to generalise about the usefulness of the sludge types. The content of organic substance was high in the case of aerobically stabilised sludge, and the dry solids contents were considerably lower, approx. 50%, compared with 75% of that of the other sludge types. The properties were considerably improved by increasing the dry solids contents adding more sand. The new mixture was more porous, and less smelling.

The black soils are not suitable for plant growth immediately, but must mature and become stable before application. This is also the case with compost. The result of the maturing process is a decreasing oxygen consumption to an acceptable level, where sufficient oxygen is available for the plant roots.

The maturing process

The biological maturing process starts at the surface and is driven by oxygen availability due to drying and porosity of the surface layer. Eventually a still thicker layer in the stack is matured because the oxygen penetrates further down.

The time needed to produce a stable blacksoil will depend on sludge type and sludge : sand ratio used. Furthermore, the time will depend on the degree of mechanical turning of the mixture, as oxygen consuming areas will be exposed to oxygen. The time to reach a stable product highly depends also on the relation between surface and volume of the stack. Maturing time

from three months to years must be expected. A stable blacksoil of the types produced in this project has similar qualities as a sandy mould.

Potential oxygen consumption

The necessary maturing time is important, partly because it is important in economic considerations and partly because the blacksoil must be of a sufficiently good quality suitable for vegetation. Thus a method for evaluation of the maturity has been developed in the project. The blacksoil is stable and ready for planting if the potential oxygen consumption is sufficiently low. Growth tests using stable blacksoil showed good sprouting and growth results.

The potential oxygen consumption of the blacksoil as well as the other results of the project showed that the dry solids of the mixture of sludge and sand must be above 50%, preferably up to 75% to ensure sufficient conditions for the aerobic maturing process.

Hygiene

Neither Salmonella nor Faecal streptococci could be detected in the upper 10 cm of the blacksoil stacks, having high dry solids content, after 5 months of storing. However, 300 faecal streptococci per gram solids were detected in a blacksoil with solids below 50%, and which was not a stable product.

Organic micropollutants to the environment

The risk of percolation of organic micropollutants, e.g. LAS, can be reduced by using sludge qualities, which comply with the current regulation for sludge used as manure on farm land. It is expected that the aerobic decomposition of organic substance, to a large extent, decomposes organic micropollutants in the sludge.

Metals

If sand, basically not-polluted with metals, is mixed with sludge, complying with the criteria for agricultural use, the blacksoil will have metal concentrations, which in most cases will comply with Danish criteria for clean soil.

Nitrogen amounts in manure, blacksoil and mould

The content of nitrogen compounds in the blacksoil will be halved during the maturing process. This is caused by a combination of evaporation of ammonium and biological nitrogen removal.

In case of using blacksoil for landscaping a layer of up to 30 cm should be applied. The amount of nutrients per hectare is then much larger than the amount, which is allowed as fertiliser on farm land. Apparently, a larger risk, by applying blacksoil, is percolation of nitrogen to the ground water.

However, it is possible to evaluate the risk by comparing the content of organic substance and nitrogen in the blacksoil with the content in natural occurring alternatives to blacksoil.

The content of organic substance and nitrogen in blacksoil proved to be of the same size as in soil of oak forests, pine forests and in grass areas. However, the content is higher than in plough land

The risk of nitrate percolation by applying topsoil is similar for blacksoil and other natural occurring topsoil with high organic content.

The limitations of use of fertiliser have been made to reduce percolation of nutrients from repeated use. It is only the intention to use the blacksoil in an area once before planting. This is of importance for e.g. the estimation of the metal impact, including comparison with the impact from repeated use of artificial fertiliser.

The risk of percolation can be minimised by applying blacksoil in the summer, where the ground water production is low. Besides, the blacksoil can be sown in immediately after distribution, absorbing inorganic nitrogen by the sprouting plants.

Applicable as topsoil

Blacksoil will have an positive effect on creating a sustained vegetation due to its content of organic substance and nutrients. The product can be safe for growing medium purposes by controlling constituent and stability.

Legal basis for use of blacksoil

There are no specific rules in the Environmental Protection Act for government of blacksoil application. Therefore an individual judgement must be made in each case of use of blacksoil.

It is a condition in reusing of sludge as blacksoil, that it is less expensive to produce and use than to incinerate the sludge.

1 Indledning

Sortjords oprindelse

I London har det i mange år været praksis, at en del af slammet fra rensningsanlæg blev tørret og anvendt som jordforbedringsmiddel eller vækstmedie. I 1986 blev der dannet et firma, "Thames-gro Land Management Limited (TLM)" med det formål:

- at producere et vækstmedie baseret på tørret slam og mineralsk jord. Vækstmediet fik navnet Blacksoil.
- at sikre en kvalitet af vækstmediet, der levede op til nye krav til hygiejne, miljøhensyn og egnethed for plantevækst.
- at stimulere til anvendelse af vækstmediet ved anlægsarbejde

I 1989 og under et byggeboom i London solgte TLM 100.000 m³ Blacksoil, svarende til slam fra 6-700.000 PE (Panter og Hawkins, 91). Landskabsplanlæggerne havde opdaget, at dette vækstmedies kvalitet og produktstabilitet var meget højere end den vekslende kvalitet af muldjord, der ellers kunne købes. Efter nedgangen i byggeriet er anvendelsen aftaget.

Danske traditioner

I Danmark har der ikke været tradition for at lave sortjord af slam og mineralsk jord. Frem til 1997 har knapt 70% af den samlede slamproduktion været genanvendt som gødning på landbrugsjord. Denne anvendelse har både sikret en høj grad af genanvendelse og været økonomisk fordelagtig.

Men anvendelsen er dalende. Landbruget har været tilbageholdende overfor anvendelsen efter en kraftig mediedebat af slammets kvalitet. Det har medført bekymring for landmændenes sikkerhed for afsætning, samt for slammets indflydelse på landbrugsjorden på lang sigt.

Ny bekendtgørelse

Samtidig har kritikken af slammet affødt revision af bekendtgørelsen, "Bekendtgørelse om anvendelse af affaldsprodukter til jordbrugsformål af 16/9 1996", der skærper en lang række krav og stiller nye.

Disse krav begrænser i sig selv genanvendelsen af slam på landbrugsjord.

Alternativer til landbrugsanvendelse

Eksisterende alternativer til landbrugsanvendelsen er:

- Kompostering, hvorved slammets stabilitet og produktionskvalitet forbedres, således at genanvendelsen bliver enklere med større antal aftagere, også udenfor landbruget
- Deponering, som er den dyreste og en mindre hensigtsmæssig model
- Forbrænding, som af mange anses for en endelig løsning, på trods af emissioner, slagge og beliggenhedsproblemer
- Som gødning i skove
- Anvendelse som tilsætning til cement/betonproduktion
- Produktion af sandblæsningsmiddel

Krav til sortjord

I forbindelse med produktion og brug af sortjorden kan der opstilles en række krav, som skal opfyldes, for at produktet kan betegnes som et vækstmedie. Aftagere vil desuden kræve visse garantier for et ensartet produkt. Det er desuden væsentligt, at de miljømæssige forhold er i orden som fx beskyttelse af grundvand og overfladevand. I Tabel 1.1 er angivet de væsentligste forhold, som skal sikres af hensyn til producent, bruger og miljø.

Tabel 1.1*Krav til sortjord fra henholdsvis producent, bruger og miljømyndigheder.*

Producent	Bruger	Miljømyndighed
<ul style="list-style-type: none"> • Skal være vækstmedie (planten skal gro bedre i det end i en reference (mineralsk jord)) • Mere end 2% organisk stof • Afbalanceret indhold af næringsstoffer • Modenhed skal dokumenteres • Håndteringen skal være nem • Stabilt afsætningsmarked • Skal opfylde arbejdsmiljøkrav 	<ul style="list-style-type: none"> • Praktisk anvendeligt • Kan erstatte anden organisk rig overfladejord • Godt vækstmedie • God gødningsværdi • Æstetisk produkt, der ligner jord • Økonomisk fordelagtigt • Miljømæssigt forsvarligt 	<ul style="list-style-type: none"> • Skal opfylde eksisterende krav i miljølovgivning, herunder krav til produktion og lagring • Lugtproblemer skal minimeres • Jord og grundvand skal beskyttes • Overfladevand må ikke belastes • Renere teknologi vurdering

Rapportens indhold

I rapporten beskrives produktets egenskaber ud fra både litteratur og de gennemførte undersøgelser af produktion og egnethed for plantevækst. Der fokuseres på produktets egenskaber som vækstmedie både i henhold til aktuelle observationer og forsøg med frøspiring og planters vækst på produktet, men også i henhold til produktets modenhed og indhold af organisk stof og næringsstoffer. Det vurderes ligeledes, hvorvidt produktet vil udgøre et miljømæssigt problem under fremstillingsprocessen og under anvendelse som vækstmedie.

2 Formål

Hovedformålet med projektet er at undersøge mulighederne for at producere et vækstmedie, som kan udlægges som topjord på arealer med ringe beskaffenhed for plantevækst - bonitet. Vækstmediet benævnes sortjord.

Sortjorden undersøges med henblik på anvendelse som dækjord/topjord på fx lossepladser, grusgrave, vejskråninger, kystsikring, støjvolde, parkanlæg og anden vegetationsetablering i forbindelse med byggeri, skovrejsning og dækjord i andre områder, der ikke er i landbrugsmæssig drift.

Projektets målsætning er endvidere at beskrive fordele og ulemper, der er forbundet med fremstilling og anvendelse af sortjord.

3 Litteraturgennemgang af slams anvendelighed til landskabsformål

3.1 Betingelser for en stabil plantevækst

Plantekrav

Planter kræver et vækstmedie med kvælstof, fosfor, kalium og en række mikronæringsstoffer. Endvidere kræves vand, plads, sollys og luft.

Mangel på vækstmedier

Landområder kan udsættes for forskellige hændelser, fx fjernelse af overjord, der hindrer etablering af et stabilt plantedække. Ved reetablering af disse landområder påføres jord (topjord), hvori et plantesamfund kan etableres. Mængderne af topjord, som er til rådighed til reetableringsopgaver og andre anlægsopgaver, er begrænsede. Derfor er der interesse for et plantevækstmedium, som kan erstatte naturlig topjord.

Naturlig reetablering er langvarig

Hvis fx grusgrave ikke tilføres topjord til reetablering, vil der langsomt skabes et naturligt vækslag, hvor planter kan gro. Undersøgelser har vist, at den naturlige reetablering af sådanne området tager meget lang tid (mere end 30 år – formodentligt meget længere). Tilførsel af spildevandsslam har vist, at dette kan udgøre en basis for en hurtigere dannelse af et permanent plantedække ved reetablering af grusgrave, områder for anden råstofudvinding og lossepladser (Sopper, 1993; Ingelmo et al., 1998, Bresters et al. 1998).

Højere udbytte i områder tilført spildevandsslam

Tidligere arbejder med anvendelse af store slammængder i forbindelse med reetablering af landområder har hovedsageligt fokuseret på plantevækst og udbytte. Resultaterne viser entydigt, at tilførslen af store slammængder øger plantevæksten voldsomt, og at denne effekt er langvarig (Sopper, 1993).

3.2 Egenskaber ved topjord

Organisk stof giver høj jordkvalitet

Topjord af høj kvalitet har et humusindhold på op til 5%. Hvis udgangsmaterialet (fx sand) ikke indeholder humus, skal der tilføres meget store mængder organisk materiale for at opnå en humuslignende fraktion, der udgør 5%. I forbindelse med reetableringen af mineområder ved udspreddning af slam er der anvendt helt op til 1000 tons ts/ha (normalt 100-200 tons ts/ha) (Sopper, 1993, Ingelmo et al., 1998). Det er vist, at udspreddning af 10 tons ts/ha hvert andet år ikke medfører en målbar øgning af humusindholdet i landbrugsjord.

Produktion af organisk rig topjord

Ved anvendelse af topjord fra sand/ler og spildevandsslam vil omsætningen af organisk stof på grund af mindre håndtering muligvis være mindre end i landbrugsjord. Således bliver det muligt at opnå et stabilt indhold af organisk materiale i topjorden på baggrund af en mindre dosering, end hvis tilsvarende mængder blev tilført jord i landbrugsmæssig drift. Det er dog usandsynligt, at et stabilt indhold af organisk materiale i et topjordslag, der er baseret på slam og sand, kan opnås på baggrund af en tilførsel på 10 tons ts/ha, som i dag er grænsen for tilførsel af organisk materiale til landbrugsjord.

3.3 Problemer med anvendelse af spildevandsslam

Anvendelse af store mængder spildevandsslam (fx det der svarer til 100 tons ts/ha) kan være problematisk. For at sikre en forsvarlig anvendelse af spildevandsslam er der specielt to forhold, der skal vurderes. Sortjord skal kunne anvendes således at:

- Udvaskningen af kvælstof, fosfor og organiske forbindelser ikke påvirker grundvandet i en sådan grad, at dette ikke kan overholde kvalitetskrav for drikkevand. For eksempel skal nitratkoncentrationen være lavere end 50 mg nitrat/l.
- Sortjorden ikke er til fare for mennesker, flora og fauna i området.

3.4 Metaller

I litteraturen fokuseres meget på indholdet af metaller i forbindelse med tilførsel af større mængder slam til jord.

Undersøgelser har vist, at effekten af tungmetaller i spildevandsslammet normalt ikke har nogen målbar effekt på flora og fauna – selv ved høje doseringer. EPA rapporterede om en sådan effekt i en undersøgelse i 1990 (U.S. Environmental Protection Agency, 1990). Der var her tale om 6 mineområder, der alle havde modtaget store mængder spildevandsslam i forbindelse med reetablering. Følgende blev konkluderet:

- Metaller i jord, planter og opsamlet vand var generelt inden for godkendte standarder og tolerancegrænser.
- Metaller i planter var lavere end grænserne for phytotoxicitet.
- Metalkoncentrationerne i planterne var lavere end de mest konservative tolerancegrænser for foder til dyr.
- Efter reetableringen var opsamlet vand og grundvand af drikkevandskvalitet. Dog var pH værdien for lav. Dette skyldes alene det sure miljø i forbindelse med minedrift.

3.5 Jordens fysisk/kemiske egenskaber

Forbedret vandbindingsevne

Ved tilførsel af slam (eller sortjord) til jord forbedres jordens markkapacitet, som er et mål for jordens evne til at binde vand. Enkelte forsøg har vist, at tilførsel af henholdsvis 0, 28, 55 eller 83 tons slam/ha øgede jordens markkapacitet fra 27,9% til 35,6, 41,9 eller 43,2 % (Topper og Sabey, 1986). Dette kan være væsentligt ved fx etableringen af plantedække i meget sandede områder. Et andet forsøg viste, at markkapaciteten blev fordoblet ved tilførsel af 160 tons slam/ha til grusgrave (Hordick, 1982). Tilsvarende har forsøg vist, at jordens tekstur forbedres ved tilførsel af slam (Joost et al, 1993).

Forbedring af jordens fysiske egenskaber

Der findes en række undersøgelser, der viser forbedringer af de fysiske egenskaber i jorden i forbindelse med anvendelsen af slam til reetablering af mineområder (Sopper, 1993). De viser alle, at:

- Jordens fysiske egenskaber forbedres
- Vandbindingsevnen forbedres
- Infiltreringen øges i kompakte lerjorde
- Aggregat stabiliteten forbedres

Ionbytningskapaciteten, CEC værdien, i sortjord vil være betydeligt højere end i sandet i fx grusgrave. Dette er positivt i forbindelse med tilbageholdelse af næringsstoffer.

3.6 Jordens biologiske egenskaber

Det umiddelbare mål for reetablering af landområder er at skaffe et plantedække og forhindre erosion. På længere sigt vil målet være at skabe et stabilt økosystem i jorden. Grusgrave og sandskråninger i forbindelse med vej anlæg vil have en meget lille mikrobiologisk aktivitet. Mikrobielle processer, som for eksempel humifikation, dannelse af aggregater og N-kredsløb, er essentielle for etableringen af en produktiv topjord på disse områder. Den mikrobielle aktivitet er så vigtigt for gendannelsen af økosystemet, at et mål for den mikrobielle aktivitet kan bruges som en indikator for skabelse af en god topjord.

Ved tilførsel af kunstgødning og kalk kan der relativt hurtigt dannes et plantedække i fx en grusgrav. Ved omsætning af dette plantemateriale vil der med tiden dannes et naturligt humusindhold i jorden. Det vil dog normalt tage mere end 30 år at opnå et fornuftigt indhold af humus og en stabil høj mikrobiologisk aktivitet (Segal og Mancinelli, 1987; Stroo og Jencks, 1982; Mills, 1985; Anderson, 1977; Schafer et al. 1980). I den mellemliggende periode vil plantedækket være mere udsat for udtørring og stress som følge af mangel på næringsstoffer. Tilførsel af slam vil øge indholdet af humus og den mikrobiologiske aktivitet kraftigt.

3.7 Udvaskning og afstrømning af kvælstof og fosfor

Mange undersøgelser vedrørende reetablering af landområder ved anvendelse af spildevandsslam, har kun i begrænset omfang fokuseret på udvaskningen og afstrømning af næringsstoffer fra de behandlede områder. Det vil derfor være nødvendigt at fokusere på udvaskningen af næringsstoffer til en eventuel underliggende drikkevandsressource.

Nitratnedsivning og grundvand

Det er forventeligt, at der umiddelbart efter tilførsel af større mængder spildevandsslam vil forekomme en nedsivning af nitrat fra området. Nitratkoncentrationer i opsamlet vand og grundvand fra ca. 40 områder, der er blevet reetableret med spildevandsslam, er vist i Tabel 3.1.

Tabel 3.1

Resultat af sammenlignende undersøgelse af nitratindholdet i opsamlet vand og grundvand fra ca. 40 områder, hvor spildevandsslam er anvendt i forbindelse med reetablering efter minedrift (Carrello, 1990).

Kvartal	NO ₃ ⁻ -N i opsamlet vand		NO ₃ ⁻ -N i grundvand	
	Antal prøver	Konc. mg/l	Antal prøver	Konc. mg/l
0	40	0,15-48	40	0,1-9
1	45	0,5-101	42	0,1-12
2	44	0,14-63	42	0,1-5,2
3	43	0,01-92	41	0,1-13
4	41	0,28-52	38	0,1-10
5	18	0,25-41	23	0,1-4
6	8	0,18-1,2	12	0,1-4

Undersøgelsen viser således et nitratindhold i opsamlet vand på op til 100 mg/l og op til 13 mg nitrat/l i grundvandet. Bemærk, at der her er tale om slam, ikke om stabiliseret sortjord.

Der er gennemført andre undersøgelser af nitratafstrømningen fra gamle mineområder udlagt med slam (Sopper, 1993). Det blev vist, at nitrat-N koncentrationerne her kan forventes at forblive under 10 mg/l. Undersøgelserne viste, at nitratkoncentration i grundvandet i forbindelse med udlægning af store mængder spildevandsslam lå i området 0-2 mg-N /l. I undersøgelserne var grundvandet blevet monitoreret i op til 5 år efter udbringning af slam. Det skal bemærkes, at redox-reaktioner er specielle i mineområder og kan reducere nitratindholdet.

Nitratudvaskning fra rodzonen

Undersøgelser af udvaskningen af kvælstof fra rodzonen viser ligeledes, at nitrat-N koncentration normalt forbliver mindre end 10 mg-N/l. Nogle undersøgelser viser forhøjede initial koncentrationer af nitrat, efterfulgt af en periode med faldende koncentrationer (S.E. Olesen og H.S. Mørk, 1989). Ofte observeres forhøjede koncentrationer i det tidlige forår, hvor planterne endnu ikke er i vækst. Undersøgelsen viser, at den initiale "nitrat-peak" er væk efter kort tid.

Resultaterne af disse undersøgelser vil i betydelig grad være påvirket af en række fysiske forhold (fx temperatur, plantevækst, jordbundsforhold, nedbør, vandindhold etc.). Det er ikke muligt at drage en entydig konklusion på baggrund af de rapporterede resultater.

Lagring af sortjord vil medføre denitrifikation

I forbindelse med lagring/modning af sortjord forventes en delvis omsætning af kulstof og kvælstof. Denitrifikation under modningen vil muligvis kunne minimere udvaskning af nitrat i forbindelse med udlægningen af sortjorden. Det er også muligt, at der under lagring opbygges en stor nitratpulje i lagret materiale, som kan give problemer i forbindelse med udlægningen. Kul-

stof/kvælstofforholdet er dog højt i slam, hvilket giver gode muligheder for denitrifikation af nitrat.

Fosfor bindes sædvanligvis stærkt i jord, hvorfor udvaskning af fosfor forventes at være af mindre betydning.

Erosionsproblemer

I forbindelse med etablering af plantedække på skrån timer kan vind og vand erosion også udgøre et problem. VKI er ikke bekendt med undersøgelser af vind- og vanderosion i forbindelse med udlægning af slam/sortjord.

4 Fremstilling af sortjord

Til dette projekts forsøg med sortjord er der anvendt blandinger af slam og mineralsk materiale.

4.1 Anvendte typer slam

Tre typer slam, der repræsenterer de mest udbredte slamtyper i Danmark, blev valgt ud til forsøgene:

- Aerobt stabiliseret aktiv slam (Nibe Renseanlæg)
- Anaerobt stabiliseret råslam og aktiv slam (Marselisborg Renseanlæg)
- Kalkbehandlet råslam og aktiv slam (Aars Renseanlæg)

Herefter benævnes det aerobt stabiliserede slam og den sortjord, der laves af det aerobt stabiliserede slam, for hhv. Nibe slam og Nibe sortjord. Det samme gælder for de to andre typer slam. Råslammet er udtaget fra forklarings-tanke.

4.2

4.2 Anvendt mineralsk materiale

Som mineralsk materiale blev sand med veldefineret kornstørrelser valgt. Der er dog intet til hinder for, at der i høj grad anvendes lokalt forekom-mende mineralsk materiale i en sortjordsproduktion.

Kornstørrelsesfordeling af sandet

I Tabel 4.1 er vist kornstørrelsesfordelingen af de to typer sand, som blev brugt til opblanding med slam fra de tre renseanlæg. Det ses af tabellen, at det fine sand har en kornstørrelse mellem 0,125-0,5 mm, mens det grove sand generelt har en større diameter.

Tabel 4.1

Kornstørrelsesfordelingen af de to typer sand, som blev brugt til opblanding af de forskellige slamtyper.

Kornstørrelse mm	Filler (fint) %	Sand 0/4, klasse P (groft) %
4-8	0,2	3
2-4	0,4	4
1-2	0,6	10
0,5-1,0	3	24
0,25-0,5	28	37
0,125-0,25	42	14
0,075-0,125	13	2
< 0,075	12	2

Sand til forsøget blev fremstillet af groft sand og fint sand i forholdet 2:1. Blandingen af de to typer udgør "sandet" i resten af forsøget.

4.3 Metode

Sand og slam blev blandet i en blandemaskine, jf. Figur 4.2. Blandemaskinen er en batch kalkslamblander.

For at tilnærme et indhold af organisk materiale på 2-3% i den lagrede sortjord blev der indledningsvis valgt et blandingsforhold mellem slam og sand, der ville give et indhold af organisk materiale på 4-5%. Blandingsforholdene var baseret på oplysninger om tørstofindholdet fra de involverede renselanlæg.

Stofindhold i 3 slamtyper

I Tabel 4.2 er angivet niveauer for indholdet af en række næringsalte og miljøfremmede stoffer. Data fra Nibe er gennemsnit af 4 prøvetagninger i perioden 23.9.97-18.3.98 omregnet fra kalkstabiliseret slam, idet der normalt tilsættes kalk til Nibe slammet, inden dette deponeres.

Tabel 4.2

Generelle niveauer for næringsstoffer og organisk miljøfremmede stoffer i slam fra de 3 renselanlæg benyttet i sortjordsprojektet.

Parameter	Nibe	Marselisborg	Aars
	Gennemsnit 23.9.97-18.3.98	Måling d. 16.10.97	Gennemsnit 1.4.-4.6.98
Tørstof, %	14	21	26
Total-N, g/kg ts	88	38	40
Total-P, g/kg ts	19	37	18
DEHP, mg/kg ts	ikke målt	68	3,7
LAS, mg/kg ts	ikke målt	3700	340
Nonylphenol, mg/kg ts	ikke målt	47	1,3
Sum af 9 PAH, mg/kg ts	ikke målt	5,2	0,4

Det fremgår af tabellen, at kvælstofniveauet er højest i Nibe slammet, mens fosfor indholdet er højest i Marselisborg. Endvidere er der et højere indhold af miljøfremmede stoffer i Marselisborg slammet. Indholdet af miljøfremmede stoffer er dog ikke målt i Nibe slammet.

De 3 typer slam blev blandet med sand i følgende blandingsforhold
slam:sand:

Type 1: Nibe– aerobt stabiliseret slam:sand	1:1
Type 2: Marselisborg - anaerobt stabiliseret slam:sand	1:2
Type 3: Aars – kalkbehandlet slam:sand	1:2

Bemærk det lavere indhold af sand i Nibe sortjorden.

Slam og sand blev påfyldt blandemaskinen med skovle i ovennævnte forhold. Blandingsforholdene kunne derfor kun baseres på volumen, hvorved det teoretisk optimale indhold af organisk materiale kun kunne tilnærmes. På Figur 4.1 - Figur 4.4 er vist blandingsproceduren ved blandingsprocessen.

Figur 4.1

Blanding af sand og slam på Aars Renselanlæg d. 6.4.98



Figur 4.2

Sand og slam tilføres blandemaskinen ved hjælp af transportbånd



Figur 4.3

Skovlhjulene i blandemaskinen under blanding af slam og sand.



Figur 4.4

Slutprodukt af slam og sand efter blanding.



4.4 Sortjordsprodukter

4.4.1 Karakteristik af sortjordsblandinger

Nibe sortjord

Sortjordsblandingen fra Nibe Renseanlæg fremtrådte med en ubehagelig lugt, fordi slammet havde stået for længe og var begyndt at rådne før blandingprocessen. Sortjorden var udflydende pga. et højt vandindhold. Der steg gasbobler op fra materialet pga. anaerob omsætning af det organiske stof. Produktet var uæstetisk, og det er tvivlsomt, om man til dette produkt vil kunne finde egnede steder for lagring. Andre produktionsmetoder, herunder hurtig opblanding efter stabilisering, samt anvendelse af mere sand, må overvejes, såfremt Nibe slam skal benyttes til fremstilling af sortjord.

Marselisborg sortjord

Blandingen af Marselisborg slam og sand var det produkt, som havde den mest jordagtige konsistens. Blandingsproduktet var mørkt grå-sort, fast og kunne stables i en stak med top. Produktets jordagtige konsistens og farve

gør dette til det mest udprægede sortjordsagtige produkt af de tre. Lugtemissionen var svag, og den vurderes ikke at kunne blive et problem for omgivelserne ved en lagringsproces.

Aars sortjord

Efter blandingen af slam fra Aars Renseanlæg med sand blev produktet mørtelagtigt og udflydende. Den udflydende konsistens er tidligere observeret ved for kraftig omrøring/håndtering ved blanding. Blandingen tørrede imidlertid hurtigt ud i overfladen, og der opstod større sprækker (se Figur 4.5). Produktet vurderes ikke at kunne give problemer med lugtemission under lagring.

Figur 4.5

Blandingsprodukt af slam fra Aars Renseanlæg og sand umiddelbart efter sammenblanding.



4.4.2 Stofsammensætning

Efter dannelse af sortjordene blev der udtaget prøver til analyser for organisk stof og næringsstoffer. De målte værdier er angivet i Tabel 4.3.

Tabel 4.3

Stofsammensætning af sortjordsprodukter umiddelbart efter sammenblanding af slam og sand.

Parameter	Nibe	Marselisborg	Aars
Tørstof, %	44	74	75
Organisk stof, % af ts	14,5	4,5	5,0
pH	6,9	7,8	11,9
Total-N, g/kg ts	12,0	3,6	4,2
NH ₄ -N, g/kg ts	1,7	0,68	0,15
NO ₃ -N, g/kg ts	#(0,02)	#(0,01)	#(0,01)
Total-P, g/kg ts	4,3	3,3	2,0
Ortho-P, g/kg ts	0,28	0,14	0,51
Opløst-K, g/kg ts	1,5	0,16	0,38

under detektionsgrænsen

Tørstof, organisk stof og pH

Tørstofindholdet er efter sammenblandingen ens for Marselisborg og Aars sortjord, mens det kun er halvt så stort for sortjorden fra Nibe, hvilket skyldes, at der kun er benyttet et blandingsforhold på 1:1 mellem sand og slam til fremstillingen. Dette forhold giver sig også udtryk i et tre gange så højt indhold af organisk stof, som i de to andre produkter. Blandingsforholdet for Nibe sortjorden har således ikke været optimal. Det blev dog besluttet at fortsætte forsøget med denne blanding, således at effekten blev afprøvet af et lavere tørstof og et højere indhold af organisk stof. pH er omkring neutral for Nibe og Marselisborg, mens det er ca. 12 for sortjorden fra Aars pga. kalkstabilisering af slammet (iblanding af ca. 8% W/W brændt kalk efter afvanding).

Næringsstofindholdet

Kvælstofindholdet er højt i Nibe sortjordsproduktet (12 g/kg ts), mens det er væsentligt lavere i sortjorden fra de to andre blandinger, ca. 4 g/kg ts. Kvælstoffet er primært bundet i det organiske stof, mens en mindre fraktion findes som ammonium. Der var ingen nitrat i blandingsprodukterne. Fosforindholdet er på samme niveau i alle tre produkter, dog højest i Nibe sortjorden og lavest i Aars sortjorden.

Indholdet af kalium er også højest i Nibe sortjorden og næsten 10 gange højere end i Marselisborg sortjorden og 4 gange højere end i sortjorden fra Aars.

5 Lagring og modning

5.1 Metode

Modning i containere

Blandingerne af slam og sand blev fyldt i containere (Figur 5.1 REFFLETFORMAT), der var påmonteret afløbsstudse til opsamling af vand. Containerne blev stillet skråt, hvorved vand kunne opsamles kvantitativt. Containerne blev placeret på slampladser på Aars Renseanlæg. Containerne var således lagerplads for de tre typer sortjord. Blandingernes udvikling af stofindhold - modning - blev monitoreret under lagring i det fri i april-oktober 1998.

De oplagrede mængder sortjord var:

- Nibe sortjord: 4,4 m³
- Marselisborg sortjord: 3,5 m³
- Aars sortjord: 4,3 m³

Figur 5.1

Billede af blandingsprocessen af sortjord på Aars Renseanlæg den 6. april 1998. En af containerne til påfyldning ses til højre.



Dataindsamling

Der blev dagligt indsamlet nedbørsdata fra regnmåleren på Aars Renseanlæg for at kunne relatere nedbør med opsamlet vand fra containere. Der blev jævnlige udtaget prøver til analyser og måling af fysisk/kemiske parametre. Modningens effekt blev vurderet i relation til begyndelsesbetingelserne, dvs. stakke uden modning, samt til et år gammel sortjord, produceret af slam fra Aars Renseanlæg og sand i forholdet 1:3 og 1:4. Der blev udtaget prøver af stakkene umiddelbart efter overførslen til containere. Disse blev udtaget med Kajak-rør til 30 cm dybde.

Der er anvendt akkrediterede laboratorier til at foretage kemiske parametre.

5.2 Sortjordskarakteristik

Med jævne mellemrum blev sortjordsstakkene karakteriseret mht. farve lugt og udvikling af profilerne fra overfladen og ned gennem stakkene. Man kunne således følge udstrækningen af den oxiderede zone fra overfladen og ned til det anoxiske lag. I forbindelse med karakteriseringerne blev der taget billeder af tværsnit og overfladerne af stakkene.

Ændringer i det øverste overfladelag

5.2.1 Nibe stakken

I løbet af de første 4 ugers lagring havde der udviklet sig et hårdt, lysebrunt overfladelag på 2-4 cm's tykkelse. Dette skyldes, at der er sket en udtørring og iltning af det øverste lag. Overfladen havde desuden sprækker på op til 5 cm dybde. Herunder var der et meget vandholdigt/vandmættet og flydende lag (se Figur 5.2).
REFFLETFORMAT

Figur 5.2

Profil af Sortjord fra Nibe Renseanlæg den 6. maj 1998.



Nibe sortjord med højere tørstofindhold

Det formodes, at modningsprocessen ville være yderligere fremskredet i forsøgsperioden, hvis der var blandet så meget sand i slammet fra Nibe, at tørstofprocenten nåede op på det samme niveau som i de 2 andre stakke. For at afprøve dette blev Nibe sortjord blandet med sand til et tørstofindhold svarende til de 2 andre stakkes. Blandingen havde en meget mere fast konsistens, tørrede hurtigere ud i overfladen end det oprindelige og fik en porøs overflade.

Overfladen udtørres og iltes

5.2.2 Marselisborg stakken

Efter de 4 uger havde der udviklet sig et lysere og tørrere gråbrunt overfladelag ned til en dybde på 5-8 cm. Dette skyldes en udtørring og iltning af dette lag. I overfladen var endvidere mange mindre revner på ca. 5 cm's dybde. Ingen bevoksninger på overfladen. Stakken havde ikke ændret form i perioden, hvilket tyder på, at materialet har en god sammensætning, som også vil kunne lægges ud på skrånende terræn.

Begrænset omsætning i dybere lag

Under det lyse overfladelag var der en sortgrå overgangszone, hvorunder der lå et mere væskeholdigt lag. Dette lag havde en kraftig lugt og samme konsi-

stens som det oprindelige blandingsprodukt. Det må derfor antages, at der ikke var sket nogen omsætning og udtørring af betydning i dette lag i perioden, ligesom den sorte farve indikerede, at der var anaerobt under overgangszonen. Efter 5 måneder strakte det lysere overfladelag sig ned til 15-20 cm's dybde. Det øverste lag havde en meget jordagtig konsistens, hvori tomatplanter og invaderende planter havde etableret sig.

Figur 5.3

Profil af Sortjord fra Marselisborg Renseanlæg d. 6. maj 1998.



I de øverste 10 cm sker udtørring og omsætning

5.2.3 Aars stakken

Efter 4 ugers lagring var der etableret et lyst gul-gråt øverste lag af ca. 5 cm's dybde. Dette lag var mere tørt og hårdt end udgangsmaterialet. Den lysere farve tyder på en udtørring og iltning. På overfladen var der tætte belæggninger af hvide/gule svampehyfer. I det øverste lag var der endvidere mindre sprækker. Under det lysere lag kunne ses et mørkere brunligt lag, som havde tekstur, farve og lugt som det oprindelige blandingsprodukt (Figur 5.3). I det nederste lag synes der ikke at være sket nogen udvikling i perioden. Efter 5 måneder havde et sort lag på 1-3 cm's tykkelse bevæget sig nedad og lå nu i ca. 7 cm dybde. Det sorte lag markerer overgangen fra aerob til anaerob omsætning. Stort set var det kun ca. de øverste 10 cm, som havde været udsat for en betydelig tørring og omsætning i lagringsperioden.

Figur 5.4

Profil af Sortjord fra Aars Renseanlæg d. 6. maj 1998.

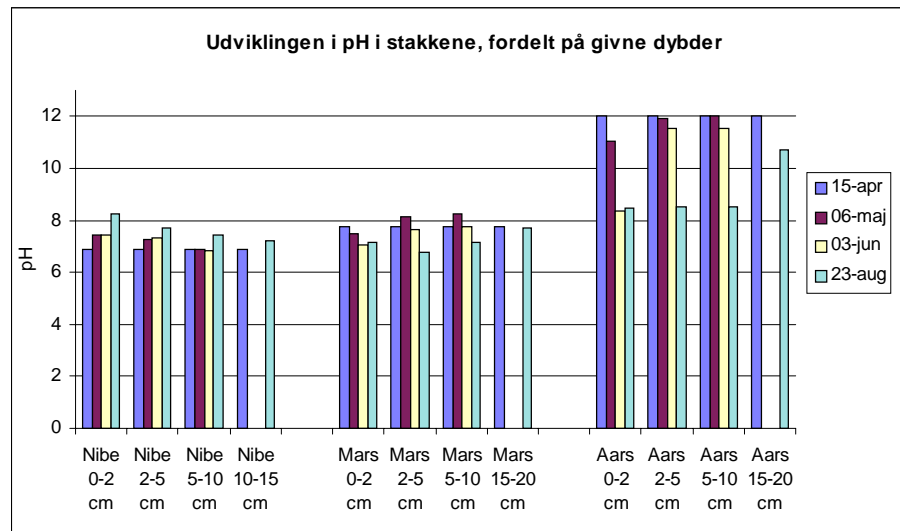


5.3 pH, tørstof og organisk materiale i stakkene

Stakkernes pH og indhold af tørstof og organisk materiale er målt kort efter opsætning af stakkene i april, samt i juni, juli og august. Resultaterne er gengivet i efterfølgende figurer.

Figur 5.5

Udviklingen af pH i stakkene.



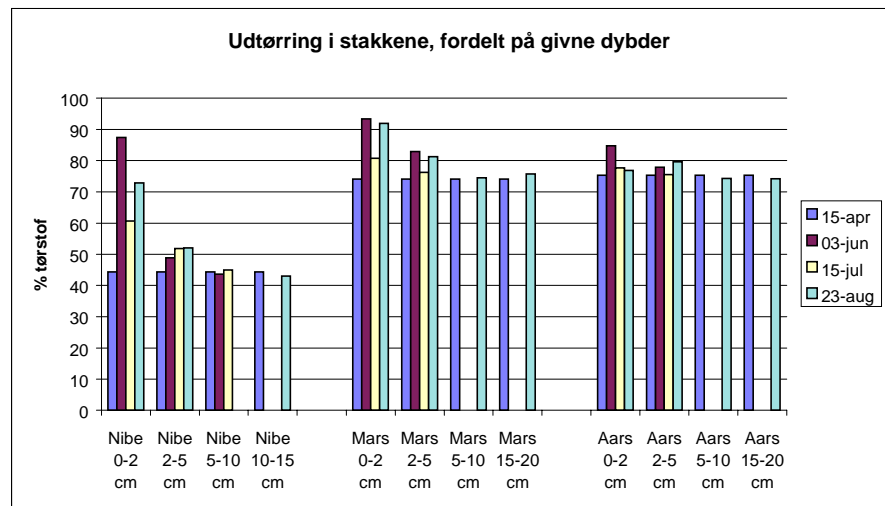
pH ændringer

Det ses af Figur 5.5, at pH er relativt konstant i Nibe og Marselisborg stakkene. I Aars stakken falder pH, først i de øverste lag, og derefter bevæger fronten sig nedefter. Sænkningen af pH i Aars stakken skyldes primært udvikling af syreproducerende svampe.

Udviklingen i stakkenes tørstof indhold illustreres i Figur 5.6

Figur 5.6

Udviklingen i tørstofindholdet i givne dybder af stakkene.

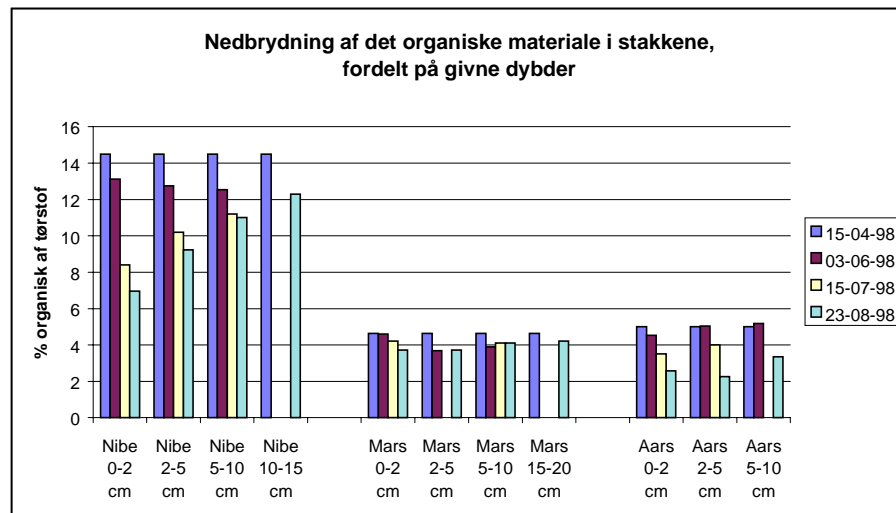


Måleresultatet fra 3. juni afviger fra de øvrige (Figur 5.6), fordi prøverne er udtaget efter en længere periode uden regn. De øvrige prøver viser, at indholdet af tørstof stiger med tiden i Nibe og Marselisborg stakkens øverste lag. Udtørringen skyldes dels vind og sol, dels nedbrydning af organisk materiale, som holder på vandet. I Aars stakken er tørstofindholdet mere konstant, fordi en alger har etableret sig på stakkens overflade. Det ses også, at tørstofindholdet i Nibe stakken har været meget lavt fra starten som beskrevet i kapitel 7.

Nedbrydningen af organisk materiale illustreres i Figur 5.7 REFFLETFORMAT.

Figur 5.7

Udviklingen i indhold af organisk materiale mod dybde.



Det organiske stofindhold falder

I løbet af forsøgsperioden halveres indholdet af organisk materiale i de øverste 2 cm af Aars og Nibe stakkene. Derfor er der en relativt stor andel af letnedbrydelige forbindelser ved forsøgets start. Aars stakken har en mere porøs struktur end Nibe stakken, med deraf følgende mulighed for bedre gasudveksling og højere omsætningsrate. Men Aars stakken skal invaderes af svampe, før det høje pH (ca. pH 12) i stakken kan sænkes og omsætningen øges.

Lav omsætning i Marselisborg stakken

Marselisborg stakken er dannet ud fra udrådnit slam, hvilket indebærer, at de letnedbrydelige forbindelser allerede er delvist omsatte ved forsøgets start. Derfor ses en relativt lav omsætning på trods af, at denne stak er den mest porøse.

I de dybere liggende lag er omsætningen begrænset af iltindhold og derved ilt diffusionen gennem overfladen af stakkene.

5.4 Næringssalte

Ved blanding af slam med mineralsk materiale opstår et medie, som er rigt på næringsstoffer. I landbruget fokuseres primært på N, P og K, idet det er disse næringsstoffer, som tilføres i størst mængde med forskellige gødningsstoffer. I det følgende beskrives indholdet af næringsstoffer i sortjorden og udviklingen af disse igennem lagringsperioden. Endvidere vurderes indholdet af næringsstoffer i forhold til de i landbruget optimale indhold i landbrugsjord og forskellige gødningstyper.

5.4.1 Kvælstofomsætning

Indholdet af Total-N falder i overfladen

Udviklingen af total kvælstof i sortjordsstakkene er vist i Tabel 5.1 REFFLETFORMAT. Det fremgår af tabellen, at der sker en væsentlig

reduktion af kvælstofindholdet i overfladen i alle tre sortjordstyper i lagringsperioden. For sortjorden fra Nibe sker der næsten en halvering af kvælstofindholdet fra 12 til 5-8 gN/kg ts. Et lignende fald ses i sortjorden fra Marselisborg, der med et fald på ca. 50% i overfladen (0-5 cm) reduceres til 1,9 gN/kg ts. Under 20 cm's dybde er der stort set ikke sket en reduktion i Marselisborg stakkene. I sortjorden fra Aars er der i de øverste lag sket et fald fra 4,2 til 2,1 - 2,4 gN/kg ts, hvilket ligeledes svarer til en ca. 50% reduktion af kvælstofindholdet. Temperaturen i stakkene har varieret fra 8°C til 20°C i løbet af forsøgsperioden.

Tabel 5.1

Total-N indholdet i sortjordsstakke i lagringsperioden i forskellige dybder.

Type	Dybde cm	Total N indhold i g/kg ts		
		6-7. april start	3. juni 58 dage efter	27. sept. 174 dage efter
Nibe	0-2	12,0	9,9	5,7
	2-5		10,8	8,0
	> 5		12,9	
	> 10			5,0
Marselisborg	0-2	3,6	3,0	1,9
	2-5		2,9	
	> 5		3,1	
	5-10			1,9
	> 20			3,4
Aars	0-2	4,2	3,6	2,1
	2-5		3,2	
	> 5		4,0	
	6-9			2,4
	15-20			3,7

I Tabel 5.2 er der angivet målte værdier af ammonium og nitrat i overfladen af stakkene. Det generelle billede er, at langt den største del af det uorganiske kvælstof udgøres af ammonium/ammoniak, mens nitrat kun udgør en meget mindre del af den uorganiske fraktion.

Tabel 5.2

Udviklingen i ammonium- og nitratindholdet i sortjordsstakke i forskellige dybder i løbet af lagringsperioden. Målinger angivet i gN/kg ts.

Type	Dybde cm	6-7 april		6. maj		3. juni		27. sept.	
		start		30 dage efter		58 dage efter		174 dage efter	
		NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻
Nibe	0-2	1,7	#0,02	1,1	0,03	0,71	0,05	0,60	#0,01
	2-5			2,2	0,02	2,5	0,03	2,3	#0,01
	> 5			3,2	0,04	3,4	0,04		
	> 10							2,1	#0,01
Marselisborg	0-2	0,68	#0,01	0,54	0,07	0,32	0,01	#0,01	0,07
	2-5			0,58	#0,01	0,63	0,01	#0,01	0,12
	> 5			0,83	#0,01	0,88	#0,01		
	15-20							#0,03	0,05
	> 20							1,1	0,02
Aars	0-2	0,15	#0,01	0,15	0,04	0,38	0,02	#0,04	0,04
	2-5			#0,06	#0,01	0,02	#0,01	#0,04	0,06
	> 5			0,12	#0,01	#0,01	#0,01		
	6-9							0,30	#0,01
	15-20							0,28	#0,01

under detektionsgrænsen

Højt pH hæmmer omsætningen

I Aars sortjorden er ammoniumkoncentrationerne væsentlig lavere end i de to andre sortjorde, både i udgangsmaterialet og i løbet af lagringsperioden. Dette skyldes højt pH. Nitratkoncentrationen var lav i hele perioden dog med de højeste koncentrationer i overfladen.

Ammoniumindholdet reduceres ved lagring

Til sammenligning var der stort set ingen ammonium (0-0,02 gNH₄-N/kg ts) i den sortjord fra Aars Renseanlæg, som havde lagret i et år, mens nitratniveauet varierede mellem 0,03-0,08 gN/kg ts. Dette er på størrelse med, hvad der blev målt i overfladen af sortjorden fra Marselisborg og Aars efter 174 dages lagring.

Hvorvidt fordampning af ammoniak eller biologisk nitrifikation/denitrifikation af kvælstof fra stakkene er hovedårsag til kvælstofreduktionen, kan ikke afgøres ud fra de udførte forsøg. Der sker et kraftigt fald i kvælstofkoncentrationer i lagringsperioden i de øverste 10-15 cm af alle stakkene. Der er et højt indhold af organisk stof, som kan virke som substrat for denitrifikation. Desuden er der et grænselag mellem oxisk og anoxisk miljø. Da der måles nitrat, er denitrifikation meget sandsynlig.

5.4.2 Nitrifikation i sortjord

Nitrificerende bakterier oxiderer ammonium til nitrat under iltrige forhold. Indholdet af nitrat i forskellige dybder og på forskellige tidspunkter i stakkene kan således bruges som indikation for, hvor fremskreden nedbrydningsprocessen er.

Der er udført nitrifikationstest, hvor nitratproduktionen i en suspension af sortjord er fulgt over 24 timer. Disse tests supplerer nitratindholdet med henblik på vurdering af sortjordens evne til at nitrificere. Resultaterne er ikke vist for nitrifikationsraterne. Nitrifikationen forløber ikke i de dybere-liggende lag.

Nibe sortjord, som var langsomst til at modne, når kun at blive svagt nitrificerende i de øverste 5 cm. Dette kan forklares ved iltmangel. Grunden til, at indholdet af nitrat er meget lavt den 27. september, er at skorpen på den bløde stak gled af i forbindelse med flytning af containeren i september. Derfor er dybere lag kommet til overfladen.

Marselisborg sortjorden er, efter 5 måneders modning, mere effektiv til at nitrificere. Dette kan forklares med, at denne sortjord er længere fremme i modningsprocessen. REFFLETFORMAT

Sortjord fra Aars indeholder indledningsvis ikke nitrificerende bakterier fra vandrensprocesserne, idet disse er døde som følge af højt pH på grund af kalkbehandlingen. De nitrificerende bakterier skal således invadere Aars sortjorden fra luften og transporteres ind i sortjorden. Dette kan ske efter, at slammets pH er reduceret, og der er ilt i sortjorden.

Aars sortjord har efter 5 måneders modning en svag nitrifikation. Et år gammelt sortjord har et lavt ammoniumindhold, se efterfølgende Tabel 5.6 REFFLETFORMAT, og et højt nitratindhold, hvilket indikerer, at med længere modningstid vil nitrifikationen blive effektiv.

5.4.3 Fosfor- og kaliumindhold

Det fremgår, at der for alle stakkene er et meget højt Total-P indhold, og at dette stort set ikke ændrer sig i lagringsperioden, se Tabel 5.3.

Fosfor konstant

Der findes stort set den samme mængde fosfor efter de 174 dages lagring i alle 3 stakke. Der er dog en tendens til et fald i de øverste 0-2 cm. Den meget lave værdi i Nibe stakken den 27. september kan være en målefejl. Total-P indholdet er på niveau med, hvad der er findes i husholdningskompost (4 g/kg ts) (Landskontoret for Planteavl, 1995).

Tabel 5.3

Udviklingen i Total-P og opløst-P i forskellige dybder af sortjordsstakkene i løbet af lagringsperioden, g P/kg ts. (1,7) skyldes formodentlig en målefejl.

Type	Dybde cm	14. april		3. juni		27. sept.	
		Start		50 dage efter		174 dage efter	
		Total-P	opl.-P	Total-P	opl.-P	Total-P	opl.-P
Nibe	0-2	4,3	0,28	4,1	0,28	3,9	-
	2-5					4,0	-
	> 5					-	-
	> 10					(1,7)	-
Marselisborg	0-2	3,3	0,14	3,0	0,15	2,7	-
	2-5						-
	5-15					3,0	-
	15-20					3,1	-
	> 20					-	-
Aars	0-2	2,0	0,51	1,8	0,46	2,1	-
	2-5					-	-
	6-9					2,1	-
	15-20					2,1	-

5.5 Karakteristik af 1 år gammelt sortjord

Halvering af organisk stofindhold

Målinger af parametre på 1 år gammelt sortjord fra Aars (blandingsforholdet 1:3 og 1:4 mellem slam og sand) er vist i Tabel 5.4. Den lagrede sortjord havde et indhold af organisk materiale, der lå på ca. halvdelen (2,5 %) af, hvad der blev målt i den nyblandede sortjord.

Tabel 5.4

Indhold af uorganisk stof og næringsalte i modnet sortjord fra Aars Renseanlæg efter 1 års lagring.

Organisk stof, % af ts	pH	Total-N gN/kg ts	Ammonium gN/kg ts	Nitrat gN/kg ts	Total-P gP/kg ts	Opløst K gK/kg ts
1,7-2,6	8,0	1,3-1,6	0-0,02	0,03-0,08	2,1-1,5	0,08-0,1

Næringsstofindhold efter lagring

Sortjorden var efter lagringen svagt basisk med et kvælstof indhold på ca. 1,5 gN/kg ts, mens fosforindholdet var lidt højere. Der var stort set ingen ammonium i sortjorden, mens nitratniveauet varierede mellem 0,03-0,08 gN/kg ts. Dette er på størrelse med, hvad der blev målt i overfladen af sortjorden fra Marselisborg og Aars efter 174 dages lagring.

Sortjorden har god gødningsværdi

Sammenligninger med landbrugsjord og landbrugsgødninger viste, at alle sortjordsblandingerne har en meget høj gødningsværdi specielt med hensyn til fosfor, se Tabel 5.5 for 1 år gammel sortjord. Næringsværdien mht. fosfor må forventes at eksistere i flere år efter udlægning af materialet.

Tabel 5.5

Fosfor og kalium i landbrugsjord og i lagret sortjord udtrykt som P-tal og K-tal. Analyserne er udtryk for jordens indhold af tilgængelige plantenæringsstoffer i pløjelagets dybde. En enhed i analysetal modsvarer 25 kg P pr. ha og 25 kg K pr. ha.

	P-tal	K-tal	Bemærkning
Lave	< 2	< 7	
Middelhøje	2 – 4	7- 10	Hydro Agri (1997) gødning 97/98
Høje	> 4	> 10	
1 år lagret sortjord	29	8,2-10,1	Høje P-tal

Den lagrede sortjord har et meget højt plantetilgængeligt fosfor sammenlignet med retningslinierne for landbrugsjord, og kaliumindholdet ligger på det middelhøje niveau efter 1 års lagring. Hertil kommer, at der vil ske en optagelse de følgende år af det bundne fosfor og kalium. Der er således overskud af disse to næringsstoffer i sortjorden, som vil være tilgængelig for plantevæksten flere år frem. REFFLETFORMAT (Tabel 5.5).

I Tabel 5.6 er angivet den beregnede mineralske kvælstofmængde, som vil være i den påførte sortjord ved henholdsvis udlægning af et overfladelag på 50 cm og et lag på 20 cm, sammenlignet med, hvad der er tilført og efterfølgende fundet for forskellige landbrugsjorde efter forskellige afgrøder. Det fremgår, at der efter høst af forskellige afgrøder er et lavt indhold i jorden, mens en optimal N forsyning med henblik på afgrødevækst vil være op til 250 kgN/ha ifølge Landbrugets Informationskontor. Sortjorden lagret i 1 år ligger på dette niveau, hvis der udlægges et lag på 20 cm. Dette produkt synes derfor velegnet til udlæg som overjord set ud fra et kvælstoftilgængeligt indhold.

Tabel 5.6

Beregnet indhold af plantetilgængeligt kvælstof (N-min for mineralsk kvælstof) i et sort jordslag på 50 og 20 cm's dybde og litteraturværdier for tilført kvælstof og efter høst.

Sortjordstype	Dybde 0-50 cm	Dybde 0-20 cm	Bemærkning
	N-min kgN/ha	N-min kgN/ha	
Sortjord lagret 1 år	343-567	137-227	Blandingsprøve efter 1 års lagring
N indhold i mark i nov.	13-86 (0-60cm)		Efter vårbyg og vinterbyg #
Optimal N-forsyning #,*	130-245	130-245	N tilførsel til pløjelaget
N-min efter vintersæd #	9-18	6-9 (0-25cm)	Korn, ærter, rasp
N-min efter græs #	11-21	6-12 (0-25cm)	
N-min efter ubevokset #	11-24	6-12 (0-25cm)	

Landbrugets Informationskontor (1995), *Hydro Agri (1997)

5.6 Undersøgelser af vand fra lagerstakke

Opsamling af vand fra Nibe stakken

I perioden fra 9/4 til 10/6 faldt der ca. 70 mm regn, svarende til ca. 400 liter vand over hver stak. Fra Marselisborg-stakken blev der opsamlet 3 liter, og fra Aars-stakken blev der opsamlet 56 liter. Herunder gengives de målte vandmængder fra hver stak, samt vandets indhold af næringssalte. Fra Nibe-

stakken blev der ikke opsamlet vand. Stakken er impermeabel, og sortjorden fyldte containeren. Der er således heller ikke målt perkolat.

Tabel 5.7

Mængder og sammensætning af opsamlet vand fra containere.

	Opsamlet vand	Total N	Nitrat	Ammonium	Kalium	Total-P	pH
	l	mg N/l	mg N/l	mg N/l	mg/l	mg P/l	-
Aars container: Middelværdi (n=6)	5,5	1240	0,1	40	230	23	7,4
Spredning (n=6)	3,1	240	0,1	150	30	4	0,5
Mængder, g/l	561	70	0	22	13	1	-
Marselisborg container: Middelværdi (n=5)	0,7	400	0,0	220	70	8	7,5
Spredning (n=5)	0,2	70	0,0	40	0,2	0,0	0,4
Mængder, g	2,81	1,1	0,0	0,6	0,0	0,0	-

Opsamlet vand fra Marselisborg stakken

Fra sortjorden fra Marselisborg er der i det opsamlede vand ringe mængder næringsalte. Der er opsamlet 3 liter vand, hvilket kun er ca. 1% af de ca. 400 liter nedbør over stakken og containeren. I samme periode falder vandindholdet i stakkens øverste lag til næsten det halve af udgangsniveauet. Fordampning, som øges med vindhastighed og solvarme, minimerer dannelsen af vand, som kan opsamles. Sortjorden binder desuden nedbøren.

Opsamlet vand fra Aars stakken

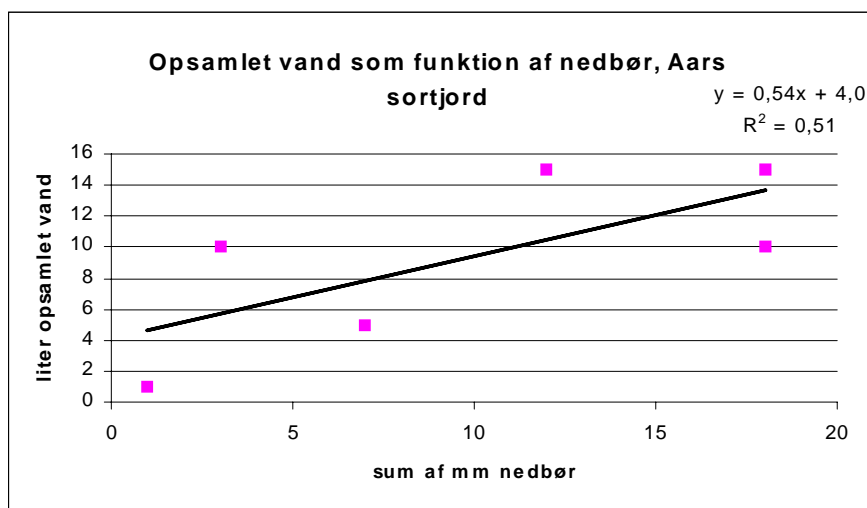
Der er i perioden opsamlet 56 liter væske indeholdende 70 gram kvælstof og 1 gram fosfor fra Aars-stakken.

Vandet fra Aars-stakken er ikke egentlig perkolat, men derimod overvejende overfladeafstrømning fra stakken. Dette er konkluderet på basis af pH målinger, som viser værdier omkring 7-8. Perkolat fra slam med pH 12 ville hæve pH væsentligt.

Under modning er der meget begrænset eller ingen perkolatdannelse. Mængderne af næringsalte er dog relativt lave, idet mængden fx af kvælstof fra Aars containeren kun udgør en tredjedel af mængden, som udspreddes på landbrugsjord ved normal gødningsdosering på 200 kg kvælstof pr. ha. Mængden af vand i containerne afhænger til en vis grad af nedbørsmængde for Aars sortjord, mens det ikke er tilfældet for Marselisborg sortjord, se Figur 5.8 og Figur 5.9.

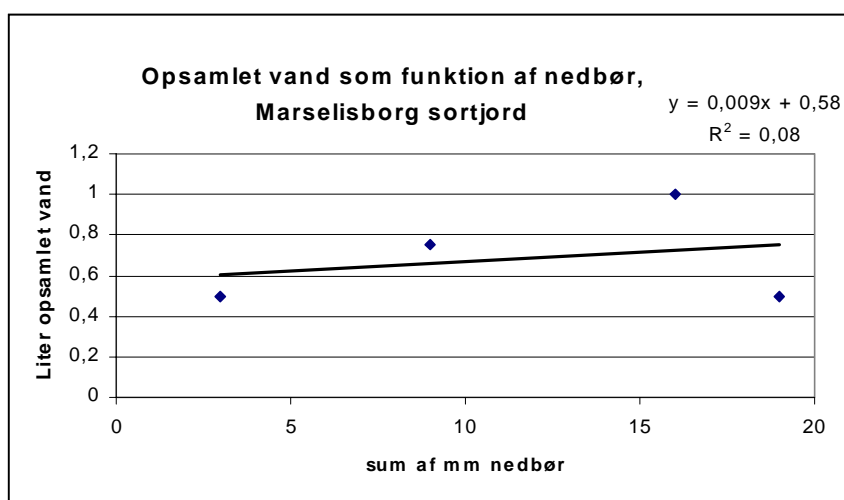
Figur 5.8

Opsamlet vand fra Aars sortjords container som funktion af nedbør. Nedbør er en sum af nedbør i den periode, der er opsamlet vand til analyse.



Figur 5.9

Opsamlet vand fra Marselisborg sortjords container som funktion af nedbør. Nedbør er en sum af nedbør i den periode, der er opsamlet vand til analyse.



6 Metoder til bestemmelse af modenhed

Indledning

Analyseresultater og visuelle observationer om lagring og modning vidner om en udvikling af lagene fra overfladen og ned til den anoxiske zone. Men resultaterne kan ikke direkte bruges til en fastsættelse af, hvor i modningsprocessen et givent lag i en given stak befinder sig. Derimod vil jordens iltindhold og iltforbrug fortælle om jorden er moden, altså egnet til plantevækst. Iltindholdet vil her afhænge af jordens vandindhold, herunder om porer er vandfyldte.

Der er udført målinger af iltindholdet i profil ned gennem stakkene, samt laboratorieforsøg til bestemmelse af iltforbruget. Resultaterne af disse observationer og vurderinger af de forskellige metoders anvendelighed er beskrevet i dette afsnit.

6.1 **Iltprofiler i sortjord**

Elektroder til måling af iltkoncentration

Da der forventedes en aerob omsætning af slammets organiske stof, blev sortjordens vertikale iltprofil målt. Iltprofilerne blev målt ved hjælp af mikroiltelektroder af typen Unisense. Disse elektroder kan lokalt måle iltkoncentrationen inden for få tiendedele mm. Elektroderne stikkes ned i slammet, hvorefter iltindholdet og dybde registreres. Eksempler på profiler ses i nedenstående Figur 6.4.

Iltindholdet falder med dybden

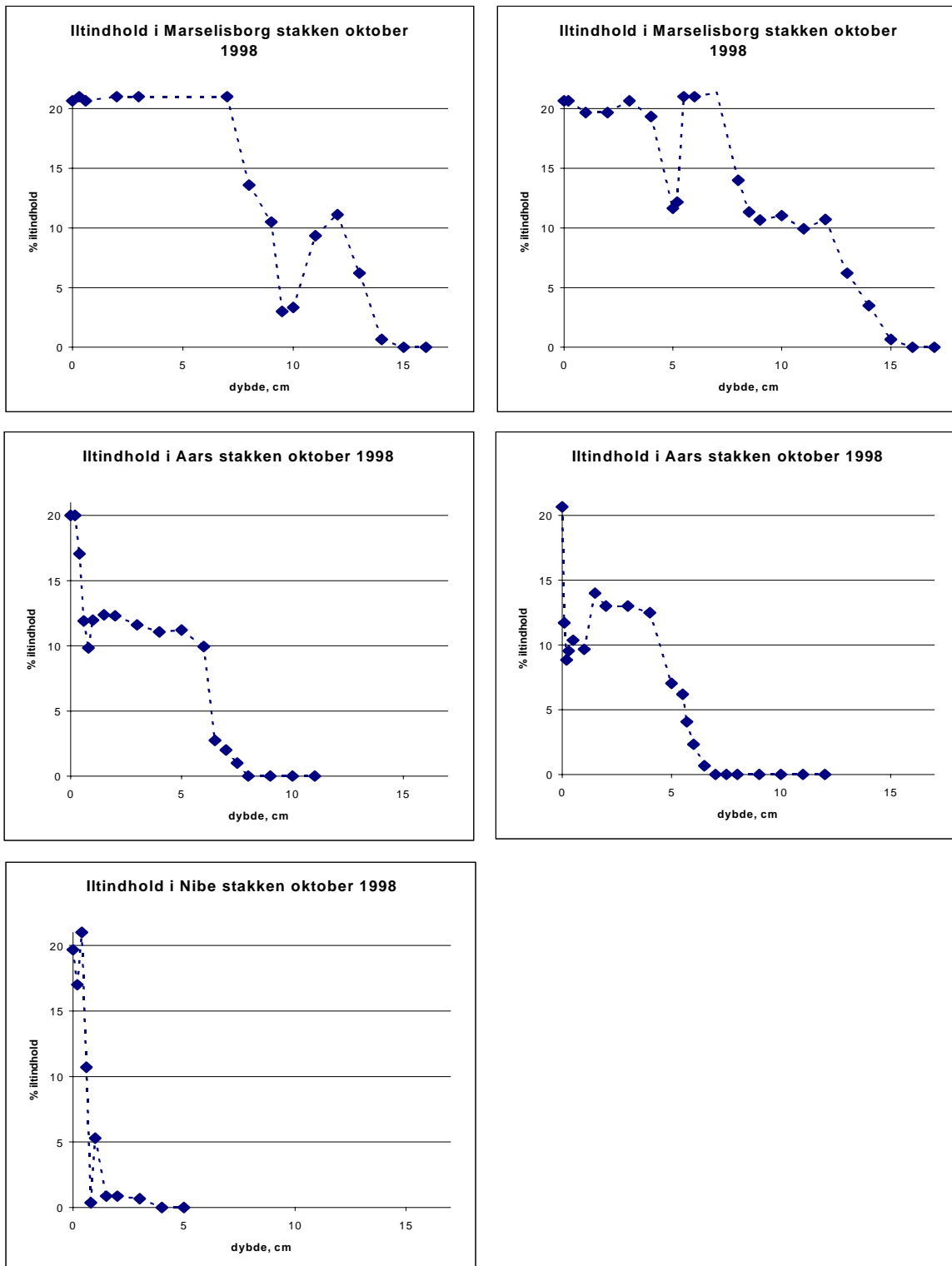
Figuren viser, at iltindholdet er ca. 21% i de øvre lag, svarende til luftens indhold. Iltindholdet falder herefter forholdsvis moderat mod dybden 5-15 cm's dybde for Marselisborg og Aars sortjorden, hvorefter iltindholdet falder til 0% i de dybereliggende lag. Der er lejlighedsvis fald i iltindholdet, hvilket tilskrives mindre "hot spots" med større iltforbrug. Der sker i disse tilfælde en transport af ilt omkring disse områder og videre ned i sortjorden. Der er afbildet to figurer for Marselisborg og Aars Sortjord, hvilket illustrerer, at der vil være forskel mellem prøvetagningsstederne.

Sortjorden fra Nibe viser et anderledes forløb, idet iltindholdet falder meget brat allerede umiddelbart under overfladen.

De viste profiler beskriver generelt forholdene for de tre sortjordstyper. Profilerne ændres med tiden, således at den dybde, hvor der måles et iltindhold større end nul, når længere ned ved længere tids lagring. Sortjord fra Aars viser kun et fald i iltkoncentration, såfremt pH også er faldet væsentligt under 12, da der ingen eller kun begrænset biologisk aktivitet er ved højt pH.

Figur 6.1

Iltindholdet i sortjord som funktion af dybden. Der er anvendt mikroiltelektroder, som måler relativt til luftens iltindhold, dvs. at den maksimale koncentration svarer til 21%. Der er for Marselisborg og Aars to profiler, hvilket illustrerer forskellen mellem to prøvetagningssteder.



6.2 Potentielt iltforbrug af sortjord under lagring

De viste profiler i Figur 6.1 viser, at iltoverførslen fra luften og ind i sortjorden er tilstrækkelig til at forsyne bakteriernes omsætning af organisk stof i de overflade nære lag. Omsætningen vil gradvis reducere iltforbruget i en given dybde. Vi har ikke forsøgt at måle det aktuelle iltforbrug i sortjord, men har valgt at måle det enklere potentielle iltforbrug.

Metoden til måling af det potentielle iltforbrug svarer til den, der bruges til fraktionering af spildevands indhold af organisk stof. Sortjord suspenderes i vand, hvorefter suspensionen iltes med luft til iltkoncentrationen i vandfasen er høj, fx 6 mg ilt/l. (VKI og Laboratoriet for Teknisk Hygiejne, 1991).

Den iltede suspension er overført til en BI₅-flaske (anvendes til at måle BI₅, biologisk iltforbrug efter 5 dage, i spildevand) med monteret iltelektrode og omrøring. Omrøringen bevirker, at der er ensartet indhold, og der er en optimal kontakt mellem bakterier og sortjordens indhold af organisk stof og ammonium. Den mikrobielle omsætning af især organisk stof og i mindre grad ammonium vil forbruge ilt. Faldet i iltkoncentrationen mod tiden angiver mikroorganismernes iltforbrug, som angives pr. g tørstof i suspensionen.

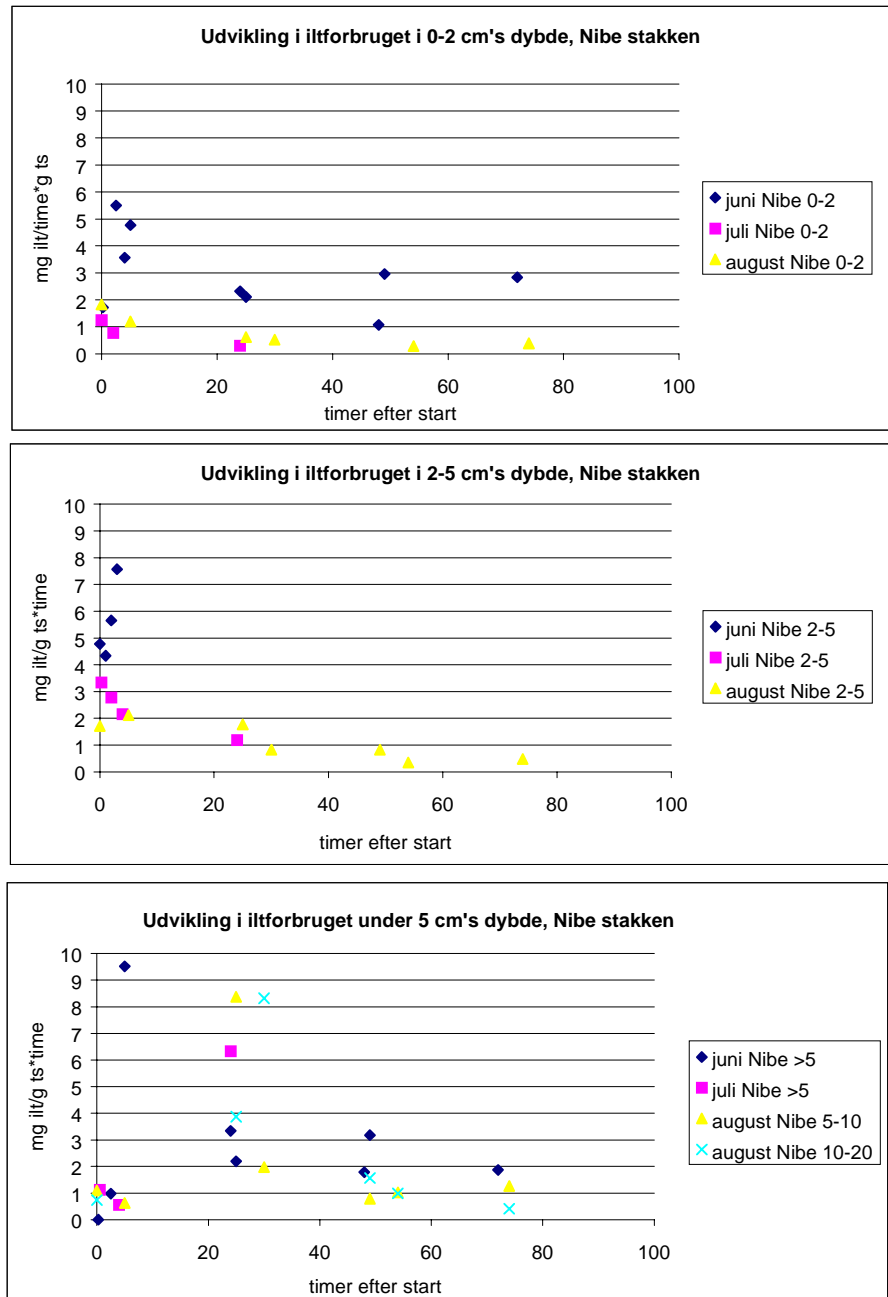
Beluftningstiden i forbindelse med måling af iltforbruget har været op til 80 timer. Den lange beluftning skyldes, at man herved får et indblik i, hvorvidt der er tale om langsomt eller hurtigt omsætteligt stof i prøverne. Desuden kan en prøve have et lavt iltforbrug ved start på grund af hæmning af biologisk aktivitet, som følge af fx ophobning af stofskifteprodukter, fx naturligt forekommende, kortkædede fedtsyrer. Dette kan ses ved, at iltforbruget stiger efter omsætningen af de hæmmende produkter. Udtørring vil ligeledes udvise et initialt lavere iltforbrug.

Med henblik på en analyse af udviklingen i det potentielle iltforbrug mod dybden er der udført bestemmelser af sortjordens potentielle iltforbrug i en dybdeprofil. Denne profil er fulgt som funktion af modningstiden. Den sortjord, som er analyseret, er udtaget som en sortjordssøjle på op til 30 cm. Søjlen er udtaget med Kajak-rør fra sortjordsstakken. Dernæst er der foretaget en fraktionering af søjlen mod dybden. Der er udtaget prøver, som repræsenterer lag af 2-5 cm's tykkelse. De forskellige prøver er herefter analyseret for potentielt iltforbrug.

Nedenstående tre figurer viser udviklingen af iltforbruget under lagring af sortjord.

Figur 6.2

Eksempler på udvikling af iltforbruget ved 20°C for Nibe sortjord som funktion af tiden og dybden.

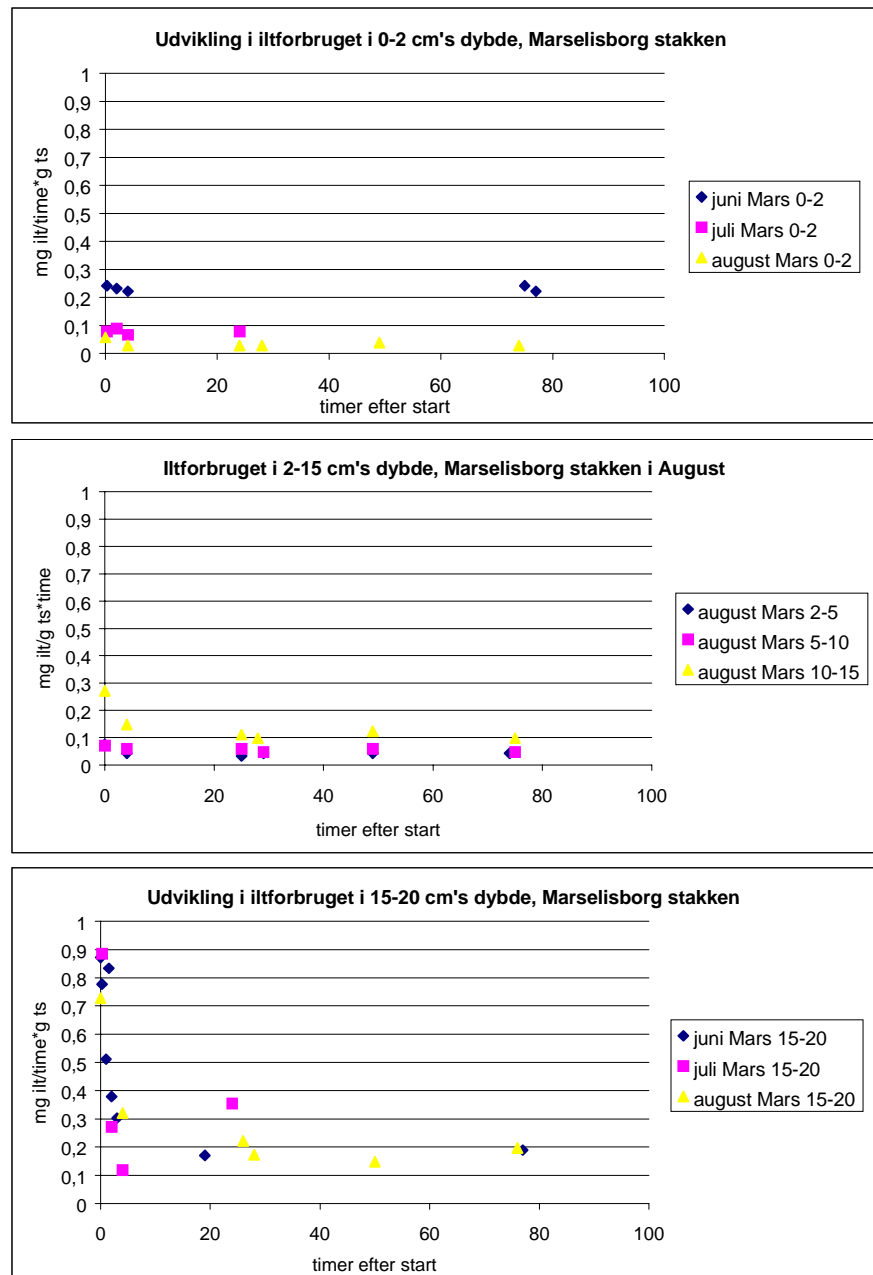


Potentielt iltforbrug i Nibe stakken

Iltforbruget i de øverste lag, 0-5 cm, stabiliseres i løbet af modningstiden mellem 0,5-2 mg ilt/time*g ts, mens iltforbruget er højere i de dybere lag. Udviklingen i iltforbruget som funktion af tiden viser, at iltforbruget er betydeligt højere under 5 cm's dybde.

Figur 6.3

Eksempler på udvikling af potentielt iltforbrug ved 20°C for Marselisborg sortjord som funktion af tiden og dybden.

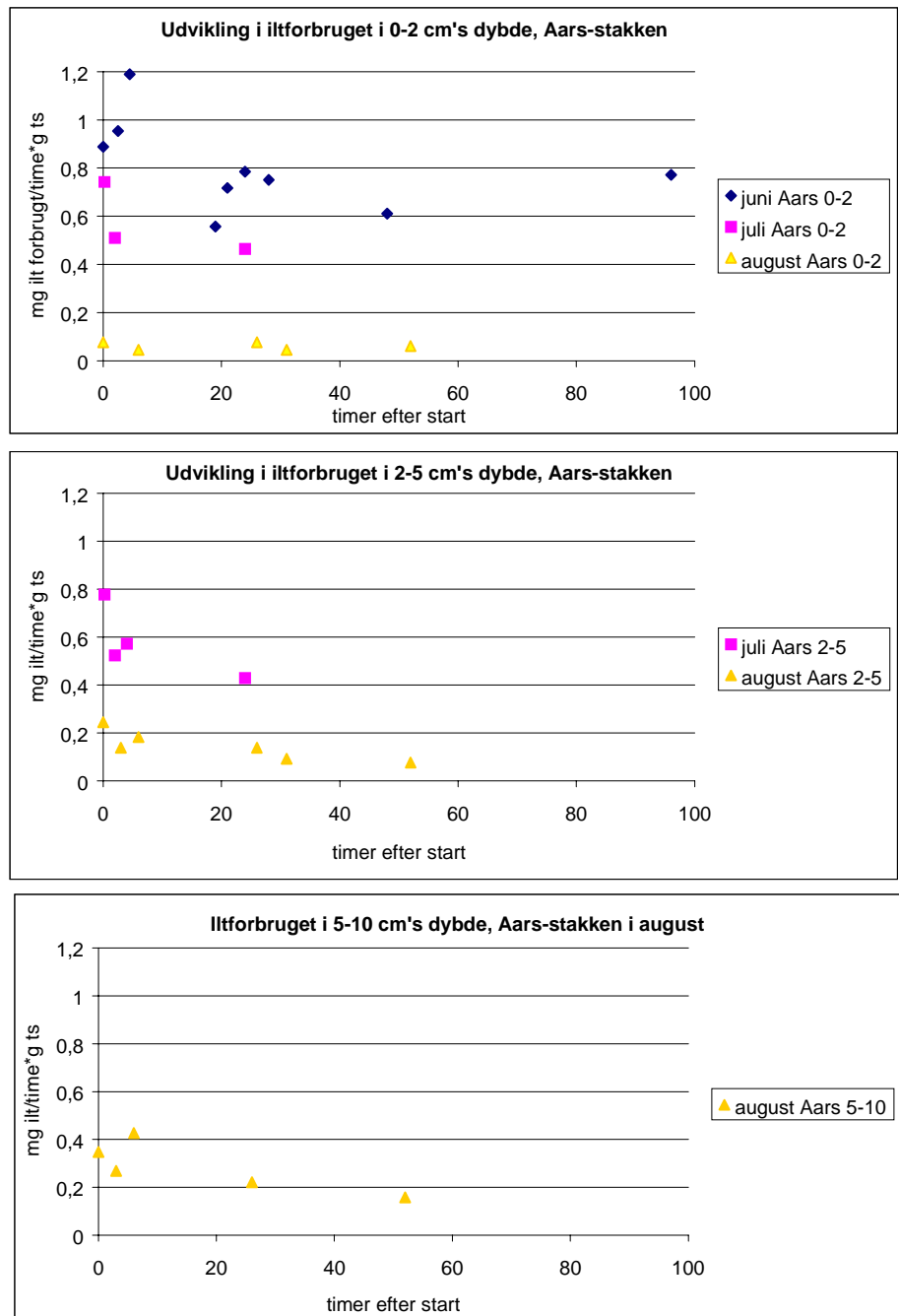


Potentielt iltforbrug i Marselisborg stakken

I Marselisborg sortjorden er den generelle tendens, at det potentielle iltforbrug i en given dybde falder som funktion af modningstiden, se Figur 6.3. Iltforbruget er generelt lavere end for Nibe sortjord. I 15-20 cm's dybde ses, at iltforbruget umiddelbart efter beluftningens start er relativt højt, 0,3-0,9 mg ilt/time*g ts, for derefter at falde til 0,1-0,2 mg ilt/time*g ts. Dette kan forklares med et indhold af let omsætteligt organisk stof, som hurtigt omsættes, hvorefter iltforbruget falder og stabiliseres på et lavere niveau.

Figur 6.4

Eksempler på udvikling af iltforbrug ved 20°C for Aars sortjord som funktion af tiden og dybden.



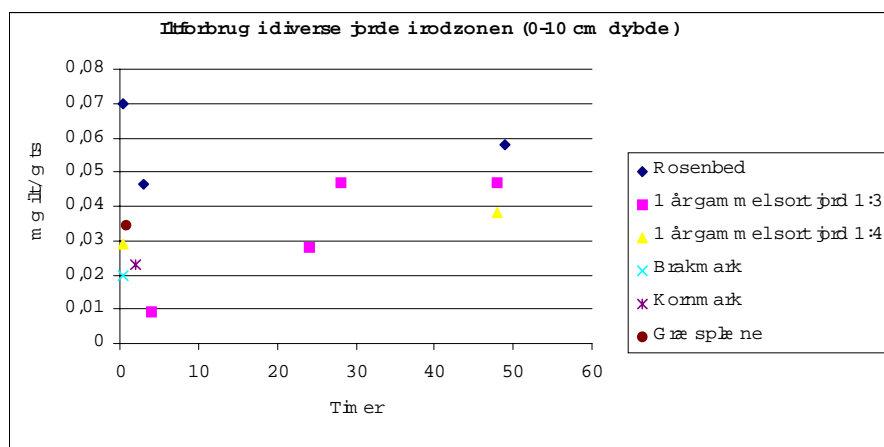
Potentielt iltforbrug i Aars stakken

I Aars sortjorden ses ligeledes, at det potentielle iltforbrug i en given dybde falder som funktion af modningstiden, se Figur 6.4. Iltforbruget i juni kunne ikke måles i lag under 2 cm, da iltforbruget var hæmmet pga. højt pH, ($\text{pH} > 11$). Det samme gælder for 5-10 cm i juli. Iltforbruget stabiliseres i de øverste 5 cm efter august måned med et niveau på mellem 0,05 og 0,2 mg ilt/time*g ts. I 5-10 cm's dybde ligger iltforbruget i august mellem 0,2 og 0,4 mg ilt/time*g ts.

Med henblik på en sammenligning med almindelige topjorde er der udtaget jordprøver i rodzonen for måling af potentiel iltforbrug i diverse jorde med plantevækst.

Figur 6.5

Potentielt iltforbrug af jorde med forskellig plantevækst og 1 år gammel sortjord.



Potentielt iltforbrug i almindelige jorde

Det ses af Figur 6.5, at det potentielle iltforbrug i rodzonen i et rosenbed, en brakmark, en kornmark og en græsplæne ligger mellem 0,01-0,07 mg ilt/time* g ts. To prøver af Aars sortjord modnet i et år har potentielle iltforbrug, som svarer til forbruget i rodzonen for de testede jorde.

Sammenligning af sortjord og almindelige jorde

Ved sammenligning med det potentielle iltforbrug i sortjord fra Aars og Marselisborg (Figur 6.3 og Figur 6.4) ses, at der i de øvre lag opnås et iltforbrug, som svarer til rodzonen i almindelige jorde.

Sortjorden fra Nibe har et betydeligt højere iltforbrug end de 2 øvrige stakkes (bemærk forskellige skalaer på y-akserne i Figur 6.2 og Figur 6.4). Det høje iltforbrug i Nibe-stakken skyldes et ca. 3 gange højere indhold af organisk stof ved forsøgets start, samt næsten dobbelt så meget vand i stakken som i de 2 andre stakke. Derfor er udtørringen, og dermed dannelsen af luftporer til dybden, sket langsommere samtidig med, at iltbehovet til omsætning af det organiske materiale har været tilsvarende større.

Undersøgelsen af det potentielle iltforbrug viser, at grænsen for et stabilt, lavt iltforbrug bevæger sig nedad, således at stigende mængder af hver stak bliver egnet til plantevækst. Marselisborg sortjorden modnes hurtigst, derefter følger Aars sortjorden og til sidst Nibe sortjorden. Fra april til august, dvs. 4 forårs- og sommermåneder, har de øverste 10 cm af Marselisborg stakken udviklet sig til at blive egnet til bevoksning. Det samme gælder de øverste 2 cm af Aars stakken, mens selv de øverste cm af Nibe stakken endnu har et for højt iltforbrug. Modningsstadiet er vurderet ud fra en sammenligning med det potentielle iltforbrug i de bevoksede jordtyper, der beskrives i Figur 6.5. Det kan dog ikke afvises, at der faktisk kan gro planter i jord med et højere iltforbrug. Generelt skal der dog være ilt i jorden for, at de fleste planter kan overleve. Således bør de nævnte dybder med stabilt sortjord betragtes som vejledende minimumsværdier.

*Nødvendig lagringstid for
sortjord i stakke*

Den nødvendige lagringstid kan vurderes ud fra målingerne af det potentielle iltforbrug. Lagringstiden vil afhænge af anvendt slamtype og -mængder i forhold til sand. Lagringstiden vil desuden afhænge af graden af mekanisk vending/omstikning, fordi iltforbrugende områder i stakken derved udsættes for ilt. Lagringstiden afhænger også i høj grad af stakkens forhold mellem overflade og volumen. Under de betingelser, som stakkene i dette projekt er givet, vil den nødvendige lagringstid sandsynligvis være i størrelsesordenen 1-2 år for Marselisborg og Aars stakkene. Den nødvendige lagringstid for Nibe stakken kan ikke fastsættes, da omsætningen synes hæmmet pga. for højt iltforbrug og for lav ilttransport (lav porøsitet) i udgangsblandingen.

Den tidligere beskrevne sortjord fra Aars havde modnet i mindre stakke med en højde på 30-40 cm. Disse var modnet i løbet af et år.

7 Sortjorden som vækstmedie

For at belyse sortjordens kvalitet som vækstmedie blev der foretaget forskellige forsøg, der skulle vise, om sortjorden hæmmede spiringsevnen, og om der kunne vokse planter herpå. I dette afsnit præsenteres resultaterne af de spiringstests, som er udført, og de vækstofforsøg, som blev foretaget på lagret sortjord.

7.1 Spiringsforsøg

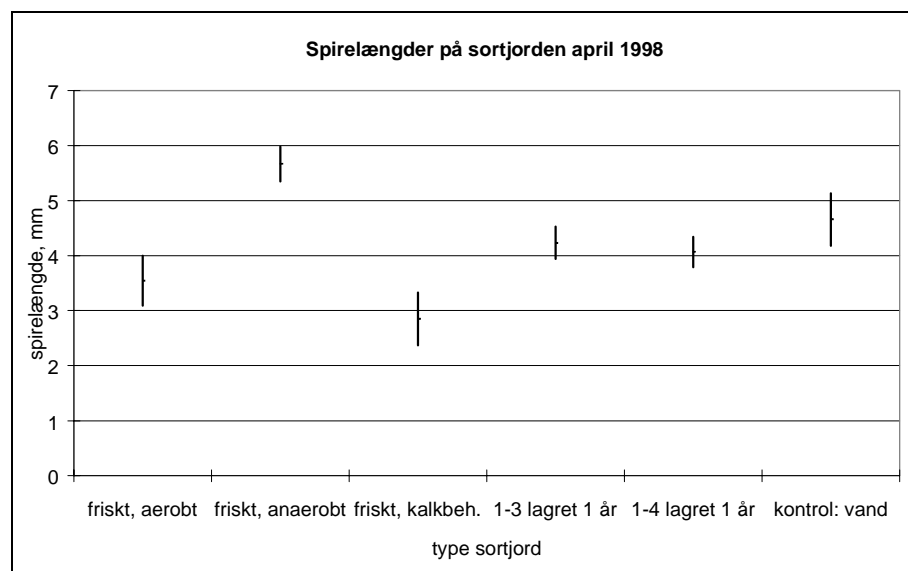
Der blev foretaget spiringstest på følgende medier:

- Tre typer nyblandet sortjord,
- To forskellige, 1 år gamle sortjordsblandinger (Aars-stakken),
- Kontrolforsøg med destilleret vand

Til test af spiring blev anvendt karsefrø. Spiringsprocenten var på 100% for alle prøver. Spirelængdernes middel og spredning ses i Figur 7.1.

Figur 7.1

Spirelængder (middelværdi +/- spredning) på de nyblandede sortjorde, på to 1 år gamle sortjorde samt på en kontrol på destilleret vand.



Det ses af Figur 7.1, at nyblandet Aars-sortjord har en tendens til hæmning af væksten. Dette kan forklares med en høj pH på omkring 12. Marselisborg-sortjorden virker måske stimulerende på væksten.

Væksten på de to typer et år gamle sortjorde er lige så god som på kontrollen.

7.2 Vækst af græs på et år gammel sortjord fra Aars Renseanlæg

Forsøgsbeskrivelse

Der blev endvidere foretaget forsøg for at undersøge spiring og vækst af græs i 1 år gammel sortjord, sammenlignet med råjord i form af en lerjord og en sandjord. Råjorden er ikke gødet under forsøget. En kasse med huller i bunden blev inddelt i 3 parceller (Figur 7.2), der hver blev fyldt med 5 cm af hver af de 3 typer jord. Parcellerne blev tilsået med græsfrø (mini-turf-type). Parcellerne blev vandet efter behov og sat under plantelys i 19 timer/døgn og ved ca. 20 °C. Græsset blev klippet ned til 5 cm en gang om ugen. Afklippet græs blev opsamlet og tørstoffet bestemt.

Figur 7.2

Fotografi af vækstforsøg med græs på lerjord, sandjord og 1 år gammelt sortjord fra Aars, 14 dage efter såning.

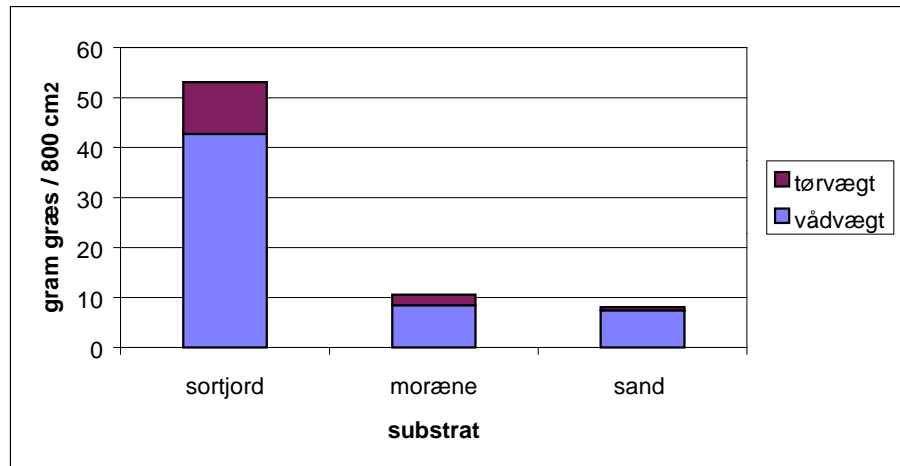


Udbyttet fra sortjorden højest

På Figur 7.3 er vist den samlede høst over 3 måneder af overjordisk biomasse. Udbyttet fra sortjorden er ca. 5 gange større end i lerjorden og 6 gange større end i sandet. På tørstofbasis er udbyttet i sandjorden 15 gange større end på sand.

Figur 7.3

Mængden af høstet græs i en 3 måneders periode.



Undersøgelsen viser med stor tydelighed, at den anvendte sortjord, som har lagret et år, er et meget bedre vækstmedie end råjord.

7.3 Vækstforsøg på forsøgsparcer

Efter 2 måneders lagring blev ca. $3/4 \text{ m}^3$ sortjord fra hver af de tre sortjordsstakke udlagt på parceller af $1,5 \times 1,5 \text{ m}^2$ i et 30 cm tykt lag. På dette tidspunkt var sortjorden ikke færdigmodnet, men der var forsøgt afgravede de øverste lag i containerne. Herefter lå parcellen to måneder inden tilsåning. Parallelt blev anlagt en tilsvarende parcel med sand og en parcel med kalkbehandlet slam fra Aars renseanlæg, der havde lagret 1 år.

Nibe parcellen

Relativt få græsfrø spirede i Nibe-parcellen. Over store dele af denne parcel havde et lag alger etableret sig i løbet af sommeren. Algerne tørrede ud til et hårdt, sort lag, der hindrede spiring. I de områder af parcellen, der var fri for alger, var væksten af græsset sparsomt: Stråene var korte, tynde og lyse, og viste tydelige tegn på stress.

Marselisborg parcellen

Den bedste spiring skete i Marselisborg-parcellen, hvor et tæt græstæppe udviklede sig på få uger. Lange kraftige og mørkegrønne strå stod tæt. Sortjord baseret på anaerobt stabiliseret slam og lagret i fire forårs-/sommermåneder synes således egnet til såning med græs. I nogle tilfælde vil lagring i kun to måneder formodentlig være tilstrækkeligt, idet tomatfrø fra slammet og invaderende frø fra omgivelserne spirede allerede indenfor de første uger efter udlægning af parcellen. Tomatfrø kan dog være et problem i visse anvendelser.

Aars parcellen

I Aars-parcellen var der spiring og vækst på ca. 50% af overfladen. Den øvrige overflade var hård og knoldet. Hele overfladen blev grundigt findelt vha. kultivator og rive, hvorefter der igen blev sået. Efter denne behandling spirede græsset på hele overfladen og dannede tætte, kraftige tuer.

Sand parcel

Til sammenligning var etableret en sandparcel og en parcel med rent, lagret slam. Forskellige plantearter invaderede sandparcellen straks efter den blev etableret. Pga. sandets lave markkapacitet (vandbindingsevne og nærings-saltindhold) var bevoksningen dog, - også efter tilsåning – yderst sparsom. Det skal nævnes, at der var megen nedbør i løbet af sommeren, hvilket mindskede vandstress.

Parcel med kalkbehandlet slam

Overfladen i parcellen med rent, kalkbehandlet slam var mere hård og knoldet end Aars sortjords-parcellens overflade. Knoldene kunne ikke brydes med kultivator og rive, så græsset spirede kun i revnerne, hvor det til gengæld groede fint. Eventuel etablering af et humusholdigt vækstlag baseret på rent, kalkbehandlet og lagret slam, kræver samme forbehandling som beskrevet for Aars parcellen.

De udlagte sortjorde var som tidligere nævnt ikke fuldt modnede ved udlægning. I juni måned året efter var der en meget kraftig og god vækst på Marselisborg og Aars parcellerne. Det kalkbehandlede slam uden mineraler udviste tilsvarende godt vækst.

Nibe parcellen udviste stadig dårlig vækst, og parceller med sand udviste stadig dårlig vækst og tegn på stress.

8 Miljøbeskyttelse

Indledning

I forbindelse med lagring af sortjorden er der forskellige elementer, der skal tages hensyn til i relation til miljøbeskyttelse. De vigtigste elementer i denne forbindelse er:

- Effekter som følge af udsivning af potentielt forurenende stoffer, primært kvælstof
- Indhold og skæbne af miljøfremmede stoffer
- Hygiejne
- Lugtproblemer og æstetiske forhold (sortjordens karakteristisk)

I dette kapitel beskrives summarisk ovennævnte forhold, og den samlede miljøeffekt vurderes.

8.1 Lugt og æstetiske forhold

I forbindelse med produktion og lagring af sortjorden er det af stor betydning, at dette kan udføres på en for producenten og omgivelserne betryggende måde. En af de vigtige forhold ved dette vil være en minimering af lugtgener af hensyn til omgivelserne og de mennesker, som skal producere produktet. Et andet forhold er selve produktets sammensætning og konsistens. Materialet skal gerne have en porøs jordagtig konsistens og lugt efter modning, som gør det æstetisk at arbejde med for brugere af produktet.

Der bør gennem hele forløbet med fremstilling lagring og udlægning i parceller foretages karakterisering og vurdering af sortjorden ud fra farve, lugt og struktur. Produktet bør være modent inden beplantning.

8.2 Hygiejne

Når sortjorden lagres og spredes, er det vigtigt at undgå risici for smitte. For at vurdere, om kontakt med sortjorden indebærer en risiko for smitte, er stakkene undersøgt for de indikatororganismer, der er valgt til slambekendtgørelsen:

Tabel 8.1

Salmonella og Fækale Streptokokker (F.S.) i de øverste 10 cm af hver stak efter 5 måneders lagring. Tallene angiver antal påvist pr. g i.p. betyder ikke påvist i 100 g.

Dato: 27-9-98	Salmonella	F.S.
Nibe	ikke påvist	300
Marselisborg	ikke påvist	<1
Aars	ikke påvist	<1

Bortset fra de Fækale Streptokokker i Nibe stakken lever indholdet af indikatororganismer op til det krav, der i Slambekendtgørelsen sammen med en slambehandlingsteknik stilles til materiale, der er kontrolleret hygiejniseret (Bek. Nr. 823 af 16. september 1996, hvilket dog samtidig kræver en godkendt stabiliseringsteknik, fx kalkbehandling; pH > 12 i tre måneder). Kravene er:

- Salmonella må ikke påvises
- Fækale streptokokker skal være mindre end 100/g.

Analyseresultatet er ikke overraskende, da de to grupper af mikroorganismer er tilpasset et liv i anoxisk miljø ved konstant legemstemperatur, hvorfor de ikke trives i et kompostlignende miljø med skiftende temperaturer og fugtighedsprocenter samt eksponering for luft. Kalkbehandlingen har alene elimineret indholdet af E.coli og Salmonella.

Analyseresultatet er i overensstemmelse med litteratur, der omhandler fækale organismers overlevelse og reduktion udenfor værterne (Obeng og Wright 1987, Mara og Cairncross 1989, Engen et al. 1994).

Den hygiejniske kvalitet af Nibe stakken underbygger projektets øvrige analyseresultater, der viser, at sortjorden ikke har været modnet.

Såfremt sortjorden skal anvendes til formål uden hygiejniske begrænsninger, bør slammet inden anvendelsen være kontrolleret hygiejniseret fx ved kalkbehandling.

8.3 Miljøfremmede stoffer, metaller og næringsalte

Miljøfremmede stoffer

Risikoen for nedsivning af miljøfremmede stoffer kan mindskes ved at anvende slamkvaliteter, som har et lavt indhold, og som overholder gældende regler for slams anvendelse som gødning på landbrugsjord. Der er i slambekendtgørelsen udvalgt nogle organiske stofgrupper og metaller, som skal overholde givne grænseværdier. Grænseværdierne er baseret enten på indholdet i forhold til tørstofindhold eller i forhold til fosforindholdet. De organiske stoffers nedsivningsrisiko kan ikke besvares på basis af denne rapport. Det forventes dog, at den aerobe omsætning af organisk stof samtidigt i stor udstrækning omsætter de fire organiske stofgrupper, der fokuseres på i forbindelse med landbrugsdrift.

Metaller

Da sortjord vil erstatte anvendelsen af kunstgødning, kan metallerne vurderes på samme måde som for slam, hvor metaller vurderes i forhold til fosforindholdet.

Sortjordens indhold af metaller kan ses i relation til jordens forureningsklassificering. De danske amter anvender klasser af jordtyper med hensyn til renhed. Såfremt ikke forurenede sand eller anden jord, med metal koncentrationer i baggrunds niveau, blandes med slam, som overholder kriterierne for landbrugsanvendelse, vil sortjorden have metalkoncentrationer, som i langt de fleste tilfælde vil overholde amternes kriterier for ren jord.

Et eksempel på en konkret sammenligning ses i Bilag 1.

Nitrat

Nedsivning af nitrat er en anden potentiel risiko, som myndigheder ligeledes skal forholde sig til. Sortjordens indhold af kvælstofforbindelser vil minimum være halveret under modningen. Dette er sket ved en kombination af fordampning af ammoniak og biologisk kvælstoffjernelse. Sortjord har et overskud af organisk stof i forhold til kvælstof, hvilket øger sortjordens denitrifikationspotentiale. Det er dog ikke muligt ud fra undersøgelsens resultater at vurdere den faktiske nedsivning.

Det er dog muligt at forholde sig til denne problemstilling ved en sammenligning af udlægning af sortjord med udlægning af en naturligt forekommende topjord med det samme indhold af organisk stof.

Tabel 8.2

Målt indhold af organisk stof og kvælstof i de forskellige typer sortjord sammenlignet med andre jordtyper og det beregnede totale kvælstofindhold på en hektar i de øverste 30 cm.

Jordtype	Organisk stof glødetab % af ts	Organisk C % af ts	Total N % af ts	C/N forhold	N-indhold på én ha i de øverste 30 cm, tons N
Marselisborg 0-2 cm, lagret 18 uger	3,6	2,1	0,19	11	11
Aars 0-2 cm, lagret 18 uger	3,8	2,2	0,21	10	13
Sortjord 1:3, lagret 1 år	2,6	1,5	0,16	9	10
Sortjord 1:4, lagret 1 år	1,7	1,0	0,13	8	8
Egeskov	-	2,5 #	0,18 #	14	11
Granskov	-	3,8 #	0,28 #	14	16
Græsarealer	-	4,1 #	0,41 #	10	25
Agerland	-	1,2 #	0,13 #	9	8

Schachtschabel et al 1992, tabel 23.

Af Tabel 8.2 fremgår, at indholdet af organisk stof og kvælstof i de færdigmodnede sortjordsprodukter er lavere, end hvad der findes i andre terrestriske økosystemer på nær landbrugsjord. Sortjorden fra Nibe er ikke medtaget i tabellen, da denne på mange måder ikke opfylder kravene til et modnet sortjordsprodukt. Af tabellen fremgår også, at indholdet af organisk stof i sortjorden, som har lagret i 1 år, er lavere end overfladelaget fra Marselisborg- og Aars-stakkene. Dette skyldes, at der er tilsat mere mineralsk materiale til disse sortjordsprodukter (forholdet 1:3 og 1:4 mod 1:2).

Da kvælstofindholdet i sortjorden er på niveau med indholdet i de i Tabel 8.2 REFFLETFORMAT. undersøgte jordtyper, vil det samlede kvælstofind-

hold i sortjorden således ikke udgøre en større risiko end almindelige jorde med hensyn til potentiel kvælstofudsivning.

Risikoen for nitratnedsivning ved udlægning af topjord på en lokalitet med lav bonitet bør derfor ikke være anderledes for sortjord end for en anden naturlig organisk rig topjord.

Risikoen for nedsivning kan minimeres ved at udlægge sortjord om sommeren, hvor grundvandsdannelsen er lav. Desuden kan sortjorden allerede ved udlægning tilsås, således at uorganisk kvælstof delvist kan optages af de spirende planter.

8.4 Sortjord som alternativ til anden afskaffelse af slam

Anvendelse og produktion af sortjord kan ikke stå alene i en miljøvurdering, idet alternativer til denne genanvendelse kan være deponering og forbrænding. Der er ikke foretaget sammenligninger af miljøbelastningen ved disse alternativer, men der vil i mange tilfælde være en mindre miljøbelastning og positive sidegevinster for miljøet, bl.a. mulighed for grønne vejskråninger (sammenlignet med gølge skråninger, som ikke er et usædvanligt syn) og plantedække ved denne sortjords-anvendelse.

8.5 Afgifter og økonomi

Den danske praksis for afgifter favoriserer genanvendelse, således at genanvendelse er uden eller med reduceret afgift. I forbindelse med sortjord er der ingen praksis, men overføres reglerne for slamgenanvendelse på landbrugsjord, kan slammet fritages, hvis kvaliteten og reglerne for genanvendelsen overholdes. Overføres dette princip til sortjord, bør sortjorden overholde kvalitetskravene til indholdsstoffer med henblik på gødningsgenanvendelsen for at være afgiftsfri.

Et indhold af nonylphenol eller LAS vil efter modning kunne være væsentligt reduceret på grund af aerob, mikrobiel omsætning, hvorved genanvendelsen ikke nødvendigvis er problematisk. Denne problemstilling kendes også fra produktion af kompost. Afgiftsregler må afvente afklaring af Told & Skat m.fl., og en praksis på området.

Generelt må det forventes, at økonomien i produktion og brug af sortjord er væsentligt billigere end forbrænding og deponering.

9 Diskussion og konklusion

Slam kan anvendes til produktion af organisk rig overfladejord - sortjord

Indholdet af næringssalte og organisk stof i slam har været anvendt i udlandet til produktion af topjord på lokaliteter med lav bonitet. Anvendelsen af slam til landskabsdannelse er ikke sædvanlig i Danmark. Denne undersøgelse viser, at det kan være et alternativ til slams genanvendelse som gødning på landbrugsjord.

De udførte vækstforsøg i denne rapport viser, at man ved blanding af simpelt sand med slam kan opnå et produkt, som med hensyn til lugt, plantevækst, næringsstoffer og andre forbindelser kan betegnes som et vækstmedie, som kan anvendes på lokaliteter med ingen eller meget ringe topjord. Blandingsproduktet kan yderligere forbedres ved iblanding af fx ler. Der kan forekomme ukrudtsfrø i slam, som ikke er kalkbehandlet eller behandlet ved højere temperatur. Det skal afklares, hvorvidt fx tomatplanter kan accepteres i vækstmediet.

Sortjordens indhold af kvælstof er i samme størrelsesorden som anden organisk rig topjord

Sammenlignet med slammets anvendelse som gødning er sortjordsanvendelsen væsentlig forskellig, idet mængden af næringssalte, som udlægges, er meget større. Mængder bliver større, fordi man i sortjordsproduktet har brug for et højere indhold af organisk stof. Den umiddelbart største risiko herved er nedsivning af kvælstof til grundvandet. Mængden af kvælstof er dog næppe større, end hvis der udlægges en naturligt forekommende organisk rig topjord.

Denne vurdering kan foretages som en risikovurdering, som tager højde for arealets anvendelse og tager hensyn til grundvandsressourcer. (Miljøbeskyttelsesloven, kap. 4, §19).

En betydelig genanvendelse af slam som sortjord kræver, at produktet i videst muligt omfang er afgiftsfrit.

Dokumentation af modenhed - egnethed til beplantning

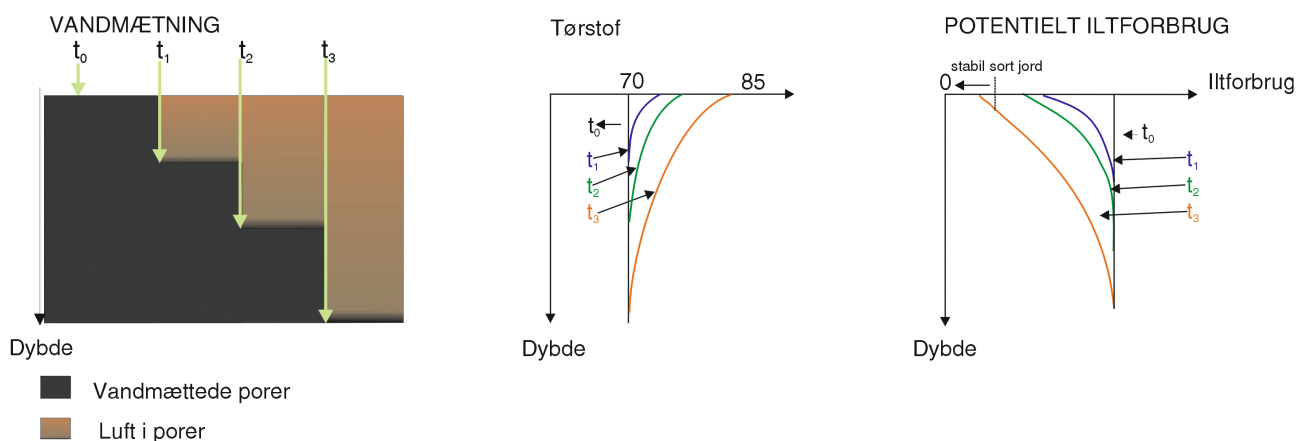
Et væsentligt element i produktionen af sortjord eller andre vækstmedier, herunder kompost, er at man kan dokumentere, hvornår produktet er modent til plantevækst, således at der kun er en positiv effekt på plantevækst i mediet. Det er til sammenligning ikke usædvanligt for kompost, at planter kvæles på grund af manglende ilt til planternes rødder.

Denne rapport resultater vedrørende modning viser, at den aerobe modningsproces har brug for en ikke ubetydelig mængde af mineralsk stof til at skabe porøsitet i sortjorden. Sortjorde må forventes at skulle have mere end 50%, gerne 75% tørstof for at sikre en god porøsitet.

Vandet i porerne skal delvis fordampe ved udtørring, for at der kan komme tilstrækkeligt med luft og dermed ilt ned i mediet. Herefter vil bakterier omsætte slammets indhold af organisk stof. Såfremt det potentielle iltforbrug er tilstrækkeligt lavt, vil sortjorden være moden og kan beplantes. Denne udvikling kan for anaerobt og aerobt stabiliseret slam beskrives ved den efterfølgende Figur 9.1

Figur 9.1

Udviklingen af moden sortjord på basis af anaerobt og aerobt stabiliseret slam.



Figur 9.1 viser til tider t_0 , at slammet er vandmættet, hvorved der kun kan diffundere minimale mængder ilt fra luften og til overfladen på sortjorden. Tørstofindholdet er i eksemplet 70% sortjorden, og iltforbruget er ens og høj i hele dybden.

Til tiden t_1 er vandet fordampet i overfladen, hvorved der er kommet luftporer i sortjorden. Tørstofindholdet stiger i overfladen, samtidigt med at iltforbruget falder i overfladen.

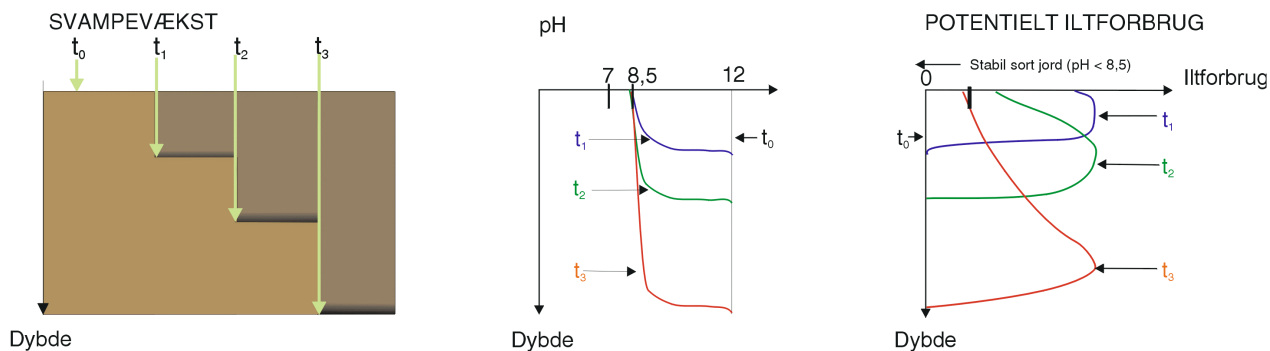
Til tider t_2 og t_3 fortsætter udtørringen og udbredelsen af luftporer ned i sortjorden. Samtidigt omsættes det organiske stof aerobt, og iltforbruget begynder at falde. Til tider t_3 er iltforbruget i overfladen blevet så lav, at det øverste lag har et stabilt lavt iltforbrug, hvorved laget er modent. Såfremt iltforbruget er tilstrækkeligt lavt i hele dybden, er produktet modent.

I forbindelse med kalkbehandlet slam skal pH først falde, før der sker en tilsvarende aerob omsætning. Herved bliver pH faldet et kontrollerende element. Udviklingen af moden sortjord baseret på kalkbehandlet slam ses i Figur 9.2.

Iltforbruget for kalkbehandlet slam har et andet forløb end for ovenstående slamtyper. Dette skyldes, at iltforbruget fx til t_2 er lavt i overfladen, hvorefter det stiger mod dybden til et maksimum, hvor det organiske stof ikke er omsat. Herefter aftager iltforbruget mod dybden som følge af en høj pH værdi. Derfor skal en moden sortjord baseret på kalkstabiliseret slam både have en lavere pH værdi (~ 8) og et lavt iltforbrug, når det er færdigmodnet.

Figur 9.2

Udviklingen af moden sortjord på basis af anaerobt og aerobt stabiliseret slam på basis af kalkstabiliseret slam.



Der er ikke klarhed over metoderne til produktion/opblanding af sortjord i meget store mængder. Der vil i Aars Kommune blive udført forsøg med udlægning af sortjord på en støjvold. Dette og andre forsøg vil afklare både teknik og økonomi i forbindelse med produktion og anvendelse af sortjord. Der er ansøgt om tilladelse til disse forsøg, hvilket ses i bilag 1. Der er medio 1999 givet tilladelse til produktionen af sortjord, mens tilladelsen til anvendelser afventer analyseresultater af metaller og organisk miljøfremmede stoffer.

10 Referencer

Panter, K. M., Hawkins, J. E. (1991). J. E. Hall (editor). *The manufacture of a quality assured growing medium by amending soil with sewage sludge*. Pergamon Press, Oxford. s. 311-322. I: "Alternative uses for sewage sludge".

Sopper, W.E. (1993). *Municipal sludge use in land reclamation*. Lewis Publishers, London.

U.S. Environmental Protection Agency (1990). *Environmental assessment of reclamation of disturbed lands using wastewater treatment sludge*. U.S. Environmental Protection Agency, Region III, Philadelphia, P.A.

Carello, E. M. (1990). *Ten-year summary of environmental monitoring on coal mine Spoil amended with sludge. The status of municipal sludge management for the 1990's*. Proceedings of the Water Pollution Control Federation, Alexandria, V.A., s. 9-1 - 9.19.

Topper, K. F., Sabey, B.R. (1986). *Sewage sludge as a coal mine spoil amendment for revegetation in Colorado*. Journal of Environmental Quality, vol. 15, s. 44-49.

Hordick, S.B. (1982). *Crop production on waste amended gravel spoils. I: Land reclamation and biomass production with municipal wastewater and sludge*". W.E. Sopper, E.M. Seaker, R.K. Bastian (Editorer), The Pennsylvania State University Press, s. 207-218.

Joost, R.E., Olsen, F.J., Jones, J.H. (1987). *Revegetation and mine spoil development of coal refuse amended with sewage sludge and limestone*. Journal of Environmental Quality, vol. 16, s. 65-68.

Segal, W., Mancinelli (1987). *Extent of regeneration of the microbial community in reclaimed spent oil shale land*. Journal of Environmental Quality, vol. 16, s. 44-48.

Stroo, H.F. Jencks, E.M. (1982). *Enzyme activity and respiration in mine spoils*. Soil Sci. Soc. Am. J., vol. 46, s. 548-553.

Mills, A.L. (1985). *Acid mine waste drainage: Microbial impact on the recovery of soil and water ecosystems. I: "Soil Reclamation Processes"*. R.L. Tate, D.A. Klein (editorer). New York, Marcel Dekker, s. 35-81.

Anderson, D. W. (1977). *Early stages of soil formation on glacial till mine spoils in a semi-arid climate*. Geoderma, vol. 19, s. 11-19.

Schager, W.M., Nielson, G.A., Nettleton, W.D. (1980). *Minespoil genesis morphology in a spoil chronosequence in Montana*. Soil Sci. Soc. Am. J., vol. 44, s. 802-807.

Schachtschabel, P., Blume, H.P., Brümmer, G., Hartge, K.H. og Schwertmann, U. (1992). *Lehrbuch der Bodenkunde*, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1992. ISBN 3-434-84773-4.

Engen, Ø., Hansen, J.F., Linjordet, R., Ånestad, G. (1994). *Hygiejniske aspekter ved Hjemmekompostering av Hage- og Latrinavfall*. Jordforsk, Norge.

VKI og Laboratoriet for Teknisk Hygiejne (1991). Simuleringsystem til styring af renseanlæg. Bilagsdel. Laboratorieforsøg, parameterestimering og modelafprøvning.

Mara, D., Cairncross, S. (1989). *Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture*. World Health Organisation, Geneva.

Obeng, L.A., Wright, F.W. (1987) *Integrated Resource Recovery UNDP Project Management*.

Olesen, S.E., H.S. Mørk (1989) Long-term effects of sewage sludge application in a conifer plantation on a sandy soil. (*Hedeselskabet, Danish Land Development Services, Viborg, Denmark*)

Hydro Agri (1997). Gødning 1997/98.

Landskontoret for Planteavl (1995). Håndbog for plantedyrkning. Landbrugets Informationskontor.



**Ansøgning
til Nordjyllands amt
vedrørende
tilladelse til udførelse af**

Projektet:

**”Afdækning af støjvold med forskellige typer sortjord
baseret på blanding af slam
fra Aars renseanlæg og mineralsk materiale”**

Aars Kommune: Bent Skærlund
VKI: Peter Andreasen
 Peer Bo Mortensen

Revideret den 5. Januar 1999

Indledning

VKI har i samarbejde med Aars Kommune gennemført nogle forsøg med opblanding af renselanlægsslam med mineralsk materiale (sand og grus) og dermed dannet et næringsrigt jordmateriale ”sortjord”. Formålet har været at vurdere sortjordens brugbarhed som vækstmedie og dermed til afdækning af overfladejord med ringe næringsværdi.

Projektet har indeholdt følgende:

- Lagringsforsøg af sortjordsstakke
- Laboratorieforsøg
- Markforsøg – pilotforsøg i forsøgspareller

Den blandede sortjord, som består af ca. 1 del slam og 2 dele sand, bliver lagret i containere på Aars Renselanlæg, hvorefter det er udlagt i forsøgspareller. Under lagringen er der sket en omsætning af organisk stof og næringsstoffer, som er blevet fulgt i lagerstakkene over en ca. 4-måneders periode.

Laboratorieforsøgene er udført for at give informationer om den mulige udvaskning af næringsstoffer og ændringen i stofpuljerne under en lagringsperiode under kendte temperaturforhold.

Efter lagringen i stakkene er sortjorden udlagt på forsøgspareller, hver med en størrelse på ca. 1,5mx1,5m i forsøgsområdet:

Aarsegnens Jagtforenings lerdueskydningsbane
Plantagevej 8, matr.nr. 4 d og 4 l
Tolstrup By, Aars.

Sortjorden er udlagt i en dybde på ca. 20 cm . I parcellerne følges udviklingen af org. stof og etablering af vegetation i form af græs og buske i de forskellige parceller.

Disse forsøg er afsluttet i efteråret 1998.

Undersøgelserne viser:

- At der kan opnås produkter, der har egenskaber som jordmedie og er anvendelige som overjord. Græs producerer eksempelvis 15 så meget biomasse i sort jord sammenlignet med vækst i ikke gødet sand og ler.
- At udsivningen fra lagerstakkene er lille, og at regn hovedsagelig afstrømmer fra overfladen i forbindelse med nedbør.
- At jordens evne til at holde på vand øges væsentligt, hvilket modvirker udtørring.
- At den mineralske fraktion fremmer omsætningen af det organiske stof og udtørringen af mediet.

- At der er behov for yderligere erfaring mht. blandingsmedier og blandingsforhold, samt praktisk erfaring med sortjord.

Projektbeskrivelse

Anvendelse af erfaringerne fra forsøg med afdækning

På baggrund af ovenstående resultater og det faktum, at der er stort behov for at skaffe alternative afsætningsmuligheder for slammet fra Aars Renseanlæg, foreslås det, at der iværksættes storskalaforsøg med blandinger af slammet fra Aars Renseanlæg med forskellige medier til udlægning på den fremtidige støjvold, som er etableret på den nedlagte losseplads "Aarsegnens Jagtforenings Lerdueskydebane". Pladsen er forsøgssted i forbindelse med ovennævnte projekt. Støjvolden, som er bygget op af råjord fra forskellige udgravninger m.m. skal beplantes, og sortjorden vil kunne forbedre plantevæksten og erstatte kunstgødning. Råjorden er af blandet karakter og generelt med en dårlig bonitet og ikke forurennet. Erfaringer fra afdækningen kan anvendes i forbindelse med andre anvendelser af sortjord fx anlægsarbejder, motorveje og den resterende plads, som skal beplantes. Aars Kommune har ansat en miljømedarbejder, som blandt andet skal opsamle erfaringerne fra fuldskalaforsøget.

Projektbeskrivelse

Projektet vil indeholde en fremstilling af sortjordsblandinger, hvor:

- forholdet mellem slam og sand varieres, med udgangspunkt i det materiale, som er fremstillet i det tidligere projekt dvs. slam:grus/sand i forholdet 1:2.
- fremstilling af sortjordsblandinger, hvori der blandes jord fra lokaliteten i forskellige forhold.

Der vil blive foretaget afdækning af en mindre del af støjvolden med den type sortjordsmateriale (blandingsforhold slam:sand på 1:2), som blev fremstillet i det tidligere projekt.

Blandingsprodukterne (sortjorden) udlægges i stakke til modning på lossepladsen frem til foråret, hvorefter det udlægges på støjvolden i en dybde på mellem 20 – 50 cm.

I forbindelse med projektet vil der kræves lagringsplads for de forskellige sortjordsprodukter. Det foreslås at stakkene udlægges til modning på den eksisterende skydebane, hvor de eksisterende parceller allerede nu er etableret.

Projektet kræver transport af slam og grus fra Aars Renseanlæg og grusgrav til Lossepladsen. Iblanding af grus/sand og jordmateriale med slam på lossepladsen ved brug af maskiner. Herudover skal der gøres plads til lagerstakke, der skal modne frem til foråret 1999. Der skal ske en vending for beluftning af stakkene.

De benyttede materialer vil være:

- Kalkbehandlet slam fra Aars Renseanlæg
- Jord/sand fra lossepladsen, restjord fra vejanlæg, byggemodninger, kloakanlæg mv.
- Sand/grus fra nærliggende grusgrav

Indhold af forurenende stoffer

Mineralsk materiale

Det tilførte materiale til støjvolden er i princippet ren råjord, der kommer fra mange forskellige dele af kommunen i forbindelse med vejanlæg, byggemodninger og kloakanlæg. Materialet er derfor meget inhomogent. Da jorden af det tilkørte materiale pr. definition ikke er forurennet, er der således ikke foretaget analyser af denne.

Slam

I tabel 1 er vist analysedata for de seneste 2 analyserunder på slammet fra Aars Renseanlæg. Det fremgår af tabellen, at der generelt ingen overskridelse er af kravværdierne med undtagelse af cadmium, der ligger omkring kravværdien ved de to målerunder.

Parameter	Enhed	Måling d. 26.2.98	Måling d. 1.4.-4.6.98	Kravværdi Slambekendtgørelsen
pH		12,1	12,4	
Tørstof	%	26,0	26,4	
Ammonium-ammoniak-N	mg/kg ts	1750	3800	
Total-N	mg/kg ts	34800	40000	
Total-P	mg/kg ts	13400	17600	
Bly	mg/kg ts	9	14	120
Bly	mg/kg TP	650	790	10000
Cadmium	ug/kg ts	860	740	800
Cadmium	mg/kg TP	65	42	200
Chrom	mg/kg ts	7,0	7,1	100
Kobber	mg/kg ts	71	94	1000
Kviksølv	mg/kg ts	0,20	0,37	0,80
Kviksølv	mg/kg TP	15	21	200
Nikkel	mg/kg ts	4,0	9,3	30
Nikkel	mg/kg TP	300	530	2500
Zink	mg/kg ts	140	200	4000
DEHP	mg/kg ts	3,1	3,7	100
LAS	Mg/kg ts	410	340	2600
Nonylphenol	Mg/kg ts	2,9	1,3	50
Sum af 9 PAH	Mg/kg ts	0,7	0,4	6,0

Tabel 1: Analyseresultater af slam fra Aars Renseanlæg, samt gældende kravværdier i slam og de anslåede mængder af miljøbelastende stoffer, som forventes i det slutprodukt, som udlægges som overjord på støjvolden.

pH er høj (> 12 pH enheder), hvilket skyldes, at der tilsættes kalk til slammet. Kalktilsætningen medfører, at slammet har et højt tørstofindhold, samt en hygiejnisering. Desuden gør kalken, at slammet ikke har væsentlige lugtgener. Der vil blive anvendt slam, som ikke har nogen smitterisiko (kontrolleret hygiejniseret).

Sortjordsmateriale

I tabel 2 er angivet koncentrationerne i den lagrede sortjord, beregnet ud fra kendskabet til udgangsmaterialet (tabel 1), opblanding i mineralsk materiale og forsøgene foretaget i det tidligere udførte projekt for Miljøstyrelsen ”Genanvendelse af slam til organisk rig overfladejord”. Ved beregningerne af metalindholdet i sortjorden er der benyttet en del slam-tørstof til 7 dele sand/grus tørstof. Denne er bestemt på baggrund af forholdet mellem total-P i slam og sortjordsproduktet, der er blandet med sand.

Parameter	Enhed	Koncentration i sortjordsprodukt	Ringkøbing Amt uforurennet jord	Slambekendtgørelsens jordkvalitetskriterier	#Klasse 1 ren jord	#Klasse 2 lettere forurennet jord
pH		8				
Tørstof	%	70				
Ammonium-ammoniak-N	mg/kg ts	50				
Total-N	mg/kg ts	2000				
Total-P	mg/kg ts	1700				
Bly	mg/kg ts	32	< 35	40	< 40	< 120
Bly	mg/kg TP	700				
Cadmium	mg/kg ts	0,36	< 0,3	0,5	< 0,5	< 1
Cadmium	mg/kg TP	50				
Chrom	mg/kg ts	20	< 23	30	< 100	< 200
Kobber	mg/kg ts	30	< 22	40	< 200	< 500
Kviksølv	mg/kg ts	0,1	< 0,1	0,5	< 0,3	< 0,5
Kviksølv	mg/kg TP	20				
Nikkel	mg/kg ts	10	< 10,3	15	< 15	< 40
Nikkel	mg/kg TP	400				
Zink	mg/kg ts	80	< 68	100	< 300	< 500
DEHP	mg/kg ts	Ca. 0				
LAS	mg/kg ts	Ca. 0				
Nonylphenol	mg/kg ts	Ca. 0				
Sum af 9 PAH	mg/kg ts	<0,1				

⊠ Administrationsgrundlag for anvendelse af forurennet jord på lossepladser, Ringkøbing amt - Miljøkontoret april 1995, # Forurennet og rensset jord på Sjælland og Lolland-Falster, vejledning i håndtering og bortskaffelse af forurennet jord på Sjælland og Lolland-Falster samt Frederiksberg og Københavns kommuner og – Februar 1997.

Tabel 2: Anslåede værdier og koncentrationer i sortjordsproduktet ved udlægning på støjvold efter modning, sammenlignet med grænseværdier fra Ringkøbing Amt for ikke forurennet jord, der kan anvendes uden begrænsninger på lossepladsen, Slambekendtgørelsens øvre grænseværdier samt de øvre grænse-

værdier for metaller i jord fra Sjælland og Fyn. I beregningerne er anvendt metalkoncentrationer for den mineralske jord, som for Ringkøbings rene jord. For de 4 sidste organiske parametre regnes den uforurenede jord som uden indhold af disse komponenter. Desuden nedbrydes de 3 første aerobt, hvorfor de sættes som ca. 0 mg/kg ts i sort jordsproduktet. 50% af kvælstofet denitrificeres eller fordamper under lagringsprocessen.

Af tabellen fremgår, at tungmetalindholdet for alle de angivne stoffer overholder grænseværdierne for, hvad der betragtes som ren jord og Slambekendtgørelsens jordkvalitetskriterier. I forhold til tungmetalindholdet er der således ingen problemer med at udlægge materialet på støjvolden. De organiske parametre er ubetydeligt lave.

Mængder

Det er målt, at støjvolden har en længde på ca. 105 m og en højde på 5 m, som skal afdækkes på begge sider, samt på et 2 m bredt bælte på toppen. Hvis der regnes med en bredde af skråningen på ca. 6,5 m, svarer dette til et areal på ca. 2000 m². Hvis der endvidere regnes med, at der skal udlægges et sortjordslag på til 50 cm's dybde på begge sider af støjvolden, vil det svare til et samlet forbrug af sortjord på op knapt 1000 m³. Hvis der groft regnes med et blandingsforhold på mellem 1:2, vil der til afdækning af hele volden skulle bruges af størrelsesordenen 350 m³, slam fra Aars Renseanlæg til produktion af sort jord til afdækning af støjvolden.

Risikovurdering

Pladsen bruges til skydeøvelser og hundedressur. Der er ikke almindelig offentlig adgang til arealet. Der er ikke grundvandsinteresser i området. Området ligger endvidere langt fra bymæssig bebyggelse.

Der vurderes ikke at være risiko for hverken dyr eller mennesker, da slammet er kontrolleret hygiejniseret, og med hensyn til metaller er afdækningen sammenlignelig med ren jord. Der vil ikke forekomme lugtgener i forbindelse med lagring eller udspredning, da slammet er kalkbehandlet, og den færdige sortjord lugter jordagtig.

Slam, sand, grus og råjord udlægges i dag på eksisterende jord og må generelt betragtes, som værende uden miljømæssige problemer.

Undersøgelser af sortjorden i det ovenfor nævnte sortjordsprojekt indikerer endvidere, at der sker en ringe udvaskning af næringsstoffer og organisk stof fra sortjorden under lagringsperioden. En nedsivning af nitrat fra stakkene under lagringen og efter indbygningen i støjvolden vil blive opfanget i lossepladsen. På grund af den store mængde organisk stof, som findes i lossepladsen og de anaerobe forhold, som vil eksistere i dette organiske lag, må det forventes at det nedsivende nitrat vil blive denitrificeret og således ikke øge nitratindholdet i grundvandet under lossepladsen.

Tilladelser

Nordjyllands Amt har tidligere givet følgende tilladelser:

Ved brev af 19. november 1997 er der givet tilladelse fra Nordjyllands Amt til at anvende forurennet jord til indbygning på skydebanens støjvold.

Ved brev af 19. marts 1998 tilladelse til at foretage forsøg med anvendelse af slam ved reetablering af landområder (sortjord på den aktuelle losseplads) .



**Ansøgning
til Nordjyllands amt
vedrørende
tilladelse til udførelse af**

Projektet:

**”Afdækning af støjvold med forskellige typer sortjord
baseret på blanding af slam
fra Aars renselanlæg og mineralsk materiale”**

Aars Kommune: Bent Skærlund
VKI: Peter Andreasen
 Peer Bo Mortensen

Revideret den 5. Januar 1999

Indledning

VKI har i samarbejde med Aars Kommune gennemført nogle forsøg med opblanding af renselanlægsslam med mineralsk materiale (sand og grus) og dermed dannet et næringsrigt jordmateriale ”sortjord”. Formålet har været at vurdere sortjordens brugbarhed som vækstmedie og dermed til afdækning af overfladejord med ringe næringsværdi.

Projektet har indeholdt følgende:

- Lagringsforsøg af sortjordsstakke
- Laboratorieforsøg
- Markforsøg – pilotforsøg i forsøgspareller

Den blandede sortjord, som består af ca. 1 del slam og 2 dele sand, bliver lagret i containere på Aars Renselanlæg, hvorefter det er udlagt i forsøgspareller. Under lagringen er der sket en omsætning af organisk stof og næringsstoffer, som er blevet fulgt i lagerstakkene over en ca. 4-måneders periode.

Laboratorieforsøgene er udført for at give informationer om den mulige udvaskning af næringsstoffer og ændringen i stofpuljerne under en lagringsperiode under kendte temperaturforhold.

Efter lagringen i stakkene er sortjorden udlagt på forsøgspareller, hver med en størrelse på ca. 1,5mx1,5m i forsøgsområdet:

Aarsegnens Jagtforenings lerdueskydningsbane
Plantagevej 8, matr.nr. 4 d og 4 l
Tolstrup By, Aars.

Sortjorden er udlagt i en dybde på ca. 20 cm . I parcellerne følges udviklingen af org. stof og etablering af vegetation i form af græs og buske i de forskellige parceller.

Disse forsøg er afsluttet i efteråret 1998.

Undersøgelserne viser:

- At der kan opnås produkter, der har egenskaber som jordmedie og er anvendelige som overjord. Græs producerer eksempelvis 15 så meget biomasse i sort jord sammenlignet med vækst i ikke gødet sand og ler.
- At udsivningen fra lagerstakkene er lille, og at regn hovedsagelig afstrømmer fra overfladen i forbindelse med nedbør.
- At jordens evne til at holde på vand øges væsentligt, hvilket modvirker udtørring.
- At den mineralske fraktion fremmer omsætningen af det organiske stof og udtørringen af mediet.

- At der er behov for yderligere erfaring mht. blandingsmedier og blandingsforhold, samt praktisk erfaring med sortjord.

Projektbeskrivelse

Anvendelse af erfaringerne fra forsøg med afdækning

På baggrund af ovenstående resultater og det faktum, at der er stort behov for at skaffe alternative afsætningsmuligheder for slammet fra Aars Renseanlæg, foreslås det, at der iværksættes storskalaforsøg med blandinger af slammet fra Aars Renseanlæg med forskellige medier til udlægning på den fremtidige støjvold, som er etableret på den nedlagte losseplads "Aarsegnens Jagtforenings Lerdueskydebane". Pladsen er forsøgssted i forbindelse med ovennævnte projekt. Støjvolden, som er bygget op af råjord fra forskellige udgravninger m.m. skal beplantes, og sortjorden vil kunne forbedre plantevæksten og erstatte kunstgødning. Råjorden er af blandet karakter og generelt med en dårlig bonitet og ikke forurennet. Erfaringer fra afdækningen kan anvendes i forbindelse med andre anvendelser af sortjord fx anlægsarbejder, motorveje og den resterende plads, som skal beplantes. Aars Kommune har ansat en miljømedarbejder, som blandt andet skal opsamle erfaringerne fra fuldskalaforsøget.

Projektbeskrivelse

Projektet vil indeholde en fremstilling af sortjordsblandinger, hvor:

- forholdet mellem slam og sand varieres, med udgangspunkt i det materiale, som er fremstillet i det tidligere projekt dvs. slam:grus/sand i forholdet 1:2.
- fremstilling af sortjordsblandinger, hvori der blandes jord fra lokaliteten i forskellige forhold.

Der vil blive foretaget afdækning af en mindre del af støjvolden med den type sortjordsmateriale (blandingsforhold slam:sand på 1:2), som blev fremstillet i det tidligere projekt.

Blandingsprodukterne (sortjorden) udlægges i stakke til modning på lossepladsen frem til foråret, hvorefter det udlægges på støjvolden i en dybde på mellem 20 – 50 cm.

I forbindelse med projektet vil der kræves lagringsplads for de forskellige sortjordsprodukter. Det foreslås at stakkene udlægges til modning på den eksisterende skydebane, hvor de eksisterende parceller allerede nu er etableret.

Projektet kræver transport af slam og grus fra Aars Renseanlæg og grusgrav til Lossepladsen. Iblanding af grus/sand og jordmateriale med slam på lossepladsen ved brug af maskiner. Herudover skal der gøres plads til lagerstakke, der skal modne frem til foråret 1999. Der skal ske en vending for beluftning af stakkene.

De benyttede materialer vil være:

- Kalkbehandlet slam fra Aars Renseanlæg
- Jord/sand fra lossepladsen, restjord fra vejanlæg, byggemodninger, kloakanlæg mv.
- Sand/grus fra nærliggende grusgrav

Indhold af forurenende stoffer

Mineralsk materiale

Det tilførte materiale til støjvolden er i princippet ren råjord, der kommer fra mange forskellige dele af kommunen i forbindelse med vejanlæg, byggemodninger og kloakanlæg. Materialet er derfor meget inhomogent. Da jorden af det tilkørte materiale pr. definition ikke er forurennet, er der således ikke foretaget analyser af denne.

Slam

I tabel 1 er vist analysedata for de seneste 2 analyserunder på slammet fra Aars Renseanlæg. Det fremgår af tabellen, at der generelt ingen overskridelse er af kravværdierne med undtagelse af cadmium, der ligger omkring kravværdien ved de to målerunder.

Parameter	Enhed	Måling d. 26.2.98	Måling d. 1.4.-4.6.98	Kravværdi Slambekendtg ørelsen
pH		12,1	12,4	
Tørstof	%	26,0	26,4	
Ammonium- ammoniak-N	mg/kg ts	1750	3800	
Total-N	mg/kg ts	34800	40000	
Total-P	mg/kg ts	13400	17600	
Bly	mg/kg ts	9	14	120
Bly	mg/kg TP	650	790	10000
Cadmium	ug/kg ts	860	740	800
Cadmium	mg/kg TP	65	42	200
Chrom	mg/kg ts	7,0	7,1	100
Kobber	mg/kg ts	71	94	1000
Kviksølv	mg/kg ts	0,20	0,37	0,80
Kviksølv	mg/kg TP	15	21	200
Nikkel	mg/kg ts	4,0	9,3	30
Nikkel	mg/kg TP	300	530	2500
Zink	mg/kg ts	140	200	4000
DEHP	mg/kg ts	3,1	3,7	100
LAS	Mg/kg ts	410	340	2600
Nonylphenol	Mg/kg ts	2,9	1,3	50
Sum af 9 PAH	Mg/kg ts	0,7	0,4	6,0

Tabel 1: Analyseresultater af slam fra Aars Renseanlæg, samt gældende kravværdier i slam og de anslåede mængder af miljøbelastende stoffer, som forventes i det slutprodukt, som udlægges som overjord på støjvolden.

pH er høj (> 12 pH enheder), hvilket skyldes, at der tilsættes kalk til slammet. Kalktilsætningen medfører, at slammet har et højt tørstofindhold, samt en hygiejnisering. Desuden gør kalken, at slammet ikke har væsentlige lugtgener. Der vil blive anvendt slam, som ikke har nogen smitterisiko (kontrolleret hygiejniseret).

Sortjordsmateriale

I tabel 2 er angivet koncentrationerne i den lagrede sortjord, beregnet ud fra kendskabet til udgandmaterialet (tabel 1), opblanding i mineralsk materiale og forsøgene foretaget i det tidligere udførte projekt for Miljøstyrelsen ”Genanvendelse af slam til organisk rig overfladejord”. Ved beregningerne af metalindholdet i sortjorden er der benyttet en del slamtørstof til 7 dele sand/grus tørstof. Denne er bestemt på baggrund af forholdet mellem total-P i slam og sortjordsproduktet, der er blandet med sand.

Parameter	Enhed	Koncentration i sortjordsprodukt	Ringkøbing Amt uforurennet jord	Slambekendtgørelsens jordkvalitetskriterier	#Klasse 1 ren jord	#Klasse 2 lettere forurennet jord
pH		8				
Tørstof	%	70				
Ammonium-ammoniak-N	mg/kg ts	50				
Total-N	mg/kg ts	2000				
Total-P	mg/kg ts	1700				
Bly	mg/kg ts	32	< 35	40	< 40	< 120
Bly	mg/kg TP	700				
Cadmium	mg/kg ts	0,36	< 0,3	0,5	< 0,5	< 1
Cadmium	mg/kg TP	50				
Chrom	mg/kg ts	20	< 23	30	< 100	< 200
Kobber	mg/kg ts	30	< 22	40	< 200	< 500
Kviksølv	mg/kg ts	0,1	< 0,1	0,5	< 0,3	< 0,5
Kviksølv	mg/kg TP	20				
Nikkel	mg/kg ts	10	< 10,3	15	< 15	< 40
Nikkel	mg/kg TP	400				
Zink	mg/kg ts	80	< 68	100	< 300	< 500
DEHP	mg/kg ts	Ca. 0				
LAS	mg/kg ts	Ca. 0				
Nonylphenol	mg/kg ts	Ca. 0				
Sum af 9 PAH	mg/kg ts	<0,1				

⊠ Administrationsgrundlag for anvendelse af forurennet jord på lossepladser, Ringkøbing amt - Miljøkontoret april 1995, # Forurennet og rensset jord på Sjælland og Lolland-Falster, vejledning i håndtering og bortskaffelse af forurennet jord på Sjælland og Lolland-Falster samt Frederiksberg og Københavns kommuner og – Februar 1997.

Tabel 2: Anslåede værdier og koncentrationer i sortjordsproduktet ved udlægning på støjvold efter modning, sammenlignet med grænseværdier fra Ringkøbing Amt for ikke forurennet jord, der kan anvendes uden begrænsninger på lossepladsen, Slambekendtgørelsens øvre grænseværdier samt de øvre

grænseværdier for metaller i jord fra Sjælland og Fyn. I beregningerne er anvendt metalkoncentrationer for den mineralske jord, som for Ringkøbing's rene jord. For de 4 sidste organiske parametre regnes den uforurenede jord som uden indhold af disse komponenter. Desuden nedbrydes de 3 første aerobt, hvorfor de sættes som ca. 0 mg/kg ts i sort jordsproduktet. 50% af kvælstoffet denitrificeres eller fordamper under lagringsprocessen.

Af tabellen fremgår, at tungmetalindholdet for alle de angivne stoffer overholder grænseværdierne for, hvad der betragtes som ren jord og Slambekendtgørelsens jordkvalitetskriterier. I forhold til tungmetalindholdet er der således ingen problemer med at udlægge materialet på støjvolden. De organiske parametre er ubetydeligt lave.

Mængder

Det er målt, at støjvolden har en længde på ca. 105 m og en højde på 5 m, som skal afdækkes på begge sider, samt på et 2 m bredt bælte på toppen. Hvis der regnes med en bredde af skråningen på ca. 6,5 m, svarer dette til et areal på ca. 2000 m². Hvis der endvidere regnes med, at der skal udlægges et sortjordslag på til 50 cm's dybde på begge sider af støjvolden, vil det svare til et samlet forbrug af sortjord på op knapt 1000 m³. Hvis der groft regnes med et blandingsforhold på mellem 1:2, vil der til afdækning af hele volden skulle bruges af størrelsesordenen 350 m³, slam fra Aars Renseanlæg til produktion af sort jord til afdækning af støjvolden.

Risikovurdering

Pladsen bruges til skydeøvelser og hundedressur. Der er ikke almindelig offentlig adgang til arealet. Der er ikke grundvandsinteresser i området. Området ligger endvidere langt fra bymæssig bebyggelse.

Der vurderes ikke at være risiko for hverken dyr eller mennesker, da slammet er kontrolleret hygiejniseret, og med hensyn til metaller er afdækningen sammenlignelig med ren jord. Der vil ikke forekomme lugtgener i forbindelse med lagring eller udspredning, da slammet er kalkbehandlet, og den færdige sortjord lugter jordagtig.

Slam, sand, grus og råjord udlægges i dag på eksisterende jord og må generelt betragtes, som værende uden miljømæssige problemer.

Undersøgelser af sortjorden i det ovenfor nævnte sortjordsprojekt indikerer endvidere, at der sker en ringe udvaskning af næringsstoffer og organisk stof fra sortjorden under lagringsperioden. En nedsivning af nitrat fra stakkene under lagringen og efter indbygningen i støjvolden vil blive opfanget i lossepladsen. På grund af den store mængde organisk stof, som findes i lossepladsen og de anaerobe forhold, som vil eksistere i dette organiske lag, må det forventes at det nedsivende nitrat vil blive denitrificeret og således ikke øge nitratinholdet i grundvandet under lossepladsen.

Tilladelser

Nordjyllands Amt har tidligere givet følgende tilladelser:

Ved brev af 19. november 1997 er der givet tilladelse fra Nordjyllands Amt til at anvende forurennet jord til indbygning på skydebanens støjvold.

Ved brev af 19. marts 1998 tilladelse til at foretage forsøg med anvendelse af slam ved reetablering af landområder (sortjord på den aktuelle losseplads) .

AARS KOMMUNE

TEKNISK FORVALTNING



RÅDHUSET

Himmerlandsgade 27, 9600 Aars
Telefon 96 98 12 00 Giro 8 04 86 06
Telefax 96 98 13 48

Nordjyllands Amt
Natur- og Miljøkontoret
Niels Bohrs vej 30
Postboks 8300
9220 Aalborg Øst

Att.: Iona Hyldal

Reference	Lokal nr.	Deres journal nr.	Journal nr.	Dato
JS/js	98623578		t1020399	3. marts 1999

Vedr.: Ansøgning om etablering af permanent modningsplads for sortjord

Med henvisning til telefonsamtale den 2. marts fremsendes herved beskrivelse af modningsforløbet inkl. kort samt kopi af kommuneplanen for området (bilag 2).

Selve modningspladsen, som der søges tilladelse til, vil blive placeret på det skraverede område på vedlagte kort, se bilag 1.

Første gang pladsen anvendes forventes forløbet at være som beskrevet herefter:

På det skraverede område vil der blive etableret 5 miler med følgende ca. dimensioner:

- 1 stk. der er 0,25 m høj, 12 m bred og 25 m lang
- 1 stk. der er 0,50 m høj, 12 m bred og 50 m lang
- 1 stk. der er 0,75 m høj, 12 m bred og 50 m lang
- 1 stk. der er 1 m høj, 12 m bred og 50 m lang
- 1 stk. 1,5 m høj, 12 m bred og 25 m lang

Da projektet stadig er i en forsøgsfase kan milernes udseende godt blive lidt anderledes, men det vurderes ikke realistisk, at de skal være højere end maksimalt 1,5 m, da modningsprocessen derved ville blive for langsom.

Bredden på milerne er sat efter, at det forventes at milerne skal fremstilles ved hjælp af en combi-spreder, der har en spredevidde på ca. 12 m.

Længden på milerne er sat efter at de kan ligge i 2-3 rækker parallelt med den etablerede støjvold.

Hvis modningsprocessen bliver for langsom i de høje miler vil det være nødvendigt at dele dem ud i nogle lavere.

Med de anslåede milestørrelser vil der kunne fremstilles ca. 1875 m³ sortjord.

Åbningstid:	mandag - torsdag	10.00 - 14.00	torsdag	15.30 - 17.00	fredag	10.00 - 13.00
Telefontid:	mandag - torsdag	08.00 - 15.30	torsdag	15.30 - 17.15	fredag	08.00 - 14.00

