



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Nedbrytningsforhold på gravplasser

En sammenfatning av faglig kunnskap og NIBIOs konsultasjonsgrunnlag for egnet jord til kistegraver våren 2020

NIBIO RAPPORT | VOL. 6 | NR. 70 | 2020



Inghild H. Økland & Trond Knapp Haraldsen

Divisjon Miljø og naturressurser, avdeling Grøntanlegg og vegetasjonsøkologi

TITTEL/TITLE
Nedbrytningsforhold på gravplasser. En sammenfatning av faglig kunnskap og NIBIOs konsultasjonsgrunnlag for egnet jord til kistegraver våren 2020.

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)
Inghild H. Økland og Trond Knapp Haraldsen

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
28.05.2020	6 (70) 2020	Åpen	51412	20/00159
ISBN:		ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:
978-82-17-02583-2		2464-1162	28	Ingen

OPPDRAAGSGIVER/EMPLOYER:
Styringsgruppe for prosjekt *Egnet jord til kistegraver*

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:
Eirik Stople

STIKKORD/KEYWORDS:
Kistegrav, nedbrytning, likvoks, jordtype, jordblandinger
Coffin grave, decomposition, adipocere, soil type, soil mixtures

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:
Jordfag
Soil science

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Prosjektet «Egnet jord til kistegraver» har som mål å finne korrelasjon og sammenhenger mellom god nedbrytning av kiste med innhold, og ulike jordtyper. Denne rapporten sammenstiller faggrunnlag og erfaringer per våren 2020. Rapporten tar for seg krav fra Gravferdsforskriften, dagens kunnskap om bevaring og nedbrytning av menneskekroppen, jordfaglig kunnskap som påvirker funksjon i kistegravjord, empirisk kunnskap og NIBIOs erfaringer fra tidligere prosjekter, og dagens anbefalinger. Rapporten konkluderer med muligheter og utfordringer fremover relatert til klima, praktisk gjennomføring av gravplassoppbygging, og behovet for videre arbeid innen fagområdet.

The project "Egnet jord for kistegraver" aims to find correlations and the impact of varied soil types on good degradation of coffin with human remains. This report aims to summarize scientific and empirical knowledge per spring 2020. The report includes demands from Gravferdsforskriften, today's knowledge of conservation and degradation of the human body, soil scientific knowledge which influences function of coffin graves, empirical knowledge and NIBIO's experience from previous projects and the standing recommendations. The report concludes with possibilities and challenges in the future regarding climate, practical implementation in building cemeteries, and the need of future research within this theme.

LAND/COUNTRY: Norge
FYLKE/COUNTY: Trøndelag, Møre og Romsdal, Viken, Rogaland
KOMMUNE/MUNICIPALITY:
STED/LOKALITET:

GODKJENT /APPROVED


HÅKON BORCH

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

INGHILD HALVORSEN ØKLAND



NIBIO
NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Innhold

1	Bakgrunn	4
2	Dagens lover og forskrifter	5
3	Teori om nedbrytning og bevaring av menneskekroppen	6
3.1	Oppsummering av dagens kunnskap om nedbrytning av menneskekroppen	6
3.2	Mer inngående oppsummering av dagens kunnskap om nedbrytning og bevaring av menneskekroppen	7
3.2.1	Temperatur	7
3.2.2	Oksygentilgang	7
3.2.3	Fuktighet	8
3.2.4	pH og kalking	8
3.2.5	Biologisk aktivitet	9
3.2.6	Iboende egenskaper hos den avdøde	9
3.2.7	Gravlegging	10
3.2.8	Jordtype	11
4	Jordfaglig kunnskap – jordfysikk og jordliv	13
4.1	Jordtekstur og -struktur	13
4.2	Biologisk aktivitet	14
5	Erfaringer fra tidligere prosjekter	16
5.1	Generelle erfaringer	16
5.2	Havstein	17
5.3	Tiller	18
5.4	Charlottenlund	19
5.4.1	Bakgrunn	19
5.4.2	Grøntanlegg	19
5.4.3	Kistegravfelt	20
5.5	Høyenholm på Jeløya, Moss	20
5.6	Hafslund, utvidelse av gravplass	21
5.7	Røbekk gravplass, Molde	24
5.8	Varhaug og Nærbø	25
6	Dagens anbefalinger	28
6.1	Drenering	28
6.2	Jordsmonn	30
6.3	Anbefalinger	30
7	Muligheter, utfordringer og konklusjoner	32
7.1	Klima	32
7.2	Egnede jordblandinger og praktiske utfordringer	32
7.3	Videre arbeid	33
8	Referanser	34

1 Bakgrunn

Prosjektet «Egnet jord til kistegraver» har som mål å finne sammenhenger mellom god nedbrytning av kiste med innhold, og ulike jordtyper. En bedre forståelse av prosessene og avgjørende faktorer for nedbrytning vil danne et tryggere bestemmelsesgrunnlag for valg av jordblandinger til gravplasser, og er derfor viktig for gravplassforvaltningen fremover. Da prosjektet skal prøve å fylle noe av det faglige tomrommet innen temaet, er det viktig å ta utgangspunkt i de erfaringer og kunnskap som foreligger, som sammenstilles i denne rapporten. Det er viktig å være klar over at kunnskapsgrunnlaget på dette området er mangelfullt. Det har imidlertid vært et ønske om å få presentert det som finnes av kunnskap framfor å vente på resultater av mer omfattende undersøkelser.

2 Dagens lover og forskrifter

Dagens lover og forskrifter for gravlegging fordrer følgende:

- En grav kan nyttes til ny gravlegging når det har gått minst 20 år siden siste gravlegging og vedtektene for gravplassen ikke fastsetter en lengre fredningstid (Gravferdloven § 8).
- Tidligere benyttet grav kan bare brukes på nytt når det ikke finnes annet enn grove knokler og kisterester etter tidligere gravlegging. Slike rester skal graves ned i bunnen av graven før ny gravlegging (Gravferdsforskriften § 12).
- Høyeste grunnvannsstand i gravfelt skal ligge minst 0,3 meter under kiste eller urne. Drensledninger i gravfelt skal legges i egen trasé av minst 1 meters bredde mellom gravrekkene (Gravferdsforskriften § 8).
- I planleggingsfasen av en gravplass må det utarbeides en geoteknisk vurdering, som skal inneholde undersøkelse av jordbunnen som redegjør for jorddybder, kornfordeling og grunnvannsnivå (Gravferdsforskriften § 3).

Forskriften krever at gode nedbrytningsprosesser har funnet sted ved gjenbruk av graver, og har spesifikke krav til drenering og grunnvann. Da forskriften ikke spesifiserer andre forhold som jordtype eller organisk materiale i jorden, blir vurderinger og valg av disse lagt til det enkelte utbyggings- eller masseutskiftningsprosjekt. Det fører til svært varierte løsninger og grad av funksjonalitet. Gravens funksjon, utover å være et sted for pårørende å gå til, er nedbrytning av menneskekroppen innen fredningstiden på 20 år har utløpt. Massene må gi stabile gravvegger til begravelsen, og deretter legge til rette for nedbrytning og et fint grøntanlegg for gravfeltet.

3 Teori om nedbrytning og bevaring av menneskekroppen

3.1 Oppsummering av dagens kunnskap om nedbrytning av menneskekroppen

Det er gjort svært mange studier på bevaring av menneskekroppen i forbindelse med rettsmedisin, slik at dannelse og nedbrytning av likvoks (adipocere), av den grunn er godt studert. Nedbrytning av menneskekroppen er den andre siden av mynten for dette temaet. Det er over flere år gjennomført eksperimentelle studier på nedbrytning og nedbrytningsfaktorer, som viser at mange ytre faktorer som temperatur, fuktighet, biologisk aktivitet og typen bakterier, pH og oksygentilgang er viktige i prosessen. I tillegg vil iboende forhold i det som gravlegges, som fettprosent, alder, kjønn, klær av syntetisk eller naturlig fiber og kistemateriale virke inn på nedbrytningsgrad. En faktor som har vært lite i fokus og blitt lite studert er jordtype. Jordtype er med på å bestemme mange av de overnevnte ytre faktorene, fordi vann og luft vil bevege seg forskjellig i ulike typer jord, og biologisk jordaktivitet er avhengig av levestedet og næringstilgangen i jorden. Dette gjør at jordtype blir en kritisk faktor for gravfunksjon.

Kort oppsummert vises det at gravinnholdet brytes ned ved følgende prosesser:

- Bløtdeler – rask nedbrytning ved aerobe prosesser (biologisk aktivitet) og optimal fuktighet. For høy fuktighet gir anaerobe forhold og for lite gjør at prosessene stopper opp.
- Bein – kjemisk forvitring og oppløsning. Krever surt miljø for rask oppløsning (jfr. studier av oppløsning av kjøttbeinmel).
- Treverk i kiste – langsom nedbrytning, hovedsakelig av sopper (råtesopper) ved aerob nedbrytning.
- Tekstiler – rask aerob nedbrytning av naturlige fiber som bomull, ull, lin og lignende. Meget langsom nedbrytning av kunststoffer som polyester, nylon og lignende.

Ut ifra overnevnt kunnskap, bør gravjord legges til rette for god biologisk aktivitet med aerobe prosesser hos bakterier og råtesopper, og ha pH i den sure delen av spekteret ($\text{pH} < 7$).

3.2 Mer inngående oppsummering av dagens kunnskap om nedbrytning og bevaring av menneskekroppen

3.2.1 Temperatur

Temperatur etter død og før gravlegging påvirker nedbrytning. Lave temperaturer hindrer eller forsinker de første prosessene, og ved temperaturer under -5 °C stopper prosessene opp (Fielder & Graw, 2003). Forbes *et al.* (2005a) fant at nedbrytningsprosessene begrenses ved 4°C, mens et miljø på 40 °C genererte en liten mengde likvoks. Årstid ved gravlegging vil derfor påvirke nedbrytning, som det kommer fram fra reviewartikkelen av Fielder & Graw (2003), basert på Evans (1963a), Mant (1987) og Morovic-Budak (1965). Likvoks fremkommer oftere når den avdøde gravlegges på høsten og vinteren sammenlignet med vår- og sommermånedene, og nedbrytning av rester er mer omfattende i sommergraver, men redusert i vintergraver.

Ifølge Fielder & Graw (2003) er det gunstige forhold for nedbrytning i varme temperaturer, som hemmer dannelsen av likvoks. I en test av effektene av temperatur og andre faktorer på begravde griser i kalkrik sand fant en derimot at høye temperaturer fremmet dannelsen av likvoks (Forbes *et al.*, 2005a).

Siden temperatur påvirker både kjemiske og biologiske prosesser, vil forekomsten av forskjellige organismer i en grav delvis bestemmes av temperaturen i omkringliggende jord. Jordtemperaturen veksler mest i den øvre meteren, og er mer stabil dypere ned (Pragnell & McGowran, 2009). Pragnell & McGowran (2009) undersøkte gravrester og effektene av jordtemperatur på nedbrytning. Jordaktivitet og nedbrytning fungerte bra på lokaliteten som ble undersøkt, en gravplass i North Brisbane, Australia. Temperaturene varierte innenfor grensene av de fleste jordorganismers optimum (22,8 - 34 °C). Dette er mye varmere enn hva som kan forventes i norsk jord.

Høye temperaturer kan, som vist av Forbes *et al.* (2005a), både fremme nedbrytning av rester og dannelse av likvoks. Det indikerer at også andre prosesser bestemmer hva som har effekt, gitt at det er tilstrekkelig varme forhold ved gravlegging.

3.2.2 Oksygentilgang

Anaerobe forhold, gjerne på grunn av stagnert vann som gir oksygenfattig eller anoksisk miljø, vil ofte sammenfalle med (Pfeiffer *et al.*, 1998) og fremme (Forbes *et al.*, 2005a) dannelsen av likvoks.

Fründ & Schoenen (2009) undersøkte nedbrytningen av likvoks med ulik tilgang på oksygen. De fant at mengden likvoks kunne halveres i en periode på mellom 11 og 82 år i et anoksisk miljø, mens halveringstiden var mye kortere, bare 0,7 til 10 år i et oksygenrikt miljø. Halveringstiden kunne reduseres videre om likvoks ble begravd i biologisk aktiv jord, og det var en positiv korrelasjon mellom nedbrytningsraten og nitrogeninnholdet i prøvene. De konkluderte at likvoks brytes ned med lufting.

I en studie av oppgravde kister fra vannmettede graver fant en svart humus med opprinnelse i likvoks, og Fielder et al. (2015) antok derfor at likvoks kan degraderes under dysoksiske (oksygenfattige) forhold.

3.2.3 Fuktighet

Pfeiffer et al. (1998) studerte bakteriesammensetningen i lik med og uten likvoks, og fremmet en hypotese om at likvoks dannes fra fettvev, med et overskudd av fuktighet, i et noe anaerobisk miljø med tilstedeværelse av gram-negative bakterier. Fuktighet ble slik regnet som en av de tre avgjørende faktorene.

Forbes et al. (2005a) fant derimot at fuktighet hadde liten effekt på dannelsen av likvoks. Studien indikerte at det i et tørt miljø ville være nok fuktighet i fettvevet til å starte dannelsen av likvoks. Korrelasjonen mellom vannmettede graver og likvoks ser derfor ikke ut til å være et resultat av vannet i seg selv. Sammenhengen ligger trolig i at stagnert vann skaper anoksiske forhold, som fører til anaerobe biologiske prosesser som er gunstige for likvoksdannelse og hindrer nedbrytning.

3.2.4 pH og kalking

Henderson (1987) noterte at skjelett ble bedre bevart ved nøytral eller lett basisk jord enn i jord med sur pH.

Carter et al. (2008) observerte at pH steg til omtrent 8 i de første fasene av nedbrytningen, uavhengig av jordens pH i utgangspunktet. pH sank igjen etter omtrent en måned, og kom tilbake til jordens opprinnelige nivåer. Grunnen kan være at kationer frigjøres og akkumuleres ved start, og deretter benyttes av mikroorganismer (Carter et al., 2008).

Forbes et al. (2005a) undersøkte hvordan nedbrytning av grisevev påvirkes i surt (pH ca. 2,4), mildt basisk (pH ca. 8,5) og svært basisk (pH ca. 12,6) miljø. Svært basisk miljø ble skapt ved å tilføre kalk. Resultatene viste at et mildt basisk miljø fremmer dannelsen av likvoks, med betydelige mengder likvoks i prøvene. Likvoks ble ikke observert i prøvene fra surt miljø. I det kalkede, svært basiske miljøet ble det heller ikke observert likvoks, men derimot en innkapsling av kalk rundt vev som var nesten upåvirket og «friskt», selv etter et år. Denne typen miljø må antas å favorisere bevaring av bløtvev.

Mennesker har gjennom historien brukt kalking, svært motstridende, både for å akselerere og hindre nedbrytningsprosessene (Schotsmans, 2013). Generelt er ordet kalk, "lime" brukt om mange stoffer med litt forskjellig kjemisk sammensetning, men som alle skaper et noe basisk miljø der de tilsettes (Schotsmans, 2013).

En forsøksstudie med grisekadavre begravd i forskjellige dyp med og uten kalking viste at kalk får nedbrytningen til å gå saktere (Thew, 2000). Schotsmans (2013) gjorde også et forsøk med grisekadavre, i par med og uten kalk. Grisene ble gravd opp etter 17 og 42 måneder, for å dekke minst første og andre nedbrytningsår. Resultatene viser en

klar forskjell på gravlegging med og uten kalk, der kroppene gravlagt uten kalk var langt på vei i nedbrytningsprosessen. Kroppene gravlagt med kalk var godt bevart, og tydet på en forsinkelse av de første nedbrytningsprosessene, men ikke fullstendig stopp.

Kalking brukes i noen områder for å sette fart på nedbrytning, spesielt i tilfeller der den avdøde ble gravlagt i plast (Rafoss & Skjeldal, 2008; Offergaard, 2017). Selv om en korroderende effekt oppnås og graven kan gjenbrukes, er det ukjent hvordan neste lik påvirkes. Med tanke på studiene fra Thew (2000), Forbes *et al.* (2005a) og Schotsmans (2013) er det trolig at nedbrytningsprosessene vil bremses, samt at dannelse av likvoks vil forekomme.

3.2.5 Biologisk aktivitet

Gravlegging beskytter den avdøde mot åtselere, og kan potensielt hindre kolonisering av insekter som ellers ville akselerert nedbrytningsprosessene på bløtvev (Fielder & Graw, 2003). Å ekskludere åtselere og andre større organismer ved gravlegging vil derfor begrense nedbrytningsmulighetene allerede fra start. På kistegravdyp forventes biologisk aktivitet i hovedsak å bestå av bakterier og sopp, siden hovedmassen av røtter og tilknyttede organismer ikke går så dypt ned (Brown *et al.*, 2010). Henderson (1987) anså bakterier og sopp som de viktigste nedbryterne på en mikroorganismeskala, men bemerket at tidligere studier har påvist større organismer som insekter og meitemark selv ned til to meters gravdyp, og at begravning derfor ikke alltid beskytter mot denne formen for nedbrytning.

Pfeiffer *et al.* (1998) publiserte en hypotese om at gram-negative bakterier er nødvendig for å danne likvoks. Den motsatte prosessen med degradering av likvoks ville skyldes gram-positive bakterier, der bare et fåtall bakterier er involvert.

Bøttiger (1924) fremmet beplantning som en viktig del av gravplassen, ikke bare som estetisk aspekt, men også fordi dype rotsystemer har en positiv effekt på jord og jordliv, og i den forlengelse vil bidra til god nedbrytning av den avdøde. Bøttiger (1924) anså planter som viktige for å ikke bare bevare god jordkvalitet, men også forbedre kvaliteten på ellers mindre egnet gravjord. Det er kjent kunnskap at planterøtter utvikler og forbedrer jordstruktur, samt at mye jordliv assosieres med planterøtter, slik at det er relativt større biologisk aktivitet rundt et rotsystem enn jord uten et rotsystem (Weil & Brady, 2017).

3.2.6 Iboende egenskaper hos den avdøde

Reviewartikkelen av Fielder & Graw (2003) oppsummerte alle da kjente faktorer som påvirker dannelsen av likvoks. De kom frem til at spesielt gravleggingsmetoder (gravdybde, kistemateriale, klær osv.) og forhold på lokaliteten (topografi, vanning, jordegenskaper osv.) påvirker nedbrytning og mulighetene for dannelsen av likvoks. Mennesker kan påvirke begge disse faktorene, mens individuelle egenskaper hos den avdøde er iboende og upåvirkelige:

Alder og kjønn – Basert på studiene oppsummert av Fielder & Graw (2003) ser det ut til å være en sammenheng mellom mengdeforholdet av kroppsfett, fettfordeling og tilstanden til fettvevet, og tilbøyelighet til dannelsen av likvoks. Kvinner, nyfødte og kanskje også individer med høy alder ser ut til å være grupper mer utsatt for likvoks. Derimot kan det se ut til at nedbrytning foregår raskere hos spedbarn.

Påførte skader – Dødsårsak påvirker nedbrytning, med raskere prosesser på kropp med åpne sår og bakterie- eller virusinfeksjon (Henderson, 1987), men det dannes paradoksalt nok mer likvoks i åpne sår (Fielder & Graw, 2003).

Kjemikalier – Legemidler, narkotiske stoffer, gifter og antibiotika hemmer nedbrytningsprosessene, noe som ikke er overraskende med tanke på deres effekt på liv (Fielder & Graw, 2003).

3.2.7 Gravlegging

Gravtype – Både graver med dobbel gravdybde, der en avdød begravnes over en annen, og massegraver viser en tilbøyelighet for likvoksdannelse (Fielder & Graw, 2003).

Kiste – Kister lagd av bartrær (gran og furu) ser ut til å virke positivt på nedbrytning mens kister av eik og annet hardt treverk virker beskyttende da de vil være mer resistent mot kollaps, samt at eik består av en større mengde ligniner og tanniner, som brytes ned tregere i jord (Weinig, 1958, Weinzierl & Waldmann, 2002). Eik og metallkister forsterker dessuten dannelsen av likvoks (Fielder & Graw (2003) basert på Froentjes (1965) og Henderson (1987)). Forbes et al. (2005b) gjennomførte et laboratorieeksperiment der effektene av kiste og klær på likvoksdannelse ble undersøkt. Kistene var av tre, og noen var kantet med plast og sateng. Resultatene indikerte at kiste hindrer dannelsen av likvoks. Disse studiene viser at valg av kistemateriale er viktige for de videre prosessene på liket, om det blir nedbrytning eller dannelsen av likvoks.

Klær – Fielder & Graw (2003) fremholdt at klær kan forsinke eller hindre nedbrytning og forsterke dannelsen av likvoks, basert på studiene av Matthes (1903), Mant & Furbank (1957), Cotton et al. (1987), Mellen et al. (1993) og Dix & Graham (2000). I en studie av Forbes et al. (2005b) ble det vist at syntetiske fibre forsterket dannelsen av likvoks, mens det ikke ble funnet likvoks assosiert med bomullstøy. Fielder & Graw (2003), basert på Aeschlimann (2002), fremhever at nylonklær forhindrer nedbrytning.

Plast – I et forsøk av Forbes et al. (2005b) ble grisevev begravd i plastposer, der de forventet å finne en sterk utvikling av likvoks. Resultatet var derimot en likvifisering av restene (en omdanning fra fast stoff til væske), uten noen solide substanser av likvoks. Empiriske observasjoner fra gravplasser i Norge, der gravlegging i plast var vanlig praksis fra ca. 1950-1975 (Rafoss & Skjeldal, 2008), har opplevd at både likvifisering og bevaring av lik kan forekomme (Offergaard, 2017). En vanlig måte å

løse problemet er med sprøyting av kalk gjennom plasten, som skaper en etsende effekt på liket (Rafoss & Skjeldal, 2008).

3.2.8 Jordtype

Henderson (1987) oppsummerte kunnskap om nedbrytning og bevaring av menneskerester, da med hensyn på arkeologiske funn og i hovedsak skjelettet. Jordtype ble notert å ha særlig betydning for nedbrytning av bløtvev, men å være mindre viktig for skjelettet. Basert på Rentoul & Smith (1973) ble det kommentert at nedbrytning (også av skjelett) kunne skje raskere i porøse, lette jordtyper enn tett, leiraktig jord.

Klingberg (1997) observerte dårlig nedbrytning i tette jordarter dominert av silt og leire på grunn av oksygenmangel, og i noen typer sandjord der mangel på organisk materiale begrenset biologisk aktivitet.

Fielder *et al.* (2004) kastet et lys på den manglende kunnskapen om jord med likvoksdannelse. I sin studie undersøkte de to tilfeldig valgte graver med likvoks sammenlignet med en kontrolljord, alle fra en gravplass i Sørvest-Tyskland. Kontrolljorden hadde aldri vært brukt til begravning, og ble klassifisert som *Gleyic Luvisol* (leirnedvaskingsjord med grå, fargeflekket matriks pga. grunnvann) med tekstur sandig lettleire til siltig sand. Gravjorden ble klassifisert som *Gleyic Anthroisol* (jord under kraftig påvirkning fra mennesker, med grå, fargeflekket matriks pga. grunnvann), med tekstur sandig lettleire til siltig sand, med sporadiske soner av siltig mellomleire. Gravjorden hadde lavere volumtetthet og pH enn kontrolljorden. Hovedfunnet i studien var at gravene fungerte som vannfeller, fordi et lag av komprimert jord lå 10 cm under kistebunn og forhindret drenering av vann, samt som en effekt av gjentatt graving. Jorden var grå, som er en indikasjon på reduserende forhold forårsaket av oksygenmangel. De to likene som ble undersøkt var godt bevarte med 3-4 cm lag likvoks. Jord som inneholdt likvoks hadde lavere innhold av biomasse og biologisk aktivitet, som er i tråd med forventningene da likvoks er inert (reagerer lite med andre stoffer). Kontrolljorden hadde fargeflekker fra fluktuerende reduserende og oksiderende forhold, som tyder på tidvis oksygenmangel, selv uten komprimering og tap av struktur ved gjentatt graving. Det var mindre mikrobiell biomasse i gravjorden enn kontrolljorden, og mikrobiell biomasse så ut til å øke med dybde. Fielder *et al.* (2004) avsluttet med å poengtere et behov for videre undersøkelser.

Forbes *et al.* (2005) studerte effekten av jordtype på likvoksdannelse ved å sammenligne forskjellige jordteksturer: Sand, siltig sand, leire, en kontrolljord av siltig mellomsand, og sterilisert jord av samme tekstur som kontrolljorden. Fettvev fra gris ble gravlagt i hver jordtype. Prøvene ble lagret i romtemperatur under fuktige forhold i 12 måneder. I alle jordtypene ble det dannet likvoks i større eller mindre grad. Mengden likvoks som ble dannet antyder at partikkelstørrelse var avgjørende for graden av likvoksdannelse. Spesielt sand og siltig sand kunne akselerere

likvoksdannelse i et gunstig miljø. De konkluderte at likvoks dannes i mange forskjellige jordtyper, avhengig av faktorer i miljøet som fuktighet og temperatur. Forbes *et al.* (2005) advarte mot å ekstrapolere deres resultater til signifikant forskjellige jordmiljøer, og regnet studien som en forundersøkelse av hvordan jordtype påvirker dannelsen av likvoks.

Carter *et al.* (2008) gjorde et eksperiment på juvenile rottekadavre for å undersøke hvordan jordtyper påvirker nedbrytning. Kadavrene ble gravlagt i tre typer jord, temperatur og tidsintervaller. Jordtypene ble valgt med tanke på å inneha vidt forskjellige egenskaper, og var følgelig en siltig sand (Sodosol), sand (Rudosol) og mellomleire (Vertosol), klassifisert etter det australske jordklassifiseringssystemet (Isbell, 2002). Prøver og målinger viste at det var større tap av kadavermasse med høyere temperaturer, og bedre nedbrytning i sand. Rottene ble begravd grunt, mens kiste med innhold plasseres dypt i menneskegraver. Nedbrytningsforholdene vil derfor være annerledes på gravplasser.

I en studie av nedbrytning av grisevev i fire jordtyper fant en mer utbredt likvoksdannelse i sand, et høyt innhold også i leire-grusjord, mens det var gode forhold for nedbrytning i både organisk- og grusjord (Durães *et al.*, 2010). De konkluderte at avgjørende faktorer for prosessene var jordens permeabilitet, vannlagringskapasitet og mikrobiologi.

4 Jordfaglig kunnskap – jordfysikk og jordliv

4.1 Jordtekstur og -struktur

Jordtetthet, masse per volumenhet, er avhengig av jordens tekstur og struktur. Tekstur defineres av jordpartiklenes størrelse, og deles inn i hovedgruppene sand, silt og leire. Sand (0,06-2 mm) og silt (0,002-0,06 mm) (Sveistrup & Njøs, 1984) har til felles at de er lite plastiske eller klebrige (Weil & Brady, 2017). Der sand kan gjenkjennes på den kornete følelsen mellom fingrene, er silt helt mykt som mel (Paul, 2015). Sand og silt vil organiseres i jorden etter partiklenes form og tyngdekompresjon, og porestørrelse vil bestemmes av partiklenes størrelse, orientering, pakking (løs eller tett) og form (kantete versus rund, der runde partikler gir større porer) (Weil & Brady, 2017). Sand består av større partikler og vil derfor drenere bedre enn silt, mens silt vil holde bedre på vann. Da sand og silt ikke i seg selv har klebrige egenskaper, vil de lettere eroderes av vann (Weil & Brady, 2017), eller kollapse fra egenvekt (Figur 1).



Figur 1: Ustabile masser i et jordprofil gravd ut på et område omdisponert til gravplassutbygging. De grå massene besto av siltig finsand og var svært skjøre, med lite klebrige egenskaper. Profilveggen kollapset kort tid etter at bildet ble tatt. Foto: Trond Knapp Haraldsen.

Leirpartikler ($<0,002$ mm) har et svært stort spesifikt overflateareal, er et resultat av forvittringsprosesser, har ofte flakform, og er gjerne svært klebrige og plastiske (Weil & Brady, 2017). Dette gjør at de kan holde på mer vann, lett orienterer seg i og danner aggregater, og er, sammen med organisk materiale, viktig for strukturutvikling (Paul, 2015; Weil & Brady, 2017). Selv om en leire uten struktur vil oppleves som svært tett

og ha et poresystem med svært små porer og lite mobilt vann, vil god strukturutvikling kunne gi makroporer og bedre utviklede pore- og sprekkesystemer enn sand, og derfor god drenering. Porøsitet er gjerne bedre i en leirjord med god utvikling av aggregater enn i sand, fordi leirjorden, i tillegg til å ha makroporer tilsvarende en sandjord, vil ha mikroporer inni aggregatene (Weil & Brady, 2017).

Aggregater kan formes i alle teksturgrupper, men er typisk sterkere og mer robuste i leirjord enn silt og sand, på grunn av de bindende egenskapene i leirmineraler (Paul, 2015). Strukturutvikling i form av aggregater er sammen med tekstur avgjørende for vanninnhold og lufting av jorden, som regulerer biologisk aktivitet (Paul, 2015).

4.2 Biologisk aktivitet

Mikroorganismer (<0,1 mm), så små at de må observeres gjennom mikroskop, er en samlegruppe som i hovedsak domineres av bakterier, sopp og arkebakterier. Der artssammensetningen av større organismer gjerne varierer og er sterkt knyttet mot region, klima og jordtype, vil man i motsetning finne mange av de samme mikroorganismene i jordprøver verden over (Weil & Brady, 2017).

Jordliv vil i hovedsak leve i jordaggregater, der det forekommer flest porer. Da rotsystemer fremmer jordliv og biologisk aktivitet, er det naturlig høy forekomst av jordliv i assosiasjon med røtter (Lindbo *et al.* 2012; Weil & Brady, 2017). Mikroorganismer lever i vannfilmer eller vannfylte mikroporer (fra < 10 µm til ≤ 5 µm) som er for små til å drenere vann via gravitasjon, men kan drenere via kapillærkrefter. Utveksling av vann og gass går tregt i slike porer, men gir derfor et stabilt levemiljø for mikroorganismene (Paul, 2015). Størst mikrobiell aktivitet vil forekomme i overflaten, der det er rikelig med oksygen og jorden ikke er for tørr. Generelt trives aerobe mikroorganismer ved samme jordfuktighet som planter (Weil & Brady, 2017). Mange bakterier og arkebakterier beveger seg og lever i filmer med vann rundt jordpartiklene (Weil & Brady, 2017). Fielder *et al.* (2004) viste at mengde mikrobiell biomasse er relativt høyere i kistedybde enn over og under i et gravjordsprofil. De observerte en lignende økning i mikrobiell biomasse i en kontrolljord i undersøkelsesområdet, som indikerer en horisontal transport av mikroorganismer via vann gjennom jorden.

Aerobe prosesser begrenses når jorden nærmer seg vannmetning, fordi oksygentilgangen blir dårlig. Generelt regnes mikrobiell aktivitet å være optimal når 30-50 % av totalt porevolum er vannfylt (vannpotensiale -50 kPa til -150 kPa) (Paul, 2015). Når jorden tørker vil de tidligere kontinuerlige vannfilmene splittes i «øyer» som hindrer utveksling av gasser og næringsstoffer. Mikrobiell aktivitet blir senere påvirket enn for eksempel planter, og mikrobiell aktivitet og respirasjon kan fortsatt være høye når planter begynner å visne (Paul, 2015). Mikroorganismer reagerer forskjellig på tørkestress, og noen grupper vil tåle det bedre enn andre. Generelt anses sopp å tåle tørkestress bedre enn bakterier. Raske endringer i vannpotensial har vist å initiere cellededbrytning hos mikroorganismer (Paul, 2015), som fremhever behovet

for og betydningen av et stabilt levested. Som nevnt over finnes dette i mikroporer ($< 10 \mu\text{m}$ til $\leq 5 \mu\text{m}$), som i hovedsak skapes av leire- og siltaggregater.

Mikrobiell aktivitet er generelt høyest ved 20-40 °C, mens nesten all aktivitet stopper opp ved temperaturer under 3-5 °C (Weil & Brady, 2017). Dette stemmer godt med forsøkene til Forbes *et al.* (2005a), der nedbrytningsprosessene ble svært begrenset ved 4 °C.

Bakterier er ofte dominerende i miljøer med nøytral eller høyere pH (Paul, 2015), og trives gjerne bedre enn sopp i disse miljøene (Weil & Brady, 2017). Actinomyceter er en gruppe bakterier som i stor grad bidrar til nedbrytning, spesielt i sene stadier av nedbrytningsprosessen, da de kan bryte ned resistente komponenter. Disse bakteriene trives best ved pH 6,0 til 7,5 (Weil & Brady, 2017).

Sopp interagerer mye med organisk materiale, da spesielt i symbiose med levende planter og nedbrytning av plantemateriale (Paul, 2015). Sopp dominerer gjerne i sur jord fordi de tåler lav pH bedre enn andre organismer (Lindbo *et al.* 2012; Weil & Brady, 2017), mens de delvis taper konkurransen ved høyere pH. Noen typer sopp er tilpasset spesielt varme eller kalde miljøer og er observert aktive selv i jord ned til -35 °C (Paul, 2015).

5 Erfaringer fra tidligere prosjekter

5.1 Generelle erfaringer

Erfaringer fra gravplassforvaltere i Norge indikerer en negativ korrelasjon mellom god gravfunksjon og fuktighet (pers. medd. Sten Arne Skulbru, Gravferdsetaten, Oslo kommune): Tørrere graver har med komplett nedbrytning av rester innen fredningstiden enn fuktige graver.

Beplantning på gravplassene har av erfaring en positiv innvirkning på nedbrytning, da det forbedrer jordsmonnet. Forbedret struktur gir bedre transport av vann og poresystemer for lufting, og plantene tar dessuten opp tungmetaller fra jorden og fungerer således som et filter for vannet før det når grunnvannet eller havet (pers. medd. Sissel Bryne Hedland, gravplassjef Stavanger kirkelige fellesråd). Det er spesielt trær som gir et positivt utslag i denne sammenhengen. Det er således viktig å velge trær med robusthet mot graving og sykdommer, som har lang levetid og dype rotsystemer for å oppnå en god effekt. I tillegg bør man benytte lokale varianter av tresorter for at de skal trives og vokse godt, tilpasset nedbørs- og temperaturforholdene på gravplassen.

Det er også observert en sammenheng mellom nedbrytning og avsetningstyper:

God funksjon:

- Gravplasser på høyder av morene, glasifluviale avsetninger og elvesletter med ensartet sand – naturlig dreneringsgrad god

Dårlig funksjon:

- Gravplasser på marine, siltrike leiravsetninger, siltrike elveavsetninger og torvjord
- Problemer på elvesletter med varierende tekstur mellom lag

I NIBIOs anbefalinger til kistegravjord er det tatt hensyn til (fra Haraldsen, 2014):

- Klimatiske faktorer – temperatur (vekstseson), nedbør (tørke, nedbørsfordeling, nedbørsoverskudd)
- Fysiske faktorer – tekstur, lagdeling, avsetningstype -> infiltrasjonsevne, vannlagringsevne, vannledningsevne, porestørrelsesfordeling og -kontinuitet, fasthet, bæreevne
- Kjemiske faktorer – surhetsgrad, mineralogi, innhold av potensielt løselige makro- og mikronæringsstoffer
- Biologiske faktorer – innhold og kvalitet av organisk materiale i jordsmonnet, mikrobiell flora, jordfauna -> hvor dypt ned i jorda er det tilstrekkelig biologisk aktivitet

Jordblandinger har blitt laget for å legge til rette for nedbrytningsprosesser som beskrevet i 3.1.

Dersom jordblandingene benytter tilkjørt sand, er det viktig at denne sanden er av god kvalitet. Sand fra knuste masser er skarpe, vil skape mye finstoff ved gnisninger, og vil pakkes helt annerledes enn natursand, som har blitt avrundet over lang tid. Både pakkingen og produksjonen av finstoff fra knuste masser vil bidra til å skape tette masser, og den ønskede dreneringseffekten av sand i blandingen blir borte. Dessuten har knuste masser alltid pH høyere enn 7. I jord til kistegraver må det derfor benyttes natursand, som gir de ønskede poresystemene og drenering.

Da man vil oppnå og ivareta gode poresystemer på gravplassen, er det viktig i etableringsfasen at massene som legges ut ikke komprimeres av maskiner. Generelt bør man unngå å kjøre med tunge anleggsmaskiner over masser som er lagt ut, og massene må sette seg naturlig over tid, fremfor å komprimeres kunstig.

5.2 Havstein

Da Havstein kirkegård i Trondheim skulle gjennomføre masseutskiftning, ble dette gjort med bakgrunn i erfaringer fra gamle gravplasser i Trondheim, der gravene har hatt god funksjon i lang tid. Karakteristisk for gamle gravplasser er et dypt, veldrenert jordsmonn, og det ble derfor brukt en jordsmonnstilnærming som la vekt på luftinnhold og vannledningsevne (Haraldsen, 2015; Haraldsen, 2017). Med dette som modell ble det laget jordblandinger for masseutskiftning.

Det var positive tilbakemeldinger på tiltaket i ettertid. Borgar Flønes fra kirkelig fellesråd i Trondheim (pers. medd. i Haraldsen 2014) kunne fortelle at det var rotutvikling i jordsmonnet ned til ca. 50 cm dybde, at dypere jordlag kunne være fuktige men ikke ble overmettet på vann, og at massene fint lot seg grave i og hadde stabile kanter. Selv om det ble noe avvik i jordblandingene fra NIBIOs anbefalinger, viste etterundersøkelser en rotutvikling ned til 70 cm, og at jorden hadde en jevn farge uten antydninger til anoksiske soner (Figur 2) (Haraldsen, 2017).

Disse erfaringene fra Havstein indikerer at masser til kistegraver kan følge anbefalinger for jordsmonn som skal sikre god rotutvikling og vannledningsevne. Slik jord vil i utgangspunktet ha biologisk aktivitet samt drenering. Etter denne modellen bør undergrunnsjord til kistegraver ha tekstur siltig mellomsand til siltig grovsand, eller sandig leire til leire der leirinnholdet ikke overstiger 12 %.



Figur 2: Jordprofil fra etterundersøkelser på Havstein, med god rotutvikling i de øvre 40-50 cm og røtter ned til 70 cm. Foto: Trond Knapp Haraldsen.

Nyere tilbakemeldinger (pers. medd. Trygve Jensen, Kirkelig Fellesråd i Trondheim) avdekker utfordringer knyttet mot graving av nye graver på Havstein, der jordsmonnet noen ganger er helt hardt, mens kantene andre steder er ustabile og raser sammen. Årsaken ligger trolig i utfordringer med å lage homogene jordblandinger med leire under svært vekslende værforhold. Det var forutsatt blanding av stedlig leire med smuldrende egenskaper med sand. Blandingen ble i stedet heterogen, der det ble sand med leirklumper noen steder mens det var for høyt leirinnhold andre steder.

5.3 Tiller

For å løse problemene med uegnede masser på gravplasser og skaffe et alternativ ved masseutskiftning, ble det i 2011 utarbeidet to forslag til kravspesifikasjoner (Moe, 2011; Stople, 2011). Basert på utfordringer med drenering og stagnert vann, ble det anbefalt masser med hovedfraksjon 0-22 mm, beskrevet som bærelagsmasser (Stople, 2011). Med hovedfraksjon >2 mm går dette i jordsmonnssammenheng som grusrik grovsand (Sveistrup, 1984), som vil ha et poresystem med god drenering, men som mangler vannlagringsevne (Haraldsen, 2012). Da jordliv er avhengig av mikroporer og vannlagringsevne i jorden, vil biologisk aktivitet kunne begrenses kraftig i slike masser (Paul, 2015). Ved disse kravspesifikasjonene skal det etableres et topplag av jord beregnet for plantevekst over de grusrike massene, karakterisert av moldrike masser. Teksturkontrasten mellom grovsand og moldrike plantevekstmasser vil føre til hengende vann i topplaget i nedbørsrike perioder, mens tørkeperioder vil skape tørkestress.



Figur 3: Vertikalsnitt av jordprofil med utskiftede masser på Tiller. Grusholdig siltig grovsand (hovedfraksjon 0,6-2 mm). Vått topplag og vannutslag mot sjiktgrense. Ingen rotutvikling under topplag. Jordtetthet på 1,7 kg/L. Foto: Trond Knapp Haraldsen.

På Tiller gravplass i Trondheim ble masser som beskrevet over brukt, og feltundersøkelser (Figur 3) avdekket at topplaget var svært vått, mens de underliggende massene var hardpakket og bare svakt fuktige (Figur 3). Det var ingen synlig rotutvikling i undergrunnsmassene, og forholdene lå trolig ikke til rette for biologiske prosesser i disse lagene.

Kirkelig Fellesråd i Trondheim har tatt prøver fra disse massene til dyrkning i ettertid, som viste at det var et bakteriesamfunn i lagene (pers. medd. Trygve Jensen, Kirkelig Fellesråd i Trondheim). Sammenligning med bakteriesamfunn i andre typer masser fra kistedyp ville være

interessant for å avdekke de reelle begrensningene av tørre og tette masser, samt potensielt finne en korrelasjon mellom sammensetningen av bakteriesamfunn og nedbrytningsgrad.

5.4 Charlottenlund

5.4.1 Bakgrunn

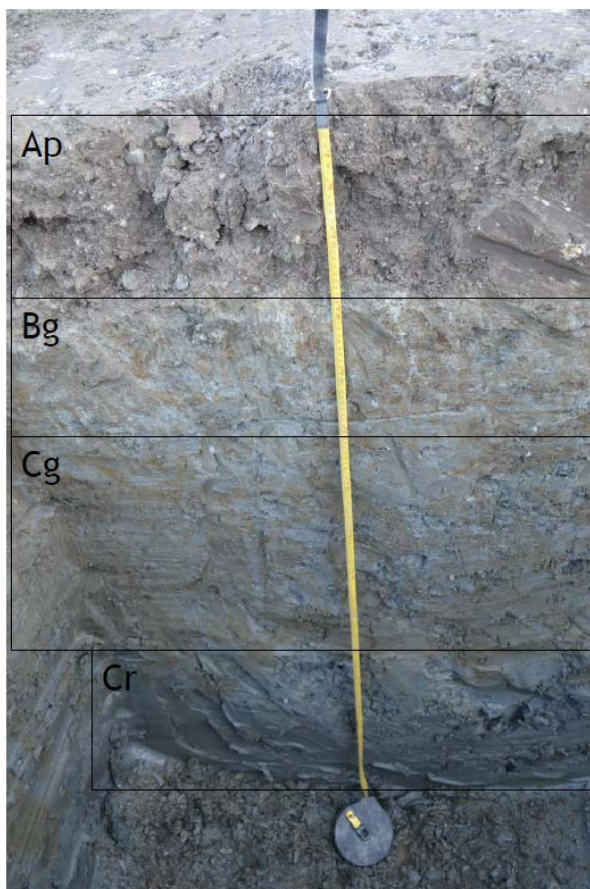
Kirkelig Fellesråd i Trondheim har valgt ut et areal på Charlottenlund til nytt kistegravfelt. NIBIO ble engasjert i 2014 for å vurdere stedegne masser på Charlottenlund, for å identifisere jordmasser som kunne brukes videre i jordblandinger egnet for anleggsjord og kistegravjord (Haraldsen, 2014). Et forslag på jordblandinger ble laget fra tilgjengelige sandtyper og egnede stedegne masser.

Tre hovedtyper jord ble undersøkt med jordprofilbeskrivelse i henhold til Sveistrup (1984), og jordanalyser for å finne kornfordelingskurver og innhold av mineraler og organisk materiale. Generelt var det svært næringsrike topplag i hele området, og massene var dominert av leire og silt.

5.4.2 Grøntanlegg

Jordblandinger til grønntanlegg ble basert på anbefalinger for jord til grasflater utviklet av NIBIO (den gang Bioforsk Jord og Miljø). Topplagene på de tre områdene viste seg å være svært moldrike, med godt utviklet struktur. Dette gjorde dem egnet til å blande inn sand. Sanden som ble valgt hadde hovedfraksjon 0,2-0,6 mm, som manglet i de siltrike stedlige massene på Charlottenlund. Den anbefalte blandingen for grasfelt, plantefelt og bed brukte 1/3 stedlige topplagsmasser og 2/3 sand, som ga en nær ideell kornfordelingskurve for grasjord, og tynnet ut moldinnholdet til å bedre passe toppjord og plantenes behov i et grønntanlegg. For plantefelt og bed ble det anbefalt å justere blandingen ved å redusere mengden sand.

5.4.3 Kistegravfelt



Figur 4: Jordprofil fra Charlottenlund.
Foto: Trond Knapp Haraldsen.

Undergrunnsjorden på Charlottenlund ble identifisert til massiv siltig mellomleire (Figur 4), som innebærer svært dårlige drenerende egenskaper. Slike masser er ikke egnet for kistegraver, og det ble derfor anbefalt masseutskiftning.

Jordblandinger for masseutskiftning på Charlottenlund ble laget etter samme modell som ved Havstein. Ettersom det er ønskelig med biologisk aktivitet i undergrunnsjorden, men samtidig lave verdier av organisk materiale (for ikke å konkurrere om nedbrytning), ble det anbefalt å kun bruke masser fra sjikt med rotutvikling og jordsmonnsutvikling fra de stedlige massene. Blandingsforslagene ble laget med egnede stedlige masser (lik andel topplagsmasser og smuldrende B-sjiktssmasser) og sand. Det ble foreslått sand fra to aktuelle sandtak, der den ene typen var noe grovere enn den andre.

I praksis ble ikke jordblandingen til Charlottenlund laget etter anbefalingene fra NIBIO. Da det var utfordringer knyttet opp mot å lage jordblandingen etter oppskrift og å få massene homogene, er det per i dag usikkert hvilke egenskaper massene fikk på den nye gravplassen (pers. medd. Trygve Jensen, Kirkelig Fellesråd i Trondheim). Problemene ser ut til å være forbundet med vanskelige værforhold under utbygging. Jordblandingen fra NIBIO tok i bruk en andel masser fra B-sjikt, leirmasser med smuldrende og blandbare egenskaper. Leire lar seg imidlertid dårlig håndtere og blande i våt tilstand, da de kladder i stedet for å smuldre, og porene kolliderer.

5.5 Høyenholm på Jeløya, Moss

På Høyenholm gravlund på Jeløya i Moss ble det planlagt utvidelse av gravplassen på et jordbruksområde nord for eksisterende gravplass. I henhold til NGUs løsmassekart er det marin strandavsetning i området med sandmasser. Det var ønske fra kirkevergen om gravplass for dobbel gravdybde på grunn av antatt veldrenert jord til stor dybde.

Sjaktning med gravemaskin på ulike deler av den planlagte gravplassen viste at jordsmonnet i området hadde et topplag av sortert sand eller siltig sand av

strandavsetning, 1,4-3,5 m dybde til leirrike lag, og 1,8-2,8 m dybde til grunnvann (Figur 5). Da dype masser var overmettet med grunnvann, ble det konkludert at det ikke var tilrådelig med dobbel gravdybde. Lokale masser var godt egnet til jordblandinger for enkel gravdybde.

Dobbel gravdybde praktiseres ikke lenger på gravplassen. For å sikre god drenering brukes det minimumsoverdekning på 80 cm over kiste, og en hoveddrenering gjennom området. Selv om grendrenering ut fra hoveddreneringen har vært vurdert, har det vist seg å være tilstrekkelig med det allerede etablerte drensssystemet og selvdrenerende masser.



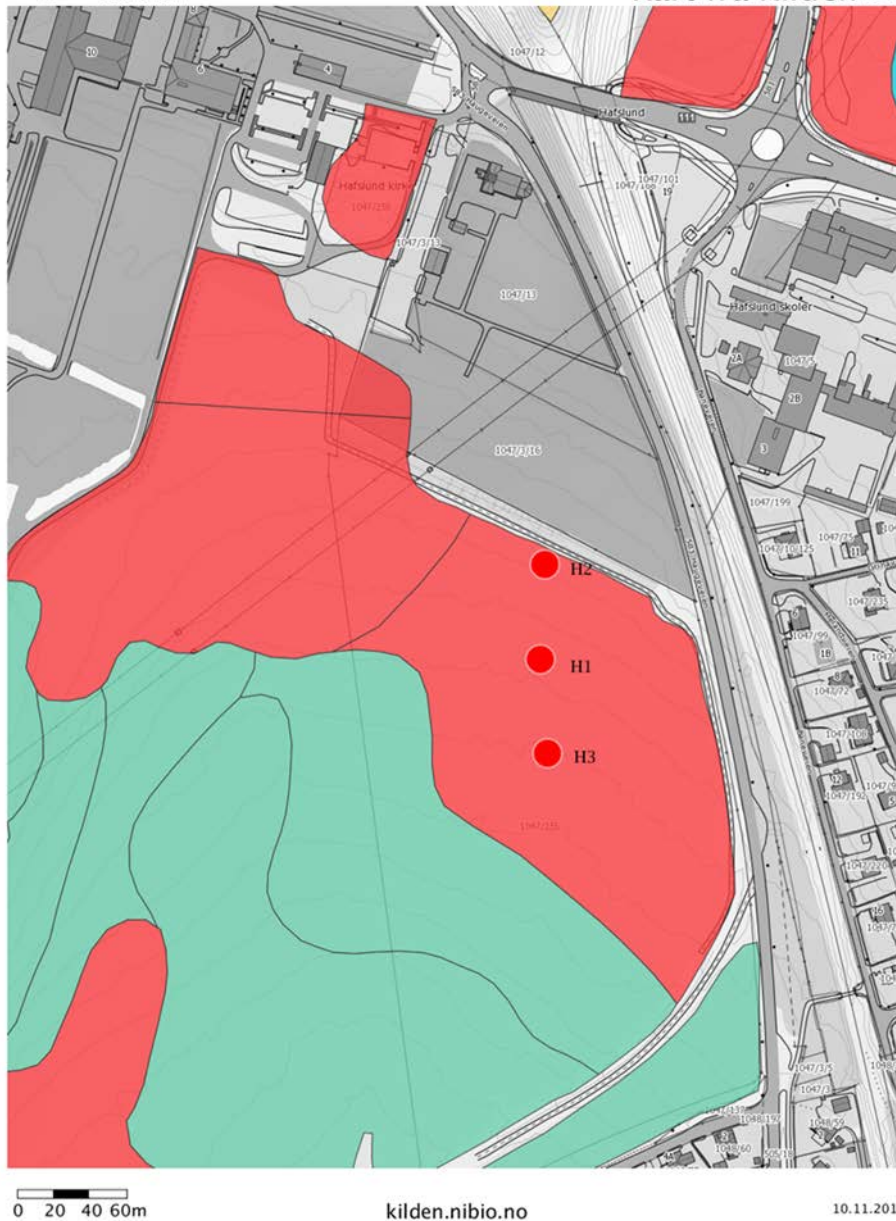
Figur 5: Jordprofil på Høyenhall, Jeløy. God drenering i øvre 1,5 m, og vannutslag lenger nede. Foto: Privat.

5.6 Hafslund, utvidelse av gravplass

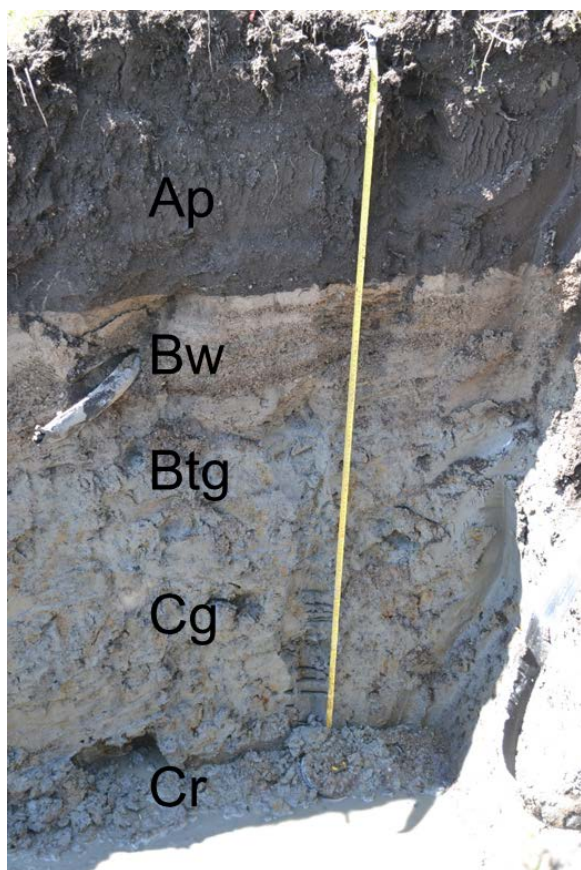
NIBIO ble engasjert til å bistå ved utvidelse av Hafslund kirkegård i Sarpsborg i 2015 i et prosjekt planlagt av Rambøll. Da det på eksisterende gravplass var 40 års fredningstid grunnet dårlig nedbrytning av kiste med innhold, var det på ny gravplass et mål om å få bedre drenering for å unngå anoksiske forhold, og dermed oppnå 20 års fredningstid i henhold til Gravferdsloven.

For jordblandinger på Hafslund ble det tatt utgangspunkt i erfaringer fra Havstein kirkegård. Da det fra jordtypekart (kilden.nibio.no) så ut til å være sandmasser til stort dyp i området, ble det antatt veldrenert jord (Haraldsen, 2015). Tre representative jordprofiler for området ble undersøkt (Figur 6). Jordsmonnet viste seg å være utviklet i strandavsetninger med sand som lå over leire (Figur 7).

Tykkelsen av sandlaget varierte og var tykkest i profil H1 og tynnest i profil H3. Felles for profilene var funn av overmettet leire fra ca. 130 cm som ble flytende ved håndtering. Av den grunn ble det på det sterkeste frårådd å grave ned i de ustabile leirmassene. Funnene av den ustabile leira førte til at planen for masseutskifting og terrengutforming måtte gjøres om og terrenget heves i forhold til de opprinnelige planene. I dette prosjektet tok en av topplaget (Ap-sjiktet) med sikte på å gjenbruke det som topplag på gravplassen. Underliggende sandholdige sjikt (Bw og Bg/Btg-sjikt) ble blandet til tilkjørt sand og dannet den nye laget til kistegravjord. Anleggsarbeidet startet senhøstes og det var store problemer med å oppnå jevn blanding. Entreprenøren klarte ikke å gjennomføre jordblanding i jordproduksjonsverk, slik det var angitt i prosessbeskrivelsen. Generelt bør ikke jordblanding gjennomføres i vinterhalvåret da en vet at det gir dårlig resultat. Det er ikke gjennomført noen form for oppfølgingsundersøkelser på dette feltet ut over at det er tatt noen bilder (Figur 8).



Figur 6. Plassering av jordprofil på jordsmonnsenhet som skulle representere veldrenert sandjord.



Ap 0-30 cm Moldholdig, mørk gråbrun siltig sand-sandig leittleire med grynstruktur og god rututvikling

Bw 30-50 cm Lys olivenbrun mellomsand/grovsand til siltig finsand/leittleire; svært skjør, og lett å smuldre

Bg/Btg 50-80 cm Mørk grå siltig finsand/sandig leittleire/siltig mellomleire med sterkt brune fargeflekker; skjør, lar seg smuldre til skarpkantet blokk

Btg/Cg 80-130 cm Mørk grå leittleire/siltig leittleire med sterkt brune fargeflekker; skjør, lar seg smuldre til skarpkantet blokk, men er svært fuktig

Cr 130 cm- Mørk grå leittleire/siltig leittleire, massiv, overmettet av vann

Figur 7. Jordprofil på Hafslund med tilhørende beskrivelse av de ulike sjiktene. Foto: Trond Knapp Haraldsen.



Figur 8. Hafslund gravplass etter opparbeiding av nytt felt. Til høyre vises utslag av erosjon i topplaget etter regn i vinterperioden med frosne lag dypere ned. Foto: Trond Knapp Haraldsen.

5.7 Røbekk gravplass, Molde

I 2018 ble NIBIO engasjert som underkonsulent under Grindaker ved utvidelsen av Røbekk gravplass i Molde (Økland & Haraldsen, 2018a). Det ble foretatt befarings- og profilbeskrivelser på fem plasser, for å få en representativ oversikt over massene i området. Det ble gjort jordprøveanalyser av massene for å få kornfordelingskurver og næringsinnhold.



Figur 9: Jordprofil fra undersøkelser på Røbekk, der typiske masser for området kommer tydelig frem (Toppmasser og C-sjikts undergrunnsmasser, med et tynt lag B-sjiktsmasser av smuldrende kvalitet mellom). Foto: Trond Knapp Haraldsen.

Jordprofilene i området (Figur 99) hadde ca. 50 cm topplag rikt på organisk materiale, over et tynt lag underliggende B-sjiktsmasser av god kvalitet. Disse sjiktene hadde godt utviklet struktur og smuldrende egenskaper, som gjør dem velegnet for jordblandinger. Både god rotutvikling og organisk materiale i massene indikerer bra biologisk aktivitet. Massene av god kvalitet (topplag og underliggende B-sjikt) rakk ned til ca. 60-70 cm i alle jordprofilene.

Utenom ett profil der det var fjell på 90 cm dybde, ble det på hele området funnet undergrunnsmasser av tett, massiv og svært mektig leire under de gode massene. Leiren var stiv, svært klebrig og plastisk, og var ikke ulik modellerleire i de observerte egenskapene. I disse massene var det relikte, godt bevarte røtter, et sikkert tegn på at de ikke egnest til kistegraver. Da slike masser er problematiske med hensyn til stabilitet og bæreevne, ble det anbefalt å bygge over disse massene. Så lenge arbeidet kan gjennomføres trygt, er også masseutskiftning et alternativ for slike masser.

Gravplassen er under oppbygging per i dag.

5.8 Varhaug og Nærbø

NIBIO gjennomførte forenklede feltundersøkelser i forbindelse med en feltdemonstrasjon ved fagdag i regi av Hå kirkelig fellesråd og KA, arbeidsgiverorganisasjonen for kirkelige virksomheter (Økland & Haraldsen, 2018b).

Det ble beskrevet to profiler på masseutskiftet, etablert gravplass på Varhaug kirkegård, som begge bar preg av skarpe sjiktgrenser og overganger mellom jordlag av veldig forskjellig kvalitet og egenskaper (Figur 1010). De skarpe sjiktgrensene fører til at det ikke var noen sammenhengende transport av vann og luft gjennom profilene. Undergrunnsmassene var av tettpakket leire, som ble anbefalt å henholdsvis løsne eller masseutskifte avhengig av smuldrende egenskaper og leirprosent.



Figur 10: Jordprofil fra Varhaug kirkegård. Profilet hadde svært skarpe sjiktgrenser, som begrenser både vanntransport og luftutveksling. Foto: Trond Knapp Haraldsen.

Det ble beskrevet to profiler på Nærbø kirkegård, rett utenfor etablerte gravplassområder. I begge profilene ble det observert sand, fra silting til grov i kvalitet og med avtagende moldinnhold i dybden, og veldig jevne sjiktoverganger (Figur 1111). Det ble konkludert at disse profilene hadde god naturlig dreneringsgrad, men bruk av området til gravplass forutsatte etablering av et drensopplegg under massene for å transportere vann ut av området.



*Figur 11: Jordprofil på Nærbø kirkegård, preget av sand med svært jevn overgang mellom sjiktene.
Foto: Inghild Halvorsen Økland.*

6 Dagens anbefalinger

6.1 Drenering

Naturlig drenering i jordsmonnet (Figur 1212) vil avhenge av tekstur; kornstørrelse, og struktur; hvordan partiklene er ordnet i forhold til hverandre i jorden. Sand vil naturlig pakkes slik at jorden inneholder større porer enn silt og leire, og vil derfor drenere bedre i jord uten struktur (Weil & Brady, 2017). Struktur dannes over tid med jordsmonndannende prosesser som frysing, tining, biologisk aktivitet og vanngjennomstrømning, ved at partikler samler seg i aggregater og orienterer seg i større enheter. I for eksempel leire med god struktur vil strukturutviklingen sørge for et større poresystem enn tekstur alene ville gitt, med porer i varierende størrelser som sørger for både vannlagring og drenering (Weil & Brady, 2017).

Tabell 1. Drenerende egenskaper og grunnvann for å vurdere massenes egnethet og eventuelle tiltak.

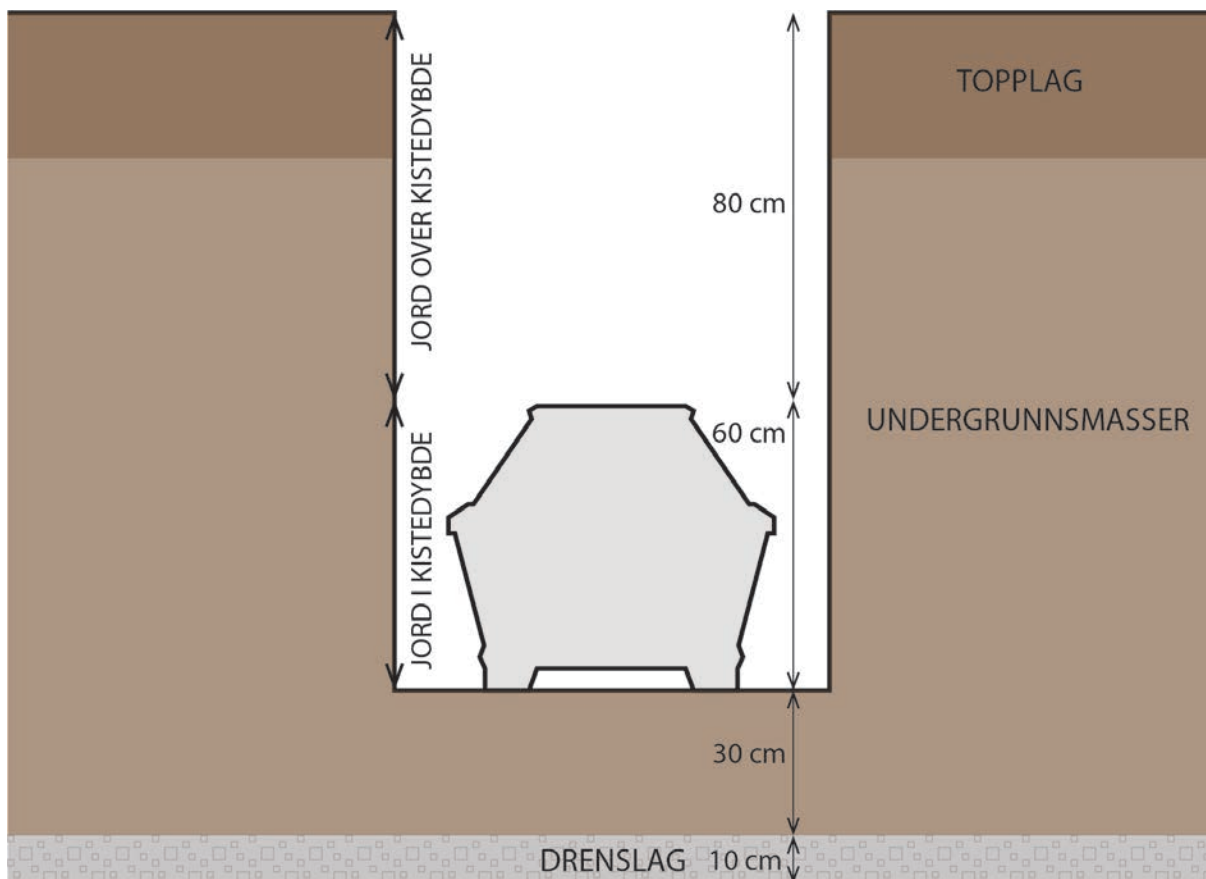
Naturlig dreneringsgrad	Beskrivelse	Typiske masser	Aktuelle tiltak
Overflødig sterk	Ikke vannopphopning i øverste 150 cm	Sortert sand og grus	Ingen
God	Ikke vannopphopning i øverste 100 cm. Ujevne fargenyanser i massene dypere enn 100 cm	Siltig sand	Ingen
Moderat god	Jordsmonn med grålig farge dypere enn 100 cm, og med ujevne fargenyanser mellom 50 og 100 cm	Lettleire, siltig sand, sandig silt	Drenering og bortledning av vann
Ufullstendig	Jordsmonn med periodevis reduserende forhold dypere enn 50 cm	Siltig lettleire, sandig silt	Drenering og bortledning av vann kombinert med delvis masseutskifting
Dårlig	Jordsmonn med periodevis reduserende forhold dypere enn 25 cm	Silt, siltig mellomleire, mellomleire, stiv leire	Masseutskifting
Svært dårlig	Jordsmonn med periodevis reduserende forhold dypere i øverste 25 cm	Silt, siltig mellomleire, mellomleire, stiv leire, torvjord	Masseutskifting



Figur 12: Venstre: Godt drenert jordsmonn med tykt topplag og stor biologisk aktivitet. Høyre: Overflødig sterkt drenert jordsmonn med sortert sand over grusrik sand. Foto: Trond Knapp Haraldsen.

For å sikre god drenering, anbefales det å ikke benytte masser med høyere leirinnhold enn lettleire, og å masseutskifte mellomleire og stiv leire (Tabell 1). Det er svært viktig at leirmasser som benyttes har god strukturutvikling, gjenkjent ved smuldrende egenskaper under laglige fuktighetsforhold. Massene i sin naturlige tilstand (før de blir en del av jordblandinger med sand) må også bare håndteres når de er tørre eller svakt fuktige, for å unngå struktukkollaps. Jordblanding i vinterhalvåret må unngås. Det har vist seg fra flere gravplassprosjekter at når en har forutsatt slikt arbeid i vinterhalvåret, har en oppnådd altfor dårlig homogeniserte jordblandinger.

Da vannet skal drenere ut av jordsmonnet og aldri bli stående i kistedybde, er det viktig at egnede jordblandinger til kistegraver blir benyttet helt ned til 30 cm under kistedybde (Figur 63). I tillegg bør det være et drenerende lag på ca. 10 cm under dette, av typen fingrus (2-6 mm), slik at vannet kan transporteres raskt ut av området. Med en gradering av partikkelstørrelse fra mellomsand/grov sand til fingrus, kan man forhindre at porene tettes med finere partikler. En konstruksjon av denne typen, der vannet ledes bort gjennom fingrus til et avløp ved lavpunkt i drenssystemet, vil sikre at grunnvannstand holdes innenfor forskriftens krav (Haraldsen 2014).



Figur 63: Jordprofil av kistegrav. Toppmasser for grøntanlegg ligger over undergrunnsmasser. Det bør være jevne og gradvise strukturoverganger nedover. For eksempel kan det være en jordblanding basert på mellomsand for topplag med noe høyere organisk innhold, den samme mellomstanden i undergrunnsmassene iblandet mindre organisk materiale, og iblandet grov sand i de nederste 30 cm under kisten. Dette gir en kontinuerlig vanntransport til drenslaget i bønn, som bør være en finsand. Målene er satt etter minimums-og maksimumskravene fra gravferdsforskriften. Illustrasjon: Marina Gamborg.

6.2 Jordsmonn

Viktige egenskaper til jordsmonn:

- Tilstrekkelig vannledningsevne
- Tilstrekkelig vannlagringsevne
- God luftveksling
- Mikrobiell aktivitet
- Noe innhold av organisk materiale

6.3 Anbefalinger

- Lage jordblanding med selvdrenerende egenskaper og tilstrekkelig vannlagringsevne -> gir et jordsmonn med god funksjon for rotutvikling av planter og mulighet for jordbiologisk aktivitet i dybden
- Sørge for effektiv bortledning av vann på nivå dypere enn kistebunn

- Utarbeide kravspesifikasjoner ut fra kunnskap om hvilke gravplasser en vet har tilfredsstillende nedbrytningsforhold og funksjon for plantevekst

7 Muligheter, utfordringer og konklusjoner

7.1 Klima

Klimaet i Norge vil bli varmere, villere og våtere, med ekstreme værepisoder i retning både tørke og storm. Slik lyder prognosene, og vi ser allerede de første tegnene på at dette inntreffer. Sommeren 2018 var lang og tørr i store deler av landet, med tre sammenhengende måneder nesten uten nedbør, men med desto høyere temperaturer. Mangt et grøntanlegg slet med tørkestress og vanningsforbud. Høsten 2018 skiftet været dramatisk, og det ble regn – og mye av det. Plutselig var problemet at plantene druknet i vann, og mange plasser fikk man sumplignende tilstander som skapte driftsutfordringer. Vinteren 2020 på Østlandet har det vært to måneder med varme – som om snøen akkurat skulle ha smeltet, og våren er rett rundt hjørnet. Dette skaper utfordringer med hengende vann over telefront, og svært våte masser.

For gravplasser byr klimaendringene på spesielle utfordringer. I tillegg til å skulle ha et fungerende grøntanlegg med frisk, frodig plen, trengs det en aktiv jord der nedbrytning, ikke bevaring, blir resultatet. Sommeren er den beste tiden for nedbrytning, og i noen få måneder har Norge også egnede temperaturer. Men en sommer uten nedbør der jorden tørker opp, vil skape begrenset biologisk jordaktivitet. På vinteren begrenses nedbrytning naturlig av temperaturer. Våte vintre med temperaturer rett over null vil tilsomt bidra stort til nedbrytning. Men med vannmettede graver og anaerobe prosesser er det derimot trolig gode forhold for likvoksdannelse.

Et «worst case»-scenario med mumifisering på sommeren og produksjon av likvoks på vinteren, altså gode forhold for bevaring av våre avdøde, er ikke vanskelig å forestille seg. I lys av dette blir det enda viktigere å finne godt egnet jord for gravplasser – ikke bare for dagens klima, men også de forholdene vi må forvente å få i tiden fremover.

7.2 Egnede jordblandinger og praktiske utfordringer

Erfaringer fra Havstein og Charlottenlund gravplass i Trondheim viser at jordblandinger i praksis er vanskelige å lage homogene etter oppskrift. Da kontrahert entrepenør og gravere må forholde seg til tidsbegrensninger og budsjett, blir arbeidet gjennomført uavhengig av værforhold.

Jordmasser, spesielt leire og silt, er svært sensitive til fuktighet. Egenskapene som gjør dem lett blandbare; god strukturutvikling og smuldring, forutsetter at jorden er bare svakt fuktig. Tørre masser blir harde, mens våte masser løser seg opp og blir flytende. Når så masser blir håndtert under våte forhold, vil jorden miste de egenskapene som gjorde den egnet for kistegraver. Smuldrende masser som har blitt flytende, vil ikke få tilbake opprinnelig struktur når de tørker igjen. Det er derfor svært viktig at massene håndteres og at jordblandingen lages under laglige forhold med bare svakt fuktig jord.

I områder med mye nedbør, hvis ovenfor nevnte forutsetninger ikke kan oppfylles, bør trolig jordblandingene tilpasses prosjektets forutsetninger om mulig, spesielt med hensyn på finstoffinnhold. Det er behov for å finne ut om generelt tørkeutsatt jord likevel gir god nok nedbrytning i slike områder. I områder med varierende nedbørsforhold bør arbeidet med å flytte masser og lage gravjordsblandinger begrenses til egnede perioder, slik at resultatet blir en gravplass som tåler både tørkestress og kraftige nedbørsperioder.

Mer kompliserte jordblandinger krever kursing og oppfølging av entrepenør og gravere. Da gravplasser bygges som en investering for mange generasjoner fremover, er det viktig at kvalitet verdsettes høyst. En gravplass bygget innenfor budsjett og tidsrammer er likevel bortkastet hvis funksjon ofres underveis.

7.3 Videre arbeid

Det er et behov for å finne grensene for jordkvalitet (kornfordelingskurver med nedre og øvre grense for mengde finkornet materiale og grovhet, samt en tilnærming til en «ideell» kurve med hensyn på klima) i jordblandingene som funksjon av nedbør, som fortsatt opprettholder krav om biologisk aktivitet for nedbrytning, stabile gravkanter og fungerende grøntanlegg. Det er viktig å få mer innsikt i hva som er tilstrekkelig kvalitet og egenskaper hos masser i forskjellige klimasoner. Et område med mye nedbør har andre utfordringer og behov enn områder som har utfordringer med tørke. En god modell for gravjord som funksjon av klima vil øke sjansene for at delvis masseutsiftede og nyetablerte gravplasser får god driftsfunksjon, og vil gjøre det mulig å planlegge for kommende klimaendringer og nedbørsutfordringer.

8 Referanser

- Brown, R., Percivalle, C., Narkiewicz, S. & DeCuollo, S. 2010. Relative Rooting Depths of Native Grasses and Amenity Grasses with Potential for Use on Roadsides in New England. *HortScience horts* 45(3), 393-400. Retrieved Mar 2, 2020, from <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/45/3/article-p393.xml>. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.3.393>.
- Bøttiger, E. 1924. Kirkegaardens beplantning. *Norges landbrukshøgskole*, 13 s.
- Carter, D.O., Yellowices, D. & Tibbett, M. 2008. Temperature affect microbial decomposition of cadavers (*Rattus rattus*) in contrasting soils. *Applied Soil Ecology* 40, 129-137.
- Durães, N., Cortez, D., Algarra, M., Sánchez, F.G., Rodríguez-Borges, J.E., Bobos, I., Joaquim, C.G., da Silva, E. 2010. Comparison of adipocere formation in four soil types of the Porto (Portugal) district. *Forensic Science International* 195, 168e1–168e6.
- Fiedler, S. & Graw, M. 2003. Decomposition of buried corpses, with special reference to the formation of adipocere. *Naturwissenschaften* 90, 291-300.
- Fielder, S., Berns, A.E., Schwark, L., Woelk, A.T., & Graw, M. 2015. The chemistry of death – Adipocere degradation in modern graveyards. *Forensic Science International* 257, 320-328.
- Fiedler, S., Schneckenberger, K. and Graw, M. 2004. Characterization of soils containing adipocere. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 47, 561-568.
- Forbes, S.L., Dent, B.B. & Stuart, B.H. 2005. The effect of soil type on adipocere formation. *Forensic Science International* 154, 35-43.
- Forbes, S.L., Stuart, B.H. & Dent, B.B. 2005a. The effect of the burial environment on adipocere formation. *Forensic Science International* 154, 24-34.
- Forbes, S.L., Stuart, B.H. and Dent, B.B. 2005b. The effect of the method of burial on adipocere formation. *Forensic Science International* 154, 44-52.
- Fründ, H.-C. & Schoenen, D. 2009. Quantification of adipocere with and without access to oxygen and to the living soil. *Forensic Science International* 188, 18-22.
- Henderson J (1987) *Factors determining the state of preservation of human remains. In: Boddington A, Garland AN, Janaway RC (eds) Death, decay and reconstruction: approaches to archaeology and forensic science.* Manchester University Press, Manchester, 43–54.
- Haraldsen 2014. Masseutskifting på Charlottenlund gravplass. Jordundersøkelser og forslag til jordblandinger til grøntanlegg og kistegravfelt. *Lukket Bioforsk report* 9(70), 26 s.
- Haraldsen, T.K. 2015. Jordblandinger til kistegravfelt – Hafslund. *NIBIO Notat* 10.11.2015 22 s.
- Haraldsen, T.K. 2017. Egenskapene til undergrunnsjorda på norske gravplasser er avgjørende for gjenbruk av graver. *Gravplassen* 31.03.2017. 8-11.
- Isbell, R.F. 2002. *The Australian Soil Classification*. CSIRO Publishing, Collingwood.
- Klingberg, H. 1997. *Kirkegårdsboka*. Forsythia forlag.
- Lindbo, D.L., Kozlowski, D.A., Robinson, C. (Eds.), 2012. *Know Soil Know Life*. Soil Science Society of America, Madison, 206 s.
- Moe, S. 2011. Utskifting av masse ved oppgraving av graver. *FAGUS Fakta* 8(7), 2 s.
- Offergaard, S. 2017. Gravarbeiderne. *Byggeindustrien* 15, 32-34.

- Paul, E.A. 2014. *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. 4th ed. Academic Press, San Diego, 600 s.
- Pfeiffer, S., Milne, S. & Stevenson, R.M. 1998. The natural decomposition of adipocere. *Journal of Forensic Sciences* 43(2), 368-370.
- Pragnell, J. & McGowran, G. 2009. Soil temperature calculation for burial site analysis. *Forensic Science International* 191, 104-109.
- Rafoss, T.M. & Skjeldal, K. 2008. Plastgraver – en orientering. *Kultur- og kirkedepartementet V-18N*, 8 s.
- Schotsmans, E.M.J. 2013. The effects of lime on the decomposition of buried human remains. *PhD Thesis. University of Bradford*.
- Stople, E. 2011. Utsifting av løsmasser i forbindelse med opparbeidelse av gravlunder. Erfaringer fra Hundvåg gravlund i Stavanger. *FAGUS Fakta* 8(10), 8 s
- Sveistrup, T.E. 1984. Retningslinjer for beskrivelse av jordprofil. *Jord og myr* 8(2), 30-77.
- Sveistrup, T.E. & Njøs, A. 1984. Kornstørrelsesgrupper i mineraljord. Revidert forslag til klassifisering. *Jord og myr* 8(1), 8-15.
- Thew, H.A. 2000. Effects of lime on the decomposition rate of buried remains. *Master's thesis. University of Indianapolis*.
- Weil, R. R., & Brady, N. C. 2017. *The Nature and Properties of Soils*. Global Edition.
- Weinig, E. 1958. Die Nachweisbarkeit von Giften in exhumierten Leichen. *Dtsch Z Gesamte Gerichtl Med* 47, 397–416.
- Weinzierl, W. Waldmann, F. 2002. Karte der potenziellen Problemstandorte für Erdbestattungen in Baden-Württemberg. *Wasser Boden* 54, 4–7.
- Økland I.H. & Haraldsen, T. 2018a. Røbekk Gravlund. Tiltaksvurdering for massehåndtering. *NIBIO Rapport* 4(81) 34 s.
- Økland I.H. & Haraldsen, T. 2018b. Jæren. *NIBIO notat* 18.07.2018 8 s.

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.