

Muligheder og udfordringer for landfill mining i Danmark

Rune J. Clausen og Per Kalvig

MiMa rapport 2020/1



Muligheder og udfordringer for landfill mining i Danmark

Rune J. Clausen og Per Kalvig

MiMa rapport 2020/1

Muligheder og udfordringer for landfill mining i Danmark

MiMa rapport 2020/1

Forfattere: Rune J. Clausen & Per Kalvig

Teknisk redaktion: Kisser Thorsøe

Styregruppe:

Christian Andersen, Regionernes Videntcenter for Miljø og Ressourcer

Jakob Kløve Keiding, Videntcenter for Mineralske Råstoffer og Materialer

Nanna Isbak Thomsen, Regionernes Videntcenter for Miljø og Ressourcer

Niels Remtoft, Dansk Affaldsforening

René Møller Rosendal, Dansk Affaldsforening

DAF og VMR har bidraget til finansieringen af rapporten. Ansvar for rapporten og tilhørende anbefalinger er MiMa's og udtrykker ikke nødvendigvis DAF og VMR's synspunkter.

Udgivet: Juni 2020

ISBN: 978-87-7871-536-4 (digital version)

Indholdsfortegnelse

Sammendrag	7
English Summary	9
1. Introduktion	11
1.1 Formål	12
1.2 Afgrænsning og definitioner	13
2. Lossepladser og deponier i Danmark – hvad ved vi?	15
2.1 Lossepladsernes placering, indretning, drift, affaldstyper og afgiftsændringer – historiske ændringer frem til 2020	15
2.2 Miljøstyrelsens affaldsdata (ISAG og EAK)	20
2.3 Viden om affaldstyper fra miljøkortlægningen	22
2.4 Konklusion – status for viden om danske lossepladser	26
3. Ressourcepotentiallet i danske lossepladser og deponeringsanlæg	27
4. Danske erfaringer med LFM	30
4.1 Miljøcenter Gerringe, REFA (3.000 ton)	32
4.2 Avedøre Deponi, AV Miljø (2.600 ton)	33
4.3 Affaldscenter Skårup, Renosyd (2.000 ton)	34
4.4 Konklusion – danske LFM-erfaringer	36
5. Udenlandske erfaringer med LFM	38
5.1 Gennemgang af seks udenlandske LFM-projekter	38
5.1.1 Kudjape Landfill, Saaremaa Island, Estland (83.000 ton)	40
5.1.2 Perdido, USA (660.000 ton)	41
5.1.3 Edinburgh, USA (40.000 ton)	41
5.2 Konklusion – udenlandske LFM-projekter	42
6. Anvendelsesmuligheder for jord og finfraktion fra LFM	44
6.1 Anvendelse på aktivt deponi	44
6.2 Jordflytning og tilladelse efter § 19 og § 33 i Miljøbeskyttelsesloven	46
6.3 Midlertidig oplagring	47
6.4 Teknisk behandling	47
6.4.1 Rensning	47
6.4.2 Sortering	48
7. Økonomisk scenarieanalyse	50
7.1 Lossepladstypernes størrelse	50

7.2	Affaldssammensætning.....	52
7.3	Anvendelse af jord og finfraktion fra LFM	53
7.4	Priser på jord og affald	54
7.5	Sortering og drift.....	54
7.6	Hypotetiske og teoretiske besparelser og indtægter	56
7.7	Økonomisk datagrundlag	58
7.8	Resultater og konklusion.....	61
8.	Konklusion	63
9.	Anbefalinger	66
	Referencer	67

Tabeloversigt

Tabel 1	<i>Oversigt over affaldstyper, samt retningslinjer for valg af deponeringsplads</i>	17
Tabel 2	<i>Historik over ændringer i definitioner, praksis, lovgrundlag og afgifter for deponering af affald</i>	19
Tabel 3	<i>Opsummering af generelle kendetegn for lossepladser og deponeringsanlæg i forhold til driftsperiode</i>	20
Tabel 4	<i>For ti udvalgte lossepladser: Den eksisterende viden om deponeret affald og om arealernes anvendelse i dag, som den fremgår af Miljøstyrelsens miljødata</i>	24
Tabel 5	<i>Gennemgang af udvalgte parametre for ti lossepladser</i>	25
Tabel 6	<i>Skønnede gennemsnitlige affaldssammensætninger (%) for ukontrollerede og kontrollerede lossepladser samt deponeringsanlæg i Danmark</i>	28
Tabel 7	<i>Beregnete affaldsmængder i lossepladser og deponeringsanlæg i Danmark</i>	29
Tabel 8	<i>Nøgletal og affaldssammensætninger fra danske LFM-projekter</i>	31
Tabel 9	<i>Oversigt over seks udvalgte fuldskala-LFM-projekter</i>	39
Tabel 10	<i>Oversigt over opgravede og karakteriserede fraktioner fra udvalgte udenlandske LFM-projekter</i>	40
Tabel 11	<i>Prisniveau for anvendelserne af jord</i>	44
Tabel 12	<i>Væsentlige forskelle og ligheder mellem de to driftsscenarier, 'business as usual' og 'best practice'</i>	51
Tabel 13	<i>Affaldssammensætningen i de tre scenarier, ukontrolleret losseplads, kontrolleret losseplads og deponeringsanlæg</i>	51
Tabel 14	<i>Beregnet areal (m²), fyldhøjde (m) og slutfærdig (m) samt affaldsmængde og slutfærdig (ton) for affaldssammensætningen i de tre lossepladstyper i scenarierne</i>	52
Tabel 15	<i>Skønnede affaldssammensætninger (%) for ukontrollerede og kontrollerede lossepladser samt deponeringsanlæg i Danmark på baggrund af fem kendte opgravede deponier i Danmark</i>	52
Tabel 16	<i>Beregnete affaldsmængder (ton) for ukontrollerede og kontrollerede lossepladser samt deponeringsanlæg i Danmark</i>	52
Tabel 17	<i>Håndtering af slutfærdigjords jord (%)</i>	53
Tabel 18	<i>Håndtering af finfraktionen fra affaldssortering (%)</i>	53
Tabel 19	<i>Håndtering af jord (slutfærdig og finfraktion), 'business as usual' (ton)</i>	53
Tabel 20	<i>Håndtering af jord (slutfærdig og finfraktion), 'best practice' (ton)</i>	54
Tabel 21	<i>Enhedsomkostninger på affald (kr./ton)</i>	54
Tabel 22	<i>Enhedsomkostninger på jord</i>	54
Tabel 23	<i>Enhedsomkostninger til sortering, drift og projektering for scenarierne 'business as usual' og 'best practice'</i>	56
Tabel 24	<i>Hypotetiske og teoretiske besparelser og indtægter som bruges i scenarieanalysen</i>	56
Tabel 25	<i>Indtægter og udgifter for alle scenarier (kr.)</i>	59
Tabel 26	<i>Indtægter og udgifter for alle scenarier (kr./ton opgravet affald)</i>	60

Figuroversigt

Figur 1	<i>De hestetrukne skraldevogne tømmes på Valby Fælle</i>	16
Figur 2	<i>Deponeret affald fordelt på kilde i 1994, 2001, 2008 og 2014 (1.000 ton)</i>	17
Figur 3	<i>Antal lukkede mio. m² på lossepladser i Danmark (samlet areal) efter hvilket år de lukkede</i>	18
Figur 4	<i>Kortlagte losse- og fyldpladser der var registreret i regionernes databaser december 2012</i>	23
Figur 5	<i>Opgravninger relateret til LFM i Danmark</i>	30
Figur 6	<i>Sortering med Neuson-tromlesold (neuson-ecotec.com) ved LFM af dagrenovation på Miljøcenter Gerringe</i>	32
Figur 7	<i>Sortering af blandet affald ved LFM-forsøgsprojektet på Avedøre Deponi</i>	33
Figur 8	<i>Gravemaskine og rystesorteringsanlæg ved forsøgsprojekt vedrørende LFM af blandet affald på Affaldscenter Skårup</i>	34
Figur 9	<i>Flowdiagram over LFM-projektet i Skårup: Forundersøgelser, sorteringsprocesser, udsorterede fraktioner og anvendelser</i>	35
Figur 10	<i>Oversigt over udvalgte muligheder for håndtering af jord og finfraktioner fra LFM i Danmark</i>	45
Figur 11	<i>Scenariet 'business as usual' for hver af de tre lossepladstyper</i>	61
Figur 12	<i>Scenariet 'best practice' for hver af de tre lossepladstyper</i>	62

Sammendrag

Formålet med denne undersøgelse var at identificere udfordringer og muligheder for at nyttiggøre affaldet i danske lossepladser på en bæredygtig og kommerciel attraktiv måde. Sådanne aktiviteter benævnes ofte 'landfill mining' på engelsk og omtales i denne rapport LFM. Undersøgelsen er ikke udtømmende, men peger på forhold i rammebetingelser, som har betydning for øgede LFM-aktiviteter i Danmark. Undersøgelsen adresserer både gamle lossepladser (ukontrollerede som kontrollerede) og deponeringsanlæg (aktive som lukkede), men fokuserer udelukkende på affaldskategorien 'blandet affald'. Undersøgelsen er baseret på litteraturstudier og interviews med fag- og myndighedspersoner i Danmark med relevans for projektets tekniske, økonomiske, lovgivningsmæssige, myndighedsmæssige, miljømæssige og samfundsmæssige aspekter.

Erfaringer fra LFM-projekter i Danmark og udlandet viser, at utilstrækkeligt vidensniveau om affaldets sammensætning før opgravning, samt uafklarede anvendelsesmuligheder for udsorterede materialer og priser for disse produkter er væsentlige risikofaktorer for aktiviteterens kommercielle succes. De udenlandske LFM-projekters primære formål var at frigøre kapacitet på et aktivt deponi, og der var ingen fokus på udsortering af materialer til genanvendelse, hvorfor der er begrænset erfaring med det. De udenlandske projekter har overordnet set haft en positiv totaløkonomi, hvorimod de danske LFM-projekter generelt ikke har haft en positiv totaløkonomi. Forskellene mellem de danske projekter (formål, affaldssammensætning, sorteringsmetode, etc.) og det begrænsede erfaringsgrundlag gør, at der ikke entydigt kan peges på forhold, som vil give positiv totaløkonomi på fremtidige LFM-projekter i Danmark.

De danske LFM-projekter blev igangsat på grundlag af forundersøgelser. Men retrospektivt har prøveopgravning og prøvetagning været for utilstrækkelig til, at affaldssammensætningen er blevet bestemt på det nødvendige niveau. I nærværende undersøgelse er det vurderet, i hvilket omfang lossepladsens historiske kontekst kan bidrage med viden om affaldssammensætningen som led i forundersøgelserne. Gennemgangen viser, at rammerne for deponering er ændret over tid i forhold til placering, størrelse, indretning og afgifter. Gennemgangen viser også, at affaldssammensætningen dels har ændret sig over tid og dels afhænger af lokale forhold. Derfor er sammensætningen af blandet affald uforudsigelig og den historiske kontekst kan ikke nyttiggøres til vurdering af affaldssammensætningen. Det vurderes derimod, at Miljøstyrelsens affaldsdata (indberettet efter ISAG fra 1994 og afløst af EAK i 2010), samt kortlægningsdata (V1 og V2) for jordforurening vil kunne bidrage til den manglende viden fra forundersøgelser og i forbindelse med en eventuel national kortlægning af ressourcepotentialet.

Der findes knap 4.000 affaldsdeponier i Danmark. Hidtil er der ikke foretaget en vurdering af volumen og kvalitet af affaldet i disse deponier, og der eksisterer derfor ikke viden om, i hvilket omfang affaldet i lossepladser og deponeringsanlæg udgør en væsentlig ressource, set fra et samfundsmæssigt perspektiv. I et forsøg på at få viden om dette, er der i nærværende undersøgelse foretaget et skøn over den samlede mængde af affald i danske losse-

pladser og deponeringsanlæg. Dette skøn indikerer, at affaldsmængderne kan bidrage væsentligt til samfundets forbrug af primære råstoffer under forudsætning af, at de kan realiseres.

Gennemgangen af tidligere projekter viser, at projektøkonomien primært påvirkes af anvendelsesmulighederne for de udsorterede materialefraktioner, hvor jord og finfraktion udgør de største volumener. Gennemgangen viser desuden, at der er store prisforskelle på de forskellige muligheder: (i) det er dyrest at gendeponere materialerne, enten på det samme deponi eller på et nyt deponi; prisen er omkring 500 kr./ton; og (ii) det er billigst at anvende jord og finfraktion som fri jord med en indtægt på 20-35 kr./ton. Der er desuden forskellige muligheder for at anvende jord og finfraktion på aktive deponier som afdækning af asbestaffald, som dækmaterialer eller til slutaftækning. De aktuelle anvendelsesmuligheder afhænger derudover også af lokale forhold samt af forureningsklassen.

På baggrund af en scenarieanalyse er der foretaget en vurdering af økonomien for LFM-projekter. I scenarierne sammenholdes driftsøkonomi, affaldssammensætning og materialeanvendelse med en række hypotetiske besparelser og indtægtsmuligheder i form af (i) sparet anlægssomkostning ved frigivelse af kapacitet, (ii) sparet omkostning til efterbehandling (30 år), (iii) yderligere sparet omkostning til efterbehandling (+50 år), (iv) salg af grund i byzone og (v) affaldsafgift retur, samt en teoretisk indtægt i form af (vi) tilskud for reduktion af CO₂ (metan). Analysen viser, at der samlet set ikke opnås en positiv totaløkonomi for scenarierne, når de hypotetiske og teoretiske besparelser og indtægter (i-iv) og (vi) indregnes. Derimod vil en eventuel tilbagebetaling af (v) affaldsafgiften på 475 kr./ton i næsten alle scenarier kunne skabe en positiv totaløkonomi. De totale omkostninger i scenarierne varierer fra -350 kr./ton til -434 kr./ton. Den største udgiftspost er knyttet til sorteringsprocessen og derefter til energiafgiften og afsætning af jord til nyttiggørelse og/eller deponering.

English Summary

The purpose of this study was to identify challenges and opportunities in relation to recovering waste in Danish landfills in a sustainable and commercially attractive way. Such activities are often referred to as 'landfill mining', in this report abbreviated LFM. The study is not exhaustive, but points to conditions in the framework that are important for increased LFM activities in Denmark. The study addresses both old landfills (uncontrolled as well as controlled ones) and new landfills (active as well as closed ones) but focuses exclusively on the 'mixed waste' category. The study is based on literature studies and interviews with Danish professionals and government personnel who are relevant to the project's technical, economic, regulatory, environmental, and social aspects.

Experience from previous LFM projects in Denmark and abroad shows that an insufficient level of knowledge about the waste composition before excavation, as well as an uncertainty concerning how to use the sorted materials and what their prices should be, are significant risk factors when it comes to the commercial success of the activities. The primary purpose of the international LFM projects was to free up capacity at active landfills, and there was no focus on the sorting of materials for recycling, which means that the experience with this is limited. In general, the international LFM projects had a positive economy, whereas the Danish LFM projects in general did not have a positive economy. Since the Danish projects are different (in respect to purpose, waste composition, sorting method, etc.) and the experience is limited, it is not possible to point to conditions that will provide a positive economy for future LFM projects in Denmark.

The Danish LFM projects were initiated after preliminary studies. But retrospectively, sampling has been too inadequate for the waste composition to be determined at the required level. The present study assesses the extent to which the landfill's historical context can contribute to knowledge of the waste composition as part of the preliminary studies. The study shows that the landfill framework has changed over time when it comes to location, size, layout, and charges. The study also shows that the waste composition has changed over time and depends on local conditions. Therefore, the composition of mixed waste is unpredictable, and the historical context cannot be utilised for assessing the waste composition. On the other hand, our estimation is that the Danish Environmental Protection Agency's waste data (reported after ISAG from 1994 and replaced by EAK in 2010), as well as mapping data (V1 and V2) for soil pollution can increase the limited knowledge from preliminary studies and can be used in connection with a possible national mapping of the resource potential.

There are almost 4,000 waste landfills in Denmark. So far, no assessment has been made of the volume and quality of the waste in these landfills, and therefore there is no knowledge of the extent to which the waste constitutes a significant resource from a societal perspective. In order to gain more knowledge about this an estimate of the total amount of waste in Danish landfills have been made. The estimate indicates that landfill waste could be a significant factor in reducing society's consumption of primary resources, provided the resource potential of the waste can be realised.

The review of previous projects shows that the project economy is primarily affected by the possible use of the sorted material fractions, of which soil and fine fraction constitute the largest volumes. The review also shows that there are large price differences depending on the different options: (i) the most expensive option is to redeposit the materials, either at the same landfill or at a new landfill; the price is around DKK 500/tonne; and (ii) the cheapest option is to use soil and fine fraction as free soil with an income of DKK 20-35/tonne. There are also various options for using soil and fine fraction at active landfills, such as for covering asbestos waste, as cover material or as final cover. In addition, the current usability of material fractions from LFM also depends on local conditions and the pollution classification.

Based on a scenario analysis, the economy of LFM projects has been assessed. In the scenarios, operating economics, waste composition and material use are related to a number of hypothetical savings and revenue opportunities, namely: (i) saved plant cost when freeing up capacity, (ii) saved post-treatment cost (30 years), (iii) additional saved cost for post-treatment (50+ years), (iv) sale of land in urban zone and (v) waste tax returns, as well as a theoretical income, namely: (vi) subsidies for reducing CO₂ (methane). The analysis shows that the scenarios do not achieve a positive economy when the hypothetical and theoretical savings and revenues (i-iv) and (vi) are included. On the other hand, if the waste tax of DKK 475/tonne (v) were to be returned to the landfill owner then almost all scenarios would achieve a positive economy. The total costs in the scenarios range from DKK -350 per tonne to DKK -434 per tonne. The largest single expenditure is related to the sorting process and following that the energy tax and the disposal of land for recovery and/or landfill.

1. Introduktion

Samfundets stigende behov for mineralske råstoffer kombineret med politiske ønsker om mere og bedre genbrug og genanvendelse har sat fokus på mulighederne for at genanvende affaldsstrømme. Lossepladser og deponeringsanlæg i Danmark kan indeholde vigtige råstoffer, som måske kan genanvendes efter opgravning og udsortering og dermed bidrage til at reducere behovet for at udvinde primære råstoffer. I Danmark er det politiske ønske om øget genanvendelse en del af anbefalingerne fra regeringens 'Advisory Board for Cirkulær Økonomi'. EU-Kommissionen udgav i 2020 strategien 'Circular Economy Action Plan', mens nødvendigheden af øget fokus på de sekundære ressourcer også understøttes af FN's verdensmål om rent drikkevand (Verdensmål 6) og ansvarligt forbrug af råstoffer (Verdensmål 12).

Vurdering af de sekundære ressourcers økonomiske potentiale forudsætter, at der er viden om materialesammensætning, mængder, kvaliteter og forureningsgrad, samt viden om hvordan disse ressourcer bør håndteres for at omdanne dem til bæredygtige og kommercielle produkter. I Danmark er der ikke gennemført en kortlægning og sammenstilling af den eksisterende viden om affaldets ressourcepotentiale. I nærværende undersøgelse er der, på baggrund af eksisterende informationer og data, foretaget et skøn over volumen af de sekundære ressourcer.

Opgravning og genanvendelse af affald benævnes på engelsk ofte 'landfill mining' og omtales i denne rapport LFM. LFM har haft stor bevågenhed i EU i den seneste årrække. Denne interesse er bl.a. udtrykt igennem en række initiativer for vidensopbygning, fx 'European Enhanced Landfill Mining Consortium' (EURELCO) og EU-projekter og tiltag som fx MINEA, NEW-MINE, SMART GROUND, RAWFILL, COCOON, PROSUM, SCREEN og PANORAMA, der har til formål at skabe netværk og samle data om sekundære råstoffer, herunder om råstofpotentialet i lossepladser i EU.

I Danmark er der i perioden 2010-2016 udført fem småskala LFM-forsøg. Projekterne har haft forskellige formål, tilgange og tekniske udfordringer, og som følge heraf er de totaløkonomiske resultater stærkt varierende (fra -775 kr./ton til 50 kr./ton). Der er derfor behov for at vurdere, hvilke forudsætninger der er mest afgørende for at skabe en positiv forretningsmodel for LFM i Danmark, ligesom der er behov for at kortlægge de tekniske og administrative barrierer i LFM-projekter.

På denne baggrund har Videncenter for Mineralske Råstoffer og Materialer (MiMa), på vegne af Dansk Affaldsforening (DAF) og Regionernes Videncenter for Miljø og Råstoffer (VMR), med denne rapport skabt et overblik over datakilder og nøgleinformation og peget på tekniske og økonomiske muligheder og udfordringer, som kan indgå i en fremadrettet diskussion om, hvordan LFM-ressourcepotentialet bedst kan udnyttes.

Ansaret for rapporten og tilhørende anbefalinger er MiMa's og udtrykker ikke nødvendigvis DAF og VMR's synspunkter.

1.1 Formål

Formålet med denne undersøgelse har været at identificere udfordringer og muligheder for at skabe en økonomisk bæredygtig forretningsmodel for LFM i Danmark. Undersøgelsen er baseret på litteraturstudier og interviews med fag- og myndighedspersoner i Danmark, og projektet har berørt både tekniske, økonomiske, lovgivningsmæssige, myndighedsmæssige, miljømæssige og samfundsmæssige aspekter.

Undersøgelsen adresserer både gamle lossepladser (ukontrollerede som kontrollerede) og deponeringsanlæg (aktive som lukkede), men fokuserer udelukkende på affaldskategorien 'blandet affald'. Undersøgelsens detailformål og arbejdsopgaver var:

Erfaring fra LFM

Sammenstilling af erfaringer fra projekter i Danmark og udlandet

- Hvad er forskellene og lighederne i forhold til formål, afsætning, mv.?
- Hvad var udfordringerne og løsningerne?

Tilgængelig viden til brug for forundersøgelser og kortlægning

Vurdering af det eksisterende niveau af viden om affaldssammensætningen

- Findes der historisk viden og data, som kan indkredse affaldstyperne?
- Findes der nationale data om affaldssammensætningen?

Ressourcepotentiale

Vurdering af det samlede ressourcepotentiale ved LFM i Danmark

- Hvad er den generelle affaldssammensætning?
- Hvad er de gennemsnitlige dimensioner?

Jord og finfraktion fra LFM

Identifikation af anvendelsesmuligheder for jord og finfraktion fra LFM

- Hvor er der hjemmel, og hvad er anvendelsesmulighederne?
- Hvad er prisniveauerne for anvendelsesmulighederne?
- Kan de tekniske og miljømæssige egenskaber forbedres?

Scenarieanalyse

Vurdering af muligheden for en positiv LFM-økonomi i Danmark

- Hvilke driftsforhold er 'business as usual' og 'best practice'?
- Hvilke affaldssammensætninger er sandsynlige?
- Hvilke potentielle indtægtskilder kan der være ud over materialerne?

Undersøgelsen, som ikke er udtømmende, skal ses som et bidrag til diskussionen om, hvordan der kan etableres de nødvendige lovmæssige og konceptmæssige rammebetingelser for kommercielt attraktive LFM-aktiviteter i Danmark.

1.2 Afgrænsning og definitioner

Nærværende undersøgelse vedrører vidensniveauet i relation til LFM af deponeret 'blandet affald' i både gamle lossepladser og moderne deponeringsanlæg. Undersøgelsen beskæftiger sig ikke med potentialet for LFM af fyldpladsaffald, specialdeponeret affald, inert, mineralsk eller farligt affald og jord. Nedenfor præciseres begreberne *Landfill Mining*, *Losseplads*, *Specialdepot/specialdeponi*, *Deponeringsanlæg*, *Blandet affald i deponeringsanlæg*, *Affald*, *Ressource* og *Råstof* som de anvendes i denne rapport, dette velvidende at gamle lossepladser indeholder affaldstyperne beskrevet ovenfor.

Landfill Mining (LFM)

Landfill Mining (LFM) bruges her om alle aktiviteter, hvor tidligere deponeret affald opgraves, sorteres og i overvejende grad genanvendes eller forbrændes med henblik på energinyttiggørelse. Vi anvender således ordet uanset hvilket formål aktiviteten måtte have, og uanset om nyttiggørelsen af de opgravede materialer bidrager positivt eller negativt til den samlede økonomi. På engelsk anvendes ofte betegnelsen 'Landfill Mining and Remediation' da LFM-aktiviteter ofte har råstofmæssige såvel som miljømæssige formål. Den engelske betegnelse dækker både formål med arealfrigørelse i byområder, kapacitetsfrigørelse i et deponi, kystsikring/klimasikring, reduktion af metangasudledning og formål, hvor LFM-aktiviteten foretages af principielle/landskabsæstetiske årsager. Da vi ikke har fundet et dækkende dansk ord for dette, benytter vi i denne rapport det engelske ord.

Losseplads

Historisk er deponeringsaktiviteter inddelt i *lossepladser* og *fyldpladser*, men i praksis er begreberne anvendt meget forskelligt. Betegnelsen lossepladser har dækket over deponering af det affald, som ikke skulle specialdeponeres (typisk olie- og kemikalieaffald), og som ikke blev kørt på en fyldplads. Betegnelsen lossepladsaffald dækker således over mange forskellige affaldstyper såsom inert, mineralsk og bionedbrydelige affaldstyper (Miljøstyrelsen 2014). Betegnelsen fyldpladser har generelt dækket over deponering af affald med en lav risiko i forhold til grundvand og overfladevand, og det har typisk drejet sig om deponering af bygge- og anlægsaffald og jord.

Specialdepot/specialdeponi

Begrebet *specialdepoter* kom til i 1974 med 'Vejledning om kontrollerede deponier' (Miljøstyrelsen 1974), der beskrev at specialdepoter kunne anlægges som en særskilt plads eller som et afgrænset afsnit af en losseplads. Specialdepoter dækker over deponeringsaktiviteter med en enkelt affaldstype (monofraktion) eller et begrænset antal affaldstyper med kendt sammensætning. Typiske eksempler på specialdeponeret affald er forurennet jord, slagger og flyveaske, slammaske og spildevandsslam (Miljøstyrelsen 2014). I dag anvendes betegnelsen *specialdeponi* typisk kun om offentligt ejet deponi til jord og private eller offentlige virksomheders deponier til håndtering af eget affald (RenoSam 2011).

Deponeringsanlæg

Det er ikke klart, hvornår brugen af begrebet lossepladser blev ændret til *deponeringsanlæg*. Men i forbindelse med Miljøstyrelsens 'Vejledning om deponering' (Miljøstyrelsen 1997) i 1997 blev begreberne losseplads og fyldplads erstattet af fællesbetegnelsen deponeringsanlæg. I dag er der fortsat eksempler på, at deponeringsanlæg med blandet affald kaldes for

losseplads (Københavns Kommune 2020). I denne rapport har vi valgt at betegne deponeringsaktiviteter før 2001 som specialdepoter, losse- eller fyldpladser, mens aktiviteter fra og med 2001 betegnes deponeringsanlæg. Skæringsåret 2001 er valgt, fordi 'Deponeringsbekendtgørelsen' trådte i kraft i 2001 og mange af de gamle lossepladser lukkede.

Denne rapport skelner ikke mellem begreberne 'specialdeponi' og 'deponeringsanlæg', som under ét betegnes deponeringsanlæg. Denne anvendelse følger Deponeringsbekendtgørelsens definition § 3 (Deponeringsbekendtgørelsen 2011). At anvende en samlebetegnelse giver mening set i lyset af, at samme deponeringsanlæg kan have tilladelse til både deponering af blandet affald og andre affaldsklasser, dog i forskellige celler.

I litteraturen ses eksempler på at anlæg og deponi anvendes i flere varianter om deponeringsanlæg, fx affaldsdeponeringsanlæg, deponeringsanlæg, bortskaffelsesanlæg, affaldsdeponi eller bare deponi. I denne rapport bruges fortrinsvis betegnelsen deponeringsanlæg.

Blandet affald i deponeringsanlæg

Affald inddeles i fire klasser; inert affald, mineralsk affald, farligt affald og blandet affald (Deponeringsbekendtgørelsen 2011). Definitionen på 'blandet affald' var i 2001: "*Ved blandet affald forstås affald, der består af en blanding af organisk og uorganisk materiale, og som ikke er omfattet af stk. 8.*" (som var farligt affald) (Deponeringsbekendtgørelsen 2001). Definitionen er næsten den samme i dag, om end formuleringen er lidt anderledes: "*Blandet affald: En delmængde af ikke-farligt affald, som består af en blanding af organisk og uorganisk materiale med et indhold af total organisk kulstof (TOC) på 50 g eller mere per kg tør prøve.*" (§ 3, Deponeringsbekendtgørelsen 2011). Der står endvidere i bekendtgørelsens Bilag 3 afsnit 7: "*Definitionen indebærer, at der som udgangspunkt må deponeres læs med en blanding af affaldstyper, der ikke enkeltvist er omfattet af definitionen af farligt affald.*" 'Blandet affald' er dermed fortsat en kategori af affald, som spænder vidt, ligesom det var tilfældet med affaldet i de gamle lossepladser. Det er dog ikke ensbetydende med, at man finder det samme affald i moderne deponeringsanlæg som i gamle lossepladser, for produkter og forbrugsmønstre har ændret sig meget over tid.

Affald

Anvendes i denne rapport om alt materiale som er henlagt i lossepladser, specialdepoter og deponeringsanlæg. Der er dermed ikke taget stilling til, i hvilket omfang affaldet kan genbruges eller genanvendes.

Ressource

Anvendes i denne rapport om affald, hvor hele affaldsmængden eller delmængder heraf måske kan genbruges eller genanvendes.

Råstof

Anvendes i denne rapport om materiale/affald som kan finde anvendelse til bestemte og definerede formål. I tilfælde hvor dette ikke er nærmere sandsynliggjort, anvendes begrebet råstofpotentiale.

2. Lossepladser og deponier i Danmark – hvad ved vi?

Der er i Danmark kendskab til mere end 4.000 lokaliteter, hvor affald er deponeret. Lokaliteterne udgør et samlet areal på omkring 143 km², svarende til 0,3 % af Danmarks samlede landareal, eller hvad der svarer 1½ gange arealet af Amager. Dette betydelige areal gør det nødvendigt at vurdere, hvorvidt affaldet er en ressource, der bare venter på at blive gravet op og udnyttet, eller om det blot er, ja – affald. Helt grundlæggende afhænger dette spørgsmål af affaldstypen og de fysiske rammer for affaldsdeponeringen.

En kort historisk gennemgang af de ændringer der har været i affaldssammensætningen og de fysiske rammer for drift af lossepladser/affaldsdeponier gives nedenfor. Hovedpointerne fra gennemgangen ses i Tabel 1 og Tabel 2. Desuden er omfanget af en central indsamling af viden og data om affaldssammensætningen og de fysiske forhold i Danmark undersøgt.

2.1 Lossepladsernes placering, indretning, drift, affaldstyper og afgiftsændringer – historiske ændringer frem til 2020

I perioden frem til 1973 blev grusgrave, lavninger, vådområder og kystområder brugt til ukontrolleret opfyldning af affald. Der var før 1973 ikke viden om og fokus på de negative miljømæssige konsekvenser af deponering af affald med forskellige kemikalier. Både husstandsindsamlet affald og industrielt affald blev kørt til samme lossepladser, og der blev ikke taget særlige hensyn til placeringen, og hvordan de var anlagt i forhold til grundvand og beboelse/bebyggede områder. Da der ikke var bekymringer om forureningsrisikoen var anvendelsen af lossepladsaffald som fyld- og anlægsmateriale derfor meget udbredt. Lossepladsaffald blev fx anvendt til havneudvidelser og til anlæg af rekreative områder. Udover at der ikke blev taget særlige forholdsregler, var der heller ikke praksis for at forsøge at minimere udbredelsen af eventuelt konstateret forurening ved fx at etablere en membran eller perkolatopsamling (Miljøstyrelsen 2014, Miljøkontrollen Københavns Kommune 1995).

I 1973 stillede Miljøstyrelsen krav om miljøgodkendelse af lossepladser (Miljøstyrelsen 1973), og dermed kom der mere styr på deponeringsaktiviteterne. Året efter udkom 'Vejledning for kontrollerede lossepladser, nr. 1, 1974', hvor Miljøstyrelsen foreskrev, at lossepladser skulle indrettes med membran og perkolatopsamling (Miljøstyrelsen 1974). Miljøstyrelsen inddeler således deponeringsaktiviteter i ukontrollerede og kontrollerede lossepladser alt efter om de er fra før eller efter 1973 (Miljøstyrelsen 2014). Kravet om miljøgodkendelse førte til etablering af større lossepladser til deponering af dagrenovation og industriaffald (Miljøstyrelsen 2014), og for at øge kapaciteten blev kompaktering en fast praksis, og på nogle lossepladser blev der opsat anlæg til neddeling af affaldet (Miljøstyrelsen 2001). Men trods disse lovmæssige og vejledningsmæssige fremskridt blev mange lossepladser fra midten af 1970'erne og frem til midten af 1980'erne fortsat etableret i gamle grusgrave uden membran og afdækning (Miljøstyrelsen 2000a). Overgangen fra ukontrollerede til kontrollerede lossepladser skete altså over nogle år til trods for indførelsen af kravet om miljøgodkendelse i

1973. Fra 1976 blev der indført krav om, at olie- og kemikalieaffald ikke længere måtte deponeres sammen med det øvrige affald på lossepladserne (Olie- og kemikalieaffaldsbekendtgørelsen 1976). Miljøstyrelsens 'Vejledning i deponering, nr. 4' fra 1982 giver et overblik over, hvor de forskellige affaldstyper må deponeres. Af Tabel 1 fremgår, at de fleste affaldstyper fortsat kan deponeres i de samme lossepladser.



Figur 1 De hestetrukne skraldevogne tømmes på Valby Fælle. Det ankomne affald behandles med hakker og skovle. Foto: Københavns Bymuseum, 1932 (Miljøkontrollen Københavns Kommune 1995).

I 1986 blev der indført afgift på deponering af affald (Miljøstyrelsen 1986). I 1991 formulerede Miljøstyrelsen en placeringspolitik, det såkaldte 'Kystnærhedscirkulære', som foreskrev, at affaldsdeponier skal placeres kystnært, hvor grundvandsstrømmen er rettet direkte mod havet, og hvor der ikke er potentielle drikkevandsressourcer mellem lossepladsen og kysten (Miljøstyrelsen 2000a). I 1993 blev der indført afgiftsdifferentiering, så både deponering og forbrænding krævede afgiftsbetaling (Affalds- og Råstofafgiftsloven 1993). I samme år (1993) blev affaldsindberetningen digitaliseret i form af 'Informationssystem for Affald og Genanvendelse' (ISAG) (Miljøstyrelsen 1993). De stigende afgifter på deponeret affald og udgifter til etablering af lovformelige deponier var med til, at der op igennem 1990'erne skete en minimering af affaldsdeponering og en forøgelse af genanvendelse og affaldsforbrænding. Denne udvikling forstærkes i 1997, hvor deponering af forbrændingseget affald i princippet forbydes (Affalds- og Råstofdeponeringsloven 1996). Op igennem 1990'erne sker der også en sproglig ændring, hvor man i højere grad begynder at anvende samlebetegnelsen affaldsdeponier frem for losse- og fyldpladser (Miljøstyrelsen 2014). Disse tiltag bevirkede, at affaldsmængden til deponering blev næsten halveret i perioden fra 1994 til 2001 (Figur 2).

Tabel 1 Oversigt over affaldstyper, samt retningslinjer for valg af deponeringsplads (Miljøstyrelsen 1982, rentegnet tabel).

Affaldstype \ Deponering	Deponering på losseplads	Deponering på fyldplads	Deponering på specialdepot	Deponering ikke tilladt
Dagrenovation	X			
Handels- og kontoraffald	X			
Storskrald	X	X		
Haveaffald	X	(X) ¹		
Vejaffald	X			
Industriaffald	X		X	X
Bygge- og anlægsaffald, uforurenat	X	X		
Bygge- og anlægsaffald, forurenat	X			
Destruktionsaffald				X
Spildevandsslam, samt ristestof og sand	X		X	
Sygehusaffald	(X) ²			X
Olieaffald				X
Olieforurenat jord	X			
Kemikalieaffald	(X) ³		(X) ³	X
Forbrændingsrester fra energifremstilling	X ⁴		X	
Rester fra affaldsbehandling	X		X	

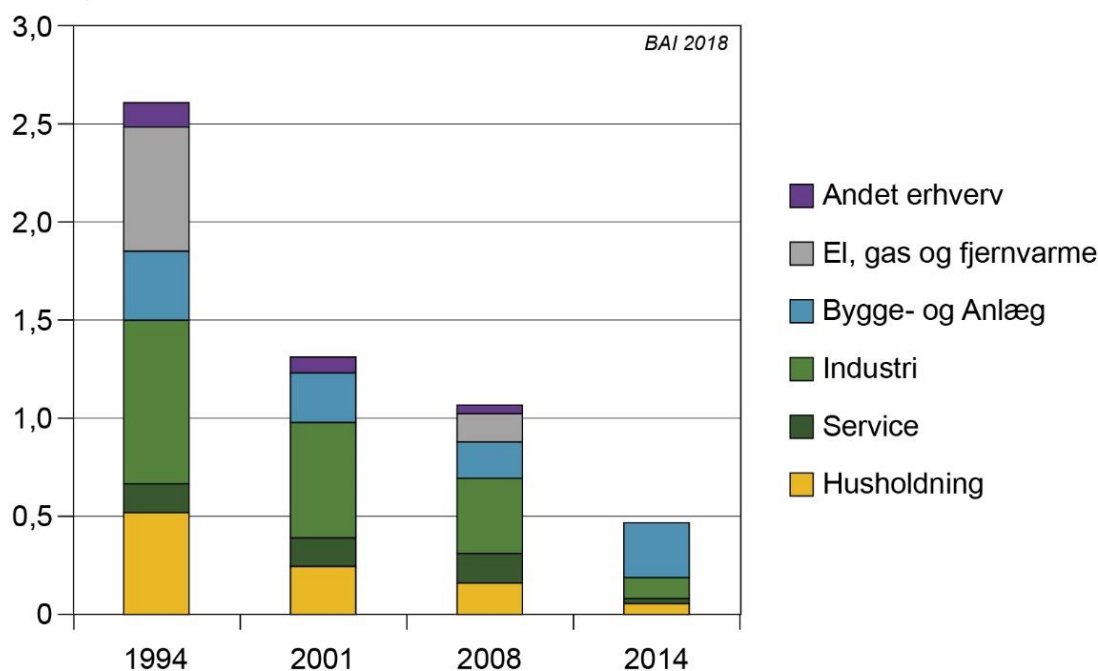
1) Haveaffald medfører en mindre, organisk forurening af perkolat og bør derfor kun efter en konkret vurdering tillades deponeret på fyldplads.

2) Den del af sygehusaffaldet, som kan karakteriseres som almindelig dagrenovation, kan tillades på losseplads, jf. "Bortskaffelse af sygehusaffald".

3) Visse typer kemikalieaffald, f.eks. støbesand, kan tillades deponeret på losseplads eller specialdepot.

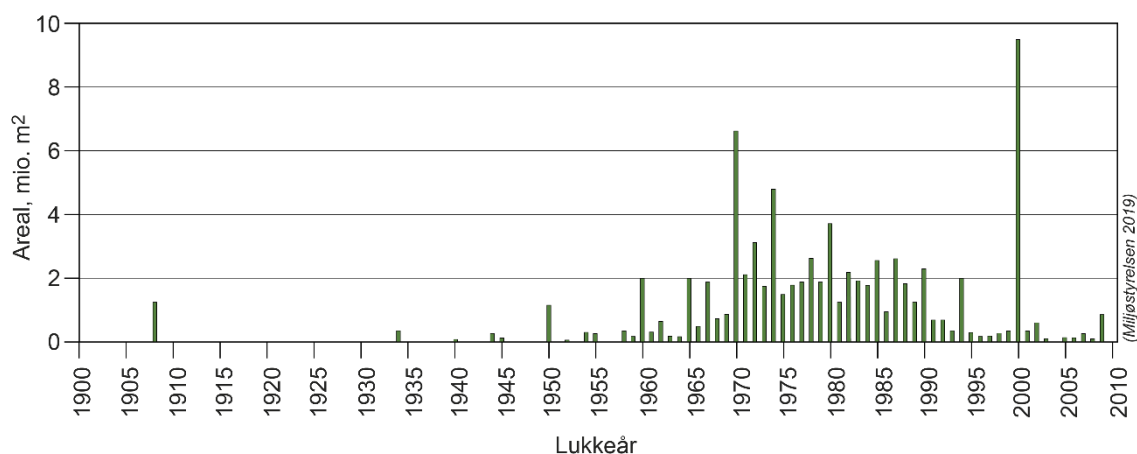
4) Forbrændingsrester fra energifremstilling (slagge og flyveaske) genereres som regel i så store mængder, at det fra et økonomisk synspunkt er mest fordelagtigt at anvende et specialdepot.

(Mio. ton)



Figur 2 Deponeret affald fordelt på kilde i 1994, 2001, 2008 og 2014 (1.000 ton) (modificeret efter BAI 2018).

I 1999 blev EU's 'Deponeringsdirektivet' vedtaget, som gav medlemslandene 10 år til at implementere reglerne (Deponeringsdirektivet 1999). Som konsekvens af de skærpede regler til indretning lukkede mange lossepladser med udgangen af år 2000 og frem mod 2009. Hovedparten af de historiske/lukkede lossepladser i Danmark er dermed fra før år 2000 (Figur 3). Reglerne fra deponeringsdirektivet blev implementeret i Danmark i 2001 i form af 'Deponeringsbekendtgørelsen' (Deponeringsbekendtgørelsen 2001), som udover at stille krav til hvordan affaldet måtte deponeres desuden indeholder krav om sikkerhedsstillelse, som skal sikre, at der bliver opsparet tilstrækkelige midler til afholdelse af omkostninger ved nedlukning og efterbehandling af deponeringsanlægget (Miljøstyrelsen 2002b).



Figur 3 Antal lukkede mio. m² på lossepladser i Danmark (samlet areal) efter hvilket år de lukkede. Lukning af lossepladser toppede omkring 1980. I 2000, som er året før vedtagelsen af Deponeringsbekendtgørelsen der indeholder en række nye krav til eksisterende lossepladser, toppede antallet af lukkede m² på lossepladser. Baseret på gennemgang af data fra Miljøstyrelsen (2019).

I 2009 opdateres deponeringsbekendtgørelsen med nye kriterier og procedurer for modtagelse af affald på deponeringsanlæggene. Blandt andet skal deponeringsanlæg nu klassificeres efter om de er kystnære (max. 15 km fra kysten) eller ej. Miljøstyrelsen varsler desuden, at det fra 1. april 2020 ikke længere er tilladt at deponere blandet affald på ikke-kystnære deponeringsanlæg og ikke-kystnære deponeringsenheder (Deponeringsbekendtgørelsen 2009). Kystnærhedsprincippet er dog siden blevet udskudt til 1. januar 2023 (Miljøstyrelsen 2019b). I 2009 hæves affaldsafgiften for deponering fra 375 kr./ton til 475 kr./ton (DAKOFA 2009).

I 2010 bliver 'Informationssystem for Affald og Genanvendelse' (ISAG) afløst af Miljøstyrelsens 'Affaldsdatasystem' (ADS), som anvender det fælles 'Europæiske Affaldskatalog' (EAK), som minder meget om ISAG.

En oversigt over ændringer i definitioner, praksis, lovgrundlag og afgifter for deponering af affald ses i Tabel 2, mens en oversigt over generelle kendetegn for lossepladser og affaldsdeponier i forhold til driftsperiode ses i Tabel 3.

Tabel 2 Historik over ændringer i definitioner, praksis, lovgrundlag og afgifter for deponering af affald.

Definition	År	Praksis	Lovgrundlag/Vejledning	Afgift (kr./ton)
Ukontrollerede fyld- og lossepladser	Før 1960	Deponering i råstofgrave, lavninger mv., usorteret affald, ingen kompaktering*	Ingen regulering*	Ingen
	1960	Tilsyn med forsvarlig deponering af industriaffald, usorteret affald, mere fokus på kompaktering*	Normalsundhedsvedtægten for landkommuner*	
Kontrollerede fyld- og lossepladser	1973	Fyld- og lossepladser skal miljøgodkendes*	Miljøbeskyttelseslovens kap. 5*	Ingen
	1974	Krav til placering, indretning og drift*	Miljøstyrelsens vejledning nr. 1, Vejledning for kontrollerede lossepladser*	
	1976	Ikke længere deponering af olie- og kemikalieaffald*	Olie- og kemikaliebekendtgørelsen*	
	1982	Konkrete anvisninger på, hvordan affaldsdeponeringspladserne kan anlægges og drives*	Miljøstyrelsens Vejledning i affaldsdeponering nr. 4	
	1983		Kemikaliedepotloven	
	1985	Forslag til elementer i et grundvandskontrolprogram*	Skrift fra DAKOFA* (Husk Reference - den mangler bagerst)	
	1986		Affaldsafgiftsloven	
	1987	Affaldsafgiften indføres		40 (deponering)
	1990		Affaldsdepotloven	130 (deponering)
	1991	Placeringspolitik		
	1992	Øget fokus på sortering Afgiftsdifferentiering	Lov om ændring af lov om afgift af affald og råstoffer	195 (deponering) 160 (forbrænding)
	1993	Registrering af importeret affald til deponering og forbrænding. Indberetning til ISAG	ISAG oprettes	
	1996		Lov om ændring af lov om afgift af affald og råstoffer	
	1997	Forbud mod deponering af forbrændingseget affald pr. 1. jan. 1997. Betegnelsen affaldsdeponi anvendes første gang. Mere fokus på egenskaberne for affaldet, herunder potentielle udvaskningsegenskaber.	'Affaldsdeponering', Miljøstyrelsens vejledning nr. 9.	335 (deponering) 260 (forbrænding med > 10 % el) 210 (forbrænding < 10 % el)
	1998		Lov om ændring af lov om afgift af affald og råstoffer	
	1999			375 (deponering) 280 (forbrænding)
	2000		Lov om ændring af lov om afgift af affald og råstoffer	
Deponeringsanlæg	2001	Adskillelse af affaldsfraktioner i enheder.	Ændring til Affaldsbekendtgørelsen Deponeringsbekendtgørelsen	375 (deponering) 330 (forbrænding)
	2002		Vejledning om overgangsplaner nr. 5, Miljøstyrelsen	

* Kilde: Miljøstyrelsen 2014. Øvrige kilder i tabellen fremgår af referencelisten. SKAT's historiske gennemgang på afgiftsområdet har desuden været en nyttig hjælp (SKAT 2020b)

Tabel 3 Opsummering af generelle kendetegn for lossepladser og deponeringsanlæg i forhold til driftsperiode.

		Før 1973 Ukontrollerede lossepladser	1973-2000 Kontrollerede lossepladser	Fra 2001 Deponeringsanlæg
	<i>Daglig drift</i>	Ringe informationer. Eksempler på brug af muldjord på dagrenovationsaffald.	Kompaktering Udlægning af kørelag Daglig dækning af husholdningsaffald udfases i perioden.	Kompaktering Udlægning af kørelag Forbrændingseget affald deponeres ikke længere, så daglig dækning er ikke nødvendig, med mindre der deponeres fx asbestaffald.
<i>Affaldet</i>	<i>Tilladte affaldstyper</i>	Alle typer kan forekomme.	Over årene sker der en gradvis udskillelse af visse affaldstyper til specialdepot.	Alle affaldstyper deponeres i særskilte celler.
	<i>Årsager til ændret affaldssammensætning i tidsperioden</i>	Industrialisering Manglende viden om affald og miljø Manglende lovgivning	Øget genanvendelse Kildesortering Udfasning af miljøstoffer Udbygning af forbrændingsanlæg	Genbrugsstationer Teknologisk udvikling
	<i>Adskillelse af affaldstyper internt på lossepladsen</i>	Som regel ikke	Over årene sker der en gradvis overgang til celle-opdeling af affaldstyper	Celle- og enhedsopdeling
	<i>Årsager til variationer på indholdet mellem lossepladser</i>	Opland/demografi Tilfældigheder	Opland/demografi Miljøhensyn	Opland/demografi Miljøhensyn Pladsforhold Politiske hensyn
	<i>Slutafdækning</i>	Ved ikke	Minimum 1 m	Minimum 1 m
	<i>Central bogføring af affaldsmængder til eftertiden</i>	Nej	Ja, efter ISAG fra 1993.	Ja, efter ISAG frem til 2010, hvorefter ADS overtager og følger EAK.
	<i>Blev affaldssammensætningen karakteriseret eller prøver gemt?</i>	Nej	Nej	Ja: for farligt affald siden 2009, fx for shredderaffald laves der udvaskningstest og faststofanalyser, jf. Deponeringsbekendtgørelsen.

2.2 Miljøstyrelsens affaldsdata (ISAG og EAK)

Siden 1993 har kommunerne indberettet information om mængder og typer af det deponerede affald til Miljøstyrelsen til brug for den nationale affaldsstatistik. Fra 1993 til 2009 blev der indberettet efter 'Informationssystem for Affald og Genanvendelse' (ISAG), mens der efter 2010 er indberettet efter 'Affaldsdatasystemet' (ADS), der som nævnt anvender det fælles 'Europæiske Affaldskatalog' (EAK), hvor det nu er producenter der indberetter.

Affaldskategoriseringen i ISAG og EAK er ikke helt ens. Nedenfor ses en kort beskrivelse af detaljeringsniveauets umiddelbare anvendelighed i forbindelse med LFM-aktiviteter.

Erhvervs-, husholdnings- og farligt affald kan identificeres på et overordnet niveau i begge systemer. Informationen vil kunne bidrage til en forhåndsvurdering af forureningsniveauet og de deraf afledte omkostninger til håndtering og materialenyttiggørelse i forbindelse med LFM. Informationen vil ligeledes kunne pege på, om der er affaldstyper, som kræver en særskilt sortering og håndtering og give et fingerpeg om særligt værdifulde ressourcer.

Eksempler på erhvervsaffald i ISAG:

- 56.20 Jern og metal
- 58.00 Beton
- 72.00 Slagger
- 75.00 Asbest
- 79.00 Elektriske og elektroniske produkter

Eksempler på erhvervsaffald i EAK:

- 20.01.40 Metal (fra husholdninger), 17.04.05 Jern og stål fra byggeaffald
- 17.01.07 Rene blandinger af beton, mursten, tegl og keramik
- 19.01.11 Hvis farligt, 19.01.12 hvis ikke-farligt slagge fra forbrænding
- 17.06.05 Asbest (helt og ufarligt), 17.06.01 Asbest (støvende og farligt)
- 20.01.35 Stort udstyr (WEEE¹): Store husholdningsapparater fra husholdninger og genbrugsstationer (vaskemaskiner, tørretumblere, opvaskemaskiner, komfurer, køleskabe og lign.)

Detaljegraden i begge kodesystemer giver ikke mulighed for at skelne mellem forskellige typer af husholdningsaffald og storskrald og bidrager heller ikke med viden om husholdningsaffaldets sammensætning.

Eksempler på husholdningsaffald i ISAG:

- 1 Dagrenovation (blandet affald i den 'grå sæk')
- 2 Dagrenovation til sortering (blandet affald i den 'grå sæk')
- 30 Småt brændbart
- 31 Stort brændbart

Eksempler på husholdningsaffald i EAK:

- 20.03.01 Blandet husholdningsaffald og lignende affald
- 20.03.07 Småt brændbart og stort brændbart

Mængderne af de indberettede affaldstyper kan, sammenholdt med deponiets dimensioner, måske bidrage til et skøn for, hvor meget jord der ligger i lossepladser.

Data fra ISAG kan tilgås via Miljøstyrelsens hjemmeside ([ISAG udtrækningsmodul](#)). Den samlede nationale statistik er offentlig tilgængelig via hjemmesiden, mens kommunerne har mulighed for at se mikrodata. Mere information om ISAG kan findes i bl.a. vejledninger fra Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen 1991, 2002).

¹ WEEE – 'Waste Electrical and Electronic Equipment', anvendes i hele EU som en fælles betegnelse for affald af elektriske og elektroniske produkter

Data fra EAK kan tilgås via Miljøstyrelsens Affaldsdatasystem ([ADS Portal](#)). Ligesom med data fra ISAG er den samlede nationale statistik offentlig tilgængelig, mens kommuner og virksomheder har mulighed for at få adgang til og rette i egne data. Mere information om EAK kan findes på Miljøstyrelsens hjemmeside (Miljøstyrelsen 2020).

I nærværende projekt er detaljegraden og troværdigheden af mikrodata ikke undersøgt.

2.3 Viden om affaldstyper fra miljøkortlægningen

Siden 1990 er der udført miljøkortlægning af lossepladserne i Danmark og fra 2007 overtog regionerne miljøkortlægningen efter amterne (Miljøstyrelsen 2000b). Miljøkortlægningen laves primært for at vurdere omfanget af eventuel forurening i forhold til drikkevandsressourcen. De omkring 200 anlæg, der lukkede i 2009, og de ca. 42 anlæg som i dag er i drift, indgår ikke i regionernes miljøkortlægning af lossepladserne. I Figur 4 ses de kortlagte losse- og fyldpladser, der var registreret i regionernes databaser i december 2012.

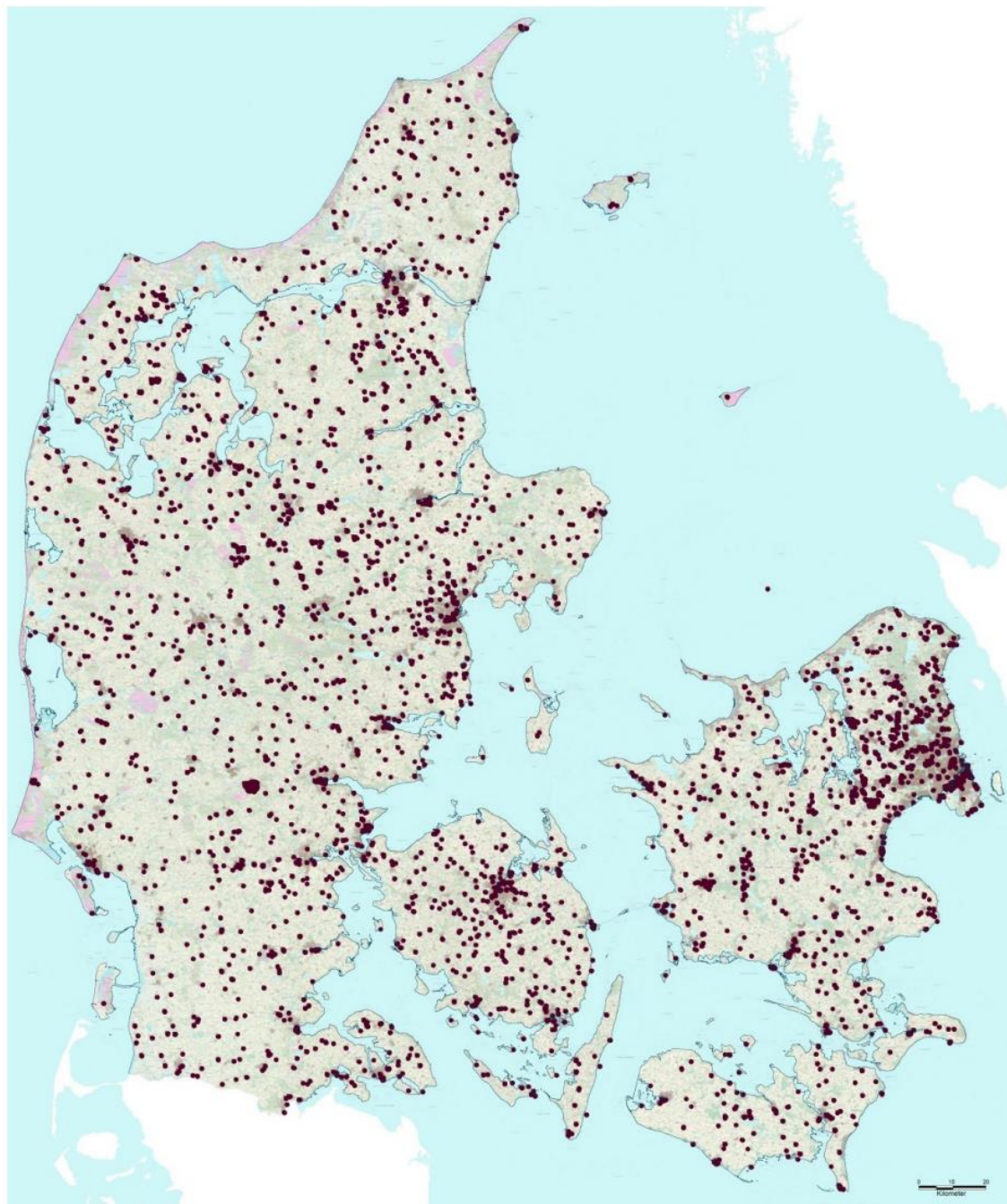
I forbindelse med miljøkortlægningen er der udført en indledende historisk kortlægning, hvor der er indsamlet dokumenter om lossepladserne (typisk fra kommunerne), ligesom der er udført opsøgende arbejde for at tilvejebringe ekstra information fra bl.a. øjenvidner og nyhedsartikler (såkaldt V1-kortlægning). Ud over dokumenter og beretninger er der i forbindelse med den næste fase af kortlægningen foretaget en registreringsundersøgelse for at påvise eventuel forurening. Hvis disse undersøgelser påviser en forurening, betegnes grunden som V2-kortlagt. Betegnelserne V1 og V2 stammer fra indførelsen af jordforureningsloven i 2000.

De tilvejebragte informationer og data fra V1- og V2-kortlægningerne opbevares i dag af Miljøstyrelsen. Det vil kræve en omfattende gennemgang af disse data for at vurdere præcist, hvilke oplysninger der er tilgængelige om affaldssammensætningen på de enkelte lossepladser. Som test af det generelle vidensniveau for lossepladserne, som disse data gemmer, er ti tilfældige lossepladser udvalgt. For disse er sagsmapper, dokumenter, miljødata osv. systematisk gennemgået i nærværende undersøgelse.

Gennemgangen af dokumenter, beretninger om affaldssammensætningen osv. er opsummeret i Tabel 4, hvoraf det fremgår, at vidensniveauet er meget lavt. Der er typisk tale om beskrivelser af overordnede affaldstyper i stikordsformat med enkelte tilfælde af tvivl om en given affaldstype; der er ikke set angivelser af mængder eller placering på lossepladsen. Da der samtidig ofte er en vis usikkerhed ved øjenvidneberetninger, tyder gennemgangen ikke på, at de historiske dokumenter sammen med øjenvidneberetningerne kan anvendes til en vurdering af affaldssammensætningen og dermed af ressourcepotentialet.

Gennemgangen af miljødata ses i Tabel 5. De viste miljødata stammer primært fra boringer, og grundvandets indhold af tungmetaller (Cr, Ni, Zn, Cd, As, Pb), PAH'er, redoxparametre og olieprodukter ses i tabellen. Hvor boringer til grundvandet er udført igennem selve lossepladsen, er der ofte også udtaget jord- og vandprøver til analyse for førnævnte parametre. I ganske få tilfælde er der udført gasmålinger for at kunne vurdere eksplosionsfaren for bygninger opført oven på deponier. Kun undtagelsesvis er der foretaget en grov karakterisering af selve affaldssammensætningen i boreprofilen ned igennem lossepladsen med henblik på

identificering af forureningskomponenter. Boreprofilbeskrivelserne kan, ligesom de øvrige analyseparametre, ikke bidrage til at beskrive lossepladsens indhold af ressourcer. Analyser af ammoniumklorid kan bruges til at afgøre, om der er organisk affald; det var dog ikke tilfældet for de undersøgte lokaliteter.



Figur 4 Kortlagte losse- og fyldpladser der var registreret i regionernes databaser december 2012 (Miljøstyrelsen 2014).

Tabel 4 For ti udvalgte lossepladser: Den eksisterende viden om deponeret affald og om arealernes anvendelse i dag, som den fremgår af Miljøstyrelsens miljødata (Miljøstyrelsen 2019).

De- poni*	Affaldets sammensætning, sådan som den står beskrevet i de historiske dokumenter	Arealanvendelse i dag (jf. historiske dokumenter)
1	Observeret: Fyldjord med enkelte plastikstykker, murbrokker m.m.	Skov (ikke erhvervsmæssig drift)
2	Losseplads. Observeret: bl.a. slagger, aske, glasskår, plastic, tegl, murbrokker, ledninger m.v.	Kolonihaver
3	Ældste losseplads på RISØ opfyldt med dagrenovation, byggeaffald og spildevandsslam. Observeret: Jord, tegl, jern, plastic, slagger, træ og organisk materiale.	Losseplads
4	Ikke undersøgt. "Kommunal losseplads med alle former for affald"	Rekreativt
5	Fem lossepladser: Affaldet er ikke fysisk dokumenteret. Antageligt er der deponeret kemikalieaffald og almindeligt lossepladsaffald. Tonnager på følgende typer affald er dog kendt: polyurethan- og acetoneholdigt affald fra rørindustri, maleraffald og slam og nikkelsslam fra galvanoidindustri, kisaske, gips og støbesand.	Delvist parcelhuse og åbne arealer/boldbaner
6	Historik: Blandet affald, tungmetaller og olieprodukter. Affald er ikke fysisk dokumenteret. Afdækket med 4-5.000 m ³ ren jord.	Ubenyttet/kommunal oplagsplads
7	Konstateret: Dagrenovation, murbrokker, træ, metal, glas og plast. Ikke konstateret: biler, kemikalieaffald eller asfaltrester.	Rekreativt areal
8	Ukendt	Ukendt
9	Fyldjord af dagrenovation, bygningsaffald, haveaffald og jordfyld og storskrald. Fyldlaget består hovedsagelig af sand, ler og muld, men der er også observeret plastik, tegl, mørtel, tekstil, slagger og glas.	Hundetræningsplads
10	Historisk beskrivelse: Almindeligt lossepladsaffald, fyldjord, bygningsaffald, slagger fra Vestforbrænding storskrald, metalskrot, bildæk, slagger fra gasværk, tromler med kemikalier osv.	Golfbane, rekreativt, ubenyttet

* anonymiseret

Tabel 5 Gennemgang af udvalgte parametre for ti lossepladser. Baseret på gennemgang af miljødata fra Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen 2019).

Generelle oplysninger						Analyseparametre				
Deponi*	V2 udført [år]	Areal [m²]	Deponiets fyldhøjde [m]	Slutafdækningsmægtighed [m]	Boring i deponi	Kemisk analyse af jordprøver (tungmetaller)	Opgravning	Olieproduktanalyse	Gasmåling (PID)	Vandmåling
1	2001	200-300	Ca. 0,5	0	4 håndboringer	12 prøver: Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	Nej	2 prøver	Ja	Ingen data
2	1994	31.775	Ca. 3	Ca. 0,3	57, heraf 4 dybe	80 prøver. Kun Pb	Nej	Nej	Nej	Ingen data
3	2002	1.800	4,6	0	5 forede snegleboringer	Nej	Nej	Nej	Nej	Ja
4	198X (nej)	-	Ukendt	Ukendt	Ja, ingen data	Ja, ingen data	Nej	Måske	Måske	Måske
5	1991	220.000	8 - 20	0-4	8 dybe boringer, samt håndboringer og opfølgende boringer	22 prøver: Ni, Pb og Cd 4 prøver: Cu og Zn	Nej	Ja	Ja	Ja
6	1992	20.533	Ukendt	Ukendt	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
7	1994 2001 2013	42.500	Ca. 4	0,75-3,0	6 boringer	Nej	12 huller opgravet	Ja	Nej	Ja
8	Nej	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data
9	1993	6.000	2-4	0	2	Nej	Nej	Nej	Ja	Ja
10	1990 1991 1994 2000	243.866	3-15	1	Ja	Nej	Nej	Ja	Ja	Ja

* anonymiseret

På baggrund af gennemgangen af informationerne vurderes det, at Miljøstyrelsens jordforureningsdata ikke kan bruges til at vurdere affaldssammensætningen. Det vil være ressourcekrævende at gennemgå alle informationer for at kunne fastslå anvendeligheden endeligt. Det er derfor også uvist, om der er forskel på vidensniveau afhængigt af hvilken kommune, der har indberettet, tidsperioden for driften, lossepladstype mv.

2.4 Konklusion – status for viden om danske lossepladser

Lossepladsernes geografiske beliggenhed, størrelse, interne adskillelse, opblanding af affaldstyper, daglige dækning, kompaktering, deponeringshøjde, slutaftdækning etc. har undergået store ændringer over tid. Men også affaldssammensætningen i lossepladserne har undergået ændringer som følge af: (i) ændringer i hvilke affaldstyper der deponeres som blandet affald, (ii) oplandenes forskellige forbrugermønstre, og (iii) fordi forbrugsvare- og industrivaresammensætningen har ændret sig. Det kan derfor konkluderes, at den historiske kontekst ikke er nyttig til en vurdering af affaldssammensætningen.

Miljøstyrelsens affaldsdata (ISAG og EAK) og miljødata fra regionernes kortlægning af jordforurening anses for at være de vigtigste kilder til centralt indsamlet viden om affaldssammensætning og lossepladsforholdene. Miljøstyrelsens affaldsdata fra 1994 og frem til i dag og information om affaldstyper og mængder på detaljeringsniveau gør det muligt at identificere affaldstyper som industriaffald, mineralsk affald og metalskrot.

Regionernes miljødata er undersøgt ved gennemgang af informationer for ti tilfældigt udvalgte lokaliteter, og det er vurderet, at disse data ikke kan bidrage til at beskrive affaldsindholdet. Men disse data indeholder informationer om rammebetingelserne, som eventuelt kan bidrage til en national kortlægning af lossepladser og deponeringsanlæg. Det gælder fx registreringer af størrelse (areal), beliggenhed (adresse), lukkeår og arealets nuværende anvendelse. Samlet set kan vi derfor konkludere, at nævnte databaser oftest kan bidrage til forundersøgelser forud for LFM og dermed bidrage til en national kortlægning af LFM-potentialet.

3. Ressourcepotentialiet i danske lossepladser og deponeringsanlæg

Kendskab til ressourcepotentialiet i Danmarks knap 4.000 affaldsdeponier har betydning for at kunne sikre optimal genbrug og genanvendelse. Utilstrækkelige data betyder, at man ikke direkte kan bestemme affaldsmængden, bl.a. fordi der ikke eksisterer nationale statistikker på affald deponeret før 1993. Der er derfor anvendt en metode til at estimere affaldsmængden; den beskrives nedenfor. Skønnet over affaldssammensætningen anvendes desuden som basis-scenarier i den økonomiske scenarieanalyse i kapitel 7.

I det følgende estimeres, på baggrund af eksisterende viden, gennemsnitsstørrelser for følgende parametre: fyldhøjde, areal, slutfærdighedsniveau, affaldsdensitet og affaldssammensætning.

Fyldhøjde: En gennemgang af fyldhøjden i aktive deponier i Danmark i 2015 viser, at fyldhøjden varierer mellem 2,5 m og 35 m med et gennemsnit på ca. 14 m i forhold til mængden (Dansk Affaldsforening 2016). Der er ikke lavet en national opgørelse af fyldhøjder på ældre lossepladser, hvor fyldhøjden defineres værende lossepladsens højeste punkt; der foreligger dog følgende delopgørelser:

- En gennemgang af 62 V2-kortlagte lossepladser i Region Midtjylland og Region Syddanmark, som alle var anlagt før 1974 (Miljøstyrelsen 2014) viste, at de maksimale fyldhøjder var mellem 1 og 20 m, hvilket er i god overensstemmelse med ældre litteratur med fyldhøjder mellem 2 og 25 m (Miljøstyrelsen 1995).
- Fyldhøjden af de ti udvalgte lokaliteter (Tabel 5) var mellem 0,5 og 16 m.
- Gennemsnitsfyldhøjden i Etape 1 på Affaldscenter Skårup, som har affald fra 1979, var ca. 8 meter (Miljøstyrelsen 2018a).

På ovenstående grundlag benyttes 7 m for fyldhøjden for både ukontrollerede og kontrollerede lossepladser i de følgende beregninger. Den gennemsnitlige fyldhøjde for både lossepladser og deponeringsanlæg må således ligge et sted mellem 7 m for lossepladser og 14 m for deponeringsanlæg. I de følgende beregninger regnes med en gennemsnitlig fyldhøjde på 10 m for lossepladser og deponeringsanlæg.

Areal: Lossepladsernes areal varierer meget. En gennemgang af 1.000 V2-kortlagte lossepladser viste, at 7 % var mindre end 500 m² og ca. 10 % var større end 50.000 m². Den gennemsnitlige størrelse var 5.500 m² (Miljøstyrelsen 2014).

Slutfærdighedsniveau: Siden 1973 har der været krav om en slutfærdighedsniveau på minimum 1 m jord. Der har været forskellige krav til dens sammensætning, men som udgangspunkt har kravet været ren jord. Før 1973 kan man ikke regne med, at der er slutfærdet; derfor er slutfærdighedsniveauet for disse lossepladser i beregningen sat til 0 m. Totalt er der regnet med en slutfærdighedsniveau på 0,7 m. Til beregning af slutfærdighedsniveau antages 1,5 gange arealet, som i Skårup-projektet (se afsnit 4.3).

Affaldsdensitet: Densiteten for affald ændrer sig over tid som følge af omdannelsen af organisk materiale og vandmætning. Der er ikke fundet erfaringstal for densiteten, men den vil ligge mellem densiteten for jord (1,5 ton/m³) og tørt blandet affald (0,6 ton/m³) (Miljøstyrelsen 1982). For vådt, delvist nedbrudt og kompakteret affald er der anvendt en densitet på 1 ton/m³. For slutfærdig jorden er anvendt en densitet på 1,5 ton/m³.

Affaldssammensætningen (Tabel 6) er vurderet på baggrund af fem LFM-projekter i Danmark (se kapitel 4), hvor der blev gravet affald, som var blevet deponeret i årene 1979, 1990, 1992 og 2007. I forhold til den historiske inddeling i ukontrollerede lossepladser (før 1973), kontrollerede lossepladser (1973-2001) og deponeringsanlæg (efter 2001) repræsenterer affaldssammensætningen fra de fem danske LFM-projekter mest de *kontrollerede lossepladser*. Derfor er der foretaget en skønnet vurdering af sammensætningen på affaldet i de to øvrige lossepladstyper:

- For kategorien *ukontrolleret losseplads* er det antaget, at næsten alt organisk affald er omdannet, og at alt det blandede affald primært består af jord. For denne kategori forventes en højere andel af stærkt forurenet jord og farligt affald, da der er større sandsynlighed for, at det før 1973 har været blandet sammen med blandet affald.
- For kategorien *deponeringsanlæg* er det antaget, at affaldet i mindre grad er nedbrudt, og derfor er andelen af forbrændingseget affald øget og andelen af indholdet af finfraktionen reduceret i forhold til kontrollerede lossepladser.

Indholdet af elektronik er baseret på målt indhold i WEEE i dagrenovation fra Dragør, Frederiksberg, Hvidovre, København og Tårnby ved sorteringsundersøgelser i 2012, 2014 og 2016 (MiMa 2019); dette blev ved alle tre undersøgelser bestemt til 0,3 %. Da det er tvivlsomt om udsorteringen var helt effektiv, anvendes der i nærværende beregninger en andel på 0,1 %; dog anvendes der 0 % for ukontrolleret losseplads, da det antages at alt det blandede affald primært består af jord.

Tabel 6 Skønnede gennemsnitlige affaldssammensætninger (%) for ukontrollerede og kontrollerede lossepladser samt deponeringsanlæg i Danmark. Skønnene er baserede på affaldssammensætninger på affaldet i fem kendte opgravede deponier (se kapitel 4).

	Ukontrolleret losseplads**	Kontrolleret losseplads*	Deponeringsanlæg**	Gennemsnit
Finfraktion	80	52	41	58
Forbrændingseget affald	6	39	50	32
Sten og murbrokker	6	6	6	6
Jern og metal	1,1	1,1	1,1	1
Elektronik	0	0,1	0,1	0,07
Glas	0,4	0,4	0,4	0,4
Farligt affald	1	0,15	0,15	0,4
Stærkt forurenet jord	6	1,5	1,5	3

* normaliseret gennemsnit af affaldssammensætninger i fem opgravede deponier (Tabel 8)

** skønnet sammensætning, som er en justering af *

På basis af den gennemsnitlige affaldssammensætning for ukontrollerede og kontrollerede lossepladser samt deponeringsanlæg (Tabel 6) og ovennævnte informationer om gennemsnitlig fyldhøjde, areal, slutfærdigsmægtighed og affaldsdensitet er den totale affaldsmængde

i lossepladser og deponeringsanlæg i Danmark estimeret (Figur 7). De store usikkerheder til trods giver estimerterne en indikation af de størrelsesordener, som kan komme i spil ved LFM-projekter i Danmark. I kolonnen 'Årligt forbrug i Danmark' i Tabel 7 ses det danske forbrug af sammenlignelige råstoffer. Det ses, at de potentielle affaldsmængder langt overstiger årsforbruget; affaldet (som ressource) fra LFM kan dermed være et væsentligt bidrag til samfundet.

Tabel 7 Beregnede affaldsmængder i lossepladser og deponeringsanlæg i Danmark på basis af den skønnede gennemsnitlige affaldssammensætning i Tabel 6, samt antagelse om en gennemsnitlig fyldhøjde på 10 m, et areal på 5.500 m², slutfaldækning på 1 m og densitet for vådt, delvist nedbrudt og kompakteret affald på 1 ton/m³ og for slutfaldækningsjord en densitet på 1,5 m³/ton.

	Skønnet gennemsnit	Mængde (ved 5.500 m ²)	I alt (ved 4.000 lossepladser)	Årligt forbrug i Danmark
Slutfaldækningsjord	1,5 m/m ²	12.000 ton	50 mio. ton	4,9 mio. ton affaldsjord** heraf 2,9 mio. ton uforurenet jord 2,0 mio. ton forurenet jord 60 mio. ton sand og grus*
Finfraktion	58 %	30.000 ton	130 mio. ton	
Forbrændingseget affald	32 %	17.000 ton	70 mio. ton	4 mio. ton forbrændingseget affald**
Sten og murbrokker	6 %	3.000 ton	13 mio. ton	3,1 mio. ton blandet bygge- og anlægsaffald**
Jern og metal	1 %	600 ton	2 mio. ton	0,9 mio. ton jern og metal, inkl. emballage**
Elektronik	0,07 %	40 ton	0,1 mio. ton	
Glas****	0,4 %	240 ton	0,9 mio. ton	0,17 mio. ton glasaffald, inkl. emballage
Farligt affald	0,4 %	240 ton	0,9 mio. ton	
Stærkt forurenet jord	3 %	1.600 ton	6,6 mio. ton	0,4 mio. ton deponeret affald**

* materialestrømsregnskabet år 2017 (Danmarks Statistik, 2019b)

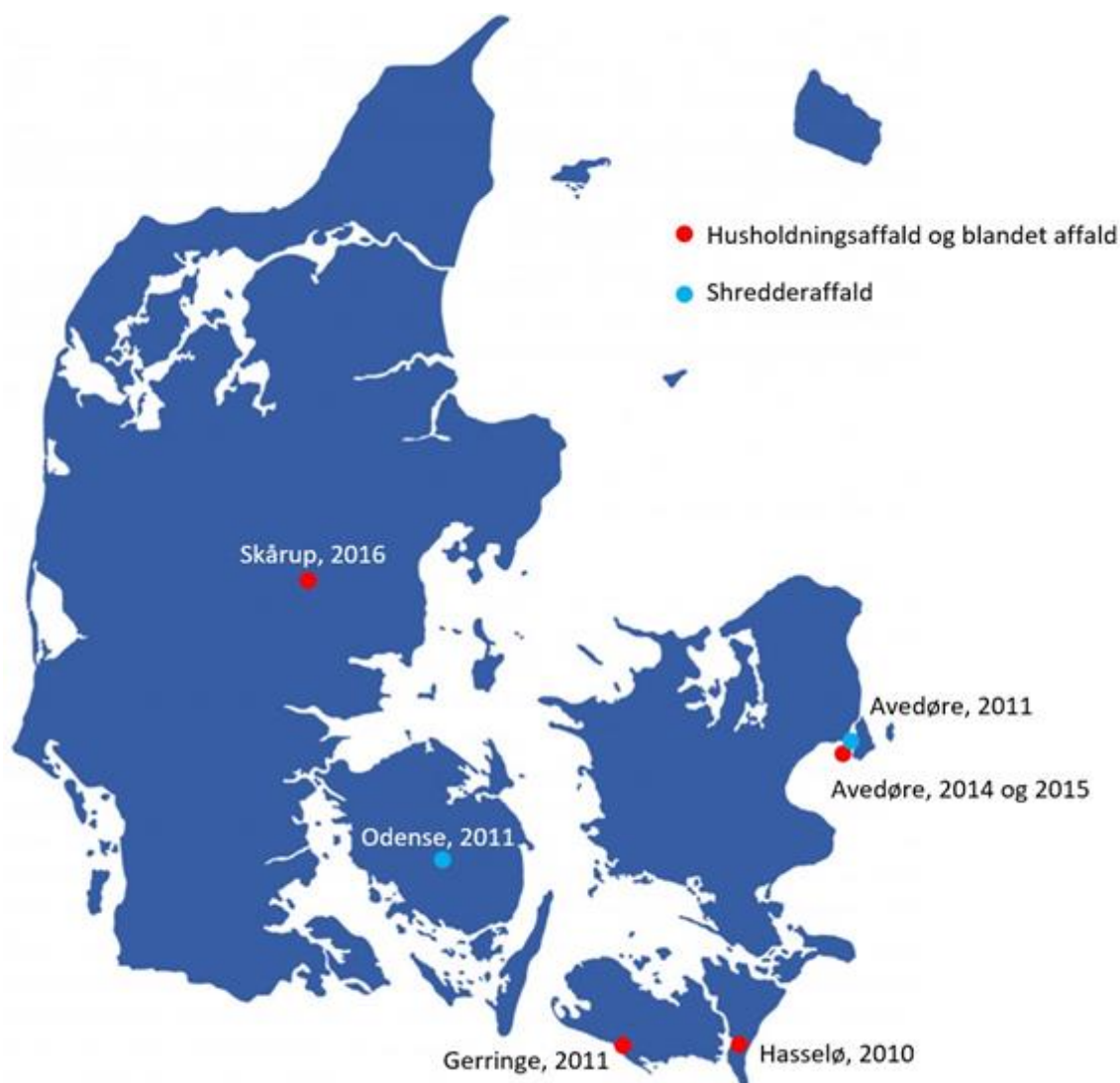
** affaldsstatistikken år 2015 (Danmarks Statistik, 2019a)

*** jf. gennemgang af ti tilfældigt udvalgte lossepladser (Tabel 3)

**** baseret på én måling på indhold af glas og én konstatering af forurenet jord (Skårup LFM-projekt)

4. Danske erfaringer med LFM

LFM-aktiviteter i Danmark er begrænset til syv opgravninger (Figur 5), hvoraf følgende fem vedrører blandet affald og dermed har relevans for nærværende vurdering (rød markering i Figur 5): Miljøcenter Gerringe, Miljøcenter Hasselø, Avedøre Deponi (to gange) og Affaldscen-ter Skårup. Da to af disse LFM-projekter er udført som forundersøgelser, og det opgravede affaldsvolumen er begrænset til få hundrede ton, er kun følgende tre projekter lagt til grund for erfaringsvurderingen her: Gerringe 2011, Avedøre 2015 og Skårup 2016. En række nøgletal for de fem LFM-aktiviteter ses i Tabel 8.



Figur 5 Opgravninger relateret til LFM i Danmark (MiMa 2020).

Tabel 8 Nøgletal og affaldssammensætninger fra danske LFM-projekter. LFM-projekter vurderet i denne undersøgelse er understreget.

		Miljøcenter Hasselø Nor ¹	<u>Miljøcenter Gerringe</u> ²	Avedøre Deponi ³	<u>Avedøre Deponi</u> ⁴	<u>Affaldscenter Skårup</u> ⁵
Nøgletal	Ejer	REFA	REFA	AV Miljø	AV Miljø	Renosyd
	Formål	Forundersøgelse for LFM	Frigive deponeringskapacitet. (forbrænde og genanvende affald)	Forundersøgelse for LFM	Frigive deponeringskapacitet. (forbrænde og genanvende affald)	Demonstrationsprojekt: Undersøge tekniske, økonomiske og miljømæssige fordele.
	Opgravet (ton)	Ikke rapporteret	3.000	600	2.600	2.000
	Opgravet (år)	2010	2011	2014	2015	2015/2016
	Affaldets alder	Ca. 1990	Fra 1992*	2007	2007	1979
	Affaldstype	Blandet affald	Blandet affald	Blandet affald	Blandet affald	Blandet affald
	Terræn	under	Under	Under*	Under	Over og under
	Affaldsafgift tilbagebetalt?	Nej	Ja	Ja (men ikke fraført endnu)	Ja (men ikke fraført endnu)	Nej
Affaldssammensætning	Økonomi	Fravalgt som fuldskala LFM-projekt af arbejdsmiljømæssige årsager pga. fund af tagplader og asbestaffald	'ikke økonomisk'	50 kr./ton	-36 kr./ton (forudsat at forbrændingsegnet affald kan afsættes til forbrænding)	-775 kr./ton
	Slutafdækningsjord	Ja	Ja	Nej*	Nej*	Ja*
	Jord	60 %	42 %	39 %	56 %	74 %
	Forbrændingsegnet affald	25 % blandet 10 % dæk	51 % blandet 4,1 % dæk	61 %	40 % 2,9 % plast/PVC	2,6 % træ 3,5 % plastfolie 1,1 % hård plast 2,1 % tekstil 0,4 % gummi
	Sten og murbrokker	3 %	2,3 %			13 %
	Jern og metal	2 %	0,8 %	0,1 %	1,5 %	1,5 %
	NF-metal					
	Glas	-	-	-	-	0,4 %
	Stærkt forurennet jord	-	-	-	-	1,5 %

1) Afsnit 4.1 i RenoSam (2012)

2) RenoSam (2012)

3) Afsnit 1.1 i AV Miljø (2017)

4) AV Miljø (2017)

5) Miljøstyrelsen (2018a)

* supplerende information fra interviews

Anvendelser

Genanvendt

Forbrændt

Deponeret

4.1 Miljøcenter Gerringe, REFA (3.000 ton)

Projektets formål var at udgrave og frasortere forbrændingseget og genanvendeligt affald fra REFA's deponeringsanlæg Miljøcenter Gerringe ved Rødby på Lolland. Den oprindelige plan var at udgrave et stort område, som indeholdt ca. 10.000 ton deponeringseget affald, for at bruge det udgravede materiale som brændsel i kraftvarmeværket i Nykøbing F. Men affaldsselskabet indgik i løbet af projektet en aftale om import af forbrændingseget affald fra et affaldsselskab i Rostock, Tyskland, og det blev derfor besluttet at stoppe LFM-aktiviteterne under fase 1. I alt blev der derfor kun opgravet 3.000 ton fra februar til september 2011 (Miljøstyrelsen 2018a).

Sortering af affaldet foregik ved at store emner blev frasorteret med grab, mens resten efterfølgende blev sorteret i tromlesigte (25 mm) (Figur 6). Det udsorterede materiale havde følgende sammensætning: 51 % forbrændingseget materiale, 42 % jord, 4 % dæk, 2 % sten og murbrokker og 1 % jern/metal. Indholdet af genanvendelige materialer var mindre end det forventede, som var baseret på en prøvegravning i Hasselø Nor. De store emner, typisk jern, dæk og murbrokker, blev udsorteret med henblik på genanvendelse, men det viste sig, at kun jern/metal kunne sælges; dækfraktionens kvalitet opfyldte ikke kvalitetskrav til genanvendelse og hovedparten blev derfor neddelst og forbrændt sammen med det øvrige brændbare affald. Sten og murbrokker blev knust og genanvendt, men afsat gratis.

Omkostningerne til opgravningen blev vurderet til at udgøre omkring 50 % af de samlede omkostninger, mens de øvrige omkostninger var knyttet til følgende poster: (i) gendeposering af rest, (ii) afgift ved forbrænding af affaldet, (iii) transport, (iv) sortering og (v) myndighedsbehandling. Projektets samlede økonomi lå derfor betydeligt under break-even. Der er ikke offentliggjort en beregning af økonomien.



Figur 6 Sortering med Neuson-tromlesold (neuson-ecotec.com) ved LFM af dagrenovation på Miljøcenter Gerringe (RenoSam 2012).

4.2 Avedøre Deponi, AV Miljø (2.600 ton)

AV Miljø gennemførte i november 2015 et LFM-projekt på blandet affald i AV Miljø's Celle 2.1.2.2 på Avedøre Deponi i Hvidovre. Forsøget var motiveret af en tidligere prøvegravning og sortering af 600 ton fra samme lokalitet, som havde givet indikationer på, at LFM og den deraf frigivne deponeringskapacitet kunne give en positiv totaløkonomi. Det opgravede affald havde ligget omkring 10 år på lokaliteten inden opgravningen (AV Miljø 2017).

Sorteringen af det opgravede materiale blev udført ved brug af rystebånd med magnet og sold og blev udsorteret i følgende fire produktfraktioner: 56 % finfraktion (mest jord), 40 % forbrændingseget affald, 3 % plast/PVC og 2 % jern/metal. Det mobile sorteringsanlæg ses i Figur 7. Kun metalfraktionen blev genanvendt; de øvrige fraktioner blev gendeponeret eller brændt (ligger fortsat oplagret i 2020).

På grundlag af fordelingen af fraktionerne blev der gennemført en teoretisk beregning af projektøkonomien under den forudsætning, at den brændbare fraktion afsættes til forbrænding. Beregningen viste, at driftsomkostningerne udgjorde 380 kr./ton og indtægterne 344 kr./ton, dvs. totaløkonomien var -36 kr./ton. AV Miljø konkluderede, at LFM på dette affald ville være økonomisk attraktivt for virksomheden, hvis følgende betingelser var opfyldt (AV Miljø 2017):

- Den brændbare fraktion i deponiet er større end 50 % (hvilket er 10 % mere end man erfarede ved projektet).
- Der er tilladelse til forbrænding af trykimprægneret træ på danske affaldsforbrændingsanlæg (hvilket ikke var tilfældet under testperioden, men nu er tilladt).
- Der er bedre muligheder for afsætning og genanvendelse af fraserteret plast og PVC (PVC blev gendeponeret i projektet).



Figur 7 Sortering af blandet affald ved LFM-forsøgsprojektet på Avedøre Deponi (AV Miljø 2017).

4.3 Affaldscenter Skårup, Renosyd (2.000 ton)

Projektets formål var at undersøge de tekniske, økonomiske og miljømæssige fordele ved at gennemføre LFM i et deponi tilhørende Renosyds Affaldscenter Skårup nær Skanderborg; dette skulle gøres på affald som var deponeret i perioden 1979-1981. For at vurdere affaldets sammensætning blev der før projektstart fundet historisk arkivmateriale, foretaget interviews, udført geofysisk screening og udført to prøvegravninger. Baseret på forundersøgelserne blev det skønnet, at affaldet bestod af ca. 80 % dagrenovation og 20 % storskrald. Projektet blev igangsat i december 2015 og afsluttet i december 2016. Det var planlagt at opgrave og behandle ca. 5.000 ton affald, men større driftsomkostninger end forudset, som følge af tekniske sorteringsproblemer, medførte at projektet blev standset efter udgravning af ca. 2.000 ton affald.

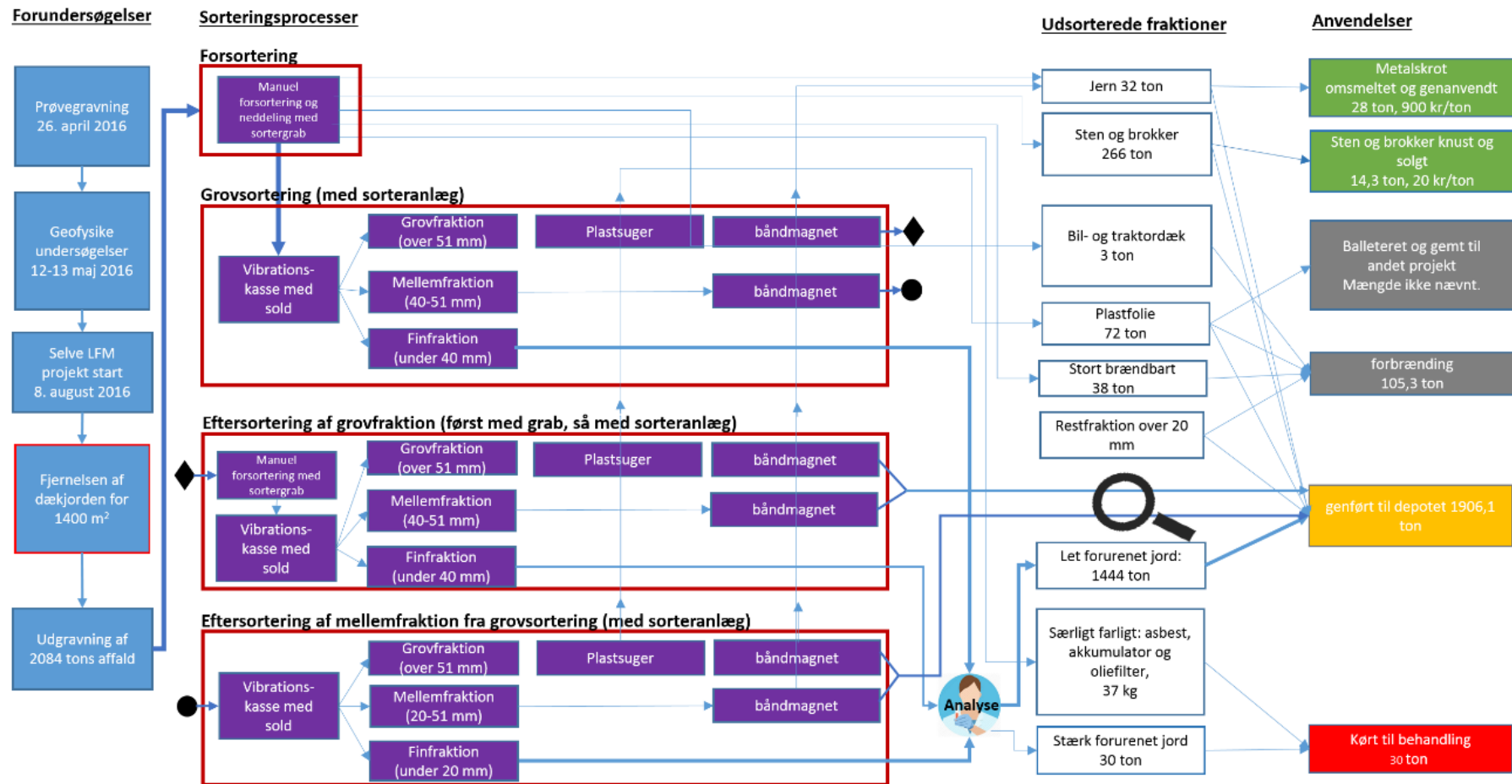
Affaldssorteringen foregik med rystesorteringsanlæg med magnetseparator (Figur 8). Produktfraktionerne bestod af 74 % jord, 13 % sten og murbrokker, 4 % plast/PVC, 3 % træ, 2 % tekstil, tæpper og tæpperester, 2 % jern, 1 % hård plast, 0,4 % glas og 0,4 % gummi (dæk og småt gummi). Fordelingen af de brændbare fraktioner blev bestemt ved manuel sortering af udvalgte fraktioner. Det lave indhold af forbrændingseget affald tilskrives, at affaldet var stærkt biologisk omsat.



Figur 8 Gravemaskine og rystesorteringsanlæg ved forsøgsprojekt vedrørende LFM af blandet affald på Affaldscenter Skårup (Miljøstyrelsen 2018).

Fra et LFM-synspunkt viste affaldets sammensætning sig at være mindre gunstig end forventet, og projektet demonstrerede derfor ikke en positiv økonomi. Forud for projektet var den forventede nettoomkostning på et fuldskala LFM-projekt af deponiet (67.500 ton) 520 kr./ton affald. Den faktiske nettoomkostning var 775 kr./ton affald. På grundlag af projektets driftsom-

Arbejdsgang for LFM projekt



Figur 9 Flowdiagram over LFM-projektet i Skårup: Forundersøgelser, sorteringsprocesser, udsorterede fraktioner og anvendelser (MiMa 2020).

kostninger og beregning af forskellige scenarier for afsætning og indtægtsgrundlag blev det estimeret, at nettoomkostningen ved LFM på Skårup-deponiet kan variere fra 28 kr./ton til 775 kr./ton affald. Især forhold som den varierende affaldsmængde i forhold til slutfærdigingsjord, fraktionernes genanvendelighed og pris, forekomsten af farligt affald, mulighed for tilbageførsel af afgift og afledte besparelser og gevinster har stor betydning for økonomien (Miljøstyrelsen 2017).

Flowdiagram med angivelse af mængder og anvendelser for LFM-projektet i Skårup ses i . Det fremgår heraf, at forsorteringen blev udført med grab for at fjerne store emner, mens den efterfølgende behandling var en maskinel sortering med vibrationskasse med sold, plastsuger og båndmagnet. Grovfraktion og mellemfraktion blev gensorteret for at opnå de ønskede fraktioner. Analyser afgjorde om jordfraktionerne kunne føres tilbage til depotet eller om det skulle køres til behandling.

4.4 Konklusion – danske LFM-erfaringer

I Danmark er der erfaringer fra fem LFM-projekter på blandet affald (Miljøcenter Hasselø Nor, Miljøcenter Gerringe, Avedøre Deponi (to stk.) og Affaldscenter Skårup); to projekter var pilotprojekter, hvor kun få hundrede ton blev opgravet (Miljøcenter Hasselø Nor og Avedøre Deponi). Projekterne var generelt mere omkostningstunge end forventet, hvilket tilskrives et vist niveau af risikovillighed, særligt i forhold til forundersøgelser og afsætningsmuligheder, som beskrives mere dybtgående nedenfor.

Forundersøgelser. Forundersøgelserne var ofte misvisende:

- LFM i Avedøre indeholdt væsentligt mere jord end prøvegravningen viste.
- LFM i Gerringe var baseret på en prøvegravning i et andet deponi med en, viste det sig, anden affaldssammensætning.
- LFM i Skårup var baseret på en geofysisk undersøgelse af lav tolkningsmæssig kvalitet, samt en mindre prøvegravning, som indeholdt væsentligt mindre jord end der reelt blev opgravet i projektet.

Afsætningsmuligheder. Projekterne havde udfordringer med at udsortere materialefraktioner som kunne opfylde kvalitets- og miljøkrav til faktisk genanvendelse eller forbrænding:

- Forbrænding af affald var ikke mulig pga. trykimprægneret træ (Avedøre, Skårup)
- Genanvendelse af PVC, dæk, plast og glas var ikke mulig pga. ringe kvalitet (Avedøre, Skårup)
- Større jordmængde end forventet (Avedøre, Skårup) gjorde, at der ikke blev frigivet det forventede areal.

Gennemgangen af de tre store LFM-projekter viser, at totaløkonomien varierede fra -36 kr./ton affald (AV Miljø) til -775 kr./ton affald (Renosyd) (Tabel 8). Den store variation i totaløkonomien mellem projekterne afspejler, at projekterne var meget forskellige på en række centrale punkter:

- **Formålet** og dermed også indtægtsgrundlaget var henholdsvis frigivelse af deponeringskapacitet (Gerringe og Avedøre) og en teknisk/økonomisk demonstration (Skårup).

- **Affaldssammensætningen** var forskellig i de tre projekter, bl.a. var indholdet af jord og finfraktion forskelligt; 42 % i Gerringe, 56 % Avedøre Deponi og 74 % i Skårup-projektet.
- **Sorteringsmetoden** var henholdsvis tromlesigte (Gerringe), rystebånd med magnet og sold (Avedøre), rystebånd med magnet, sold og plastsugning (Skårup). Skårup havde desuden tekniske vanskeligheder pga. problemer med vådt affald og landbrugsplast i den maskinelle sortering.

Forskellen mellem de tre LFM-cases betyder, at der ikke kan drages en generel konklusion om, hvilke forudsætninger der skal være opfyldt for at få en positiv LFM-økonomi i Danmark. Dette er i overensstemmelse med de konklusioner, som blev draget i de enkelte LFM-projekter:

- *"Der kan ikke drages en generel konklusion om, hvorvidt det ud fra økonomiske forudsætninger vil være en god idé at gennemføre LFM af tidligere deponeret affald. Det skyldes, at en lang række betydende økonomiske faktorer er anlægs- eller lokalitetsspecifikke f.eks. værdien af frigjort deponeringsvolumen, muligheden for re-turnering af sikkerhedsstillelsen, forbrændingstakst, transportafstande osv." (Gerringe 2011, RenoSam 2009).*
- *"Da der ikke er to deponeringsanlæg/lossepladser, der er ens, vil indhold og output i sagens natur variere meget ved LFM-projekter. Samtidig vil incitamenterne til at foretage LFM være forskellige, og det vil derfor være urealistisk at foreskrive en fast forretningsmodel, som kan anvendes ved gennemførelse af LFM-projekter generelt." (Miljøstyrelsen 2018a).*

5. Udenlandske erfaringer med LFM

Der er gennem de seneste 70 år gjort erfaringer med LFM over hele verden. Det første LFM-projekt menes at være et projekt i Tel Aviv, Israel, i 1953. I dette projekt var formålet at anvende den muldrige jordfraktion til at forbedre jordkvaliteten i frugtplantager (Shual and Hillel 1958, Savage *et al.* 1993). I 1986 blev et af de første LFM-projekter udført i USA. Det foregik i byen Naples i Florida, hvor formålet primært var at genbruge jordfraktionen til slutfaldækning (EPA 1993). Det første LFM-projekt i Europa menes at være på deponiet Burghof, Tyskland, i 1993 (Rettenberger *et al.* 1995, Hogland *et al.* 1997). I dette projekt blev affaldet opgravet for at sikre drikkevandsressourcen mod forurening, hvorefter affaldet blev gendeponeret oven på en beskyttende membran. Disse første LFM-projekter havde dermed ikke til formål at genanvende materialerne.

I nærværende undersøgelse er der lavet litteratursøgning for at identificere nyere, udenlandske LFM-projekter. Denne gennemgang viser, at der har været udført 20-30 fuldskala-LFM-projekter siden 1990, hvoraf omkring halvdelen er udført i USA. Med 'fuldskala' menes her projekter, hvor den opgravede mængde udgør mere end 10.000 ton. Desværre er kun få af fuldskalaprojekterne detaljeret afrapporteret. Mange projekter er kun helt summarisk beskrevet som fx navn, årstal og mængdeangivelse, mens andre beskrevne projekter mangler relevante oplysninger som fx formål, metode, affaldstype, affaldsalder, anvendelsen af opgravet affald, mængde og økonomi (Anna University – Chennai 2010, Escambia County 2009, US Environmental Protection Agency 1997, Krook *et al.* 2012, Dhar 2017, Vance 2014, Rosendal 2009, Royal School of Arts 2008, Burkalovs *et al.* 2017).

5.1 Gennemgang af seks udenlandske LFM-projekter

Nøgletal for seks af de velbeskrevne LFM-projekter er præsenteret i Tabel 9 og Tabel 10. De udvalgte LFM-projekter, der alle er fuldskalaprojekter, omfatter fire småskalaprojekter (10.000-100.000 ton) og to storskalaprojekter (>100.000 ton). Tre af projekterne er beskrevet nedenfor i kort form med hensyn til (i) sorteringsmetoder, (ii) udsorterede fraktioner, (iii) genanvendelsen (formålet) og (iv) de økonomiske betragtninger. Erfaringerne fra de seks LFM-projekter er sammenfattet og relevansen for danske LFM-projekter diskuteres ligeledes nedenfor.

Tabel 9 Oversigt over seks udvalgte fuldskala-LFM-projekter. Formål, der ikke blev indfriet, er gennemstreget. Opgravede mængder i parentes er beregnet. En omregningsfaktor på 0,7 (meget lavt sat) er brugt ved omregning fra m³ til ton.

	Kudjape Landfill (Estland)	Burghof (Tyskland)	Naples (USA)	Edinburgh (USA)	Frey (USA)	Perdido (USA)
Type	Småskala	Småskala	Småskala	Småskala	Storskala	Storskala
Opgravet mængde	82.500 ton (58.000 m ³)	(54.000 ton) 38.000 m ³	(59.000 ton) 41.000 m ³	39.000 ton (27.000 m ³)	3-400.000 ton (2-300.000 m ³)	(344.000 m ³ affald) (115.000 m ³ slutaf-dækningsjord)
Formål	Jordgenbrug	Kapacitet Jordgenbrug Grundvand Brændsel Ferrous metal	Grundvand Brændsel Jordgenbrug Materialer	Kapacitet Materialer Brændsel	Kapacitet Brændsel Ferrous metal	Demonstration Kapacitet Grundvand Reduc. lukkeomkostn. Ferrous metal
Jordens anvendelse	Dækmateriale	Dækmateriale	Dækmateriale Landbrugsjord	Dækmateriale	Dækmateriale	Dækmateriale
Opgravet areal	<4 ha	Ingen data	4 ha (10 acres)	1 ha (2,6 acres)	Ingen data	8,1 ha (20 acres)
Opgravet (år)	2012-2013	1993	1995	1991-1992	1991-1996	2009
Deponeret (år)	1970-2009	Ingen data	1986	1969-1991	1985-1990	1981-1990
Fyldhøjde (m)	12 m, men kun de øverste 5 m blev afgravede (yngste affald)	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data
Fordybning (m)	0	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data
Affaldstype	Primært MSW	Primært MSW	Primært MSW	Primært MSW	MSW	MSW
Sorteringsmetode	Tromle 40 mm Vibrationssigte <40 mm Magnet	Ingen data	Vibrationssigte 76 mm	Vibrationssigte 76 mm og 13 mm	Tromle 25 mm	Tromle 76 mm
Omkostning	Ingen data	Ingen data	14 DKK/ton	15-25 DKK/m ³	40 DKK/m ³	50 DKK/m ³
Indtægt + besparelse	Ingen data	Ingen data	21 DKK/ton	Ingen data		150 DKK/m ³
Resultat	Ingen data	Ingen data	6 DKK/ton	Ingen data (nok positiv)	80 DKK/ton	140 DKK/ton (100 DKK/m ³)

MSW - municipal solid waste, svarer typisk til husholdningsaffald

Tabel 10 Oversigt over opgravede og karakteriserede fraktioner fra udvalgte udenlandske LFM-projekter. Ikke-realiserede potentialer er gennemstreget. Der er udført forskellige affalds-karakteriseringer – deraf forskellen i inddelinger.

	Kudjape Landfill, Saarema Island (Estland)	Burghof (Tyskland)	Naples (USA)	Edin- burgh (USA)	Frey (USA)	Perdido (USA)
Jord	29 vgt-% (0-10 mm) 25 vgt-% (10-40 mm)	70,5 % vgt-%	60 vgt-%	75 vgt-% (0-10 mm)	41 vol-%	63 vol-%
Forbræn- dingsegnet affald	46 vgt-% (>40 mm)	17,5 vgt-%	40 vgt-%	25 vgt-%	56 vol-%	1 vol-% dæk 45 vol-% affald
Sten og murbrok- ker	38 vgt-% plast 4 vgt-% gummi 5,8 vgt-% metal	10 % vgt-%			3 vol-%	
Jern og metal	1,2 vgt-% forurenset 22 % sten	2 % vgt-%				
NF-metal	7,4 vgt-% træ					
Glas	0,8 vgt-% glas					
Stærkt forurenset jord	7,4 vgt-% papir 13 vgt-% uidentificeret			"Ikke-sig- nifikante mængder"		0 vol-%

5.1.1 Kudjape Landfill, Saarema Island, Estland (83.000 ton)

På Saamera Island i Estland blev der i 2012 igangsat et LFM-projekt, hvor topaffaldet skulle udgraves og sorteres så meget, at der kunne opnås en tilstrækkelig udsortering af finfraktion til slutaftdækning af lossepladsens top og sider. Udgravningen foregik i perioden 2012-13 og 57.777 m³ blev udgravet, hvilket gav tilstrækkeligt materiale til at dække den ca. 4 ha store losseplads (Hogland *et al.* 2014, Bhatnagar *et al.* 2017, Kaartinen *et al.* 2013).

Det udgravede materiale blev forsøgsvist sorteret med fem forskellige metoder: (i) tromlesigte str. 40 mm og 80 mm, (ii) shredder/pre-crushing, (iii) overbælte-magnet, (iv) luft-kniv og (v) vibrationssigte. Magneten var ineffektiv og luftkniven fungerede ikke godt. Regn og blød jord vanskeliggjorde desuden sorteringsarbejdet. Tromlesigten var derfor den primære metode, og sigtningen gav to fraktioner: 54 % <40 mm og 46 % >40 mm. Fraktionen >40 mm blev behandlet i endnu en 40 mm tromlesigte og overstørrelserne blev forsøgt håndsorteret til genanvendelse. Forbrændingsegnet affald fra fraktionen >40 mm blev karakteriseret og efterfølgende brugt som brændsel i forbrændingsanlæg samt anvendt som medforbrænding i cementindustrien. Inert materiale blev gendeponeret. Finfraktionen blev analyseret og fyldt tilbage som slutaftdækning på deponiet. Analysen viste bl.a., at <10 mm-fraktionen udgjorde 29 % af den udgravede mængde.

Den potentielle værdi af materialerne blev, på basis af en affaldsundersøgelse, vurderet til 600.000 £. Dette potentiale blev dog ikke realiseret. Der blev ikke afleveret en samlet økonomisk vurdering af projektet.

5.1.2 Perdido, USA (660.000 ton)

Storskala-LFM-projektet i Perdido i USA havde til formål at indvinde ekstra deponikapacitet, samt at fjerne affald deponeret uden bundmembran for at reducere risikoen for grundvandsforurening (Escambia County 2009, lanfillinfo.ky 2019).

Projektet begyndte i 2006 med en forundersøgelse, hvor affaldet fra 39 borehuller blev karakteriseret. På baggrund af borerne blev det estimeret, at slutfækningsjordens mægtighed varierede mellem 15 cm til 4 m og udgjorde omkring 30 % af totalvolumenet, mens indholdet af jord i selve affaldet blev estimeret til at være 24 % af volumenet (60 % af vægten). På dette grundlag blev det vurderet økonomisk attraktivt at gå videre til en pilotskala-udgravning af 35.000 m³ affald.

Et pilotprojekt begyndte i 2008 og var et demonstrationsprojekt, der havde til formål at demonstrere teknologier og drage erfaringer til et storskalaprojekt. I pilotprojektet blev affaldet shreddet og sigtet. Til sigtningen blev anvendt to metoder for at afgøre, hvilken der var mest egnet: (i) en 20 mm tromlesigte (3/4") og (ii) en rystesold. Konklusionen var, at tromlesigten både var hurtigere og bedre til at adskille jord fra materialet end rystesoldet. Pilotprojektet viste også, at shredding inden sigtning ikke havde den store betydning for separationen af jord fra affald ved sigtningen. Indholdet af jord i affaldet (eksklusiv slutfækningsjord) blev ved pilotforsøget opgjort til 70 % (vol-%).

Ved det endelige LFM-projekt i 2009 blev omkring 115.000 m³ slutfækningsjord og 344.000 m³ affald (inklusive jord) opgravet fra omkring 20 ha losseplads. Slutfækningsjordens gennemsnitlige mægtighed var ca. 2 m. Til opgravning blev der anvendt tre bulldozere, seks gravemaskiner, seks offroad lastbiler og to tromlesigter. Slutfækningsjorden blev afgravet og opbevaret nær pladsen. Tromlesigterne sigtede i størrelse 7,6 cm, hvilket gav to fraktioner; 63 vol-% jord og 37 vol-% affald. Jorden blev lagt i depot til brug for den daglige afdekning af deponier, men blev også vurderet som egnet til opfyldning i forbindelse med bygge- og anlægsaktiviteter. Dæk blev fraseret affaldet for at opfylde lovgivningen på området. Affaldet blev ikke sorteret, men gendeposerede på et deponi med membranunderlag. Den samlede økonomi for projektet var positiv og blev estimeret til ca. 100 kr./m³. Projektet var dermed en succes.

5.1.3 Edinburgh, USA (40.000 ton)

I Edinburgh i USA blev der i 1991-1992 udført et pilotforsøg for at undersøge, om det var mere økonomisk at inddrage areal fra en gammel losseplads end at afsætte nyt areal til deponeringsaktiviteterne. Arealet fra den gamle losseplads skulle frigives ved at forbrænde og genanvende materialer i affaldet fra den gamle losseplads. Lossepladsen havde ikke bundmembran; alene af denne grund havde opgravningen en positiv indflydelse på miljøet. Udgravningen foregik i to etaper, hvor første etape var et demonstrationsprojekt (11.500 m³ udgravet), og den anden etape var småskala-LFM (31.000 m³ udgravet) (Escambia County 2009).

Ved første etape blev der anvendt 'flatbed screens' til sigtningen med brug af 100 mm, 50 mm og 25 mm masker med det formål at teste forskellige størrelser. Til anden etape brugte

man også 'flatbed screens' til sigtningen, men her med 76 og 13 mm masker. En tromlesigte (13 mm) blev kun anvendt i fem dage, da 'flatbed screens' med 100, 50 og 25 mm masker fra første etape blev foretrukket. Det fraserterede materiale blev gendeponeret og ikke anvendt i forbrændingen eller forsøgt genanvendt, som det oprindeligt var meningen.

Et indledende studie af projektøkonomien indikerede at projektet var økonomisk attraktivt, men er ikke afrapporteret yderligere; det er kun afrapporteret, at driftsudgiften for projektet udgjorde 15-25 kr./ton.

5.2 Konklusion – udenlandske LFM-projekter

Projekterne i udlandet har primært haft til formål at reducere mængden af affald på aktive deponier, såkaldt 'landfill mining and remediation'. I projekterne er anvendt standard entreprenør-sorteringsanlæg, ofte en sigtetromle, hvor jord fraserteres og genanvendes som daglig dækning og slutfækningsjord på et aktivt deponi. Det er en teknisk, administrativ og miljøkravsmæssig ukompliceret proces, hvor der ikke foregår genanvendelse af materialerne. De fleste projekter er afrapporteret med en positiv totaløkonomi, hvor der ikke er medregnet miljøforbedringen ved at fjerne lossepladsaffald, der ligger uden membran.

Konceptuelt kan erfaringerne fra udlandet sammenlignes med at udføre LFM på aktive deponeringsanlæg i Danmark for at frigive kapacitet og slutfækne. Derimod kan konceptet af gode grunde ikke overføres til LFM på gamle, nedlukkede lossepladser, ligesom projekterne ikke giver løsninger på, hvordan man kan udsortere genanvendelige materialefraktioner.

På baggrund af de udenlandske LFM-projekter kan der udledes følgende med relevans for en vurdering af LFM-potentialet i Danmark:

- **Genanvendelse af materialer.** Der har været meget lidt fokus på at udsortere affaldet i genanvendelige fraktioner. I forbindelse med prøvegravninger og borer, som har haft til formål at karakterisere affaldet, er det ikke undersøgt, hvordan disse affaldstyper reelt vil kunne udsorteres i kommercielle fraktioner. 'Grovfraktionerne' er således typisk blevet gendeponeret. Jordindholdet (defineret som 0-40 mm-fraktionen) udgjorde for LFM-projekterne 54-75 % af vægten for projekter, hvor der blev afrapporteret i vægt.
- **Økonomiske parametre.** Genanvendelse af jord på lossepladsen/deponiet og frigørelse af deponeringskapacitet er den primære 'driver' for de gennemgåede projekter. Udgifter og indtægter er i alle projekter afrapporteret samlet og ikke detaljeret pr. post. Det er derfor ikke muligt at sammenligne betydningen af forskellige økonomiske parametre.
- **Teknologiudvikling.** Der er kun udført få afprøvninger af sorteringsteknologier med henblik på at vurdere, hvordan der bedst kan fremstilles afsættelige fraktioner. I de få tilfælde, hvor der har været fokus på sorteringsteknologien, er der foretaget en sammenligning mellem tromlesigte og vibrationssigte i forhold til effektiviteten på frasertering af jordfraktion. I ét enkelt projekt blev jern udsorteret, men dette blev hurtigt opgivet, da det blev vurderet som uøkonomisk (Naples).
- **Prøvetagning og affaldskarakterisering.** De fleste pilot- og forskningsprojekter har haft til formål at karakterisere indholdet af affald i deponiet. Der er anvendt to

metoder: boring og prøvegravning. I flere tilfælde har prøvetagninger og karakteriseringer været gentaget ved pilotskala- eller fuldskala-LFM-projekter. Det blev i alle tilfælde fundet, at affaldssammensætningen var væsentlig anderledes end den affaldssammensætning, der var fundet ved boringer og prøvegravninger. Afvigelserne vurderes hovedsageligt at skyldes, at prøverne ikke er repræsentative for lossepladsen, hvilket formegentlig skyldes et utilstrækkeligt antal prøver og usikkerhed/bias omkring selve prøvetagningsmetoden.

- **Geofysik.** Der er ikke rapporteret brug af geofysiske metoder i forbindelse med de udenlandske LFM-projekter, der er gennemgået i dette kapitel.

6. Anvendelsesmuligheder for jord og finfraktion fra LFM

For økonomien i LFM-aktiviteter spiller mulighederne for genanvendelse af jord og finfraktioner en væsentlig rolle. Baseret på litteratursøgninger og interviews med personer med praktisk og/eller juridisk faglig indsigt på området, ser dette kapitel derfor nærmere på muligheder, udfordringer og begrænsninger for genanvendelse af disse fraktioner.

En skematisk oversigt over udvalgte muligheder for håndtering af jord og finfraktion fra LFM i Danmark ses i Figur 10. De identificerede muligheder drejer sig konkret om fri anvendelse efter 'Jordforureningsloven', genanvendelse efter 'Miljøbeskyttelsesloven', § 19 og § 33, og anvendelse på aktivt deponi efter 'Affalds- og Råstofafgiftsloven'. Desuden er der identificeret en række muligheder for teknisk behandling; det skal dog bemærkes at den juridiske hjemmel ikke er identificeret.

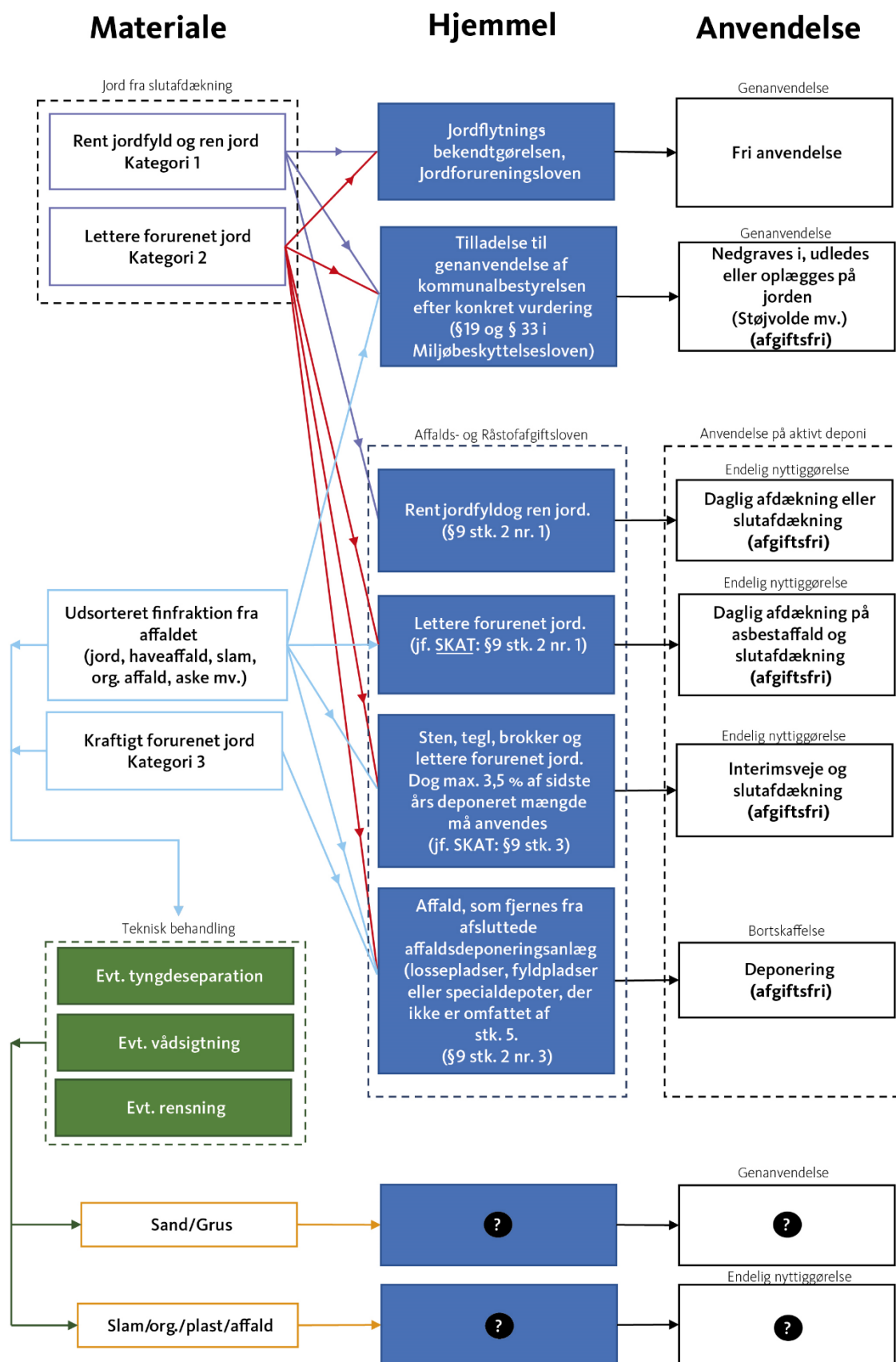
Tabel 11 opsummerer prisniveauerne for hver af de identificerede anvendelsesmuligheder af jord. I tillæg til materialepriserne må der påregnes transportomkostninger, som erfaringsmæssigt udgør omkring 1 kr./ton pr. km, eksklusiv omkostninger til af- og pålæsning.

Tabel 11 *Prisniveau for anvendelserne af jord.*

Anvendelse	Udgift (kr. /ton)	Indtægt (kr. /ton)
Endelig nyttiggørelse på deponi (ren jord)	40	
Endelig nyttiggørelse på deponi (lettere forurenet jord)	70	
Bortskaffelse på deponi for blandet affald	400-600	
Bortskaffelse på specialdeponi for jord	50-200	
§ 19- og § 33-tilladelse	20-100	
Fri anvendelse		20-35
Jord rensset ved teknisk behandling		Ikke undersøgt
Jord sorteret ved teknisk behandling		Ikke undersøgt

6.1 Anvendelse på aktivt deponi

Jord og udsorteret finfraktion fra både nedlagte lossepladser, nedlukkede affaldsdeponeringsanlæg og aktive anlæg må benyttes afgiftsfrit til endelig nyttiggørelse og deponering på et aktivt deponi. De specifikke formål, som materialet må anvendes til på et deponi, afhænger af materialernes forureningsniveau, og om der er et aktivt deponi, som kan bruge materialerne til de i loven foreskrevne formål. Bestemmelserne fremgår i 'Affalds- og Råstofafgiftsloven' (2017) og af SKAT (2020). Konkrete referencer fremgår af Figur 10.



Figur 10 Oversigt over udvalgte muligheder for håndtering af jord og finfraktioner fra LFM i Danmark. Uafklarede muligheder er markeret '?'. Der tages forbehold for fejl.

Endelig nyttiggørelse. Hvis materialet er kategoriseret som ren jord må det anvendes til daglig afdækning eller slutaafdækning. Hvis det opgravede materiale er kategoriseret som lettere forurenede jord, må det anvendes til daglig dækning, slutaafdækning, asbestafdækning og som fyld til midlertidige veje. Alle disse anvendelser er afgiftsfritaget. Det typiske prisniveau for modtagelse af ren jord på deponierne i Danmark er omkring 40 kr./ton (gennemsnittet var 43 kr./ton i 2015, jf. Dansk Affaldsforening *et al.* 2015) og for lettere forurenede jord 70 kr./ton (gennemsnittet var 73 kr./ton i 2015, jf. Dansk Affaldsforening *et al.* 2015) (Tabel 11).

Bortskaffelse. Affald og jord opgravet fra en gammel losseplads eller nedlukket affaldsdeponeringsanlæg kan gendeponeres afgiftsfrit på et aktivt deponi. Den samlede omkostning til deponering udgøres derfor kun af deponiets takst og af transportomkostninger. På et deponi, som modtager blandet affald, er taksten inklusive deponeringsafgift typisk omkring 1.000 kr./ton, fx 1.060 kr./ton ekskl. moms (AV Miljø 2019) og 875 kr./ton ekskl. moms (REFA 2019). Derfor er det vurderet, at det aktuelle omkostningsniveau for deponering af affald og jord i deponier er 400-600 kr./ton (takst eksklusiv deponeringsafgift). Til sammenligning var den gennemsnitlige deponeringstakst eksklusiv deponeringsafgift 391 kr./ton i 2015 (Dansk Affaldsforening 2015). Derudover kan deponering af lettere forurenede jord ske på specialdepoter, som kun modtager monofraktion af jord. Jorddepoterne er typisk anlagt, hvor der er behov for jord til havneudvidelse. Prisniveauet for levering til disse depoter er 50-200 kr./ton (Tabel 11), fx 64 kr./ton (KMC Nordhavn 2019), 90 kr./ton (Køge Jorddepot 2019) og 175 kr./ton (Klintholm A/S 2019).

6.2 Jordflytning og tilladelse efter § 19 og § 33 i Miljøbeskyttelsesloven

§ 19- og § 33-tilladelse til genanvendelse gives af kommunalbestyrelsen på baggrund af en konkret vurdering af materialets forureningsgrad og egenskaber i relation til formålet med den påtænkte genanvendelse. Typiske formål er fx støjvolde, visuel forskønnelse eller afskærmning, dæmninger, terrænregulering, havneudbygning og rekreative landskaber. Hvis der er tale om lettere forurenede jord, er der omkostninger til bl.a. miljøgodkendelse, entreprenører, markeringsnet og afdækning med ren topjord. Samlet set er afsætning af lettere forurenede jord derfor en omkostning, som erfaringsmæssigt udgør 20-100 kr./ton² (Tabel 11).

Finfraktioner, der udsorteres fra blandet affald fra lossepladser, har et højere indhold af organisk materiale end normal jord og har derfor ringere geotekniske egenskaber. Hvis muldjord og lerjord er tilført lossepladsen som affald eller daglig dækning, fx fra bygge- og anlægsarbejder vil den udsorterede finfraktions geotekniske egenskaber ligeledes være forringet. Desuden må der forventes store variationer i kvaliteten af finfraktionen både mellem forskellige lossepladser og internt i en losseplads. Finfraktionens geotekniske anvendelighed bestemmes ved en konkret vurdering. I LFM-projekterne i Gerringe og Skårup blev det vurderet, at den udsorterede finfraktion ville kunne overholde kravene som lettere forurenede jord og dermed anvendes i fx en støjvold, diger m.m.

² Oplysning fra interviews

Fri anvendelse kan ske efter jordflytningsbekendtgørelsen, hvis jorden er en 'kategori 1' jord. Værdien af jorden vil afhænge af efterspørgslen og vil være omkring 20-35 kr./ton³ (Tabel 11). Til nogle formål vil anvendeligheden, og dermed prisen, bero på en vurdering af jordens geotekniske egenskaber.

6.3 Midlertidig oplagring

Deponeringsbekendtgørelsen (2011) giver mulighed for at oplagre affaldet midlertidig, dvs. at affaldet læsses af til forberedelse inden videre transport med henblik på nyttiggørelse, behandling eller bortskaffelse andetsteds, og hvor oplagring sker:

- i. i en periode på som hovedregel under tre år, hvis affaldet skal nyttiggøres eller behandles, eller
- ii. i en periode på under et år, hvis affaldet skal bortskaffes jf. § 3, stk. 10.

6.4 Teknisk behandling

Det er muligt at forbedre jordprodukters geotekniske egenskaber ved tør- eller vådsortering. Metoderne er nærmere beskrevet i afsnit 6.4.2. Ved tørsortering sker der typisk en klassificering efter størrelse, mens silt og organisk materiale frasorteres ved vådsortering, og materialet derfor bliver relativt mere grovkornet. De sorterede produkter vil typisk kunne sælges som kvalitetsråstoffer. Det er uklart, hvorvidt restproduktet fra vådsortering, typisk et slamprodukt, vil kunne gendeponeres afgiftsfrit, under de vilkår der er beskrevet i afsnit 7.1.

Det er teknisk muligt at rense jord for de fleste typer forureninger. Eksempler på metoderne er nævnt i afsnit 6.4.1.

Behandlingsomkostningerne til både sortering og rensning afhænger af behovet og metodevalget. Vi har i denne undersøgelse ikke afdækket disse omkostningsniveauer, ligesom vi ikke har undersøgt markedspriserne for rensede og sorterede produkter.

6.4.1 Rensning

Mulighederne for at genanvende ikke-renset forurennet jord vurderes primært i forhold til fire miljøparametre. Disse udfordringer gennemgås i det følgende.

Organiske kemikalieforbindelser. Ved Skårup LFM-projekt var indholdet af organiske forbindelser i alle vognlæs jord højere end grænseværdien for ren jord, dvs. lettere forurennet; kun et enkelt vognlæs (svarende til ca. 1%) var svært forurennet med organiske forbindelser og skulle derfor deponeres på et deponeringsanlæg. Organiske kemikalieforbindelser som følge af fx PAH, olie og kulbrinter, PCB, klorerede opløsningsmidler, PFAS mv. til omkring 1.500 ppm kan, for visse jordtyper, fjernes med en termisk behandling, vaskeproces, biologisk be-

³ Oplysning fra interviews

handling eller en kombination af behandlingsformer, afhængigt af hvilke stoffer og hvilke koncentrationer der er tale om (Boskalis Environmental 2019a). NORRECCO A/S tilbyder fx biologisk rensning af klasse 4 jord forurenet med olie ned til klasse 1-3 (NORRECCO 2019). Jord, som er rensset på denne måde, kan efterfølgende nyttiggøres til opbygning af fx diger, hvorved man kan undgå at sende jorden til deponi (RGS Nordic 2019). Der findes også et eksempel fra genvindingsindustrien på, at organisk nedbrydning og termisk nedbrydning er blevet kombineret med vådsortering (Boskalis Environmental 2019b). For benzin og/eller oliestoffer er der dokumenteret nedbrydning under oxiderende forhold i umættet zone (Miljøstyrelsen 2012b).

Tungmetaller. Tungmetalindhold i jordfraktioner kan nedbringes ved udvaskning, hvor tungmetallerne opsamles i en slamfraktion, som skal deponeres (Boskalis Environmental 2019b). Der foregår en kontinuerlig udvikling på dette område, men mange nye metoder er dyre at anvende, og metoderne er ofte udviklet til specifikke opgaver. Det gælder fx Krüger Soil Remediation MUDP-pilottestprojekt, hvor bl.a. kviksølvforureningen ved Høfde 42 på Harboøre Tange i et 25 m³ stort område blev on-site fjernet ved termisk oprensning (Krüger 2019, Miljøstyrelsen 2019c). Ved Krüger Soil Remediation-metoden opvarmes jorden til 350 °C, hvorved kviksølv fordamper og opsamles, mens organiske kemikalieforbindelser nedbrydes. Erfaringerne fra projektet viste, at jorden kan renses så den kan klassificeres som ren eller lettere forurenet jord (Miljøstyrelsen 2019c). Omkostningerne til denne rensningsmetode er betydelige. Ved Skårup LFM-projekt var der ikke behov for rensning efter tungmetaller, da tungmetalindholdet lå under grænseværdien for ren jord.

Asbestfibre. Det er sandsynligt, at der findes asbestfibre i alle lossepladser, hvor der er deponeret gammelt byggeaffald, affaldsjord fra byggeri og storskrald med byggeaffald. Asbestfibre, som er naturlige mineraler, er bestandige og forvitrer kun langsomt til mindre partikler ved mekanisk påvirkning. Der er stor risiko for, at små partikler kan resuspendere, hvilket er godt, da korte fibre er mindre sundhedsmæssige skadelige og har større evne til at trænge ned i jorden, hvor de kan passiviseres, fx ved at binde sig til lerpartikler. Anbefalet grænseværdi af asbestfibre er 10 mg/L (Miljøstyrelsen 2008). Der er kommet nye metoder til in-situ-måling af asbestfibre (asbestmagazine.nl 2016), og der er eksempler på, at udsorteret grusmateriale fra forurenet jord kan vaskes fri for asbest og genanvendes (Lindum 2019).

Plast og fremmedlegemer. I forbindelse med størrelsessorteringen vil hovedparten af plasten og affaldet blive fjernet, men der vil efterfølgende stadig være plast og fragmenter tilbage i jordfraktionen. Skårup-projektet demonstrerede at magnetisk metal kunne fjernes fra jordfraktionen med overbåndsmagnet, og fra andre projekter i udlandet er der eksempler på at 'wind sifting' er anvendt til at fjerne plast og træfibre fra finfraktionen. Effektiviteten på disse metoder afhænger typisk af hvor tør jorden er, hvorfor man i afrapporteringen af Skårup-projektet anbefaler, at der anvendes overdækning af området for at undgå nedbør (Miljøstyrelsen 2018).

6.4.2 Sortering

De fleste grusgrave anvender tekniske anlæg til at forarbejde det opgravede sand og grus til optimale produkter med geotekniske egenskaber, som efterspørges af markedet. Inden for

genindvindingsindustrien vinder disse forarbejdningsmetoder frem i erkendelse af, at det øger indtjeningsmuligheden, når der fremstilles efterspurgte produkter. Der anvendes typisk to forskellige metoder til sortering; tørsortering og vådsortering:

- **Tørsortering.** I grusgrave er det mest almindeligt at størrelsessorteringen af det opgravede materiale foretages direkte med materialets naturlige fugtighed – kaldet tørsortering. Der er eksempler på, at en frasorteret jordfraktion fra lossepladser, som indeholder shredderaffald, er blevet anvendt som støjvold og som slutaftækningsjord/kanter på nyt deponi.
- **Vådsortering.** Ved vådsortering kan organisk materiale og silt udvaskes, hvorved der kan fremstilles et materiale, som er geoteknisk egnet som stabilgrus til fx vejbygning. Der foretages ikke vådsortering af jordmaterialer i Danmark, men det praktiseres i flere andre lande (NORRECCO 2019). For eksempel har Boskalis Environmental seks permanente sites og et mobilt anlæg til jordvask (Boskalis Environmental 2019b). Der synes ikke at være begrænsninger på, hvilke typer materialer metoden kan anvendes på. Boskalis Environmental anvender således teknologien på slagge fra affaldsforbrænding, hvorved der fremstilles: (i) en finsandfraktion (0,063-2 mm), som kan anvendes til vejbygning; (ii) et slamprodukt (0-63 µm) som skal deponeres, (iii) en metalfraktion og (iv) organisk materiale. Fordelingen er typisk 85 % i sandfraktionen og 15 % fordelt på de øvrige fraktioner (Boskalis Environmental 2019a). En mere enkel metode til vådsortering, som også kan være relevant i forbindelse med LFM, er en metode, der anvendes inden for landbruget til genanvendelse af sandstrøelse i stalde, hvor sandfraktionen presses opad i et rør, mens det organiske materiale skylles nedad og frasepareres i en filterpresse (Kinard Farms 2020). I alle nævnte metoder recirkuleres vandet.

7. Økonomisk scenarieanalyse

I de tre danske LFM-projekter, gennemgået i kapitel 3, var der ikke datagrundlag for at konkludere, hvilke økonomiske forudsætninger der er de væsentligste for fremtidige, kommercielle LFM-projekter. Derfor er der, med udgangspunkt i de forhold der er beskrevet i kapitel 2, 3 og 4, samt information om driftsøkonomien for Skårup LFM-projekt udarbejdet en økonomisk vurdering af en række scenarier.

Laner *et al.* (2019) har foretaget en scenarieanalyse som vurderede minimum-, maksimum- og middelværdier for 12 LFM-parametre baseret på en gennemgang af erfaringer fra LFM-aktiviteter i udvalgte EU-lande. En modellering af alle 531.441 scenarier (3¹²) gav en spredning i totaløkonomien fra -139 kr./ton til +127 kr./ton med en positiv økonomi for 20 % af scenarierne. Det er vores vurdering, at Laner *et al.* 2019 viser, at forudsætningerne spiller en stor rolle for projektøkonomien, men ikke umiddelbart siger noget om, hvilke scenarier der er de mest sandsynlige og dermed heller ikke peger på, hvilke parametre der er de væsentligste for kommercielle LFM-projekter.

Antallet af scenarier i denne analyse er derfor mindre, og analysen tager udgangspunkt i, at scenarierne er så tæt på virkeligheden som muligt. Samtidig fokuseres diskussionen så vidt muligt på de konkrete forhold knyttet til de eksisterende økonomiske rammer. Der er anvendt følgende parametre i scenarievurderingen:

- To eksempler på driftsøkonomien: et 'business as usual'-scenarie og et 'best practice'-scenarie (Tabel 12);
- Tre eksempler på affaldssammensætningens oprindelse: ukontrolleret losseplads, kontrolleret losseplads og deponeringsanlæg (Tabel 13);
- En række hypotetiske besparelser og indtægter: (i) sparet anlægsomkostning ved frigivelse af kapacitet, (ii) sparet omkostning til efterbehandling (30 år), (iii) yderligere sparet omkostning til efterbehandling (+50 år), (iv) salg af grund i byzone og (v) affaldsafgift retur, samt en teoretisk indtægt i form af (vi) tilskud for reduktion af CO₂ (metan) (se afsnit 0).

I de følgende afsnit gennemgås overvejelserne bag tallene i detaljer, og efter hver gennemgang vises tabeller med de anvendte inputs til scenarieberegningerne.

7.1 Lossepladstypernes størrelse

Den gennemsnitlige fyldhøjde, areal, slutaftækningsmægtighed og densitet for hver af de tre typer lossepladser (ukontrolleret losseplads, kontrolleret losseplads og deponeringsanlæg) er belyst i kapitel 3 i forbindelse med en vurdering af det nationale ressourcepotentiale. Til scenarieanalysen anvender vi de samme parametre, og nøjes derfor med at henvise til forklaringerne i kapitel 3. Affaldsmængden er fastsat til 70.000 ton i alle tre eksempler, så de er indbyrdes mere sammenlignelige og sammenlignelig med Etape 1 i Skårup LFM-projekt.

Det beregnede areal, fyldhøjde og slutaftækning i meter samt affaldsmængde og slutaftækning i ton for affaldssammensætningen i de tre lossepladstyper i scenarierne ses i Tabel 14.

Tabel 12 Væsentlige forskelle og ligheder mellem de to driftsscenarier, 'business as usual' og 'best practice', som bliver brugt i scenarieanalysen.

		'Business as usual'		'Best practice'	
Ens forudsætninger	Udgravning og sortering (omkostning)	Forsortering med grab, sigtning og magnet: 200 kr./ton (erfaring fra AV Miljø var 175 kr./ton, mens Skårup, som dog havde væsentlige forsøgsmæssige udfordringer som bragte omkostningerne op, lå på 415 kr./ton. 200 kr./ton anvendes i begge scenarier, da vi ikke kender til en billigere pris fx ved storskala-LFM eller konkurrenceudbud på sorteringen)			
	Øvrige drifts-omkostninger	Projektering og faste omkostninger mv.: 400.000 kr. Afgravning af slutaftækningsjord 16 kr./ton , reetablering og afdækning 111 kr./m² . (erfaringstal fra Skårup LFM-projekt).			
	Anvendelse af blandet fraktion (omkostning)	Forbrænding: 510 kr./ton (erfaringstal fra Skårup, svarende til forbrændingsafgiften)			
	Anvendelse af affaldsjord (omkostning)	Gendepo- nering uden afgift	500 kr./ton	33 % opfyldning: 66 % nyttiggørelse: (på de- poni eller § 19 el. § 33)	21 kr./ton 70 kr./ton
	Genanven- delse (indtægt)	Metal: Brokker: Elektronik:	300 kr./ton 0 kr./ton 0 kr./ton	Metal: Brokker: Elektronik:	900 kr./ton 20 kr./ton 1.000 kr./ton

Tabel 13 Affaldssammensætningen i de tre scenarier, ukontrolleret losseplads, kontrolleret losseplads og deponeringsanlæg, som bliver brugt i scenarieanalysen. Der er store usikkerheder forbundet med scenarierne.

	Ukontrolleret losseplads	Kontrolleret losseplads	Deponeringsanlæg
Scenarie- periode	Før 1971	1973-2001	Fra 2001
Scenarie- beskri- velse	Lavt indhold af deponeret dagrenovation og andet blandet affald, dvs. primært indhold af jord og inert affald. I dette scenarie er det meste organiske affald omdannet, eller der har aldrig været dagrenovation og andet organisk affald.	Gennemsnitlig sammensætning af de opgravede lossepladser gennemgået i Tabel 7 fra hhv. ca. 1980, 1992, 1992, 2003 og 2004. Scenariet afspejler en forventet sammensætning for perioden. Der er dog stor usikkerhed omkring affaldssammensætningen qua den store variation i affaldet mellem opgravningerne.	Blandet affald som ikke er omdannet, og som ikke er opblandet med jord.
Reference på affalds- sammen- sætning	Tænkt eksempel	Gennemsnit af opgravningerne i Tabel 7.	Justering af scenariet for 'kontrolleret losseplads': Mindre jord, farligt affald og stærkt forurenede jord; mere forbrændingseget affald, jern og metal og elektronik.
Forholdet mellem slutaftæk- ningsjord og affald	0/100 Baseret på den historiske gennemgang i kapitel 2 vurderer vi, at der kan forekomme lossepladser uden slutaftækningsjord, eller hvor der er brugt fx byggeaffald/affaldsjord som dække.	30/70 Baseret på en vurdering om, at affaldsmængden skrumper over tid, som følge af omdannelsen af organisk affald, og som derfor er lavere end i scenariet 'deponeringsanlæg'.	20/80 Forventet forhold ved ca. 5 m affald og 1 m slutaftækningsjord.

Tabel 14 Beregnet areal (m²), fyldhøjde (m) og slutaftdækning (m) samt affaldsmængde og slutaftdækning (ton) for affaldssammensætningen i de tre lossepladstyper i scenarierne.

	Ukontrolleret losseplads	Kontrolleret losseplads	Deponeringsanlæg
Areal (m ²)	10.000	10.000	5.000
Fyldhøjde (m)	7	7	14
Slutaftdækning (m)	0	1	1
Affaldsmængde (ton)	70.000	70.000	70.000*
Slutaftdækning (ton)	0	1.500	8.000*

* mængder for deponeringsenhed på 10.000 m²

7.2 Affaldssammensætning

Gennemsnitlige affaldssammensætninger for de tre lossepladstyper er belyst i kapitel 3 og fremgår af Tabel 6 og er anvendt i scenarieberegningen. Den skønnede affaldssammensætning i % (Tabel 6) er gengivet i Tabel 15, mens sammensætningen i ton ses i Tabel 16.

Tabel 15 Skønnede affaldssammensætninger (%) for ukontrollerede og kontrollerede lossepladser samt deponeringsanlæg i Danmark på baggrund af fem kendte opgravede deponier i Danmark (Tabel 6).

	Ukontrolleret losseplads**	Kontrolleret losseplads*	Deponeringsanlæg**
Finfraktion	80	52	41
Forbrændingseget affald	6	39	50
Sten og murbrokker	6	6	6
Jern og metal	1,1	1,1	1,1
Elektronik	0	0,1	0,1
Glas***	0,4	0,4	0,4
Farligt affald	1	0,15	0,15
Stærkt forurennet jord	6	1,5	1,5

* normaliseret gennemsnit af affaldssammensætninger i fem opgravede deponier Tabel 8

** skønnet sammensætning, som er en justering af *

*** udsorteres ikke i nærværende scenarieanalyse. Regnes derfor som finfraktion i tabel 16.

Tabel 16 Beregnede affaldsmængder (ton) for ukontrollerede og kontrollerede lossepladser samt deponeringsanlæg i Danmark.

	Ukontrolleret losseplads	Kontrolleret losseplads	Deponeringsanlæg
Finfraktion	56.000	36.400	28.700
Forbrændingseget affald	4.200	27.300	35.000
Sten og murbrokker	4.200	4.200	4.200
Jern og metal	770	770	770
Elektronik	0	14	14
Farligt affald	700	105	105
Stærkt forurennet jord	4.200	1.050	1.050

7.3 Anvendelse af jord og finfraktion fra LFM

Ved beregningerne for scenarierne antages at lossepladsen/deponiet fjernes og arealet re-etableres. Det betyder, at jord og finfraktion skal anvendes andetsteds eller eventuelt bruges til reetablering på den opgravede lokalitet.

Der er forskellige muligheder for at anvende jord og finfraktion fra LFM, som gennemgået i kapitel 6. Beregningerne i scenarierne viser, at 'best practice' samlet set er et bedre økonomisk scenarie end 'business as usual'.

I 'business as usual'-scenariet bortkøres *jorden* til endelig nyttiggørelse, mens det i 'best practice'-scenariet benyttes til fri anvendelse (Tabel 17).

Finfraktionen i 'business as usual' nyttiggøres delvist på et deponi og bortskaffes delvist på et specialdeponi for jord, mens den nyttiggøres med § 19- eller § 33 tilladelser i 'best practice'-scenariet (Tabel 18).

Tabel 17 Håndtering af slutfærdigingsjord (%).

	Business as usual	Best practice
Endelig nyttiggørelse på deponi (ren jord)	100	0
Fri anvendelse	0	100

Tabel 18 Håndtering af finfraktionen fra affaldssortering (%).

	Business as usual	Best practice
Endelig nyttiggørelse på deponi (lettere forurennet jord)	33	0
Bortskaffelse på specialdeponi for jord	66	0
§ 19- eller § 33-tilladelse	0	100

På basis af den procentvise fordeling for håndteringen af jorden og finfraktionen til (i) endelig nyttiggørelse på deponi (ren jord), (ii) endelig nyttiggørelse på deponi (lettere forurennet jord), (iii) bortskaffelse på specialdeponi (lettere forurennet jord), (iv) § 19- eller § 33-tilladelse og (v) fri anvendelse (Tabel 17 og Tabel 18) er de samlede mængder for de tre lossepladstyper beregnet for 'business as usual' (Tabel 19) og 'best practice' (Tabel 20).

Tabel 19 Håndtering af jord (slutfærdigning og finfraktion), 'business as usual' (ton).

	Ukontrolleret losseplads	Kontrolleret losseplads	Deponerings-anlæg
Endelig nyttiggørelse på deponi (ren jord)	0	1.500	8.000
Endelig nyttiggørelse på deponi (lettere forurennet jord)	18.000	12.100	9.600
Bortskaffelse på specialdeponi for jord	37.000	24.300	19.100

Tabel 20 Håndtering af jord (slutafdækning og finfraktion), 'best practice' (ton).

	Ukontrolleret losseplads	Kontrolleret losseplads	Deponerings-anlæg
§ 19- eller § 33-tilladelse	56.000	36.400	28.700
Fri anvendelse	0	1.500	8.000

7.4 Priser på jord og affald

I begge scenarier er der anvendt de samme priser på jord og affald. Men der er mindre forskelle på hvordan fraktionerne anvendes i de to scenarier; dels er der forskel på anvendelsen af jord og finfraktion, som forklaret i afsnit 6.3, og dels udsorteres elektronikaffald kun i 'best practice'-scenariet.

Priserne for genanvendelse af materialer stammer fra prisvurdering af affaldstyper i kapitel 3, Miljøstyrelsen (2018a) og fra gennemgangen af anvendelsesmuligheder for jord og finfraktion i kapitel 6; de er samlet i Tabel 21 og Tabel 22.

Tabel 21 Enhedsomkostninger på affald (kr./ton).

	Pris	Kilde
Forbrændingseget affald	-430	Kapitel 3
Sten og murbrokker	20	Kapitel 3
Jern og metal	900	Kapitel 3
Elektronik	350	Kapitel 3
Farligt affald	-5.400	Miljøstyrelsen 2018a
Stærkt forurenet jord	-360	Miljøstyrelsen 2018a

Tabel 22 Enhedsomkostninger på jord. Priserne er middelværdier af prisniveauerne i Tabel 11 i kapitel 6 (kr./ton). Positivt tal – udgift, negativt tal – indtægt.

	Pris
Endelig nyttiggørelse på deponi (ren jord)	40
Endelig nyttiggørelse på deponi (lettere forurenet jord)	70
Bortskaffelse på specialdeponi for jord	125
§ 19- eller § 33-tilladelse	60
Fri anvendelse	-27

7.5 Sortering og drift

Udviklings- og demonstrationsprojektet i Skårup vurderes at være den bedste reference på enhedsomkostninger for sortering, drift og projektering, dog med én undtagelse: prisen på maskinel sortering. I Skårup var omkostningen for maskinel sortering 415 kr./ton. Det høje omkostningsniveau tilskrives mange driftsstop, og at en del af materialet måtte behandles i sorteringsanlægget to gange for at opnå acceptable materialekvaliteter. Derudover kunne en del af erfaringerne først udnyttes sent i projektet. Dette gælder eksempelvis i relation til forsortering:

"Når gravemaskineføreren evnede at udføre en hensigtsmæssig forsortering og samtidig fik sønderdelt affaldet ved at ryste, ruske og kaste lidt rundt med det, inden det blev lagt i sorteringsanlægget, kørte anlægget bedst. En sådan nogenlunde stabil drift opnåede vi faktisk først i de sidste 5-6 arbejdsdage af de 26 arbejdsdage, som udgravning, forsortering og grovsortering varede." (Miljøstyrelsen 2018a).

Der findes som nævnt knap 4.000 affaldsdeponier i Danmark. Hidtil er der ikke foretaget en vurdering af volumen og kvalitet af affaldet i disse deponier, og der eksisterer derfor ikke viden om, i hvilket omfang affaldet i lossepladser og deponeringsanlæg udgør en væsentlig ressource, set fra et samfundsmæssigt perspektiv. I et forsøg på at få viden om dette, er der i nærværende undersøgelse foretaget et skøn over den samlede mængde af affald i danske lossepladser og deponeringsanlæg. Dette skøn indikerer, at affaldsmængderne kan bidrage væsentligt til samfundets efterspørgsel af primære råstoffer – under forudsætning af, at de kan realiseres.

En af projektets partnere DGE Miljø- og Ingeniørfirma A/S har oplyst til MiMa *"at man helt klart vil kunne gøre sorteringen både billigere og smartere, eksempelvis med større solde og med andre principper til opbygning af solde"*, og de hæfter sig desuden ved, at der er sket meget indenfor udviklingen af maskinel sortering i de senere år (DGE 2020). Dermed repræsenterer omkostningen fra Skårup med stor sandsynlighed ikke enhedsomkostninger for et 'business as usual'-scenarie.

I AV Miljø's projekt i Avedøre i 2015-2016, hvor fokus udelukkende var økonomisk (og ikke et forsøgsprojekt), var prisen for omkostninger til *afgravning og maskinel sortering* 185 kr./ton. Derfor anvendes 200 kr./ton for sortering i denne scenarieberegning; dette tal anvendes i begge driftsscenarier, da der ikke er kendskab til lavere omkostningsniveauer for sortering i Danmark. Dog anses det ikke utænkeligt, at omkostningerne kan reduceres yderligere ved at sende sorteringsopgaven i udbud, specielt hvis der arbejdes i storskala-LFM (>100.000 ton affald), bør det være muligt at driftsoptimere (DGE 2020).

De øvrige driftsomkostninger er *projektering og faste omkostninger* som dækker over (i) projektering og planlægning, (ii) forundersøgelser og (iii) etablering af plads. Vurderingen i forbindelse med Skårup LFM-projekt var, at omkostninger til *projektering og faste omkostninger* til det aktuelle projekt, som blev mindre end oprindeligt planlagt, ikke vil være væsentligt forskelligt fra et fuldskalaprojekt, da mange af disse omkostninger er basisomkostninger (Miljøstyrelsen 2018a). Da projektering og faste omkostninger for Skårup-projektet var 400.000 kr., regnes der med dette beløb i begge scenarier.

I Skårup-projektet var prisen for *reetablering og afdækning* 74 kr./m² af 1½ gange arealet, dvs. 111 kr./m². Denne pris er anvendt i alle scenarier. Et muligt scenarie, som dog ikke indgår her, er, at det vil være tilstrækkeligt at afdække med den opgravede slutaftækningsjord og derved spare omkostningen til køb og transport af primære materialer. Tabel 23 opsummerer de anvendte enhedsomkostninger for sortering, drift og projektering. Som det fremgår, er omkostningerne for de to scenarier ens.

Tabel 23 Enhedsomkostninger til sortering, drift og projektering for scenarierne 'business as usual' og 'best practice'.

	Business as usual	Best practice	Enhed
Maskinel sortering	-200	-200	kr./ton
Projektering og faste omkostninger	-400.000	-400.000	kr. pr. LFM
Afgravning af slutaftdækningsjord*	-16	-16	kr./m ²
Reetablering og afdækning	-111	-111	kr./m ²

*afgravning af slutaftdækningsjord havde i Skårup-projektet en omkostning på 16 kr./ton, som er anvendt her.

7.6 Hypotetiske og teoretiske besparelser og indtægter

Formålet med at inddrage hypotetiske og teoretiske besparelser og indtægter i scenarieanalysen er at vurdere, om disse vil kunne bidrage væsentligt til en positiv driftsøkonomi for LFM i Danmark. Der er foretaget en vurdering af, hvilke niveauer der kan være for hver af de omtalte hypotetiske besparelser og indtægtskilder: (i) frigivelse af kapacitet (sparet anlægsomkostning), (ii) sparet efterbehandling (30 år), (iii) yderligere sparet efterbehandling (+50 år), (iv) salg af grund i byzone og (v) affaldsafgift retur, samt for den teoretiske indtægt (vi) tilskud for reduktion af CO₂ (metan) (Tabel 24). De anvendte niveauer beskrives nedenfor; generelt er vurderingerne behæftet med stor usikkerhed.

Tabel 24 Hypotetiske og teoretiske besparelser og indtægter som bruges i scenarieanalysen.

		Pris (kr.)	Enhed
(i)	Frigivelse af kapacitet (sparet anlægsomkostning)	400*	kr./m ²
(ii)	Efterbehandling (30 år) (sparet omkostning)	400*	kr./m ²
(iii)	Yderligere efterbehandling (+50 år) (sparet omkostning)	667*	kr./m ²
(iv)	Salg af grund i byzone (indtægt)	400	kr./m ²
(v)	Affaldsafgift retur (indtægt)	475	kr./ton
(vi)	Tilskud for reduktion af CO ₂ (metan) (teoretisk indtægt)	320	kr./ton forbrændings-egnet affald**

* tal baseret på Skårup LFM-projekt 2016

** hvor 1/3 af det forbrændingsegnede affald er organisk materiale (forholdstal baseret på Skårup LFM-projekt 2016)

Frigivelse af kapacitet (sparet anlægsomkostning). Den sparede anlægsomkostning blev af Renosyd vurderet til 400 kr./m² (Miljøstyrelsen 2018a). Prisniveauet hos andre deponier er ikke undersøgt.

Efterbehandling, 30 år (sparet omkostning). Der er antaget et akkumuleret omkostningsniveau for efterbehandling på 400 kr./m² svarende til det, som blev af rapporteret i Skårup LFM-projekt (Miljøstyrelsen 2018a). Der regnes i dag med en efterbehandlingstid på 30 år, jf. regler om sikkerhedsstillelse (Deponeringsbekendtgørelsen 2011).

Efterbehandling, yderligere 50 år (sparet omkostning). Der er antaget et akkumuleret omkostningsniveau for yderligere 50 års efterbehandling på 667 kr./m² svarende til det, som blev af rapporteret i Skårup LFM-projekt (Miljøstyrelsen 2018a). At efterbehandlingstiden kan være længere end de 30 år, som sikkerhedsstillelsen er beregnet efter, kan tyde på, at der er behov for at sikkerhedsstillelsen baseres på en anden metode til beregning af risikovurdering for grundvandet (Miljøstyrelsen 2018d).

Salg af grund i byzone. Værdien af det frigjorte areal vil variere afhængigt af, hvad arealet efterfølgende kan anvendes til, og hvad markedsprisen for grunde er i området. Markedspriser pr. ha landbrugsjord varierer fra 116.500 kr./ha i Vestjylland til 201.000 kr./ha i Vestsjælland, inkl. Lolland-Falster; gennemsnittet for Danmark er 152.000 kr./ha (landbrugsavisen.dk 2017). Det svarer til omkring 11-20 kr./m², hvilket vil udgøre et ubetydeligt bidrag i den samlede LFM-økonomi. Derfor indregnes bidraget fra salg af landbrugsareal ikke i scenarieberegningerne. Derimod er det relevant at vurdere bidraget ved frasalg af grund i byzone. Der regnes her med en pris på 400 kr./m² svarende til gennemsnitsprisen på helårsgrunde i de danske kommuner (Boliga 2020). Til sammenligning er gennemsnitsprisen 1.000 kr./m² i kommunerne Favrskov, Silkeborg, Skanderborg, Fredericia, Aalborg og Kolding (hhv. nr. 7-12 kommuner med højeste gennemsnitspriser) (Boliga 2020).

Affaldsafgift retur. I et bindende svar fra SKAT i forbindelse med Skårup LFM-projekt fremgår det, at affaldsafgiften som udgangspunkt kun kan fraføres den afgift som er betalt (Miljøstyrelsen 2018a, SKAT 2017), dvs. at hvis der ikke er betalt afgift (før 1987) kan der ikke fås afgift retur. Det er desuden kun muligt at få afgiften retur på nedlukkede/afsluttede deponeringsanlæg/enheder, hvis de ikke er endeligt slutaftdækkede. Der er særregler for fraførsel af shredderaffald, som ikke er relevante i denne sammenhæng.

Tilskud for reduktion af CO₂ (metan). Ved at udsortere og forbrænde forbrændingsegnet affald på et forbrændingsanlæg opnås der i teorien en positiv virkning på CO₂-regnskabet. Dette skyldes, at organisk materiale under anaerobe forhold i lossepladsen/deponiet vil forrådnede og producere metan (CH₄), der er en drivhusgas, hvis effekt er 25 gange større end CO₂ (IPCC 2007). Hvis man kan godtgøre denne forhindring af metanudledningen vil det være positivt for LFM-økonomien. Et nærliggende eksempel, hvor Miljøstyrelsen giver tilskud til metan-reduktion, er BIOCOVER (Miljøstyrelsen 2020c), som er en teknologi, hvor formålet er at reducere drivhusgasudledningen ved at omdanne metan fra affaldsnedbrydningen til CO₂. Baseret på Energistyrelsens virkemiddel-katalog (Energistyrelsen 2013) vurderede Miljøstyrelsen, at BIOCOVER-teknologien vil have en lav skyggepris⁴ på omkring 77 kr./ton CO₂ (Miljøstyrelsen 2020b), hvilket på daværende tidspunkt var et prisniveau, der svarede til markedsprisen for CO₂-kvoter (Ørsted 2020). BIOCOVER som klimatiltag blev derfor en realitet. Siden er tilskuddet sat op til ca. 140 kr./ton.

Markedsprisen på en CO₂-kvote ligger i dag på omkring 160 kr./ton CO₂-eq (Ørsted 2020), hvilket er den pris vi benytter her. Forskellige fremskrivninger forudsiger at CO₂-kvoteprisen vil stige, et bud er 287 kr./CO₂ i 2030 (Energistyrelsen 2019), men da der er eksempler på at forudsigelserne kan tage meget fejl (Energistyrelsen 2018), holder vi i beregningen fast på 160 kr./ton CO₂. Den økonomiske opbremsning, som er en følge af Coronavirus-pandemien, kan dog bringe prisen ned for en periode.

Udledningen af metangas fra lossepladser aftager med tiden i takt med at det organiske materiale bliver omsat. Hastigheden hvormed det organiske materiale omsættes afhænger bl.a. af sammensætningen, vandgennemstrømning, iltforhold og bakterier. Normalt vurderes udledningen af metangas fra en losseplads ved hjælp af gasmåling (Miljøstyrelsen 2015) eller modelberegning (Miljøstyrelsen 2010). Begge metoder har sine fordele og svagheder.

⁴ Skyggepris: samfundsmæssig omkostning.

Ved LFM har man dog mulighed for at bestemme indholdet af omsætteligt (organisk) materiale og efterfølgende beregne en teoretisk maksimal metanudledning, hvilket gøres for træflis nedenfor.

Beregning af den teoretiske maksimale metanudledning for træflis. Træflis med et vandindhold på 35 % har et energiindhold på omkring 11,5 GJ/ton og en CO₂-udledning pr. GJ på 106 kg. CO₂ (Ea Energianalyse A/S 2014). Det svarer til en CO₂-udledning på 1.219 kg CO₂/ton træflis. Nyt organisk affald vil muligvis matche dette niveau, men over tid bliver affaldet nedbrudt, og det suger vand til sig. Der regnes derfor med den dobbelte vandmængde, svarende til ca. halv så meget organisk materiale, dvs. en potentiel CO₂-udledning på 600 kg/ton organisk affald. Omregning af CO₂-udledningen fra det organiske affald til metanudledning foretages ved at bruge molforholdet mellem CH₄ og CO₂ som er 0,4⁵. Med molforholdet kan den potentielle udledning af metan på 240 kg/ton organisk affald beregnes (0,4x600 kg/ton).

Som nævnt ovenfor er drivhuseffekten ca. en faktor 25 højere for metan end for CO₂, hvilket betyder, at udledningen af metangas er 6.000 kg. CO₂-eq/ton organisk affald. Da der ikke er tale om organisk affald, men derimod en blandet fraktion, som kaldes forbrændingseget affald, skal tallet nedjusteres. Ved Skårup LFM-projekt registrerede man ved en sorteringsundersøgelse, at ca. 1/3 af det forbrændingsegnet affald var organisk affald, primært træ (Miljøstyrelsen 2018a); dermed bliver besparelsen nærmere 2.000 kg. CO₂-eq/ton forbrændingseget affald. Et tilskud på 160 kr./ton CO₂ svarer dermed til et tilskud på ca. 320 kr./ton forbrændingseget affald.

Qua de mange antagelser, er dette tal selv sagt behæftet med stor usikkerhed. Til sammenligning ligger tallet lidt under den gennemsnitlige forbrændingstakst i Danmark, som er 430 kr./ton (Energistyrelsen 2016b).

7.7 Økonomisk datagrundlag

Udgifter og indtægter, der er gennemgået i de foregående afsnit, er præsenteret i et samlet regnskab i Tabel 25. Samme regnskab er præsenteret i Tabel 26, hvor enheden er omregnet til kr./ton opgravet affald. Tabel 26 ligger til grund for resultatfigurerne i afsnit 7.8.

Samlet set udgør scenarierne tre forskellige kombinationer af affaldssammensætning (ukontrolleret losseplads, kontrolleret losseplads og deponeringsanlæg) og to driftsscenarier ('business as usual' og 'best practice') med hver sin jordhåndtering. Scenarierne er vist med en række hypotetiske og teoretiske besparelser og indtægter.

I scenarierne varieres der ikke på prisen for jord og affald, ligesom enhedsomkostninger til selve driften er ens. Der er dog forskel på, hvordan jorden anvendes i de to driftsscenarier og dermed på indtægterne fra jorden.

⁵ Molforholdet mellem CH₄ og CO₂ beregnes ved brug af molarmassen for oxygen (16), kulstof (12) og hydrogen (1), hvorved molarmasserne for CH₄ bestemmes til 16 og for CO₂ til 40, hvilket giver et molforhold på 0,4.

Tabel 25 Indtægter og udgifter for alle scenarier (kr.).

	Kategori	Type	Business as usual – A1, A2 og A3			Best practice – B1, B2 og B3		
			Ukontrollerede lossepladser	Kontrollerede lossepladser	Deponerings-anlæg	Ukontrollerede lossepladser	Kontrollerede lossepladser	Deponerings-anlæg
Indtægter	Materialer	Sten og murbrokker	84.000	84.000	84.000	84.000	84.000	84.000
	Materialer	Jern og metal	693.000	693.000	693.000	693.000	693.000	693.000
	Materialer	Elektronik	-	-	-	-	24.500	24.500
	Materialer	Salg af jord til fri anvendelse	-	-	-	-	405.000	202.500
Samlede indtægter, materialer			777.000	777.000	777.000	777.000	1.206.500	1.000.004
Udgifter	Processer	Projektering og faste omkostninger	-400.000	-400.000	-400.000	-400.000	-400.000	-400.000
	Processer	Afgravning af slutfærdigingsjord	-160.000	-160.000	-80.000	-160.000	-160.000	-80.000
	Processer	Maskinel sortering	-14.000.000	-14.000.000	-14.000.000	-14.000.000	-14.000.000	-14.000.000
	Processer	Reetablering og afdækning	-1.110.000	-1.110.000	-555.000	-1.110.000	-1.110.000	-555.000
	Materialer	Forbrændingsegnet affald	-1.806.000	-11.739.000	-15.050.000	-1.806.000	-11.739.000	-15.050.000
	Materialer	Farligt affald	-3.780.000	-567.000	-567.000	-3.780.000	-567.000	-567.000
	Materialer	Stærkt forurenede jord	-1.512.000	-378.000	-378.000	-1.512.000	-378.000	-378.000
	Materialer	§ 19- eller § 33-tilladelse	-	-	-	-3.920.000	-2.548.000	-2.009.000
	Materialer	Bortskaffelse på specialdeponi for jord	-4.620.000	-3.003.000	-2.367.750	-	-	-
	Materialer	Endelig nyt. på deponi (let. forurenede jord)	-1.293.600	-840.840	-662.970	-	-	-
	Materialer	Endelig nyttiggørelse på deponi (ren jord)	-	-600.000	-300.000	-	-	-
Samlede udgifter, processer og mat.			-28.681.600	-32.797.840	-34.360.720	-26.688.000	-30.902.000	-33.039.000
Samlede indtægter-udgifter			-27.904.600	-32.020.840	-33.583.720	-25.911.000	-29.695.500	-32.035.000
Hypotetiske og teoretiske indt.	Miljø	Frigivelse af kapacitet (sparet anlægsomk.)	4.000.000	4.000.000	2.000.000	4.000.000	4.000.000	2.000.000
	Miljø	Efterbehandling (30 år) (sparet omk.)	4.000.000	4.000.000	2.000.000	4.000.000	4.000.000	2.000.000
	Miljø	Efterbehandling (+50 år) (sparet omk.)	6.670.000	6.670.000	3.335.000	6.670.000	6.670.000	3.335.000
	Miljø	Salg af grund i byzone	4.000.000	4.000.000	2.000.000	4.000.000	4.000.000	2.000.000
	Miljø	Affaldsafgift retur	33.250.000	33.250.000	33.250.000	33.250.000	33.250.000	33.250.000
	Areal	Tilskud for reduktion af CO ₂ (metan)	1.344.000	8.736.000	11.200.000	1.344.000	8.736.000	11.200.000
Samlede hypotetiske og teoretiske besparelser og indtægter			53.264.000	60.656.000	53.785.000	53.264.000	60.656.000	53.785.000
Totaløkonomi			25.359.400	28.635.160	20.201.280	27.353.000	30.960.500	21.750.000

Tabel 26 Indtægter og udgifter for alle scenarier (kr./ton opgravet affald).

	Kategori	Type	Business as usual – A1, A2 og A3			Best practice – B1, B2 og B3		
			Ukontrollerede lossepladser	Kontrollerede lossepladser	Deponerings-anlæg	Ukontrollerede lossepladser	Kontrollerede lossepladser	Deponerings-anlæg
Indtægter	Materialer	Sten og murbrokker	1	1	1	1	1	1
	Materialer	Jern og metal	10	8	9	10	8	9
	Materialer	Elektronik	-	-	-	-	0	0
	Materialer	Salg af jord til fri anvendelse	-	-	-	-	5	3
Samlede indtægter, materialer			11	9	10	11	14	13
Udgifter	Processer	Projektering og faste omkostninger	-6	-5	-5	-6	-5	-5
	Processer	Afgravning af slutafdækningsjord	-2	-2	-1	-2	-2	-1
	Processer	Maskinel sortering	-200	-165	-181	-200	-165	-181
	Processer	Reetablering og afdækning	-16	-13	-7	-16	-13	-7
	Materialer	Forbrændingsegnet affald	-26	-138	-194	-26	-138	-194
	Materialer	Farligt affald	-54	-7	-7	-54	-7	-7
	Materialer	Stærkt forurennet jord	-22	-4	-5	-22	-4	-5
	Materialer	§ 19- eller § 33-tilladelse	-	-	-	-56	-30	-26
	Materialer	Bortskaffelse på specialdeponi for jord	-66	-35	-31	-	-	-
	Materialer	Endelig nyt. på deponi (let. forurennet jord)	-18	-10	-9	-	-	-
	Materialer	Endelig nyttiggørelse på deponi (ren jord)	-	-7	-4	-	-	-
Samlede udgifter, processer og mat.			-410	-386	-444	-382	-364	-426
Samlede indtægter-udgifter			-399	-377	-434	-371	-350	-413
Hypotetiske og teoretiske indt.	Miljø	Frigivelse af kapacitet (sparet anlægsomk.)	57	47	26	57	47	26
	Miljø	Efterbehandling (30 år) (sparet omk.)	57	47	26	57	47	26
	Miljø	Efterbehandling (+50 år) (sparet omk.)	95	78	43	95	78	43
	Miljø	Salg af grund i byzone	57	47	26	57	47	26
	Miljø	Affaldsafgift retur	475	391	429	475	391	429
	Areal	Tilskud for reduktion af CO ₂ (metan)	19	103	145	19	103	145
Samlede hypotetiske og teoretiske besparelser og indtægter			760	713	695	760	713	695
Totaløkonomi			361	336	261	389	363	282

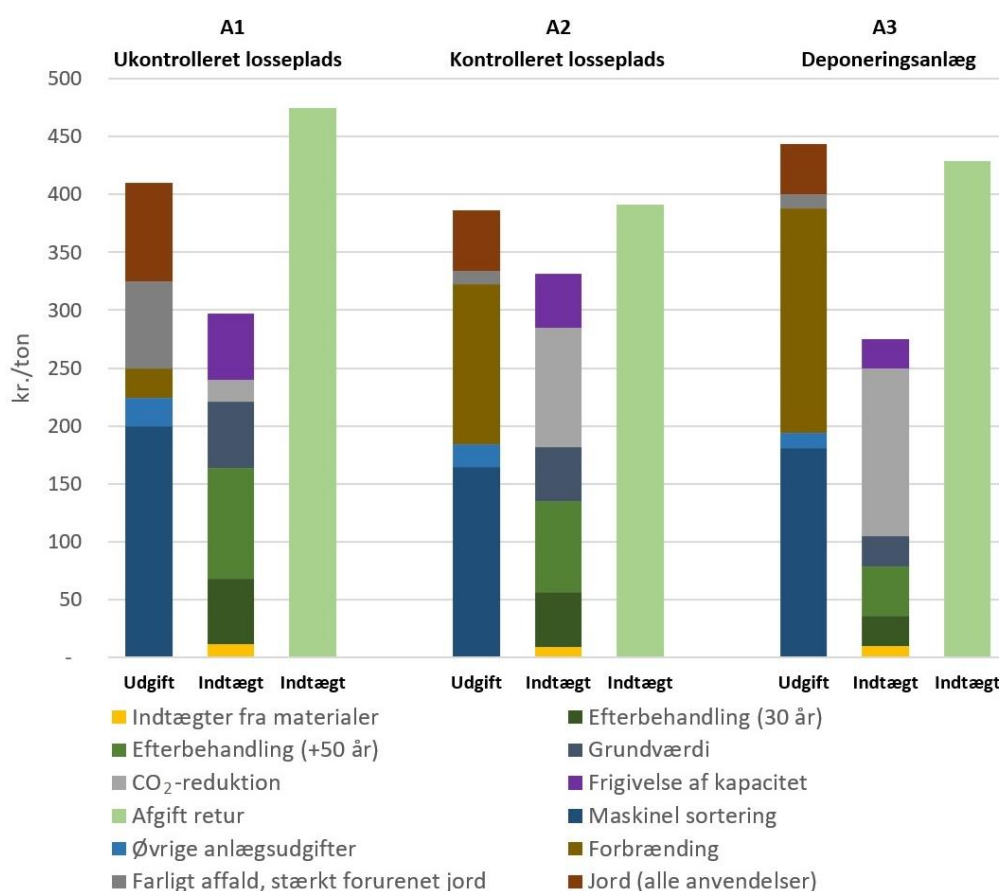
7.8 Resultater og konklusion

I scenarieanalysen vurderes en række forhold knyttet til driftsøkonomi og affaldssammensætning sammenholdt med en række hypotetiske og teoretiske besparelser og indtægtskilder.

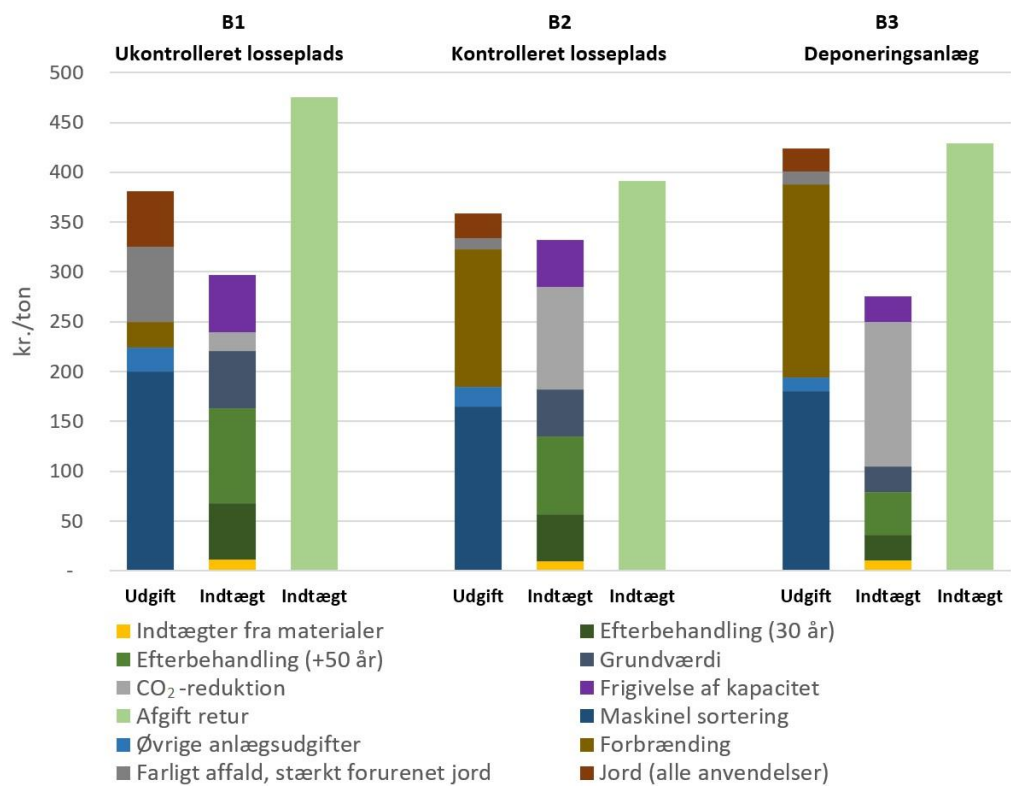
Analysen viser, at der ikke opnås en positiv driftsøkonomi for scenarierne ved blot at se på de samlede indtægter ved salg af materialer fratrasket udgifter til processer og materialer. Positiv driftsøkonomi opnås heller ikke ved indregning af hypotetiske og teoretiske besparelser og indtægter i form af (i) sparet anlægsomkostning ved frigivelse af kapacitet, (ii) sparet omkostning til efterbehandling (30 år), (iii) sparet omkostning til efterbehandling (+50 år), (iv) salg af grund i byzone og (vi) tilskud for reduktion af CO₂ (metan) (Figur 11 og Figur 12).

Derimod viser analysen, at en tilbagebetaling af (v) affaldsafgiften på 475 kr./ton vil kunne skabe en positiv driftsøkonomi i de fleste scenarier. Dette vil kun være en mulighed for deponeringsanlæg som ikke er afsluttede, og hvor affaldsafgiften på 475 kr./ton har været betalt.

De totale omkostninger i scenarierne varierer fra -350 kr./ton til -434 kr./ton (Tabel 26). Heraf er den største udgiftspost knyttet til sorteringsprocessen, dernæst til energiafgiften (forbrændingsafgiften) og afsætning af jord til nyttiggørelse og deponering. Scenarieanalysen viser, at hvis sorteringsomkostningerne kan reduceres til det halve, og samtlige ovennævnte hypotetiske besparelser og indtægter kan realiseres (i-iv og vi), kan der opnås en positiv totaløkonomi i scenarie A2, B1 og B2.



Figur 11 Scenariet 'business as usual' for hver af de tre lossepladstyper.



Figur 12 Scenariet 'best practice' for hver af de tre lossepladstyper.

8. Konklusion

Vidensniveauet om danske lossepladser og deponier er utilstrækkeligt

I de danske LFM-projekter har forundersøgelser været afgørende for, om et LFM-projekt blev etableret. Men retrospektivt har der været utilstrækkelig viden om de deponerede affaldstyper og utilstrækkelig prøvetagning og prøvegravning til, at affaldssammensætningen kunne bestemmes på det nødvendige niveau inden opgravning.

I nærværende undersøgelse er det vurderet, at de ydre rammer omkring deponering af 'blandet affald' har ændret sig væsentligt fra 1973 til i dag, både i forhold til placering, størrelse og indretning, men også i forhold til afgifter. Og selvom definitionen på kategorien 'blandet affald' stort set har været den samme siden 1973, så har affaldet ændret sig i takt med ændret forbrug og materialeudvikling. Den historiske kontekst kan dermed ikke nyttiggøres til vurdering af affaldssammensætningen. Derimod vurderes Miljøstyrelsens affaldsdata (indberettet efter ISAG fra 1994 og afløst af EAK i 2010), samt kortlægningsdata (V1 og V2) for jordforurening at kunne bidrage til den manglende viden i tilknytning til forundersøgelser og i forbindelse med en eventuel national kortlægning af ressourcepotentialet, men dog kun i mindre grad.

Ressourcepotentialet i danske lossepladser er stort men usikkert

Der findes viden om knap 4.000 kortlagte og nedlukkede affaldsdeponier i Danmark. Der er hidtil ikke foretaget en vurdering af volumen og kvalitet af indholdet, og derfor vides det heller ikke, i hvilket omfang affaldet i lossepladser og deponeringsanlæg udgør en væsentlig ressource, som set fra et samfundsmæssigt perspektiv, kan begrunde, at der skabes bedre betingelser for LFM-aktiviteter. For at få viden om dette, er der i nærværende undersøgelser foretaget et skøn over den samlede mængde af affald, der findes i danske lossepladser og deponeringsanlæg. Opgørelsen indikerer, at affaldsmængderne indeholder større mængder af sekundære råstoffer. På nuværende tidspunkt er det dog usikkert om, og i hvilket omfang, de kan realiseres.

Erfaringerne fra danske LFM-projekter er vanskelige at sammenligne

Der er udført fem pilotskala LFM-aktiviteter i Danmark og en sammenligning af projekterne er vanskeliggjort af forskelle i affaldets sammensætning, herunder mængden af jord, men også af store forskelle i sorteringsmetoderne/set-up. Derudover har projekterne haft forskellige muligheder for at afsætte de udsorterede fraktioner, bl.a. i forhold til gendeponering, forbrænding mv., hvilket har resulteret i væsentlige driftsøkonomiske forskelle mellem projekterne.

På trods af disse forskelle viser resultaterne fra de danske LFM-projekter, at formålet (indtægtsgrundlaget), affaldssammensætningen (særligt jord/affald-forholdet) og sorteringsmetodens omkostninger er afgørende parametre for økonomien i LFM.

Erfaringer fra udenlandske LFM-projekter er ikke relevante i Danmark

De udenlandske LFM-erfaringer kan ikke umiddelbart overføres til danske forhold, fordi disse projekter primært har haft til formål at reducere mængden af affald på aktive deponier, så-

kaldt 'landfill mining and remediation'. De seks gennemgåede projekter anvendte simple sorteringsanlæg, typisk i form af en eller flere sorteringssigter i forskellig størrelse, til frasortering af jord, som løbende blev genanvendt som slutfærdningsjord på et aktivt deponi. Da projekterne ikke, eller i meget lille grad, omfatter genanvendelse af ressourcerne, er de teknisk, administrativt og miljømæssigt ukomplicerede. Mange af de udenlandske projekter er ikke blevet afrapporteret skriftligt, og hvis der er, er afrapporteringen ofte mangelfuld. Man kan derfor ikke udelukke, at der eksisterer nyttig viden, den er bare ikke tilgængelig. Samlet set er der dermed ikke umiddelbart meget erfaring at hente i udlandet, som kan overføres til danske forhold.

Der er dog de seneste år bl.a. en del EU-forskningsprojekter, som sigter på et ressourceperspektiv, som måske kan bidrage med mere viden de kommende år.

Nyttiggørelse af forurenede jord – en af nøglerne til LFM-projekter med positiv økonomi

Erfaringen fra de danske LFM-projekter er, at affaldet indeholder meget finfraktion (gennemsnit omkring 50 %). Derfor har anvendelsesmulighederne for de udsorterede materialefraktioner væsentlig betydning for LFM-økonomien. En gennemgang viser, at der er stor prisforskel på de forskellige anvendelsesmuligheder. Det er dyrest at gendepone materialerne, enten på det samme deponi eller på et nyt deponi; det vil koste omkring 500 kr./ton, mens det er billigst at anvende/afsætte jord og finfraktion som jord til fri anvendelse med en indtægt på 20-35 kr./ton. Der er også forskellige muligheder for at anvende jord og finfraktion på aktive deponier som fx daglig afdækning af asbestaffald, til slutfærdning og midlertidige veje. De aktuelle anvendelsesmuligheder afhænger dog også af lokale forhold samt af forureningsindhold/kategori.

Scenarieanalysen viser, at LFM på blandet affald ikke er økonomisk på nuværende tidspunkt

Der er gennemført en økonomisk analyse af en række LFM-scenarier, som tager udgangspunkt i forskellige affaldssammensætninger (ukontrolleret losseplads, kontrolleret losseplads og deponeringsanlæg) og to driftsscenarier ('business as usual' og 'best practice'). Analysen viser, at ingen af scenariet kombinationerne er økonomiske, heller ikke når der indregnes et middel-niveau af hypotetiske og teoretiske besparelser og indtægter i form af:

- Sparet anlægsomkostning ved frigivelse af kapacitet
- Sparet omkostning til efterbehandling (30 år)
- Yderligere sparet omkostning til efterbehandling (+50 år)
- Salg af grund i byzone
- Tilskud for reduktion af CO₂ (metan)

Analysen viser dermed, at der under normale omstændigheder ikke kan etableres LFM-projekter med en positiv økonomi.

Analysen viser dog, at en tilbagebetaling af affaldsafgiften på 475 kr./ton vil kunne skabe en positiv driftsøkonomi i de fleste scenarier. Dette er i dag kun en mulighed for deponeringsanlæg som ikke er nedlukkede, og hvor affaldsafgiften tidligere har været betalt.

Analysen viser desuden, at de største udgiftsposter er knyttet til sorteringsprocessen, dernæst til energiafgiften (forbrændingsafgiften) og afsætning af jord til nyttiggørelse og deponering.

Hvis forudsætningerne i fremtiden ændres, fx hvis der mangler råstoffer eller arealer, eller hvis rammebetingelserne ændres, eller hvis der kommer nye og bedre metoder og teknologier til udsortering, kan dette ændre økonomien i fremtidige LFM. Der vil for eksempel kunne opnås en positiv totaløkonomi i scenarie A2, B1 og B2, hvis sorteringsomkostningerne kan reduceres til det halve eller i scenarie A1, A2, B1 og B2, hvis besparelsen til efterbehandling er dobbelt så stor.

9. anbefalinger

Danmark er politisk forpligtet til at reducere samfundets affald igennem øget genanvendelse og ved at arbejde mod mere cirkulær økonomi. Men der er ikke krav om, at det affald, som samfundet har ophobet igennem generationer i de mange lossepladser og deponier i Danmark, skal opgraves og nyttiggøres. Skal LFM realiseres i Danmark, er det vores anbefaling, at der fokuseres på at skabe både økonomiske incitamenter såvel som vidensopbygning og teknologisk udvikling. Herunder præsenteres en række konkrete forslag.

Økonomiske incitamenter til LFM

- Forureningsdifferentieret tilskud til LFM-operatøren, der afhænger af den type og mængde af forurening, som fjernes. Tilskuddet har til formål at mindske den økonomiske risiko, der er forbundet med at støde på uventet forurening ved LFM-projekter. Tilskuddet kan også øge incitamentet til LFM, som et værktøj til fjernelse af en identificeret forurening.
- Tilskud til begrænsning af metanudledning, fx baseret på måling af det fjernede indhold af organisk materiale i den forbrændingsegnete fraktion og i den del af jorden, der genanvendes under anaerobe forhold. Tilskuddet kan med fordel svare til prisen for CO₂-kvoter.
- Tilbageførsel af betalt sikkerhedsstillelse og affaldsafgift. Dette vil primært have en positiv effekt på LFM på nyere deponier.

Vidensopbygning

- Etablering af national database for eksisterende data for lossepladser og deponier (alder, type, mængder, V2-forureningsniveau, affaldssammensætning (ISAG, EAK), dimensioner, perkolat og monitoringsdata m.m.).
- Vidensindsamling om kvalitetskrav til de udsorterede affaldsfraktioner, herunder bl.a. renhedskriterier for fx elektronikaffald, glas, plast mv., samt affaldets brændværdi og grænser for uønskede stoffer i forbrændingseget affald.

Teknologisk udvikling

- Vidensopbygning og metodeudvikling til faseopdelte forundersøgelser, som trinvis kan afgøre (i) potentialet for genanvendelse og nyttiggørelse, (ii) valg af produktionsmetoder og (iii) økonomiske forhold ved en eventuel udnyttelse.
- Udvikling af modulopbyggede/fleksible sorteringsanlæg som kan tilpasses den varierende affaldssammensætning fra losseplads til losseplads og sikre lavest mulige driftsomkostninger og bedst mulige rene produktkvaliteter efter sortering.

Referencer

- Affaldsafgiftsloven (1986): Lov om ændring af lov om miljøbeskyttelse (LOV nr 329 af 04/06/1986). Tilgået marts 2020: <https://www.retsinformat-ion.dk/Forms/R0710.aspx?id=49372>
- Affaldsdepotloven (1990): Lov om affaldsdepoter (LOV nr 420 af 13/06/1990). Tilgået marts 2020: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=49399>
- Afgifts- og Råstofafgiftsloven (1992): Lov om ændring af lov om afgift af affald og råstoffer (LOV nr 1071 af 23/12/1992). Tilgået februar 2020: <https://www.retsinformat-ion.dk/Forms/R0710.aspx?id=49433>
- Afgifts- og Råstofafgiftsloven (1996): Lov om ændring af lov om afgift af affald og råstoffer (Afgiftsforhøjelse) (LOV nr 1224 af 27/12/1996). Tilgået februar 2020: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=83408>
- Afgifts- og Råstofafgiftsloven (1998): Lov om ændring af lov om afgift af affald og råstoffer (Afgiftsforhøjelse) (LOV nr 1034 af 23/12/1998). Tilgået februar 2020: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=13327>
- Afgifts- og Råstofafgiftsloven (2000): Lov om ændring af forskellige afgiftslove (LOV nr 1295 af 20/12/2000). Tilgået februar 2020: <https://www.retsinformat-ion.dk/Forms/R0710.aspx?id=14837>
- Afgifts- og Råstofafgiftsloven (2009): Lov om ændring af afgift af elektricitet og forskellige andre love (LOV nr 527 af 12/06/2009). Tilgået februar 2020: <https://www.retsin-formation.dk/Forms/R0710.aspx?id=125442>
- Afgifts- og Råstofafgiftsloven (2017). Bekendtgørelse af lov om afgift af affald og råstoffer (LBK nr 412 af 21/04/2017). Tilgået januar 2020: <https://www.retsinforma-tion.dk/Forms/R0710.aspx?id=188421>
- Anna University – Chennai (2010): Dumpsite rehabilitation manual. Udgivet af Centre for Environmental Studies, Anna University I Chennai, Indien. Tilgået juni 2019: <https://www.elaw.org/system/files/Dumpsite%20Rehabilitation%20Manual.pdf>
- Asbestmagazine.nl (2016): In-situ meten van asbest. Webside. Tilgået juni 2019: <https://www.asbestmagazine.nl/nieuws/20160824-in-situ-meten-van-asbest>
- AV Miljø (2017): Forsøgsprojekt vedrørende Landfill Mining af blandet affald. Udarbejdet af Per Wellendorph. Tilgået juni 2019: www.av.dk/CustomerData/Files/Folders/3-pdf/47_landfill-mining-af-blandet-affald-2017-web.pdf
- AV Miljø (2019): Takster. Webside. Tilgået juni 2019: <https://www.av.dk/takster.aspx>
- AVV (2020): Elektronik. Webside. Pris på elektronik dateret 2. januar 2020. Tilgået januar 2020: <https://www.avv.dk/virksomheder/affaldstyper-og-priser/elektronik/>
- BAI (2018): Håndbog i affaldsdeponering. Efteruddannelsesudvalget for bygge/anlæg og industri (BAI). Juni 2018. Tilgået februar 2019: https://materialeplatform.emu.dk/materialer/public_downloadfile.do?mat=1167656&id=113801070
- Boliga (2020): Gennemsnitlige kvadratmeterpriser på Helårsgrund i Danmark. "Tallene i toplisterne er udregnet på baggrund af de boliger der er til salg lige nu". Tilgået marts 2020: <https://www.boliga.dk/statistikker/kvadratmeterpriser-kommuner?propertyType=7>
- Boskalis Environmental (2019a): Telefoninterview med ansat d. 29. februar 2019.
- Boskalis Environmental (2019b): Enhanced soil washing. Webside. Tilgået juni 2019: <https://environmental.boskalis.com/activities/enhanced-soil-washing.html>

- Bhatnagar, A. Kaczala, F. Burlakovs, J. Kriipsalu, M. Hogland, M. Hogland, W. (2017): Hunting for valuables from landfills and assessing their market opportunities A case study with Kudjape landfill in Estonia. Udgivet i Waste Management & Research 1-9. DOI: 10.1177/0734242X17697816. Tilgået juni 2019: www.researchgate.net/publication/315650265_Hunting_for_valuables_from_landfills_and_assessing_their_market_opportunities_A_case_study_with_Kudjape_landfill_in_Estonia
- Bradal (2020): Priser. Webside. Prislister er opdateret 9/3-2020. Bradals produkthandel. Tilgået marts 2020: <https://www.bradal.dk/priser/>
- Burlakovs, J. et al. (2017): Paradigms on landfill mining: From dump site scavenging to ecosystem services revitalization. Resources, Conservation and Recycling, 123: 73-84. Tilgået juni 2019: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344916301707?via%3Dihub>
- DAKOFA (1985): Grundvandskontrol ved kontrollerede affaldsdeponier, Dakofa, skrift nr. 1, 1985. Polyteknisk forlag.
- DAKOFA (2009): Nyhed: Afgiftslovene endeligt udstedt 12.06.09 – DAKOFA sammenskriver kulafgiftsloven. Webside. Tilgået marts 2020: <https://dakofa.dk/element/afgiftslovene-endeligt-udstedt-120609-dakofa-sammenskriver-kulafgiftsloven/>
- Dansk Affaldsforening, Dansk Industri og Dansk Energi (2015): BEATE – Benchmarking af affaldssektoren 2015 (data fra 2014) Forbrænding. Tilgået marts 2020: <https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Vindenergi/beate-forbraending.pdf>
- Dansk Affaldsforening, Dansk Industri og Dansk Energi (2016a): BEATE – Benchmarking af affaldssektoren 2016 (data fra 2015). Deponering. Tilgået januar 2020: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Affald/beate_afrapportering_deponering_2016_2.pdf
- Dansk Affaldsforening, Dansk Industri og Dansk Energi (2016b): BEATE – Benchmarking af affaldssektoren 2016 (data fra 2015). Forbrænding. Tilgået januar 2020: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Affald/beate_afrapportering_forbraending_2016_29maj2017.pdf
- Danmarks Statistik (2019a): Affaldsstatistikken (AFFALD02). Tilgået juni 2019: <https://www.dst.dk/da/Statistik/emner/geografi-miljoe-og-energi/groent-nationalregnskab/materialer-og-affald>
- Danmarks Statistik (2019b): Materialestrømsregnskabet (MRM2). Tilgået juni 2019: <https://www.dst.dk/da/Statistik/emner/geografi-miljoe-og-energi/groent-nationalregnskab/materialer-og-affald>
- Deponeringsbekendtgørelsen (2001): Bekendtgørelse om deponeringsanlæg (BEK nr 650 af 29/06/2001). Tilgået marts 2020: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=12496#K2>
- Deponeringsbekendtgørelsen (2009): Bekendtgørelse om deponeringsanlæg (BEK nr 252 af 31/03/2009). Tilgået november 2019: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=124157>
- Deponeringsbekendtgørelsen (2011): Bekendtgørelse om deponeringsanlæg (BEK nr 719 af 24/06/2011). Tilgået oktober 2019: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=137791>
- Deponeringsdirektivet (1999): Rådets direktiv 1999/31/EF af 26. april 1999 om deponering af affald (EFT L 182 af 16.7.1999, s. 1). Tilgået marts 2020: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1999L0031:20081211:DA:PDF>
- DGE (2020): Interview mellem projektchef Lars B. Overgaard fra DGE Miljø- og Ingeniørfirma A/S og ingeniør Rune Clausen fra Videncenter for Mineralske råstoffer og Materialer (MiMa), d. 5/3 2020.

- Dhar, A. (2017): Landfill Mining – A comprehensive Literature Review. Teknisk rapport udgivet på Research Gate oktober 2015. Tilgået juni 2019: https://www.researchgate.net/publication/317555059_Landfill_Mining_-_A_Comprehensive_Literature_Review
- Ea Energianalyse A/S (2014): Biomasse og CO₂. Ea Energy Analysis, SB, HHL. Udgivet 25. september 2014. Tilgået februar 2020: http://www.ea-energianalyse.dk/reports/CO2_effekt_af_biomasse_fremfor_kul.pdf
- Energistyrelsen (2013): Virkemiddelkatalog – Potentialer og omkostninger for klimatiltag. Udarbejdet af tværministeriel arbejdsgruppe. Udgivet august 2013. Tilgået august 2019: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/virkemiddelkatalog_-_potentialer_og_omkostninger_for_klimatiltag.pdf
- Energistyrelsen (2018): Fremskrivning af brændselspriser og CO₂-kvotepris. Bilag. Udgivet af Energistyrelsen, afdeling for systemanalyse. Tilgået januar 2020: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/b1_braendselspriser.pdf
- Energistyrelsen (2019): Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger for energipriser og emissioner, oktober 2019. Udgivet af Energistyrelsen oktober 2019. ISBN: 978-87-93180-45-1. Tilgået januar 2020: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/samfundsoekonomiske_beregningsforudsætninger_for_energipriser_og_emissioner_2019.pdf
- EPA (1993): Evaluation of the Collier County, Florida Landfill Mining Demonstration. Office of research and development, Washington DC 20460. September 1993. Tilgået april 2020: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/30002Y4O.PDF?Dockey=30002Y4O.PDF>
- Escambia County (2009): Landfill Reclamation Demonstration Project: Perdido Landfill. Udgivet af Escambia County, Florida, USA juni 2009. Tilgået juni 2019: <http://landfillinfo.ky/wp-content/uploads/2014/08/2-Perdido-Landfill-Reclamation-Project-Final-Report-IWCS-June-2009.pdf>
- H. J. Hansen (2016): Prislister Odense. Gældende fra 6/4 2016. Tilgået januar 2020: https://hjhanzen.com/images/Prislister_Odense.pdf
- Hogland, M., Hogland, W., Jani, Y. Kaczala, F. (2014): EXPERIENCES OF THREE LANDFILL MINING PROJECTS IN THE BALTIC SEA AREA – with focus on machinery for material recovery. Udgivet i Linnaeus ECO-TECH' 14, Kalmar, Sweden, November 24-26, 2014. Tilgået juni 2019: www.researchgate.net/publication/268807365_EXPERIENCES_OF_THREE_LANDFILL_MINING_PROJECTS_IN_THE_BALTIC_SEA_AREA_-_with_focus_on_machinery_for_material_recovery
- Horsens Folkeblad (2019): 25.000 kubikmeter jord er kørt væk: Kampsportscenter og 50 meter-bassin på vej. Publiceret 9. maj 2019. Tilgået juni 2019: https://hsfo.dk/horsens/25000-kubikmeter-jord-er-koert-vaek-Kampsportscenter-og-50-meter-bassin-paa-vej/artikel/228674?fbclid=IwAR3ssxxCE_alsITJ0tn3Ao-hEQZZg4kbpY1WeG3jwU0HGDwTF0ltH6DWp8M
- IPCC (2007): Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom 996 pp. Tilgået februar 2020: <http://www.ipcc.ch/report/ar4/>

- Jordflytningsbekendtgørelsen (2015): Bekendtgørelse om anmeldelse og dokumentation i forbindelse med flytning af jord (BEK nr. 1452 af 07/12/2015): Tilgået februar 2020: <https://www.retsinformation.dk/forms/r0710.aspx?id=175829>
- Jordforureningsloven (2017): Bekendtgørelse af lov om forurennet jord (LBK nr 282 af 27/03/2017). Tilgået februar 2020: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=188394>
- Jørgensen, M. og P. Kjeldsen (1995): Kildestyrkevurdering af gamle lossepladser. Miljøprojekt nummer 16, 1995. Miljøstyrelsen. Tilgået februar 2020: <https://mst.dk/serie/publikationer/publikationsarkiv/1995/nov/kildestyrkevurdering-af-gamle-lossepladser/>
- Kaartinen, T., Sormunen, K. and Rintala, J. (2013): Case study on sampling, processing and characterization of landfilled municipal solid waste in view of landfill mining. J. Cleaner Prod., 55 (2013) 56. Tilgået februar 2020: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652613001078?via%3Dihub>
- Kemikaliedepotloven (1983): Forslag til lov om kemikalieaffaldsdepoter (LOV nr 262 af 08/06/1983). Tilgået marts 2020: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=49343>
- Kinnard Farms (2020): 'Sand Recycling'. Website. Tilgået marts 2020: <https://kinnard-farms.com/sand-recycling/>
- Klintholm A/S (2019): Prislister 2019. Website. Tilgået juni 2019: https://klintholm-is.dk/sites/default/files/Prislister2019_3.pdf
- KMC Nordhavn (2019): KMC Nordhavn, Jord og Genanvendelse. Website. Tilgået juni 2019: <https://www.kk.dk/kmc>
- Krook, J., Svensson, N., Eklund, M. (2012): Landfill mining: A critical review of two decades of research. Udgivet i Waste Management 32 (2012) 513-520. Tilgået juni 2019: <http://new-mine.eu/wp-content/uploads/2017/10/Landfill-mining-A-critical-review-of-two-decades-of-research.pdf>
- Krüger A/S (2019): Pilottest af kviksvælfjernelse fra jord på Høfde 42. Website. Tilgået november 2019: <https://www.kruger.dk/projekter/pilottest-af-kviksoelfjernelse-fra-jord-paa-hoefde-42>
- Kurian, J., Esakku, S., Palavivelu K. and Selvam A. (2003): Studies on landfill mining at solid waste dumpsites in India. Proceedings Sardinia 2003, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 6 - 10 October 2003. Publiceret 2003 af CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Italy. Tilgået juni 2019: https://www.researchgate.net/publication/242238271_Studies_on_landfill_mining_at_solid_waste_dumpsites_in_India
- Københavns Kommune (2020): Affald til deponering. Website. Tilgået marts 2020: <https://www.kk.dk/artikel/affald-til-deponering>
- Køge Jorddepot (2019): Klasse 2-3 Jord. Website. Tilgået juni 2019: <https://koegejorddepot.dk/kunder/klasse-2-3-jord/>
- Landbrugsavisen.dk (2017): Jordprisen i stor stigning – brug det over for banken. Artikel. Udgivet 21. december 2017. Tilgået august 2019: <https://landbrugsavisen.dk/jordprisen-i-stor-stigning-brug-det-over-banken>
- Landfillinfo.ky (2019): International reports: Landfill Mining reports. Website. "George Town Landfill Reports and Information". Tilgået juni 2019: <http://landfillinfo.ky/international-reports/landfill-mining/>

- Landfillmining.dk (2017): Kalkulationsark for landfill mining. En del af Miljøstyrelsens miljøprojekt 1982. Tilgået Juni 2019 her: http://landfillmining.dk/?page_id=188
- Laner, D., Eguerra, J., Krook, J., Horttanainen, M., Kriipsalu, M., Rosendal, R., Stanisavljevic, N. (2019): Systematic assessment of critical factors for the economic performance of landfill mining in Europe: What drives the economy of landfill mining? Udgivet i Waste management 2019. Tilgået januar 2020: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.007>
- Lindum (2019): Tilgået juli 2019: <https://lindum.no/>
- Marius Pedersen (2018): Priser 2018. Prisliste. Tilgået januar 2020: <https://www.mariuspedersen.dk/-/media/mp/menu-billeder/prislister/prisliste-marius-pedersenrhus1-januar-20181.pdf?la=da>
- Miljøbeskyttelsesloven (2019): Bekendtgørelse af lov om miljøbeskyttelse (LBK nr 1218 af 25/11/2019). Tilgået december 2019: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=210726>
- Miljøkontrollen Københavns Kommune (1996): Lossepladser og opfyldning i København – Historisk redegørelse for Københavns opfyldninger og lossepladser fra omkring århundredeskiftet til 1995. ISBN 87-88920-71-1. Del 1 tilgået marts 2019: https://kk.sites.itera.dk/apps/kk_pub2/pdf/797_owE9JqxtJs.pdf Del 2 tilgået marts 2019: https://kk.sites.itera.dk/apps/kk_pub2/pdf/797_owE9JqxtJs.pdf
- Miljøstyrelsen (1974): Vejledning for kontrollerede lossepladser. No. 1. Tilgået marts 2019: <https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2002/jul/vejledning-for-kontrollerede-lossepladser/>
- Miljøstyrelsen (1982): Vejledning i affaldsdeponering, nr. 4. Tilgået marts 2020: <https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/1982/jan/vejledning-i-affaldsdeponering/>
- Miljøstyrelsen (1991): ISAG – Informationssystem for Affald og Genanvendelse. No. 2. Tilgået marts 2020: <https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/1991/sep/isag-informationssystem-for-affald-og-genanvendelse/>
- Miljøstyrelsen (1995): Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen. Kildestyrkevurdering af gamle lossepladser. Nr. 16 1995. Tilgået februar 2020: <https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/1995/nov/kildestyrkevurdering-af-gamle-lossepladser/>
- Miljøstyrelsen (1997): Affaldsdeponering. No. 9. Tilgået marts 2020: <https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/1997/dec/affaldsdeponering/>
- Miljøstyrelsen (2000a): Omkostninger og økonomisk sikkerhedsstillelse ved deponering af affald. Arbejdsrapport nr. 20. Tilgået februar 2020: <https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2000/dec/omkostninger-og-oekonomisk-sikkerhedsstillelse-ved-deponering-af-affald/>
- Miljøstyrelsen (2000b): Kortlægning af forurenede arealer. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 8. Tilgået maj 2020: <https://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2000/87-7944-331-1/pdf/87-7944-331-1.pdf>
- Miljøstyrelsen (2002a): ISAG-Informationssystem for Affald og Genanvendelse. No. 12. Tilgået marts 2020: <https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2002/dec/isag-informationssystem-for-affald-og-genanvendelse/>
- Miljøstyrelsen (2002b): Vejledning om overgangsplaner – Udarbejdelse af overgangsplaner for bestående deponeringsanlæg. Nr. 5. Tilgået februar 2020: <https://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2002/87-7972-231-8/pdf/87-7972-231-8.pdf>

- Miljøstyrelsen (2008): Asbestfibre i jordmiljøet; vurdering af skæbne og sundhedsmæssig risiko. Miljøprojekt nr. 1221 udgivet 2008. Tilgået juni 2019: www.miljoeogressourcer.dk/filer/lix/2949/978-87-7052-696-8_Milj%C3%B8projekt_nr._1221_2008.pdf
- Miljøstyrelsen (2010): Metoder til opgørelse af emissioner fra danske deponeringsanlæg til brug for PRTR-indrapportering. Hovedrapport. Miljøprojekt nr. xxx udgivet 2010. Tilgået april 2020: <https://docplayer.dk/6812499-Metoder-til-opgoerelse-af-emissioner-fra-danske-deponeringsanlaeg-til-brug-for-prtr-indrapportering-hovedrapport.html>
- Miljøstyrelsen (2012a): Lavteknologisk genanvendelse af ressource i deponeret shredder-affald via. størrelsesfraktionering. Miljøprojekt nr. 1440, 2012. ISBN 978-87-92903-44-0. Tilgået juni 2019: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2012/09/978-87-92903-44-0.pdf>
- Miljøstyrelsen (2012b): Litteraturgennemgang af strategier til dokumentation af nedbrydning af oliestoffer i den umættede zone. Miljøprojekt nr. 1413 udgivet 2012. Tilgået juni 2019: www.miljoeogressourcer.dk/filer/lix/3857/978-87-92779-93-9_Litteraturgennemgang_af_strategier_til_dokumentation_af_nedbrydning_af_oliestoffer_i_den_um_ttede_zone.pdf
- Miljøstyrelsen (2014): Risikovurdering af lossepladsers påvirkning af overfladevand. Miljøprojekt nr. 1604. ISBN 978-87-93283-03-9. Tilgået juni 2019: <https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2014/okt/risikovurdering-af-lossepladsers-paa-virkning-af-overfladevand/>
- Miljøstyrelsen (2015): Håndbog i monitoring af gasemission fra danske affaldsdeponier. Miljøprojekt nr. 1646. Tilgået april 2020: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2015/01/978-87-93283-69-5.pdf>
- Miljøstyrelsen (2016): Notat om samfundsøkonomi for biocover anlæg. NOTAT. J.nr. MST-723-00006. 15. april 2016. Tilgået februar 2020: <https://mst.dk/media/93666/samfundsoekonomisk-analyse-af-biocover-og-gasopsamling-med-energiudnyttelse.pdf>
- Miljøstyrelsen (2018a): Udnyttelse af ressourcer og energi ved Landfill Mining; udvikling og demonstration af koncept. Miljøprojekt nr. 1982. Tilgået juni 2019: <http://landfill-mining.dk/wp-content/uploads/2018/02/Udnyttelse-af-ressourcer-og-energi-ved-Landfill-Mining.pdf>
- Miljøstyrelsen (2018b). Tillæg til Miljøgodkendelse for: I/S Amager Ressourcecenter. Udgivet maj 2018. Tilgået januar 2020: <https://mst.dk/media/148441/20180504-amager-ressourcecenter-tillaegs-godkendelse.pdf>
- Miljøstyrelsen (2018c). Tillæg til Miljøgodkendelse og Tilladelse efter Miljøvurderingsloven (VVM-tilladelse) For I/S Vestforbrænding, Glostrup. Udgivet november 2018. Tilgået januar 2020: <https://mst.dk/service/annoncering/annoncearkiv/2018/nov/20181102-vestforbraending-miljogodkendelse/>
- Miljøstyrelsen (2018d): Udvikling af metodik til risikovurdering ved deponering af affald. Delopgave 1. Kildestyrke – Konceptuelle modeller. Miljøprojekt 2057. Udgivet december 2018. Tilgået februar 2020: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/12/978-87-7038-017-1.pdf>
- Miljøstyrelsen (2019a): Miljødata fra V2-kortlægning af jordforurening. Modtaget fra Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer. Excel-ark. Tilgået 2019.
- Miljøstyrelsen (2019b): Udsættelse af 2020-reglen for deponeringsanlæg. Nyhed. Webisode. Tilgået januar 2020: <https://mst.dk/service/nyheder/nyhedsarkiv/2019/jan/udsættelse-af-2020-reglen-for-deponeringsanlaeg/>

- Miljøstyrelsen (2019c): Pilot-test af kviksløvfjernelse fra jord på Høfde 42. Kviksløv og pesticider fjernet ved konduktiv opvarmning. Miljøprojekt nr. 2013. September 2019. Tilgået juni 2020: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2019/09/978-87-7038-110-9.pdf>
- Miljøstyrelsen (2020a): Vejledninger mv. Webside. Tilgået marts 2020: <https://mst.dk/affald-jord/affald/affaldsdatasystemet/vejledninger-mv/>
- Miljøstyrelsen (2020b): Hvorfor Biocover. Webside. Tilgået august 2019: <https://mst.dk/affald-jord/affald/deponering/biocover-tilskudsordning/bag-om-ordningen/hvorfor-biocover/>
- Miljøstyrelsen (2020c): Tilskudsordning for Biocover. Webside. Tilgået august 2019: <https://mst.dk/affald-jord/affald/deponering/biocover-tilskudsordning/>
- MiMa (2018): Urban-X-projektet: Karakterisering af slagge og flyveaske fra affaldsforbrændingsanlægget Amager Bakke – Overvejelser om råstofpotentialet, 2. udgave. MiMa rapport 2019/1. ISBN 987-87-7871-521-0. Tilgået august 2019: <http://mima.geus.dk/wp-content/uploads/Karakterisering-af-slagge-og-flyveaske-fra-Amager-Bakke-Overvejelser-om-r%C3%A5stofpotentialet-2.-Udgave-Clausen-et-al-2019.pdf>
- NORRECCO (2019): Jord til rensning. Webside. Tilgået juni 2019: <https://norrecco.dk/jord/dokumenteret-ren-jord-indhold-brokker/>
- REFA (2019): Priser 2019. Webside. Tilgået juni 2019: <https://www.refa.dk/REFA/Virksomhed/Priser/Priser-Milj%C3%B8center-2019.aspx>
- RGS Nordic (2019): Termisk behandling af bygningsaffald med PCB og jord med høj forurening. Webpage. Tilgået juni 2019: <http://www.rgsnordic.com/jord-vand-og-affalds-haandtering/forurenet-jord-og-byggeaffald/>
- RenoSam (2009): Landfill Mining – Process, Feasibility, Economy, Benefits and Limitations. Udgivet af Reno Sam. Tilgået juni 2019: https://www.researchgate.net/publication/287210621_Landfill_Mining_-_Process_Feasibility_Economy_Benefits_and_Limitations
- RenoSam (2010): BEATE – Benchmarking af affaldssektoren 2010. Forbrænding. Tilgået januar 2020. <https://www.ft.dk/samling/20101/almdelepu/bilag/286/1012587.pdf>
- RenoSam (2011): Deponeringskapaciteten i Danmark 2011-31. Tilgået marts 2020: https://danskaffaldsforening.dk/sites/danskaffaldsforening.dk/files/media/document/2011_deponering_kapacitet.pdf
- RenoSam (2012): Evaluering af Projekt Affaldsminimering Gerringe Miljøcenter, Fase 1. Udarbejdet af René Møller Rosendal, RenoSam på vegne af REFA. Tilgået juni 2019: <https://danskaffaldsforening.dk/udgivelser/evaluering-projekt-affaldsminimering-gerringe-miljoecenter-fase-1>
- Royal School of Arts (2008): Proceedings volume: Global Landfill Mining Conference 2008. Udgivet af Royal School of Arts, London, 9. oktober 2008. Tilgået juni 2019: <http://www.propubs.com/images/stories/documents/glm/LandfillMiningConference-Proceedings2008.pdf>
- Savage M.G, Gouleke C.G & Stein E.L (1993). Landfill mining – past and present, Biocycle, May 1993.
- SKAT (2017): Modregning og godtgørelse ved fraførsel af affald. Bindende svar fra Skatterådet. SKM2017.421.SR. Udgivet 27. juni 2017. Tilgået januar 2020: <https://skat.dk/skat.aspx?oid=2249169>

- SKAT (2020a): E.A.7.3.3 Affald omfattet af reglerne. Webside. Tilgået marts 2020: <https://skat.dk/skat.aspx?oid=1921380>
- SKAT (2020b): E.A.7.3.1.4 Historik. Webside. Tilgået marts 2020: <https://skat.dk/skat.aspx?oid=1921378&chk=216701>
- SKAT (2020c): Affaldsafgiftsloven ændres den 1. april 2019. Webside. Tilgået februar 2020: <https://skat.dk/skat.aspx?oid=2286232>
- Shual and Hillel (1958). Composting municipal garbage in Israel. Tavruau, July – December.
- US Environmental Protection Agency (1997: Landfill Reclamation. Udgivet af United States Environmental Protection Agency, Solid Waste and Emergency Response (5306W) juli 1997. EPA530-F-97-001. Tilgået juni 2019: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/land-rcl.pdf>
- USGS (2019): McKelvey Diagram. Webside. Tilgået februar 2020: <https://www.usgs.gov/media/images/mckelvey-diagram>
- Vance, K. (2014): An Overview of Landfill Mining as a Resource Recovery Option for the Future. PowerPoint presentation af Vance Kemler, General manager hos Solid Waste & Recycling Services. Tilgået juni 2019: https://www.recyclingstar.org/wp-content/uploads/2014/10/2_Kemler_Mining_PDF.pdf
- ZeroWasteScotland (2013): Feasibility and Viability of Landfill Mining and Reclamation in Scotland; Scoping Stud. Udarbejdet af Simon Ford, Kathryn Warren, Carrie Lorton, Richard Smithers, Adam Read and Mark Hudgins. Tilgået juni 2019: http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Feasability%20and%20Viability%20of%20LFMR%20Scotland%20190413_0.pdf
- Ørsted (2020): EUA-lukkepriserne for CO₂. Webside. Tilgået februar 2020: <https://orsted.dk/Erhverv/Mit-Oersted/Energimarked/CO2-priser>



Geocenter Danmark er et formaliseret samarbejde mellem de fire selvstændige institutioner De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet samt Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (IGN) ved Københavns Universitet og Geologisk Museum under Statens Naturhistoriske Museum.

MiMa rapport 2020/1

Muligheder og udfordringer for landfill mining i Danmark

I Danmark er der ca. 4.000 affaldsdeponier med et samlet areal på omkring 143 km² med ukendt ressourcemængde og sammensætning. Disse sekundære ressourcer udnyttes ikke, men set i lyset af det voksende behov for cirkulære økonomiske løsninger, og implementering af tiltag der fremmer FN's verdensmål om beskyttelse af drikkevandsressourcer og ansvarligt forbrug af råstoffer, er der brug for mere viden om hvordan, og i hvilket omfang, der kan ske en øget udnyttelse af disse ressourcer. Dette kan samtidig stedvis føre til mere hensigtsmæssig arealudnyttelse og bedre miljø- og grundvandsbeskyttelse.

På denne baggrund har Videncenter for Mineralske Råstoffer og Materialer (MiMa) undersøgt gældende rammebetingelser for landfill mining' (LFM) i Danmark. Undersøgelsen er baseret på litteraturstudier, interviews med fag- og myndighedspersoner, samt erfaringer fra danske og udenlandske LFM-test-projekter.

Rapporten fokuserer på gamle lossepladser (kontrollerede som ukontrollerede) og deponeringsanlæg (aktive som lukkede) med affaldstypen 'blandet affald' og beskriver, bl.a. ved brug af scenarieberegninger for LFM-aktiviteter, nogle af de vigtigste økonomiske, lovgivnings-, myndigheds- og miljømæssige udfordringer der eksisterer, for at der kan udvikles et kommercielt LFM-erhverv i Danmark. Resultatet af scenarieberegningerne viser, at det med de gældende administrative rammer ikke er muligt at udnytte lossepladsernes ressourcer kommercielt. Dette gælder også selvom et økonomisk bidrag fra salg af frigjort areal og sparede miljøomkostninger indregnes. Sidst i rapporten foreslås en række tiltag, som kan bidrage til at øge den kommercielle interesse for LFM-aktiviteter i Danmark, og som dermed vil kunne bidrage til at reducere lækager i den cirkulære økonomi.

Undersøgelsen er finansieret af MiMa, Dansk Affaldsforening (DAF) og Regionernes Videncenter for Miljø og Råstoffer (VMR); DAF og VMR har desuden bidraget med ekspertiser via projektstyrgruppe. Rapportens konklusioner og anbefalinger dækker ikke nødvendigvis VMR's og DAF's synspunkter.

Videncenter for Mineralske Råstoffer og Materialer (MiMa) er et rådgivende center under De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS). MiMa formidler viden om mineralske ressourcers værdikæde fra efterforskning og udvinding til forbrug, genanvendelse og udviklingen af nye teknologier.