



ERFARINGER MED JORDVASK AF OVERSKUDSJORD – PRODUKTION AF RÅSTOFFER

NATUR & MILJØ 2025 – SPOR C

Julie Katrine Jensen | maj 2025



Program

- ❖ Baggrund for projektet og formål med projektet
- ❖ Hvad er jordvask
- ❖ Præsentation af anlægget
- ❖ Udførte forsøg
- ❖ Resultater af forsøg
- ❖ Dokumentation og drift



Formålet med jordvask – og med vores forsøg

Formålet med jordvask er at få udvundet råstoffer fra overskudsjord og dermed bidrage til at afhjælpe problemet med:

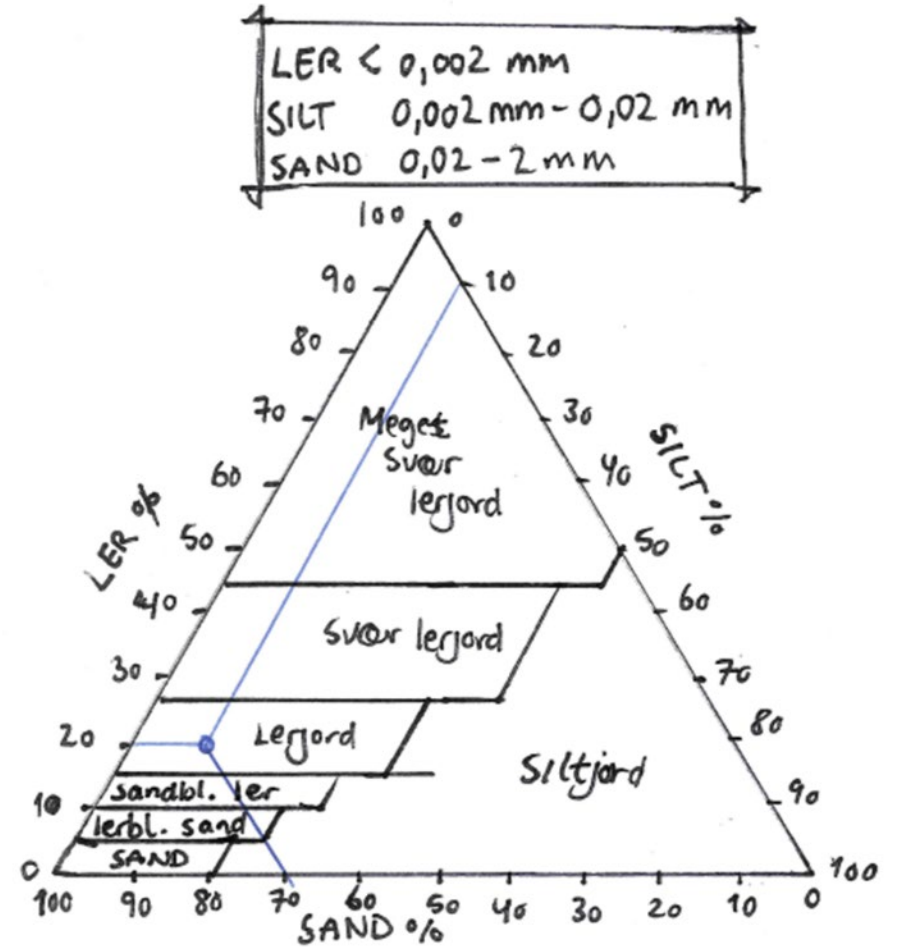
- Råstofmangel
- Store mængder overskudsjord der skal bortskaffes

For at vurdere jordvasks potentiale i forhold til formålet er der udført forsøg, for at få mere viden om:

- Kan jordvask bruges på "Københavnerjorde", dvs. jorde der kan være ret lerede, ofte forurenede og med indslag af byggeaffald.
- Hvordan optimerer vi driften af anlægget (fx hvor meget vand, hastigheder, centrifugering, flokkuleringsmidler mm)
- Hvilken forureningsgrad har de materialer, der produceres og kan det afsættes
- Krav til dokumentation og etablering af drift.



Teorien bag jordvask



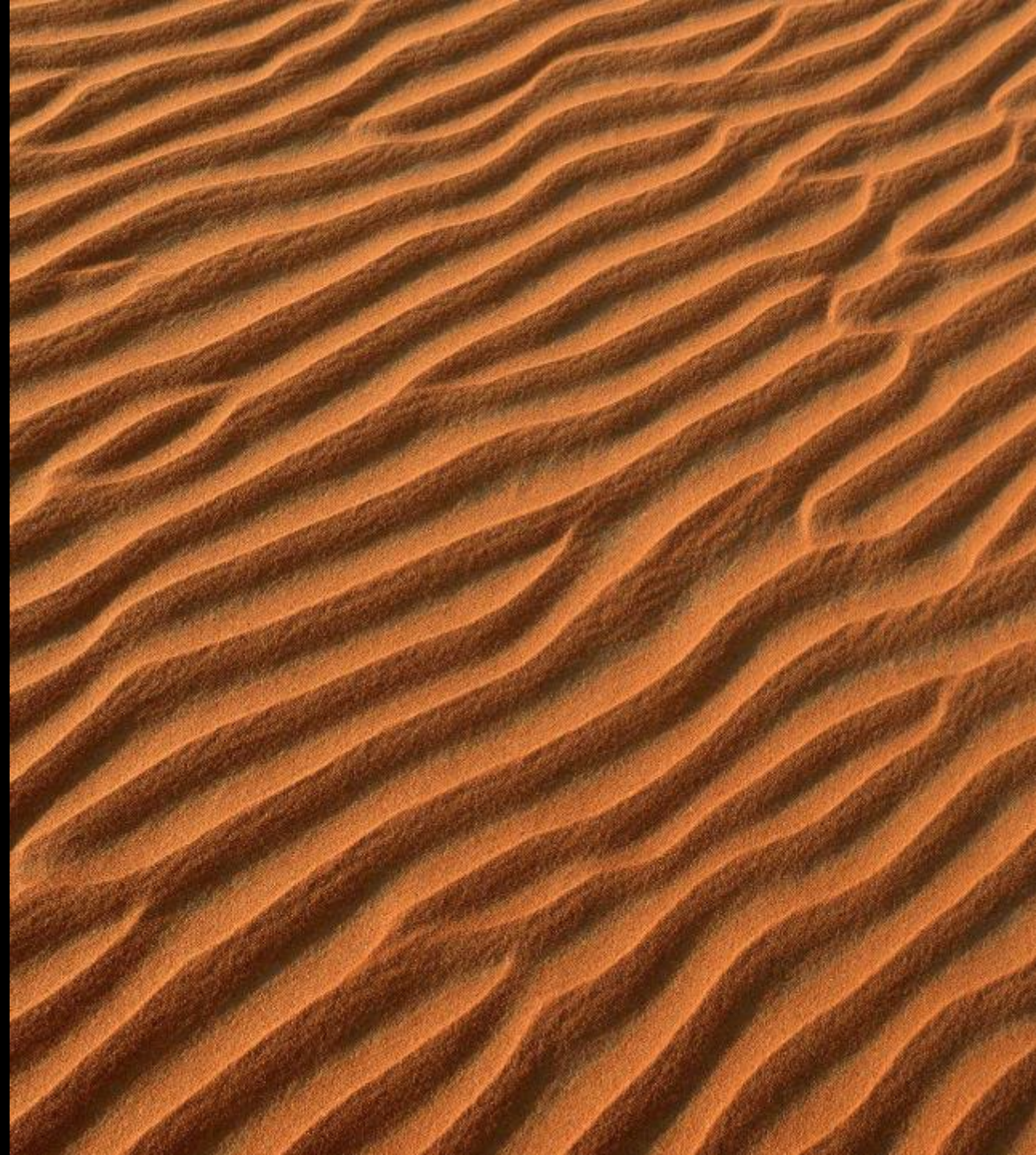


Teorien bag jordvask

Der er altså sand-, silt- og lerpartikler i alle jorde, men i varierende mængder

De fine partikler har relativt større overflade, og er typisk mere reaktive. Derfor bindes det meste af forureningen til de fine partikler i jorden.

Med jordvask ønsker vi at adskille de forskellige partikelstørrelser – og forhåbentlig få en forurenset finfraktion og nogle uforurenede grovere fraktioner







Overblik over hvilke batch vi har kørt i forsøgene

Batch nr	Type	mængde (t)
1	Ler, klasse 4	2400
2	Ler, klasse 2/3	200
3	Sand, klasse 4	1012
4	Sand, klasse 4	1998
5	Ler, klasse 2/3	214
6	Ler, klasse 0/1	232
7	Ler, klasse 2/3	258
8	Ler, klasse 2/3	198
9	Sand, klasse 4	199
10	Sand, klasse 4	199
11	Gruset, klasse 2/3	217
12	Sandet, klasse 0/1	450

WSP Vi holder styr på, hvilken jord der fyldes
på anlægget..



WSP Og vi holder styr på, hvad der kommer ud af anlægget..



Filterfraktion ($<63 \mu\text{m}$)

Sand ($63 \mu\text{m} - 2 \text{ mm}$)

Grus ($2 \text{ mm} - 4 \text{ mm}$)

Stenfraktion ($>4 \text{ mm}$).



Test af materialer i forsøgene

For hver batch:

De 4 fraktioner vejes og lægges i særskilte bunker og miler, som markeres med skilte

Der tages prøver 1/30 tons for indhold af forurening (jordpakken)

For udvalgte batch/fraktioner:

Kornkurver af sandfraktion, grusfraktion, samt nedknust stenfraktion

Udvaskningstests af sand, grus og nedknust stenfraktion

kalkstabilisering af filterkage, med test af udvikling i forurening over tid

Eksempel på batch (batch 3)

Sandet klasse 4 jord

- Består af jord, vi har fået ind i nogle forskellige partier.
- Modtaget som klasse 4 jord.
- Identificeret som relativt sandet ved visuel vurdering
- Harpet over en 70 mm sold og lagt i en mile.
- Prøver udtaget per 30 tons til analyse for jordpakken
- Prøver udtaget per 100 tons til rystetest (tekstur).



Karakterisering af batch 3 før vask

- 1012 tons jord
- 33 prøver viser: Klasse 4 for kulbrinter.
- Total-kulbrinter = 400-2000 mg/kg TS
- Ingen flygtige kulbrinter. Nogenlunde jævn fordeling af forurening til resten af kulbrintefraktionerne
- Meget lille andel af fine partikler i rystetest = sandet jord.

Udtaget fra dato:		17-8-2023	17-8-2023	17-8-2023	17-8-2023	17-8-2023	17-8-2023	17-8-2023	17-8-2023	17-8-2023	17-8-2023	17-8-2023	17-8-2023	17-8-2023	17-8-2023	17-8-2023
Bly (Pb)	mg/kg TS	17	8,8	6,5	5,1	6,6	6,9	8,3	14	12	25	16	21	19	24	32
Cadmium(Cd)	mg/kg TS	0,32	0,17	0,087	0,063	0,085	0,12	0,10	0,52	0,27	0,48	0,38	0,29	0,26	0,54	0,35
Chrom Total (Cr total)	mg/kg TS	28	14	6,3	4,0	5,6	4,1	9,2	30	13	26	24	20	14	28	18
Kobber (Cu)	mg/kg TS	20	6,9	5,2	3,1	4,9	6,0	3,9	13	9,6	12	13	15	12	17	30
Nikkel (Ni)	mg/kg TS	5,5	3,0	2,4	1,6	1,8	1,7	2,2	4,1	3,3	3,2	3,6	6,0	3,8	5,1	5,0
Zink (Zn)	mg/kg TS	71	32	25	15	21	30	21	72	43	62	63	62	53	71	81
Benz(a)pyren	mg/kg TS	0,19	0,13	0,060	0,047	0,11	0,062	0,078	0,076	0,098	0,16	0,11	0,14	0,13	0,16	0,10
Dibenz(a,h)antracen	mg/kg TS	0,050	0,039	0,022	0,013	0,030	0,016	0,024	0,027	0,027	0,048	0,030	0,043	0,039	0,048	0,033
PAHtotal	mg/kg TS	0,89	0,66	0,32	0,26	0,58	0,33	0,40	0,40	0,52	0,78	0,55	0,84	0,71	0,88	0,60
Flygtige (Benzin) (C6-C10)	mg/kg TS	<2,0	4,7	2,1	2,7	2,9	2,9	3,4	2,8	2,0	<2,0	2,3	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Let olie (C10-C15)	mg/kg TS	200	640	360	390	510	510	650	400	320	120	200	160	150	110	130
Let olie (C15-C20)	mg/kg TS	260	870	440	520	730	580	730	700	480	160	330	240	200	180	200
Tung olie (C20-C35)	mg/kg TS	170	470	230	290	450	320	400	440	300	110	240	160	140	120	140
Olie Total (C6-C35)	mg/kg TS	630	2000	1000	1200	1700	1400	1800	1500	1100	390	770	560	490	410	470
Forureningsklasse		K4	K4	K4	K4	K4	K4	K4	K4	K4	K4	K4	K4	K4	K4	K4

Batch 3 efter vask

Efter vask er fraktionerne vejet og
fordeling til fraktioner er som følger:

Filterkage	10 %
0-2 mm sand	74 %
2-4 mm	2 %
>4 mm	14%





Batch 3: Analyseresultater - vasket sand

SAND		199103/2023	199104/2023	PH-B3-S1 -	PH-B3-S2 -	PH-B3-S3 -	PH-B3-S4 -	PH-B3-S5 -	PH-B3-S6 -	PH-B3-S7 -	PH-B3-S8 -	PH-B3-S9 -	PH-B3-S10 -	PH-B3-S11 -
		Sand 7 ---	Sand 8 ---											
Bly (Pb)	mg/kg TS	4,9	7,8	7,0	7,8	5,7	7,7	8,2	18	68	6,9	5,0	6,0	6,8
Cadmium (Cd)	mg/kg TS	0,19	0,12	0,081	0,14	0,069	0,17	0,099	0,15	0,10	0,074	0,037	0,14	0,078
Krom total (Cr, total)	mg/kg TS	3,0	9,4	3,8	5,0	3,2	7,1	4,0	4,6	3,9	3,6	2,5	4,3	3,6
Kobber (Cu)	mg/kg TS	2,9	7,0	4,1	5,5	5,2	8,9	7,7	4,8	5,9	5,0	28	6,1	4,0
Nikkel(Ni)	mg/kg TS	1,4	1,5	1,5	1,9	1,6	2,7	1,8	2,9	1,9	1,5	1,2	1,6	1,5
Zink (Zn)	mg/kg TS	35	24	19	24	18	26	23	25	21	21	14	23	17
Benz(a)pyren	mg/kg TS	0,18	0,017	0,11	0,10	0,059	0,055	0,11	0,072	0,11	0,10	0,078	0,073	0,092
Dibenz(a,h)antracen	mg/kg TS	0,029	<0,010	0,022	0,019	0,010	0,010	0,019	0,022	0,026	0,015	0,019	0,012	0,020
PAH total	mg/kg TS	1,1	0,074	0,58	0,56	0,23	0,26	0,48	0,33	0,51	0,51	0,37	0,32	0,43
Flygtige (Benzin) (C6-C10)	mg/kg TS	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Let olie (C10 – C15)	mg/kg TS	9,9	12	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Let olie (C15 – C20)	mg/kg TS	19	13	8,0	8,7	9,5	8,8	7,5	11	6,5	6,4	7,4	<5,0	7,0
Tung olie (C20 – C35)	mg/kg TS	23	21	8,0	8,7	9,5	8,8	7,5	11	6,5	6,4	7,4	<5,0	7,0
Olie total (C6 – C35), heraf	mg/kg TS	52	46	<20	<20	22	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
				8,0	8,7	32	8,8	7,5	11	6,5	6,4	7,4	i,p,	7,0
Forureningsklasse		1	1	KI 1	KI 0	KI 0	KI 0	KI 1	KI 0	KI 2	KI 0	KI 0	KI 0	KI 0



Batch 3: Analyseresultater - vasket sand (fortsat)

SAND		PH-B3-S12 -	PH-B3-S13 -	PH-B3-S14 -	PH-B3-S15 -	PH-B3-S16 -	PH-B3-S17 -	PH-B3-S18 -	PH-B3-S19 -	PH-B3-S20 -	PH-B3-S21 -	PH-B3-S22 -	PH-B3-S23 -	PH-B3-S24 -
Bly (Pb)	mg/kg TS	7,2	10	5,6	10	2,1	7,3	8,4	8,2	3,6	14	5,4	7,1	7,0
Cadmium (Cd)	mg/kg TS	0,088	0,089	0,092	0,071	0,085	0,12	0,14	0,13	<0,020	0,59	0,092	0,10	0,17
Krom total (Cr, total)	mg/kg TS	3,4	3,9	3,4	3,4	4,9	3,9	3,5	5,5	6,0	9,3	3,7	3,8	12
Kobber (Cu)	mg/kg TS	4,5	5,3	54	4,4	4,4	6,3	6,5	5,8	3,1	13	4,6	4,7	6,1
Nikkel(Ni)	mg/kg TS	1,6	1,9	1,5	1,9	3,9	1,9	1,4	1,8	4,7	7,8	1,5	1,6	1,9
Zink (Zn)	mg/kg TS	17	28	22	21	14	26	24	24	21	58	17	20	24
Benz(a)pyren	mg/kg TS	0,16	0,11	0,040	0,085	0,13	0,12	0,098	0,081	0,096	0,11	0,10	0,10	0,12
Dibenz(a,h)antracen	mg/kg TS	0,025	0,019	<0,010	0,016	0,025	0,021	0,018	0,015	0,017	0,021	0,021	0,018	0,020
PAH total	mg/kg TS	0,71	0,52	0,18	0,41	0,59	0,52	0,47	0,40	0,46	0,62	0,51	0,47	0,57
Flygtige (Benzin) (C6-C10)	mg/kg TS	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Let olie (C10 – C15)	mg/kg TS	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	6,5	<5,0
Let olie (C15 – C20)	mg/kg TS	<5,0	13	<5,0	<5,0	12	10	6,9	13	7,6	12	15	15	<5,0
Tung olie (C20 – C35)	mg/kg TS	<5,0	13	<5,0	<5,0	12	10	6,9	13	7,6	12	15	22	<5,0
Olie total (C6 – C35), heraf	mg/kg TS	<20	<20	<20	<20	<20	21	<20	21	<20	24	38	35	<20
		i,p,	13	i,p,	i,p,	12	31	6,9	34	7,6	36	53	57	i,p,
Forureningsklasse		KI 1	KI 1	KI 1	KI 0	KI 1	KI 1	KI 0	KI 0	KI 0	KI 2	KI 0	KI 0	KI 1



Batch 3: Analyseresultater – grus og filterfraktion

Grus		199105/2023
Bly (Pb)	mg/kg TS	2-4 mm (31 august) ---
Cadmium (Cd)	mg/kg TS	18
Krom total (Cr, total)	mg/kg TS	0,76
Kobber (Cu)	mg/kg TS	13
Nikkel (Ni)	mg/kg TS	52
Zink (Zn)	mg/kg TS	9,5
Benz(a)pyren	mg/kg TS	240
Dibenz(a,h)antracen	mg/kg TS	0,14
PAH total	mg/kg TS	0,048
Flygtige (Benzin) (C6-C10)	mg/kg TS	0,79
Let olie (C10 – C15)	mg/kg TS	<2,0
Let olie (C15 – C20)	mg/kg TS	<5,0
Tung olie (C20 – C35)	mg/kg TS	<5,0
Olie total (C6 – C35), heraf	mg/kg TS	38
		38
Forureningsklasse		
		2

		Batch 3 - filter 1 -	Batch 3 - filter 2 -	Btch 3 - filter 3 -
Bly (Pb)	mg/kg TS	170	200	170
Cadmium (Cd)	mg/kg TS	1.6	1.7	1.5
Chrom Total (Cr total)	mg/kg TS	66	77	85
Kobber (Cu)	mg/kg TS	150	150	140
Nikkel (Ni)	mg/kg TS	24	27	27
Zink (Zn)	mg/kg TS	460	500	450
Benz(a)pyren	mg/kg TS	0.94	0.60	0.99
Dibenz(a,h)antracen	mg/kg TS	0.21	0.16	0.21
PAH total	mg/kg TS	4.9	3.5	5.1
Flygtige (Benzin) (C6-	mg/kg TS	<2.0	<2.0	<2.0
Let olie (C10-C15)	mg/kg TS	2000	3200	4100
Let olie (C15-C20)	mg/kg TS	2500	3900	4900
Tung olie (C20-C35)	mg/kg TS	1800	2800	3200
Olie Total (C6-C35)	mg/kg TS	6300	9900	12000
Forureningsklasse		4	4	4

Eksempel Batch 8: Leret klasse 2/3 jord

Prøvemrk.	PB-FM1-12	PB-FM1-13	PB-FM1-14	PB-FM1-15	PB-FM1-16	PB-FM1-17
Modtaget	26-09-2023	26-09-2023	26-09-2023	26-09-2023	26-09-2023	26-09-2023
Tørstofindhold	79.8	82.4	86.2	86.0	86.4	87.8
Bly, Pb	180	120	90	240	190	160
Cadmium, Cd	2,2	0,9	0,66	0,65	0,61	0,85
Chrom (total), Cr	29	18	13	15	18	16
Kobber, Cu	99	100	180	150	120	140
Nikkel, Ni	17	13	15	13	19	32
Zink, Zn	950	480	350	340	270	330
Benz(a)pyren	0,63	0,77	0,36	0,39	0,27	0,38
Dibenzo(a,h)anthracen	0,15	0,19	0,1	0,088	0,076	0,076
PAH, sum af 7 stoffer	3,7	4,1	1,9	1,9	1,5	2,1
Kulbrinter n-C6 - n-C10	<2,0	<2,0	3,6	2,2	2,4	<2,0
Kulbrinter > n-C10 - n-C15	<5,0	16	14	10	8,5	<5,0
Kulbrinter > n-C15 - n-C20	8,5	20	17	22	15	11
Kulbrinter > n-C20 - n-C35	84	200	150	150	100	130
Total kulbrinter 2010	93	240	180	180	130	140
	klasse3	klasse3	klasse2	klasse3	klasse3	klasse3

Batch 8 efter vask

Efter vask er fraktionerne vejet og
fordeling til fraktioner er som følger:

Filterkage	33 %
0-2 mm sand	50 %
2-4 mm	3 %
>4 mm	14%



Batch 8 – Analyseresultater –vasket sand

		17-10-2023	17-10-2023	17-10-2023	17-10-2023
Bly (Pb)	mg/kg TS	30	25	34	37
Cadmium (Cd)	mg/kg TS	0,22	0,18	0,17	0,24
Chrom Total (Cr total)	mg/kg TS	4,3	3,3	3,1	3,0
Kobber (Cu)	mg/kg TS	19	32	20	44
Nikkel (Ni)	mg/kg TS	3,9	4,5	4,4	3,5
Zink (Zn)	mg/kg TS	100	63	77	68
Benz(a)pyren	mg/kg TS	0,18	0,36	0,33	0,25
Dibenz(a,h)antracen	mg/kg TS	0,034	0,065	0,057	0,049
PAH total	mg/kg TS	1,0	2,0	1,8	1,3
Flygtige (Benzin) (C6-C10)	mg/kg TS	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Let olie (C10-C15)	mg/kg TS	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Let olie (C15-C20)	mg/kg TS	<5,0	<5,0	6,0	<5,0
Tung olie (C20-C35)	mg/kg TS	34	38	56	40
Olie Total (C6-C35)	mg/kg TS	34	38	62	40
		KI 1	KI 2	KI 2	KI 1

Batch 8 – Analyseresultater –Grus og filterfraktion

Batch 8 - grus ---		
17-10-2023		
Grus		
Bly (Pb)	mg/kg TS	30
Cadmium (Cd)	mg/kg TS	0,34
Chrom Total (Cr total)	mg/kg TS	4,1
Kobber (Cu)	mg/kg TS	18
Nikkel (Ni)	mg/kg TS	5,6
Zink (Zn)	mg/kg TS	130
Benz(a)pyren	mg/kg TS	0,40
Dibenz(a,h)antracen	mg/kg TS	0,10
PAH total	mg/kg TS	2,3
Flygtige (Benzin) (C6-C10)	mg/kg TS	<2,0
Let olie (C10-C15)	mg/kg TS	<5,0
Let olie (C15-C20)	mg/kg TS	8,4
Tung olie (C20-C35)	mg/kg TS	210
Olie Total (C6-C35)	mg/kg TS	220

Stof	Resultat	17-10-2023	17-10-2023	17-10-2023
Bly (Pb)	mg/kg TS	190	170	180
Cadmium (Cd)	mg/kg TS	1,0	0,90	0,94
Chrom Total (Cr total)	mg/kg TS	31	29	29
Kobber (Cu)	mg/kg TS	140	130	120
Nikkel (Ni)	mg/kg TS	29	27	28
Zink (Zn)	mg/kg TS	450	400	400
Benz(a)pyren	mg/kg TS	0,65	1,0	1,1
Dibenz(a,h)antracen	mg/kg TS	0,15	0,19	0,19
PAH total	mg/kg TS	3,6	5,6	5,9
Flygtige (Benzin) (C6-C10)	mg/kg TS	<2,0	<2,0	<2,0
Let olie (C10-C15)	mg/kg TS	290	330	340
Let olie (C15-C20)	mg/kg TS	49	56	64
Tung olie (C20-C35)	mg/kg TS	180	210	210
Olie Total (C6-C35)	mg/kg TS	520	600	610
		KI 4	KI 4	KI 4

wsp Fordeling til fraktioner efter vask...



Filterfraktion ($<63 \mu\text{m}$)

10-40 %

Sand ($63 \mu\text{m} - 2 \text{ mm}$)

Grus ($2 \text{ mm} - 4 \text{ mm}$)

Stenfraktion ($>4 \text{ mm}$)

60-90 %



WSP Stenfraktionen (>4 mm)



Batch 9



Batch 3

- Fraktionen udgør typisk 10-15 %
- Affald i input = affald i output.
- Ikke forureningsanalyser.
- Kan knuses ned til 0-32 mm (hvis det ønskes)

wsj Grusfraktionen (2-4 mm)



- Fraktion udgør typisk under 5 %
- Fraktionen indeholder en del asfalt, hvis der har været asfalt i input-jorden (så små stykker, at vi ikke ser dem inden vask)

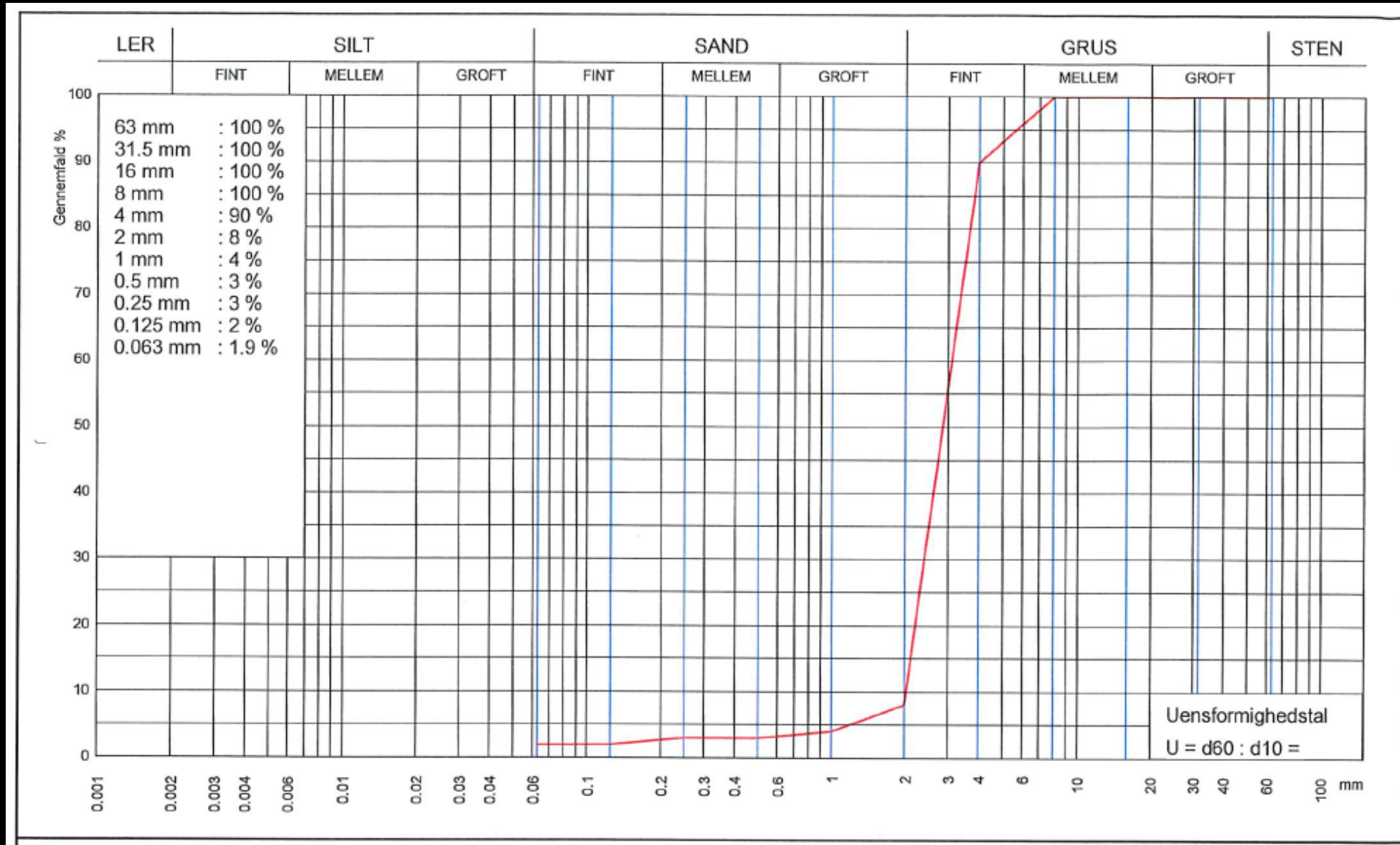
Grusfraktionen (2-4 mm)

- Der er lavet analyser (faststof) for jordpakken for hvert parti:
 - 10 partier er klasse 2-3.
 - 1 parti er klasse 0/1.
 - 1 parti er klasse 4 (batch 5).

- Der er lavet udvaskningstest på batch 4 (sandet klasse 4 jord) og batch 5 (Leret klasse 2/3):
 - Batch 4 er kategori 2 (sulfat og kviksølv).
 - Batch 5 er kategori 1 for alle parametre.

- Der er lavet sigteanalyser på batch 4 og batch 5....

Grusfraktioner (2-4 mm)



Sandfraktionen (0,63 µm – 2 mm)

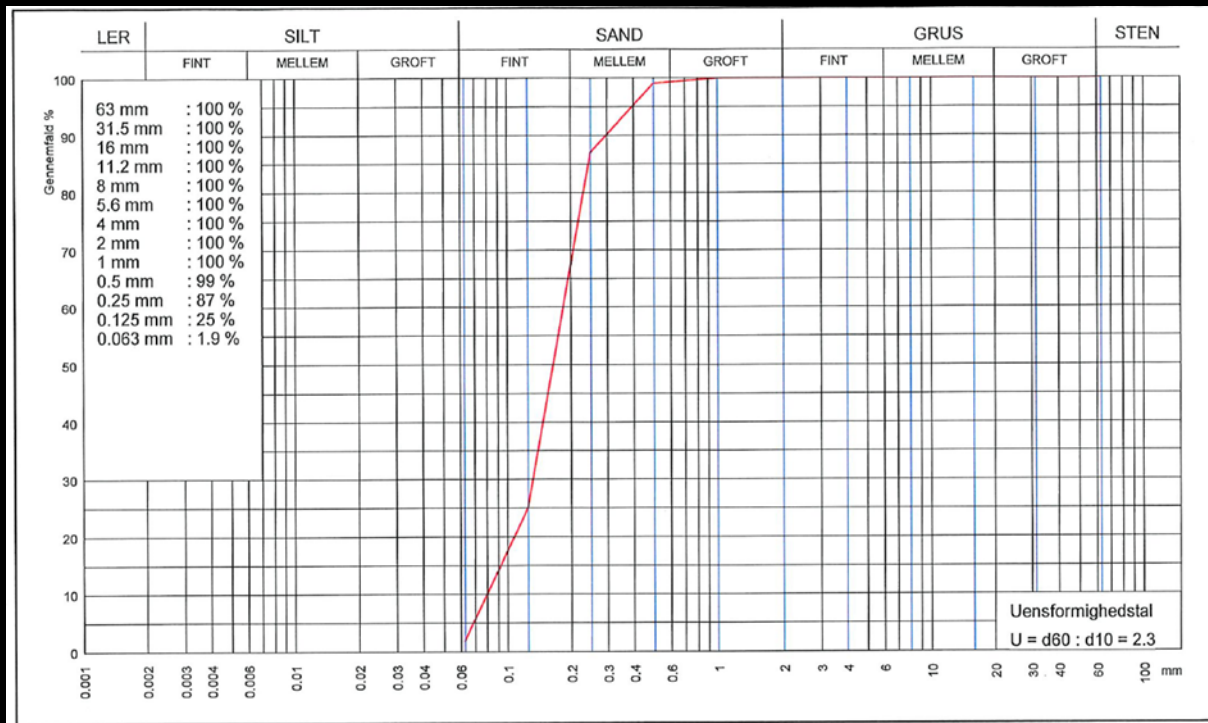
Udgør typisk 50-80 %

Der er udtaget analyser (faststof) for jordpakken 1/30 tons (af miler). Ca. 80 % af prøverne på tværs af de 12 batch er rene. De resterende er klasse 2/3.

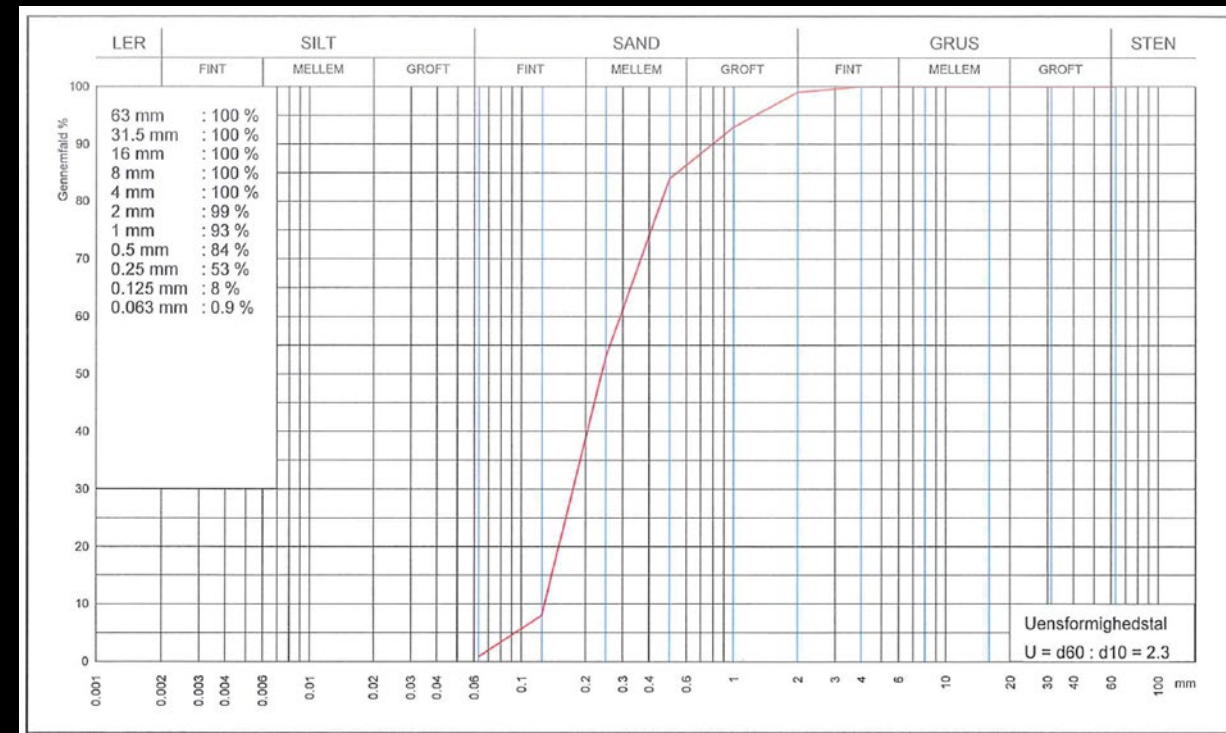
Der er lavet udvaskningstest på batch 4 (sandet klasse 4 jord) og batch 5 (Leret klasse 2/3). De klassificerer prøverne i kategori 1 i henhold til restproduktbekendtgørelsen.

Der er lavet sigteanalyser af sand batch 1, batch 4 og batch 5.

WSP Sandfraktioner (0,63 µm – 2 mm)



Rørgrus



Batch 1

WSP Filterfraktionen (<0,63 µm)

- Udgør 10-40 % - alt efter indhold af ler og organisk stof i inputjorden
- Kan ikke stakkes = er ikke indbygningsegnet.
- Når der kigges på analyseparametrene i "Jordpakken", så ses der tydelig opkoncentrering af disse i filterfraktionen.

- Vi har lavet forsøg med kalkstabilisering fordi det både ville gøre det indbygningsegnet og måske kunne mindske koncentrationen af kulbrinter.
- Vi har været i dialog med brancher der bruger ler, det kunne være cementindustrien og murstenproducenter, fordi man også her har den fordel at man kan varme materialet op og dermed blive (en del af) den organiske forurening kvit.
- "Lige for løsningen" er at sørge for, at man ikke får for høje koncentrationer i filterfraktionen (ikke over klasse 3), hvorefter det kan blandes med jord af samme kategori forud for slutdisponering.
- I visse lande mod syd kan man deponere den til en billigere pris, da man antager det er en vigtig del af løsningen på råstofproblematik at lave jordvask. Et eksempel til efterfølgelse?



Jordvask i drift (ca. 1 års erfaring)

Producerer Sand (0,63 μ m-2 mm) som hyldevare:

- Vasker klasse 0/1 jord samt klasse 2/(3) jord. Ikke jord fra ejendomme med mistanke om andre forureningsparametre end "jordpakken".
- Jorden dokumenteres med en prøve per 30 tons forud for vask.
- Efter vask lægges sand i miler og prøvetages 1/30 tons. Kun partier der er klasse 0/1 kan indgå i sandfraktionen.
- Dokumenteres desuden med udvaskningstests i henhold til restproduktbekendtgørelsen med jævne, faste mellemrum
- Samt udførsel af sigtekurver med jævne, faste mellemrum

Procedure for dokumentation er blevet til i dialog med myndigheder og enkelte større kunder.

Udarbejdet en driftsinstruks, der beskriver håndtering og prøvetagning for at sikre kvaliteten.

Sten og grus bruges desværre i dag oftest i asfalt/beton (pga. indslag af fx asfalt). —→ Ville dog være fedt med en bedre løsning (fx revideret restproduktbekendtgørelse)

Filterfraktion blandes med jord af samme forureningsklasse. —→ Ville dog være fedt med en bedre løsning



TAK FOR OPMÆRKSOMHEDEN

wsp.com

