



NORRECCO
GØR EN FORSKEL

Praktiske erfaringer med jordvask af forurennet jord



Hvem er vi?



Julie Katrine Jensen
Ph.D. Miljøkemi
Seniorprojektleder hos Norrecco

Heine Vind
Leder Genjord





Program

-
- Kort baggrund for projektet og formålet med projektet
 - Hvad er jordvask
 - Præsentation af anlægget
 - Udførte undersøgelser
 - Resultater og erfaringer



Projektet

- Samarbejde mellem Genjord og Norrecco.
- Genjord har stillet anlægget op og har driften af anlægget
- Norrecco stiller areal til rådighed, og leverer de jorder, der vaskes på anlægget.
- Anlægget står på Prøvestenen, Amager. Data er indsamlet fra ultimo juni til ultimo oktober





Formålet med Projektet

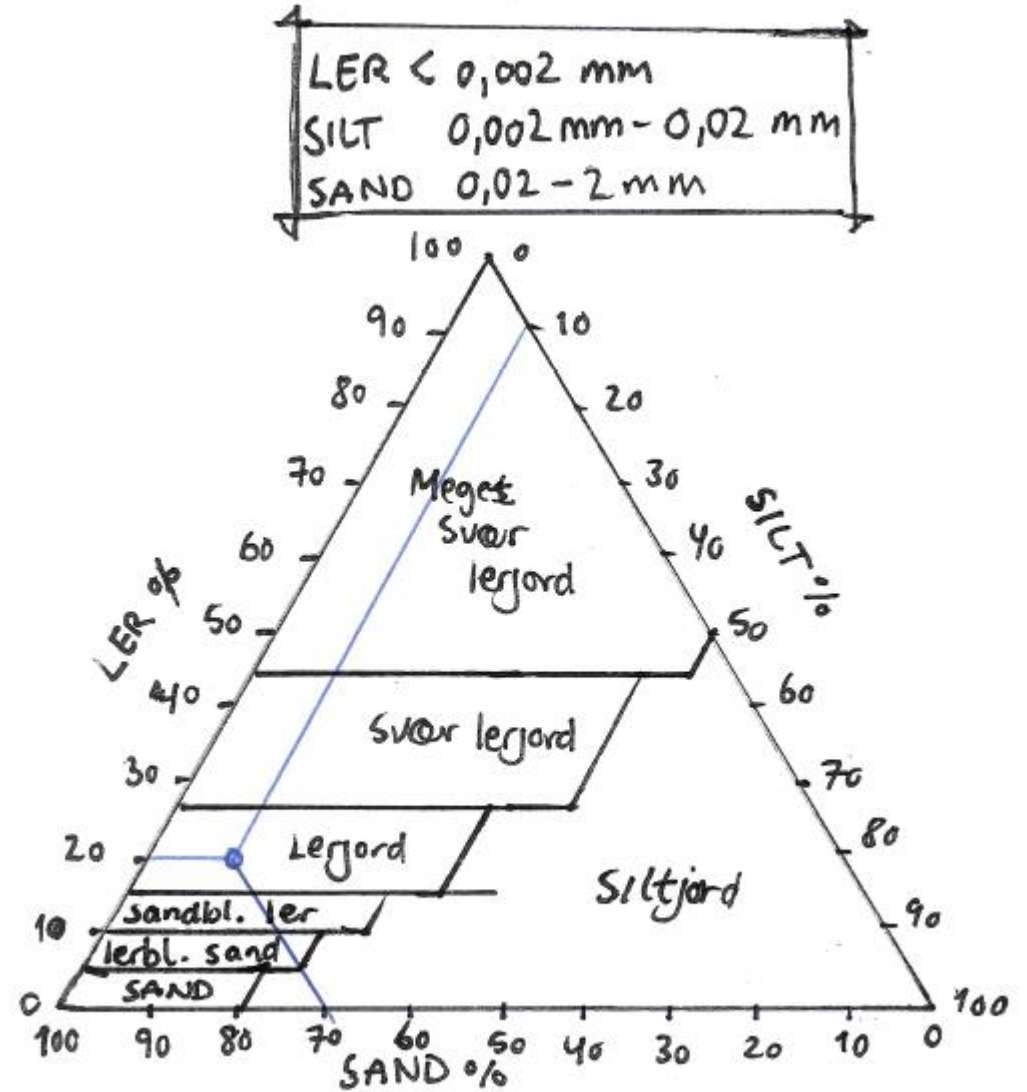
Formålet med jordvask er at få udvundet råstoffer ud af forurenede jord og på den måde både bidrage til at afhjælpe problemet med stigende råstofmangel, samt forsøge at mindske mængden af forurenede jord, der skal deponeres.

For at vurdere om jordvask kan opfylde formålet har udført de her storskalaforsøg. Det har skulle give os mere viden om:

- Virker jordvask på "Københavner-jord" : Dvs. jorde, der kan være ret lerede, forurenede og med indslag af byggeaffald mm.
- Hvilken kvalitet har de materialer/råstoffer vi får ud og hvordan vi kan afsætte af det, der kommer ud af anlægget?
- Hvordan optimerer vi driften af anlægget (fx hvor meget vand, hastigheder, centrifugering, tilsætningsstoffer etc)



Teorien bag jordvask



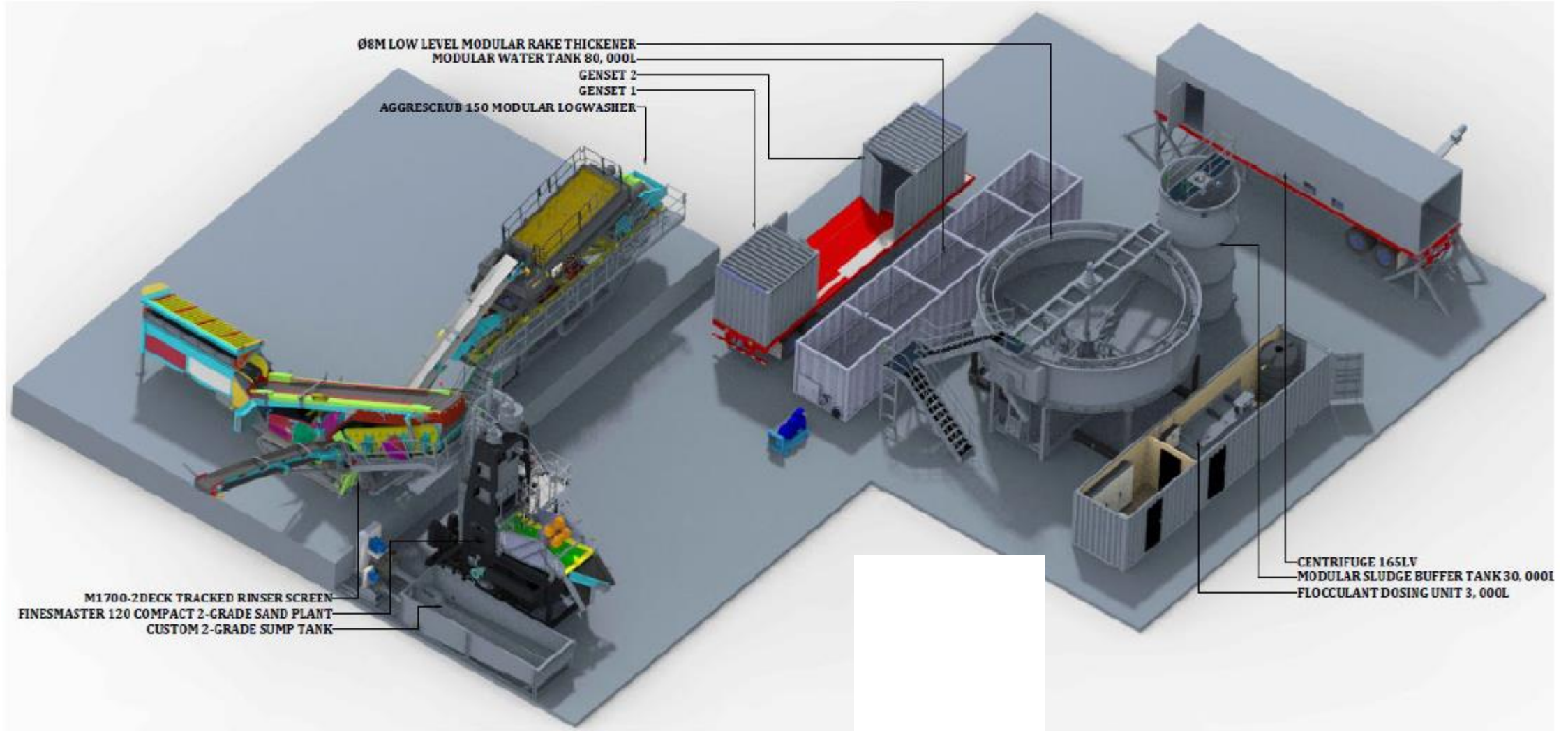


Teorien bag jordvask

- Der er altså sand, silt og ler 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 få en forurenede finfraktion og nogle uforurenede grovere fraktioner.



Sådan virker anlægget



Overblik over hvilke batch vi har kørt



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
SUM		7577

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





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



- Filterkage (<math><63 \mu\text{m}</math>)
- Sand ($63 \mu\text{m} - 2 \text{ mm}$)
- Grus ($2 \text{ mm} - 4 \text{ mm}$)
- Stenfraktion ($>4 \text{ mm}$).



Test af de materialer, der kommer ud af anlægget



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) af sand, grus og filterkage

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
- Klasse 4: Total-kulbrinter = 400-2000 mg/kg TS
- Ingen flygtige kulbrinter, resten af kulbrintefraktionerne nogenlunde jævnt fordelt.
- Meget lille andel af fine partikler i rystetest = sandet jord.



Eksempel: Batch 3 efter vask

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

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



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

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

Analyseresultater – filterkage + vasket grus



		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

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

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

Eksempel: Batch 8 efter vask

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

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



Analyseresultater – filterkage + vasket grus



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

		Batch 8 - grus ---
Grus		17-10-2023
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

Analyseresultater – 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



VI har altså de her 4 fraktioner efter vask.



- Filterkage ($<63 \mu\text{m}$)
- Sand ($63 \mu\text{m} - 2 \text{mm}$)
- Grus ($2 \text{mm} - 4 \text{mm}$)
- Stenfraktion ($>4 \text{mm}$)

10-33 %

} 67-90 %



Stenfraktionen (> 4mm)



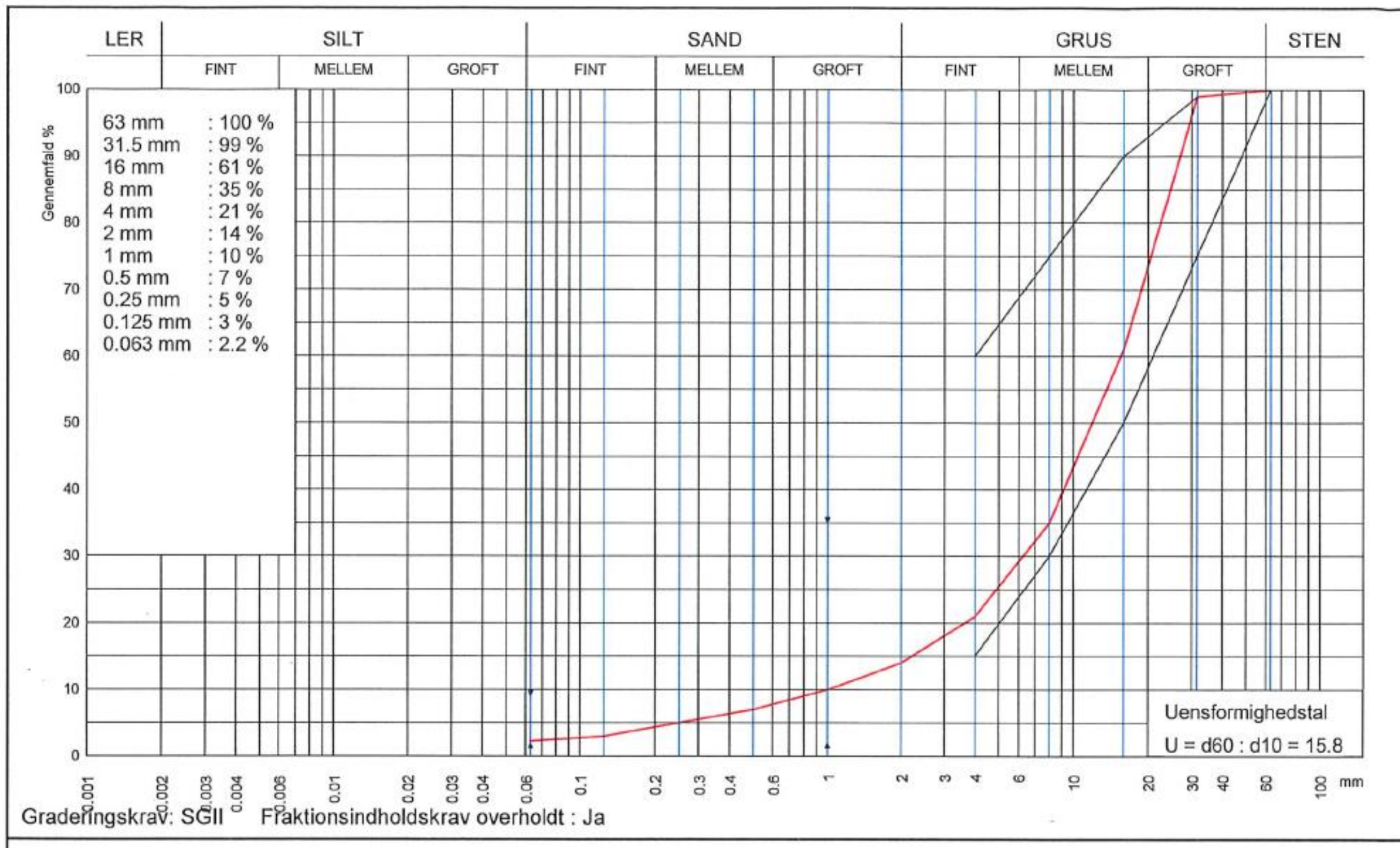
Batch 9



Batch 3

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

Stenfraktionen



Grusfraktionen (2-4 mm)



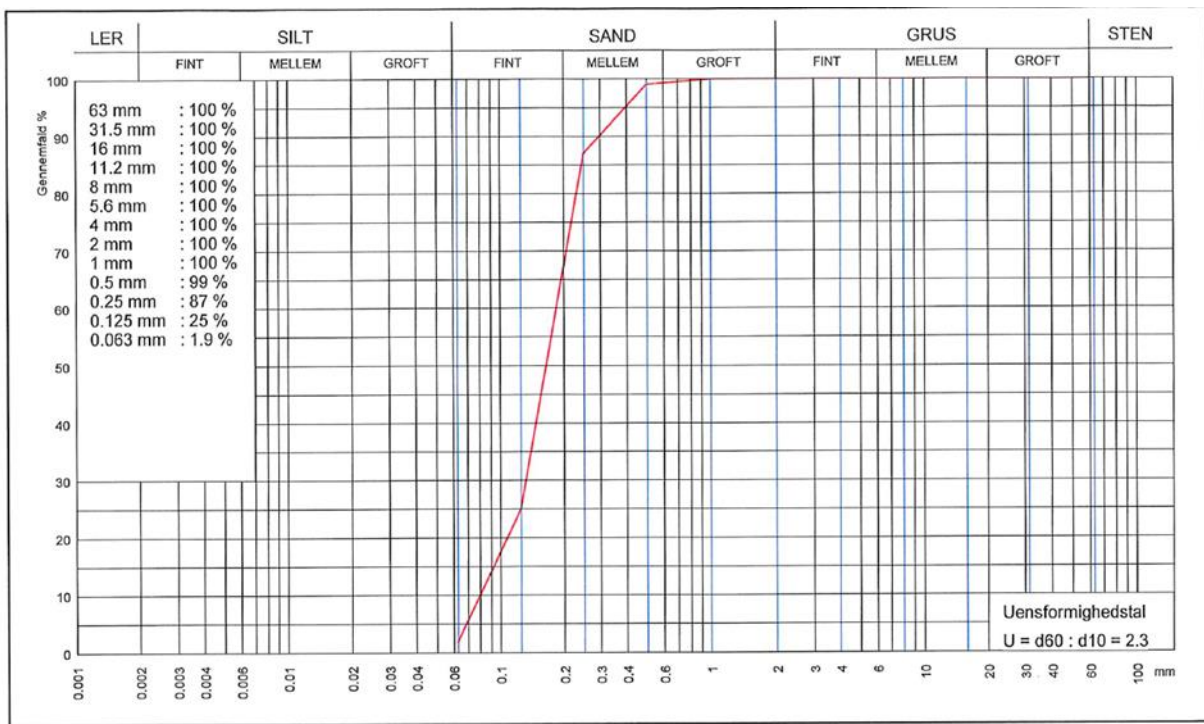
- Fraktion udgør typisk under 5 %
- Fraktionen indeholder en del asfalt, hvis der har været asfalt i input-jorden (de små partikler, vi ikke ser inden vask)
- Halvdelen er klasse 2/3 (og enkelte prøver er kl 4)



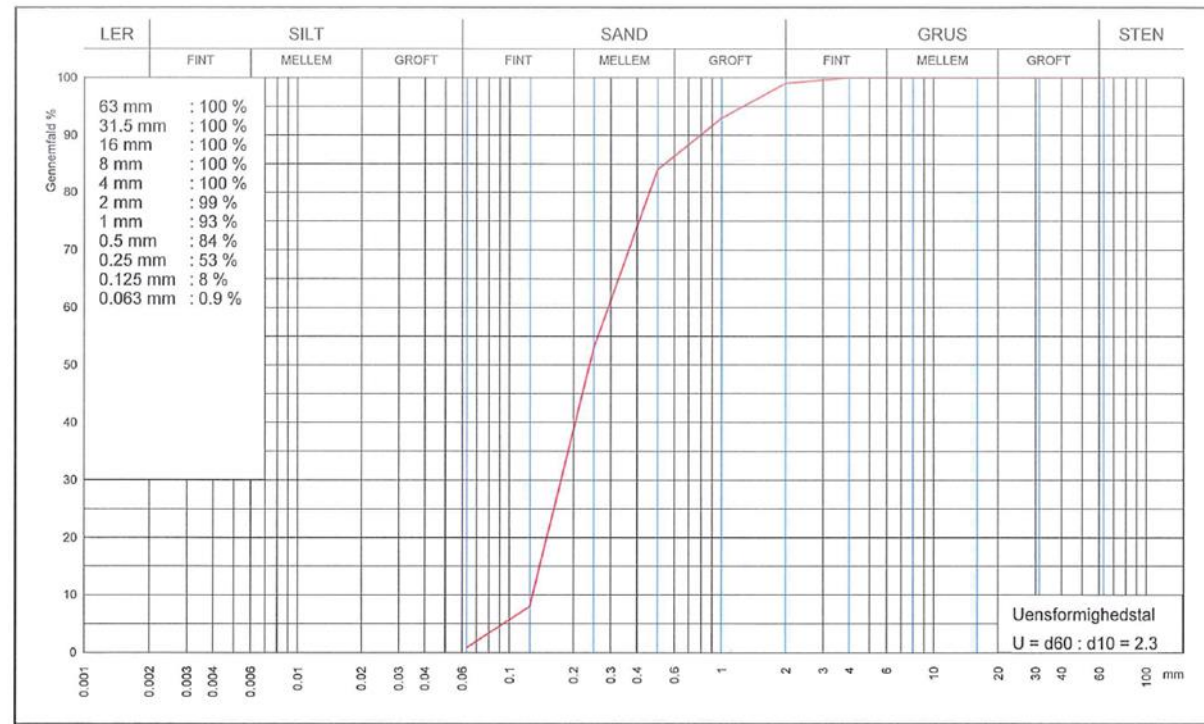
Sandfraktionen (0,063 mm-2 mm)

- Udgør 50-80% af materialerne i de enkelte batch.
- Lægges typisk op i miler, hvis der er mere en 100 t.
- Der er udtaget analyser (faststof) for jordpakken 1/30 tons. Ca. 70 % af prøverne 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 jord). De klassificerer prøverne i kategori 1 i henhold til restproduktbekendtgørelsen.
- Resultater af udvaskning af organiske parametre udestår.
- Der er lavet sigteanalyser af sand batch 1, batch 4 og batch 5.

Sigtekurve for rørgrus vs sigtekurve for "vaskesand"



Rørgrus







Batch 1

Filterkagen



- Svært at håndtere og opbevare. Er ikke indbygningseget
- Opkoncentrering af forurening i filterkagen

Undersøges/Er undersøgt:

- Om det kan eksporteres til termisk rens. 
- Om det kan gøres indbygningseget (kalkstabilisering) 
- Om forureningsgrad kan nedbringes (kalkstabilisering) 
- Om det kan bruges i produktion af mørtel, mursten og i produktion af cement.
- Gode forslag modtages 



Opsamling



Vi producerer mellem 60 % og 90 % råstoffer, når vi vasker jord.

Sandfraktionen udgør størstedelen. Fraktionen har sigtekurve sammenlignelig med rørgrus. 70% af sandet er rent. Resten forurenede i klasse 2/3. Vi kan adskille det rene og forurenede. Vi ser ind

I Belgien får man rabat på deponering af filterkage..

Grusfr
forure

Og i Holland er der tilladelse til at bruge det lettere forurenede sand i områder, der allerede er klassificeret som lettere forurenede

Den g
urenede fraktionen.

Filterkagen udgør 10-33%. Her opkoncentreres forureningen. Den er umiddelbart svær at håndtere og svær at bruge til noget. Men vi arbejder på det!

