

# Miljøstyrelsen og MAN B&W Diesel A/S

**Karakterisering og nedbrydning af organiske  
indholdsstoffer i furansand fra støberier**

Kim Haagensen

Rambøll

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

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

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

# Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
ENGLISH SUMMARY	11
1 INDLEDNING	15
1.1 BAGGRUND	15
1.2 FORMÅL	15
1.3 PROJEKTGENNEMFØRELSE OG FØLGEGRUPPE	15
1.4 METODE	16
2 LITTERATURSØGNING	17
2.1 SØGEPROFIL	17
2.1.1 <i>Resultat af litteratursøgning</i>	<b>18</b>
2.1.2 <i>Resultat af kontakt til virksomheder angående renseteknikker</i>	<b>20</b>
3 STOFEGENSKABER	21
4 STØBEPROCESSEN OG SANDKREDSLØBET	24
4.1 STØBEPROCESSEN	24
4.2 ANVENDELSE AF STØBESAND PÅ JERNSTØBERIET	24
4.3 SANDKREDSLØBET OG GENERERING AF OVERSKUDSSAND	25
5 ANALYSEPROGRAM OG FORSØGSPLAN	27
5.1 ANALYSEPROGRAM	27
6 KARAKTERISERING AF OVERSKUDSSAND	29
6.1 FYSISK KEMISKE EGENSKABER	29
6.2 INDHOLD AF KEMISKE STOFFER I SAND	30
6.3 INDHOLD AF KEMISKE STOFFER I ELUAT	32
6.4 KEMISK KARAKTERISERING	32
6.5 MILJØMÆSSIGT PROBLEMATISKE STOFFER	33
6.6 SAMLET VURDERING	34
7 RESULTATER AF NEDBRYDNINGSFORSØG	35
7.1 FORSØGSOPSTILLING	35
7.2 PRØVEUDTAGNING OG ANALYSEPROGRAM	36
7.3 FORSØGSRESULTATER	37
7.3.1 <i>Startkoncentrationer</i>	<b>37</b>
7.3.2 <i>Tørstofbestemmelser</i>	<b>38</b>
7.3.3 <i>Stofmængder og stoftab ved afdampning</i>	<b>38</b>
7.3.4 <i>Indhold af BTEX'er og naphthalener</i>	<b>39</b>
7.3.5 <i>Indhold af phenoler</i>	<b>42</b>

7.3.6	<i>Indhold af formaldehyd</i>	44
7.3.7	<i>Indhold af furfurylalkohol</i>	45
7.3.8	<i>Indhold af p-toluensulfonsyre</i>	46
8	KONKLUSION	47
9	REFERENCER	49

Bilag A	Resuméer af referencer
Bilag B	Kontakter vedr. renseteknikker
Bilag C	Vejning af sandfraktioner
Bilag D	Fotos af forsøgsopstilling
Bilag E	Bestemmelse af pH
Bilag F	Laboratorieskala forsøg
Bilag G	Analyserapporter, kemisk karakterisering
Bilag H	Stofmængder og resultatskema
Bilag I	Analyserapporter, nedbrydningsforsøg

# Forord

Bortskaffelse af overskudssand og –støv fra støbning af metalemner udgør et væsentligt problem for støberibranchen. Det er hovedsagelig overskudsmaterialernes indhold af miljømæssigt kritiske komponenter der udgør en begrænsning i materialernes frie anvendelse.

Der er tidligere gennemført en undersøgelse af problemstillingens omfang og karakter for overskudssand af vådsandstypen, og i nærværende projekt er der derfor fokuseret på overskudssand af furansandstypen.

Overskudssand af furansandstypen indeholder hovedsagelig rester af komponenter fra de kemiske processer, der danner bindematerialet i fremstillingen af forme og kerner til støbeprocessen. Foruden disse restkoncentrationer af organisk kemiske stoffer kan der i forbindelse med den varme smeltes kontakt med forme og kerner dannes en række kemiske forbindelser ved pyrolyse.

Det er formålet med dette projekt at identificere miljømæssigt kritiske stoffer og deres koncentrationer i forskellige fraktioner af overskudssand og –støv fra et jernstøberi, der fremstiller forme og kerner af furansandstypen.

Efterfølgende er der forsøgsvis foretaget en indledende undersøgelse af potentialet for nedbrydning af en række af disse organiske stoffer.

Projektet er gennemført som et samarbejde mellem MAN B&W Diesel A/S i Frederikshavn og Rambøll – Vand og Miljø i Virum, Afdelingen for Jord- og vandmiljø.

Projektet er gennemført for Miljøstyrelsen under Miljøstyrelsens Program for renere produkter mv. under delområdet "Behandlingsmetoder".



# Sammenfatning og konklusioner

Trods en væsentlig intern genanvendelse af støbesand producerer de danske støberier hvert år en betragtelig mængde overskudssand. I støberier hvor der anvendes kemisk bundet støbesand kan overskuddet fraktioneres efter de processer, hvor overskudssandet genereres. Denne fraktionering resulterer i ensartede partier af overskudssand, hvoraf flere har et lavt indhold af miljømæssigt problematiske stoffer. Partier af overskudssand med et stort indhold af en række organiske stoffer udgør de miljømæssigt mest problematiske fraktioner, og i dette projekt er det desværre konstateret, at anvendelsen af nogle helt simple renseteknikker ikke er tilstrækkeligt til at nedbringe indholdet af de væsentligste organiske indholdsstoffer i disse fraktioner.

## Baggrund og formål

De danske støberier producerer af størrelsesordenen 80.000 tons overskudssand årligt, hvoraf ca. 20.000 tons er affaldssand fra støberier, der anvender kemisk bundet støbesand. Hovedparten af det overskydende kemisk bundne affaldssand deponeres på kontrollerede lossepladser, primært fordi overskudssandet indeholder restmængder af phenoler, aromatiske kulbrinter og andre organiske forureninger.

På danske støberier recirkuleres væsentlige dele af den anvendte sandmængde til fremstilling af nye støbeforme, og den samlede mængde overskudssand er derfor reduceret til et minimum. De samlede mængder af overskudssand er imidlertid af en størrelse og en karakter, hvor en nyttiggørelse af dette overskudssand uden restriktioner eller eventuelt med lempelige restriktioner er interessant. Nyttiggørelsen af overskudssand til eksempelvis genindbygning ved anlægsarbejder vil reducere anvendelsen af naturressourcer – eksempelvis sand og grus – og mindske behovet for deponeringskapacitet på kontrollerede lossepladser.

Dette projekt har haft til formål at undersøge indholdet af miljømæssigt problematiske stoffer i fem fraktioner af kemisk bundet overskudssand fra støberiet på virksomheden MAN B&W Diesel A/S i Frederikshavn. På baggrund af kemiske analyser af de fem fraktioner af overskudssand, samt en undersøgelse af sandkredsløbet i støberiet hos MAN B&W Diesel A/S, er hver af de fem fraktioners mængdemæssige størrelse og kemiske sammensætning belyst.

Projektet har endvidere haft til formål at identificere egnede rensningsmetoder med henblik på at nedbringe indholdet af organiske indholdsstoffer i overskudssand, og at gennemføre laboratorieforsøg med overskudssand, for at dokumentere mulighederne for en indledende simpel rensning af overskudssand.

## Undersøgelserne

Undersøgelsen har omfattet kemiske analyser på fem fraktioner af overskudssand fra støberiet hos MAN B&W Diesel i Frederikshavn. De udtagne prøver af kemisk bundet støbesand er analyseret for indhold af en lang række af organiske komponenter og tungmetaller valgt ud fra erfaringer

og et indledende litteraturstudie. De kemiske analyser har identificeret indholdsstofferne og koncentrationsniveauerne i de fem fraktioner af overskudssand.

Resultaterne af den gennemførte kemiske karakterisering og en vurdering af de miljømæssigt mest problematiske indholdsstoffer har dannet grundlag for efterfølgende laboratorieforsøg med at nedbringe indholdet af organiske komponenter i en af de fem fraktioner af støbesand.

### **Hovedkonklusioner**

Den kemiske karakterisering af fem fraktioner af overskudssand fra støberiet på MAN B&W Diesel A/S viser, at de fem fraktioner hver især har ensartede koncentrationer af indholdsstoffer i tre gennemførte prøvetagningsrunder. De fem fraktioner udgør hovedparten af den samlede mængde overskudssand, og for hver fraktion udgør den kemiske karakterisering et godt grundlag for vurdering af mulighederne for at nyttiggøre dette overskudsprodukt.

De miljømæssigt mest problematiske stoffer identificeret i overskudssand fra støberiet på MAN B&W Diesel A/S er stofgrupperne af aromatiske kulbrinter og phenoler, samt enkeltstofferne p-toluensulfonsyre og furfurylalkohol. Disse organiske stoffer er hovedsagelig konstateret i støvfraktioner og i fraktioner med indhold af frisk støbesand.

Koncentrationerne af aromatiske kulbrinter og naphtalener er sammenstillet med og overskrider Miljøstyrelsens kravværdier for ren jord, mens koncentrationerne af phenoler ikke overskrider Miljøstyrelsens kravværdier for ren jord. De organiske stoffer er vandopløselige og kan forventes at være biologisk nedbrydelige, om end oplysningerne om nedbrydning af p-toluensulfonsyre er noget varierende.

Nedbrydningen af organiske stoffer i støbesand er undersøgt ved laboratorieforsøg gennem en 14 ugers periode. Ved laboratorieforsøget er effekten af hhv. befugtning, beluftning og podning med bakterier undersøgt. Undersøgelserne viste, at der indenfor den undersøgte tidsperiode generelt ikke kunne observeres tydelige tegn på nedbrydning af de undersøgte organiske stoffer. For stofferne furfurylalkohol, formaldehyd og delvis også gruppen af phenoler, ses dog tydelige fald i koncentrationerne, hvilket tolkes som en fortsat polymerisering af harpiks i forsøgsopstillingerne.

Resultaterne af det gennemførte projekt viser, at den undersøgte fraktion af støbesand indeholder organiske stoffer, der overordnet ikke viser nogen nævneværdig reduktion i stofkoncentrationen ved behandling med simple renseteknikker som befugtning, beluftning og podning med bakterier.

### **Projektresultater**

På støberiet hos virksomheden MAN B&W Diesel A/S i Frederikshavn opsamles fem fraktioner af overskudssand og -støv. De fem fraktioner udgør tilsammen omkring 85 % af den samlede mængde overskudssand.

De fem fraktioner af overskudssand er blevet undersøgt for indholdsstoffer ved kemiske analyser af prøver udtaget i tre prøvetagningsrunder. De udtagne prøver er analyseret for en lang række af organiske komponenter og tungmetaller, som kunne forventes at forekomme i miljømæssigt problematiske koncentrationer i overskudssand. Resultaterne af den kemiske karakterisering har vist, at hver enkelt fraktion har ensartede niveauer af indholdsstoffer i alle tre prøvetagninger.



De identificerede indholdsstoffer i overskudssandet består hovedsagelig af organiske stoffer, der ved kemiske reaktioner danner en polymer harpiks i støbeformen, samt i mindre grad af stoffer dannet ved støbeprocessen eller af tungmetaller fra rensningen af det støbte gods.

To fraktioner af overskudssand fra godsrensningen indeholder lave koncentrationer af organiske komponenter og høje koncentrationer af tungmetaller, mens en fraktion af overskudssand fra udslagningen af gods indeholder høje koncentrationer af organiske komponenter og lave koncentrationer af tungmetaller. De to sidste fraktioner af forskelligt opfej og spild indeholder lave koncentrationer af tungmetaller og moderate koncentrationer af organiske komponenter.

Forhøjede indhold af tungmetaller omfatter stofferne chrom, kobber, nikkel og zink, mens forhøjede indhold af organiske komponenter omfatter stofferne p-toluensulfonsyre, furfurylalkohol, formaldehyd, phenoler, aromatiske kulbrinter, naphthalen og methylnaphthalener. Der er generelt ikke konstateret væsentlige koncentrationer af PAH'er i de fem fraktioner af overskudssand og -støv.

De konstaterede forskelle i koncentrationer af indholdsstoffer mellem de fem fraktioner kan forklares ved de processer, der genererer den enkelte fraktion af overskudssand. Anvendelsen af stålhagl ved rensning af gods bidrager med tungmetaller, der således findes bundet på metallisk form, mens støvfraktioner og fraktioner med indhold af frisk støbesand har forhøjede indhold af organiske komponenter fra dannelsen af den polymere harpiks.

De miljømæssigt mest problematiske stoffer identificeret i overskudssand fra støberiet er stofgrupperne aromatiske kulbrinter og phenoler, samt enkeltstofferne p-toluensulfonsyre og furfurylalkohol. Disse stoffer er vandopløselige, og forventes umiddelbart at være biologisk nedbrydelige under aerobe forhold, om end oplysningerne om nedbrydning af p-toluensulfonsyre er noget varierende.

Med henblik på at nedbringe koncentrationerne af de organiske stoffer i overskudssandet er der foretaget laboratorieforsøg med en fraktion af opskrab, opfej fra gulve og defekte forme mv., der samlet udgør ca. 34 % af den totale mængde af overskudssand. Laboratorieforsøget omfattede undersøgelse af ændringer i koncentrationen af de væsentligste organiske stoffer i støbesandet gennem en 14 ugers periode. Forsøget er gennemført i fire parallelle opstillinger med henblik på at vurdere effekten af hhv. befugtning, beluftning og podning med bakterier overfor en kontrol.

Resultaterne af det gennemførte laboratorieforsøg viser, at der – indenfor forsøgsperioden på 14 uger og ved de betingelser nedbrydningsforsøget blev udført under – ikke kunne konstateres en væsentlig reduktion i koncentrationerne af organiske indholdsstoffer. Koncentrationen af p-toluensulfonsyre er uændret i forsøgsperioden, og samtidig ses en fjernelse af phenoler, furfurylalkohol og formaldehyd, hvilket tolkes som en fortsat polymerisering af harpiks i opstillingen. For gruppen af phenoler og for furfurylalkohol ses i den podede opstilling en stigning mod slutningen af den 14 uger lange forsøgsperiode, og denne udvikling tolkes som en begyndende nedbrydning af den polymere harpiks i enkeltkomponenter.

Konklusionerne på de gennemførte undersøgelser og forsøg er, at den selektive opsamling af overskudssandet på støberiet hos MAN B&W Diesel A/S resulterer i veldefinerede fraktioner, der hver især har ensartede koncentrationer af indholdsstoffer.

Indholdet af tungmetaller er konstateret forhøjet i to fraktioner fra godsrensningen, hvor metallerne findes i metallisk form som partikler af jern fra rensning med stålhagl. Generelt er indholdet af tungmetaller i alle fraktioner dog mindre end kravværdierne for ren jord, idet kun indholdet af nikkel i de to fraktioner fra godsrensningen overskrider Miljøstyrelsens kravværdi. Der er her tale om metallisk bundet nikkel.

Indholdet af organiske stoffer er konstateret moderat til højt i tre fraktioner med frisk støbesand eller højt indhold af støv. Koncentrationerne af aromatiske kulbrinter og naphalener overskrider i tre – fire af fem fraktioner Miljøstyrelsens kravværdier for ren jord.

Forsøg med nedbringelse af organiske indholdsstoffer i en af de fem fraktioner af overskudssand ved hhv. befugtning, beluftning og podning med bakterier har ikke resulteret i nogen væsentlig reduktion i koncentrationerne over en periode på 14 uger. En reduktion af koncentrationerne af organiske stoffer ved de testede simple rensningsteknikker vurderes derfor ikke at være mulig.

# English Summary

## **Introduction**

Despite comprehensive internal reuse of moulding sand, the Danish metal casting foundries produce considerable amounts of spent sand. The amount of spent surplus sand is in the order of 80,000 tonnes a year, with 20,000 tonnes being spent sand from metal casting foundries using chemically bonded sand. Due to a content of phenols, aromatic hydrocarbons and other organic compounds, the main part of the chemically bonded spent sand is disposed of at landfills.

Reuse of moulding sand based on fractionating the sand in the production process reduces the total amount of spent sand to a minimum. The total amount of spent sand is still of a magnitude where the use of spent sand in e.g. construction practices is relevant.

## **The project**

The purpose of this project is to make a physical and chemical characterization of five fractions of chemically bonded spent sand from the metal casting foundry at MAN B&W Diesel A/S at Frederikshavn, Denmark. Based on chemical analyses of sand from the five fractions of spent sand and a study of the circulation of moulding sand in the foundry, the amount and chemical composition of each of the five fractions have been described.

Furthermore, the purpose of the project has been to identify remediation technologies suitable for reducing the content of organic compounds in the spent sand, and to establish documentation for simple treatment of the used sand based on laboratory examinations.

## **Results**

The study of the circulation of moulding sand in the foundry at MAN B&W Diesel A/S at Frederikshavn has revealed that the spent sand could be divided into five fractions with homogenous chemical composition. The five fractions of spent moulding sand make up approximately 85 % of the total amount of used sand in the foundry. Some of the five fractions have a high content of dust.

Two fractions from the cleaning of goods have a major content of heavy metals and minor content of organic compounds, while a fraction from the reclaiming process has a minor content of heavy metals and a major content of organic components. The two last fractions of spills and sand from cleaning of machinery have minor contents of heavy metals and moderate contents of organic compounds.

The content of heavy metals includes chromium, copper, nickel and zinc, and the content of organic components includes p-toluenesulfonic acid, furfuryl alcohol, formaldehyde, phenols, BTEX, naphthalene and methylnaphthalenes. Generally, there is no significant content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the five fractions of moulding sand.

Fractions with a high content of freshly made moulding sand (spills etc.) have major content of organic components, while fractions from cleaning of goods have a major content of heavy metals, probably due to the content of particles from the steel blasting process.

Generally, the concentrations of heavy metals in the spent sand are lower than the Danish EPA Soil Guidance Values, except for the fractions from the cleaning process, where the content of nickel is above the Soil Guidance Value. The contents of BTEX and naphthalene are generally above the Danish Soil Guidance Values.

The identified organic components are all soluble in water and expected to be biological degradable in aerobic conditions, though the information regarding biological degradation of p-toluenesulfonic acid is sparse. The environmentally most critical groups of components identified in the spent sand from the foundry are the BTEX and the phenols, as well as the components p-toluenesulfonic acid and furfuryl alcohol.

The fraction of spent sand from spills etc. comprises an amount of approximately 34 per cent of the total amount of spent sand from the foundry. This fraction has a low content of heavy metals and a moderate content of organic components, and was selected for further examination of degradation of the organic components in the spent sand.

In the laboratory, an examination was made of the effects of addition of water, air and inoculation with activated sludge to the fraction of spent sand from spills etc. The setup was followed during a period of 14 weeks.

The results of the laboratory tests show that the concentration of p-toluenesulfonic acid is high, and no degradation has been observed during the 14-week period. The concentrations of benzene, xylenes and naphthalene are all at a low level, and no significant reduction in the concentrations has been observed.

On the other hand, the concentrations of formaldehyde, furfuryl alcohol and phenols obviously fall to a lower level, but since no effect of inoculation with activated sludge has been seen, the reduction in the concentration of these components is expected to be a result of ongoing polymerization of resin in the spent sand.

At the end of the period of 14 weeks, the concentrations of phenols and furfuryl alcohol rise in the inoculated test setup. These compounds make up the basic structure of the high molecular resin, and the rise in the concentrations of these compounds could be due to a start in the degradation of the resin.

### **Conclusions**

The project has revealed that spent sand from a metal casting foundry could be divided into five fractions, each with homogenous chemical composition. These fractions of sand are contaminated either with heavy metals or with organic compounds used to make the high molecular resin in the moulding sand.

The organic components in the five fractions of spent sand from the foundry at MAN B&W Diesel A/S at Frederikshavn are mainly p-toluenesulfonic acid,

furfuryl alcohol, phenol and formaldehyde. Low contents of benzene, toluene, xylenes, naphthalene and methylnaphthalenes have been identified in the five fractions, but no significant content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) has been observed.

The effects of simple treatment of spent sand with water, air and inoculation with activated sludge have been followed during a period of 14 weeks. The conclusions of the degradation test using simple techniques are no observed degradation regarding the organic components benzene, toluene, xylenes, naphthalene and p-toluenesulfonic acid. A lowering in the concentration of phenols, furfuryl alcohol and formaldehyde is expected to be due to ongoing polymerization of resin in the spent sand.

At the end of the period of 14 weeks, the concentrations of phenols and furfuryl alcohol increase in the inoculated test setup. It is concluded that the increase in the concentrations of these compounds could be due to a start in the degradation of the resin, due to the fact that these compounds make up the basic structure of the high molecular resin.

The results of the project show that the investigated fraction of spent sand has a content of organic components, which generally shows no significant reduction in concentrations when treated with simple techniques such as wetting, venting or inoculation with micro organisms.



# 1 Indledning

## 1.1 Baggrund

Fremstillingen af støbte metalemner sker sædvanligvis i forme fremstillet af sand tilsat bindemidler af mineralsk eller organisk oprindelse. Trods en omfattende recirkulation af brugt støbesand i de danske metalstøberier, produceres der hvert år en stor mængde overskudssand, der som følge af et indhold af metaller og forskellige organiske stoffer kan udgøre et miljømæssigt problem.

De danske støberier producerede i 1997 i størrelsesordenen 80.000 t overskudssand. Denne mængde affaldssand kan inddeles i to hovedgrupper af hhv. affaldssand fra vådsandsformning (ca. 60.000 tons/år) og affaldssand fra kemisk bundet formsand (ca. 20.000 tons/år) /1/.

Hovedparten af affaldssandet deponeres i dag på kontrollerede lossepladser, primært fordi begge typer affaldssand indeholder restmængder af phenoler, BTEX'er og andre organiske mikroforureninger.

Rambøll har tidligere gennemført et udredningsprojekt for Miljøstyrelsen, der omhandler mulighederne for at nedbringe indholdet af phenoler mv. i overskudssand af vådsandstypen /2/.

Nærværende projekt omhandler mulighederne for at nedbringe indholdet af kemiske stoffer i sand fra kemisk bundne forme af furansandstypen, som udgør hovedparten af kemisk bundet formsand.

## 1.2 Formål

Projektets overordnede formål er at tilvejebringe dokumentation for indholdet af kemiske stoffer i forskellige fraktioner af kemisk bundet sand fra et støberi, at indhente informationer om mulige rensningsmetoder for overskudssand, og at gennemføre laboratorieforsøg med henblik på at nedbringe indholdet af særligt problematiske stoffer i enkeltfraktioner af overskudssand.

I fald resultaterne af laboratorieforsøgene peger på egnede metoder til at nedbringe indholdet af særligt problematiske stoffer i overskudssandet, vil der endvidere blive gennemført feltforsøg med rensning af overskudssand.

## 1.3 Projektgennemførelse og følgegruppe

Projektet er gennemført indenfor Miljøstyrelsens Program for renere produkter mv., under delområdet "Behandlingsmetoder".

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem MAN B&W Diesel A/S, Alpha Diesel i Frederikshavn (MBD-F) og Rambøll – Afdelingen for Jord & Vandmiljø i Virum.

Miljøstyrelsen har nedsat en styregruppe til at følge arbejdet. Styregruppen har bestået af:

- Tonny Christensen (formand), Jord & Affald, Miljøstyrelsen
- Anja Dalberg, Jord & Affald, Miljøstyrelsen
- Flemming Nygaard, MAN B&W Diesel A/S, Alpha Diesel – Frederikshavn
- Helle Müller, Frederikshavn Kommune
- Berit Kjerulf, Nordjyllands Amtskommune
- Lene Uldall Lebeck, Arbejdstilsynet, Kreds Nordjyllands Amt
- Tore Vedelsdal, I/S Affaldsselskabet Vendsyssel Øst (AVØ)
- Kim Frese, Frese Metal- og Stålstøberi A/S, Slagelse
- Jens Nonboe Andersen, Rambøll - Vand og Miljø, Virum
- Kim Haagensen, Rambøll – Vand og Miljø, Virum

#### 1.4 Metode

Projektet har været inddelt i følgende faser:

- Informationsindhentning / litteratursøgning
- Kemisk / fysisk karakterisering af sandfraktioner
- Laboratorieforsøg med rensning af en sandfraktion fra støberiet hos MAN B&W Diesel A/S i Frederikshavn



## 2 Litteratursøgning

Der er gennemført en indhentning af informationer og en litteratursøgning med henblik på at tilvejebringe en supplerende afdækning af kritiske indholdsstoffer i furansand fra jernstøberier. De indhentede informationer danner baggrund for projektets efterfølgende opstilling af et analyseprogram til karakterisering af furansand for indhold af miljømæssigt kritiske stoffer.

På baggrund af tidligere gennemførte projekter med støbesand, samt ud fra viden i øvrigt om støbetekniske forhold på furansands støberier, er der indledningsvis opstillet et søgeprofil for en litteratursøgning.

Efterfølgende er der gennemført en litteratursøgning via online adgang til Danmarks Tekniske Videncenter (DTV), hvor søgningen er gennemført i artikeldatabasen. Formålet med søgningen har primært været at identificere referencer med resultater af undersøgelser af furansand for indholdsstoffer, som kan være miljømæssigt kritiske.

Parallelt med litteratursøgningen er der foretaget en skriftlig henvendelse til en række udenlandske virksomheder, udvalgt på baggrund af en bred søgning på internettet indenfor udvalgte og oplagte renseteknikker for støbesand. Disse firmaer er kontaktet med henblik på at indhente oplysninger om udenlandske erfaringer med rensemetoder, herunder anvendte teknikker, skala, effektivitet, begrænsninger og omkostninger.

### 2.1 Søgeprofil

Tidligere gennemførte projekter med kemisk karakterisering og undersøgelse af egnede rensningsmetoder af støbesand, har bibragt en grundlæggende viden om indholdsstoffer og fysisk-kemiske egenskaber af støbesand af forskellige typer.

Med henblik på at tilvejebringe supplerende oplysninger om indhold af miljømæssigt kritiske stoffer i furansand fra jernstøberier er der udført en søgning efter litteratur indeholdende resultater af undersøgelser af furansand. Søgningen er udført med en kombination af ord fra grupperne I, II og III, som angivet i tabel 2.1. Resultaterne af litteratursøgningen er beskrevet i afsnit 2.1.1.

Der er endvidere søgt danske referencer i databasen [www.affaldsinfo.dk](http://www.affaldsinfo.dk).

Foruden ovennævnte litteratursøgning er der på [www.epareachit.org](http://www.epareachit.org) foretaget søgning efter virksomheder, der tilbyder oprensingsløsninger indenfor følgende metoder:

- termisk desorption
- jordvask (soil washing)
- ekstraktion (solvent extraction)
- biologisk oprensning (bioremediation)

Tabel 2.1 Søgeprofil for litteratursøgning

<p><b>I. Jernstøberi</b></p> <p>cast*          casting*          cast iron*</p> <p>AND</p> <p>founding*          foundr*          mould* OR mold*</p>	<p><b>III. Kritiske stoffer</b></p> <p>pollutant*          xenobiotic*          ASOC*          chemical* AND (environ* OR hazard*)          material* AND (environ* OR hazard*)</p> <p>BTEX*          PAH*          aromatic hydrocarbon*          benzen*          naphthalene*          phenol*</p> <p>formaldehyde          furfuryl alcohol          p-toluenesulfonic acid OR toluene-4-sulfonic acid</p> <p>heavy metal*</p> <p>lead          cadmium          nickel          chrom*          arsen*          zinc          copper          mercury</p>
<p><b>II. Furansand</b></p> <p>furan*          furfuryl alcohol          furfural alcohol          furan resin</p> <p>AND</p> <p>sand*</p> <p>+ eventuelt</p> <p>moulding sand* OR          molding sand* OR          waste sand*</p> <p>AND</p> <p>dispos*</p>	
<p>* angiver "wild cards"</p>	

Den gennemførte søgning har resulteret i en liste over ca. 30 virksomheder, der matcher en eller flere af ovennævnte termer for rensningsmetoder.

Efterfølgende er der skriftligt taget kontakt til disse virksomheder med beskrivelse af projektets formål, og med en anmodning om tilbagemelding vedrørende virksomhedens erfaringer med behandlingsteknikker indenfor nedbringelse af indholdet af kemiske stoffer i forskellige typer af affaldsmaterialer.

Resultaterne af kontakten til disse ca. 30 virksomheder er beskrevet i afsnit 2.2.2.

### 2.1.1 Resultat af litteratursøgning

I bilag A er der som resultat af den gennemførte litteratursøgning givet kortfattede resumeer af en række såvel udenlandske som danske referencer omhandlende indhold af miljøfremmede stoffer i overskudssand fra støberier.

De vigtigste informationer om indholdsstoffer af miljømæssigt kritisk karakter er kort beskrevet i det følgende.

### ***Metaller***

Der er i litteraturen undersøgt bredt for indhold og udvaskning af tungmetallerne bly, cadmium, chrom, kobber, nikkel og zink. Der er generelt fundet relativt høje indhold af tungmetaller i støbesand, mens udvaskningen af tungmetallerne generelt er konstateret lav.

### ***BTEX'er<sup>1</sup> og naphthalener***

Der er i flere artikler rapporteret om indhold af BTEX'er, naphthalen og methylnaphthalener i både furansand og i vand fra udvaskningstest på furansand. Stofferne rapporteres dannet ved pyrolyse ved temperaturer på 300 – 700 °C under reducerende betingelser af den højmolekylære harpiks anvendt til fremstillingen af forme og kerner.

### ***Phenoler***

Stoffet phenol indgår som komponent i den højmolekylære harpiks, der binder sandet sammen. Mindre rester af ikke-polymeriseret phenol kan derfor forventes i furansand. Der er i flere artikler rapporteret om indhold af phenoler og methylphenoler (cresoler og xylenoler) i både furansand og i vand fra udvaskningstest på furansand. Phenolerne rapporteres ligesom BTEX'erne og naphthalenerne at kunne dannes ved pyrolyse af den anvendte højmolekylære harpiks.

### ***Polyaromatiske Hydrocarboner (PAH'er)***

Der er i enkelte artikler rapporteret om høje indhold af PAH'er i furansand fra støberier, mens der i enkelte andre artikler er rapporteret om mindre indhold af PAH'er. Pyrolyse af kulmel anvendt i bentonitbundet sand vurderes i en enkelt artikel at udgøre en væsentlig kilde til dannelsen af PAH'er i sandet, og forklarer derved et lavere indhold af PAH'er i furansand end i bentonitbundet sand. Kulmel anvendes sædvanligvis ikke i furansand.

### ***Andre organiske mikroforureninger***

I den gennemgæede litteratur er der foruden ovenstående organiske komponenter fundet oplysninger om indhold af formaldehyd, furan, methylfuraner, furfurylalkohol, og afhængig af den anvendte hærder p-toluensulfonsyre, benzensulfonsyre, xylensulfonsyre eller benzoesyre.

### ***Uorganiske stoffer***

Der er i en enkelt artikel beskrevet undersøgelser af udvaskningen af fluorid, klorid og sulfat fra brugt støbesand anvendt som opbygning under en motorvej. Der blev konstateret tegn på øgede koncentrationer af fluorid og sulfat i forhold til en referencestation. Generelt anvendes disse stoffer ikke i fremstillingen af støbesandet, men findes i sandet, og på denne baggrund vurderes stofferne ikke at være relevante i et miljømæssigt perspektiv.

### ***Andet***

Enkelte artikler nævner anvendelsen af fosforsyre som hærder. Indenfor projektets rammer vurderes fosforsyre ikke at være miljømæssigt problematisk, men både fosfors betydning som næringssalt og fosforsyrens kemiske egenskaber er relevante for den generelle karakterisering af støbesand, samt for vurdering af potentielle rensningsmetoder.

---

<sup>1</sup> BTEX'er: Benzen, Toluen, Ethylbenzen, Xylen

### 2.1.2 Resultat af kontakt til virksomheder angående renseteknikker

Der er i juli 2001 taget skriftlig kontakt til ca. 30 virksomheder fra både Europa og USA. Kopi af brev og adresseliste er vedlagt i bilag B.

Der er modtaget skriftlige svar og brochurer etc. fra i alt 5 virksomheder.

Blandt de modtagne svar vedrørende rensningsteknikker er termisk desorption den oftest foreslåede rensningsteknik for furansand, og erfaringerne med fuld skala anlæg hovedsagelig til behandling af kulbrinte baserede jordforureninger er stor. En enkelt virksomhed foreslår ekstraktion af organiske komponenter. Foruden disse 2 teknikker er der i flere tilfælde vedlagt materiale vedrørende biologiske teknikker. Der er i en række tilfælde tale om rensningsteknikker baseret på flere af ovennævnte teknikker.

Der er ikke modtaget materiale der specifikt nævner erfaringer med rensningsteknikker overfor den samlede gruppe af organiske kemiske stoffer, der i det fremsendte materiale er nævnt som kritiske indholdsstoffer i overskudssand af furansandstypen.

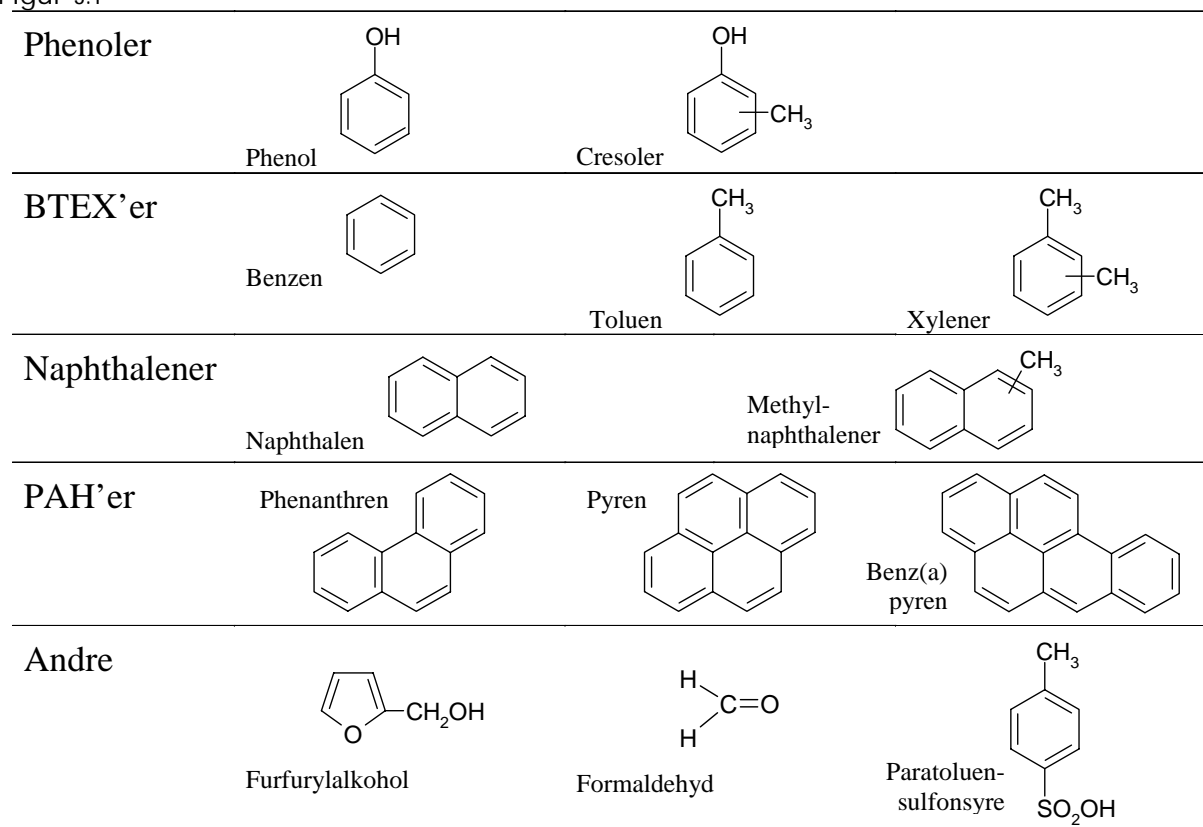
# 3 Stofegenskaber

Der er ved den indledende informations- og litteratursøgning beskrevet i kapitel 2 fundet oplysninger om en række kemiske grundstoffer og forbindelser, der dels anvendes i forbindelse med fremstillingen af formsand på støberier, og dels opstår ved reaktioner mellem de kemiske forbindelser i hærdere og bindere eller ved pyrolyse under varmepåvirkning fra den flydende smelte.

Overskudssand fra jernstøberier der anvender kemisk bundet formsand af furansandstypen, kan foruden tungmetaller indeholde organiske mikroforureninger som f.eks. phenoler, BTEX'er, naphthalen og methylnaphthalener, PAH'er, furan og methylfuraner, formaldehyd, furfurylalkohol og p-toluensulfonsyre eller lignende hærdere.

Strukturformler for de i denne sammenhæng mest relevante organiske mikroforureninger er vist i figur 3.1, mens en oversigt over de væsentligste fysisk kemiske data for stofferne er givet i tabel 3.1 /3,4,5,6/.

Figur 3.1



Tabel 3.1 Stofegenskaber

	Bruttoformel	CAS-nr	Molvægt g/mol	Kogepunkt °C	Damptryk <sup>7)</sup> Pa	Opløselighed i vand <sup>7)</sup> mg/l	Oktanolvand <sup>7)</sup> fordelings- koefficient log <sub>10</sub> (K <sub>ow</sub> )
<b>Phenoler <sup>1)</sup></b>							
Phenol	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	108-95-2	94,11	182,0	26,6	82.000	1,5
Cresoler <sup>2)</sup>	C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> OH	1319-77-3	108,13	191 - 202	5,3 - 31,9	23.000 - 24.000	1,9 - 2,0
Xylenoler <sup>3)</sup>	C <sub>8</sub> H <sub>9</sub> OH	-	122,16	203 - 225	~2	~ 5000	2,3 - 2,8
<b>BTEX'er</b>							
Benzen	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	71-43-2	78,11	80,1	12.700	1.780	2,1
Toluen	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	108-88-3	92,13	110,6	3.800	515	2,7
Ethylbenzen	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	100-41-4	106,2	136,2	1.270	152	3,1
Xylener <sup>4)</sup>	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	1330-20-7	106,2	138 - 144	1.100 - 1.170	160 - 220	3,2
<b>Naphthalener</b>							
Naphthalen	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	91-20-3	128,2	218	10	30	3,4
Methylnaphthalener <sup>5)</sup>	C <sub>11</sub> H <sub>10</sub>	-	142,2	240 - 245	9	25 - 28	3,9
Dimethylnaphthalener <sup>6)</sup>	C <sub>12</sub> H <sub>12</sub>	-	156,2	249 - 269	1 - 2	2 - 11	4,3 - 4,4
<b>PAH'er</b>							
Fluoren	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>	86-73-7	166,2	295	0,09	1,9	4,2
Phenanthren	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	85-01-8	178,2	339	0,02	1,1	4,6
Antracen	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	120-12-7	178,2	340	0,001	0,045	4,5
Pyren	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	129-00-0	202,3	360	< 0,001	0,13	5,2
Fluoranthren	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	206-44-0	202,3	375	0,001	0,26	5,2
Chrysen	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	218-01-9	228,3	448	< 0,001	0,002	5,9
Benz(a)antracen	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	56-55-3	228,3	435	< 0,001	0,01	5,9
Benz(b)fluoranthren	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	205-99-2	252,3	481	< 0,001	0,002	5,8
Benz(k)fluoranthren	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	207-08-9	252,3	481	< 0,001	0,0008	6,0
Benz(e)pyren	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	192-97-2	252,3	493	< 0,001	0,004	6,4
Benz(a)pyren	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	50-32-8	252,3	495	< 0,001	0,004	6,0
Benz(ghi)perylene	C <sub>21</sub> H <sub>16</sub>	191-24-2	268,4	525	< 0,001	0,0003	6,5
Dibenzo(a,h)antracen	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	53-70-3	278,4	524	< 0,001	0,0006	6,8
<b>Øvrige stoffer</b>							
Furan	C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O	110-00-9	68,1	31,3	-	10.000	1,34
Methylfuraner	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O	-	82,1	-	-	-	-
2-Methylfuran	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O	534-22-5	82,1	65	18.900	3.000	
Formaldehyd	CH <sub>2</sub> O	50-00-0	30,0	-21	519.000	blandbar (<55%)	0,0
Furfurylalkohol	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	98-00-0	98,1	171	53	blandbar	0,28
p-toluensulfonsyre	C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> SO <sub>3</sub> H	104-15-4	172,2	140	10	700.000	0,9
<sup>1)</sup> De fysisk/kemiske egenskaber for phenoler i vandige opløsninger er afhængige af pH, da phenoler er svage syrer <sup>2)</sup> Methylphenoler: o-, m- og p-cresol <sup>3)</sup> Dimethylphenoler: 2,3-, 2,4-, 2,5-, 2,6-, 3,4-xylenol etc. <sup>4)</sup> o-, m- og p-xylen <sup>5)</sup> 1-, 2-, 3-, 4-methylnaphthalen etc. <sup>6)</sup> 2,3-, 2,4-, 2,5-, 2,6-, 2,7-, 2,8-, 3,4-dimethylnaphthalen etc. <sup>7)</sup> Der er generelt angivet værdier gældende ved 20 - 25 °C							

Som det fremgår af oversigten i tabel 3.1 har de organiske mikroforureninger væsentligt forskellige fysisk kemiske egenskaber.

Disse egenskaber er afgørende for, hvorledes et indhold af stofferne vil fordele sig i forskellige fraktioner af overskudssand, ligesom disse egenskaber er afgørende for stoffernes mobilitet og tilgængelighed for biologisk eller abiotisk omsætning i sandet.

I relation til fordeling af stoffer er følgende delmiljøer fremherskende i overskudssand fra jernstøberier:

- luftfase: luft i ikke-vandmættede hulrum mellem sandkorn m.m.,
- vandfase: porevand i sandet evt. forøget i mængde ved befugtning af sandet i forbindelse med eksempelvis bekæmpelse af støvproblemer,
- fast fase: partikler (sandkorn m.m.) herunder især den dannede organiske resin (harpiks), der har stor evne til at adsorbere andre organiske stoffer.

De forskellige fysisk kemiske egenskaber for phenoler, BTEX'er, naphtalen og methylnaphtalener, PAH'er og p-toluensulfonsyre forårsager, at stofferne fordeles forskelligt i ovennævnte delmiljøer:

- blandt stofferne har phenoler, furan, formaldehyd, furfurylalkohol og p-toluensulfonsyre størst tendens til at opløses i vandfasen,
- blandt stofferne har formaldehyd og BTEX'erne størst tendens til at afdampe til luftfasen,
- alle stofferne på nær p-toluensulfonsyre, formaldehyd og furfurylalkohol har stor affinitet overfor den dannede resin og vil i stor udstrækning adsorbere (binde sig) hertil. Dette er særligt udtalt for PAH'erne og naphtalenerne.

Phenolerne, furfurylalkohol og p-toluensulfonsyre er således de mest mobile stoffer i overskudssandet med hensyn til udvaskning eksempelvis ved infiltration af regnvand gennem deponeret overskudssand, mens formaldehyd og BTEX'erne er de mest mobile stoffer med hensyn til afdampning fra overskudssandet.

# 4 Støbeprocessen og sandkredsløbet

Det gennemførte projekt har taget udgangspunkt i støbeprocessen som den aktuelt foregår på støberiet hos MAN B&W Diesel A/S i Frederikshavn.

Der er tilvejebragt oplysninger om sandkredsløbet ved en gennemgang af støbeprocesserne på støberiet med henblik på identifikation af forskellige sandfraktioner, og efterfølgende er der foretaget vejninger af mængderne i de enkelte fraktioner. Gennemgangen af støbeprocesserne er udført i projektets indledende fase og vejning af sandmængderne er udført i perioden fra den 11. december 2000 til den 26. januar 2001.

Identifikationen af de enkelte sandfraktioner og resultaterne af vejningen af sandfraktionerne fremgår af bilag C udarbejdet af MAN B&W Diesel A/S.

## 4.1 Støbeprocessen

Støbeprocessen i et jernstøberi består overordnet af følgende processer:

- fremstilling af modeller,
- formning (fremstilling af støbeforme og -kerner),
- smeltning af jern,
- støbning,
- udslagning,
- godsrensning.

Støbeforme og -kerner fremstilles generelt af sand og bindemidler. Det væsentligste bindemiddel hos MAN B&W Diesel A/S i Frederikshavn (MBD-F) er furansand, hvor der anvendes en furfurylalkohol / phenol / formaldehyd baseret binder, og som katalysator for den kemiske hærdning anvendes p-toluensulfonsyre.

De kemiske processer i det færdigblandede furansand danner en harpiks af polymeriseret furfurylalkohol, formaldehyd og phenol, der binder sandkornene sammen. De kemiske processer katalyseres af p-toluensulfonsyre, og dette stof indgår derfor ikke i den højmolekylære harpiks.

Efter formning og hærdning hældes smelten af flydende jern i formene, hvor det størkner under afkøling. Efter størkning slås det støbte gods ud af formene, og godset renses ved fjernelse af de sidste rester af sand, samt ved slibning eller sandblæsning.

## 4.2 Anvendelse af støbesand på jernstøberiet

I støberiet anvendes der sand til fremstilling af støbeforme og -kerner. Sandet i forme og kerner holdes sammen ved tilsætning af kemiske bindere og hærtere, der som nævnt danner en harpiks af højmolekylære forbindelser bestående af furfurylalkohol, formaldehyd og phenol.

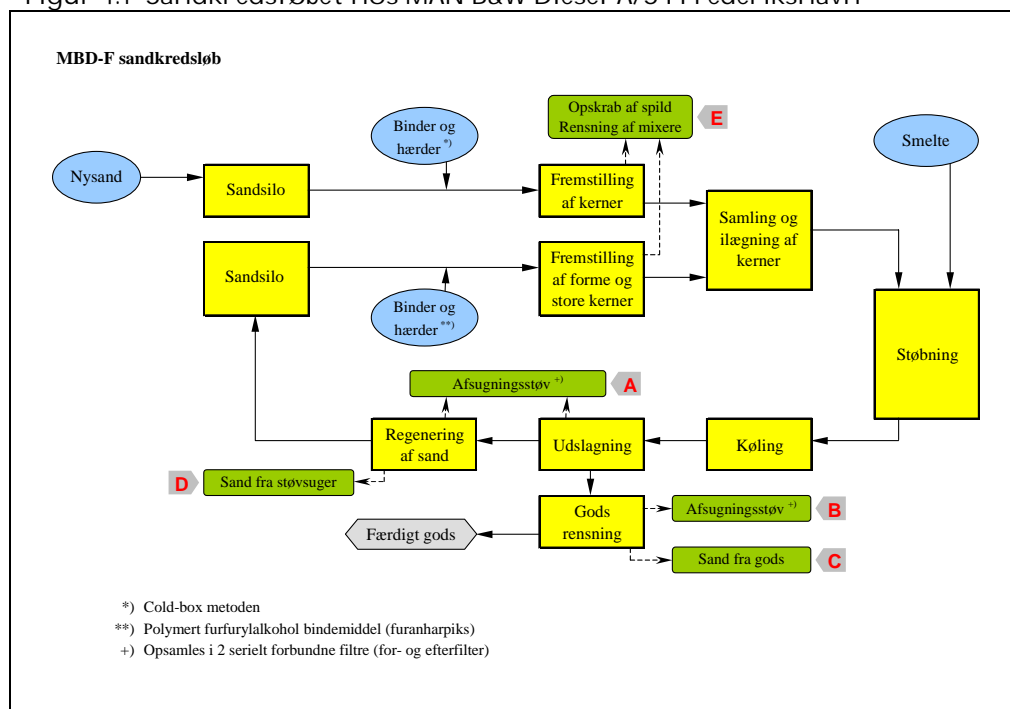


I støbeprocessen tilsættes smelten til den færdige støbeform, hvorefter formen og det støbte emne afkøles. Under støbeprocessen opvarmes sand og harpiks af smelten, og der sker en delvis pyrolyse af dele af den højmolekylære harpiks og rester af organiske forbindelser i støbesandet under dannelse af forskellige pyrolyseprodukter.

Efter afkøling slås emnerne ud af formen og de støbte emner renses, mens det anvendte støbesand regenereres. I støbeprocessen genereres forskellige fraktioner af sand og støv, og med henblik på en kemisk karakterisering af rimeligt ensartede fraktioner er sandkredsløbet hos MBD-F beskrevet og processerne identificeret.

I figur 4.1 er illustreret sandkredsløbet samt genereringen af overskudssand på MBD-F.

Figur 4.1 Sandkredsløbet hos MAN B&W Diesel A/S i Frederikshavn



### 4.3 Sandkredsløbet og generering af overskudssand

Af diagrammet i figur 4.1 fremgår de processer – hovedsagelig knyttet til fysiske arbejdssteder - hvor der genereres overskudssand eller -støv hos MBD-F. De beskrevne processer i diagrammet dækker dog over en bredere vifte af opsamlingssteder, og i bilag C er der redegjort nærmere for de fysiske opsamlingssteder, samt for fordelingen af mængderne af sand og støv fra hvert af disse opsamlingssteder.

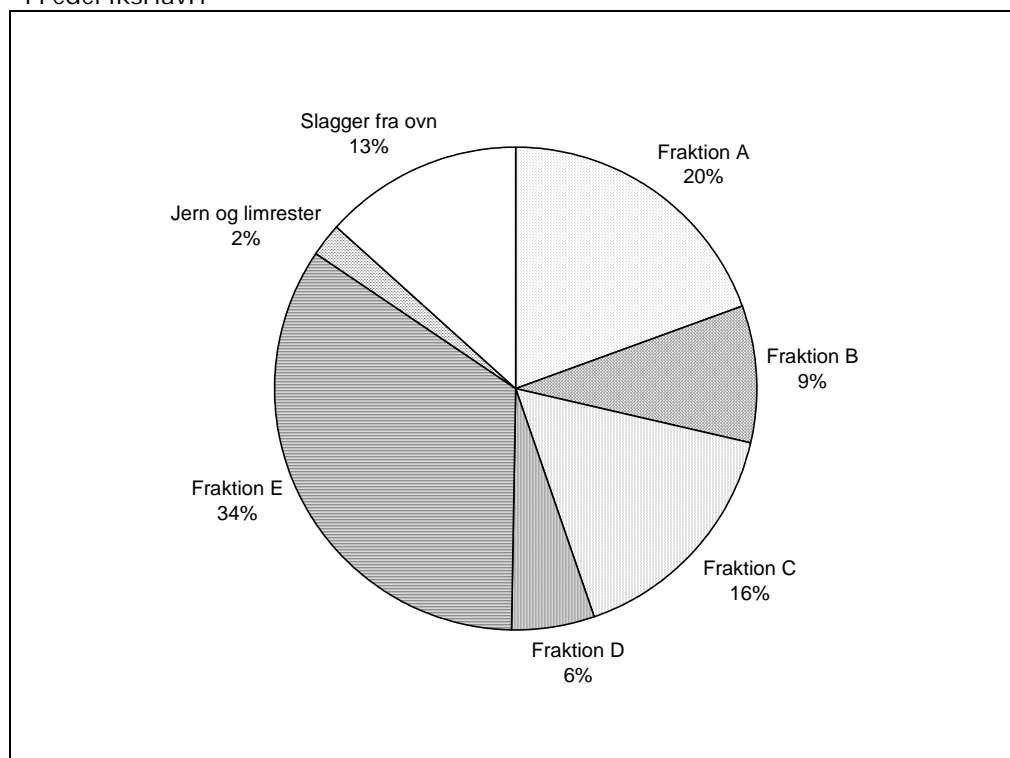
Der er i perioden 11. december 2000 til 26. januar 2001 gennemført en systematisk vejning af opsamlede mængder af sand og støv fra hvert af de identificerede opsamlingssteder hos MBD-F. Bearbejdede resultater af den systematiske vejning er vedlagt i bilag C.

På baggrund af afdækningen af sandkredsløbet er de identificerede sand- og støvpartier opdelt i følgende fraktioner:

- A. Afsugningsstøv genereret af filtre på afsugning fra udslagningen og regenereringen af sand,
- B. Afsugningsstøv genereret af for- og efterfiltre fra godsrensningen
- C. Sand fra godsrensningen
- D. Materiale fra støvsuger
- E. Opfej og spild, defekte forme og kerner, samt materiale fra rensning af miksere ved støbeforme

De opsamlede mængder fordeler sig på ovennævnte fem fraktioner A – E som vist i figur 4.2.

Figur 4.2 Fraktionering af overskudssand hos MAN B&W Diesel A/S i Frederikshavn



# 5 Analyseprogram og forsøgsplan

Der er ud fra de indhentede informationer og den gennemførte litteratursøgning, samt afdækning af støbeprocessen og sandkredsløbet hos MAN B&W Diesel A/S i Frederikshavn, udarbejdet et analyseprogram for en indledende karakterisering af de identificerede fraktioner af overskudssand og -støv.

Efterfølgende er der på baggrund af de indhentede oplysninger om mulige rensningsmetoder og en vurdering af deres egnethed, samt resultaterne af den fysiske og kemiske karakterisering af hver af de fem identificerede fraktioner, udarbejdet en forsøgsplan for undersøgelse af nedbrydningen af miljømæssigt problematiske komponenter i en af de identificerede fraktioner af overskudssand og -støv.

## 5.1 Analyseprogram

På baggrund af den gennemførte informationssøgning og ud fra viden i øvrigt om støbetekniske forhold på furansands støberier, samt resultater af tidligere gennemførte projekter med støbesand, er der udarbejdet et analyseprogram til karakterisering af kemisk bundet støbesand.

Analyseprogrammet er fokuseret på at afdække det generelle indhold af miljømæssigt kritiske indholdsstoffer i hver del af det fraktionerede støbesand, samt at beskrive fraktionernes fysiske kemiske karakteristika. Programmet omfatter en fysisk kemisk karakterisering som angivet i tabel 5.1, og en kemisk analyse for organiske komponenter som angivet i tabel 5.2, og for uorganiske komponenter (tungmetaller) som angivet i tabel 5.3.

Tabel 5.1 Analyseprogram - Karakterisering

Stofgruppe	Kvantificering
Anden karakterisering	pH
	Vandindhold
	Glødetab
	Kornstørrelsesfordeling (kornkurve)
	Komprimerbarhed
	Permeabilitet

Tabel 5.2 Analyseprogram – organiske stoffer

Stofgruppe	Kvantificering
Phenoler	Phenol Cresoler Xylenoler
BTEX'er	Benzen Toluen Ethylbenzen Xylener
Naphtalener	Naphtalen Methylnaphtalener Dimethylnaphtalener
PAH'er	Acenaphthen Acenaphthylen Fluoren Phenanthren Anthracen Fluoranthen Pyren Chrysen Benz(a)anthracen Benz(b)fluoranthen Benz(k)fluoranthen Benz(a)pyren Benzo(g,h,i)perylen Dibenzo(a,h)anthracen Indeno(1,2,3-c,d)pyren
Andre organiske mikroforureniger	Formaldehyd Methylfuraner Furfurylalkohol p-toluensulfonsyre

Tabel 5.3 Analyseprogram - metaller

Stofgruppe	Kvantificering
Metaller	Bly (Pb) Cadmium (Cd) Chrom (Cr) Kobber (Cu) Nikkel (Ni) Zink (Zn)

# 6 Karakterisering af overskudssand

Indenfor rammerne af det opstillede analyseprogram er der foretaget en karakterisering af overskudssand og -støv fra hver af de fem fraktioner A – E som beskrevet i afsnit 4.3.

Karakteriseringen af overskudssand og -støv er gennemført i projektets planlægningsfase i perioden december 2001 til juni 2002, idet der i denne periode er gennemført 3 prøvetagningsrunder hos MBD-F med henblik på at opnå et overordnet billede af variationerne i de undersøgte fraktioner. Analyserapporter for de udførte fysisk-kemiske test og analyser er vedlagt i bilag G.

Der er generelt konstateret ensartede niveauer i koncentrationerne af de undersøgte stoffer og fysiske egenskaber indenfor hver af de undersøgte fraktioner, idet pH-værdien for fraktion E dog varierer mellem pH 3,7 og pH 11. På baggrund af de generelt ensartede niveauer er der i det følgende valgt at beskrive hver enkelt af de fem fraktioner ved gennemsnitsværdierne i stofkoncentrationerne.

## 6.1 Fysisk kemiske egenskaber

De fysisk kemiske egenskaber af hver af de fem sandfraktioner fremgår af tabel 6.1.

Tabel 6.1 Karakterisering af overskudssand fra MBD-F

	Fraktion A Gennemsnit af alle målinger	Fraktion B Gennemsnit af alle målinger	Fraktion C Gennemsnit af alle målinger	Fraktion D Gennemsnit af alle målinger	Fraktion E Gennemsnit af alle målinger
<b>Kornkurve</b>					
S <sub>50%</sub> i mm	0,11	< 0,07	0,27	0,29	0,33
Uensformighedstal	-	-	2,53	2,97	2,40
<b>Glødetab</b>					
Glødetab, %	31,7	-1,8	-3,1	9,5	4,6
<b>Tørstof</b>					
Tørstof, %	98,3	99,9	100,0	99,3	99,9
<b>Komprimerbarhed</b>					
Max. tørdensitet, t/m <sup>3</sup>	1,29	2,07	2,42	1,72	1,67
Komprimeringsgrad, %	96,4	93,7	99,1	98,5	96,4
<b>Permeabilitet</b>					
Permeabilitet, m/s	9,71E-07	2,75E-07	6,78E-05	7,67E-06	1,55E-04
<b>pH</b>					
pH, sand	5,0	9,5	8,7	4,7	6,4
pH, eluat	4,7	8,6	9,4	5,0	4,5

Forventet er støvfraktionerne A og B finkornede, mens sandfraktionerne C, D og E er mere grovkornede. Fraktionerne af støv (B) og sand (C) fra godsrensningen har begge et negativt glødetab, der vurderes at skyldes et indhold af fine jernpartikler, som ved reaktion med luftens ilt og vand danner jernoxider og -hydroxider. Det største glødetab ses ikke uventet i støvfraktion A, hvor en stor del består af organisk materiale fra den dannede harpiks.

Størst densitet er konstateret i fraktionerne fra godsrensningen (B og C) og mindst densitet i støvfraktionen A. De to støvfraktioner A og B har endvidere

som forventet en lav permeabilitet, mens sandfraktionerne C, D og E har en højere permeabilitet.

I forbindelse med de gennemførte test af permeabilitet er der udført pH målinger på eluat fra testene. Der er generelt fundet god overensstemmelse mellem pH-værdier udført på stikprøver af støbesand og på eluat fra opstillingerne til test af permeabilitet. I fraktion E konstateres dog en afvigelse på op til 2 pH-enheder mellem disse målinger. En afvigelse der skyldes den i indledningen nævnte variation mellem pH 3,7 og pH 11 i prøver af sandet fra fraktion E, og som skyldes tilførsel af stærkt basisk overskudssand fra rensning af sandmixere med ammoniakvand.

Fraktionerne af støv (B) og sand (C) fra godsrensningen er generelt kendetegnet ved svagt basiske pH-værdier, mens øvrige fraktioner (A, D og E) er sure med pH-værdier fra 4,7 – 6,4.

## 6.2 Indhold af kemiske stoffer i sand

Det gennemsnitlige indhold af de undersøgte kemiske stoffer i hver af de fem sandfraktioner fremgår af tabel 6.2. Endvidere er indholdet af metaller vist i figur 6.1 og indholdet af organiske stoffer er vist i figur 6.2.

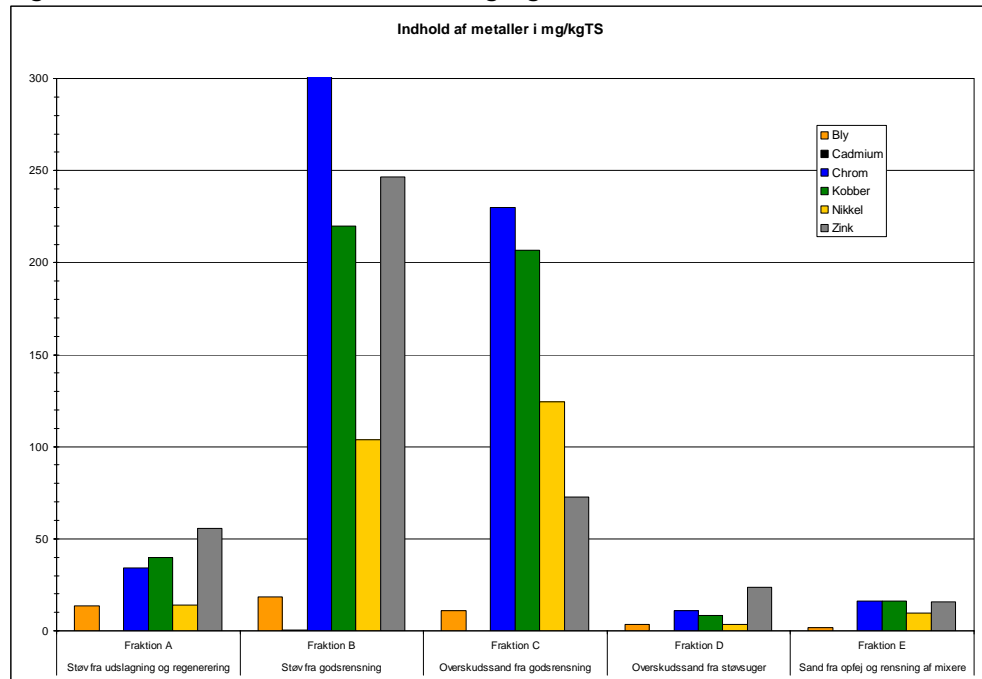
Tabel 6.2 Indhold af metaller og organiske stoffer i mg/kg TS (tørstof)

	Fraktion A Gennemsnit af alle målinger	Fraktion B Gennemsnit af alle målinger	Fraktion C Gennemsnit af alle målinger	Fraktion D Gennemsnit af alle målinger	Fraktion E Gennemsnit af alle målinger
<b>Metaller</b>					
Bly	13,67	18,33	10,77	3,55	1,70
Cadmium	0,10	0,35	-	-	0,20
Chrom	34,33	446,67	230,00	10,83	16,07
Kobber	40,00	220,00	206,67	8,17	16,33
Nikkel	13,83	104,00	124,33	3,37	9,57
Zink	55,67	246,67	72,67	23,73	15,90
<b>Sum, Phenoler</b>	40,80	10,31	0,47	16,47	30,45
<b>Sum, BTEX'er</b>	319,78	18,75	1,58	55,88	15,71
<b>Sum, Naphthalener</b>	8,55	2,10	-	2,77	0,77
<b>Sum, PAH'er</b>	1,12	0,34	-	0,79	0,16
<b>Andre organiske stoffer</b>					
Methylfuraner	0,56	0,17	-	-	0,64
Furfurylalkohol	120,25	3,18	2,20	1,28	227,50
Formaldehyd	0,53	0,27	-	0,21	1,56
p-Toluensulfonsyre	4.000,00	8,27	1,68	940,00	900,00
<b>pH og tørstof</b>					
pH	4,97	9,50	8,67	4,67	6,37
Tørstof, %	98,33	99,90	100,00	99,33	99,87

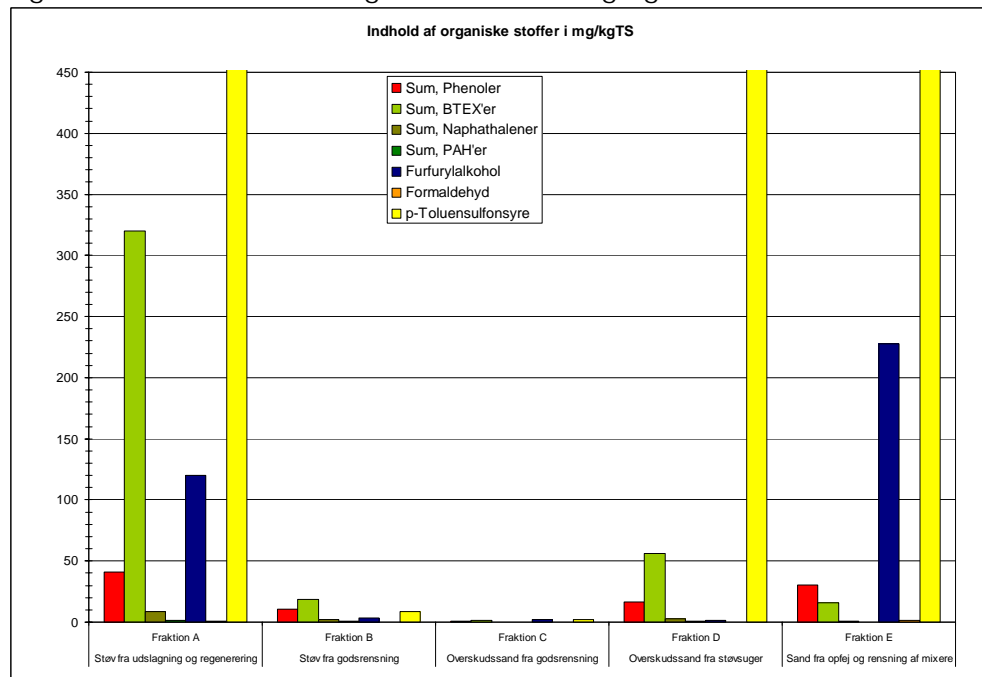
De to fraktioner fra godsrensningen (B og C) er karakteriseret ved deres forholdsvis høje indhold af tungmetallerne chrom, kobber, nikkel og zink, mens fraktionerne A, D og E er karakteriseret ved et forholdsvis højt indhold af organiske stoffer anvendt og dannet under støbeprocessen.

Koncentrationen af p-toluensulfonsyre ses væsentlig forøget i støvfraktion A, ligesom der også i denne fraktion ses et væsentligt indhold af BTEX'er, phenoler, naphthalener og PAH'er. En tydeligt mindre koncentration af disse organiske stoffer ses i fraktionerne D og E, hvor reaktanterne i den kemiske polymerisering – phenol, furfurylalkohol og formaldehyd – dog ses forhøjet i fraktion E, som har en stor andel af frisk fremstillet støbesand.

Figur 6.1 Indhold af metaller i mg/kg TS



Figur 6.2 Indhold af organiske stoffer i mg/kg TS



Toluen udgør hovedkomponenten blandt BTEX'erne, mens phenol udgør hovedkomponenten blandt phenolerne.

Ved den kemiske karakterisering er der undersøgt for indhold af 16 US-EPA PAH'er, og der er konstateret et svagt indhold af stofferne fluoren, phenanthren, anthracen og fluoranthen. Miljøstyrelsens kvalitetskriterier for PAH'er i jord er baseret på summen af 7 enkeltkomponenter, hvoraf der alene er påvist et svagt indhold af fluoranthen. Der er ikke påvist indhold af benz(a)pyren og dibenz(a,h)anthracen i nogen af prøverne.

### 6.3 Indhold af kemiske stoffer i eluat

Indholdet af vandopløselige organiske kemiske stoffer i hver af de fem sandfraktioner fremgår af tabel 6.3. De viste koncentrationer er bestemt på eluat fra de gennemførte test af permeabilitet, og resultaterne er alene et udtryk for den potentielle udvaskning af stof fra hver fraktion.

Tabel 6.3 Indhold af organiske stoffer i eluat i µg/l (\*: mg/l)

Fraktion Prøvesæt	Fraktion A 3	Fraktion B 3	Fraktion C 3	Fraktion D 3	Fraktion E 3	Det.gr.
Sum, Phenoler	91,3	162,6	4,24	233,2	710,4	0,1
Sum, BTEX'er	8,0	4,02	-	34,7	19,5	0,1
Sum, Naphthalener	0,36	1,17	-	0,80	0,44	0,1
Sum, PAH'er	-	-	-	-	-	0,1
<b>Andre organiske stoffer</b>						
Methylfuraner						0,1
Furfurylalkohol	300	50	100	20	5.000	0,1
Formaldehyd *	0,58	-	0,10	0,20	0,97	0,1
p-Toluensulfonsyre *	950	0,61	5	240	600	0,1
pH						
pH	4,7	8,6	9,4	5,0	4,5	

Udvaskningspotentialet er stort i fraktioner med indhold af frisk fremstillet sand (D og E), samt i støvfraktionerne (A og B). Fraktion C, der væsentligst indeholder sand, har et lavt udvaskningspotentiale. Resultaterne viser god overensstemmelse med de påviste koncentrationer i faststof fra hver af de 5 sandfraktioner.

### 6.4 Kemisk karakterisering

Den udførte kemiske karakterisering har afdækket koncentrationerne af kemiske stoffer i de fem fraktioner af overskudssand og -støv.

Generelt er der konstateret et lavt indhold af PAH'er og et svagt indhold af naphthalener, og som forventet er der påvist indhold af de kemiske stoffer, der udgør reaktanterne i den kemiske proces, hvorved den højmolekylære harpiks dannes. Arbejdsprocesserne, der genererer de fem forskellige fraktioner giver tydelige forskelle i fraktionernes kemiske og fysisk-kemiske sammensætning.

Godsrensningens støv- og sandfraktioner (B og C) viser et tydeligt forhøjet indhold af tungmetallerne chrom, kobber, nikkel og zink. Det forhøjede indhold af metaller i disse to fraktioner skyldes formentlig anvendelsen af stålhagl til godsrensningen, og metallerne findes formodentlig især i metallisk form som partikler af jern og stålhagl.

Udslagningens støvfraktion (A) viser et tydeligt forhøjet indhold af organiske stoffer knyttet til støv af højmolekylært harpiks, mens fraktionerne af forskellige spild og defekte forme mv. (D og E) afspejler sammensætningen i det anvendte støbesand, og for disse to fraktioner er indholdet af kemiske stoffer, der indgår i polymeriseringen, ligeledes forventeligt på et højere niveau.

En fortsat polymerisering vil formentlig for flere af fraktionerne medføre ændringer i koncentrationerne af organiske stoffer over tid.



## 6.5 Miljømæssigt problematiske stoffer

De fem fraktioner af overskudssand er ved den kemiske karakterisering undersøgt for indhold af de kemiske stoffer, der i afsnit 5.1 er identificeret som miljømæssigt kritiske indholdsstoffer. Stofferne kan i en miljømæssig sammenhæng vurderes i forhold til deres mobilitet, samt for de organiske stoffer i forhold til deres nedbrydelighed.

De opnåede resultater af den kemiske karakterisering af støbesandet er sammenlignet med Miljøstyrelsens kravværdier til ren jord vist i tabel 6.4 /7/. For stofferne metylfuraner, furfurylalkohol og p-toluensulfonsyre har Miljøstyrelsen ikke fastsat kravværdier til ren jord.

Kravværdierne skal som udgangspunkt beskytte befolkningen mod unødigt eksponering ved kontakt med jord, og kan derfor ikke direkte anvendes som kravværdier for beskyttelse af grundvand.

I tabel 6.4 er endvidere vist kravværdier for stærkt forurenede jord i hhv. Nordjyllands Amt (klasseinddeling 0, 1 og 2) /8/ og amterne på Sjælland (klasseinddeling 1, 2, 3 og 4) /9/.

Tabel 6.4 Kravværdier i mg/kg TS for udvalgte stoffer og grupper

Kemisk stof	Miljøstyrelsen	Nordjyllands Amt	Sjællandske amter
	Jordkvalitets-kriterium	Forurenede jord Klasse 2	Forurenede jord Klasse 4
Bly	40	400	400
Cadmium	0,5	5	5
Chrom	500	1.000	1.000
Kobber	500	1.000	1.000
Nikkel	30	75	100
Zink	500	1.000	1.500
Sum, phenoler	70	-	70
Sum, BTEX'er	10	20	15
Sum, naphtalener	1 <sup>a</sup>	-	10 <sup>a</sup>
Sum, PAH'er	1,5	15	75
Formaldehyd	75	-	-

<sup>a</sup> Naphtalen

### ***Immobiliserede komponenter (metaller og PAH-forbindelser)***

I alle fem fraktioner er indholdet af PAH-forbindelser mindre end Miljøstyrelsens kravværdi til ren jord.

I alle fem fraktioner er indholdet af metallerne bly, cadmium, chrom, kobber og zink ligeledes mindre end Miljøstyrelsens kravværdier for ren jord, mens indholdet af nikkel i fraktionerne B og C er større end Miljøstyrelsens kravværdier, og større end kriterierne for kraftigt forurenede jord i amterne. I disse 2 fraktioner (B og C) findes metallerne formodentlig især i metallisk form som partikler af jern og stålhagl. Udvasningen af metaller fra disse fraktioner må forventes at være ubetydelig og dermed uproblematisk.

### ***Mobile komponenter***

I fraktion C er indholdet af organiske stoffer generelt lavt og indholdet af mobile komponenter er mindre end Miljøstyrelsens kravværdier til ren jord.

I de øvrige fire fraktioner af overskudssand – A, B, D og E - er indholdet af organiske stoffer moderat til højt, og generelt er indholdet af mobile komponenter større end Miljøstyrelsens kravværdier til ren jord. De mobile komponenter omfatter BTEX'er, phenoler, naphtalener, p-toluensulfonsyre og furfurylalkohol. For p-toluensulfonsyre og furfurylalkohol er der ikke fastsat kravværdier.

Udvaskningen af mobile komponenter er konstateret at være væsentlig i fraktioner med indhold af frisk fremstillet sand og i støvfraktionerne.

#### ***Nedbrydning af organiske komponenter***

For stofgrupperne BTEX'er og phenoler er den aerobe nedbrydning god, mens den anaerobe nedbrydning som forventet er langsommere men dokumenteret. Tilsvarende forhold kan forventes for furfurylalkohol, mens p-toluensulfonsyre kan forventes at have en noget langsommere nedbrydning under både aerobe og anaerobe forhold /5/.

### 6.6 Samlet vurdering

Resultaterne af den kemiske karakterisering af de fem fraktioner af støbesand og den potentielle udvaskning af organiske stoffer fra disse fraktioner har vist, at fraktionerne B og C indeholder forhøjede koncentrationer af tungmetaller, mens fraktionerne A, B, D og E indeholder forhøjede koncentrationer af organiske stoffer, der indgår i den kemiske proces hvor der dannes en højmolekylær harpiks. Der er ikke påvist nævneværdige koncentrationer af PAH forbindelser.

Tungmetallerne i fraktion B og C findes formodentlig især i metallisk form som partikler af jern og stålhagl, og udvaskningen fra disse fraktioner må forventes at være ubetydelig og dermed uproblematisk.

De organiske stoffer i fraktionerne A, B, D og E omfatter hovedsagelig vandopløselige komponenter, og udgør de miljømæssigt mest problematiske stoffer. BTEX'erne, phenolerne og furfurylalkohol kan forventes at være biologisk let nedbrydelige under almindelige aerobe betingelser, mens nedbrydningen af p-toluensulfonsyre under disse forhold kan forventes at være mere vanskelig. Under anaerobe forhold kan nedbrydning generelt forventes at være reduceret.

Med baggrund i resultaterne af den gennemførte kemiske karakterisering, og den mængdemæssige fordeling af overskudssand og -støv hos MAN B&W Diesel A/S i Frederikshavn, er det valgt at gennemføre nedbrydningsforsøg under aerobe forhold med overskudssand fra fraktion E.

# 7 Resultater af nedbrydningsforsøg

Der er gennemført et forsøg i laboratorie skala, hvor nedbrydningen af udvalgte komponenter konstateret ved den kemiske karakterisering af overskudssand er fulgt over en periode på ca. 14 uger. Nedbrydningsforsøget er gennemført med støbesand fra fraktion E jf. afsnit 4 opsamlet hos MAN B&W Diesel A/S i Frederikshavn i perioden 24. september – 30. september 2003.

Støbesandet i fraktion E kan ud fra den indledende kemiske karakterisering forventes at have et lavt indhold af tungmetaller og et højt indhold af p-toluensulfonsyre og furfurylalkohol, samt indhold af formaldehyd, BTEX'er og phenoler. Der kan derimod ikke forventes at være nævneværdigt indhold af naphthalen og methylnaphthalener, samt methylfuraner. Endvidere forventes støbesandet i fraktion E at være svagt surt.

## 7.1 Forsøgsopstilling

Støbesandet fra MBD-F er modtaget hos Rambøll d. 2. oktober 2003 og forsøgsopstillingen er igangsat d. 3. oktober 2003. Støbesandet er modtaget i 5 separate plastikposer, hvor hver pose repræsenterer en blandingsprøve fra en dags produktion af overskudssand i fraktion E hos MBD-F. Hver pose indeholdt mellem 8,8 og 10,6 kg støbesand.

Indledningsvis er 4,3 – 5,2 kg støbesand fra hver af de modtagne blandingsprøver sammenstukket til en prøve, idet fremmedlegemer, metalstykker og klumper etc. er frasorteret. Efterfølgende er den samlede prøvemængde på godt 23 kg homogeniseret i en blandemaskine.

Billeder af forsøgsopstillingen er vedlagt i bilag D.

Fra den homogeniserede prøvemængde er der udtaget en delprøve til bestemmelse af pH for eventuel neutralisering af den samlede prøve ved efterfølgende befugtning. pH-målingen viste imidlertid at den sammenblandede prøve af støbesand var neutral med en pH-værdi på 7,42 jf. bilag E.

Endvidere er der fra den homogeniserede prøvemængde udtaget en delprøve til bestemmelse af tørstof, samt indhold af udvalgte kemiske stoffer fra forsøgsstart.

Efterfølgende er der overført ca. 4,8 – 5,0 kg homogeniseret prøvemateriale til en Büchnertragt med et filterpapir i bunden. Büchnertragten er anbragt opretstående i en plastikspand, og med en nylonslange er der tætnet mellem tragten og spanden.

Opstillingen har omfattet følgende fire forskellige forsøgsbetingelser:

- $A_0$ : blindforsøg alene med homogeniseret støbesandsprøve
- $A_1$ : befugtet støbesand, hvor der er tilsat ca. 8 % vand
- $A_2$ : befugtet støbesand der beluftes gennem hele forsøgsperioden
- $A_3$ : befugtet og podet støbesand, der beluftes gennem hele forsøgsperioden

Forsøgsopstilling  $A_3$  er podet med 100 ml aerobt aktivt slam fra rensningsanlægget Mølleåværket i Lyngby.

En samlet beskrivelse af laboratorieskala forsøgene er vedlagt i bilag F.

Forsøgsopstilling  $A_2$  og  $A_3$  er gennem hele forsøgsperioden beluftet med en fugtig luftstrøm. Beluftningen er udført med henblik på at sikre tilstrækkelig ilt til en eventuel aerob nedbrydning af de organiske forbindelser i støbesandet, samtidig med at en eventuel afdampning af organiske forbindelser fra støbesandet er søgt minimeret. Indenfor disse rammer er der foretaget en lufttilførsel ved at pumpen har været i drift i 4 perioder indenfor 1 døgn svarende til i alt 2,5 timers drifttid (1 time + 3 gange 0,5 time). Lufttilførslen er foretaget med et flow på omkring 20 ml pr. minut.

## 7.2 Prøveudtagning og analyseprogram

Der er udtaget prøver af støbesandet jf. beskrivelsen i bilag F, idet prøven fra forsøgets start dog alene er udtaget fra den homogeniserede blandeprøve efter udtagning af prøvemateriale til forsøgsopstilling  $A_0$ .

Samtlige prøver er indenfor 1 døgn efter prøvetagningen bragt til laboratoriet Eurofins i Vallensbæk for kemisk analyse. Samtlige prøver er analyseret for indhold af kemiske stoffer som anført i nedenstående tabel 7.1.

Tabel 7.1 Analyseprogram for sandprøver

Parametre	Analysemetode
Tørstof	DS204
Benzen, toluen, ethylbenzen, xylener, naphthalen, methyl-naphthalener, dimethylnaphthalener, phenol, cresoler, xyenoler, furfurylalkohol	Udrustning med dichlormethan i 16 timer. Ekstrakt analyseret ved gaskromatografi med massespektrometrisk detektor GC-MS-SIM
Formaldehyd	Opslemning i demineraliseret vand i forholdet 1:1, efterfulgt af filtrering og tilsætning af DNPH-reagens i acetonitril i forholdet 1:1. Opløsning analyseres ved HPLC/UV
p-toluensulfonsyre	Opslemning i demineraliseret vand i forholdet 1:2, og ekstraktion i 1 time på rystebord. Filtrering og analyse ved LC/MS

Efter en forsøgsperiode på ca. 14 uger er kulrør og coatede silicagel rør (aldehydrør) fra de 2 beluftede forsøgsopstillinger overført til tætsluttende Rilsanposer og sendt til analyse hos Eurofins i Galten. Kulrørene er analyseret for indhold af benzen, toluen, ethylbenzen, naphtalen og furfurylalkohol, mens aldehydrørene er analyseret for indhold af formaldehyd.

### 7.3 Forsøgsresultater

Resultaterne af de gennemførte laboratorieskala forsøg er samlet i et oversigtsskema vedlagt i bilag H, hvor også tabeller med bearbejdede resultater over tørstofmængder, stofmængder i forsøgsopstillingerne og tab af stof ved afdampning er vedlagt.

Analyserapporter for de udførte kemiske analyser på støbesandsprøver og rør er vedlagt i bilag I.

Resultaterne af de gennemførte laboratorie skala forsøg med nedbrydning af organiske kemiske stoffer i støbesandet fra MBD-F er beskrevet i det efterfølgende, idet der indledningsvis er fokuseret på validering af forudsætningerne for forsøget – herunder eventuelt tab af flygtige forbindelser, og efterfølgende er fokuseret på ændringer i stofkoncentrationer.

#### 7.3.1 Startkoncentrationer

Koncentrationerne af organiske komponenter i den homogeniserede blandeprøve af støbesand fra fraktion E er generelt konstateret at være mindre end ved den indledende karakterisering af denne fraktion.

Analyseresultaterne viser, at summen af phenoler er ca. 14 mg/kg TS og summen af BTEX'er er ca. 6,8 mg/kg TS, mens summen af naphtalener er ca. 0,2 mg/kg TS. Indholdet af alle tre stofgrupper er på et niveau omkring eller lige under halvdelen af det observerede indhold ved den indledende karakterisering.

Tilsvarende ses et lavt indhold af formaldehyd på 0,58 mg/kg TS og furfurylalkohol på 24 mg/kg TS, mens indholdet af p-toluensulfonsyre er på forventet niveau på ca. 900 mg/kg TS.

Støbesandet fra fraktion E består hovedsagelig af spild af nyligt blandet genbrugssand, nysand, binder og hærder, og der kan således forventes et varierende indhold af stoffer, der indgår i de kemiske processer under dannelse af den polymere harpiks. En væsentlig faktor i dannelsen af den polymere harpiks er reaktionstiden, og det må således forventes at koncentrationerne af de stoffer, der indgår i den polymere harpiks, falder med tiden.

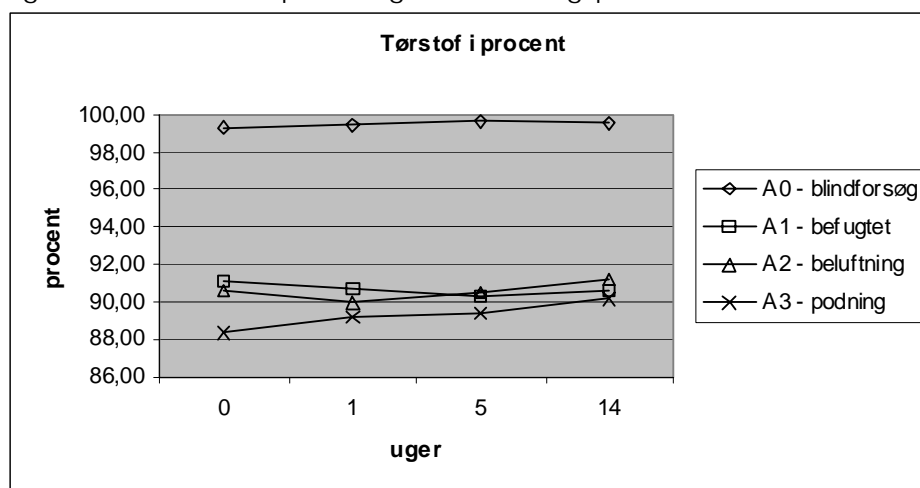
De konstaterede lave indhold af phenoler, BTEX'er, naphtalener, formaldehyd og furfurylalkohol er således forventede set i lyset af den tid der er gået mellem prøvetagningen og opstarten af laboratorie skala forsøget. Ligeledes forventet er det konstaterede indhold af p-toluensulfonsyre, der alene katalyserer polymeriseringsprocessen.

### 7.3.2 Tørstofbestemmelser

Der er udført tørstofbestemmelser ved hver prøvetagning, og på baggrund af tilsatte vandmængder til støbesandet ved laboratorieforsøgenes start er der ligeledes beregnet tørstof i procent af totalmængden i hver opstilling. Resultater af bestemmelserne og beregningerne er vist i bilag H.

I figur 7.1 er vist udviklingen i tørstofindholdet angivet som procent gennem hele forsøgsperioden på 14 uger, idet initialværdierne er beregnede på baggrund af tilsatte vandmængder.

Figur 7.1: Tørstofprocent gennem forsøgsperioden



Det fremgår af figur 7.1, at tørstof procenten i forsøgsopstilling  $A_2$  og  $A_3$  begge med beluftning er svagt stigende, svarende til et lille "forbrug" eller tab af vand gennem forsøgsperioden, mens variationerne i tørstof procenten i de øvrige opstillinger er minimale. Der er i ingen af opstillingerne observeret perkolatdannelse gennem büchnertragten, og tabet af vand i opstillingerne med beluftning vurderes derfor at være forårsaget af en svag afdampning til luftstrømmen.

### 7.3.3 Stofmængder og stoftab ved afdampning

I hver af forsøgsopstillingerne  $A_2$  og  $A_3$  begge med beluftning har der gennem hele forsøgsperioden været monteret et kulrør og et aldehydrør i serie på afgangsrøret. På kulrøret er opsamlet BTEX'er, naphthalen og furfurylalkohol, mens der på aldehydrøret er opsamlet formaldehyd.

Resultaterne af analyserne på disse rør er opgivet som opsamlede stofmængder og sammenholdt med stofindholdet i hver af de 2 forsøgsopstillinger. Resultaterne er vist i bilag H.

Der er generelt opsamlet under 1,0 procent af den samlede stofmængde fra forsøgsstart i afgangsluften, idet der dog for benzen og xylener i opstilling  $A_2$  er opsamlet omkring 3 procent af den samlede stofmængde fra forsøgsstart. Indholdet af ethylbenzen var fra forsøgsstart under detektionsgrænsen, og den opsamlede stofmængde kan derfor procentvis være større end angivet.

Endvidere må der forventes stor usikkerhed på bestemmelsen af den procentvis opsamlede mængde xylener og naphtalen, idet indholdet af disse stoffer fra forsøgsstart ligeledes er kvantificeret på et niveau svagt over detektionsgrænsen.

De opsamlede stofmængder i afgangsluften fra forsøgsopstilling A<sub>2</sub> er større end fra forsøgsopstilling A<sub>3</sub>, og indikerer således en påbegyndt nedbrydning af disse stoffer i den podede forsøgsopstilling A<sub>3</sub>.

Stofmængden af formaldehyd opsamlet i afgangsluften fra hver af de 2 forsøgsopstillinger er lav og ubetydelig i forhold til den samlede stofmængde fra forsøgsstart.

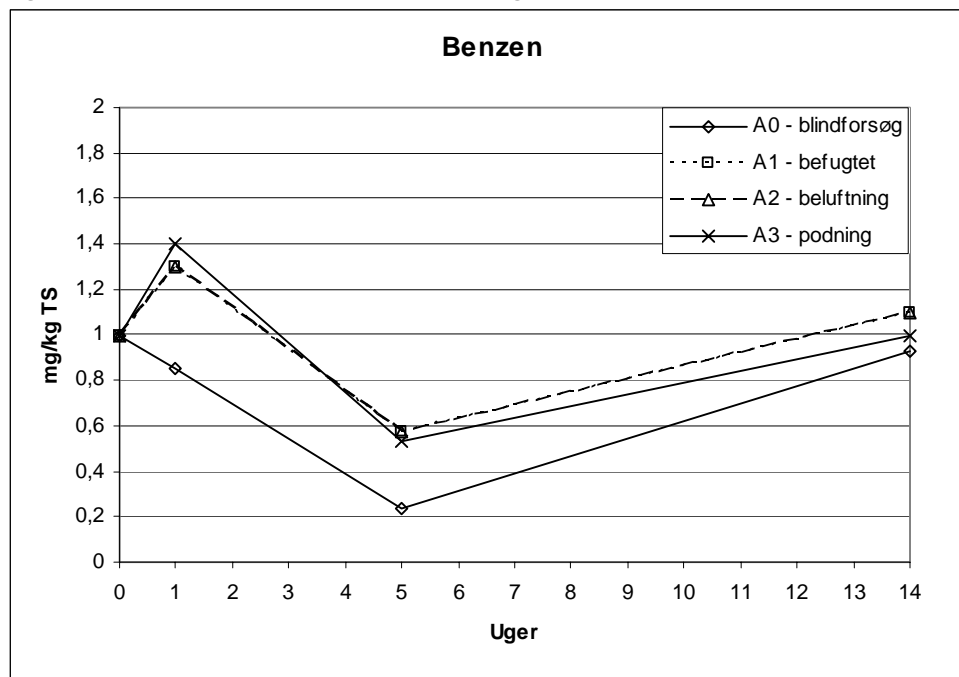
### 7.3.4 Indhold af BTEX'er og naphtalener

Koncentrationerne af benzen og toluen er gennem forsøgsperioden på 14 uger på et niveau fra ca. 5 – 70 gange detektionsgrænsen, og vurderes at være rimeligt sikkert bestemt, mens koncentrationerne af xylener og naphtalen er på op til ca. 3 gange detektionsgrænsen, og vurderes at være bestemt med nogen usikkerhed. Der er ikke påvist indhold af ethylbenzen, methylnaphtalener og dimethylnaphtalener over detektionsgrænsen.

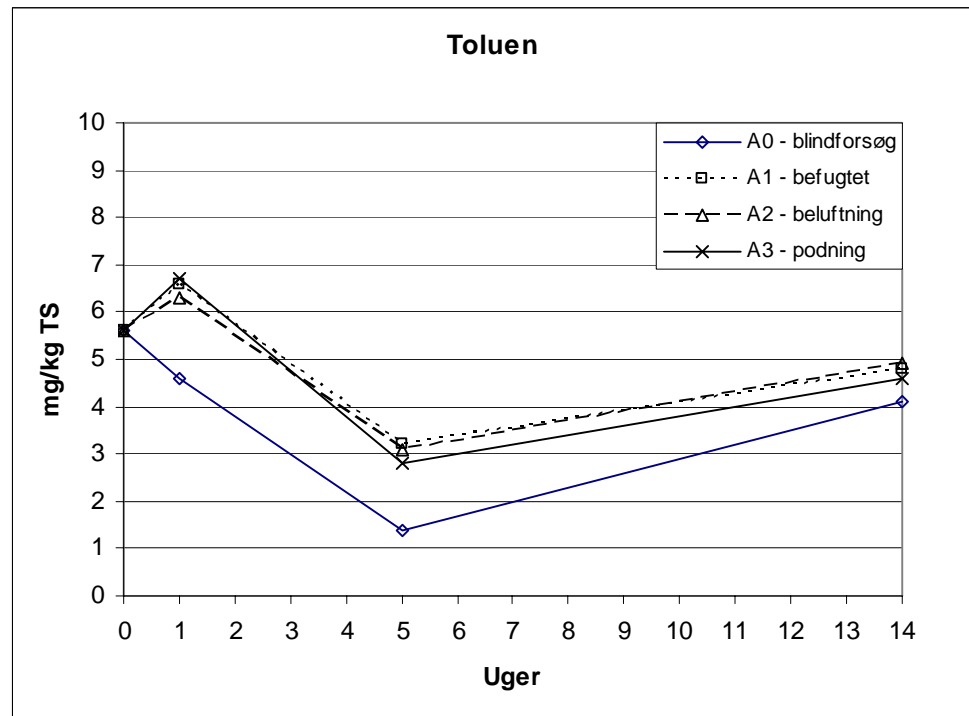
Udviklingen i koncentrationen af benzen og toluen er vist i figur 7.2 og figur 7.3.

For begge stoffer og for alle 4 forsøgsopstillinger ses et ensartet niveau ved prøvetagningerne efter hhv. 1 uge, 5 uger og 14 uger, idet startkoncentrationerne alene er bestemt ved en enkelt prøve af det homogeniserede støbesand anvendt til alle 4 forsøgsopstillinger.

Figur 7.2: Indhold af benzen i forsøgsperioden



Figur 7.3: Indhold af toluen i forsøgsperioden



Der ses gennem forsøgsperioden på 14 uger ikke nogen tegn på tab eller nedbrydning af benzen og toluen.

Udviklingen i koncentrationen af xylener og naphtalen er vist i figur 7.4 og figur 7.5.

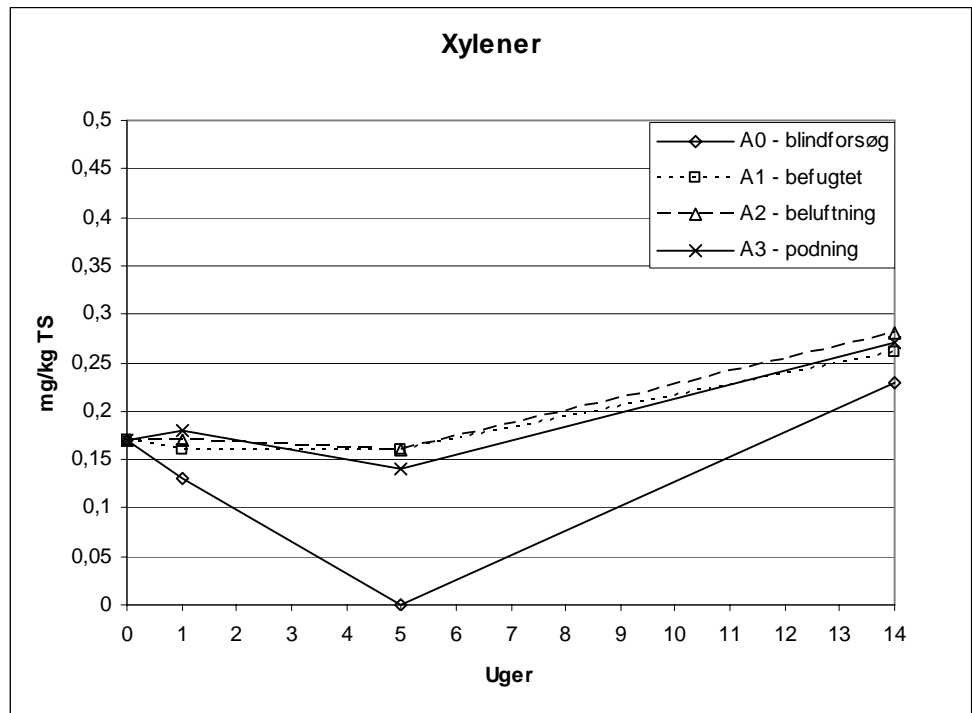
For disse stoffer og for alle 4 forsøgsopstillinger ses et ensartet niveau ved prøvetagningerne efter hhv. 1 uge, 5 uger og 14 uger.

Der ses gennem forsøgsperioden på 14 uger ikke nogen tegn på tab eller nedbrydning af xylener, og ved afslutningen af forsøget efter 14 uger ses en stigning i koncentrationerne, der ikke umiddelbart kan forklares.

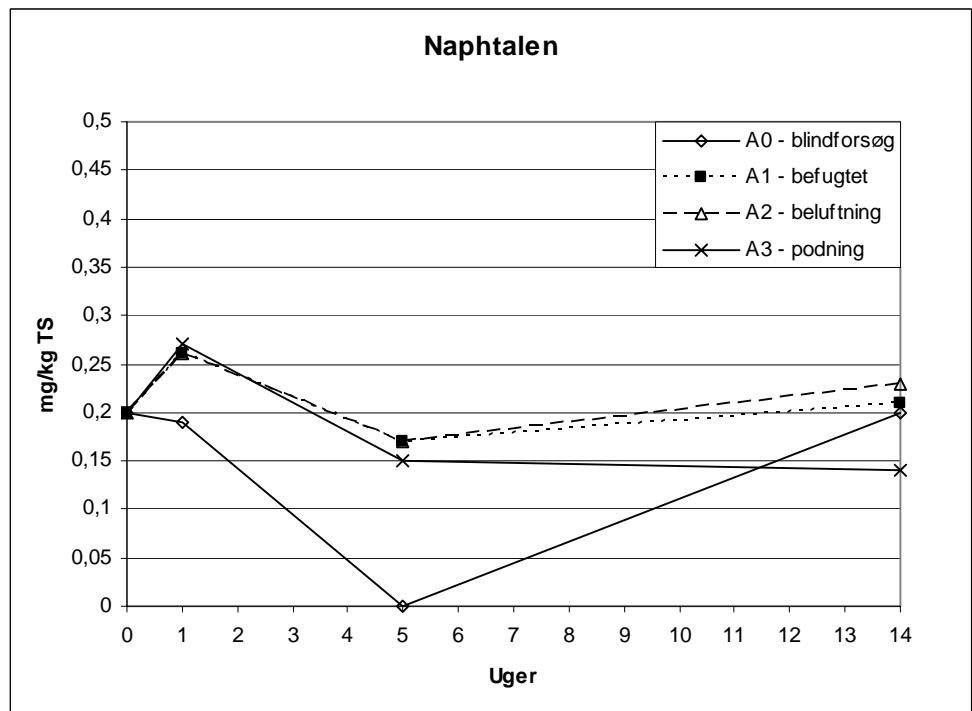
Der ses gennem forsøgsperioden på 14 uger svage tegn på tab eller nedbrydning af naphtalen, idet den podede forsøgsserie A<sub>3</sub> generelt viser et mindre fald, hvor de øvrige 3 forsøgsserier ligger på et ensartet niveau.



Figur 7.4: Indhold af xylener i forsøgsperioden



Figur 7.5: Indhold af naphtalen i forsøgsperioden

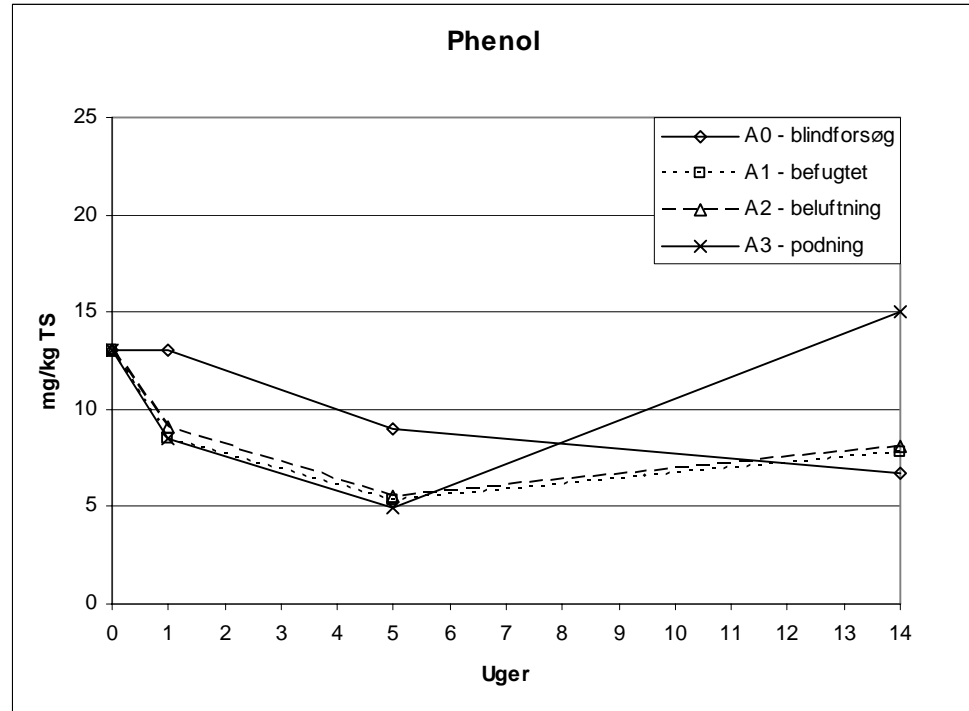


### 7.3.5 Indhold af phenoler

Koncentrationen af phenol er på et niveau omkring 10 – 15 mg/kg TS og er således sikkert bestemt, ligesom indholdet af methylphenoler (cresoler) med et niveau på omkring 4 – 12 gange detektionsgrænsen er rimeligt sikkert bestemt. Indholdet af dimethylphenoler (xylenoler) er på detektionsgrænseniveau og vurderes at være bestemt med noget større usikkerhed.

Udviklingen i koncentrationen af phenol, cresoler og xylenoler er vist i figur 7.6, figur 7.7 og figur 7.8.

Figur 7.6: Indhold af phenol i forsøgsperioden

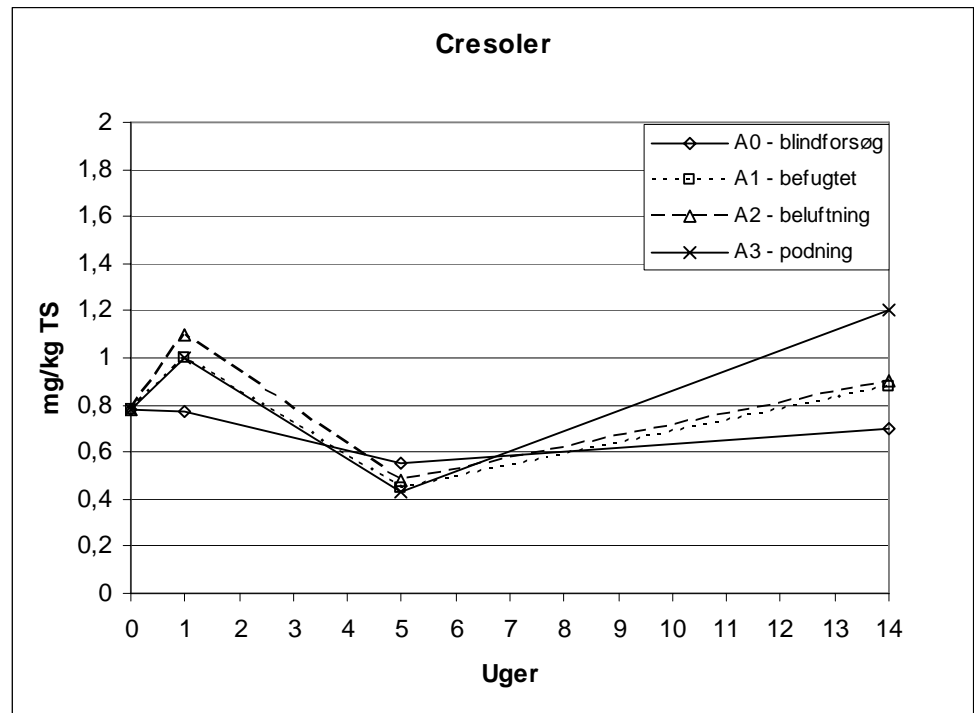


For disse stoffer og for alle 4 forsøgsopstillinger ses et ensartet niveau ved prøvetagningerne efter hhv. 1 uge og 5 uger.

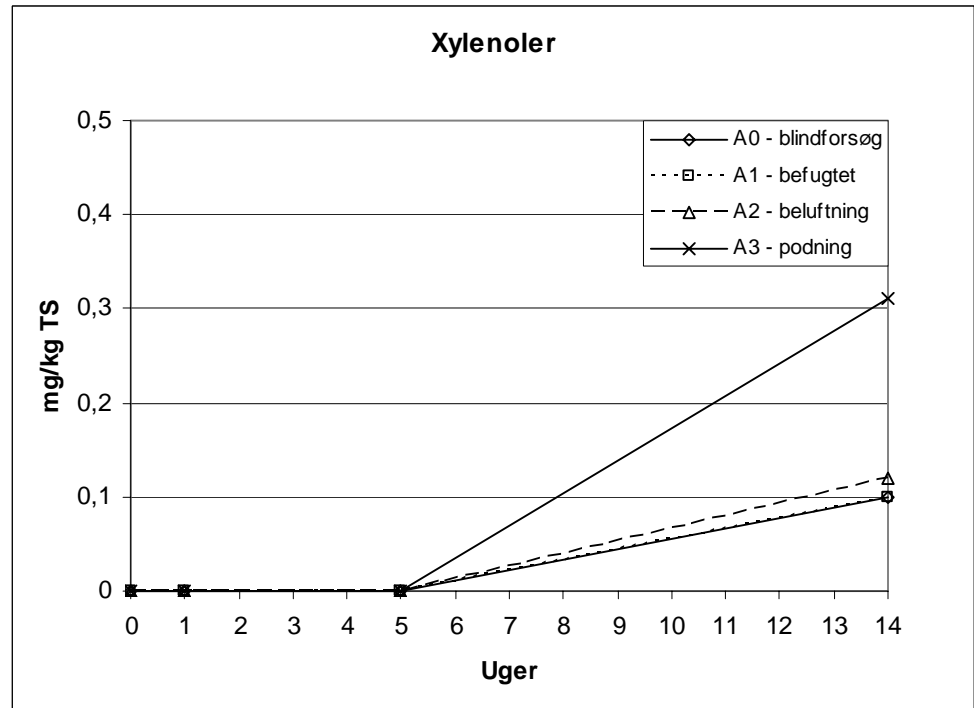
Der ses gennem forsøgsperiodens første 5 uger et generelt fald i koncentrationen af phenol i alle 4 forsøgsopstillinger, idet der dog ses et svagere fald i blindforsøget A<sub>0</sub>. Faldet i koncentrationen vurderes at være knyttet til forbrug af phenol ved fortsættelse af polymeriseringen af harpiks, og er forstærket af befugtningen.

I forsøgsopstilling A<sub>3</sub> podet med aerobt aktivt slam ses imod slutningen af forsøgsperioden en markant stigning i koncentrationen af phenol, hvilket vurderes at være udtryk for en begyndende nedbrydning af den højmolekylære harpiks, hvorved der sker en frigivelse af phenol. En noget svagere men tilsvarende tendens ses i de øvrige befugtede forsøgsopstillinger A<sub>1</sub> og A<sub>2</sub>, mens blindforsøget fortsat viser faldende koncentration af phenol.

Figur 7.7: Indhold af cresoler i forsøgsperioden



Figur 7.8: Indhold af xylener i forsøgsperioden



For cresolerne ses gennem forsøgsperiodens første 5 uger et fald i koncentrationen tilsvarende phenol, mens indholdet af xyleneoler i hele denne periode er mindre end detektionsgrænsen.

I slutningen af forsøgsperioden ses generelt en stigning i koncentrationen af både cresoler og xyleneoler, og i begge tilfælde er der en markant stigning i koncentrationen i forsøgsopstilling A<sub>3</sub> podet med aerobt aktivt slam.

Tilsvarende koncentrationen af phenol er der en tendens til en noget svagere stigning i koncentrationen af cresoler i de øvrige befugtede forsøgsopstillinger A<sub>1</sub> og A<sub>2</sub>, mens blindforsøget fortsat viser en mere stabil koncentration af disse stoffer. Stigningerne i koncentrationen af cresoler og xyleneoler efter 14 uger – specielt i forsøgsopstilling A<sub>3</sub> podet med aerobt aktivt slam – vurderes ligeledes at være udtryk for en begyndende nedbrydning af den højmolekylære harpiks med frigivelse af cresoler og xyleneoler.

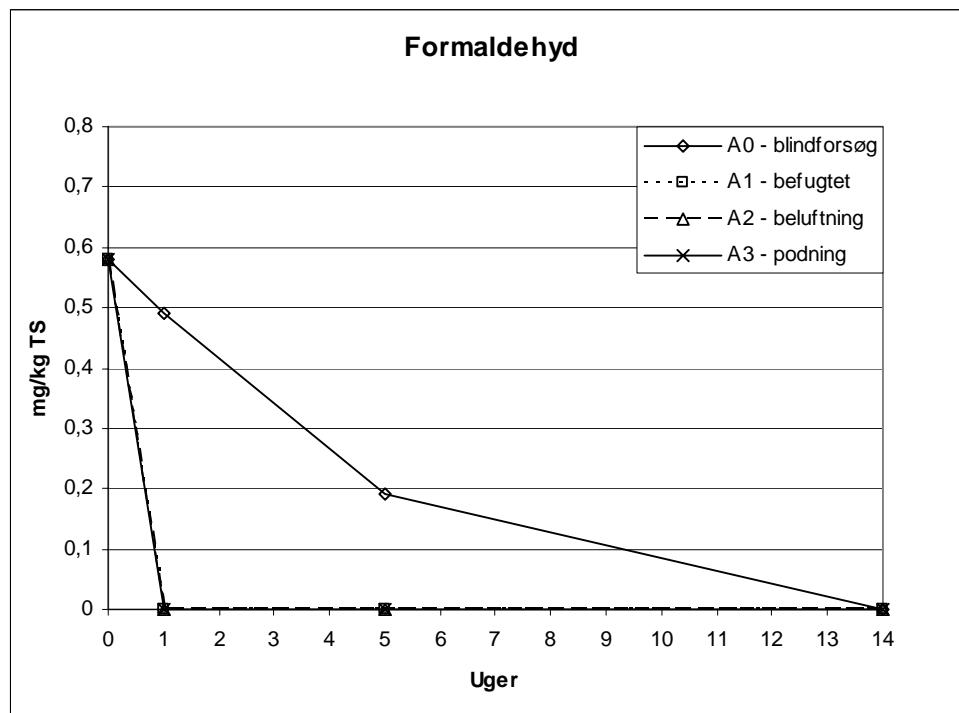
Koncentrationen af xyleneoler er efter 14 uger svagt over detektionsgrænsen i forsøgsopstillingerne A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub> og A<sub>2</sub>, mens koncentrationen ved de forudgående prøvetagninger er under detektionsgrænsen, og en sikker vurdering af udviklingen af koncentrationen af disse stoffer er derfor ikke mulig.

### 7.3.6 Indhold af formaldehyd

Koncentrationen af formaldehyd er fra forsøgsstart omkring 6 gange detektionsgrænsen og vurderes at være sikkert bestemt.

Udviklingen i koncentrationen af formaldehyd er vist i figur 7.9.

Figur 7.9: Indhold af formaldehyd i forsøgsperioden



Der ses gennem forsøgsperiodens første uge en markant reduktion i koncentrationen af formaldehyd i de 3 befugtede forsøgsopstillinger  $A_1$ ,  $A_2$  og  $A_3$  til under detektionsgrænsen, og i ingen af disse forsøgsopstillinger ses efterfølgende spor af formaldehyd. Tilsvarende ses en noget svagere reduktion i koncentrationen af formaldehyd i blindforsøget  $A_0$ , der først i perioden mellem 5 og 14 uger når under detektionsgrænseniveau.

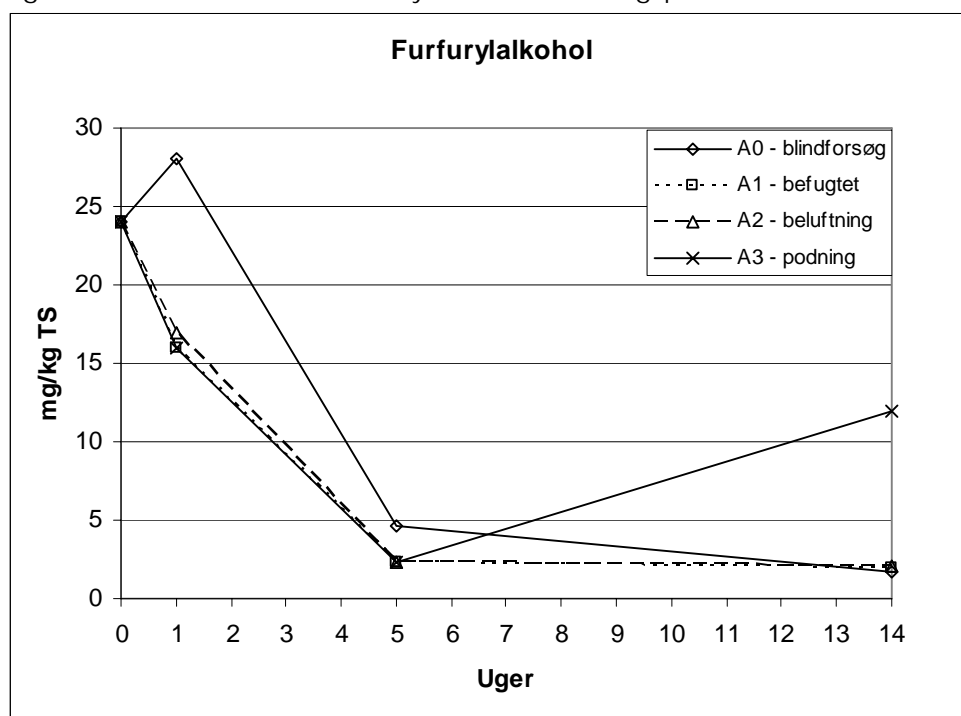
Det observerede fald i koncentrationen af formaldehyd vurderes at være knyttet til den fortsatte polymerisering af harpiks i støbesandet, og er forstærket af befugtningen.

### 7.3.7 Indhold af furfurylalkohol

Koncentrationen af furfurylalkohol er fra forsøgsstart ganske højt og vurderes at være sikkert bestemt.

Udviklingen i koncentrationen af furfurylalkohol er vist i figur 7.10.

Figur 7.10: Indhold af furfurylalkohol i forsøgsperioden



Der ses gennem forsøgsperiodens første 5 uger et markant fald i koncentrationen af furfurylalkohol, idet der også tydeligt observeres en højere koncentration i det tørre blindforsøg i forsøgsopstilling  $A_0$ . Det markante fald i koncentrationen af furfurylalkohol i denne periode vurderes at være knyttet til den fortsatte polymerisering af harpiks i støbesandet.

I forsøgsperioden fra 5 uger til 14 uger ses en generel stabilisering af koncentrationen af furfurylalkohol i forsøgsopstillingerne  $A_0$ ,  $A_1$  og  $A_2$ , mens der er en tydelig stigning i koncentrationen i forsøgsopstilling  $A_3$  podet med aerobt aktivt slam.

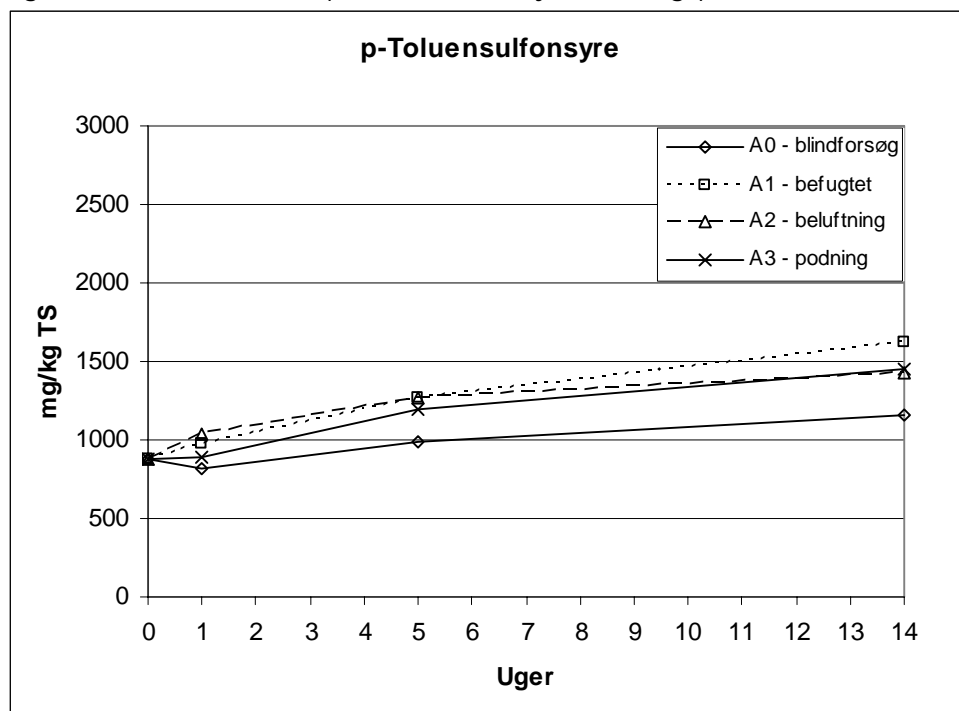
Stigningen i koncentrationen af furfurylalkohol i den podede forsøgsopstilling vurderes at skyldes nedbrydning af den højmolekylære harpiks og frigivelse af furfurylalkohol.

### 7.3.8 Indhold af p-toluensulfonsyre

Koncentrationen af p-toluensulfonsyre er fra forsøgsstart høj og vurderes at være sikkert bestemt.

Udviklingen i koncentrationen af p-toluensulfonsyre er vist i figur 7.11.

Figur 7.11: Indhold af p-toluensulfonsyre i forsøgsperioden



Der ses gennem forsøgsperioden og i alle 4 forsøgsopstillinger en ensartet og svagt stigende koncentration af p-toluensulfonsyre. Der er en svag tendens til en større stigning i koncentrationen i de 3 befugtede forsøgsopstillinger A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> og A<sub>3</sub>, mens udviklingen i blindforsøget A<sub>0</sub> er moderat.

Stigningen i koncentrationen af p-toluensulfonsyre vurderes alene at være knyttet til den fortsatte polymerisering af harpiks i støbesandet.

## 8 Konklusion

Der er gennemført en afdækning af sandkredsløbet og genereringen af overskudssand og -støv i støberiet hos MAN B&W Diesel A/S i Frederikshavn.

På baggrund af en opdeling og en kemisk karakterisering af fem fraktioner af overskudssand og -støv, der udgør omkring 85 % af den samlede mængde overskudsmateriale, er det konstateret, at to fraktioner fra godsrensningen indeholder højere koncentrationer af tungmetaller og mindre koncentrationer af en række organiske komponenter, mens en fraktion fra udslagningen indeholder lave koncentrationer af tungmetaller og høje koncentrationer af organiske komponenter. De 2 sidste fraktioner af forskelligt opfej og spild indeholder ligeledes lave koncentrationer af tungmetaller og moderate koncentrationer af organiske komponenter.

Forhøjede indhold af tungmetaller omfatter stofferne chrom, kobber, nikkel og zink, mens forhøjede indhold af organiske komponenter omfatter stofferne p-toluensulfonsyre, furfurylalkohol, formaldehyd, phenoler, BTEX'er, naphtalen og methylnaphtalener. Der er generelt ikke konstateret væsentlige koncentrationer af PAH'er i de fem fraktioner af overskudssand og -støv.

Der er konstateret forhøjede indhold af tungmetaller i støv- og sandfraktioner fra godsrensningen, hvor indholdet af partikler af jern og stålhagl fra renseprocessen formodentlig især bidrager med tungmetaller bundet på metallisk form. Forhøjede indhold af organiske komponenter er konstateret i støvfraktioner og fraktioner med indhold af frisk støbesand.

Generelt er koncentrationerne af metaller mindre end kvalitetskriterierne for ren jord, men i støv- og sandfraktionerne fra godsrensningen er indholdet af nikkel dog større end kvalitetskriteriet for lettere forurenede jord. Koncentrationerne af de organiske stoffer BTEX'er, phenoler og naphtalener overskrider kvalitetskriterierne for lettere forurenede jord. De påviste organiske stoffer er vandopløselige og kan forventes at være biologisk nedbrydelige under aerobe forhold, om end oplysningerne om nedbrydning af p-toluensulfonsyre er noget varierende.

De miljømæssigt mest problematiske stoffer identificeret i overskudssand fra støberiet er stofgrupperne BTEX'er og phenoler, samt enkeltstofferne p-toluensulfonsyre og furfurylalkohol. Disse organiske stoffer er hovedsagelig konstateret i støvfraktioner og i fraktioner med indhold af frisk støbesand.

Fraktionen af opskrab, opfej fra gulve og defekte forme mv. udgør ca. 34 % af den samlede mængde af overskudssand og -støv. Denne fraktion har et lavt indhold af tungmetaller og et moderat indhold af organiske komponenter anvendt til at danne den højmolekylære harpiks, der binder sandet sammen til støbeforme.

Med henblik på at nedbringe koncentrationerne af organiske stoffer i overskudssand fra denne fraktion er der gennemført et laboratorie forsøg, hvor ændringerne i koncentrationen af de væsentligste kemiske stoffer i sandet

er fulgt over en 14 ugers periode. Laboratorieforsøget er opstillet således, at effekten af hhv. befugtning, beluftning og podning med bakterier har kunnet følges.

Resultaterne af laboratorieforsøgene viser, at der indenfor den undersøgte tidsperiode generelt ikke er observeret tydelige tegn på nedbrydning af de undersøgte organiske stoffer.

For stofferne formaldehyd, furfurylalkohol og gruppen af phenoler er der tydeligt konstateret en reduktion i koncentrationerne, hvilket hovedsagelig tilskrives en fortsat polymerisering i forsøgsperioden. Den observerede reduktion i koncentrationerne af disse stoffer er sammenhængende med en svag stigning i koncentrationen af p-toluensulfonsyre, der fungerer som katalysator for polymeriseringsprocessen.

For stofferne benzen, xylener og naphtalen er koncentrationerne i forsøgsopstillingen på meget lavt niveau, og indholdet er derfor mere usikkert bestemt. Der er dog ikke observeret tegn på nedbrydning af disse stoffer ved eksempelvis manglende påvisning mod slutningen af forsøgsperioden.

For stoffet toluen er koncentrationen gennem første del af forsøgsperioden faldende, men efter den sidste prøvetagning er indholdet igen stigende. Der er således ikke tegn på nævneværdig nedbrydning af toluen.

For gruppen af phenoler og furfurylalkohol er der tegn på stigende koncentrationer i den podede opstilling efter en periode på 14 uger. Phenolerne og furfurylalkohol udgør grundstrukturen i den højmolekylære harpiks, og stigningerne i koncentrationen af disse stoffer i den podede opstilling tyder således på en begyndende dekomponering af den højmolekylære harpiks.

Konklusionerne på de gennemførte undersøgelser er således, at overskudssand og -støv fra et furansands støberi indeholder rester af de organiske stoffer, der er anvendt til at danne den højmolekylære harpiks ved polymerisering.

I støberiet hos MAN B&W Diesel A/S i Frederikshavn er der hovedsagelig tale om katalysatoren p-toluensulfonsyre, samt polymerkomponenterne furfurylalkohol, phenol og formaldehyd. Endvidere forekommer der indhold af benzen, toluen og xylener, naphtalen og methylerede naphtalener, samt i mindre grad enkelte PAH forbindelser.

Konklusionerne på de gennemførte nedbrydningsforsøg er, at indenfor en periode på 14 uger er der ikke konstateret en væsentlig reduktion i koncentrationerne af benzen, toluen, xylener og naphtalen. Koncentrationen af p-toluensulfonsyre er svagt stigende indenfor denne periode, og samtidig ses en fjernelse af phenoler, furfurylalkohol og formaldehyd, hvilket tolkes som en fortsat polymerisering i opstillingen gennem forsøgsperioden.

For gruppen af phenoler og for furfurylalkohol ses i den podede opstilling en stigning mod slutningen af den 14 uger lange forsøgsperiode, og denne udvikling tolkes som en begyndende dekomponering af den højmolekylære harpiks.



## 9 Referencer

- /1/ Miljøstyrelsen, 1997  
Et debatoplæg om erhvervsaffald og udvalgte affaldsstrømme
- /2/ Miljøstyrelsen og Vald. Birns Jernstøberi A/S, 1997  
Nedbringelse af phenoler m.m. i støbesand
- /3/ Mackay, D., W.Y. Shiu & K.C. Ma, 1992  
Illustrated Handbook of Physical-Chemical properties and Environmental fate for Organic Chemicals. Vol. I.  
Monoaromatic Hydrocarbons, Chlorobenzenes and PCBs.
- /4/ Mackay, D., W.Y. Shiu & K.C. Ma, 1992  
Illustrated Handbook of Physical-Chemical properties and Environmental fate for Organic Chemicals. Vol. II.  
Polynuclear Aromatic Hydrocarbons, Polychlorinated Dioxins, and Dibenzofurans.
- /5/ Verschueren, K., 1996  
Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals. Third Edition
- /6/ Miljøstyrelsen, 1995  
Toksikologiske kvalitetskriterier for jord og drikkevand.  
Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen nr. 12, 1995
- /7/ Miljøstyrelsen, 1998  
Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind  
Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 6, 1998
- /8/ Nordjyllands Amt, 2001  
Vejledning om håndtering af overskudsjord.
- /9/ Amterne på Sjælland og Lolland/Falster samt Frederiksberg og Københavns Kommune, juli 2001  
Vejledning i håndtering af forurenede jord på Sjælland.



# Bilag



## Resumeer af referencer



Amternes Videncenter for Jordforurening, 1997.  
Branchebeskrivelse for jern- og metalstøberier.  
Teknik og administration, 1997.

***Rapporten er en generel branchebeskrivelse udarbejdet med henblik på amternes undersøgelser af jord- og grundvandsforurening i forbindelse med kortlægning af forurenede arealer m.v. Rapporten omfatter bl.a. en overordnet gennemgang af branchen og den historiske udvikling heraf samt forslag til analyse-programmer ved forureningsundersøgelser. Af relevans for furansands støberier peges der på følgende analyseparametre: Metaller (bly, cadmium, chrom, kobber, nikkel og zink), aromatiske stoffer fra opløsningsmidler (benzen, toluen og xylener), phenoler (phenol, cresoler og xylenoler) samt specifikke stoffer (formaldehyd, furfurylalkohol og p-toluensulfonsyre).***

Baier, J., 1991.  
Stand der Entwicklungsarbeiten zur Verminderung der PAH-bildung in Bentonitgebundenen Formsanden.  
Artikel fra Giesserei 78, Nr. 11, Mai 1991.

***Der må forventes lavere indhold af PAH'er i furansand end i bentonitbundet sand, idet pyrolyse af kulmel (især stenkulsmel) under støbningen udgør en væsentlig kilde til dannelsen af PAH'er sandet. Dannelse sker ved temperaturer under 700 °C.***

Bradke, H. J. & H. Hansonis-Jouleh., 1993.  
Untersuchungen zur umweltrelevanten Beurteilung von Formstoffen für die Form- und Kernherstellung. TEIL III.  
Institut für Gewerbliche Wasserwirtschaft und Luftreinhaltung E.V.

***En række typer af overskudssand er undersøgt. Herunder er der udført udvaskningsforsøg med disse. Blandt sandtyperne er repræsenteret afstøbt furansand. Der er fundet indhold af phenoler, formaldehyd og kulbrinter i vand fra udvaskningsforsøg med furansand.***

Carey P. R. & Lott, M., 1995.  
Sand Binder Systems Part V - Furan No-Bake.  
Artikel fra Foundry management & Technology, July 1995.

***Artiklen omfatter en gennemgang af anvendelsen af furansand (furan no-bake). Herunder nævnes også de forskellige syrer, der anvendes som katalysatorer for hærdningen af furansand (phosphorsyre, toluensulfonsyre, xylensulfonsyre og benzensulfonsyre). Ved mekanisk genanvendelse af furansand kan mere end 90 % genanvendes. Ved anvendelse af termisk eller mekanisk/termisk genindvinding kan 100 % genanvendes. Der kan forekomme arbejdsmiljøproblemer med frigivelse af formaldehyd og phenol fra sandet. Phenol nævnes også som udvaskelig fra affaldssand.***

Chelsea Center for Recycling and Economic Development, 2000.  
Characterization of Foundry Sand Waste. Technical Report # 31.  
University of Massachusetts. October 2000.

***Manglende kemisk karakterisering af brugt støbesand udgør en begrænsende faktor for optimal genanvendelse af sandet. Det primære mål med undersøgelsen har derfor været karakterisering af støbesand. Det blev fundet, at udvaskning af metaller fra støbesand generelt var lav og på niveauer under gældende grænseværdier. Højeste niveauer blev fundet for chrom, bly, kobber, zink, nikkel og cadmium. For furansand blev der tilsvarende fundet lav udvaskning af organiske stoffer. Ved udvaskning blev der primært fundet indhold af BTX'er samt syre anvendt til hærkning (her benzoesyre).***

Ham, R. K., W. C. Boyle & T. P. Kunes, 1981.  
Leachability of Foundry Process Solid Wastes.  
Artikel fra Journal of the Environmental Engineering Division, vol. 107,  
1981.

***Der er udført udvaskningsforsøg med støbesand herunder furansand. Udvasning er dokumenteret ved indhold i vandet af BOD (biologisk iltforbrug), COD (kemisk iltforbrug) og metaller (herunder tungmetallerne kobber (Cu), zink (Zn) og chrom (Cr)).***

Ham, R. K., W. C. Boyle, E. C. Engroff & R. L. Fero, 1989.  
Determining the Presence of Organic Compounds in Foundry Waste  
Leachates.  
Artikel fra Modern Castings I, July 1989.

***Formålet med studiet var at undersøge indhold af organiske stoffer i overskudssand fra jernstøberier. Studiet omfattede bl.a. overskudssand fra et støberi, som anvender furansand ("furan no-bake"). Analyserne blev udført ved GC/MS og GC/FID. I furansand blev der primært fundet indhold af furanforbindelser, BTEX'er samt syre anvendt til hærkning (her benzoesyre).***



Ham, R. K., W. C. Boyle, E. C. Engroff & R. L. Fero, 1993.  
Organic Compounds in Ferrous Foundry Process Waste Leachates.  
Artikel fra Journal of Environmental Engineering, Vol. 119 (1), 1993.

***Indhold af organiske stoffer er undersøgt i vand fra udvaskningsforsøg med overskudssand fra jernstøberier. Studiet omfattede bl.a. overskudssand fra et støberi, som anvender furansand ("furan no-bake"). Udvasningen er udført ved US EPA's TCLP metode ("Toxicity Characteristic Leaching Procedure"). I vand fra udvaskning af furansand blev der fundet indhold af BTX'er samt syre anvendt til hærkning (her benzoesyre).***

Herzschuh, R. & L. Kolb, 1984.  
Die Bestimmung von Organischen Schadstoffen in der Luft und in Altsanden von Eisengießereien.  
Artikel fra Wissenschaftliche Zeitschrift der Karl-Marx-Universität, Leipzig, 1984.

***Det har været målet med artiklen at identificere indhold af organiske forurenende stoffer i overskudssand fra jernstøberier herunder især stoffer dannet som pyrolyseprodukter under støbningen. Ved forsøg med furansand er der som pyrolyseprodukter fundet furan, methylfuraner, BTEX'er, naphthalener og PAH'er.***

Javed, S. & Lovell, C. W., 1995.  
Uses of Waste Foundry Sands in Civil Engineering.  
Artikel fra Transportation research record, 1486. 1995.

***Artiklen behandler forskellige typer sand fra jernstøberier med fokus på mulighederne for genanvendelse som fyldmaterialer m.m. Kemisk bundet sand accepteres til genanvendelse ved udførelse af udvaskningstest. Dog anbefales der yderligere undersøgelser af indhold af kemiske og organiske additiver inden genanvendelse.***

Javed, S., Lovell, C. W. & Wood, L. E., 1994.  
Waste Foundry Sand in Asphalt Concrete.  
Artikel fra Transportation research record, 1437. 1994.

***Her nævnes, at støbesand kan anvendes som geoteknisk fyldmateriale og som supplement af fint materiale til asfalt. For asfalt viser forsøg dog, at max. 15 % af det fine materiale må bestå af støbesand. Artiklen indeholder desuden oplysninger af geoteknisk karakter om støbesand.***

Kauffmann, P. & Voigt, R., 1997.  
Modeling Foundry Air Emissions.  
Artikel fra Modern Casting, Vol 87 (5). 1997.

***I denne artikel er indsamlet emissionsdata fra et jernstøberi, der bl.a. anvender coldbox-kerner. Der blev målt emissioner ved ophædnings- og kølearealer. Der blev målt for benzen og VOC (totalindhold af flygtige stoffer). Det viste sig, at tilstedeværelse af sand fra coldbox kerner øgede emissionerne, især af benzen.***

Lahl, U., 1992.  
Recycling of waste foundry sands.  
Artikel fra The Science of the Total Environment, Elsevier Science  
Publishers B.V., Amsterdam, 1992.

***I artiklen anføres det, at grundet indhold af PAH'er i overskudssand kan deponering eller genanvendelse af sandet være problematisk. Det anføres, at organiske bindersystemer f.eks. som anvendt til furansand kan danne PAH'er som pyrolyse-produkter opstået under støbningen. Pyrolyse-produkterne dannes ved temperaturer på 300 – 700 °C under reducerende betingelser. Der er fundet indhold af PAH'er i sand fra tyske støberier på 0,4 - 228,9 mg PAH/kg sand. Der er givet estimater på omkostninger ved regenerering af overskudssand til genanvendelse i støberier på mellem 95 og 105 DM/tons sand.***

Lytle, C. A., Bertsch, W. & McKinley, M., 1998.  
Determination of novolac resin thermal decomposition products by pyrolysis-gas chromatography-mass spectrometry.  
Artikel fra Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Vol. 45(2), 1998.

***Heri beskrives resultater af pyrolyse af et bindemiddel ofte anvendt på støberier. Bindemidlet dannes ved polymerisering af phenol med formaldehyd. Efterfølgende krydsbindes og hærdes det. Kontrolleret pyrolyse af bindemidlet kan anvendes som model for emissionen af VOC'er på støberier. Resultatet af pyrolysen viser, at der dannes benzen, toluen, phenol, methylphenoler, naphthalen, methylnaphthalener og PAH'er samt nogle meget letflygtige organiske forbindelser som methan, ethen og propen.***

Miljøstyrelsen, 1990.  
Prioritering af lossepladser og kemikalieaffaldsdepoter.  
Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen dateret maj 1990.

***For overskudssand fra furansand (kemisk bundet sand) nævnes phenol, formaldehyd samt syre anvendt til hærkning (f.eks. toluensulfonsyre og phosphorsyre) som forureningskomponenter.***

Miljøstyrelsen, 1996.  
Status for produktion og disponering af restprodukter og jord.  
Miljøprojekt nr. 334. 1996.

***I denne rapport beskrives blandt andre emner anvendelsen af phenol- og furansand i Danmark. En analyse af sandet viser indhold af tungmetaller, BTEX'er, phenol, cresoler og PAH'er.***

National Engineer, 1998.  
Navistar foundry recycles 350 tons a day of dust and spent sand into usable product.  
Artikel fra National Engineer, Vol. 102 (1), 1998.

***Denne artikel beskriver et anlæg der kan homogenisere støbesand og støv. Disse to fraktioner kan blandes med vand i et ønsket forhold, fra rent sand og vand til rent støv og vand. Herefter forventes materialet at kunne anvendes i asfalt, beton og cement eller som opfyldning ved vejprojekter.***

Orkas, J., 2000.  
Re-use of Foundry Sand in Scandinavia.  
Artikel fra 12<sup>th</sup> AFS International Environmental, Health & Safety Conference, October 2000.

***Målet med arbejdet har været at analysere indhold af forurenende stoffer i støbesand almindeligvis anvendt i Skandinavien herunder bl.a. furansand. I alle analyserede prøver blev der fundet mindre indhold af phenoler og PAH'er.***

Partridge, B. K., Fox, P. J., Alleman, J. E. & Mast, D. G., 1999.  
Field demonstration of highway embankment construction using waste foundry sand.  
Artikel fra Transportation Research Record, Vol 1670. 1999.

***I artikel beskrives et genanvendelsesprojekt med sand fra et jernstøberi. Sandet er indbygget i en vold under en motorvej. Til sammenligning er almindeligt sand indbygget i halvdelen af volden. Foruden geotekniske egenskaber blev der nedenfor volden udtaget perkolatprøver fra borer og med lysimeter. Vandprøverne er undersøgt for toksisk effekt (Microtox og Nitrotox) samt indhold af ioner (F, Cl, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> og NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) og 11 metaller. Det viste sig at vandet under støbesandet ikke var mere toksisk og ikke havde højere indhold af metaller end vandet under det almindelige sand. Der var tegn på øgede koncentrationer af F og SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> under støbesandet. Koncentrationerne var dog under de fastsatte grænseværdier for genanvendelse. Det største problem i forbindelse med støbesandet var håndteringen af dette under anlæggelsen af volden. Især var støv et stort problem. Det anbefales at undersøge indholdet af organiske komponenter i sandet, da disse kan hænge sammen med de toksiske effekter, der kan evt. observeres.***

Trombly, J., 1995.  
Recasting a Dirty Industry.  
Artikel fra Environmental Science and Technology, Vol 29 (2). 1995.

***Artiklen her beskriver tiltag til et program til reduktion af emissioner fra støberier i USA. Især aromater som toluen, xylener, phenol og naphthalen ventes at kunne påvises i betydelige mængder. Støbningsprocessen er skitseret og forventede emissionskilder er markeret. Især forventes problematiske emissioner at opstå, når det organiske bindemiddel, der er tilsat støbesandet, bliver opvarmet af det varme metal. Herved fordamper bindemidlet og danner toksiske komponenter.***

US EPA, 1998.  
Profile of the metal Casting Industry.  
EPA Office of Compliance Sector Notebook Project, 1998.

***I denne rapport findes detaljerede beskrivelser af mange støberiprocesser og de emissioner og restprodukter de medfører. Kemisk bundet sand beskrives at forårsage følgende emissioner: Partikler, metaloxid, carbonmonooxid, ammoniak, hydrogen sulfid, hydrogen cyanid, svovldioxid, nitrogen oxid og små mængder af andre farlige gasser (HAPs). Produktionens spildevand kan indeholde metaller, phenoler og andre organiske stoffer stammende fra støvopsamlings systemer og vandafkøling af forme. Det støbesand, der ikke længere kan anvendes, indeholder metal og rester af kemisk bindemiddel.***

## Kontakter vedr. renseteknikker





«Company»  
«Address1»  
«PostalCode» «City» «State»  
«Country»  
Attn: «FirstName» «LastName»

RAMBØLL  
Teknikerbyen 31  
DK-2830 Virum  
  
Phone: +45 4598 8300  
Direct phone: +45 4598 8652  
Fax: +45 4598 8525  
E-mail: jna@ramboll.dk  
www.ramboll.dk

### Spent moulding and core sand from iron foundries

On behalf of the Danish Environmental Agency and a Danish iron foundry, we wish to make an inquiry regarding remediation of a waste fraction of spent moulding and core sand. For production of moulds and cores the foundry only uses chemically bonded sand.

Date 2001-07-19  
Initials LST/JNA  
Job 991571  
Ref.No. 512-010793

The fraction of concern consists of spent moulding and core sand (including collected dust) and is, therefore, characterized by very low water content and content of a large fraction of small particle size. Due to use of acid catalyst in the binder process, the pH of the waste sand is typically below 4. Loss of ignition values for the waste sand are typically below 5 %.

The critical contaminants in the waste sand are expected to be as listed below:

#### *Organic compounds:*

Phenols:	Phenol, Creosols, and Xylenols.
BTEX's:	Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes.
Naphthalenes:	Naphthalene, Methylnaphthalenes, and Dimethylnaphthalenes.
PAH's:	Phenanthrene, Pyrene, Benz(a)pyrene, etc. (e.g. the 16 PAH's suggested by U.S. EPA).
Other organic micro pollutants:	Furfuryl alcohol, p-Toluenesulfonic acid, and Formaldehyde.

#### *Metals:*

Cadmium (Cd).  
Chrome (Cr).  
Nickel (Ni).  
Lead (Pb).  
Zinc (Zn).  
Copper (Cu).

Affiliated to FIDIC  
CVR-NO 35128417

The organic compounds are expected to be the most critical contaminants and should therefore be the target compounds when deciding the treatment technology.

The overall target of the treatment is to achieve a product that does not require disposal onto a controlled landfill but can be reused as e.g. construction material.

In the light of the above-mentioned characteristics we would like information on the potential employment of the treatment technology/technologies you can provide. Besides a short description of the method(s), we would like to have information from you on the following:

- Any experiences you might have with treating the material concerned or similar.
- Contaminants treated with your treatment technology/technologies.
- Scale of the treatment technology/technologies.
- Achieved treatment efficiencies.
- Technology limitations.
- Estimated treatment costs e.g. pr. metric ton treated material.

In case your technology is applicable to the current treatment task, we would like information on your possibilities to conduct bench or pilot scale experiments too. These experiments should be in the order of magnitude of 10-100 kg waste sand.

If any further information on the waste sand is needed please do not hesitate to contact us.

Please send your data by mail to:

RAMBØLL  
Teknikerbyen 31  
DK - 2830 Virum  
Denmark  
Attn: Jens Nonboe Andersen

Or by e-mail to: [jna@ramboll.dk](mailto:jna@ramboll.dk)

We look forward to hear from you soon.

Yours faithfully,  
RAMBØLL

Jens Nonboe Andersen  
Head of Department



Company	FirstName	LastName	Job Title	Address1	City	State	PostalCode	Country	WorkPhone
Duratherm, Inc.	Brad	Hogan	Vice President	P.O. Box 58466	Houston	Texas		USA	(281)339-1352
IT Corporation	Dr. Duane	Graves	Supervisor	312 Directors Drive	Knoxville	Tennessee			(423)690-3211 x7418
Maxymillian Technologies, Inc.	Neal A.	Maxymillian	Vice President	1801 East Street	Pittsfield	Massachusetts	01201	USA	(617)557-6077
OHM Remediation Services Corporation	Carl	Palmer	Project Manager	16406 US Route 224 East	Findlay	Ohio	45840-0551	USA	(919)468-1266
Remediation Technologies, Inc.	Gaylen	Brubaker	Principle Scientist	7011 North Chaparral Avenue, Suite 100	Tucson	Arizona	85718	USA	(919)967-3723
Roy F. Weston	Michael G.	Cosmos	Department Manager	1 Weston Way	West Chester	Pennsylvania	19380	USA	(610)701-7423
SPI/ASTEC		R. Wendell/ P. E. Feltman	Vice President	P.O. Box 72787, 4101 Gerome Avenue	Chattanooga	Tennessee	37407	USA	(423)867-4210
Soiltech ATP Systems, Inc.	Joe	Hutton	President	304 Inverness Way South	Englewood	Colorado	80112	USA	(303)790-1747
Resources Conservation Co (IONICS RCC)	William F.	Heins	Manager, B.E.S.T. Process Systems	3006 Northrup Way, Suite 200	Bellevue	Washington	98004	USA	(425)828-2400
SRE, Inc.	Sam	Sofer	President	510 Franklin Avenue	Nutley	New Jersey	07110	USA	(210)661-5192
Terra-Kleen Response Group, Inc.	Alan B.	Cash	President	3970 Sorrento Valley Boulevard, Suite B	San Diego	California	92121	USA	(619)558-8762
Bioremediation Technology Services, Inc.	David D.	Emery	President	P.O. Box 3246	Sonora	California	95370-3246	USA	(616)726-6171
Bogart Environmental Services, Inc.	Jim	League	Manager of Technology and Market Develop	P.O. Box 717	Mt. Juliet	Tennessee	37122	USA	(615)754-2847
EIMCO Process Equipment Co.	Gunter	Brox	Process Consultant (Tekno Associates)	3338 E. Creek Road	Salt Lake City	Utah		USA	(801)272-2288
Waste Stream Technology, Inc.	Jim	Hyzy	Director of Research and Development	302 Grote Street	Buffalo	New York	14207	USA	(716)876-5290
Bergmann USA	Peter	Hall	Technical Services Manager	1550 Airport Road	Gallatin	Tennessee	37066-3739	USA	(615)452-5500
Soil Solutions, Inc.	Gardiner	Henderson	Vice President of Sales and Marketing	1703 Vargrave Street	Winston-Salem	North Carolina	27107	USA	(910)725-5844
Ecotechniek				P.O. Box 1330	Maarsse		3660 BH	The Netherlands	31 (346) 557720
Enviro-Pure Stichting				Kwartellaan 1	Den Haag		2566 DR	The Netherlands	31 (70) 360 28 68
Heidemij Advies B.V.				P.O. Box 264	Arnhem		6800 AG	The Netherlands	31 (26) 3778899
Iwema-Techniek B.V.				Postbus 296	Zeist		3700 AG	The Netherlands	31 (30) 691 8251

Company	First Name	Last Name	Job Title	Address 1	City	State	Postal Code	Country	Work Phone
Nederlandsche Benzol Maatschappij B.V.				Postbus 59100	Rotterdam		3008 PC	The Netherlands	31 (10) 501 2055
Ingenieursbureau 'Oranjewoud' B.V. - District West				Rivium Quadrant 1	Capelle aan den IJssel		2909 LC	The Netherlands	31 (10) 288 4545
Technische Maatschappij Bergmann B.V.				P.O. Box 752	Rotterdam		3000 AT	The Netherlands	31 (10) 511 3944
Tauw Milieu				Handelskade 11	Deventer		7400 AL	The Netherlands	31 (570) 699911
EARTH TECH, Corporate Headquarters				100 West Broadway, Suite 240	Long Beach	CA	90802	USA	562-951-2000
Earth Tech Engineering Ltd.				Wentworth Business Park	Tankersley, Barnsley	South Yorkshire S75 3DL		United Kingdom	+44-1226- 224466
Earth Tech France				Le Point Cardinal, 10 Passage Konsin	Fontainebleau		77300	France	+33 1 6469- 5295

## Vejning af sandfraktioner



## Vejning af affaldssand

Som led i "Projekt om nedbringelse af indholdsstoffer i furansand fra støberier med henblik på almen genanvendelse af støbesand" skulle støberiet etablere størrelsen af de enkelte fraktioner af overskudssand.

Følgende fraktioner blev vejret:

Fraktion	Veje metode
Silo 1 (udslagning/regenerering)	Truck
Silo 2 (udslagning/regenerering)	Truck
Silo 3 (sandblæsning)	Truck
Silo 4 (sandblæsning)	Truck
Silo 5 (sandblæsning)	Truck
Silo 6 (Pangborn)	Truck
Biks ved sandblæsning	Truck
Biks ved Pangborn	Truck
Små bikse ved ovn (slagge)	Truck
Stor biks i støb (slagge)	Truck
Biks i afslagning i støbehal	Truck
Støvsuger regenerering	Vurderet
Tømning af container til big bags	Brovægt
Tømning af container til løs sand	Brovægt

Tabel 1 Fraktioner af overskudssand som blev vejret

Vejning af overskudssand blev foretaget i perioden 11.12.2000 til 26.01.2001.

Alle sække og bikse blev ikke systematisk tømt ved vejningens start eller slutning hvorfor de målte tal er blevet korrigeret for at kompensere for dette.

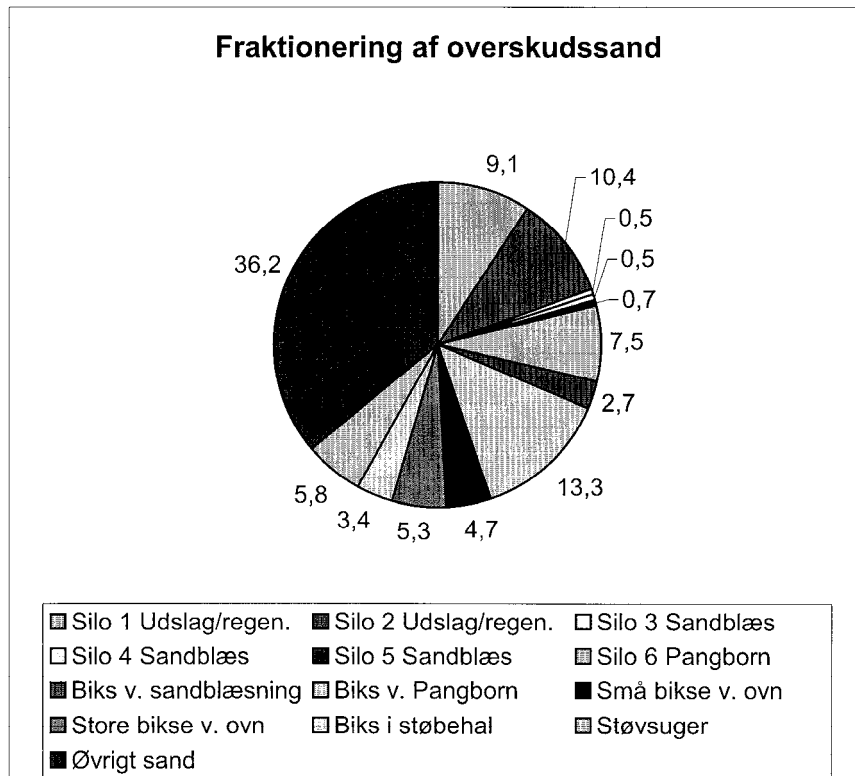
Før vejningen blev påbegyndt blev vejeordeningen på støberiets truck undersøgt. Det blev fastslået at vejeordeningen ikke var særligt præcis. Vejeusikkerheden er ca.  $\pm 10\%$  med en klar tendens til at veje for lidt. En væsentlig grund til denne høje usikkerhed er det støvfylde miljø som trucken opererer i. Dette medfører øget friktion i kæder, lejer og glideflader. Prisen for et nyt og bedre system blev undersøgt men var uden for støberiet aktuelle finansielle muligheder. Da alle big bags blev lagt i en speciel container kan truckens målinger sammenlignes med vægten målt på lossepladsens brovægt og en korrektionsfaktor udregnes.

Vedlagt er et Exelark med registreringer udregning af fraktioner. Alle vægte er angivet i kg sand.

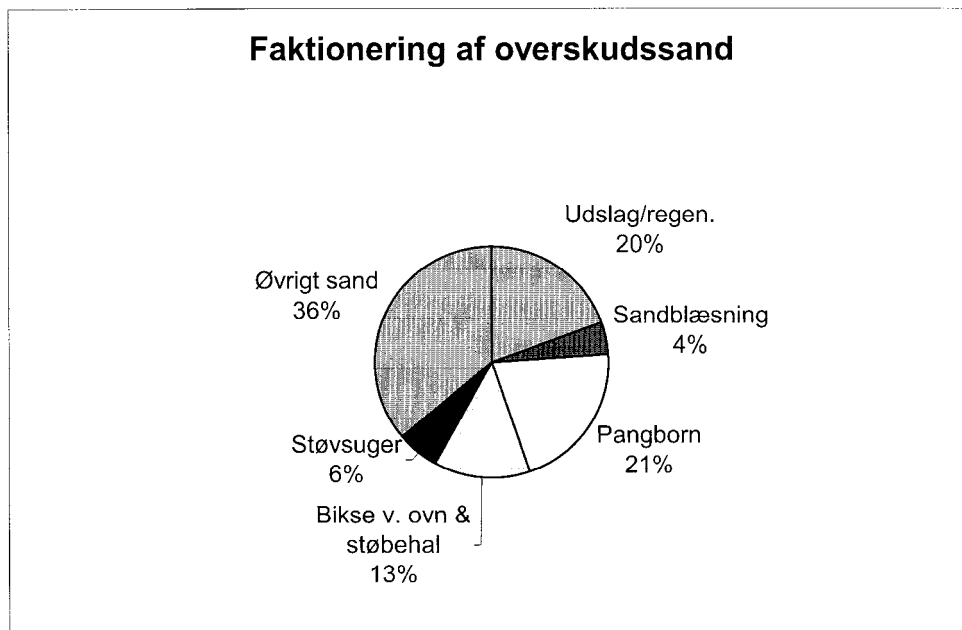
Vægten af sand fra støvsuger til regenerering blev anslået ud fra hvor meget der blev fyldt i en container. Det var ikke muligt at veje støvsugeren da den er for bred til støberiets brovægt. Ifølge støberiets truckfører er mængden af sand fra støvsugeren stærkt varierende og der er derfor knyttet stor usikkerhed til den målte fraktion.

Da støberiet på Alpha Diesel er ordreproducerende vil fraktionerne af overskudssand være afhængig af den type emner som støbes f.eks. vil kernerige emner vil resultere i mere overskudssand fra Pangborn og sandblæsning.

Efter korrigering har vi beregnet følgende fraktioner:



Figur 1 Fraktionering af overskudssand



Figur 2 Fraktionering af overskudssand

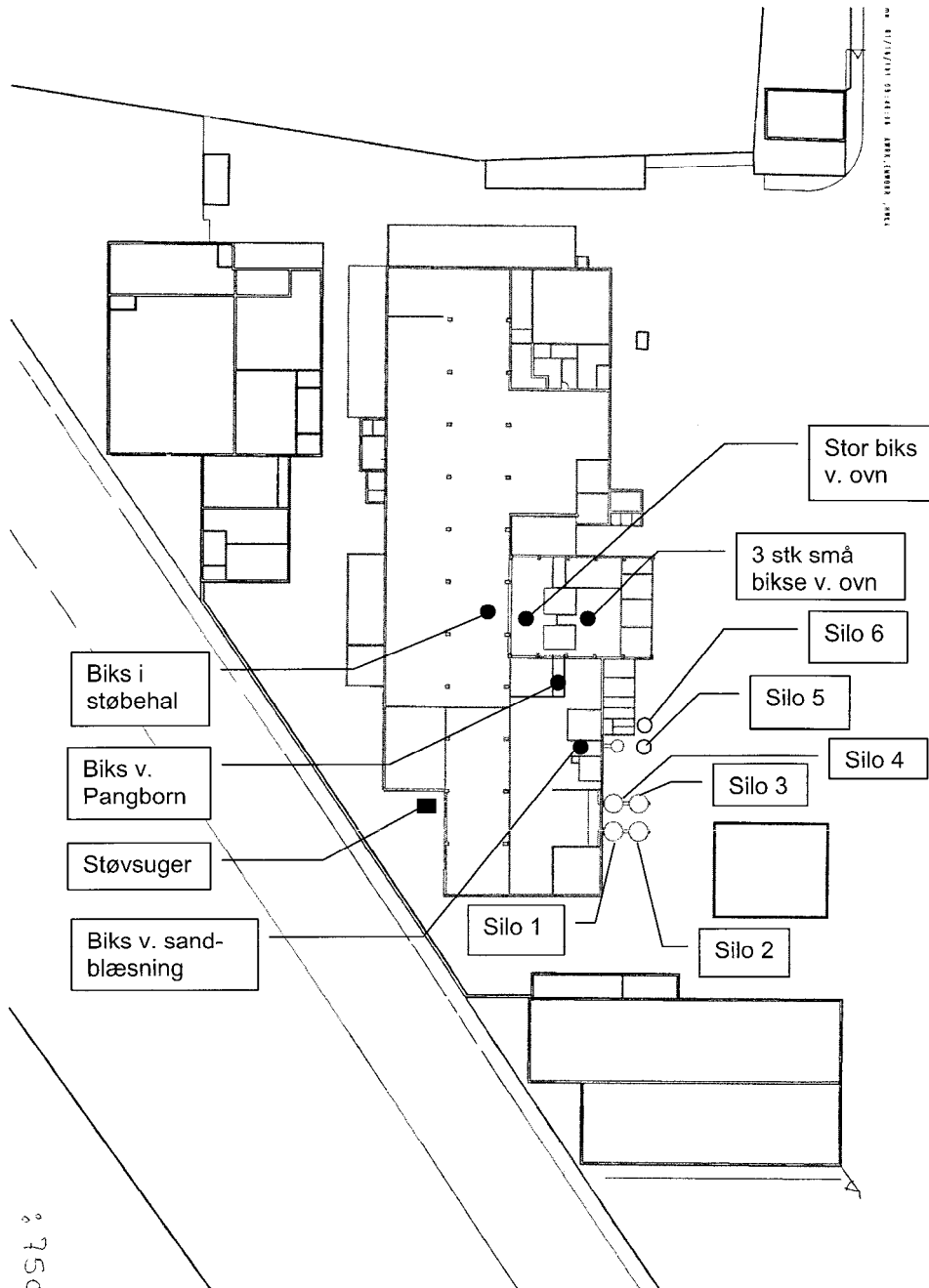
Forskellen mellem det løse sand som blev vejlet i bikse på trucken og den vejede mængde på losseplads er betegnet "øvrigt sand" og dækker over:

- Bikse i regenerering
- Bør ved mikserne ved opformning
- Bør ved mikser til store kærner
- Div. opfejdning i hele støberiet

Siden 1. januar 2001 bliver jernstykker sorteret fra opfej fra renseset. Støberiet har forsøgt at genbruge dette jern, men det resulterede i øget slagge i smelten fra induktionsovnene. Jernet bliver i dag afhentet af Ålbæk Jernstøberi som kan bruge det i deres kupolovn. Mængden er ca. 2000 kg pr måned.

Biksene i regenereringen bliver vejlet i uge 7 & 8 for at få en fornemmelse af mængderne.

Vedlagt er en skitse over placeringen af de forskellige målesteder. Bemærk at silo 3 og Silo 4 er ombyttet i forhold til placeringen anført i notat 515-991081 af 03.01.2000 fra JNA, Rambøll.



p:\e\_m\1999\991571\man\_data\vejning af overskudssand ver 1.doc



## Fotos af forsøgsopstilling





Billede 1 Homogenisering af støbesandsprøve i blandemaskine



Billede 2 Forsøgsopstilling



Billede 3 Forsøgsopstilling med timerstyring af lufttilførslen.



Billede 4 Forsøgsopstilling med befugtning af den tilførte luftstrøm



Billede 5 Forsøgsopstilling med tætsluttende låg



Billede 6 Forsøgsopstilling uden låg. På afgangsstykkerne ses tilkoblede kulrør og aldehydrør



Billede 7 Støbesandprøver



Billede 8 Aldehydrør i rilsanposer



Billede 9 Støbesandsprøver til kemisk analyse og tørstofbestemmelse



## Bestemmelse af pH





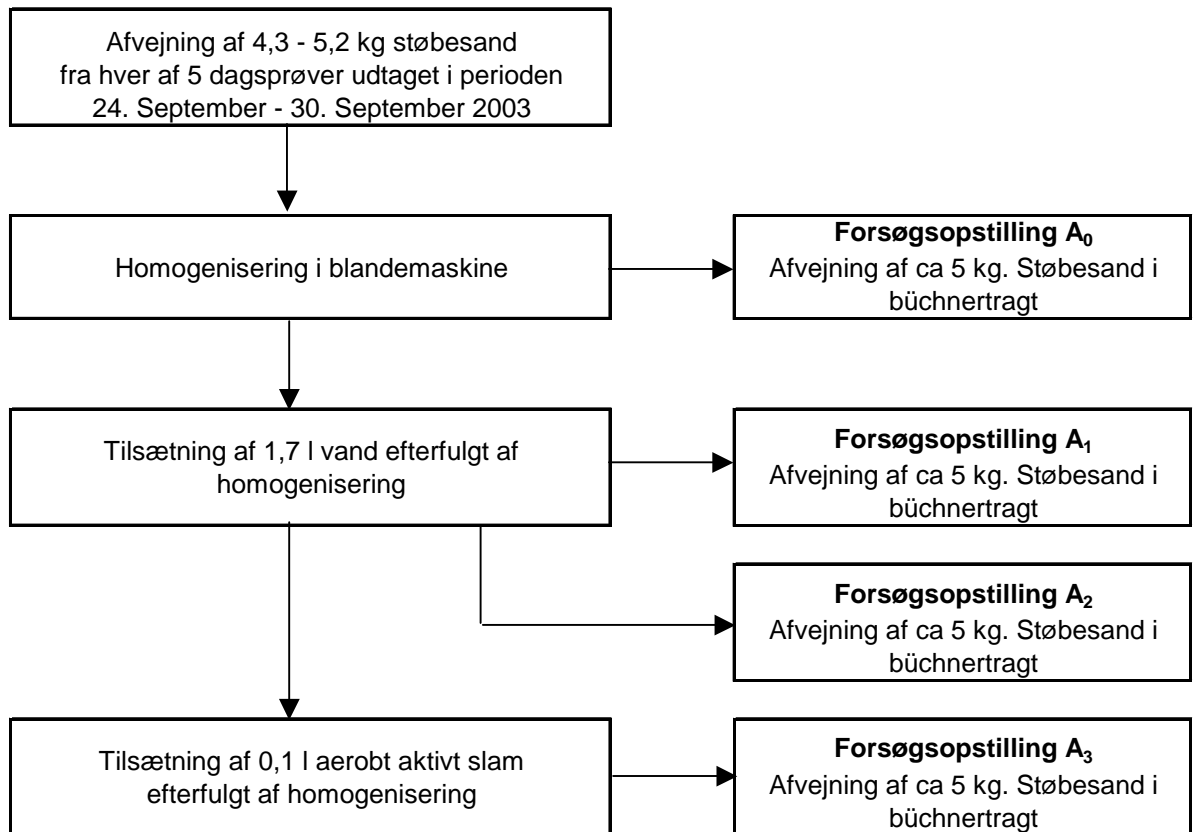
Bestemmelse af pH og titrering		Dato: <u>3-10-03</u>		Initialer: <u>KMH</u>		Side: <u>1</u>	
20 g støbesand opslømmes i 50 ml ionbyttet vand ved - ultralydbehandlung i 5 min. - Omrøring i 2 min. - Måling <u>DS 287</u> - Titrering med base							
Prøve	Initielt målt pH	Type	Titrering med base			Baseekvivalenter	
			Konc. M	Mængde ml	Opnået pH	mol	eq
Støbesand							
Fraction E							
Blandet	7,42						
<i>Titrering ej gennemført!</i>							



# Laboratorieskala forsøg



Der er gennemført laboratorie skala forsøg med undersøgelse af henfaldet af udvalgte kemiske forbindelser konstateret i støbesand fra MBD-F. Ved opstillingen af laboratorie skala forsøgene er der anvendt en fremgangsmåde som beskrevet i figur F1.



Figur F1 Fremgangsmåde ved opstilling af laboratorie skala forsøg

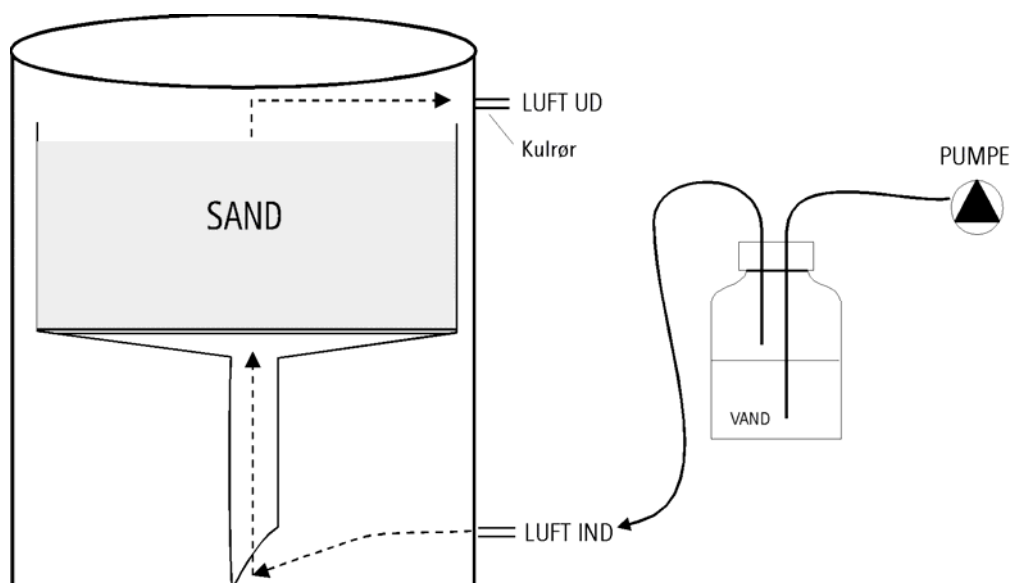
Forsøgsopstillingen til laboratorie skala forsøgene er illustreret på figur F2.

Til laboratorie skala forsøgene er anvendt en plastikspand udstyret med plastikfittings i top og bund for lufttilførsel. I plastikspanden er placeret en Büchnertragt med filterpapir i bunden, og støbesandet er udlagt i et jævnt lag herover.

For forsøgsopstillingerne  $A_0$  og  $A_1$  – begge uden beluftning – er indgangs- og udgangsrøret på plastikspanden afproppet.

For forsøgsopstillingerne  $A_2$  og  $A_3$  – begge med beluftning – er indgangsrøret i bunden af plastikspanden forbundet med pumpen for lufttilførsel via en beholder med vand, mens der på afgangsrøret i toppen af plastikspanden er placeret først et kulrør og herefter et coated silicagel rør.

Plastikspanden er i alle 4 forsøgsopstillinger forsynet med tætsluttende låg. Forsøgsopstillingen er placeret ved stuetemperatur uden direkte sol i Rambølls laboratorium.



Figur F2 Forsøgsopstilling til laboratorie skala forsøg

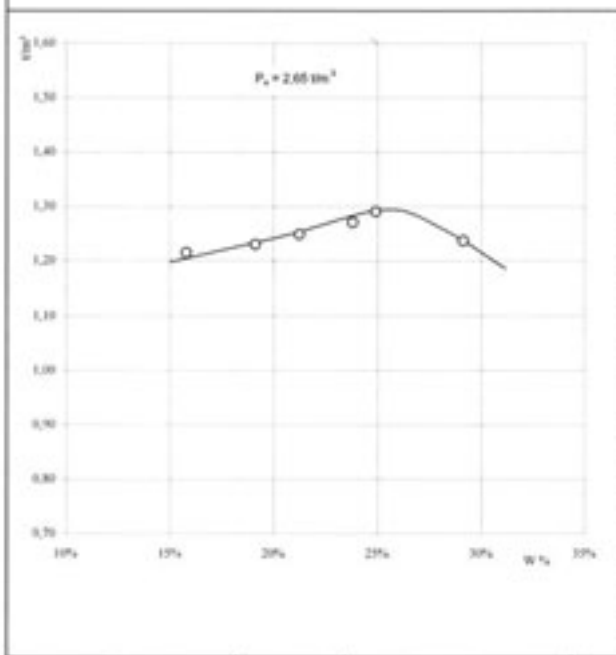
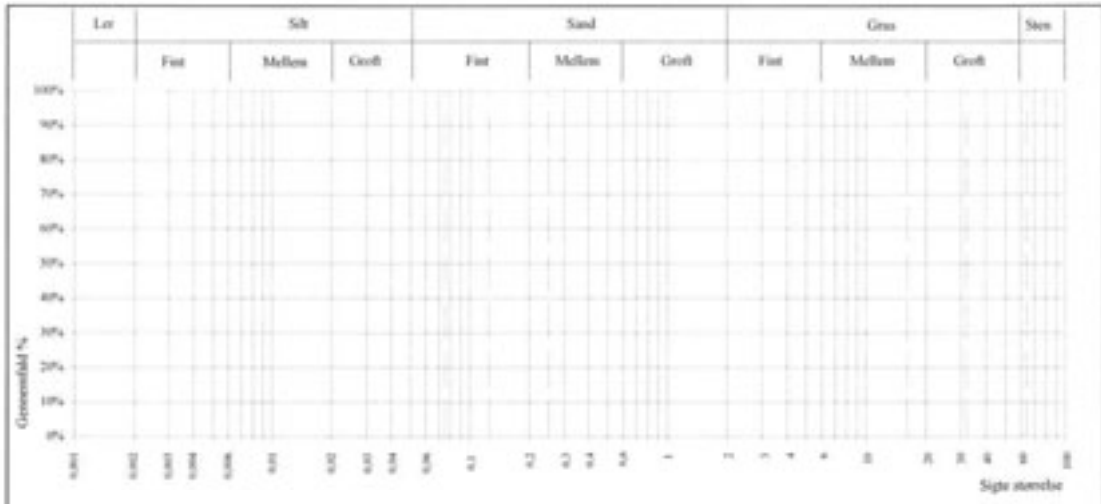
Ved prøvetagningen er låget fjernet fra plastikspanden, og med en plastikbeholder er der taget 5 – 8 stik i støbesandet til en samlet prøve. Hvert stik er ført lodret ned gennem støbesandet til overfladen af filterpapiret, og medtaget støbesand er overført til en Rilsanpose. Den samlede prøvemængde i Rilsanposen er forsigtigt homogeniseret og overført til prøveglas og tørstofpose, hvorefter prøven samme dag er afsendt til laboratoriet.

Umiddelbart efter prøvetagningen er der foretaget en udjævning af støbesandets overflade og låget er atter påsat plastikspanden.

## Analyserapporter, karakterisering





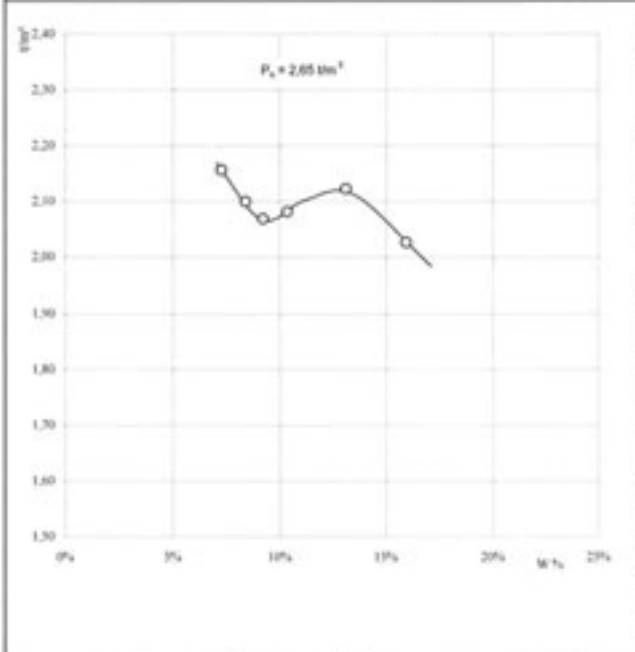
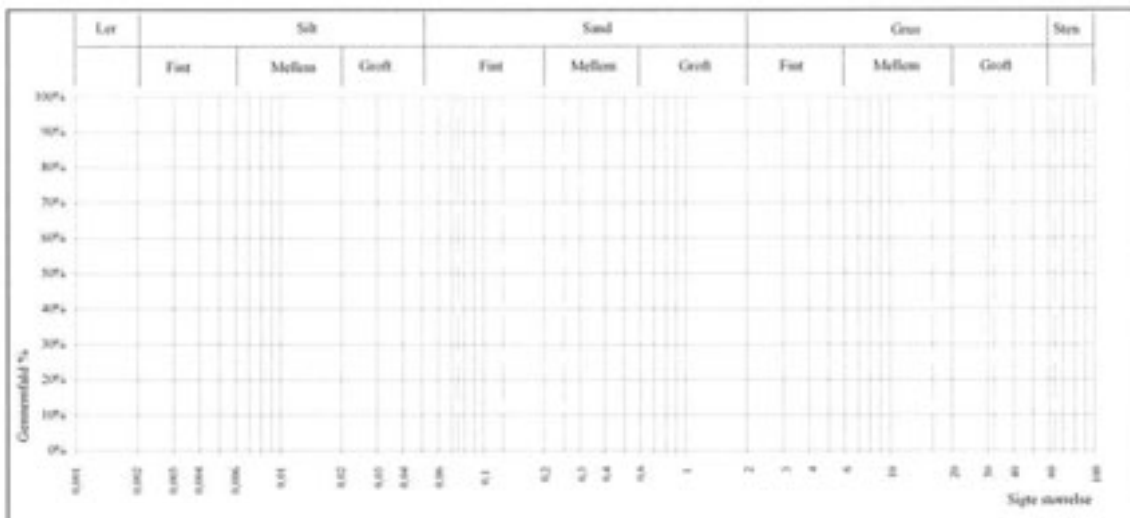


Signaturer			
Zonen	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Standard	○	△	□
Modifiseret	●	▲	■
Mærkeskilt			m. rand
Højde			△
Proctorforsøg			
Indtæring		Standard	Modifiseret
$\Delta$ max	mm	1,20	
$W_{opt}$	%	25,4%	
CBR			
Indtæring		Standard	Standard
CBR	%		
Tærskel	$\Delta$ cm		
Vandhold w			
Vandfygt			
Vandfygtprocent	%		
Lukkekilling	mm		

Fugter > 10 mm	v	Vandhold i air	$w_{air}$	Løselhold	
Plastgrense	$w_L$	Plasticitetsgrænse	$w_p$	Plasticitetsindeks	$I_p$
Kornstørrelse (< 75 µm)	$w_s$	Kornstørrelse (> 10 mm)	$w_k$	Kornstørrelse (< 10 mm)	$w_k$
Kalkhold (< 1 mm)	$k_a$	Kalkhold (> 10 mm)	$k_a$	Kalkhold (< 10 mm)	$k_a$
Gledetab	$g$	Gledetab reduceret	$g_{red}$	Vibrationsindtæring	$P_{vib}$
Sandekvivalent	SE	Kapillaritet	$h$	Optimal Vandhold	$W_{opt}$
Tærskel i mark	$\Delta$ g	Tærskel korrigeret	$\Delta$ k	Vandfygtprocent	
		Vandhold i air	$w_{air}$		

**RAMBOLL** Provedeskrivelse: Provesæt 1 og 2, fraktion A, sand fra site 1 og 2

Eksempel: Mjølnerløben		Drifts-Navn		Status	
Sted: MAN B&W Diesel A/S, Frederiksborg		Drifts-Navn		Pr. nr. 02	
Udk. d. 01/2016, 02/2016	Trags	Godk. d. 02/2016	11/2	Trags nr. 991171	KA nr.

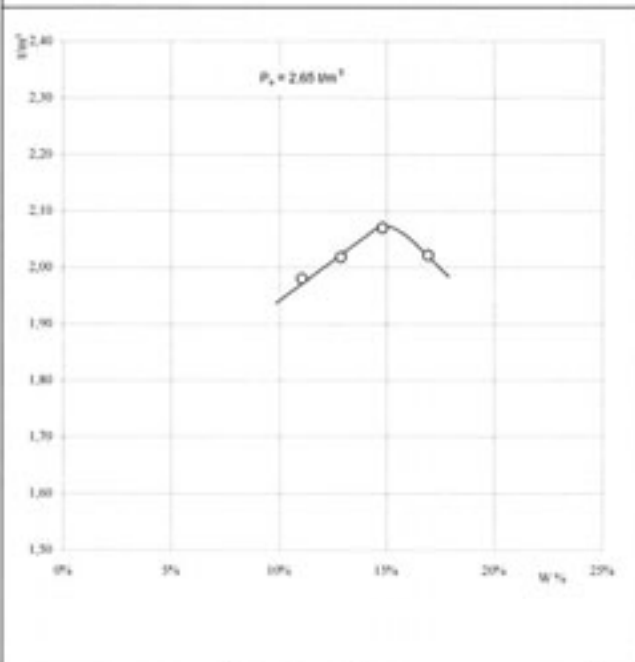
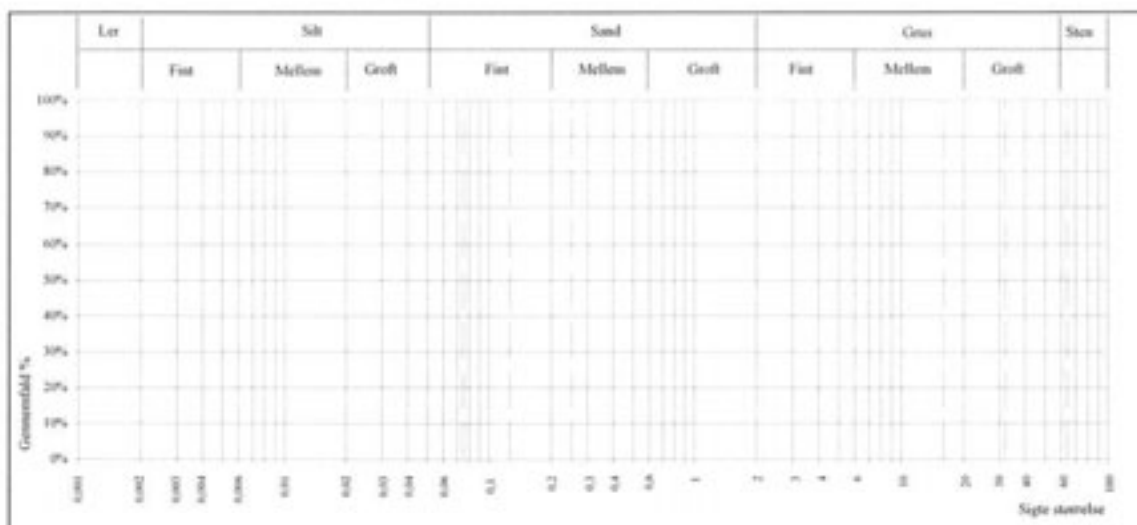


Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Standard	○	△	□
Modificeret	●	▲	■
Mærkeskema			m. vandl
Skælpånlse			□ ▲
Proctorforsøg			
Indtætnings		Standard	Modificeret
P <sub>d, max</sub>	ton/m <sup>3</sup>	2.17	
W <sub>opt</sub>	%	7.0%	
CBR			
Indtætnings		Standard	Standard
CBR	%		
Færdigheds	°d ton		
Vandindhold, w			
Vandlaget			
Vandoptagelse	%		
Udværdning	mm		

Fugtighed > 10 mm	s	Vandindhold in situ	w <sub>in</sub>	Løseindhold
Hydratation	%k	Plasticitetegrænse	w <sub>p</sub>	Plasticitetindeks
Kornstørrelse (0 - 75 µm)	f <sub>s</sub>	Kornstørrelse (0 - 10 mm)	f <sub>s</sub>	Kornstørrelse (> 10 mm)
Kalkindhold (0 - 1 mm)	ka	Kalkindhold (0 - 10 mm)	ka	Kalkindhold (> 10 mm)
Gledetab	gl	Gledetab reduceret	gl <sub>red</sub>	Vibrationsindtætnings
Særlig viden	SE	Kapillær	h <sub>c</sub>	Optimal Vandindhold
Færdighed i mark	°d	Færdighed korrigeret	°d <sub>k</sub>	Vandføringsevne
		Vandindhold kor	w <sub>k</sub>	

**RAMBOLL** **Prøvebeskrivelse:** Provenat 1 og 2, fraktion B, sand fra silo 3, 4, 5 og 6, bliver varm umiddelbart efter belægning

Rekvirer: Målestrohen  
 Ved: MAN B&W Diesel A/S, Frederikshavn  
 Udk. d. 02/06/18  
 Sag nr. 90171  
 Pr. nr. 10  
 K&A nr.



Signaturer		
Form	10 cm	15 cm
Forsøg	Kompression	
Standard	○	△
Modificeret	●	▲
Mattingsline	_____ m vand	
Hjælpefor	□ ▽ ▴ ▾	

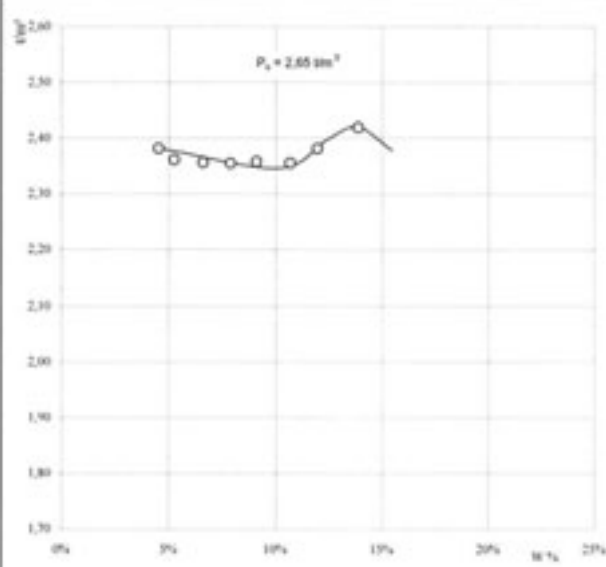
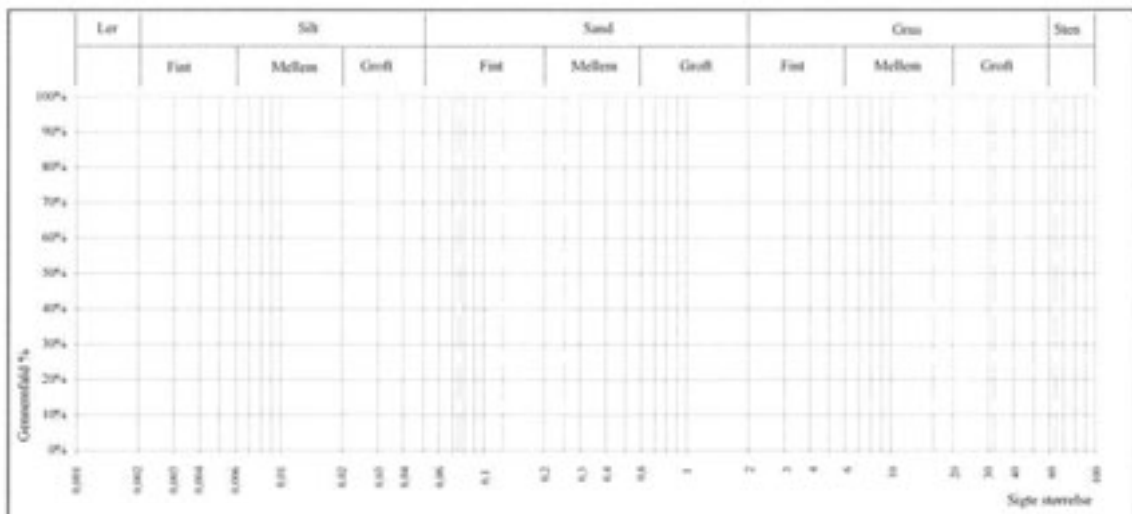
Proctorforsøg		
Indtæmpning	Standard	Modificeret
$\rho_d$ max	16.5	2.07
$W_{op}$	18.8 %	

CBR			
Indtæmpning		Standard	Standard
CBR	%		
Tændehøjde	$\rho_d$ (1m)		
Vandindhold w			
Vandlaget			
Vandoptagelse	%		
Udvælgelse	mm		

Fugtighed > 10 mm	w		Vandindhold in situ	$w_{in}$		Lerindhold	
Flydegrænse	$w_L$		Plasticitetsgrænse	$w_p$		Plasticitetsindeks	Ip
Kornstørrelse (< 75 µm)	$f_s$		Kornstørrelse (< 10 mm)	$f_s$		Kornstørrelse (< 10 mm)	$f_s$
Kalkindhold (< 1 mm)	ka		Kalkindhold (< 10 mm)	ka		Kalkindhold (< 10 mm)	ka
Gledetal	gl		Gledetal reduceret	gl <sub>red</sub>		Vibrationsindtæmpning	$F_{vib}$
Sedimentvægt	SE		Kapillær	h <sub>c</sub>		Optimal Vandindhold	$W_{op}$
Tændehøjde i mark	$\rho_d$		Tændehøjde korrigeret	$\rho_{d,k}$		Vandførehæbhed	
			Vandindhold kor.	$w_k$			

**RAMBOLL** Provebeskrivelse: Provenet 1 og 2, fraktion B, sand fra silo 3, 4, 5 og 6 kaldt efter det har stået natten over

Køber: Miljøstyrelsen		Dato: 1/10		Side: 1/1	
Sted: MAN B&W Diesel A/S, Frederiksberg		Sag nr: 991571		K&A nr: 11	
Udk. d.: 011205, 020528	Tryk:	Godk. d.: 020905	<i>HS</i>		



Signaturer		
Form	10 cm	15 cm
Forsøg	Komprimering	CBR
Standard	○	△
Modificeret	●	▲
Målingsflade		in vand
Højde		□

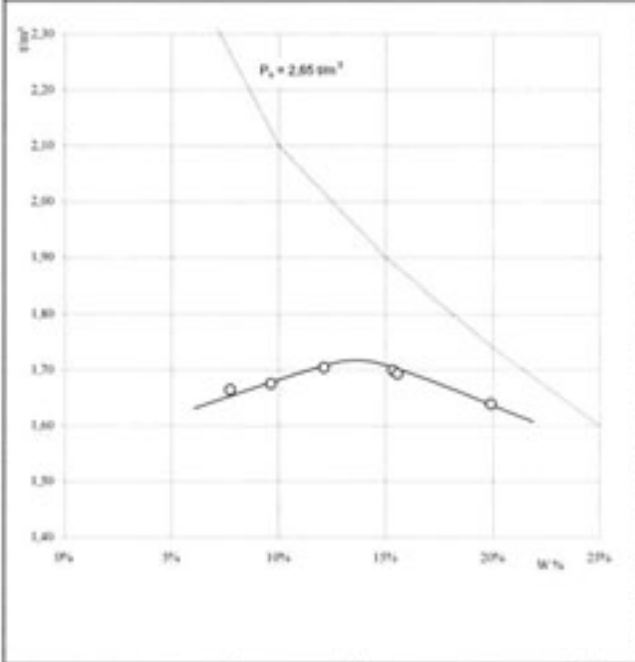
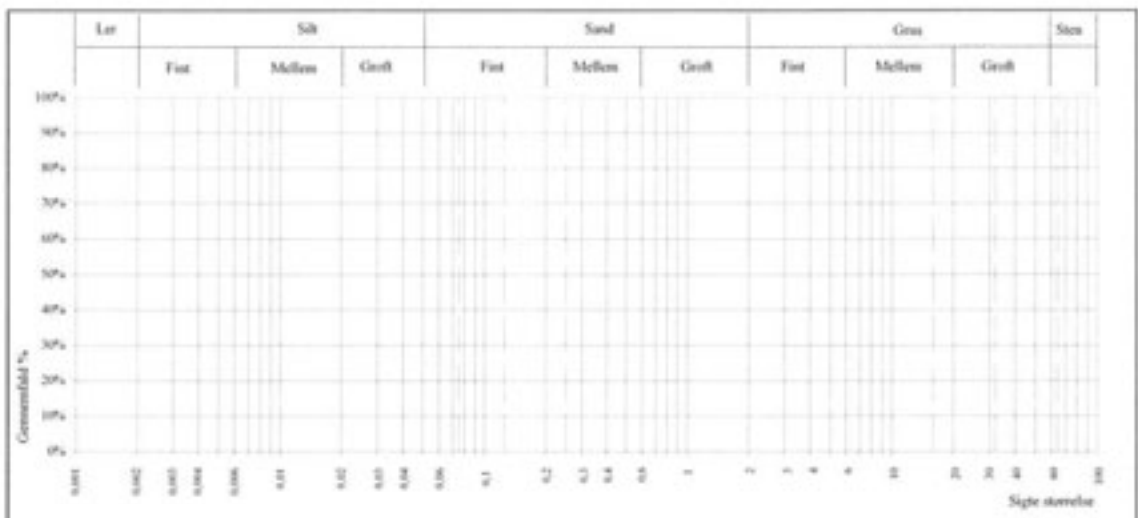
Proctorforsøg		
Indtæmpning	Standard	Modificeret
$\rho_d, \text{max}$	$\text{t/m}^3$	2.42
$W_{opt}$	%	13.9 %

CBR		
Indtæmpning	Standard	Standard
CBR	%	
Tændehjul	$\rho_d, \text{t/m}^3$	
Vandhold, $w$		
Vandlaget		
Vandoptagelse	%	
Højde	mm	

Fraegtet < 16 mm	x	Vandhold in situ	$w_{in}$	Lerindhold
Fydegrænse	$w_L$	Plasticitetegrænse	$w_p$	Plasticitetsindeks
Kornstørrelse (0 - 75 $\mu\text{m}$ )	$r_s$	Kornstørrelse (0 - 16 mm)	$r_s$	Kornstørrelse (< 16 mm)
Kalkindhold (0 - 1 mm)	$k_a$	Kalkindhold (0 - 16 mm)	$k_a$	Kalkindhold (< 16 mm)
Globulitet	$g$	Globulitet reduceret	$g_{red}$	Vibrationsindtæmpning
Tæthedskoefficient	$SF$	Kapillæritet	$h_c$	Optimal Vandhold
Tændehjul i mark	$\rho_d$	Tændehjul korrigeret	$\rho_{d,k}$	Uensformighedsind
		Vandhold i luft	$w_L$	

**RAMBOLL** Procesbeskrivelse: Provesæt 1 og 2, fraktion C, sand fra boks ved fristralerlæg og boks ved panghermelæg

Elevens: Mølbyholten		Dato: 11/11/2011		Side: 1 af 1	
Sed: MAN BEW Densit A/S, Frederiksberg		Sag nr.: 991371		Bl. nr.: 01	
Cib. d.: 001205, 020128		Dato: d.: 020901		K.A. nr.:	



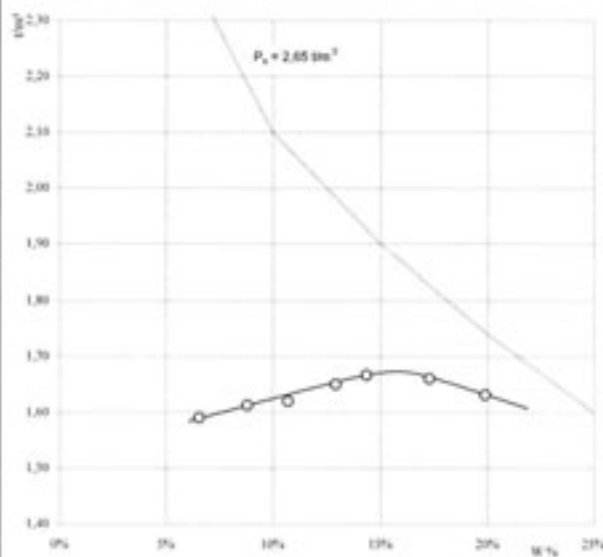
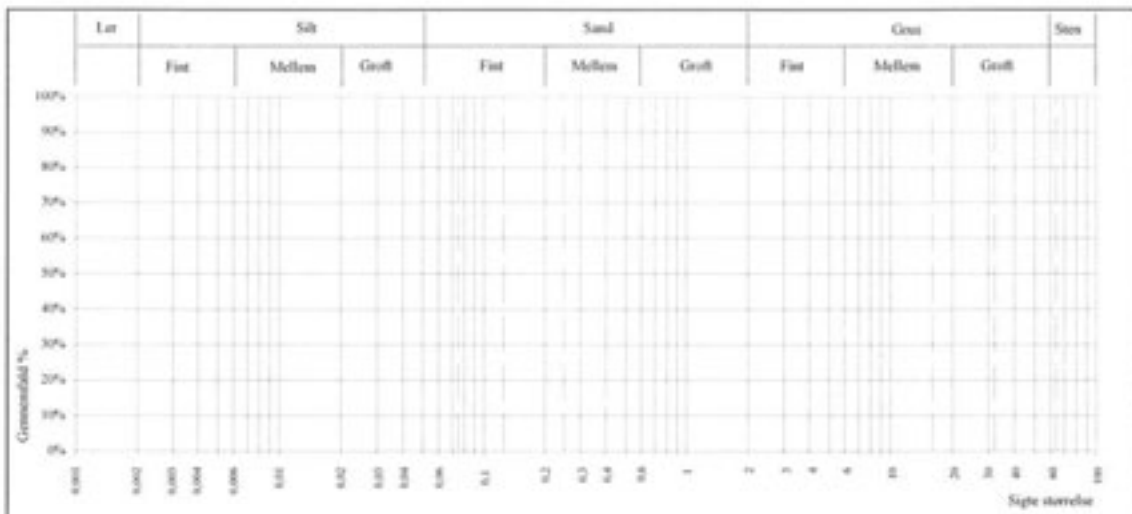
Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Standard	○	△	□
Modificeret	●	▲	■
Målingstype			in vand
Halvperiode			□ ▲
Proctorforsøg			
Indtæmpning		Standard	Modificeret
$\gamma_d$ max	g/cm <sup>3</sup>	1.72	
$w_{opt}$	%	13.7%	
CBR			
Indtæmpning		Standard	Standard
CBR	%		
Tændehast	$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )		
Vandindhold, w			
Vandlagret			
Vanddybde	%		
Udvælgelse	mm		

Frafilter > 16 mm	s		Vandindhold in situ	$w_{in}$	Læselindhold
Flidegrænse	$w_L$		Plasticitetsgrænse	$w_p$	Plasticitetsindeks
Kornstørrelse (< 75 µm)	$w_s$		Kornstørrelse (< 16 mm)	$w_s$	Kornstørrelse (< 16 mm)
Kalkindhold (< 1 mm)	$k_a$		Kalkindhold (< 16 mm)	$k_a$	Kalkindhold (< 16 mm)
Gledetab	$g_f$		Gledetab reduceret	$g_{f,red}$	Vibrationsindtæmpning
Sænktryk	SE		Kapillær	$h_c$	Cyklisk Vandindhold
Tændehast i mark	$\gamma_d$		Tændehast korrigeret	$\gamma_{d,k}$	Uensfornighedstal
			Vandindhold kor.	$w_i$	



Procesbeskrivelse: Provesæt 1 og 2, fraktion D, sand fra støvgrø

Bekræftet Miljøprøvelab			Dato: 1/10	Stavns Børg	Pr. nr. 03
Sted: MAN B&W Diesel A/S, Frederiksborg			Godk. af: <i>P/S</i>	Sag nr. 991571	K&A nr.
Udb. d. 01/10/15, 02/05/18	Tryk:	Godk. d. 02/06/15			



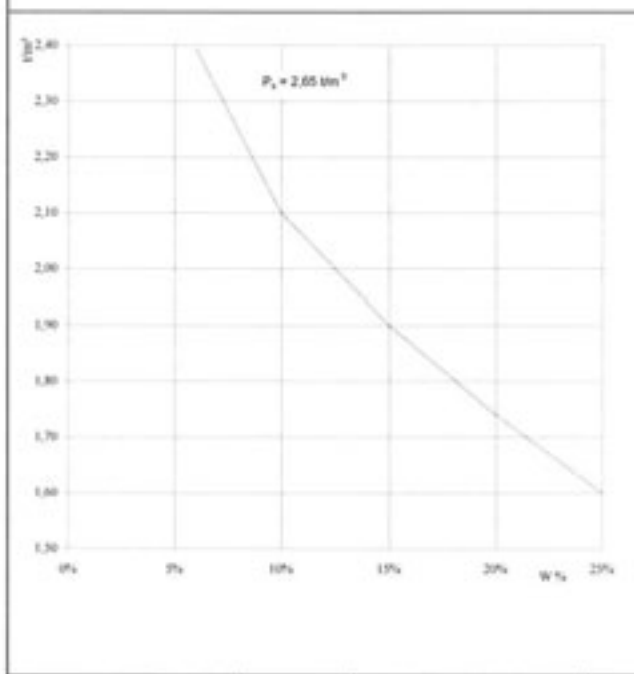
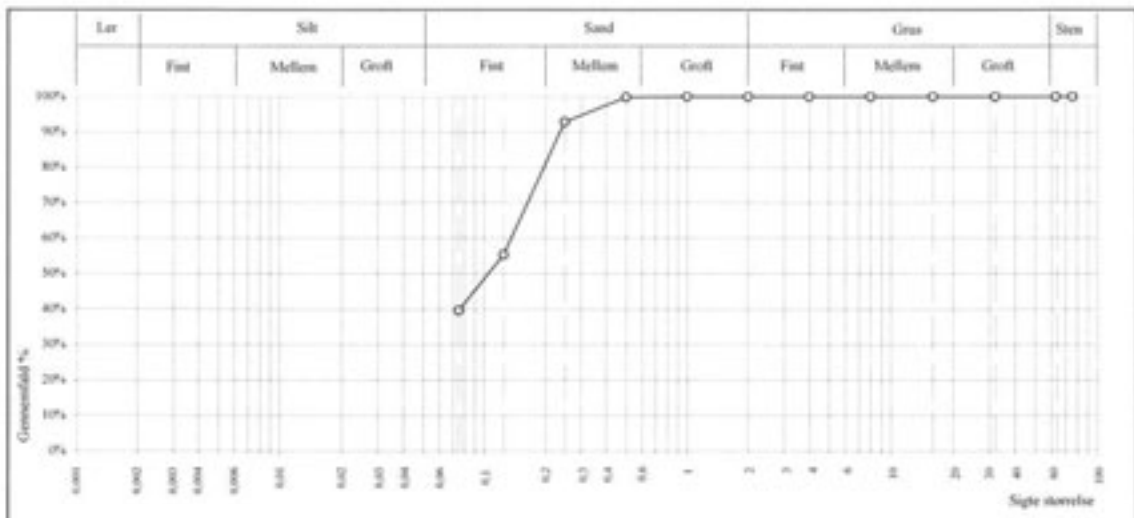
Signaturer		
Form	10 cm	15 cm
Form	Komprimering	
Standard	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Modificeret	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maringslinje	in vandl	
Højde	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Proctorforsøg		
Indtæmpning	Standard	Modificeret
$\rho_{d, max}$	g/m <sup>3</sup>	1.67
$W_{opt}$	%	11.7%
CBR		
Indtæmpning	Standard	Standard
CBR	%	
Tæknisk	$\rho_d$ (t/m <sup>3</sup> )	
Vandindhold, w		
Vandlaget		
Vandoptagelse	%	
Udværdigelse	mm	

Frataget > 10 mm	s		Vandindhold in situ	$w_{in}$		Lerindhold	
Hydratation	$w_L$		Plasticitetegrænse	$w_p$		Plasticitetindeks	$Ip$
Kornstørrelse (< 75 µm)	$f_s$		Kornstørrelse (< 10 mm)	$f_s$		Kornstørrelse (< 10 mm)	$f_s$
Kalkindhold (< 1 mm)	$ka$		Kalkindhold (< 10 mm)	$ka$		Kalkindhold (< 10 mm)	$ka$
Globulinitet	$gl$		Globulinitet reduceret	$gl_{red}$		Vibrationsindtæmpning	$P_{v, max}$
Sedimentvægt	SE		Kapillaritet	$h_c$		Optimalt Vandindhold	$w_{opt}$
Tæknisk i mark	$\rho_d$		Tæknisk korrigeret	$\rho_{d, k}$		Uensfremghedsstal	
			Vandindhold kor.	$w_k$			

**RAMBOLL**

Forsøksbetegnelse: Prøvet 1 og 2, fraktion E, sand fra bue og blå ved mikser

Køretøj: Mjøltraktor				
Solf: MAN B&W Diesel, Fredrikshavn				
Udb. d. 04/2015, 02/128	Tegn.	Godk. d. 02/2015	<i>P.S.</i>	Proj. nr. 01
				Fig. nr. 001571

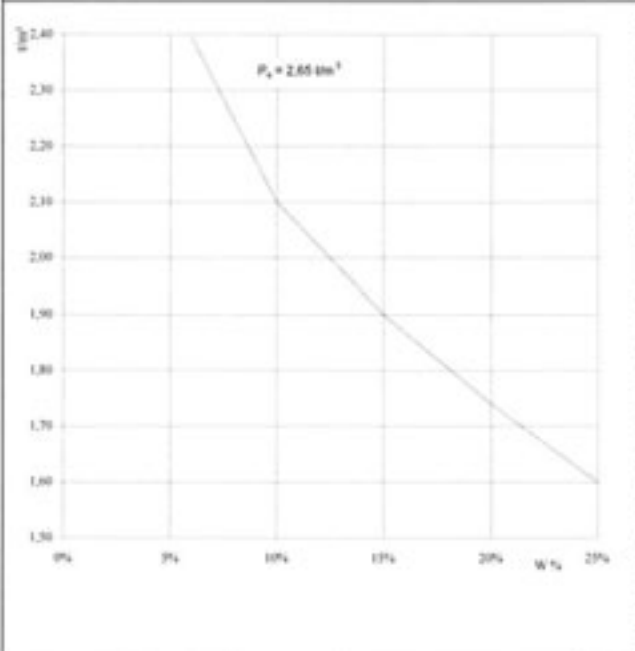
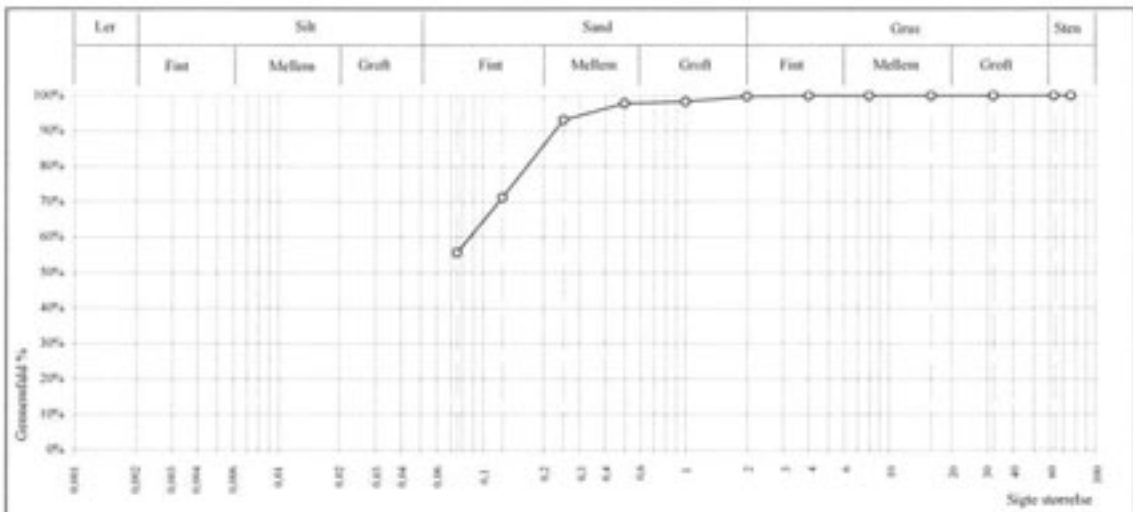


Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Form	Komprimering		CBR
Standard	○	△	□
Modificeret	●	▲	■
Målingsplade			m. vand
Højtylde			△ ▲
Proctorforsøg			
Indtæmpning		Standard	Modificeret
r <sub>d</sub> , mm	100		
W <sub>opt</sub>	%		
CBR			
Indtæmpning		Standard	Standard
CBR	%		
Tændehøjde	r <sub>d</sub> , mm		
Vandhold w			
Vandlag			
Vandoptagelse	%		
CBR-værdi	mm		

Fraktion > 15 mm	a	Vandhold in situ	w <sub>in</sub>	Løsehold
Flakgrænse	n <sub>L</sub>	Plasticitetgrænse	n <sub>p</sub>	Plasticitetindeks
Kornstørrelse (0 - 75 µm)	r <sub>s</sub>	Kornstørrelse (0 - 15 mm)	r <sub>s</sub>	Kornstørrelse (> 15 mm)
Kalkindhold (0 - 1 mm)	k <sub>a</sub>	Kalkindhold (0 - 15 mm)	k <sub>a</sub>	Kalkindhold (> 15 mm)
Gledetal	gl	Gledetal reduceret	gl <sub>red</sub>	Vibrationsindtæmpning
Sænktryksværdi	SE	Kapillaritet	s <sub>c</sub>	Optimalt Vandhold
Tændehøjde i mark	r <sub>d</sub>	Tændehøjde korrigeret	r <sub>d</sub> k	Uensfornighedstal
		Vandhold kom	w <sub>1</sub>	

**RAMBOLL** Prøvebeskrivelse: Provesæt 1, fraktion A, sand silo 1 og 2

Rekvireret Målingsretten		Udvalgt	Stations
Sted: MAN B&W Diesel A/S, Frederiksborg		kom	Boring
Udb d. 01/200	Tegn.	Godk d. 02/001	Bl. nr. III
			Bl. nr. 011371
			KA nr.



Signaturer		
Form	10 µm	15 µm
Forsøg	Komprimering	
Standard	○	△
Modificeret	●	▲
Mærkeskive	in vand	
Målepåse	□ ▲	
Proctorforsøg		
Indtæmpning	Standard	Modificeret
r <sub>d</sub> , mm	100	
W <sub>opt</sub>	%	
CBR		
Indtæmpning	Standard	Standard
CBR	%	
Tændestør	r <sub>d</sub> 100	
Vandindhold, w		
Vandlag		
Vandoptagelse	%	
Udværdning	mm	

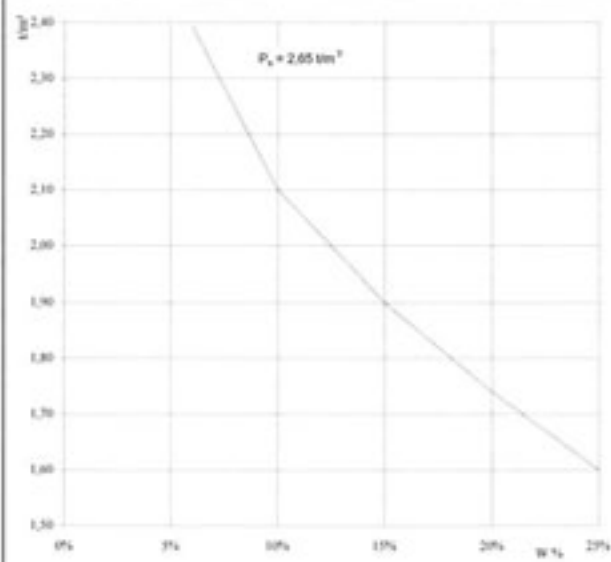
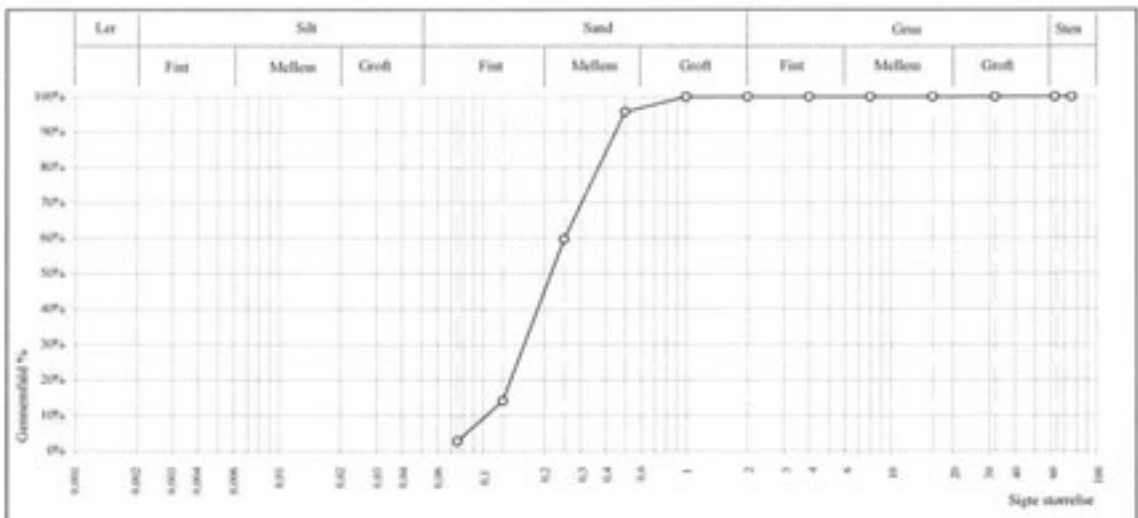
Fraigt > 10 mm	s		Vandindhold in situ	w <sub>in</sub>		Lerindhold	
Hydrat	w <sub>L</sub>		Plasticitetegrænse	w <sub>p</sub>		Plasticitetindeks	Ip
Kornstørrelse (< 75 µm)	r <sub>s</sub>		Kornstørrelse (< 10 mm)	r <sub>k</sub>		Kornstørrelse (< 10 mm)	r <sub>k</sub>
Kalkindhold (> 1 mm)	ka		Kalkindhold (> 10 mm)	ka		Kalkindhold (> 10 mm)	ka
Gledetab	gl		Gledetab reduceret	gl <sub>red</sub>		Vibrationsindtæmpning	P <sub>v</sub> 100
Sedimentvægt	SE		Kapillaritet	h <sub>c</sub>		Optimalt Vandindhold	w <sub>opt</sub>
Tændestør i mark	r <sub>d</sub>		Tændestør korrigeret	r <sub>d,k</sub>		Uensfornghedsind	
			Vandindhold kor.	w <sub>i</sub>			



Procesbeskrivelse: Prøvet 1, fraktion B, sand fra site 3, 4, 5 og 6

Køber: Miljøstyrelsen		Dato: 11/11/2005		Side: 10 af 10	
Sælger: MAN B&W Diesel, Frederikshavn		Godkendt af: H1		Pr. nr.: 10	
Udk. d.: 01/10/05	Tegn:	Godk. d.: 02/05/05		Sag nr.: 991571	K&A nr.:





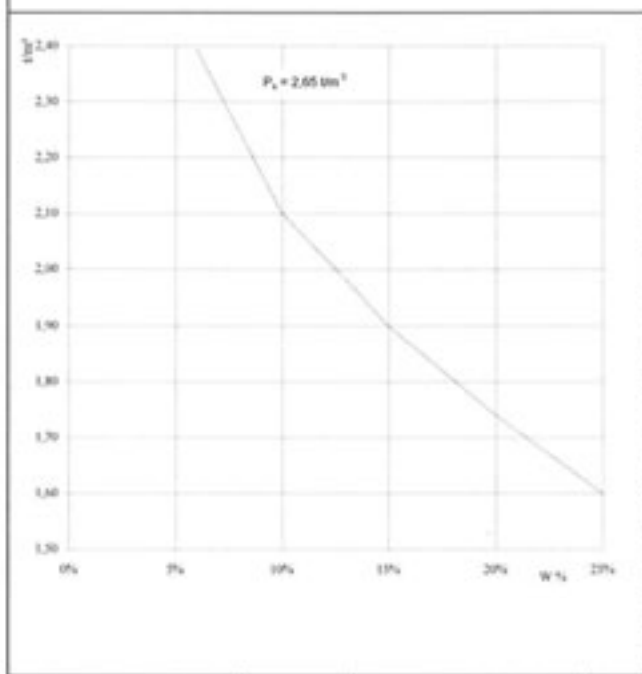
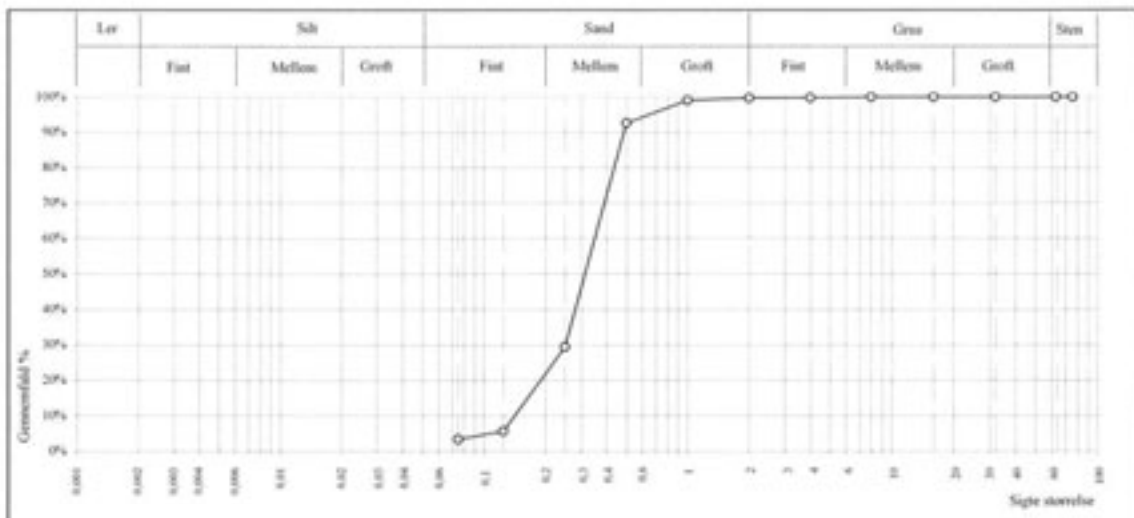
Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Standard	○	△	□
Modificeret	●	▲	■
Mærkeplade			in vandt
Hjælpeplade			□ ▲
Proctorforsøg			
Indtæmpning		Standard	Modificeret
F <sub>d</sub> max	cm <sup>3</sup>		
W <sub>opt</sub>	%		
CBR			
Indtæmpning		Standard	Standard
CBR	%		
Tændeskat	°d 100'		
Vandindhold w			
Vandlagret			
Vanddrægtelise	%		
Slukværdighed	mm		

Forsigtig > 16 mm	s		Vandindhold in situ	w <sub>in</sub>		Lerindhold	
Flydegrænse	%L		Plasticitetsgrænse	%p		Plasticitetsindeks	I <sub>p</sub>
Kornstørrelse (0 - 75 µm)	f <sub>s</sub>		Kornstørrelse (0 - 16 mm)	f <sub>s</sub>		Kornstørrelse (> 16 mm)	f <sub>s</sub>
Kalkindhold (0 - 1 mm)	k <sub>a</sub>		Kalkindhold (0 - 16 mm)	k <sub>a</sub>		Kalkindhold (> 16 mm)	k <sub>a</sub>
Glødetal	g <sub>f</sub>		Glødetal reduceret	g <sub>f,r</sub>		Vibrationsindtæmpning	F <sub>d</sub> max
Sædelsværet	SE		Kapillæret	h <sub>c</sub>		Optimal Vandindhold	W <sub>opt</sub>
Tændeskat i marken	°d		Tændeskat i terræn	°d k		Vandførehædsgrad	2.4
			Vandindhold kort	w <sub>1</sub>			



Procesbeskrivelse: Provesæt 1, fraktion C, sand fra boks ved fristråleanlæg og boks ved pangbørsteanlæg

Rakvisse: Målestyrelsen				
Sted: MAN B&W Diesel A/S, Frederikshavn		Dato: 2008	Stav: 901171	Pr. nr: 03
Udb. d.: 011205	Page:	Godk. d.: 02005	913	KA nr:

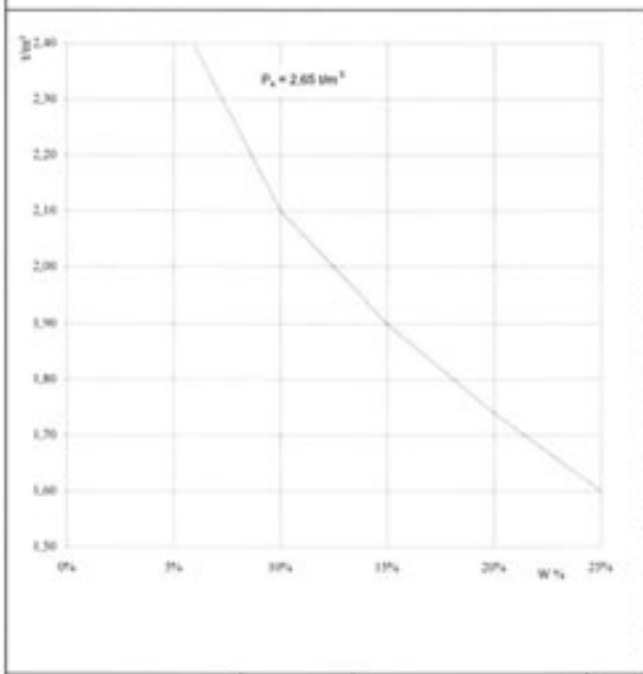
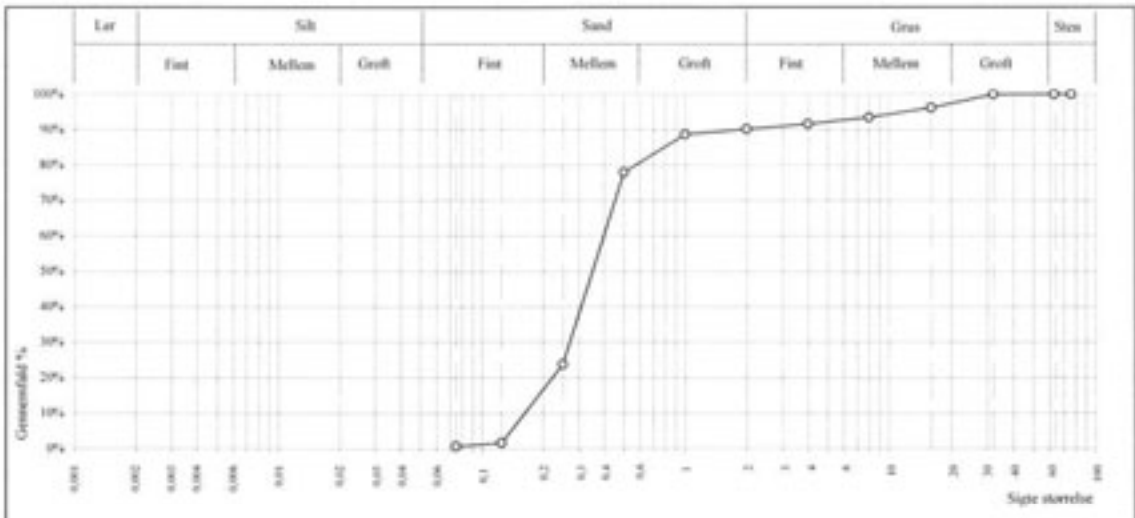


Signaturer		
Form	30 cm	11 cm
Form	Komprimering	CBR
Standard	○	△
Modificeret	●	▲
Måttingsline		u. vandl
Højtylde		△
Proctorforsøg		
Indtæmpning	Standard	Modificeret
$\rho_{d, max}$	g/cm <sup>3</sup>	
$W_{opt}$	%	
CBR		
Indtæmpning	Standard	Standard
CBR	%	
Tændemålt	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	
Vandindhold, $w$		
Vandlagret		
Vandtættingsfor	%	
ULB-værdighed	mm	

Fraktion > 16 mm	s		Vandindhold in situ	$w_{in}$	Løsningsindhold
Fluidergrænse	$w_L$		Plasticitetsgrænse	$w_p$	Plasticitetsindeks
Kornindhold (> 75 µm)	$f_s$		Kornindhold (> 16 mm)	$f_s$	Kornindhold (> 16 mm)
Kalkindhold (> 1 mm)	$k_a$		Kalkindhold (> 16 mm)	$k_a$	Kalkindhold (> 16 mm)
Gledetal	$g_l$		Gledetal reduceret	$g_{red}$	Vibrationsindtæmpning
Sedimentvægt	SE		Kapillaritet	$h_c$	Optimalt Vandindhold
Tændemålt i mark	$\rho_d$		Tændemålt korrigeret	$\rho_{d, k}$	Uensfornighedsind
			Vandindhold kor	$w_k$	

**RAMBOLL** Proveskribe: Proveset 1, fraktion B, sand fra støvvejer

Rekvirent: Miljøstyrelsen		Dr. M. L. Jørgensen	Stationsvej	Pr. nr. 011
Sted: MAN B&W Diesel A/S, Frederiksborg				
Udb. d. 01/2005	Page:	Godek. d. 02/09/05	Fig. nr. 001371	K&A. nr.

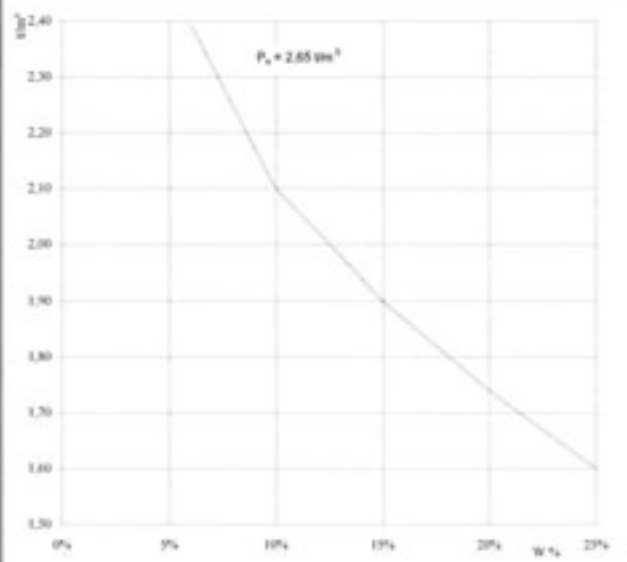
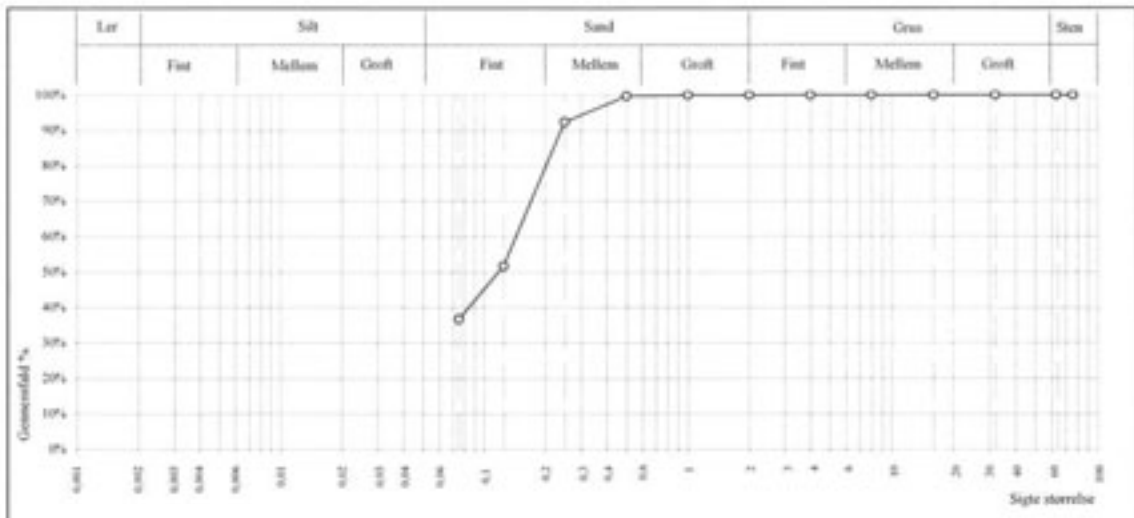


Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Standard	○	△	□
Modificeret	●	▲	■
Måteangivelse	in. vandt		
Skælpåse	△ ▲		
Proctorforsøg			
Indmåling	Standard	Modificeret	
$\rho_d$ , $\text{ton/m}^3$	100		
$W_p$ , %	100		
CBR			
Indmåling	Standard	Standard	
CBR	100		
Tørretid	$\rho_d$ , $\text{ton/m}^3$		
Vandhold, w	100		
Vandlaget	100		
Vandoptagelse	100		
Udvælgelse	100		

Fragtør > 16 mm	x	Vandhold in situ	$w_{in}$	Vandhold	
Flydegrænse	$\%L$	Plasticitetstal	$\%P$	Plasticitetindeks	Ip
Kornstørrelse (< 75 $\mu\text{m}$ )	$\%s$	Kornstørrelse (< 16 mm)	$\%s$	Kornstørrelse (< 16 mm)	$\%s$
Kalkindhold (< 1 mm)	ka	Kalkindhold (< 16 mm)	ka	Kalkindhold (< 16 mm)	ka
Gledetal	$\rho_f$	Gledetal reduceret	$\rho_{f,r}$	Vibrationsenergi	$P_{v,100}$
Sædeltværdi	SE	Kapillær	$h_c$	Optimal Vandhold	$W_{op}$
Tørretid i minutter	$\rho_d$	Tørretid korrigeret	$\rho_{d,k}$	Vandermængde	2,5
		Vandhold kor	$w_c$		

**RAMBOLL** Provebeskrivelse: Prøvet 1, fraktion E, sand fra her og hls ved miljøer

Eksempel Miljøreferat				
Sed. MAN B&W Diesel A/S, Frederikshavn		Udbytte	Størrelse	Pr. nr. III
Udb. d. 01.12.05	Tegn:	Godk. d. 02.09.05	Sign. nr. 961371	K.A. nr.



Signaturer		
Forsøg	11 cm	15 cm
Forsøg	Kompresning	CBR
Standard	○	△
Modifikation	●	▲
Mærkeskema		in vand
Højtykkel		□

Proctorforsøg		
Indtæmpning	Standard	Modifikation
r <sub>d, max</sub>	cm <sup>3</sup>	
W <sub>opt</sub>	%	

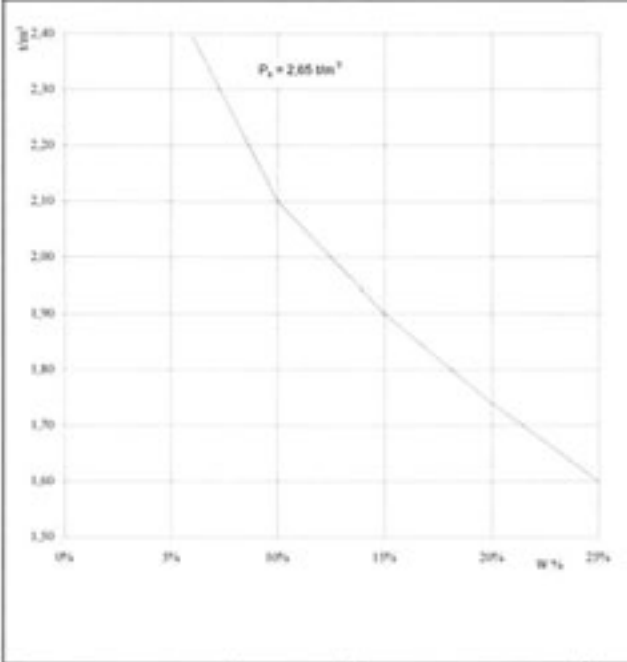
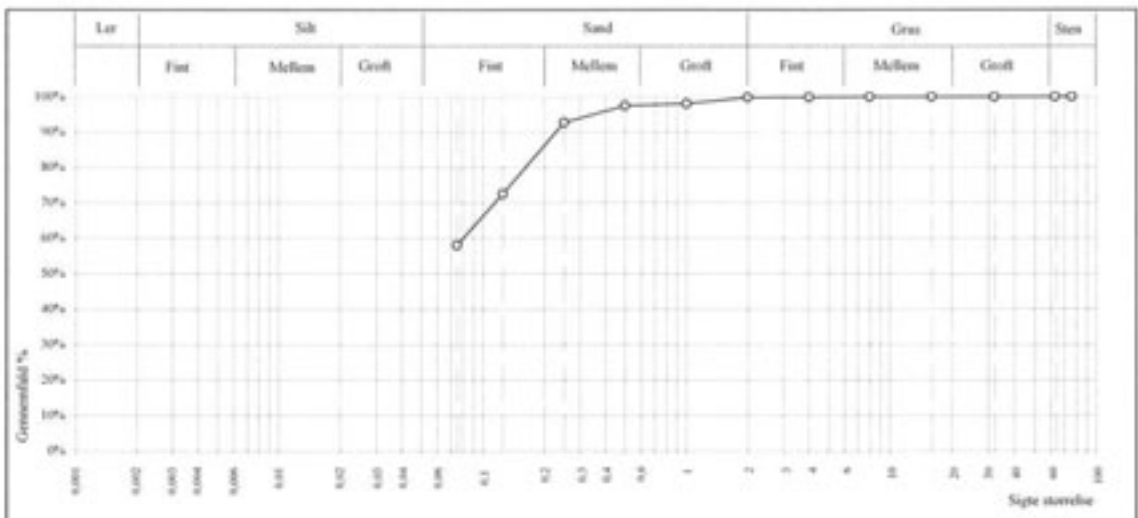
CBR		
Indtæmpning	Standard	Standard
CBR	%	
Tærkesnit	r <sub>d</sub> (mm)	
Vandindhold, w		
Vandlag		
Vandoptagelse	%	
Udvælgelse	mm	

Frisigt > 16 mm	s		Vandindhold in situ	w <sub>in situ</sub>		Lerindhold	
Flydegrænse	% <sub>L</sub>		Plasticitetsgrænse	w <sub>p</sub>		Plasticitetsindeks	Ip
Kornstørrelse (0 - 75 µm)	r <sub>s</sub>		Kornstørrelse (0 - 16 mm)	r <sub>s</sub>		Kornstørrelse (> 16 mm)	r <sub>s</sub>
Kalkindhold (0 - 1 mm)	ka		Kalkindhold (0 - 16 mm)	ka		Kalkindhold (> 16 mm)	ka
Gledetab	gl		Gledetab reduceret	gl <sub>red</sub>		Vibrationsindtæmpning	F <sub>v, max</sub>
Sandekvivalent	SE		Kapillær	h <sub>c</sub>		Optimalt Vandindhold	w <sub>opt</sub>
Tærkesnit i marken	r <sub>d</sub>		Tærkesnit korrigeret	r <sub>d, k</sub>		Uensfornghedsind	
			Vandindhold korr.	w <sub>k</sub>			

**RAMBOLL**

Provebeskrivelse: Provesæt 2, fraktion A, sand fra site 1 og 2

Klient: Miljøstyrelsen		Dato: 12/11/2015		Side: 1/1	
Sted: MAN B&W Diesel A/S, Frederiksborg		Sag nr.: 991571		Pr. nr.: 01	
Udb. d.: 02/03/2015	Tegn.: [ ]	Godk. d.: 02/03/2015	[Signature]	Sag nr.: 991571	K.A. nr.: [ ]



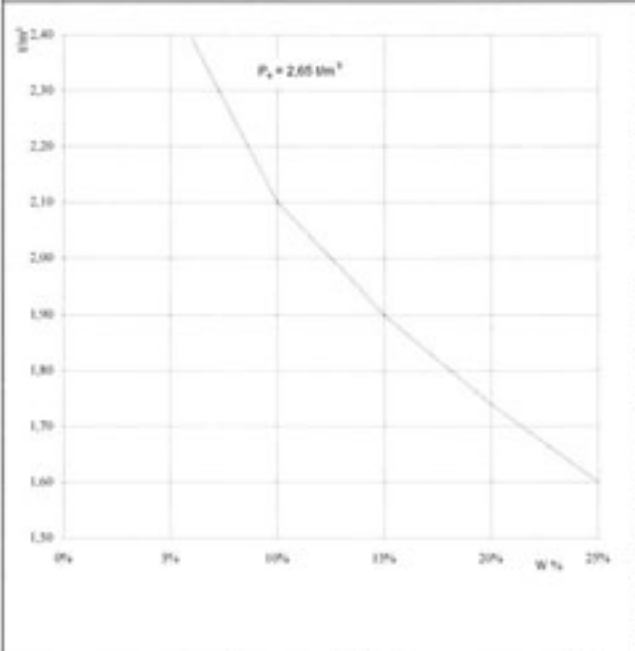
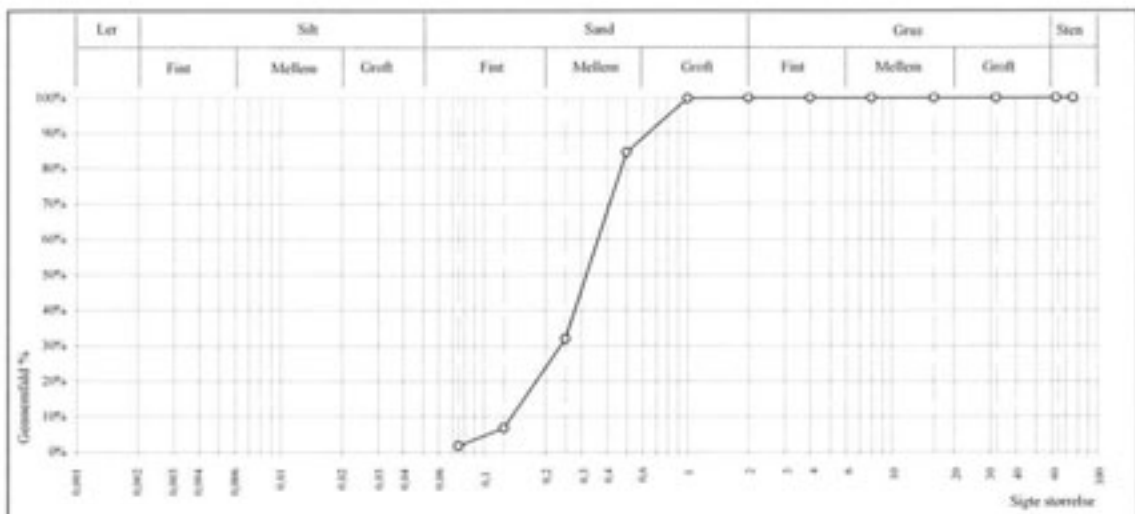
Signaturer		
Form	10 mm	15 mm
Forsøg	Kompresning	CBR
Standard	○	△
Modificeret	●	▲
Mærkeskilt		m vandl
Hjælpefor		□
Proctorforsøg		
Indtæmpning	Standard	Modificeret
$\rho_d$ max	tn/m <sup>3</sup>	
$W_{opt}$	%	
CBR		
Indtæmpning	Standard	Standard
CBR	%	
Færdigstørrelse	$\rho_d$ tn/m <sup>3</sup>	
Vandindhold $w$		
Vandindret		
Vandspænde	%	
Udvælgelse	mm	

Fraegtet < 16 mm	$x$	Vandindhold in situ	$w_{in}$	Læredindhold	
Plasticitetsgrænse	$U_L$	Plasticitetsgrænse	$U_P$	Plasticitetsindeks	$Ip$
Kornstørrelse (< 75 µm)	$x_s$	Kornstørrelse (< 15 mm)	$x_k$	Kornstørrelse (< 16 mm)	$x_k$
Kalkindhold (< 1 mm)	$x_a$	Kalkindhold (< 16 mm)	$x_a$	Kalkindhold (< 16 mm)	$x_a$
Gledetals	$\beta$	Gledetals reduktion	$\beta_{red}$	Vibrationsindtæmpning	$\rho_{d,max}$
Sædelsværdi	SE	Kapillærret	$h_c$	Optimal Vandindhold	$W_{opt}$
Tærdensitet i mark	$\rho_{d,k}$	Tærdensitet korrigeret	$\rho_{d,k}$	Uvædsomhedsindeks	
		Vandindhold kor.	$w_k$		



Forsøksbeskrivelse: Provesæt 2, fraktion B, sand fra silo A, 4, 5 og 6

Eksponent Miljøcenter		Dato: 11/11		Side: 01	
Sæl: MAN B&W Diesel A/S, Frederiksborg		Sag nr: 90171		Pr. nr: 01	
Udb. d.: 02/12/28	Tryk:	Godk. d.: 02/09/01			



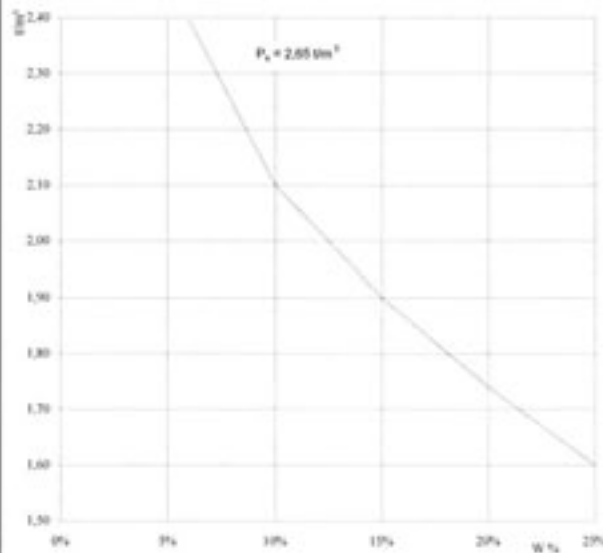
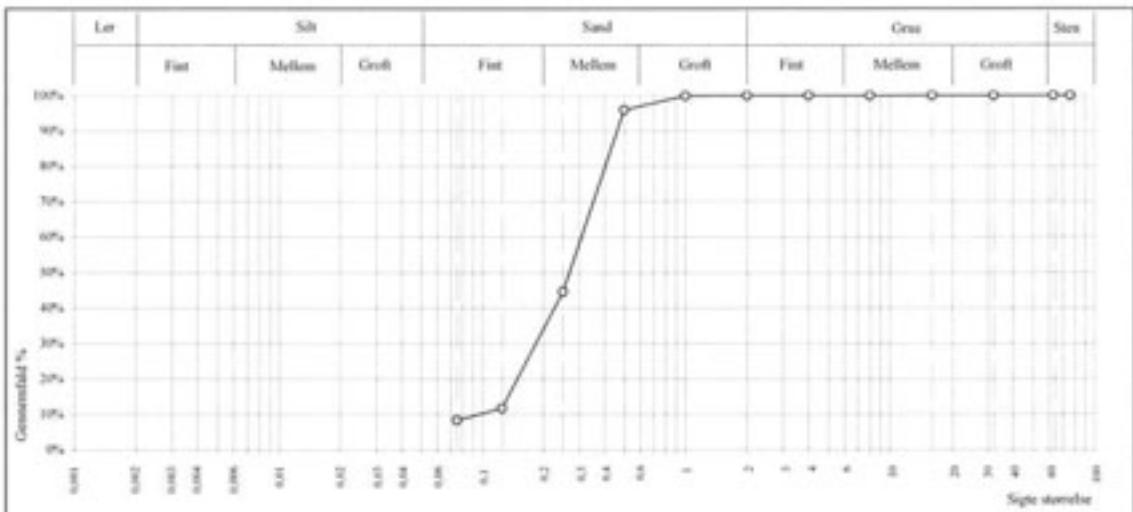
Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Form	Komprimering		CBR
Standard	○	△	□
Modificeret	●	▲	■
Mærkespore	in vandl		
Skulptur	▽ ▲		
Proctorforsøg			
Indtæmpning	Standard	Modificeret	
$\rho_d$ max	t/m <sup>3</sup>		
$W_{opt}$	%		
CBR			
Indtæmpning	Standard	Standard	
CBR	%		
Tændehjul	$\rho_d$ t/m <sup>3</sup>		
Vandhold, w			
Vandlag			
Vandoptagelse	%		
Slukvarseling	mm		

Fraigt > 30 mm	s		Vandhold in situ	$w_{in}$	Læredhold	
Hydrat	%		Plasticitetegrænse	$w_p$	Plasticitetindeks	Ip
Kornstør ( > 75 µm)	$f_s$		Kornstør (0 - 30 mm)	$f_b$	Kornstør (> 10 mm)	$f_k$
Kalkhold (0 - 1 mm)	ka		Kalkhold (0 - 30 mm)	ka	Kalkhold (> 10 mm)	ka
Gledetab	gl		Gledetab reduceret	$gl_{red}$	Vibrationsindtæmpning	$\rho_{d, max}$
Sædeltværdi	SE		Kapillaritet	$h_c$	Optimal Vandhold	$W_{opt}$
Tændehjul i marken	$\rho_d$		Tændehjul lærtiget	$\rho_{d, k}$	Uensfremghedstid	2,7
			Vandhold kon	$w_k$		



Procebeskrivelse: Provesæt 2, fraktion C, sand fra boks ved fritrækslæg og boks ved pangbørnslæg

Revisor: Mogens Jensen					
Sted: MAN B&W Diesel A/S, Frederikshavn			Dato: 11/5	Side: 3 af 3	
Uk d. 02/12	Typ:	Godk d. 02/05		Fig nr. 991571	KA nr.:



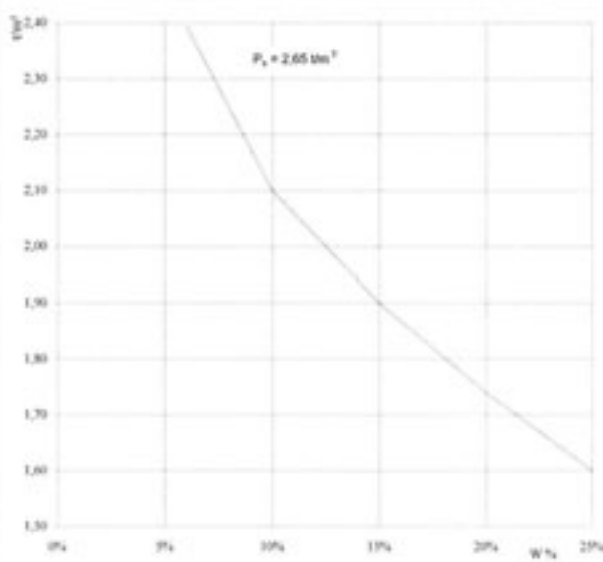
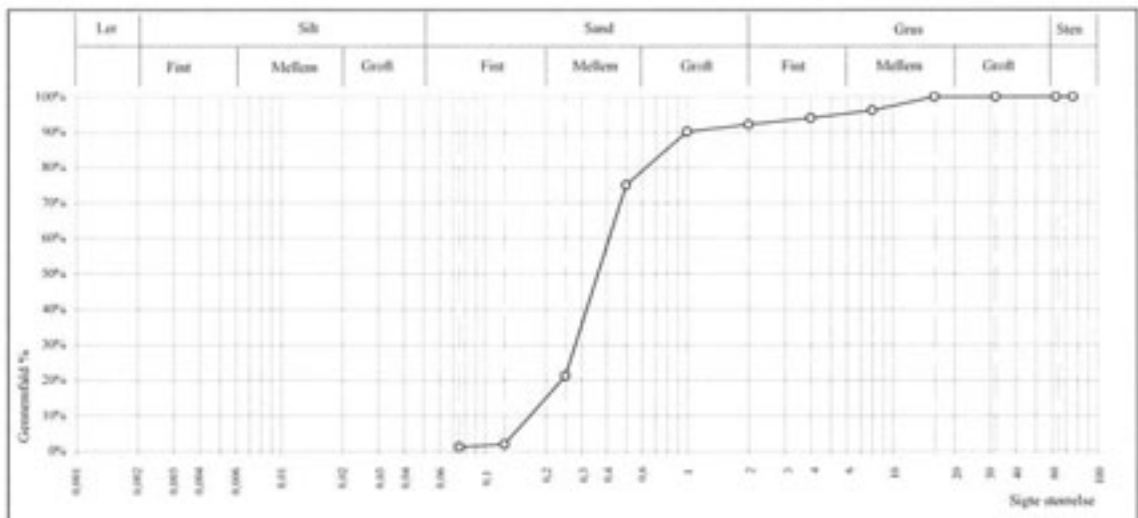
Signaturer		
Form	10 mm	15 mm
Farve	Komprimering	CBR
Standard	○	△
Modificeret	●	▲
Markeplacering	in vandl	
Størrelsesforhold	□	
Proctorforsøg		
Indtærpsring	Standard	Modificeret
r <sub>d</sub> , mm	100	
W <sub>opt</sub>	%	
CBR		
Indtærpsring	Standard	Standard
CBR	%	
Tændestør	r <sub>d</sub> , mm	
Vandindhold, w	%	
Vandlagret	mm	
Vandtæthedsforhold	%	
Udværlingsring	mm	

Fraktion > 30 mm	s	Vandindhold in situ	w <sub>in</sub>	Læredindhold	
Hydrat	%L	Plasticitetsgrænse	w <sub>p</sub>	Plasticitetsindeks	Ip
Kornstørrelse (< 75 µm)	%s	Kornstørrelse (< 30 mm)	%s	Kornstørrelse (> 30 mm)	%s
Kalkindhold (< 1 mm)	ka	Kalkindhold (< 30 mm)	ka	Kalkindhold (> 30 mm)	ka
Glødetal	gl	Glødetal reducent	gl <sub>red</sub>	Vibrationsindtærpsring	P <sub>d</sub> , mm
Sædeltværdi	SE	Kapillær	h <sub>c</sub>	Optimalt Vandindhold	W <sub>opt</sub>
Tændestør i marken	r <sub>d</sub>	Tændestør komprimeret	r <sub>d</sub> , k	Vandfærdighedsind	3,3
		Vandindhold kom	w <sub>k</sub>		

**RAMBOLL**

Proceskrivelse: Provesæt 2, fraktion D, sand fra stovsgrø

Eksponent: Mjølnervej		Dato:	Stavnsvej	Pr. nr.: 03
Sed: MAN B&W Diesel A/S, Frederiksborg		Godk. d.: 020905	Sign. nr.: 90171	K&A nr.:
Ulk. d.: 020528	Tegn.:			

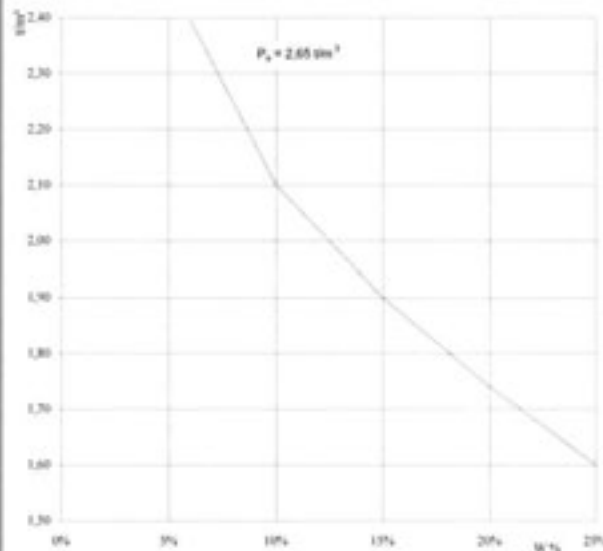
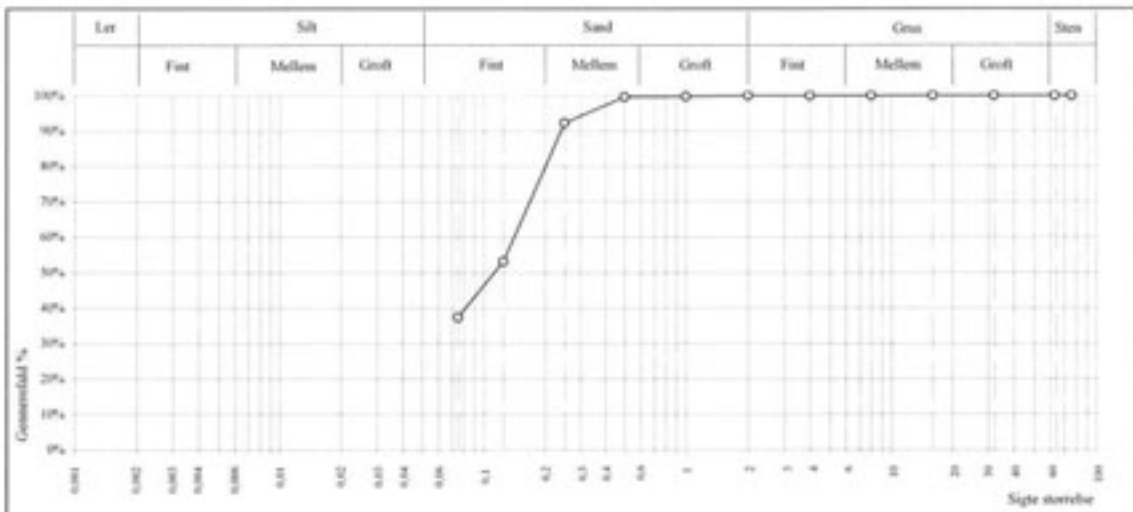


Signaturer		
Form	10 cm	15 cm
Forsøg	Kompresning	CBR
Standard	○	△
Modificeret	●	▲
Mærkeskilt		m. vand
Højde		△
Proctorforsøg		
Indtæmpning	Standard	Modificeret
P <sub>L</sub> max	ton/m <sup>2</sup>	
W <sub>opt</sub>	%	
CBR		
Indtæmpning	Standard	Standard
CBR	%	
Tætningsstet	°d 100'	
Vandsæthed, w		
Vandlaget		
Vandoptagelse	%	
Udkvælbning	mm	

Fraesigt (> 16 mm)	4	Vandsæthed in situ	w <sub>in</sub>	Læresæthed	
Flydegrænse	w <sub>L</sub>	Plasticitetsgrænse	w <sub>p</sub>	Plasticitetsindeks	Ip
Kornstørrelse (0 - 75 µm)	w <sub>s</sub>	Kornstørrelse (0 - 16 mm)	w <sub>s</sub>	Kornstørrelse (> 16 mm)	w <sub>s</sub>
Kalkindhold (0 - 1 mm)	ka	Kalkindhold (0 - 16 mm)	ka	Kalkindhold (> 16 mm)	ka
Gledetab	gl	Gledetab reduceret	gl <sub>red</sub>	Vibrationsindtæmpning	P <sub>v</sub> 100'
Sædelsværdi	SE	Kapillærret	h <sub>c</sub>	Optimalt Vandsæthed	W <sub>opt</sub>
Tætningsstet i marken	°d	Tætningsstet korrigeret	°d <sub>k</sub>	Uensforningsgrad	2,4
		Vandsæthed kor.	w <sub>k</sub>		

<b>RAMBOLL</b> Prøvebeskrivelse: Prøvetæt 2, fraktion E, sand fra bor og boks ved mikser					
Kalkværet: Mikstørrelsen			Dato: / /	Stuen: / /	Pr. nr.: 101
Sæl: MAN B&W Diesel A/S, Frederiksberg			Sag nr.: 991371	K.A. nr.:	
Lid. d.: 02/128	Tegn:	Godk. d.: 02/903	<i>[Signature]</i>		





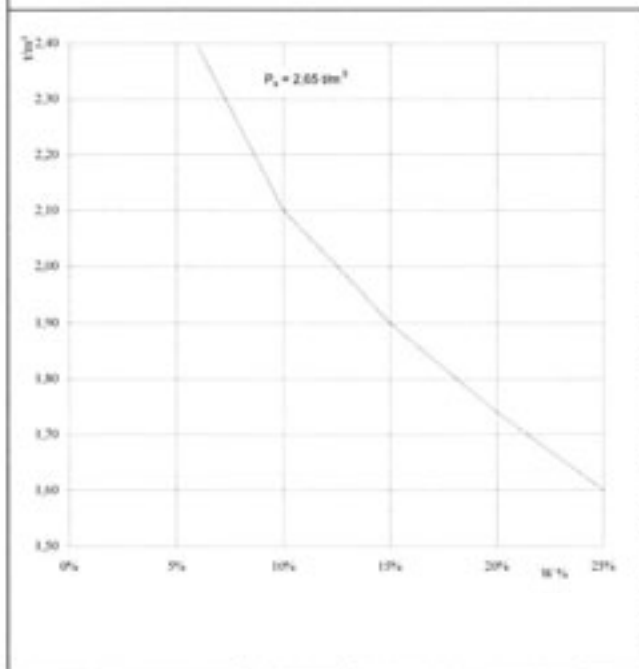
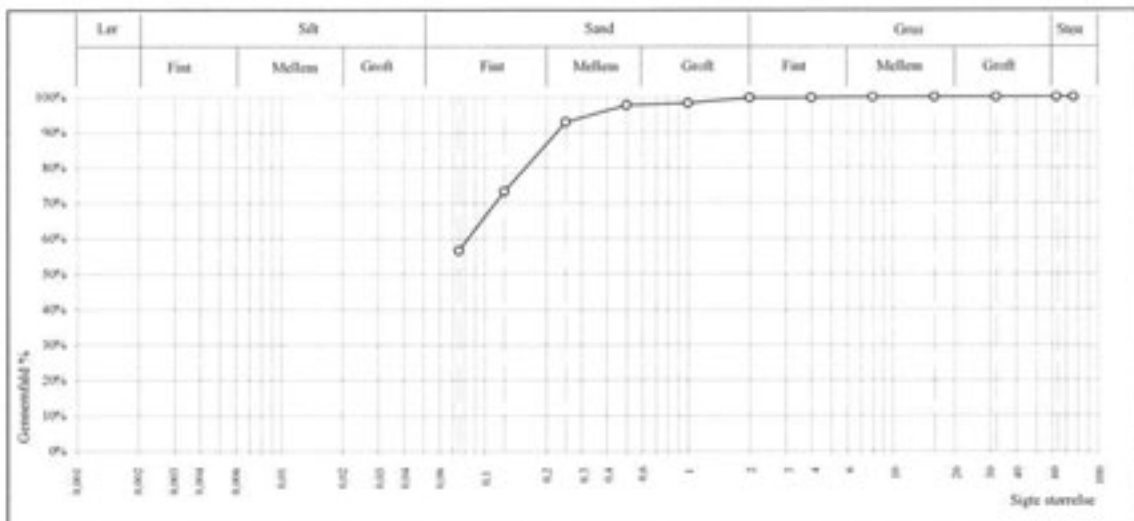
Signaturer		
Form	10 cm	15 cm
Forsøg	Kompresning	CBR
Standard	○	△
Modificeret	●	▲
Mærkespore		in sand
Skulptur		▽
Proctorforsøg		
Indtæmpning	Standard	Modificeret
$\gamma_d$ max	10 <sup>3</sup>	
$W_{opt}$	%	
CBR		
Indtæmpning	Standard	Standard
CBR	%	
Tændehjul	$\gamma_d$ 10 <sup>3</sup>	
Vandindhold, w		
Vandlagret		
Vanddybde	%	
Slukvædsning	mm	

Fraigt > 16 mm	s		Vandindhold in situ	$w_{in}$		Løseindhold	
Flydegrænse	$\gamma_L$		Plasticitetegrænse	$\gamma_P$		Plasticitetindeks	Ip
Kondensat (< 75 $\mu$ m)	$\gamma_s$		Kondensat (< 16 mm)	$\gamma_s$		Kondensat (< 16 mm)	$\gamma_s$
Kalkindhold (< 1 mm)	ka		Kalkindhold (< 16 mm)	ka		Kalkindhold (< 16 mm)	ka
Guldetals	gl		Guldetals reduceret	gl <sub>red</sub>		Vibrationsindtæmpning	$\gamma_{d, vib}$
Særløseværdi	SE		Kapillaritet	h <sub>c</sub>		Optimalt Vandindhold	$w_{opt}$
Tændehjul i marken	$\gamma_d$		Tændehjul korrigeret	$\gamma_{d, k}$		Uensfornighedstal	
			Vandindhold tom	$w_i$			



Provebeskrivelse: Provenet 3, fraktion A, sand fra site 1 og 2

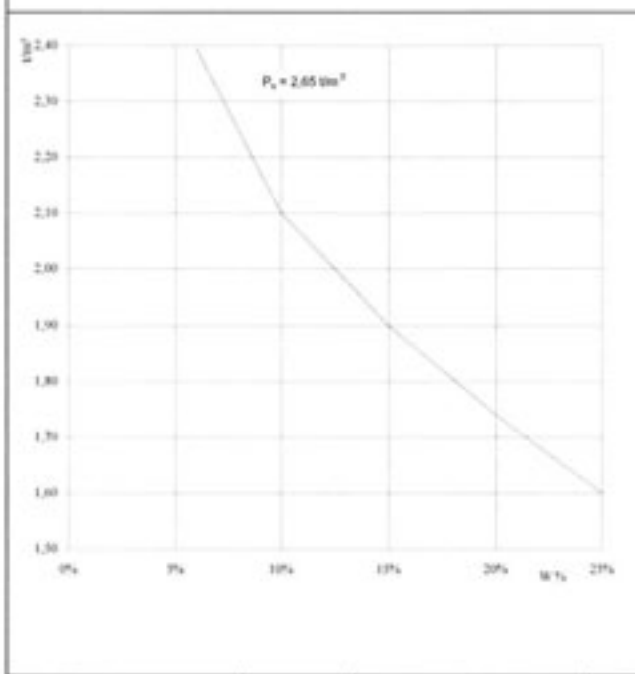
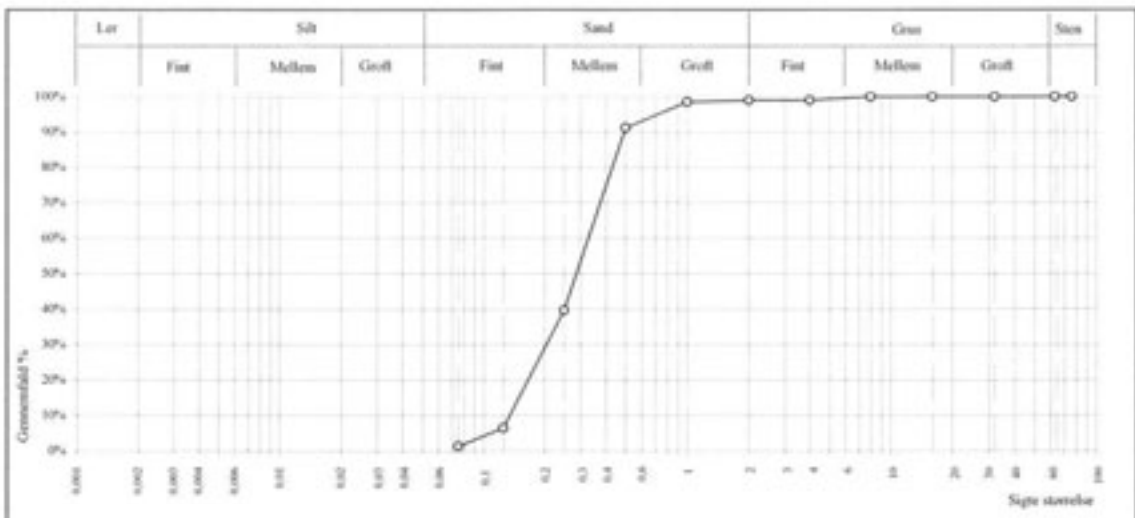
Eksponent: Miljøteknik		Dokumentation		Status: Forsøg	
Sæl: MAN B&W Diesel A/S, Frederiksborg		Godk. af: [Signature]		Pr. nr.: 03	
Udk. d.: 02/020	Tegn:	Godk. d.: 02/065		Sag nr.: 901571	K&A nr.:



Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Standard	○	△	□
Modificeret	●	▲	■
Måteingeniør			in vand
Højere			□ ▲
Proctorforsøg			
Indtæmpning		Standard	Modificeret
r <sub>d</sub> , max	cm <sup>3</sup>		
W <sub>opt</sub>	%		
CBR			
Indtæmpning		Standard	Standard
CBR	%		
Tætningsmetode	r <sub>d</sub> , cm <sup>3</sup>		
Vandhold, w			
Vandfyldning			
Vandoptagelse	%		
Udvælgelse	mm		

Fraigtet > 16 mm	s	Vandhold in situ	w <sub>in</sub>	Lerindhold	
Flidgrænse	w <sub>L</sub>	Plasticitetsgrænse	w <sub>p</sub>	Plasticitetsindeks	Ip
Kornstørrelse (0 - 75 µm)	r <sub>s</sub>	Kornstørrelse (0 - 16 mm)	r <sub>s</sub>	Kornstørrelse (> 16 mm)	r <sub>s</sub>
Kalkindhold (0 - 1 mm)	ka	Kalkindhold (0 - 16 mm)	ka	Kalkindhold (> 16 mm)	ka
Globulenhed	gl	Globulenhed reduceret	gl <sub>r</sub>	Vibrationsindtæmpning	P <sub>v</sub> , cm <sup>3</sup>
Sedimentvægt	SE	Kapillærret	h <sub>c</sub>	Optimalt Vandhold	w <sub>opt</sub>
Tætningsmetode i mark	r <sub>d</sub>	Tætningsmetode i mark	r <sub>d</sub> , k	Umsætningsgrad	
		Vandhold i mark	w <sub>i</sub>		

Procekskrivelse: Proveset 3, fraktion R, sand fra site 3, 4, 5 og 6					
Kalkulat. Målestyrelsen			Dyrket Kalk.		
Sted: MAN B&W Diesel A/S, Frederikshavn			Dato: Forsøg		Pr. nr.: 10
Udb. d.: 020620	Tegner:	Godk. d.: 020605		Sag nr.: 991571	K.A. nr.:

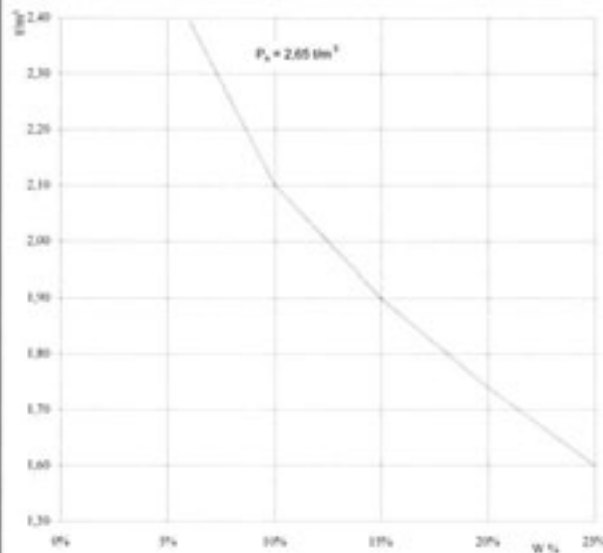
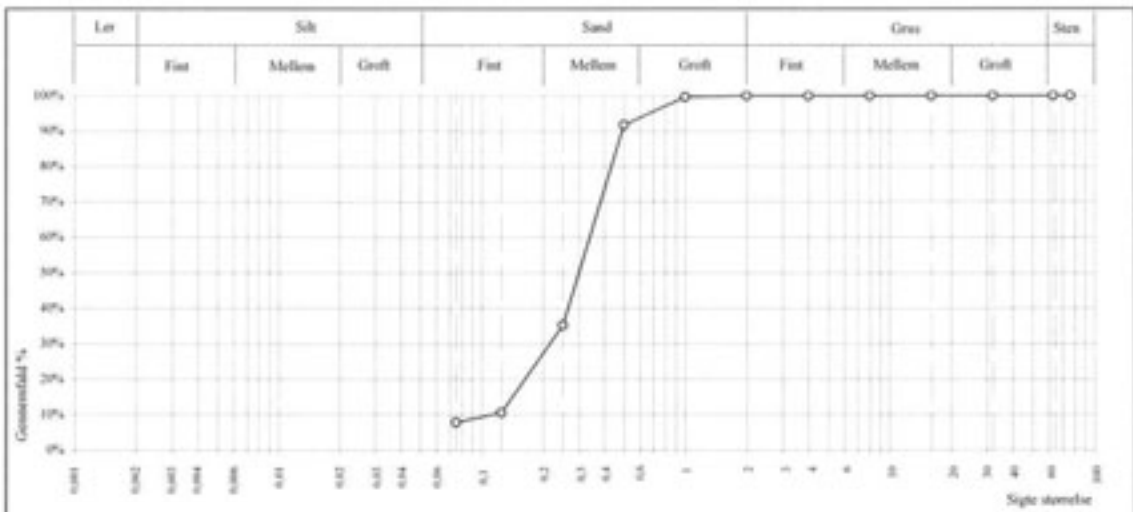


Signaturer		
Form	10 mm	15 mm
Forsøg	Komprimering	
Standard	○	△
Modificeret	●	▲
Startspænding	m vand	
Startspænding	□	
Startspænding	■	
Proctorforsøg		
Indtæmpning	Standard	Modificeret
r <sub>d</sub> mm	100	
w <sub>opt</sub>	%	
CBR		
Indtæmpning	Standard	Standard
CBR	%	
Tændehøjde	r <sub>d</sub> mm	
Vandhold w		
Vandlag		
Vandoptagelse	%	
Ulkvaldning	mm	

Forsøg = 10 mm	a	Vandhold in situ	w <sub>in</sub>	Løsehold
Plastgrænse	w <sub>L</sub>	Plasticitetsgrænse	w <sub>p</sub>	Plasticitetsindeks
Kornstørrelse (0 - 75 µm)	w <sub>s</sub>	Kornstørrelse (0 - 10 mm)	w <sub>s</sub>	Kornstørrelse (> 10 mm)
Kalkindhold (0 - 1 mm)	ka	Kalkindhold (0 - 10 mm)	ka	Kalkindhold (> 10 mm)
Gledetals	gl	Gledetals reduceret	gl <sub>red</sub>	Vibrationsindtæmpning
Sænktryk	SE	Kapillært	s <sub>c</sub>	Optimalt Vandhold
Tændehøjde i mark	r <sub>d</sub>	Tændehøjde korrigeret	r <sub>d</sub> k	Uværdighed
		Vandhold kon	w <sub>k</sub>	

**RAMBOLL** Provebeskrivelse: Proveset A, fraktion C, sand fra boks ved fristrøksanlæg og boks ved pumpeanlæg

Relevante Miljøtyper		Udvikling	
Med MAN B&W Diesel A/S, Frederikshavn		Størrelse	Pr nr 10
Dato: 02/02/20	Page: 1	Godt nr: 02090	Fig nr: 011371



Signaturer		
Form	10 mm	15 mm
Forsøg	Kompresning	CBR
Standard	○	△
Modificeret	●	▲
Mærkeskilt		in vand
Mærkeskilt		□

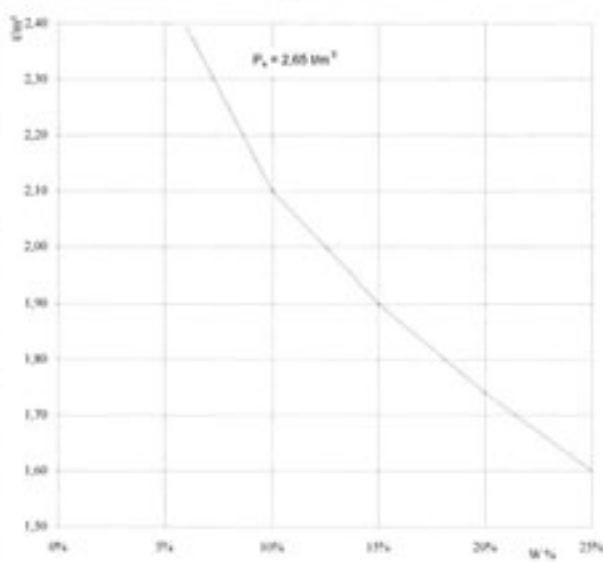
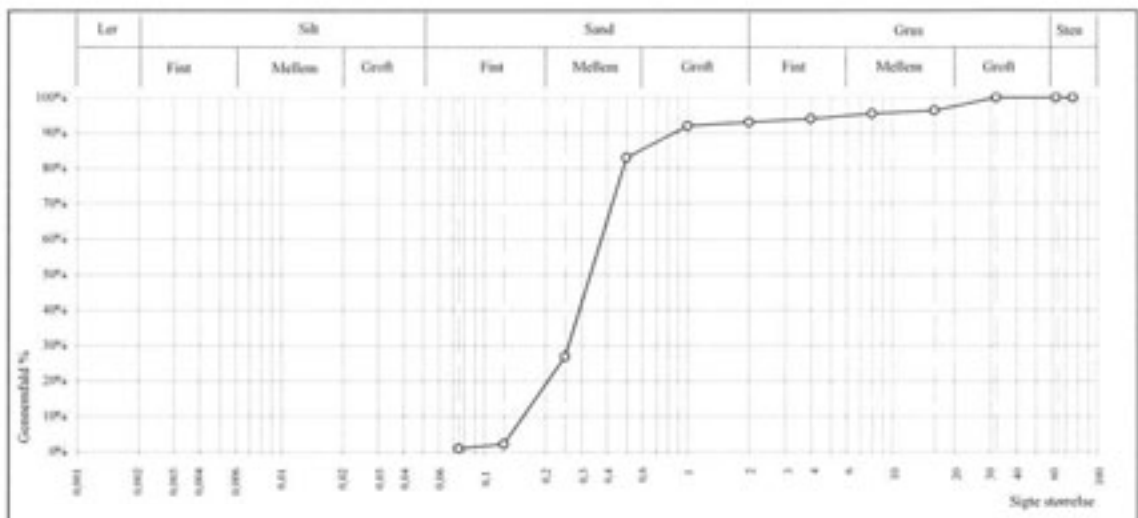
Proctorforsøg		
Indtæmpning	Standard	Modificeret
γ <sub>d, max</sub>	19.5	
W <sub>opt</sub>	15.5	

CBR		
Indtæmpning	Standard	Standard
CBR	15	
Tændehjul	7.5	
Vandehold, w		
Vandlaget		
Vandtægtet	15	
Udværling	100	

Fraigt > 16 mm	0	Vandehold in situ	w <sub>in</sub>	Læsehøjd	
Hydrat	%L	Plasticitetsgrænse	%P	Plasticitetsindeks	Ip
Kornstør (0 - 75 µm)	%s	Kornstør (0 - 16 mm)	%s	Kornstør (> 16 mm)	%s
Kalkindhold (0 - 1 mm)	ka	Kalkindhold (0 - 16 mm)	ka	Kalkindhold (> 16 mm)	ka
Gledetab	gl	Gledetab reduceret	gl <sub>red</sub>	Vibrationsindtæmpning	P <sub>v, max</sub>
Sædeltværet	SE	Kapillæret	h <sub>c</sub>	Optimal Vandehold	W <sub>opt</sub>
Tændehjul i marken	%d	Tændehjul læstegnet	%d, k	Vandfølsomhedsal	3,1
		Vandehold kon	W <sub>1</sub>		

**RAMBOLL** Procturforsøg: Proveset 3, fraktion D, sand fra støvsuger

Eksponent: Målingsværdi		Dybt: 100	Støvsuger: 99171	Pr. nr.: 10
Stof: MAN B&W Diesel A/S, Frederiksborg		Kon: 10		
Udb. d.: 02/02	Tryk: 10	Godk. d.: 02/02		KA nr.:



Signaturer		
Form	10 cm	15 cm
Forsøg	Komprimering	CBR
Standard	○	△
Modificeret	●	▲
Matingsline	in vand	
Maletoner	□	
Proctorforsøg		
Indtæmpning	Standard	Modificeret
$P_d$ max	100%	
$W_{opt}$	%	
CBR		
Indtæmpning	Standard	Standard
CBR	%	
Tædniveau	%	
Vandindhold, w	%	
Vandlaget	mm	
Vandoptagelse	%	
Udvælgelse	mm	

Frafilter > 16 mm	a	Vandindhold in situ	$w_{in}$	Læredindhold	
Hydratation	$\%L$	Plasticitetegrænse	$w_p$	Plasticitetindeks	$I_p$
Kornelast (> 75 µm)	$\%s$	Kornelast (> 16 mm)	$\%s$	Kornelast (> 16 mm)	$\%s$
Kalkindhold (> 1 mm)	$k_a$	Kalkindhold (> 16 mm)	$k_a$	Kalkindhold (> 16 mm)	$k_a$
Guldetal	$g$	Guldetal reduceret	$g_{red}$	Vibrationsindtæmpning	$P_{vib}$
Sædelværdi	SE	Kapillæret	$h_c$	Optimalt Vandindhold	$W_{opt}$
Tædniveau i marken	$\%d$	Tædniveau korrigeret	$\%d_k$	Uensfremgængelighed	2.4
		Vandindhold kor.	$w_k$		



Forsøgsbeskrivelse: Føremat 3, fraktion E, sand fra ler og biks ved miksere

Belønnet Miljøsvend		Dokumentation		Status	
Sed. MAN B&W Desol A/S, Frederiksborg		Dokumentation		Pr. nr. 10	
Vid. d. 029020	Tegn.	Godk. d. 029005	<i>[Signature]</i>	Sag nr. 991571	KA nr.

Prøve	Max tørdens. t/m <sup>3</sup>	Densitet indbyg. t/m <sup>3</sup>	Komprimeringsgrad %	Permeabilitet m/s
Fraktion A, sæt 3	1,29	1,24	96,4	$9,71 \times 10^{-7}$
Fraktion B, sæt 3	2,07	1,94	93,7	$2,75 \times 10^{-7}$
Fraktion C, sæt 3	2,42	2,40	99,1	$6,78 \times 10^{-5}$
Fraktion D, sæt 3	1,72	1,69	98,5	$7,67 \times 10^{-6}$
Fraktion E, sæt 3	1,67	1,61	96,4	$1,55 \times 10^{-4}$

06/09/2002 10:26 +45 96204037  
 05/09/2002 10:28 MRN BSM DIESEL A/S FOUNDRY. + 845988958 NO.166 001  
 05/09/2002 14:10 004543718318  
 5. SEP. 2002 14:21 FRO PERSTORP CHEMITEC TO 9204543718318 NR.729 (5.1)

*ATT: Mr. Jens Andersen.*



FAX MESSAGE

*W. Rain*  
 To: Mr. Per Noergaard  
 Company: Alpha Diesel, Denmark  
 Fax no: +45 96204037  
 From: B. Lynas  
 Reply fax:  
 Date: 08.07.02  
 Re: L.O.I. DUST SAMPLES  
 No. of pages: 1

<i>Uge 49</i> 2001		<i>Uge 22</i> 2002		<i>Uge 25</i> 2002	
SAMPLE 1	L.O.I%	SAMPLE 2	L.O.I%	SAMPLE 3	L.O.I%
Fraction A	33.75	Fraction A	22.36	Fraction A	39.07
Fraction B	-1.66	Fraction B	-1.14	Fraction B	-2.63
Fraction C	-3.60	Fraction C	-2.07	Fraction C	-3.61
Fraction D	1.48	Fraction D	12.38	Fraction D	14.49
Fraction E	2.62	Fraction E	5.16	Fraction E	3.95

NOTES!

1. Fraction A mainly silica dust + binder
2. Fractions B +C with -(minus) results mainly Chromite dust. Minus results due to oxidation process.
3. Fractions D +E a mixture of silica and chromite

cc: BUF WN1L AFG.

Dynnea Aycliffe Ltd, Aycliffe Ind Park, Newton Aycliffe, Co Durham  
 Tel: +44 1325 300666, Fax +44 1325 303219, www.dynnea.com  
 Reg no 3762174

*19/07/02. J. H. Rain*

TOTAL P. 01



## Analyserapport

### Støbesandprøver

Karakterisering af kemisk bundet  
overskudssand fra støberiet hos

MAN B&W Diesel A/S ;Alpha Diesel,  
Frederikshavn

Deres sagsnr.: 99.1571

**Rekvirent:** Rambøll  
Jens Nonboe Andersen  
Teknikerbyen 31  
2830 Virum

**Dato:** 11. marts 2002

**Udført af:** MILJØ-KEMI, Dansk Miljø Center A/S  
Holsbjergvej 42, DK-2620 Albertslund

  
Else Roager Simonsen  
akademiingeniør

  
Nis Hahsen  
civilingeniør





MILJØ-KEMI, Dansk Miljø Center A/S, har den 6. december 2001 modtaget 5 prøver af overskudssand til analyse.

Undersøgelsen er rekvireret af Rambøll ved Jens Nonboe Andersen

## Prøvemateriale

Prøverne var mærket:

- Prøvesæt 1 prøve nr. I Fraktion A Materiale fra silo 1 og 2: Støv fra filtre fra udslagning og fra regenerering af sand.
- Prøvesæt 1 prøve nr. I Fraktion B Materiale fra silo 3,4,5 og 6: Støv fra for- og efterfiltre fra fristråleanlæg samt fra filter fra Pangborn anlæg.
- Prøvesæt 1 prøve nr. I Fraktion C Materiale fra biks ved fristråleanlæg hhv. biks ved Pangborn anlæg.
- Prøvesæt 1 prøve nr. I Fraktion D Materiale fra støvsuger.
- Prøvesæt 1 prøve nr. I Fraktion E Materiale fra bør og biks ved miksere til furansand til støbeforme og store kerner.

Prøverne er analyseret for phenoler, BTEX'er, naphthalener, PAH'er samt for p-toluensulfonsyre, formaldehyd, metylfuraner og furfurylalkohol. Endvidere er der foretaget analyse for pH og tungmetaller.

Prøverne er modtaget i rilsanposer og opbevaret ved 4°C indtil analyse.

Prøverne til p-toluensulfonsyre er nedfrosset indtil analyse.

Analyserne er udført i perioden 06.12.01 - 20.12.01.



## Analysemetoder

<b>AJL MK10-3 mod.</b>	<b>Dichlormethanekstraherbare organiske stoffer ved GC/MS</b>
<i>Princip:</i>	50 g prøve er udrystet med dichlormethan i 2 timer hhv. 16 timer på rystebord. Inden ekstraktion er der tilsat deuteriummærkede standarder af benzen, toluen, ethylbenzen, phenol, naphthalen, phenanthren og chrysen. Ekstrakterne er efter centrifugering analyseret ved gaskromatografi med massespektrometrisk detektor (GC/MS-SIM).
<i>Analyseusikkerhed:</i>	RSD 10%
<b>MK-1061</b>	<b>Metaller</b>
<i>Princip:</i>	Oplukning i halvkoncentreret salpetersyre (DS259) og måling ved ICP-AES
<i>Analyseusikkerhed:</i>	RSD 10%
<b>MK-4256-Lm.8a,m.</b>	<b>pH</b>
<i>Princip:</i>	pH-måling efter DS287 på vandigt ekstrakt.
<i>Analyseusikkerhed:</i>	RSD 0,1 enh.
<b>MK-4031</b>	<b>Tørstof</b>
<i>Princip:</i>	Efter DS204
<i>Analyseusikkerhed:</i>	RSD 5%
<b>MK-8007mod.</b>	<b>Formaldehyd, frit</b>
<i>Princip:</i>	Prøven opslømmes med demin. vand i forholdet 1:1. Opslemningen filtreres og tilsættes DNPH-reagens i acetonitril i forholdet 1:1. Den resulterende opløsning analyseres ved HPLC/UV .
<i>Analyseusikkerhed:</i>	RSD 10%



LC-MS ad hoc

p-Toluensulfonsyre

*Princip:* Prøven opslømmes med demin. vand i forholdet 1:2 og ekstraheres i 1 time på rystebord. Filtrering og analyse ved LC/MS

*Analyseusikkerhed:*  
RSD 10%



### Resultater Støbesand – Frederikshavn

Enhed: mg/kg TS	Prøvesæt 1 fraktion A	Prøvesæt 1 fraktion B	Prøvesæt 1 fraktion C	Prøvesæt 1 fraktion D	Prøvesæt 1 fraktion E	Det.gr.
<b>Metaller</b>						
Bly	15	16	12	2,2	1,7	3
Cadmium	0,10	-	-	-	-	0,1
Chrom	43	470	220	11	30	1
Kobber	38	180	170	5,2	16	3
Nikkel	16	120	130	2,4	17	1
Zink	48	130	31	9,2	24	5
<b>Organiske mikroforureninger</b>						
Phenol	17/16	3,6/4,4	-/-	2,4/3,7	9,7/11	0,1
Cresoler	7,0/6,5	2,4/2,8	-/-	0,77/1,1	0,16/0,31	0,1
Xylenoler	2,0/2,1	0,50/0,63	-/-	0,18/0,23	-/-	0,1
Benzen	34/52	0,19/0,26	-/-	1,8/4,6	0,46/1,1	0,1
Toluen	260/330	2,6/3,1	0,22/0,22	14/31	3,2/7,2	0,1
Ethylbenzen	2,3/2,8	2,1/2,3	0,11/0,12	0,12/0,20	0,15/0,19	0,1
Xylener	18/23	18/20	0,71/0,74	0,93/1,7	0,85/1,1	0,1
Naphthalen	4,1/5,5	0,78/0,87	-/-	0,56/0,95	0,10/0,18	0,1
Methylnaphthalener	1,3/1,7	0,56/0,61	-/-	0,25/0,36	-/-	0,1
Dimethylnaphthalener	0,73/0,88	0,50/0,58	-/-	0,12/0,16	-/-	0,1
Acenaphthen	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	0,1
Acenaphthylen	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	0,1
Fluoren	0,22/0,24	-/-	-/-	-/-	-/-	0,1
Phenanthren	0,58/0,71	0,16/0,15	-/-	-/0,10	-/-	0,1
Anthracen	0,10/0,12	-/-	-/-	-/-	-/-	0,1
Fluoranthren	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	0,1
Pyren	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	0,1
Chrysen	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	0,1
Benz(a)anthracen	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	0,1

- : Mindre end den angivne detektionsgrænse.

Det.gr. : Detektionsgrænse

/ : 2 timers ekstraktion/16 timers ekstraktion



### Resultater Støbesand – Frederikshavn

Enhed: mg/kg TS	Prøvesæt 1 fraktion A	Prøvesæt 1 fraktion B	Prøvesæt 1 fraktion C	Prøvesæt 1 fraktion D	Prøvesæt 1 fraktion E	Det.gr.
<b>Organiske mikroforureninger</b>						
Benz(b)- og benz(k)fluoranthen	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	0,1
Benz(a)pyren	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	0,1
Benzo(ghi)perylene	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	0,1
Dibenzo(a,h)anthracen	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	0,1
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	0,1
Methylfuraner	ia	ia	ia	ia	ia	ia
Furfurylalkohol	160/63	3,0/2,8	-/-	1,7/1,3	100/110	0,1
<b>Øvrige organiske mikroforureninger</b>						
Formaldehyd	1,0	0,35	<0,03	<0,06	0,86	iu
p-Toluensulfonsyre	5600	4,4	0,26	730	640	iu
<b>Øvrige uorganiske parameter</b>						
pH, pH-enhed	5,5	9,6	8,5	4,1	11	iu
Tørstof, %	97	100	100	99	100	0,002

- : Mindre end den angivne detektionsgrænse.
- Det.gr. : Detektionsgrænse
- / : 2 timers ekstraktion/16 timers ekstraktion
- ia : Ikke analyseret
- iu : Ikke udført
- < : Mindre end.

### Kommentar

Indholdet af methylfuraner er ikke analyseret, idet det ikke var muligt at medanalyserer methylfuraner sammen med PAH-forbindelserne. Indledende forsøg viste dog, at methylforbindelser kunne påvises ved valg af anden type kolonne.

RAMBØLL-HELVENELV & HØJLEND A/S		
Kopi	Aktion	Cirk.
	01. JUL. 2002	
	Sagsnr.	
	Arkiv	
	Jnr.	

## Analyserapport

### Støbesandprøver

Karakterisering af kemisk bundet  
overskudssand fra støberiet hos

MAN B&W Diesel A/S; Alpha Diesel,  
Frederikshavn  
Deres sagsnr.: 99.1571

**Rekvirent:** Rambøll  
Jens Nonboe Andersen  
Teknikerbyen 31  
2830 Virum

**Dato:** 28. juni 2002

**Udført af:** Eurofins Danmark A/S  
Holsbjergvej 42, DK-2620 Albertslund

  
Else Roage Simonsen  
akademilingeniør

  
Nis Hansen  
civilingeniør

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).  
Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

S:\99\AA\COVER\RAMBØLL\902357.DOC

Side 1 af 5

Eurofins Danmark A/S har den 29. maj 2002 modtaget 5 prøver af overskudssand til analyse.

Undersøgelsen er rekvireret af Rambøll ved Jens Nonboe Andersen

## Prøvemateriale

Prøverne er udtaget den 28. maj 2002 og var mærket:

Prøvesæt 2	prøve nr. 1	Fraktion A	Materiale fra silo 1 og 2: Støv fra filtre fra udsugning og fra regenerering af sand.
Prøvesæt 2	prøve nr. 1	Fraktion B	Materiale fra silo 3,4,5 og 6: Støv fra for- og efterfiltre fra fristråleanlæg samt fra filter fra Pangborn anlæg.
Prøvesæt 2	prøve nr. 1	Fraktion C	Materiale fra biks ved fristråleanlæg hhv. biks ved Pangborn anlæg.
Prøvesæt 2	prøve nr. 1	Fraktion D	Materiale fra støvsuger.
Prøvesæt 2	prøve nr. 1	Fraktion E	Materiale fra bør og biks ved miksere til furansand til støbeforme og store kerner.

Prøverne er analyseret for phenoler, BTEX'er, naphthalener, PAH'er samt for p-toluensulfonsyre, formaldehyd, metylfuraner og furfurylalkohol. Endvidere er der foretaget analyse for pH og tungmetaller. Prøverne er modtaget i nilsanposer og opbevaret ved 4°C indtil analyse.

Analyserne er udført i perioden 29.05.02 - 25.06.02.

## Analysemetoder

### Dichlormethanekstraherbare organiske stoffer ved GC/MS, MK10-3 mod.

**Princip:** 50 g prøve er udrystet med dichlormethan i 16 timer på rystebord. Inden ekstraktion er der tilsat deuteriummærkede standarder af benzen, toluen, ethylbenzen, phenol, naphthalen, phenanthren og chrysen. Ekstrakterne er efter centrifugering analyseret ved gaskromatografi med massespektrometrisk detektor (GC/MS-SIM).

**Analyseusikkerhed:** RSD 10%.

### Metaller, MK-1061

**Princip:** Oplukning i halvkoncentreret salpetersyre (DS259) og måling ved ICP-AES.

**Analyseusikkerhed:** RSD 10%.

### pH, MK-4256-Lm.8a,m

**Princip:** pH-måling efter DS287 på vandigt ekstrakt.

**Analyseusikkerhed:** RSD 0,1 enh.

### Tørstof, MK-4031

**Princip:** Efter DS204.

**Analyseusikkerhed:** RSD 5%.

### Formaldehyd frit, MK-8007mod.

**Princip:** Prøven opslømmes med demin. vand i forholdet 1:1. Opslemningen filtreres og tilsættes DNPH-reagens i acetonitril i forholdet 1:1. Den resulterende opløsning analyseres ved HPLC/UV .

**Analyseusikkerhed:** RSD 10%.

### p-Toluensulfonsyre, LC-MS ad hoc

**Princip:** Prøven opslømmes med demin. vand i forholdet 1:2 og ekstraheres i 1 time på rystebord. Filtrering og analyse ved LC/MS.

**Analyseusikkerhed:** RSD 10%.



## Resultater

Støbesand – Frederikshavn

Enhed: mg/kg TS	Prøvesæt 2 fraktion A	Prøvesæt 2 fraktion B	Prøvesæt 2 fraktion C	Prøvesæt 2 fraktion D	Prøvesæt 2 fraktion E	Det.gr.
<b>Metaller</b>						
Bly	11	16	11	-	-	3,0
Cadmium	-	0,35	-	-	-	0,10
Chrom	25	410	290	7,5	8,2	1,0
Kobber	36	210	270	8,3	14	3,0
Nikkel	9,5	92	150	2,7	6,4	1,0
Zink	49	380	94	18	-	5,0
<b>Organiske mikroforureninger</b>						
Phenol	30	5,4	0,12	13	28	0,1
Cresoler	17	7,0	-	7,0	1,5	0,1
Xylenoler	8,0	2,0	0,15	1,5	0,56	0,1
Benzen	24	0,45	0,21	8,9	3,1	0,1
Toluen	180	5,8	1,3	59	20	0,1
Ethylbenzen	1,7	0,84	-	0,58	0,12	0,1
Xyener	16	7,9	0,44	4,5	0,50	0,1
Naphthalen	6,7	1,2	-	2,2	0,53	0,1
Methylnaphthalener	1,9	0,67	-	0,81	0,13	0,1
Dimethylnaphthalener	1,2	0,74	-	0,63	-	0,1
Acenaphthen	-	-	-	-	-	0,1
Acenaphthylen	-	-	-	-	-	0,1
Fluoren	0,37	0,16	-	0,25	-	0,1
Phenanthren	0,62	0,21	-	0,40	0,10	0,1
Anthracen	-	-	-	-	-	0,1
Fluoranthren	-	-	-	-	-	0,1
Pyren	-	-	-	-	-	0,1
Chrysen	-	-	-	-	-	0,1
Benz(a)anthracen	-	-	-	-	-	0,1

- : Mindre end den angivne detektionsgrænse.

Det.gr. : Detektionsgrænse

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(r) undersøgte prøve(s).  
 Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

## Støbesand – Frederikshavn

Enhed: mg/kg TS, undtagen hvor andet er anført	Prøvesæt 2 fraktion A	Prøvesæt 2 fraktion B	Prøvesæt 2 fraktion C	Prøvesæt 2 fraktion D	Prøvesæt 2 fraktion E	Det.gr.
<b>Organiske mikroforureninger</b>						
Benz(b)-/benz(j)-/ benz(k)fluoranthren	-	-	-	-	-	0,1
Benz(a)pyren	-	-	-	-	-	0,1
Benzo(ghi)perylen	-	-	-	-	-	0,1
Dibenzo(a,h) anthracen	-	-	-	-	-	0,1
Indeno(1,2,3-c,d)- pyren	-	-	-	-	-	0,1
Methylfuraner	0,56	0,17	-	-	0,64	0,1
Furfurylalkohol	120	2,4	-	1,1	130	0,1
<b>Øvrige organiske mikroforureninger</b>						
Formaldehyd	0,33	0,19	-	0,21	3,4	0,1
p-Toluensulfonsyre	2400	6,4	-	890	860	0,1
<b>Øvrige uorganiske parametre</b>						
pH, pH-enhed	4,4	9,4	8,1	4,7	3,7	
Terstof, %	98	100	100	99	100	

- : Mindre end den angivne detektionsgrænse.  
 Det.gr. : Detektionsgrænse

RAMBOLL, HANSEN & HJØLUND AS		
Kopi	Aktion	Cirk.
	08. AUG. 2002	
	Sagsnr.	
	Arkiv	
	Jnr.	

## Analyserapport

### Støbesandprøver

Karakterisering af kemisk bundet  
overskudssand fra støberiet hos

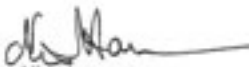
MAN B&W Diesel A/S; Alpha Diesel,  
Frederikshavn  
Deres sagsnr.: 99.1571

**Rekvirent:** **Rambøll**  
Jens Nonboe Andersen  
Teknikerbyen 31  
2830 Virum

**Dato:** 5. august 2002

**Udført af:** Eurofins Danmark A/S  
Holsbjergvej 42, DK-2620 Albertslund

  
Else Roager Simonsen  
akademiløber

  
Nis Hansen  
civilingeniør

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).  
Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

IFS\_ALBERTSLUND\DATA\USERS\RW\HANSER\HANSER\RAMBOLL\902559.DOC

Side 1 af 5

Eurofins Danmark A/S har den 21. juni 2002 modtaget 5 prøver af overskudssand til analyse.

Undersøgelsen er rekvireret af Rambøll ved Jens Nonboe Andersen

## Prøvemateriale

Prøverne er udtaget den 20. juni 2002 og var mærket:

Prøvesæt 3	prøve nr. 1	Fraktion A	Materiale fra silo 1 og 2: Støv fra filtre fra udsugning og fra regenerering af sand.
Prøvesæt 3	prøve nr. 1	Fraktion B	Materiale fra silo 3,4,5 og 6: Støv fra for- og efterfiltre fra fristråleanlæg samt fra filter fra Pangborn anlæg.
Prøvesæt 3	prøve nr. 1	Fraktion C	Materiale fra biks ved fristråleanlæg hhv. biks ved Pangborn anlæg.
Prøvesæt 3	prøve nr. 1	Fraktion D	Materiale fra støvsuger.
Prøvesæt 3	prøve nr. 1	Fraktion E	Materiale fra bær og biks ved miksere til furansand til støbeforme og store kerner.

Prøverne er analyseret for phenoler, BTEX'er, naphthalener, PAH'er samt for p-toluensulfonsyre, formaldehyd, metylfuraner og furfurylalkohol. Endvidere er der foretaget analyse for pH og tungmetaller. Prøverne er modtaget i rilsposer og opbevaret ved 4°C indtil analyse.

Analyserne er udført i perioden 21.06.02 - 23.07.02.

## Analysemetoder

### Dichlormethanekstraherbare organiske stoffer ved GC/MS, MK10-3 mod.

Princip: 50 g prøve er udrystet med dichlormethan i 16 timer på rystebord. Inden ekstraktion er der tilsat deuteriummærkede standarder af benzen, toluen, ethylbenzen, phenol, naphthalen, phenanthren og chrysen. Ekstrakterne er efter centrifugering analyseret ved gaskromatografi med massespektrometrisk detektor (GC/MS-SIM).

Analyseusikkerhed: RSD 10%.

### Metaller, MK-1061

Princip: Opløsning i halvkonzentreret salpetersyre (DS259) og måling ved ICP-AES.

Analyseusikkerhed: RSD 10%.

### pH, MK-4256-Lm.8a,m

Princip: pH-måling efter DS287 på vandigt ekstrakt.

Analyseusikkerhed: RSD 0,1 enh.

### Tørstof, MK-4031

Princip: Efter DS204.

Analyseusikkerhed: RSD 5%.

### Formaldehyd frit, MK-8007mod.

Princip: Prøven opslømmes med demin. vand i forholdet 1:1. Opslømningen filtreres og tilsættes DNPH-reagens i acetonitril i forholdet 1:1. Den resulterende opløsning analyseres ved HPLC/UV.

Analyseusikkerhed: RSD 10%.

### p-Toluensulfonsyre, LC-MS ad hoc

Princip: Prøven opslømmes med demin. vand i forholdet 1:2 og ekstraheres i 1 time på rystebord. Filtrering og analyse ved LC/MS.

Analyseusikkerhed: RSD 10%.

## Resultater

Ståbesand – Frederikshavn

Enhed: mg/kg TS	Prøvesæt 3 fraktion A	Prøvesæt 3 fraktion B	Prøvesæt 3 fraktion C	Prøvesæt 3 fraktion D	Prøvesæt 3 fraktion E	Detektion sgrænse
<b>Metaller</b>						
Bly	15	23	9,3	4,9	-	3,0
Cadmium	-	-	-	-	0,20	0,10
Chrom	35	460	180	14	10	1,0
Kobber	46	270	180	11	19	3,0
Nikkel	16	100	93	5,0	5,3	1,0
Zink	70	230	93	44	7,8	5,0
<b>Organiske mikroforureninger</b>						
Phenol	31	4,1	0,51	22	64*	0,1
Cresoler	21	6,2	-	12	4,6	0,1
Xylenoler	5,6	2,2	-	2,0	0,70	0,1
Benzen	34	0,48	0,16	12	3,5	0,1
Toluen	280	6,3	1,2	77	20	0,1
Ethylbenzen	2,3	0,46	-	0,79	0,16	0,1
Xylener	19	4,2	0,29	6,4	1,2	0,1
Naphthalen	6,8	0,88	-	3,0	0,88	0,1
Methylnaphthalener	2,1	0,52	-	1,2	0,24	0,1
Dimethylnaphthalener	1,3	0,50	-	0,85	0,16	0,1
Acenaphthen	-	-	-	-	-	0,1
Acenaphthylen	-	-	-	-	-	0,1
Fuoren	0,40	0,14	-	0,33	-	0,1
Phenanthren	0,92	0,24	-	0,66	0,21	0,1
Anthracen	0,10	-	-	-	-	0,1
Fluoranthren	-	-	-	0,11	-	0,1
Pyren	-	-	-	-	-	0,1
Chrysen	-	-	-	-	-	0,1
Benz(a)anthracen	-	-	-	-	-	0,1

- : Mindre end den angivne detektionsgrænse.  
 \* : Stor variation imellem dobbeltbestemmelserne.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(r) undersøgte prøve(r).  
 Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

## Støbesand – Frederikshavn

Enhed: mg/kg TS, undtagen hvor andet er anført	Prøvesæt 3 fraktion A	Prøvesæt 3 fraktion B	Prøvesæt 3 fraktion C	Prøvesæt 3 fraktion D	Prøvesæt 3 fraktion E	Detektion sgrænse.
<b>Organiske mikroforureninger</b>						
Benz(b)-/benz(j)-/ benz(k)fluoranthren	-	-	-	-	-	0,1
Benz(a)pyren	-	-	-	-	-	0,1
Benzo(ghi)perylene	-	-	-	-	-	0,1
Dibenzo(a,h) anthracen	-	-	-	-	-	0,1
Indeno(1,2,3-c,d)- pyren	-	-	-	-	-	0,1
Methylfuraner	ir	ir	ir	ir	ir	ir
Furfurylalkohol	138	4,5	2,2	1,0	570*	0,1
<b>Øvrige organiske mikroforureninger</b>						
Formaldehyd	0,25	-	-	-	0,43	0,1
p-Toluensulfonsyre	4000	14	3,1	1200	1200	0,1
<b>Øvrige uorganiske parametre</b>						
pH, pH-enhed	5,0	9,5	9,4	5,2	4,4	
Tørstof, %	100	99,7	100	100	99,6	

- : Mindre end den angivne detektionsgrænse.
- ir : Intet resultat
- \* : Stor variation imellem dobbeltbestemmelserne.

RAMBØLL HANSEN & HOLTSTRUP A/S		
Kopi	Aktion	Cirk.
	23. SEP. 2002	
	Sagsnr.	
	Arkiv	
	J.nr.	

## Analyserapport

### Perkolat af støbesandprøver

Karakterisering af kemisk bundet  
overskudssand fra støberiet hos

MAN B&W Diesel A/S; Alpha Diesel,  
Frederikshavn  
Deres sagsnr.: 99.1571

**Rekipient:** Rambøll  
Jens Nonboe Andersen  
Teknikerbyen 31  
2830 Virum

**Dato:** 20. september 2002

**Udført af:** Eurofins Danmark A/S  
Holsbjergvej 42, DK-2620 Albertslund

  
Else Roager Simonsen  
akademingeniør

  
Nis Hansen  
civilingeniør

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(r) undersøgte prøve(r).  
Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

S:\www\acov\tr\www\ell\2002\1.doc

Side 1 af 5



Eurofins Danmark A/S har den 15. august 2002 modtaget 5 prøver af perkolat fra overskudssand til analyse.

Undersøgelsen er rekvireret af Rambøll ved Jens Norboe Andersen og prøverne er modtaget fra RAMBØLL i Odense.

## Prøvemateriale

Prøverne var mærket:

Perkolat	Fraktion A	Materiale fra silo 1 og 2: Støv fra filtre fra udslagning og fra regenerering af sand.
Perkolat	Fraktion B	Materiale fra silo 3,4,5 og 6: Støv fra for- og efterfiltre fra fristråleanlæg samt fra filter fra Pangborn anlæg.
Perkolat	Fraktion C	Materiale fra biks ved fristråleanlæg hhv. biks ved Pangborn anlæg.
Perkolat	Fraktion D	Materiale fra støvsuger.
Perkolat	Fraktion E	Materiale fra bør og biks ved mikserne til furansand til støbeforme og store kerner.

Prøverne er analyseret for phenoler, BTEX'er, naphthalener, PAH'er samt for p-toluensulfonsyre, formaldehyd, metylfuraner og furfurylalkohol. Endvidere er der foretaget analyse for pH. Prøverne er modtaget i emballage udliveret af Eurofins Danmark A/S, konserveret ved modtagelsen og opbevaret ved 4°C indtil analyse.

Analyserne er udført i perioden 16.08.02 - 02.09.02.

## Analysemetoder

### Dichlormethanekstraherbare organiske stoffer ved GC/MS, MK9-7.

**Princip:** 500 ml prøve er udrystet med 2 x 10 ml dichlormethan ved pH <2 på rystebord. Inden ekstraktion er der tilsat deuteriummærkede standarder af benzen, toluen, ethylbenzen, phenol, naphthalen, phenanthren og chrysen. Ekstrakterne er efter inddampning analyseret ved gaskromatografi med massespektrometrisk detektor (GC/MS-SIM).

**Analyseusikkerhed:** RSD 10%.

### pH, MK-4256

**Princip:** pH-måling efter DS287 på vandigt ekstrakt.

**Analyseusikkerhed:** RSD 0,1 enh.

### Formaldehyd frit, MK-8007mod.

**Princip:** Prøven tilsættes DNPH-reagens i acetonitril i forholdet 1:1. Den resulterende opløsning analyseres ved HPLC/UV .

**Analyseusikkerhed:** RSD 10%.

### p-Toluensulfonsyre, LC-MS ad hoc

**Princip:** Prøverne analyseres direkte ved LC/MS.

**Analyseusikkerhed:** RSD 10%.

## Resultater

Perkolat af støbesand – Frederikshavn

Enhed: µg/l	Perkolat fraktion A	Perkolat fraktion B	Perkolat fraktion C	Perkolat fraktion D	Perkolat fraktion E	Det.gr.
<b>Organiske mikroforureninger</b>						
Phenol	39	122	3,7	183	660	0,1
Cresoler	51	36	0,54	49	46	0,1
Xylenoler	1,3	4,6	-	1,2	4,4	0,1
Benzen	3,1	1,6	<0,3	7,5	4,4	0,1
Toluen	4,8	2,3	<1	27	15	0,1
Ethylbenzen	0,1	0,12	-	0,2	0,1	0,1
Xylener	<2	<2	<0,5	<2	<1	0,1
Naphthalen	0,12	0,23	-	0,15	0,27	0,1
Methylnaphthalener	-	<0,7	-	0,18	-	0,1
Dimethylnaphthalener	0,24	0,94	<0,2	0,47	0,17	0,1
Acenaphthen	-	-	-	-	-	0,1
Acenaphthylen	-	-	-	-	<0,3	0,1
Fluoren	-	-	-	-	-	0,1
Phenanthren	-	-	-	-	-	0,1
Anthracen	-	-	-	-	-	0,1
Fluoranthren	-	-	-	-	-	0,1
Pyren	-	-	-	-	-	0,1
Chrysen	-	<0,2	-	-	-	0,1
Benz(a)anthracen	-	-	-	-	-	0,1

- : Mindre end den angivne detektionsgrænse.  
 < : Forhøjet detektionsgrænse pga interferens.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).  
 Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

S:\ERFA\ADOVERRAMB\L\902873.DOC

Side 4 af 5

## Perkolat af støbesand – Frederikshavn

Enhed: µg/l*	Perkolat fraktion A	Perkolat fraktion B	Perkolat fraktion C	Perkolat fraktion D	Perkolat fraktion E	Det.gr.
<b>Organiske mikroforureninger</b>						
Benz(b)-/benz(k)fluoranthren	-	-	-	-	-	0,1
Benz(a)pyren	-	-	-	-	-	0,1
Benzo(ghi)perylen	-	-	-	-	-	0,1
Dibenzo(a,h)anthracen	-	-	-	-	-	0,1
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	-	-	-	-	-	0,1
Methylfuraner	ir	ir	ir	ir	ir	0,1
Furfurylalkohol	<300	<50	<100	<20	<5000	0,1
<b>Øvrige organiske mikroforureninger</b>						
Formaldehyd,mg/l	0,58	-	0,10	0,20	0,97	0,1
p-Toluensulfonsyre, mg/l	950	0,61	5,0	240	600	0,1
<b>Øvrige uorganiske parameter</b>						
pH, pH-enhed	4,7	8,6	9,4	5,0	4,5	

- : Mindre end den angivne detektionsgrænse.
- ir : Intet resultat
- < : Anført som mindre end værdi. Vejl. niveauer.
- \* : Anvendt enhed såfremt andet ikke er anført.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).  
 Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

## Stofmængder og resultatskema



Beregning af støbesand tørstof i hver opstilling

	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
mængde i kg	4,8951	5,0313	5,0026	4,9865
målt tørstof % ved start	99,4			
tilsat vandmængde i %		0,0831	0,0831	0,10276
mængde tørstof i kg	4,8657	4,5855	4,5594	4,4472
beregnet tørstof %	99,40	91,14	90,62	88,39
målt tørstof % efter 1 uge	99,5	90,7	90,0	89,2
målt tørstof % efter 5 uger	99,7	90,3	90,5	89,4
målt tørstof % efter 14 uger	99,6	90,6	91,2	90,2

Beregning af stofmængder i hver opstilling

	A <sub>0</sub>		A <sub>1</sub>		A <sub>2</sub>		A <sub>3</sub>	
	kg TS	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
p-TSA	876,00	4,8657	4,5855	4,5594	4,5447			
Furfurylalkohol	24,00	4,262,38	4,016,92	3,994,00	3,981,15			
Formaldehyd	0,58	116,78	110,05	109,42	109,07			
Benzen	1,00	2,82	2,66	2,64	2,64			
Toluen	5,60	4,87	4,59	4,56	4,54			
Ethylbenzen	5,60	27,25	25,68	25,53	25,45			
Xylen	< 0,10	0,49	0,46	0,46	0,45			
Phenol	0,17	0,83	0,78	0,78	0,77			
Cresoler	13,00	63,25	59,61	59,27	59,08			
Xylenoler	0,78	3,80	3,58	3,56	3,54			
Naphthalen	< 0,10	0,49	0,46	0,46	0,45			
Methylnaphthalener	0,20	0,97	0,92	0,91	0,91			
Dimethylnaphthalener	< 0,10	0,49	0,46	0,46	0,45			
Methylfuraner	< 0,10	0,49	0,46	0,46	0,45			
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			

Beregning af stofmængder opsamlet på rør

	A <sub>2</sub>		A <sub>3</sub>	
	opsamlet mg	%	opsamlet mg	%
	0,13200	0,12	0,00500	0,00
	0,00010	0,00	0,00044	0,02
	0,12600	2,76	0,00805	0,18
	0,23800	0,93	0,02370	0,09
	0,00582	1,28	0,00047	0,10
	0,02540	3,28	0,00182	0,24
	0,00121	0,13	0,00050	0,06



Dato	Blindforsøg A <sub>0</sub>			Befugtet A <sub>1</sub>			Befugtet + beluftet A <sub>2</sub>			Befugtet + beluftet + podet A <sub>3</sub>			DL				
	3-okt-2003	13-okt-2003	10-nov-2003	12-jan-2004	3-okt-2003	13-okt-2003	10-nov-2003	12-jan-2004	3-okt-2003	13-okt-2003	10-nov-2003	12-jan-2004					
Uger	0	1	5	14	0	1	5	14	0	1	5	14					
Phenol	13	13	9	6,7	13	8,5	5,3	7,8	13	9,1	5,5	8,1	13	8,5	4,9	15	0,1
Cresoler	0,78	0,77	0,55	0,7	0,78	1	0,45	0,88	0,78	1,1	0,48	0,9	0,78	1	0,43	1,2	0,1
Xylenoler	<	<	<	<	<	<	<	0,1	<	<	<	0,12	<	<	<	0,31	0,1
Benzen	1	0,85	0,24	0,93	1	1,3	0,57	1,1	1	1,3	0,57	1,1	1	1,4	0,53	1	0,1
Toluen	<	<	<	<	5,6	6,5	3,2	4,8	5,6	6,3	3,1	4,9	5,6	6,7	2,8	4,6	0,1
Ethylbenzen	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,1
Xylener	0,17	0,13	<	0,23	0,17	0,16	0,16	0,26	0,17	0,17	0,16	0,28	0,17	0,18	0,14	0,27	0,1
Naphthalen	0,2	0,19	<	0,2	0,2	0,26	0,17	0,21	0,2	0,26	0,17	0,23	0,2	0,27	0,15	0,14	0,1
Methylnaphthalener	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,1
Dimethylnaphthalener	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,1
Furfurylalkohol	24	28	4,6	1,7	24	16	2,3	1,9	24	17	2,3	2,1	24	16	2,3	12	0,1
p-Toluensulfonsyre	876	814	992	1154	876	981	1274	1618	876	1033	1272	1432	876	885	1192	1450	0,2
Formaldehyd	0,58	0,49	0,19	<	0,58	<	<	>	0,58	<	<	<	0,58	<	<	<	0,1

Sagsnavn: Kemisk bundet støbesand  
Sagsnr: 991571



# Analyserapporter, nedbrydningsforsøg



## Analyserapport

### Furansand, fraktion E

Forsøg med furansand fra støberiet hos

MAN B&W Diesel A/S; Alpha Diesel,  
Frederikshavn  
Deres sagsnr.: 99.1571

Rekvirent: **Rambøll**  
Kim Haagensen  
Teknikerbyen 31  
2830 Virum

Dato: 4. november 2003

Udført af: Eurofins Danmark A/S  
Strandesplanaden 110, DK-2665 Vallensbæk strand

  
Else Roager Simonsen  
Kemiker

  
Yvonne Simonsen  
Kundesegmentchef

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).  
Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Eurofins Danmark A/S har den 6. og 13. oktober 2003 modtaget i alt 5 prøver af fursand til analyse.

Undersøgelsen er rekvireret af Rambøll ved Kim Haagensen.

## Prøvemateriale

Prøverne var mærket Fraktion E:

Prøve	Forsøg	Modtagelsesdato
prøve nr. 0	Blindforsøg uden behandling	6/10-03
prøve nr. A0	Blindforsøg uden behandling	13/10-03
prøve nr. A1	Fugtet sand	13/10-03
prøve nr. A2	Fugtet sand med beluftning	13/10-03
prøve nr. A3	Fugtet sand med beluftning og podning	13/10-03

Prøverne er analyseret for phenoler, BTEX'er, naphthalener samt for p-toluensulfonsyre, formaldehyd, og furfurylalkohol.

Prøverne er modtaget i rilsanpose og membranglas og opbevaret ved 4°C indtil analyse.

Analyserne er udført i perioden 08.10.03 - 22.10.03.

## Analysemetoder

### Dichlormethanekstraherbare organiske stoffer ved GC/MS, MK10-3 mod.

**Princip:** 50 g prøve er udrystet med dichlormethan i 16 timer på rystebord. Inden ekstraktion er der tilsat deuteriummærkede standarder af benzen, toluen, ethylbenzen, phenol og naphthalen. Ekstrakterne er efter centrifugering analyseret ved gaskromatografi med massespektrometrisk detektor (GC/MS-SIM).

**Analyseusikkerhed:** RSD 10%.

### Tørstof, MK-4031

**Princip:** Efter DS204.

**Analyseusikkerhed:** RSD 5%.

### Formaldehyd frit, MK-8007mod.

**Princip:** Prøven opslømmes med demin. vand i forholdet 1:1. Opslemningen filtreres og tilsættes DNPH-reagens i acetonitril i forholdet 1:1. Den resulterende opløsning analyseres ved HPLC/UV.

**Analyseusikkerhed:** RSD 10%.

### p-Toluensulfonsyre, LC-MS ad hoc

**Princip:** Prøven opslømmes med demin. vand i forholdet 1:2 og ekstraheres i 1 time på rystebord. Filtrering og analyse ved LC/MS.

**Analyseusikkerhed:** RSD 10%.

## Resultater Forsøg med Furansand – fraktion E

Enhed: mg/kg TS	Prøve nr. 0	Prøve nr A <sub>0</sub>	Prøve nr A <sub>1</sub>	Prøve nr A <sub>2</sub>	Prøve nr A <sub>3</sub>	Det.gr.
<b>Organiske mikroforureninger</b>						
Phenol	13	13	8,5	9,1	8,5	0,1
Cresoler	0,78	0,77	1,0	1,1	1,0	0,1
Xylenoler	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
Benzen	1,0	0,85	1,3	1,3	1,4	0,1
Toluen	5,6	4,6	6,6	6,3	6,7	0,1
Ethylbenzen	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
Xylener	0,17	0,13	0,16	0,17	0,18	0,1
Naphthalen	0,20	0,19	0,26	0,26	0,27	0,1
Methylnaphthalener	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
Dimethylnaphthalener	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
Furfurylalkohol	24	28	16	17	16	0,1
p-Toluensulfonsyre	876	814	981	1033	885	0,2
Formaldehyd	0,58	0,49	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
<b>Uorganiske parameter</b>						
Tørstof, %	99,4	99,5	90,7	90,0	89,2	

Det.gr. : Detektionsgrænse

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).  
 Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

R:\PRAK\BETR\KVAL\DOVER\KAM\BLL\905711-84.DOC

Side 4 af 4



## Analyserapport

### Furansand, fraktion E

Forsøg med furansand fra støberiet hos

MAN B&W Diesel A/S; Alpha Diesel,  
Frederikshavn  
Deres sagsnr.: 99.1571

**Rekvirent:** Rambøll  
Kim Haagensen  
Teknikerbyen 31  
2830 Virum

**Dato:** 4. december 2003

**Udført af:** Eurofins Danmark A/S  
Strandesplanaden 110, DK-2685 Vællensbæk strand



Else Roage Simonsen  
Kemiker



Yvonne Simonsen  
Kundesegmentchef

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(r) undersøgte prøve(r).  
Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

E:\RESKID\REFRAK\DOV\REFRAK\906027.DOC

Side 1 af 4

Eurofins Danmark A/S har den 11. november 2003 modtaget 4 prøver af furansand til analyse.

Undersøgelsen er rekvireret af Rambøll ved Kim Haagensen.

## Prøvemateriale

Prøverne var mærket Fraktion E, prøvetagning efter 5 uger:

Prøve	Forsøg	Modtagelsesdato
prøve nr. A0	Blindforsøg uden behandling	11/11-03
prøve nr. A1	Fugtet sand	11/11-03
prøve nr. A2	Fugtet sand med beluftning	11/11-03
prøve nr. A3	Fugtet sand med beluftning og podning	11/11-03

Prøverne er analyseret for phenoler, BTEX'er, naphthalener samt for p-toluensulfonsyre, formaldehyd, og furfurylalkohol.

Prøverne er modtaget i rilsanpose og membranglas og opbevaret ved 4°C indtil analyse.

Analyserne er udført i perioden 17.11.03 - 03.12.03.

## Analysemetoder

### Dichlormethanekstraherbare organiske stoffer ved GC/MS, MK10-3 mod.

**Princip:** 50 g prøve er udrystet med dichlormethan i 16 timer på rystebord. Inden ekstraktion er der tilsat deuteriummærkede standarder af benzen, toluen, ethylbenzen, phenol og naphthalen. Ekstrakterne er efter centrifugering analyseret ved gaskromatografi med massespektrometrisk detektor (GC/MS-SIM).

**Analyseusikkerhed:** RSD 10%.

### Tørstof, MK-4031

**Princip:** Efter DS204.

**Analyseusikkerhed:** RSD 5%.

### Formaldehyd frit, MK-8007mod.

**Princip:** Prøven opslømmes med demin. vand i forholdet 1:1. Opslemningen filtreres og tilsættes DNPH-reagens i acetonitril i forholdet 1:1. Den resulterende opløsning analyseres ved HPLC/UV.

**Analyseusikkerhed:** RSD 10%.

### p-Toluensulfonsyre, LC-MS ad hoc

**Princip:** Prøven opslømmes med demin. vand i forholdet 1:2 og ekstraheres i 1 time på rystebord. Filtrering og analyse ved LC/MS.

**Analyseusikkerhed:** RSD 10%.

**Resultater Forsøg med Furansand – fraktion E**

Enhed: mg/kg TS	Prøve nr A <sub>0</sub> 11/11-03	Prøve nr A <sub>1</sub> 11/11-03	Prøve nr A <sub>2</sub> 11/11-03	Prøve nr A <sub>3</sub> 11/11-03	Det.gr.
<b>Organiske mikroforureninger</b>					
Phenol	9,0	5,3	5,5	4,9	0,1
Cresoler	0,55	0,45	0,48	0,43	0,1
Xylenoler	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
Benzen	0,24	0,57	0,57	0,53	0,1
Toluen	1,4	3,2	3,1	2,8	0,1
Ethylbenzen	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
Xylener	<0,1	0,16	0,16	0,14	0,1
Naphthalen	<0,1	0,17	0,17	0,15	0,1
Methylnaphthalener	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
Dimethylnaphthalener	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
Furfurylalkohol	4,6	2,3	2,5	2,3	0,1
p-Toluensulfonsyre	992	1274	1272	1192	0,2
Formaldehyd	0,19	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
<b>Uorganiske parameter</b>					
Tørstof, %	99,7	90,3	90,5	89,4	

Det.gr. : Detektionsgrænse

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).  
 Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

E:\TRAKKER\FAK\KOD\TRAKKER\906027.DOC

Side 4 af 4

RAMBOLL, HANDEMANN & HEDLUND A/S	
CIRC.	COPY
13. FEB. 2004	
F: ES	

## Analyserapport

### Furansand, fraktion E

Forsøg med furansand fra støberiet hos

MAN B&W Diesel A/S; Alpha Diesel,  
Frederikshavn  
Deres sagsnr.: 99.1571

**Rekvirent:** Ramboll  
Kim Haagensen  
Teknikerbyen 31  
2830 Virum

**Dato:** 12. februar 2004

**Udført af:** Eurofins Danmark A/S  
Strandesplanaden 110, DK-2665 Vallensbæk strand

  
Else Roager Simonsen  
Kemiker

  
Yvonne Simonsen  
Kundesegmentchef

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(r) undersøgte prøve(r).  
Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

E:\PROJEKTER\RAADGIVER\RAMBOLL\906432.DOC

Side 1 af 4

Eurofins Danmark A/S har den 13. januar 2004 modtaget 4 prøver af furansand til analyse.

Undersøgelsen er rekvireret af Rambøll ved Kim Haagensen.

## Prøvemateriale

Prøverne var mærket Fraktion E, prøvetagning efter 14 uger:

Prøve	Forsøg	Modtagelsesdato
prøve nr. A0	Blindforsøg uden behandling	13/1-04
prøve nr. A1	Fugtet sand	13/1-04
prøve nr. A2	Fugtet sand med beluftning	13/1-04
prøve nr. A3	Fugtet sand med beluftning og podning	13/1-04

Prøverne er analyseret for phenoler, BTEX'er, naphthalener samt for p-toluensulfonsyre, formaldehyd, og furfurylalkohol.

Prøverne er modtaget i rilsanpose og membranglas og opbevaret ved 4°C indtil analyse.

Analyserne er udført i perioden 21.01.04 - 10.02.04:

MK8007 mod.	21.01-04-22-01-04
LC-MS ad hoc	26.01-04-27.01-04
MK10-3 mod.	04.02-04-10.02-04
TS-MK4031	09.02-04-10.02-04

## Analysemetoder

### Dichlormethanekstraherbare organiske stoffer ved GC/MS, MK10-3 mod.

**Princip:** 50 g prøve er udrystet med dichlormethan i 16 timer på rystebord. Inden ekstraktion er der tilsat deuteriummærkede standarder af benzen, toluen, ethylbenzen, phenol og naphthalen. Ekstrakterne er efter centrifugering analyseret ved gaskromatografi med massespektrometrisk detektor (GC/MS-SIM).

**Analyseusikkerhed:** RSD 10%.

### Tørstof, MK-4031

**Princip:** Efter DS204.

**Analyseusikkerhed:** RSD 5%.

### Formaldehyd frit, MK-8007mod.

**Princip:** Prøven opslømmes med demin. vand i forholdet 1:1. Opslemningen filtreres og tilsættes DNPH-reagens i acetonitril i forholdet 1:1. Den resulterende opløsning analyseres ved HPLC/UV.

**Analyseusikkerhed:** RSD 10%.

### p-Toluensulfonsyre, LC-MS ad hoc

**Princip:** Prøven opslømmes med demin. vand i forholdet 1:2 og ekstraheres i 1 time på rystebord. Filtrering og analyse ved LC/MS.

**Analyseusikkerhed:** RSD 10%.

**Resultater Forsøg med Furansand – fraktion E**

Enhed: mg/kg	Prøve nr A <sub>0</sub> 12/1-04	Prøve nr A <sub>1</sub> 12/1-04	Prøve nr A <sub>2</sub> 12/1-04	Prøve nr A <sub>3</sub> 12/1-04	Det.gr.
<b>Organiske mikroforureninger</b>					
Phenol	6,7	7,8	8,1	15	0,1
Cresoler	0,70	0,88	0,90	1,2	0,1
Xylenoler	0,10	0,10	0,12	0,31	0,1
Benzen	0,93	1,1	1,1	1,0	0,1
Toluen	4,1	4,8	4,9	4,6	0,1
Ethylbenzen	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,1
Xylener	0,23	0,26	0,28	0,27	0,1
Naphthalen	0,20	0,21	0,23	0,14	0,1
Methylnaphthalener	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,1
Dimethylnaphthalener	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,1
Furfurylalkohol	1,7	1,9	2,1	12	0,1
p-Toluensulfonsyre	1154	1618	1432	1450	0,2
Formaldehyd	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
<b>Uorganiske parameter</b>					
Tørstof, %	99,6	90,6	91,2	90,2	

Det.gr. : Detektionsgrænse

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(r) undersøgte prøve(r).  
 Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

S:\INDKØB\KEMISK\DOVERRAMBELL\08042.DOC





Rambøll  
Kim Haagensen  
Teknikerbyen 31  
2830 Virum

Eurofins Danmark A/S  
Smedeskovvej 38  
DK-8464 Galten

Telefon 70 22 42 66  
Telefax 70 22 42 55  
eurofins@eurofins.dk  
www.eurofins.dk

Dato  
28. januar 2004  
Deres ref.  
kmh  
Vores ref.  
209477-71-131  
IB/hia

## Analyserapport - Poreluft

### Prøvemateriale

Lokaltet/ Sagsidentifikation	991571 512-040041
Prøvemodtagelse	14. januar 2004
Antal / Prøvetype	2 kulrør af typen SKC 226-09 2 aldehydrør af typen SKC 226-119
Analyseperiode	22. - 28. januar 2004

### Anvendte metoder (yderligere specifikation kan findes på Eurofins Danmark A/S' hjemmeside www.eurofins.dk)

Metodemr.	Princip	Parameter	Detektionsgrænse	Analyseusikkerhed ⊕
2625	GC/FID	BTEXN, Furfurylalkohol	0,01-5 µg	10% (RSD)
8400	HPLC/UV	Formaldehyd	0,1 µg	10% (RSD)
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

⊕ Dog mindst halvdelen af detektionsgrænsen absolut.

Eurofins Danmark A/S

  
Inge Bondegaard  
kemiingeniør

## Analyseresultater

### Kulrør

Enhed: µg Parameter	Prøvemærkning				Detektions- grænse
	A2	A3			
Benzen	126	8,05			0,01
Toluen	238	23,7			0,02
Ethylbenzen	5,82	0,47			0,01
Xylener ☉	25,4	1,82			0,03
Naphthalen ☉	1,21	-			0,5
Furfurylalkohol ☉	132	< 5			5

- ☉ Sum af isomere  
 ☉ Denne analyse er ikke omfattet af akkrediteringen.  
 - Betyder mindre end den angivne detektionsgrænse.

Resultaterne er angivet med 3 betydende cifre med henblik på videre beregning.

### Aldehydrør

Enhed: µg Parameter	Prøvemærkning				Detektions- grænse
	A2	A3			
Formaldehyd	-	0,435			0,1

- Betyder mindre end den angivne detektionsgrænse.

Resultaterne er angivet med 3 betydende cifre med henblik på videre beregning.