



(12) PATENT

(11) 346732

(13) B1

NORGE

(19) NO

(51) Int.Cl.

B09C 1/06 (2006.01)

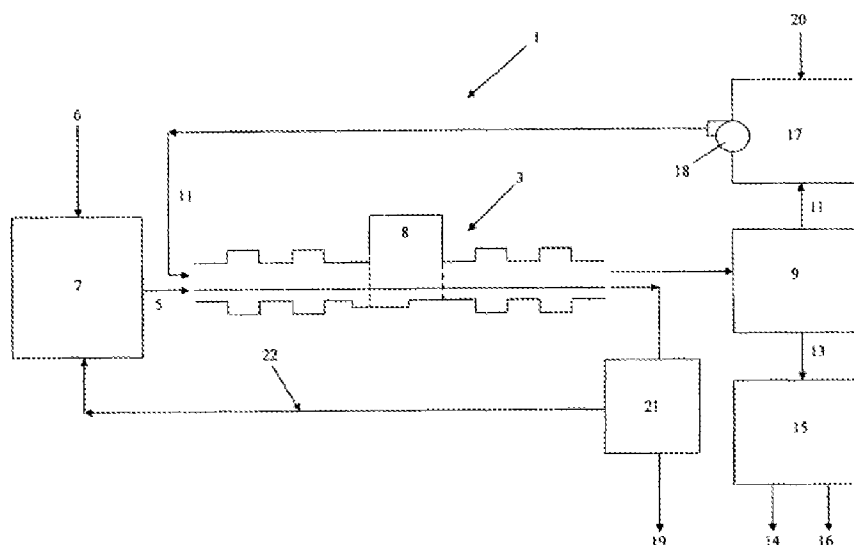
C01G 1/00 (2006.01)

E21B 21/06 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20092253	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2007.11.14 PCT/GB2007/004344
(22)	Inng.dag	2009.06.11	(85)	Videreføringsdag	2009.06.11
(24)	Løpedag	2007.11.14	(30)	Prioritet	2006.11.14, GB, 0622595.7
(41)	Alm.tilgj	2009.08.06			
(45)	Meddelt	2022.12.05			
(73)	Innehaver	The University of Nottingham, University Park, NG72RD NOTTINGHAM, Storbritannia John Robinson, c/o The University of Nottingham, University Park, NG72RD NOTTINGHAM, Storbritannia Sam Kingdom, c/o The University of Nottingham, University Park, NG72RD NOTTINGHAM, Storbritannia Colin Snape, c/o The University of Nottingham, University Park, NG72RD NOTTINGHAM, Storbritannia Michael Bradley, 22 Clarence Place, DA121LD GRAVESEND, KENT, Storbritannia Steven Bradshaw, University of Stellenbosch, Private Bag X1, 7602 MATIELAND, Sør-Afrika			
(72)	Oppfinder				
(74)	Fullmektig				
(54)	Benevnelse	Elektromagnetisk behandling av kontaminert materiale			
(56)	Anførte publikasjoner	US 5487873 A H. SHANG, C.E. SNAPE, S.W. KINGMAN AND J.P. ROBINSON, SEPARATION AND PURIFICATION TECHNOLOGY, vol. 49, (20060401), pages 84 – 90. WO 9314821 A1			
(57)	Sammendrag				

En fremgangsmåte for separasjon av et hydrokarboninnhold fra en hydrokarbonkontaminert matrise er beskrevet. Fremgangsmåten innbefatter å regulere et vanninnhold hos et matemateriale, som innbefatter den hydrokarbonkontaminerte matrisen; kontinuerlig føre matematerialet inn i et behandlingshulrom; eksponere matematerialet i et behandlingsområde av behandlingshulrommet for mikrobølgestråling anordnet for å bevirke rask oppvarming av i det minste en del av vanninnholdet for å danne damp, idet den raske dampdannelsen fører til termisk desorpsjon av i det minste en del av hydrokarboninnholdet fra matrisen; og kontinuerlig fjerne den behandlede matrisen fra behandlingshulrommet.



Den foreliggende oppfinnelsen vedrører en fremgangsmåte og anordning for behandling av kontaminerte materialer, feks. hydrokarbonkontaminerte matriser, ved bruk av elektromagnetisk stråling. Oppfinnelsen vedrører spesielt, men ikke utelukkende, kontinuerlig mikrobølgebehandling av oljekontaminert borekaks.

- 5 Elektromagnetisk stråling inkluderer blant annet mikrobølge- og radiofrekvensstråling såvel som andre strålingsfrekvenser, slik som infrarødt eller synlig lys.

”Hydrokarbonkontaminert matrise” eller ”oljekontaminert matrise” benyttes heri for å bety en matrise, ofte av faste materialer, feks. fjellavkapp, jord, slam, filterkake etc., som innbefatter et vanninnhold, og som er kontaminert med hydrokarboner.

- 10 Hydrokarbonene kan være et hvilket som helst naturlig eller syntetisk hydrokarbon, slik som naturlige eller syntetiske oljer. Hydrokarbonene kan være naturlig tilstede i fjellet. Et eksempel på en oljekontaminert matrise er oljekontaminert borekaks. Borekaks utgjøres av en blanding av fjellfragmenter, olje og vann, og produseres i betydelige mengder under leting etter og produksjon av olje og gass. Avhengig av hardheten til
15 fjellet som bores, kan et hull bli boret i en hastighet på mellom 30 og 50 fot (9,1 og 15,2 meter) pr. time. Hull er ofte 3 til 5 km dype, og kan være 8 ¾ tommer (0,22m), 15 tommer (0,38 meter) eller 17 ¼ tommer (0,44 meter) i diameter. Det er estimert at 56 steder bare i Nordsjøen produserer over en million tonn avfallsborekaks pr. år.

- Under boring etter olje og/eller gass blir et ”boreslam” pumpet til borekronen, som
20 fungerer som et smøremiddel såvel som et kjølemiddel og et middel for å transportere borekaks til overflaten. Boreslam er generelt oljebasert, spesielt i vanskelige boreforhold slik som dem som oppleves i Nordsjøen. I mindre utfordrende geologiske områder kan vannbasert eller syntetisk boreslam benyttes.

- Oljekontaminatet i borekaksen er hovedsakelig avledet fra selve boreslammet i stedet
25 for naturlig oppstående olje, og kan innbefatte 5-30 vekt-% av kaksen. Selv om bruken av vannbasert slam forårsaker mindre problemer med sluttdeponering av borekaksen, ettersom slik kaks har lite oljeinnhold, er oljebasert slam nødvendig når den geologiske situasjonen krever det, feks. når fjellet er hardt, eller når kompliserte hull kreves boret.

- Oljekontaminert borekaks (noen ganger betegnet heri som OCDC; oil contaminated
30 drill cuttings) produsert på offshore olje- eller gassborerigger ble historisk sett kvittet seg med ved å dumpe det i sjøen. Imidlertid utgjør borekaks nå et mer problematisk deponeringsproblem på rigger, fordi miljøreguleringer ofte innebærer at de ikke kan bli sluppet ut i sjøen. Reglene varierer fra land til land. For eksempel krever nåværende regler i Storbritannia mindre enn 1 vekt-% olje i borekaks for sjødeponering.

Majoriteten av boreplattformer har liten lagringskapasitet, slik at straks sjødeponering har stoppet opp vil majoriteten av materialet måtte transporteres til land for deponering. Transport av avfall til land er kostbart og kan være vanskelig og farlig i dårlig vær. Lagring av store mengder avfall på rigger i lengre perioder er ikke mulig, fordi straks
 5 riggens bufferlagringskapasitet har blitt nådd, er det nødvendig å stoppe boring inntil kaksen kan bli transportert til land. Å stoppe boring er kostbart.

På land er den kontaminerte borekaksen også utsatt for lovmessig regulering med hensyn til deponering i landbaserte miljøer slik som landfyllingssteder. Det er derfor ofte nødvendig å behandle OCDC'en på land for å redusere konsentrasjonen av
 10 oljekontaminering eller å gjøre restoljen immobil slik at den ikke forårsaker miljømessig skade.

Vi anser det som ønskelig å behandle oljekontaminert borekaks på stedet på oljeproduksjons-/leteboringsplattformen for å redusere mengden oljekontaminant, fortrinnsvis til et nivå som vil tillate deponering av borekaksen i sjøen. Imidlertid
 15 medfører dette et problem med å tilveiebringe behandlingsapparaturl som ikke opptar for mye av den begrensede plassen som er tilgjengelig på riggen.

Selv om den foreliggende oppfinnelsen har blitt gjort i forbindelse med offshore boreplattformer, og oppfinnelsen har spesiell betydning der, vil det forstås at den kan benyttes på land og for andre formål enn å fjerne olje fra et substrat, feks. behandling av
 20 kontaminert jord eller behandling av forurensset land.

Videre er oljebasert boreslam selv relativt høyverdimateriale. Vi anser det som ønskelig å tilveiebringe en fremgangsmåte og anordning som er i stand til å gjenvinne i det minste en del av det benyttede oljebaserte boreslammet fra borekaks. Jo mer olje som kan resirkuleres, desto mindre behov for å transporteres ut til og lagres på selve riggen,
 25 som innebærer at rigger kan kjøre lenger uten å måtte resuppleres og til lavere kostnad.

De meste vanlige behandlingsprosessene som for tiden er i bruk er basert på termisk behandling. Slike prosesser inkluderer forbrenning (incineration), termisk desorpsjon eller prosesser hvor mekanisk energi blir benyttet for å generere varme. I slike prosesser er det normalt å varme opp kaks til en temperatur som er tilstrekkelig for å fjerne alt
 30 vann som er tilstede i kaksen, og så heve temperaturen inntil oljekontaminanten i kaksen er brent eller kokt vekk.

US 5487 873 beskriver metoder og apparater for behandling av avfall med radiofrekvens, som inkluderer en vegg som definerer et radiofrekvensbehandlingskammer gjennom hvilket avfall kan føres. En kilde til

radiofrekvensenergi gir energi til radiofrekvensbehandlingskammeret for å varme opp avfallet og drive av damper derfra og etterlate faste rester som skal kastes.

WO 93/14821 beskriver en fremgangsmåte og et apparat for kontrollert ikke-pyrolytisk reduksjon av organisk materiale, omfattende å utsette materialet for mikrobølgestråling i
5 en reduserende atmosfære.

I henhold til et første aspekt av oppfinnelsen tilveiebringer vi en fremgangsmåte for separasjon eller ekstraksjon eller reduksjon av et hydrokarboninnhold fra en hydrokarbonkontaminert matrise som definert i krav 1. Alternative utførelsesformer av oppfinnelsen er angitt i kravene 2 til 7.

10 Hydrokarbonet kan være olje, enten naturlig eller syntetisk.

Det har blitt foreslått i laboratoriestudier å benytte mikrobølgeenergi for å redusere oljenivåer i oljekontaminert borekaks [Shang et al. 'Treatment of Oil-Contaminated Drill Cuttings by Microwave Heating in a High-Power Single-Mode Cavity', Ind. Eng. Chem. Res. 2005, 44, 6837-6844], [Shang et al. 'Microwave treatment of oil-
15 contaminated North Sea drill cuttings in a high power multimode cavity', Separation and Purification Technology, 2006, 49, 84-90].

I disse studiene gjorde nøyaktig kunnskap om elektromagnetisk feltstyrke i laboratoriehulrom det mulig å plassere testprøver i posisjonen med maksimal feltstyrke. Imidlertid er oppvarmingen av kaksen lokalisert i maskinen, og en vesentlig
20 temperaturgradient dannet over hulrommet fører til ujevn behandling av olje. Systemet var ikke virkelig tilstrekkelig anvendelig.

Designet av et anvendelig, kontinuerlig mikrobølgebehandlingssystem er ikke beskrevet i teknikkens stand. Vi har forstått at bruken av et slikt system er fordelaktig i forhold til andre oppvarmingsmetoder av et antall årsaker, inkludert selektiv oppvarming spesifikt
25 for å redusere oljenivået, i motsetning til å varme opp hele prøven. Dette tillater kontaminantfjerning ved reduserte bulktemperaturer, og følgelig energibesparelser.

I henhold til et andre aspekt av oppfinnelsen tilveiebringer vi en anordning for separasjon eller ekstraksjon eller reduksjon av et hydrokarboninnhold fra en hydrokarbonkontaminert matrise som definert i krav 8. Alternative utførelsesformer av
30 oppfinnelsen er angitt i kravene 9 til 18.

Hydrokarbonet kan innbefatte olje, enten naturlig eller syntetisk.

En utførelsesform av oppfinnelsen vil nå bli beskrevet, bare som eksempel, med henvisning til de medfølgende tegningene, i hvilke:

5 Figur 1 er et skjematisk riss av en kontinuerlig mikrobølgebehandlingsanordning;

Figur 2a viser olje- og vanninnholdet hos et spekter med prøver av borekaks;

10 Figur 2b viser de dielektriske egenskapene hos valgte borekaksprøver ved 2,45 GHz og 20°C;

Figur 3 viser temperaturen til borekaksprøver under mikrobølgebehandling i et multimodus-hulrom ved 1 kW. Den maksimale operasjonstemperaturen til optiske fibertermoelementer benyttet for å bestemme temperatur var 300°C;

15 Figur 4 er et skjematisk riss av et matemateriale matingsystem;

Figur 5 viser eksempler på partikkelstørrelsesfordelinger for ulike våt-/tørrekomposisjoner av matematerialet;

20 Figur 6 er et skjematisk riss av en tunnelapplikator for kontinuerlig behandling av borekaks;

25 Figur 7 er en skjematisk fremstilling av en tunnelapplikator, som viser spisslastpunkter (hot spots) i det elektriske feltet;

Figur 8 viser et perspektivriss av et mikrobølgebehandlingshulrom;

30 Figurene 8a og 8b viser respektivt toppriss av en øvre del og nedre del av et laboratorieskala mikrobølgebehandlingshulrom;

Figur 9 er en illustrasjon av effekten av tunnel- og belastningshøyder på elektrisk feltfordeling i mikrobølggehulrommet;

35 Figur 10 viser (a) elektrisk feltfordeling (M/σ) og (b) spredt effekt (dissipated power) som en funksjon av belteradius;

Figur 11 viser en utførelsesform av en optimalisert tunnelapplikator;

Figur 12 viser layout av et gasshåndteringssystem;

Figur 13 viser effekten av dampstripping og mikrobølge-økt dampstripping på oljefjerning fra borekaks;

5 Figur 14 viser restoljenivåer oppnådd ved bruk av gasstripping etter mikrobølgebehandling;

Figurene 15 og 16 viser en utførelsesform av et mikrobølgehulrom;

10 Figurene 17 og 18 viser en utførelsesform av et gasshåndteringssystem;

Figur 19 viser restoljeinnhold plottet mot anvendt effekt for et konstant gjennomløp av 160 kg/time i et eksempelsystem;

15 Figur 20 viser restoljeinnhold plottet mot gjennomløp for en konstant påført effekt på 15 kW i eksempelutførelsesformen;

Figur 21 viser kromatogrammer av (a) opprinnelig olje fra ubehandlet borekaks og (b) gjenvunnet olje etter mikrobølgebehandling;

20

Figur 22 viser et gasskromatogram av restolje ekstrahert fra behandlet borekaks;

Figur 23 viser energikrav som en funksjon av oppnådde hjelpenivåer ved bruk av en påført effekt på 15 kW; og

25

Figur 24 viser variasjonen av restoljeinnhold med energiinnmating for tre behandlingsscenarier (enkelmodusprosjon, multimodusprosjon og kontinuerlig) ved anvendelse av 15 kW mikrobølgeeffekt.

30 En oversikt over et system 1 for kontinuerlig separasjon av olje fra oljekontaminert borekaks på en offshore olje/gass leteboringsrigg er vist i figur 1. Systemet innbefatter matemidler 7 (eller en materialmater 7) for mating av et matemateriale 5 innbefattende ubehandlet borekaks 6 (som innbefatter en blanding av vann, olje og fjell) inn i et mikrobølgebehandlingshulrom 3. Kondenseringsmidler 9 er tilveiebrakt tilstøtende utløpet av hulrom 3 og er anordnet for å separere en inert spyle- eller svepegass 11 fra en gjenvunnet olje- og vannblanding 13. En separator 15 er tilveiebrakt for å separere blandingen 13 i olje 14 og vann 16. Et ekstraksjons- eller resirkuleringssystem 17 er tilveiebrakt for å filtrere og rense gassen 11 og å returnere den til mateinnløpet 12 til mikrobølgehulrommet 3. Ekstraksjonssystemet 17 innbefatter en pumpe 18 for å pumpe

gassen 11 gjennom hulrommet 3, og et rengassinnløp 20 for introdusering av ny gass til den resirkulerte gassen. Et tilbakeføringssystem 21 er tilveiebrakt for å mate behandlet kaks 19 tilbake til håndteringssystemet 7 som tørt, behandlet materiale 22.

I bruk blir matematerialet 5 matet inn i hulrommet 3 på en transportør 10, feks. et transportbånd. Matematerialet 5 blir eksponert for mikrobølgestråling i et behandlingsområde 8 (omkranset av stiplede linjer), som (som beskrevet mer detaljert nedenfor) forårsaker rask og fordelaktig oppvarming av vann i matematerialet. Dette forårsaker i sin tur termisk desorpsjon av oljekomponenten til matematerialet, som etterlater i det vesentlige oljefri, fast, behandlet borekaks 19. Gass-svepet 11, som passerer gjennom hulrommet 3, bidrar i dampfjerning til kondensatoren 9. Olje gjenvunnet av kondensatoren kan bli resirkulert til boreslammet (som kan kreve tilsetning av noen tilsetninger), mens det behandlede, faste materialet 19 er egnet for å deponeres (eller for et tilbakeførings ”tørr”-materiale 22 for å blandes tilbake i matematerialet 5 for å regulere dets vanninnhold - se senere). Behandlet materiale har mindre enn 1 vekt-% materiale på transportøren av olje og kan bli deponert direkte i sjøen.

Et gjennomløp av 5 til 10 tonn/time kan oppnås, men et gjennomløp innenfor området 250 kg/time til 1 tonn/time er tilfredsstillende for de fleste offshore-rigger. Denne typen ytelse kan oppnås med en mikrobølgegenerator med en effekt på ca. 100 kW, med en effektetthet på over 1W/mm^3 (10^9W/m^3). Systemet er lite og kompakt, som tillater det å enkelt passe på en rigg til tross for den begrensede plassen. En industriskala modell kunne helt enkelt bli fraktet på en ISO fraktcontainer. Det eksakte prosessfotoavtrykket er variabelt ettersom systemet kan være anordnet på et stort antall måter grunnet dets modulære natur, feks. kunne det være anordnet vertikalt med minimal bruk av en horisontal transportør. Matesystemet kunne også være relativt langt vekk fra behandlingshulrommet. Denne fleksibiliteten gjør det spesielt anvendelig på en offshore-rigg.

Sammensetningen til matematerialet og intensiteten og uniformiteten til den elektromagnetiske strålingen (som i det minste delvis avhenger av formen til selve mikrobølgehulrommet) påvirker begge den effektive fjerningen av olje. Matematerialfremstillings- og matesystemet 7 og det elektromagnetiske behandlingshulrommet 3 er begge konstruert for å sikre at det kontaminerte materialet blir konsistent og uniformt behandlet. Midlene for fjerning av utviklet gass og avgassing, som tillater disse gassene å bli gjenvunnet og resirkulert, anses som separat inventivt.

Behandlingsprinsipper

Behandlingsfremgangsmåten er basert på den observasjonen at hvis vann i materialet som skal behandles (feks. vann i fjellmaterialet med borekaks) blir varmet raskt opp til damp, så varmer varmeoverføringsmekanismer opp oljekontaminanten, som fører til termisk desorpsjon av oljen. Vannet i fjellmaterialet blir drevet ut av fjellmaterialet og fører med seg olje fra overflaten av fjellmaterialet ettersom det går. Biproduktene av oljedesorpsjon unnslipper fra det behandlede materialet med dampen. Bemerk at termisk desorpsjon av olje skyldes mikrobølgebehandling av vanninnholdet til borekaksen. Oljen blir ikke selv direkte oppvarmet av mikrobølgestrålingen (eller dette er ikke den effekten man baserer seg på).

Hvordan et materiale absorberer elektromagnetisk stråling avhenger av de dielektriske egenskapene til dette materialet. De faste mineralfasene til borekaksen innehar generelt ikke dielektriske egenskaper som er konduktive for mikrobølgeoppvarming. De kontaminerende hydrokarbonfasene er i det vesentlige transparente for den elektromagnetiske energien, slik at disse fasene ikke blir varmet opp direkte i vesentlig grad. Imidlertid er vann en god absorbent av elektromagnetisk energi, og spesielt mikrobølgeenergi. Hovedpåvirkningen på dielektriske egenskaper hos borekaksen er forbundet med vanninnholdet til kaksen. I andre materialer enn OCDC kan andre egenskaper påvirke de dielektriske egenskapene så vel som vanninnholdet. Egenskaper inkluderer fjelltype, jordtype, organisk innhold, organiske typer, temperatur, tetthet, metallinnhold og annet. I tillegg påvirker partikkelstørrelsen bulkeegenskapene til materialet og kan ha en påvirkning på suksessen til ethvert behandlingsregime.

Væskeniåer i et materiale som skal behandles er delvis avhengig av mineralogien til kaksen. Vann kan være tilstede i et materiale som skal behandles i et antall former, som grovt sett kan defineres som "bundet" og "fritt". "Bundet" vann inneholdes i selve fjellfragmentene, mens "fritt" vann kan betraktes som utenfor eller eksternt i forhold til fjellfragmentene. Det finnes alltid litt vann tilstede i borekaksen ettersom fjell blir boret godt under vannoverflaten. Vannet er ikke vanligvis sjøvann.

Rask oppvarming av vannfasen fører direkte til fjerning av kontaminerende hydrokarbonfaser fra de faste stoffene gjennom et antall mekanismer:

- (a) Dampdestillasjon: Blandinger av olje og vann vil, hvis de er godt blandet sammen slik at begge komponenter er eksponert for atmosfæren, koke ved en temperatur under kokepunktet for hver rene substans, i dette tilfellet rundt 85°C. Hvis ingen svepegass (nevnt mer detaljert senere), eller hvis en inert svepegass benyttes, blir vannet raskt fjernet som damp, og denne mekanismen kan således ikke opprettholde seg selv utover de initielle trinnene av behandlingen.

Imidlertid tillater bruk av damp forskjellig fra en inertgass (og som nitrogen eller en edelgass) kontinuerlig fjerning av vannet, og gjør det således mulig å fortsette å fjerne olje ved temperaturer under dens kokepunkt over hele varigheten av behandlingen.

5

(b) Stripping: Damp generert fra vann i kaksen kan fungere for å strippe oljen fra den kontaminerte kaksen. Kontaminerende overflateolje blir nær sagt "blåst av" fra kaksen ved hjelp av unnslippende damp. Denne effekten har vært kjent for å bryte fjell, selv om dette ikke er formålet med prosessen. Denne effekten kan forbedres ved bruk av en varm inertsvepegass, som resultatene i figur 13 viser.

10

(c) Koking: Det vil bli vist at, selv ved lav effekt, er temperaturer på mer enn 250°C oppnåelig inne i mikrobølgehulrommet, som er tilstrekkelig for termisk desorpsjon av alle unntatt de tyngste komponentene i oljen. Det kan også være noen overopphetningseffekter ved høyere effekter, feks. i kalkbasert kaks med et høyt nivå av bundet vann. Det er kjent at mikrobølgeabsorpsjonsegenskapene til fritt og bundet vann er svært forskjellige, hvor bundet vann absorberer økende mengder energi ved høyere temperaturer.

15

Det å fremme tilfellene (a) og (b) er av interesse siden de iboende krever mindre mikrobølgeenergi enn (c). Vanninnholdet er kritisk for drivmekanismen for oljefjerning.

20

Variabilitet i matematerialet med hensyn til mineralogi, olje- og vanninnhold innebærer at et antall tekniske utfordringer må overvinnes for å utvikle et effektivt behandlingssystem. Typisk variabilitet for vann- og oljekonsentrasjon i borekaks er demonstrert i figur 2a. Det kan ses at i dette eksempelet kann vanninnholdet i en prøve variere mellom tilnærmelsesvis 13 vekt-% og 5 vekt-%, og oljeinnholdet varierer enda bredere mellom tilnærmelsesvis 18 vekt-% og 6 vekt-%. Disse vektprosentene ble tatt etter at borekaksen hadde blitt behandlet for å fjerne overskuddsolje, ved bruk av en standard løsemiddelekstraksjons (DCM)-prosedyre. Oljeinnholdet er av innlysende viktighet siden dette bestemmer den oljemengden som må fjernes under prosessen, hvis formålet er å redusere oljeinnholdet til et lavt nok nivå til å gjøre det mulig å deponere borekaksen uten ytterligere behandling, feks. ved å dumpe den rensede kaksen i sjøen eller på et fyllsted på land, eller ved å benytte den innen byggeindustrien (feks. for å lage veier).

25

30

35

I tillegg kan kaksen variere i fysisk utseende fra jord-lignende til en viskøs væske avhengig av væskeinnholdet og partikkelstørrelsen. Vanninnholdet påvirker også den agglomererte partikkelstørrelsen, som således påvirker varme- og masseoverføring i et bed av borekaks.

- 5 Som tidligere forklart vedrører de dielektriske egenskapene hos dette materialet (i dette tilfellet OCDC) materialets evne til å absorbere mikrobølgeenergi. I OCDC er vann den hovedsakelige mikrobølgeabsorbenten, og vanninnholdet (sammen med den elektriske feltfordelingen) bestemmer således hvor mikrobølgeenergien blir spredd i prøven og i hvilken grad energien trenger inn i dens dybde. Figur 2b viser de målte dielektriske
- 10 egenskapene hos borekaks ut fra et antall ulike prøver. Det kan ses at dielektriske egenskaper varierer vesentlig fra prøve til prøve.

- Figur 3 viser temperaturen for kalk- og sandsteinbaserte borekaksprøver over tid under mikrobølgebehandling i et multimodus hulrom ved 1 kW. Temperatur-/tidsprofilene som vises er ikke-lineære og er potensielt svært interessante. Selv om en
- 15 gjennomgående analyse av hver region ennå ikke har blitt utført, er det et antall generelle konklusjoner som kan trekkes ut fra dataene. For det første er det mulig å overvarme vannet i kaksen for å danne damp selv ved svært lave effektnivåer slik som 1 kW, en sannsynlig konsekvens av den svært lave varmeledningsevnen til kaksen. For det andre kan det ses at høyere temperaturer oppnås mye raskere med den kalkbaserte
- 20 kaksen, som sannsynligvis skyldes tilstedeværelsen av bundet vann. Til slutt fremgår det at temperaturer langt over 300°C kan oppnås i et enkelmodus hulrom, som ville føre til termisk nedbryting av oljen. Tiden det tar å oppnå temperaturer som er tilstrekkelige for å omdanne vann til damp er relativt lang i figur 3, som et resultat av den lave effekttettheten som benyttes.
- 25 Den raten ved hvilken et materiale blir varmet opp avhenger av et antall faktorer, inkludert de dielektriske egenskapene, og spesielt vanninnholdet til selve materialet, så vel som av effekten ved strålingen som blir benyttet. EffektabSORpsjonstettheten pr. enhetsvolum i en last blir beskrevet av ligning (1).

30
$$P_d = 2\pi \cdot f \cdot \epsilon_o \cdot \epsilon'' \cdot E_o^2 \quad (1)$$

hvor:

P_d er effekttettheten (watt/m³)

f er frekvensen til den anvendte energien (Hertz)

ϵ_0 er permitiviteten ved fritt rom ($8,854 \times 10^{-12}$ F/m)

ϵ'' er den dielektriske tapsfaktoren hos materialet

E_0 er størrelsen til det elektriske feltet inne i materialet (volt/m)

- 5 Det kan ses at effekttettheten er påvirket av ϵ''_r (materialdielektrisk tapsfaktor) og strålingsfrekvensen, så vel som størrelsen til det elektriske feltet anvendt på materialet. Vanninnholdet til OCDC påvirker vesentlig den dielektriske tapsfaktoren og følgelig effekttetthets-/oppvarmingsraten for materialet. For å designe en effektiv og konsistent prosess, har vi funnet ut at det er nødvendig å regulere sammensetningen til
- 10 matematerialet og å tilveiebringe et mikrobølgehulrom med en egnet form for bestråling av et materiale av disse kjente karakteristika med et rimelig uniformt felt (for å sikre at hver del av matematerialet opplever en lignende størrelse av påført elektrisk felt) for en gitt strålingsfrekvens. Dette betyr at vi søker å sikre at det elektriske feltet innenfor hulrommet er rimelig uniformt, for å tilveiebringe en rimelig uniform effekttetthet.
- 15 I den kontinuerlige mikrobølgeprosessen beskrevet heri blir feltintensiteten regulert for å fremme termisk desorpsjon i stedet for pyrolyse, slik at oljen kan bli gjenvunnet og benyttet på nytt.

Egenskaper hos matesystemet

- Vi har innsett at effektiv mikrobølgebehandling krever konsistent matemateriale med
- 20 spesifikke og konsistente egenskaper. Dette er fordi egenskapene til materialet som blir behandlet påvirker strukturen til det elektriske feltet som produseres i behandlingshulrommet: hulrommet blir innstilt i forhold til materialet det skal behandle.

- Som beskrevet ovenfor varierer egenskapene til borekaks svært mye mellom prøver. For å produsere et konsistent matemateriale har vi innsett at det er nødvendig å regulere
- 25 sammensetningen til ubehandlet borekaks på en eller annen måte. Vi gjør dette ved å modifisere vanninnholdet til kaksen, ved å gjøre en prøve våtere eller tørrere etter behov. I mange utførelsesformer trenger bare vanninnholdet å bli regulert, ettersom det er vanninnholdet som er mest relevant for de dielektriske egenskapene hos matematerialet. Men vi utelukker ikke regulering også av andre ting.

For å gjøre den væskeaktige kaksen mer endringsbar for mikrobølgebehandling, blir tørrmaterialet 23 blandet med våt kaks 6 for å produsere et smuldreaktig matemateriale. Dette er skjematisk vist i figur 4. Tørrmaterialet er faktisk behandlet kaks 19, og matesystemet 7 innbefatter et tilbakeføringsmiddel (vist skjematisk som 21 i figur 1) for resirkulering av tørt, behandlet materiale inn i tørrmaterialmatingen 23, som en mekanisme for å regulere egenskapene til matematerialet til systemet.

Vanninnholdet i den ubehandlede kaksen kan bli målt for å hjelpe til å regulere vanninnholdet til matematerialet. Om ønskelig kan vanninnholdet til den behandlede kaksen også bli målt, selv om dette ikke er nødvendig ettersom behandlet kaks generelt har et lavt og ganske konsistent vanninnhold. Tilbakeføringssystemet kan være anordnet for å justere mengden tørrmateriale blandet inn i den våte kaksen basert på det målte vanninnholdet hos denne kaksen.

Den plastiske egenskapen til blandematerialet innebærer at det ikke kan bli lagret i en statisk tilstand uten å forårsake deformasjon av partiklene, tap av strømmingsevne og reduksjon av permeabilitet. Av denne årsak blir en kontinuerlig mikser eller blander benyttet for å få prosessen til å fungere pålitelig. En dobbelakse-padlemikser kan benyttes for å blande og mikse de to matekomponentene. Blandingen blir innført på en transportør (se figur 1) og ført inn i mikrobølgehulrommet 3 direkte fra mikseren 25. Det tørre, tilbakeførte materialet blir blandet med det våtere, ikke-mikrobølgebehandlede materialet for å produsere et matemateriale av i det vesentlige uniform bulksammensetning.

To skruematere 23a og 6a benyttes for å regulere matestrømhastighetene til de våte og tørre matekomponentene. Så vel som å påvirke de dielektriske egenskapene hos matematerialet, påvirker forholdet mellom vått og tørt materiale i matematerialet partikkelstørrelsen, og således permeabiliteten til matematerialet. Med permeabilitet, eller porøsitet, mener vi forholdet mellom ikke-fast volum (porer og væske) hos materialet i forhold til totalvolumet (inkludert de faste og ikke-faste delene). Høy permeabilitet er, f.eks. innenfor området fra 0,3 til 0,6 av borekaksen, fordelaktig for å sikre at oljetåken kan bli drevet ut fra materialet og fjernet gjennom bevegelse av den mellomliggende luften.

En høy permeabilitet hjelper også til å optimalisere masseoverføring. En "smuldrete" blanding blir skapt ved å blande den rå og tørkede borekaksen, som produserer agglomererte kuler av det rå (våte) materialet omkranset av tørt (behandlet), som oppnår et enkelt strømmende og svært gasspermeabelt materiale med rimelig regelmessig partikkelstørrelse.

Vi har oppdaget at i mange tilfeller (men ikke alle) finnes det en terskel ”tørrfraksjon”, over hvilken partikkelstørrelsen til det blandede materialet er relativt konsistent. For å produsere en blandet mating som vil kunne endres i forbindelse med faststoffhåndtering og mikrobølgebehandling, demonstrerer figur 5 at minimum 30% tørrmateriale bør
 5 blandes inn med våt mating for å sikre et matemateriale i hvilket majoriteten av partikler er av en tilsvarende størrelse. De 30% er litt vilkårlig basert på vann- og oljeinnholdet til en bestemt enkeltprøve. Hvis matingen er relativt tørr, så vil ingen tilbakeblanding kreves. Hvis den er svært våt, så vil mer blanding kreves. Det nøyaktige forholdet mellom våt og tørr kaks vil delvis avhenge av egenskapene til selve kaksen. Det
 10 optimale vanninnholdet til matematerialet er 3 til 8 vekt-%, feks. 5 vekt-%. Imidlertid kan vanninnhold i området 1% til 15% være akseptabelt under noen forhold.

Oppførselen til de blandede materialene når de behandles med mikrobølger er ekvivalent med den for den ikke-blandede kaksen, dvs. fordelingen av væsker fra blandingen av de våte og tørre materialene påvirker ikke negativt mikrobølgeprosessens
 15 evne til å fjerne oljen.

Sensitiviteten til det elektromagnetiske designet til hulrommet i forhold til de elektriske egenskapene hos materialet rettferdiggjør tilnærmingen om å produsere et konsistent matemateriale, ettersom både massestrømningsraten gjennom systemet og vanninnholdet til det blandede materialet påvirker designet til det magnetiske
 20 hulrommet.

Trekk ved mikrobølgebehandlingshulrommet

Mikrobølgehulrommet er designet for å ta i betraktning de dielektriske egenskapene hos både matematerialet og det behandlede materialet, så vel som den elektriske feltstyrken som kreves for behandling av materialet.

25 Energiinnmatingsraten til materialet som skal behandles bør maksimaliseres, ettersom det er nødvendig å omdanne vann til damp så raskt som mulig. Dette oppnås ved å føre en relativt liten materialstrøm gjennom en sone med uniform, høy elektrisk feltstyrke, som fører til rask oppvarming av vannet. Med ”uniform” mener vi et felt med

egenskaper slik at når en materialstrøm har passert gjennom feltet, mottok hver
 30 partikkel innenfor strømmingen vesentlig den samme elektromagnetiske behandlingen. Det vil si, materiale som passerer gjennom hulrommet er vesentlig uniformt behandlet. Det vil bli sett at feltet i seg selv ikke nødvendigvis har en uniform distribusjon innenfor behandlingsområdet. Styrken til det elektriske feltet bør være så høy som mulig, men ikke overskride nedbrytningsspenningen i luft. Vi har brukt stråling hvor størrelsen til
 35 den elektriske feltdelen er tilnærmet 10^7V/m .

Vann absorberer mikrobølgestråling mest effektivt når strålingen har en frekvens i størrelsesorden 18 GHz. Imidlertid, på grunn av restriksjoner i kommersiell bruk av mikrobølgestråling, er den eneste frekvensen som er tilgjengelig for bruk i Storbritannia 2,45 GHz, 896 MHz og 433 MHz. Vi bruker 895 MHz selv om systemer som bruker 2,45 GHz eller 433 MHz også vil gi gode resultater. Frekvensen til den elektromagnetiske strålingen påvirker hulromskonstruksjonen siden den påvirker dimensjonene til hulrommet som trengs for å fremstille et relativt uniformt felt. Fra ligning (1) kan det bli sett at frekvensen er direkte proporsjonal med effektettheten P_d og frekvens er direkte proporsjonal med $1/\text{penetreringsdybde}$. Dette impliserer at penetreringen av elektromagnetisk energi inn i tykke leier av materiale krever lavere frekvenser. Den presise frekvensen er avhengig til en viss grad av det geografiske området der prosessen er virksom. Det totale brukbare området strekker seg fra 1 MHz til 2,45 GHz, og det er lover og reguleringer som tillater visse frekvenser i å bli brukt heller enn teknisk nødvendighet. Som uttalt tidligere, kan RF eller annen elektromagnetisk stråling bli brukt heller enn mikrobølger.

Det er å forstå at oppholdstiden til materialet i behandlingshulrommet (høyfeltstyrkesonen) vil være i andeler av et sekund (slik som $1/10$ sekund) til 1 eller 10 sekunder. Oppholdstiden i behandlingssonen 8 er avhengig av transportbåndhastigheten. Gjennomstrømningen i prosessen er i noen grad avhengig av de dominante hydrokarbonfjerningsmekanismene i prosessen (identifisert tidligere). Oppholdstiden kan til og med være mindre enn 0,1 sekund, feks. 0,05 sekund.

For å oppnå slike oppholdstider bør den elektromagnetiske effekten (mikrobølgen) som benyttes være i området 5 kW til tilnærmelsesvis 2 MW. Høyere effekter fører til raskere oppvarming av vanninnholdet til matematerialet som blir behandlet.

En "tunnelapplikator" er vist skjematisk i figur 6. Anordningen innbefatter et mikrobølgebehandlingshulrom 3 med en bølgestyrt 29 og et selvkansellerende trinn 31. Trinnet 31 er anordnet for å fremme dannelse av et mer uniformt felt innenfor behandlingssonen 8, slik det er velkjent.

"Tunnel"-designet tillater en kontinuerlig prosess å benyttes, ettersom en last kan mates inn i én ende av tunnelen og ut av den andre, gjennom behandlingsområdet 8. Et gjennomgående bånd 27 fører med seg blandet matemateriale inn i og ut av behandlingshulrommet 3. Båndet 27 er kontinuerlig og returnerer under mikrobølgehulrommet (vist skjematisk som 28). Båndmaterialet er slik at det kan motstå høye temperaturer og er rimelig transparent for mikrobølger. Båndet er understøttet på ruller (se figur 11), som også er rimelig transparente for mikrobølger.

Den i det vesentlige eneste absorbenten av stråling inne i hulrommet er således vannet i materialet som blir behandlet.

Båndet strekker seg fra hulrommet på nedstrømsenden i en lengde som er tilstrekkelig til å tillate avgassingsgjenvinning, om nødvendig.

- 5 Et gjennomgående båndsystem benyttes ettersom det tilveiebringer mange fordeler i forhold til et flatt båndsystem, som kan ha materialhåndteringsproblemer slik som at last faller av båndsidene. Det gjennomgående båndet tilveiebringer også det beste valget med hensyn til det elektriske feltets uniformitet.

10 Hulrommet 3 er designet for å føre til generering av en tilstrekkelig elektrisk feltstyrke og effektiv behandlingssone 8, egenskapene til matematerialet tatt i betraktning. Hvis feltstyrken er for lav, så vil energien ikke være tilstrekkelig for å omdanne vannet raskt til damp. Hvis vann ikke blir raskt oppvarmet til damp (feks. på mindre enn 5 sek.), så fungerer oljefjerningsmekanismene beskrevet ovenfor ikke effektivt.

15 Mikrobølgeemitteren kan operere kontinuerlig eller kan bli pulset; hver av betegnelse faller innenfor begrensningene av betegnelsen "kontinuerlig" som benyttet heri.

Trekk ved det elektromagnetiske designet

Under hulromsdesign var forhindring av lokaliserte områder med høy feltstyrke og feltuniformitet parametrene som ble benyttet for å vurdere egnetheten til hvert simulerte hulrom. Feltet trenger bare å være tilstrekkelig uniformt til å tilveiebringe i det
20 vesentlige uniform behandling. I tillegg, hvis transportbåndet ikke strekker seg til kantene av hulrommet, trenger feltet ikke å være uniformt utover kantene til båndet. De eksakte hulromsdimensjonene stammer fra en iterativ simuleringsprosess, i hvilken den sannsynlige effektiviteten til ulike hulromsdimensjoner ble vurdert.

25 De følgende problemene ble møtt på under utføring av eksperimenter i et TE_{10n} enkelmodushulrom. Ulike hulrom ble benyttet, hvert med ulike dimensjoner.

- Spisslastpunkter (hot spots) utviklet innenfor hulrommet, som forårsaker ikke-uniform behandling.
- 30 - Laster med mindre diameter ga mer uniform behandling, men tillot mindre gjennomløp. Laster med større diameter tillot større gjennomløp ved den samme effektiviteten, men krevde imidlertid mer effekt.

Problemene ovenfor kan bli løst ved å eliminere variasjonen av det elektriske feltet i én dimensjon (se figur 7), i dette tilfellet y-retningen vinkelrett på retningen for materialbevegelse. Dette kan bli gjort ved å benytte en rektangulær tunnelapplikator.

- 5 En eksisterende tunnelapplikator, benyttet for behandling av malm, ble benyttet for å undersøke operasjonen av en tunnelapplikator under behandling av oljekontaminert borekaks. Denne tunnelen hadde følgende trekk:
- 10 - Den ble matet ortogonalt (dvs. vinkelrett på bevegelsesretningen) med TE_{10} - bølgestyring, slik at polariseringen i bølgestyringen er vinkelrett på retningen for materialbevegelse.
 - 15 - Variasjon i det elektriske feltet over tunnelen, i x-retningen, ble eliminert ved å lage tunnelen i akkurat riktig bredde til å oppnå en enkelmodus fordeling.
 - 20 - Variasjon i materialbevegelsesretningen (z-retningen) er ikke en hovedproblemstilling, siden hver partikkel på et eller annet punkt bør treffe på den samme elektriske feltstyrken.
 - 25 - Variasjonen man er opptatt av (ofte den eneste variasjonen man er opptatt av) er den som er vinkelrett på bevegelsesretningen (y-retningen). Variasjon i denne retningen fører til ikke-uniform behandling av prøven som et resultat av at prøven beveger seg gjennom et spissbelastningspunkt (hot spot).

- 25 Designet ovenfor ble forbedret ved å legge til et selvkansellerende refleksjonstrinn for å tilveiebringe en mer uniform feltfordeling i vertikalplanet.

Trinnet er en kvart bølgelengde dypt, som fører til at totalt en halv bølgelengde blir kansellert ut i trinnet. Grunnet refleksjonen av mikrobølgene, blir multiple spissbelastningspunkter generert gjennom y-retningen (figur 7(b)). Resultatet er nettoeffekten vist i figur 7(c), som er mer uniform enn det som kan oppnås uten et trinn (som ville være nærmere fordelingen i området merket "B" i figur 7(c)). Gitt at effekten i hvert av områdene A og B er høy nok, vil den elektriske feltstyrken være sterk nok,

som fører til uniform behandling av prøven som beveger seg gjennom et hvilket som helst område i z-retningen over en gitt oppholdstid. Derfor, for en høy effekttetthet, bør oppholdstiden i hvert område være relativt liten. Feltet trenger ikke å være spesielt uniformt i y-retningen, så lenge det er tilstrekkelig overlapp mellom alle

5 spissbelastningspunktene, mens i x-retningen vil mindre enn 10% variasjon være ønskelig. Det er viktig å merke seg at denne feltuniformiteten relateres til denne type design. Et annet hulromsdesign kan kreve andre uniformitetsnivåer.

Etter trinnoptimalisering som beskrevet ovenfor, må de følgende andre faktorene tas i betraktning:

10

- Øke bredden til hulrommet til et maksimum, samtidig som det sikres en jevn elektrisk feltfordeling. En stor bredde er ønskelig for å tillate et større gjennomløp. Imidlertid, for å oppnå en jevn feltstyrke over hele bredden (horisontal), må de aktuelle dimensjonene relateres til frekvensen til
- 15 mikrobølgeenergien. Hvis bredden var for bred, ville feltstyrken falle til null i ytterpunktene. For smal, og vi ville ikke være i stand til å føre en rimelig materialmengde gjennom behandlingssonen.

20

- Optimalisere posisjonen til båndet i forhold til hulromshøyden.
- Vurdere sensitiviteten til designet i forhold til en endring i mateegenskaper (feks. dielektriske egenskaper, partikkelstørrelse).

25

Hulrommet er også designet for å maksimere rommet (headspace) over materialet som blir behandlet for å hjelpe til å fjerne avgassinger. Så mye overliggende rom som mulig kreves, uten å kompromittere effekttettheten. Oppbygging av avgassinger i systemet vil føre til olje- og vannavsetning på de indre overflatene av behandlingshulrommet og mulig skade på hulrommet.

30

I tillegg er det et behov for å ta i betraktning effekten av båndradius (dvs. båndbøyningen) i et gjennomgående transportbånd og tverrsnittet til boreaksen på båndet.

Et sett strupere inkorporert i hele hulromsdesignet forhindrer mikrobølgelekkasje fra applikatoren fra innløpet og utløpet av tunnelen.

Hulrommet var designet for et matemateriale med bestemte dielektriske egenskaper.

Den midlere effekttettheten dividert med standardavviket var nøkkelparameteren som ble benyttet for å differensiere hver simulering basert på dens sannsynlige effektivitet. Egenskapene som ble valgt i simuleringene representerer et gjennomsnitt for blandede borekaks, basert på målingene tatt av ubehandlet borekaks, sammen med blandingslover og antagelser for de granulerte materialene. Simuleringene er basert på et matemateriale med en dielektrisk konstant $\epsilon' = 3,5$ og en dielektrisk tapsfaktor $\epsilon'' = 0,5$.

Det optimale designet gir feltfordelinger hvor uniformiteten oppnås over bredden av hulrommet, og multiple spisslastpunkter tilveiebringer vertikal uniformitet. Selv små endringer i hulromsdimensjonene eller mateegenskapene kan føre til et tap av de fordelaktige feltkonsentrasjonene som demonstrert i figur 9. Figuren viser områdene med elektrisk feltstyrke innenfor hulrommet. Sonen med høy elektrisk feltstyrke fremgår med mørkere farger (spissbelastninger; hot spots). Det kan ses at selv endring av hulromskonfigurasjonen og lastplasseringen bare litt endrer fordelingen av det elektriske feltet.

To potensielle utførelsesformer ble undersøkt med hensyn til optimalisering av deres elektriske feltstyrke:

20

1. Belte løper langs bunnen av hulrommet.

2. Belte løper over bunnen av hulrommet, understøttet av mikrobølgetransparente ruller.

25

Figur 10 viser (a) elektrisk feltfordeling (M/σ) og (b) spredt effekt som en funksjon av deres båndradius for begge designtilfeller i begge tilfeller.

Hvis båndet ville tillate et rektangulært tverrsnitt av materialet å bli dannet inne i hulrommet, gir tilfelle 1 (merket som det forbedrede idealtilfelle-design) den beste ytelsen. Når båndradius blir tatt i betraktning, blir imidlertid feltuniformiteten negativt påvirket (som vist ved en markert reduksjon i M/σ , den midlere effekttettheten delt på

standardavviket), og designtilfelle 2 er det som bør benyttes, ettersom tilfelle 2 tolererer krummingen til båndet i hjørnene, mens det alternative designet ikke er svært robust med hensyn til dette. Det skal bemerkes at den anvendte effekten antatt for simuleringene er 0,5 W, som indikerte at 95%+ av forovereffekten blir spredt inne i materialet uten noe behov for ytre innstillingsinnretninger (tuning devices).

Et perspektivriks av en laboratorieskala tunnelapplikator er vist i figur 8. Trinnet 31 fører til et antall områder med veldefinert, svært jevn og svært høy elektrisk feltstyrke ved å reflektere strålingsinnmating ved bruk av bølgestyreren 29 på en velkjent måte. Et transportbånd (ikke vist) fører materiale gjennom feltet ved en konstant hastighet, slik at behandlingen er så jevn som mulig, uten noen skråning mot senteret eller kantene av materialet på båndet.

Struperne 33 sikrer at den elektromagnetiske energien ikke unnslipper fra behandlingshulrommet. Disse struperne er en funksjon av materialet i tunnelen, og derfor kan designet til hulrommet være asymmetrisk for å ta høyde for de ulike materialegenskapene på transportbåndet både før og etter behandling.

Laboratoriaskalahulrommet er tilnærmelsesvis 2,2 m langt og 100 mm bredt og høyt (unntatt strupere og bølgestyrer), og er i stand til å bli operert for å produsere behandlet kaks ved en rate på 200 kg/time. Figurene 15 og 16 viser fotografier av dette hulrommet. Dimensjoner til hulrommet er gitt i figurene 8a (toppsesjon 3a) og 8b (bunnseksjon 3b).

Figur 11 viser en optimalisert tunnelapplikator for behandling av borekaks i et industriskalasystem. Hvis graden av sagging mellom rullene negativt påvirker feltfordelingen, kan rullene bli erstattet med skliplater.

Som forklart ovenfor har hulrommet blitt optimalisert for spesifikke materialdielektriske egenskaper, og avvik fra disse egenskapene i matematerialet ville forstyrre det elektriske feltet uavhengig av hvor nøye designet er. Av denne årsak blir matematerialegenskapene nøye regulert ved hjelp av mateenheten 7. I tillegg kan materialhøyden på transportøren bli justert for å redusere slike variasjoner, gitt at tilstrekkelig tverrsnittsareale er tilgjengelig for ekstraksjon av avgassinger.

Selv om effekttettheten (10^9 W/m³) er tilstrekkelig til å fjerne olje og vann uten hjelp av en svepegass, er en svepegass fordelaktig ved transport av avgassinger vekk fra hulrommet, som beskrevet mer detaljert nedenfor.

Gass-/avgassingshåndtering

- Vi har funnet ut at raten for oljefjerning blir vesentlig forbedret når mikrobølger benyttes i forbindelse med en svepegass. For eksempel blir en inertgass, slik som nitrogen eller damp eller annen gass som ikke vil reagere med OCDC'en, ført gjennom
- 5 behandlingshulrommet for å bidra i avgassingsfjerning under eller kort etter. Figur 13 sammenligner bruk av svepegass over kaksen for å fjerne olje (dampstripping) med dampstripping i forbindelse med mikrobølgebehandling. Det kan ses at for en gitt behandlingstid er den prosentandelen av olje som fjernes minst 20% høyere hvis svepegass benyttes sammenlignet med hvis dampstripping alene benyttes.
- 10 Enhver inertgass, slik som nitrogen, kunne benyttes som en svepegass i stedet for damp. Lignende resultater i forhold til dem som er vist i figur 13 ble oppnådd med nitrogengass. Det ble funnet at gasstripping alene oppnådde bare en 20% reduksjon i oljenivåene, mens fjerningseffektiviteten var på mer enn 90% når mikrobølger ble benyttet.
- 15 Mikrobølgeprosessen kunne benyttes uten en svepegass, som ville redusere graden av designkompleksitet hos et industriskalasystem. En studie ble utført hvor mikrobølgeenergi ble benyttet på et bed med borekaks over en gitt tid. Nitrogensvepegass ble innført til bedet med borekaks etter at mikrobølgene var blitt benyttet, dvs. at svepegassen passerer gjennom varm borekaks. Figur 14 viser
- 20 resultatene av dette eksperimentet, hvor restoljenivåene er vist mot tiden for hvilken svepegassen ble benyttet etter at mikrobølgebehandlingen opphørte.
- Tid null i figur 14 tilsvarer anvendelse av bare mikrobølger. Det kan ses at økning av tidslengden etter behandling for hvilken svepegass blir benyttet, reduserer restoljenivået i behandlet borekaks. Det er derfor innlysende at svepegass er fordelaktig for
- 25 totalseparasjonsprosessen, men den trenger ikke nødvendigvis å kombineres med anvendelse av mikrobølgeenergi. Bedet med borekaks er en relativt dårlig varmeleder, og en vesentlig energimengde er således igjen, spredt i bedet, flere minutter etter at mikrobølgene ble benyttet. Helt klart er den fortsatte utviklingen av flyktige stoffer etter mikrobølgebehandling betydelig, og bør ikke overses ved design av det kontinuerlige
- 30 systemet. Imidlertid er gass-faststoffkontakt som kan oppnås i porsjonsvise laboratorieeksperimenter vanskelig å oppnå i en kontinuerlig prosess.

Den kontinuerlige prosessen kan innbefatte to distinkte elementer; et mikrobølgeanvendelsestrinn etterfulgt av et gass-svepingstrinn.

I pilotskalaprosessen blir svepegassen innført både ved materialinnmatingen til behandlingshulrommet og langs den elektromagnetiske bølgestyreren (via en innmating på en side av hulrommet (vist med 44 i figur 17)). Figur 18 viser pilotskala gasshåndteringssystemet 46. Innmatingspunktet ved bølgestyreren sikrer et positivt gasstrykk i dette punktet og reduserer dermed muligheten for at hydrokarbon og vannfaser kondenserer på kvartsvinduet som fungerer som en barriere for å stoppe potensielle materialer i å skade mikrobølgegeneratoren. Hvis vann skulle kondensere på kvartsvinduet, ville dette vannet varmes opp når mikrobølger benyttes og kan få vinduet til å smelte. Strømmen av gass ned bølgestyreren hjelper også til å overvinne problemene med opphvelving (arcing). Den samtidige strømmen tillater rask fjerning av avgassingene fra områdene med høy elektrisk feltstyrke.

Et skjematisk gasshåndteringssystem egnet for bruk i en industriell versjon av prosessen er vist i figur 12. Systemet kan fjerne oljen og vanndampen fra hulrommet, fremme den kontinuerlige utviklingen av avgassing etter mikrobølgebehandling og samle opp olje og vann for separasjon. Gass kan fjernes gjennom perforeringer i en tunnelvegg, slik som taket så vel som utløpet, skjematisk vist som 40 i figur 12.

Gasshåndteringssystemene er designet for å være så fleksible som mulig, for å tillate de eksakte trykk og strømmer som kreves i hver praktiske situasjon å bli bestemt eksperimentelt for ulike operasjonsbetingelser. Ny gass 20 kan bli tilsatt til den gjenvunnede gassen 11 ved ventilen 42 dersom dette er ønskelig. Et avgassutløp 44 er tilveiebrakt.

En lavtrykks-trykkfallkondensator er plassert mellom mikrobølgebehandlingsenheten og en sentrifugalvifte for å samle opp oljen og vanndampen. Med en termisk desorpsjonsmekanisme vil den eneste gassen som slippes ut være nitrogen, som kan bli resirkulert eller spylt.

Hvis vesentlig pyrolyse oppstår i behandlingsprosessen, kan et gassvaskingssystem inkorporeres.

Eksempel

Et laboratorieskala systemeksempel lignende det som er vist i figur 1 vil nå bli beskrevet.

EKSPERIMENT OG MATERIALER

Et kontinuerlig pilotskalasystem består av en 5-30 kW variabel effekt-mikrobølgegenerator, som leverer mikrobølger ved 2,45 GHz til et hulrom via flere seksjoner med WR430 bølgestyrer og en automatisk E-H innstiller.

- 5 Innstilleren (tuner) arbeider ved å variere geometrien i E- og H-planene for å bringe impedansen til mikrobølgene i overensstemmelse med impedansen til hulrommet, med en algoritme benyttet for å variere geometrien for å minimalisere den reflekterte effekten. Enhver reflektert effekt blir absorbert i en sirkulator, som benytter en kaldtvannsbeklastning, og dette beskytter magnetronen og strømtilførselen fra
- 10 overdreven retunert mikrobølgeenergi. En strøm av kald nitrogen ble innført ved 2 liter/minutt ned bølgestyrerinngangen til hulrommet, som ble gjort for å tilveiebringe et overtrykk og forhindre oljeavgassing og vanndamp i å passere gjennom bølgestyreren til mikrobølgegeneratoren.

- 15 Borekaks blir matet fra en matebeholder til en to-aksel mikser, hvor tørt materiale kan bli innført for å regulere fuktighetsinnholdet til innmatingen til mikrobølggehulrommet. Mikseren avsetter kaksen på et transportbånd laget av vevd Nomex™ fibre (andre flammeresistente materialer kan benyttes) og formet til en gjennomgang for å inneholde prosessmaterialet. En oppvarmet nitrogenstrøm ved 10 liter/minutt ble innført ved materialmatingen for å fungere som en svepegass, og også for å tilveiebringe en inert
- 20 atmosfære i hulrommet for å forhindre forbrenning av oljeavgassing eller -dampen.

- En toppseksjon av hulrommet og strupere inneholder perforeringer som tillater uttrekking av utviklet damp og avgassing mens den inneholder mikrobølgefeltet. En ekstraksjonshette dekker de perforerte seksjonene og enden av strupingsseksjonen, og dampen og avgassing blir trukket gjennom en kondensator for å gjenvinne oljen og
- 25 vannet. Tørr borekaks blir sluppet ut i enden av transportbåndet og samlet opp for analyse og deponering.

- Olje- og fuktighetsinnholdet til den behandlede og ubehandlede borekaksen ble målt og benyttet for å bestemme behandlingsgraden. Vanninnholdet ble målt ved bruk av Dean og Stark-metoden (internasjonal standard ASTM D-95), som involverer
- 30 refluksdestillasjon med toluen og separasjon av vannfasen. Oljeinnholdsmåling ble utført ved bruk av løsemiddelestraksjon, som er en teknikk for å ekstrahere organisk materiale fra fastmaterialprøver med flytende løsemidler. De organiske materialene ble ekstrahert ved bruk av diklormetan (DCM) ved hevede temperaturer og trykk, for å øke effektiviteten ved ekstraksjonsprosessen. Hevet temperatur akselererer
- 35 ekstraksjonskinetikken, mens hevet trykk holder løsemiddelet under dets kokepunkt og

muliggjør således sikre og raske ekstraksjoner. Hydrokarboninnholdet i den organiske fasen ble bestemt ved bruk av gasskromatogramteknikker.

Borekaksen ble oppnådd fra Nordsjø-boreoperasjoner og inneholdt 10% olje og 10% vann. Tørr leire ble tilsatt for å redusere olje- og vanninnholdet til kaksen til 7%, som
 5 endret konsistensen til kaksen fra en slurry til et mer permeabelt, agglomerert, kornet materiale.

Kontinuerlige behandlingstester ble utført over en periode på flere timer, med tre prøver av behandlet materiale tatt for analyse for hvert sett med eksperimentelle betingelser. Den gjenvunnede oljen ble samlet opp i slutten av den komplette testsekvensen.

10 RESULTATER OG DISKUSJON

Effekter av mikrobølgeeffekt

Eksperimenter ble utført ved effektnivåer på 5, 10 og 15 kW med materialgjennomløp fiksert ved 160 kg/time. I alle testene oppnådde den reflekterte effekten en stabil verdi mellom 0,5 og 0,7 kW. Bulkrestoljeinnholdet til den behandlede kaksen ble målt, og
 15 disse resultatene er vist i figur 19, som viser restoljeinnholdet plottet mot effekten for et konstant gjennomløp på 160 kg/time.

Det kan ses at økning av den anvendte effekten fører til forbedret oljefjerning, og hvor restoljenivået reduseres stabilt når den anvendte effekten økes. Gitt at den reflekterte effekten forble relativt uendret, ble nesten all den anvendte effekten spredt i borekaksen
 20 i mikrobølgehulrommet. Det er kjent at den kontaminante oljen er effektivt transparent for mikrobølger, ettersom den har en dielektrisk tapsfaktor på mindre enn 0,1 ved romtemperatur og en frekvens på 2,45 GHz. Effekten av å øke den anvendte effekten er å øke effekttettheten i absorpsjonsfasene i materialet, som er vannet som rommes i porestrukturen til fjellkaksen. Tidligere studier viste at den avhjelpende mekanismen må
 25 være den raske omdannelsen av mellomromsvann til damp i første instans, som så river med seg den kontaminante oljen fra overflaten av kaksen og inn i svepegassen. Dette ser ut til å være den mest termodynamisk attraktive mekanismen, siden mikrobølgeenergien kan bli siktet mot vannfasen alene, i stedet for å varme opp hele matrisen med fjellfragmenter, olje og vann.

30

Det er mulig å beregne den minimale energien som kreves for å fjerne den kontaminante oljen ved å anta at all den anvendte mikrobølgeenergien hever temperaturen til vannet til 100°C og deretter overvinner den latente varmen ved fordamping. Basert på den

latente varmen til vann på 2.000 kJ/kg og en gjennomsnittlig varmekapasitet på 4,2 kJ/kg.K, kan den minimale energimengden som kreves for å omdanne alt vannet til damp ved et gjennomløp på 160 kg/time ble etablert, og dette tallet er 45 kWh pr. tonn borekaks. En anvendt effekt på 7,3 kW er det teoretiske minimum for dette

5 gjennomløpet, og det kan ses i figur 19 at effektnivåene ved eller under 7,3 kW ikke inkluderer vesentlige avhjelpende nivåer, mens ved høyere effekter er restoljenivåene mye lavere.

Effektnivåene som kreves for å nå den miljømessige 1% utløpsterskelen er tilnærmetvis det dobbelte av det termodynamiske minimum, og dette skyldes

10 sannsynligvis det faktum at litt av effekten blir reflektert, litt går til overoppheting av vannet over 100°C før damp blir dannet, og litt vil uunngåelig bli spredt i de omkransende fjellfragmentene og oljen. Ikke desto mindre kreves, for å absorbere oljen ved hjelp av konvensjonell oppvarming, mye mer energi, fordi temperaturer på mer enn 250°C kreves, og hele matrisen av fjell, olje og vann må varmes opp til denne

15 temperaturen. Minimums energikravene for en konvensjonell oppvarmingsprosess ved bruk av det samme tilførselsmaterialet som med dette arbeidet, er estimert i tabell 1, ved å anta at all oljen fordampes ved 250°C.

Substans	Temperatur- område °C	Spesifikk varme- kapasitet kJ/kg.K	Latent fordampings- varme kJ/kg	kg substans pr. kg kaks -	Energi som kreves kJ/kg kaks kWh/tonn	
Fjellfragmenter	20-250	2	-	0,86	395,6	109,9
Olje	20-250	2	800	0,07	88,2	24,5
Vann	20-100	4,2	2000	0,07	163,5	45,4
Damp	100-250	1	-	0,07	10,5	2,9
					657,8	182,7

Tabell 1 – Minimum energikrav for en konvensjonell oppvarmingsprosess.

- 5 På et teoretisk grunnlag krever den konvensjonelle, termiske desorpsjonsprosessen fire ganger så mye energi som mikrobølgebehandlingsprosessen.

Effekt av gjennomløp

- 10 Gjennomløpet med borekaks ble variert ved å endre hastigheten til transportbåndet. Den anvendte effekten ble holdt konstant ved 15 kW, og gjennomløpet varierte mellom 110 og 220 kg/time. Dette tilsvarer båndhastigheter på 10 – 20 mm/sekund og oppholdstider i det elektriske feltet på 5 – 10 sekunder. Bulkrestoljeinnholdet ble bestemt for hvert sett med betingelser, og disse resultatene er vist i figur 20, som viser restoljeinnholdet plottet mot gjennomløpet for en konstant anvendt effekt på 15 kW. Den stiplede linjen representerer miljøutslippsterskel på 1% olje på kaks.

Trenden i figur 20 viser at å redusere gjennomløpet ved konstant effekt fører til en lineær reduksjon i restoljeinnholdet og forbedrer således den totale kaksbehandlingsprosessen. Reduksjon av gjennomløpet øker oppholdstiden i området av hulrommet som understøtter de høyintensive elektriske feltene, som tillater mer av den tilgjengelige elektromagnetiske energien å bli spredt i vannfasen. Miljøutslippsterskelen kan oppnås ved bruk av 15 kW og prosessgjennomløp under 150 kg/time. Gjennomløp som er høyere enn dette innebærer at oppholdstiden i det elektriske feltet er for lav for dannelsen av tilstrekkelig dampvolum til å fjerne de påkrevde nivåene med kontaminant olje. Når prosessgjennomløpet blir kontinuerlig redusert under 150 kg/time, reduseres restoljenivåene ytterligere og kan falle til under 0,1%, som er den nåværende terskelen for klassifisering som et farlig materiale i Storbritannia. De reflekterte effektnivåene ble igjen funnet å være relativt konstante over spekteret med gjennomløp som ble studert, med registrerte verdier på 0,4 – 0,7 kW. Det postuleres at reduksjon av gjennomløpet under 100 kg/time ved 15 kW vil føre til en økning i den reflekterte effekten, ettersom oppholdstiden i mikrobølgehulrommet er sannsynlig å strekke seg under det som kreves for å fjerne vannet, som innebærer at resterende kaks effektivt blir mikrobølgetransparent. Den elektriske feltfordelingen er en sterk funksjon av den dielektriske konstanten og den dielektriske tapsfaktoren til prosessmaterialet. Når vannet er fjernet reduseres den dielektriske tapsfaktoren til under 0,1, som innebærer at mye av de 15 kW med tilgjengelig mikrobølgeeffekt vil bli overført gjennom materialet mens svært lite blir absorbert.

Kvalitet på gjenvunnet olje

Basisoljen i boreslammet ble karakterisert ved bruk av gasskromatografi. Oljen og vannet gjenvunnet fra kondensatoren ble samlet opp, og de to fasene tillatt å separeres under tyngdekraftens virkning. Tre prøver av oljefasen ble fjernet for analyse, og typiske resultater er vist i figur 21, som viser gasskromatogrammer av (a) opprinnelig olje fra ubehandlet borekaks og (b) gjenvunnet olje etter mikrobølgebehandling.

Toppene vist i kromatogrammet i figur 21a indikerer en abundans ved C8 – C16 hydrokarboner, med små spor ved C17 – C20 ved lengre elusjonstider. I figur 21b indikerer kromatogrammet av den gjenvunnede oljen tilstedeværelse av noen lettere hydrokarboner enn det som var innlysende i den opprinnelige oljen og mindre av de tyngre hydrokarbonene. Totalt sett er sammensetningen lignende og har sannsynligvis ikke noen vesentlig påvirkning på oljeegenskapene for resirkulering i boreslamsystemet. Ikke desto mindre indikerer tilstedeværelsen av lettere hydrokarboner at noen termisk oppgradering av oljen har skjedd, muligens grunnet pyrolyse eller dampspalting forårsaket av lokaliserte områder med spisselektrisk feltstyrke innenfor hulrommet.

Analyse av restoljen i den behandlede borekaksen ble også utført, og denne viser større abundans av de tyngre slag, som er vist i kromatogrammet i figur 22.

Energikrav

5 Avhjelpingsnivåene (remediation levels) som ble oppnådd ble evaluert mot den totale mikrobølgeenergien anvendt på systemet, og dette er vist i figur 23, som plotter energikrav som en funksjon av avhjelpingsnivåene oppnådd ved bruk av en anvendt effekt på 15 kW.

Anvendelse av mer mikrobølgeenergi fører til en forbedring i avhjelpingsprosessen ettersom restoljeinnholdet reduseres med økende energiinngang. I dette tilfellet kan 1% 10 miljøutslippsgrensen bli oppnådd ved bruk av ca. 100 kWh pr. tonn borekaks. Vesentlig renere kaks kan produseres ved høyere energiinngang i størrelsesorden 140 kWh pr. tonn, som tilsvarer lengre oppholdstider i mikrobølgefeltet.

Resultatene vist i figurene 19 og 20 indikerer at både høyere anvendte effekter og lengre oppholdstider i mikrobølgefeltet er fordelaktig for avhjelpingsprosessen. Resultatene 15 oppnådd tillater ikke effektene av oppvarmingsraten å bli etablert, siden tester ville måtte evalueres ved bruk av ulike effekttettheter ved ekvivalente energiinnganger. For eksempel er det ikke mulig å bestemme om en høyere effekt og kortere oppholdstid er bedre enn en lav effekt og en lang oppholdstid. Effekten av effekttettheten kan bli evaluert ved å sammenligne resultatene av de kontinuerlige testene med dem som 20 oppnås fra porsjonsvise mikrobølgeeksperimenter i enkelmodus- og multimodushulrom.

Sammenligning med porsjonsvis behandling

Porsjonsvise tester (batch tests) har tidligere blitt utført ved bruk av enkelmodus- og multimodusapparat. Disse porsjonsvise prosessene ble sammenlignet med den kontinuerlige prosessen beskrevet heri. I alle tilfellene var den anvendte effekten 15 25 kW, og oppholdstiden eller behandlingstiden ble variert. Resultatene er vist i figur 24, hvor de tre hulrommene er sammenlignet basert på mikrobølgeenergien som ble benyttet i hvert tilfelle.

Figur 24 viser variasjon av restoljeinnholdet med energiinngangen for tre behandlingsscenarier som benytter 15 kW mikrobølgeeffekt.

30

Alle tre mikrobølggehulrommene er i stand til å indusere vesentlige avhjelpingsnivåer for kontaminert borekaks. Hulrommet som understøtter den laveste effekttettheten er

multimodushulrommet, og det kan ses fra figur 24 at energikravene er i størrelsesorden 450 kWh pr. tonn for å redusere oljeinnholdet til 2%. Testene i multimodushulrommet viste at 1% utslippsterskelen er vanskelig å oppnå, og vårt tidligere arbeid understøtter også denne observasjonen. Et sammendrag av de eksperimentelle betingelsene som ble
5 benyttet er vist i tabell 2, sammen med effekttetthetene som er understøttet i hvert av de tre ulike hulrommene.

Behandlingsstrategi	Multimodus	Enkelmodus	Kontinuerlig
Anvendt effekt (kW)	15	15	15
Gjennomløp (kg/time)	-	-	160
Prøvevolum (cm ³)	100	100	-
Midlere effekttetthet (W/m ³)	4×10^6	$7,5 \times 10^7$	$1,4 \times 10^8$

Tabell 2 – Effekttettheter i multimodus-, enkelmodus- og kontinuerlige mikrobølgeapplikatorer.

- 5 Resultatene oppnådd med enkelmodushulrommet viste at 1% utslippsterskelen kunne oppnås, og at avhjelpingsprosessen skjer ved bruk av lavere energiinnnganger enn det som viste seg i multimodushulrommet. Dette er fordi enkelmodushulrommet understøtter en effekttetthet som gir potens (an order of magnitude) høyere enn i multimodushulrommet (se tabell 2), og dette fører til en økt oppvarmingsrate.
- 10 Mikrobølgeeffekten blir spredt i vannfasen, som forårsaker overoppheting av vannet og rask omdannelse til damp. Ved lavere effekttettheter er oppvarmingsraten proporsjonalt lavere, som innebærer at de fordelaktige effektene av rask dampdannelse reduseres grunnet varmeoverføringstap og rekondensering av litt av dampen før den kan fungere som en medrivningsgass.
- 15 Den gjennomsnittlige effekttettheten understøttet av det kontinuerlige systemet er $1,4 \times 10^8 \text{ W/m}^3$, som er tilnærmelesvis det doble av det som understøttes av enkelmodushulrommet. Det kan ses i figur 24 at effekten av energiinnngang på oljefjerning med de to hulrommene er grovt sammenlignbare opp til 1% terskelen, men det kontinuerlige hulrommet tillater at mye lavere nivåer med restolje oppnås.
- 20 Enkelmodusbehandlingen er en porsjonsvis prosess, og den dielektriske konstanten og tapsfaktoren til borekaksen øker med tid ettersom vann blir tapt. Ved lave oljenivåer er det en tilsvarende liten mengde vann i prøven, og dens dielektriske tapsfaktor er lav. Dette innebærer at det er vanskelig å konsentrere tilstrekkelig mikrobølgeenergi i prøven, og fører til en høy reflektert effekt mot slutten av den porsjonsvise testen. Dette
- 25 ble observert i praksis, med over 80% av den anvendte effekten reflektert i slutten av enkelmodustesten, som tilsvarer mindre enn 3 kW med absorbert effekt. Det antas at

den økende reflekterte effekten under testene står for enkelmodusbehandlings manglende evne til å avhjelpe borekaksen til nivåer vesentlig under 1% olje.

- Selv om utførelsesformer av oppfinnelsen har blitt beskrevet i forhold til OCDC, vil det forstås at oppfinnelsen er like anvendbar for fjerning av olje fra andre kontaminerte
- 5 matriser, slik som jord. Oppfinnelsen kan benyttes for å rekondisjonere brownfield/eks-industristeder eller for å redusere forurensning på strender etter et oljeutslipp eller fjerne olje fra behandlede hydrokarboninnholdende materialer.

- Behandlingen beskrevet heri kan benyttes for å fjerne et bredt spekter av organiske stoffer slik som benzen, diesel og kerosenderivater så vel som hydrokarboner.
- 10 Behandlingssystemet vil fungere svært effektivt for hydrokarboner opp til diesel og kerosen eller lignende molekyler og vil fungere i mindre grad for tyngre stoffer.

- Selv om vi har omhandlet fjerning av kontaminanter slik som olje, typisk fra overflaten av fast materiale slik som stein, er oppfinnelsen ikke nødvendigvis begrenset til fjerning av kontaminanter. Materialet som skal avdrives kan alltid ha vært tilstede - oppfinnelsen
- 15 kan benyttes for å separere materialer som er utsatt for separasjon på denne måten. Oppfinnelsen kan benyttes for å oppnå enten det avdrevne materialet eller det materialet som etterlates. For eksempel kan oppfinnelsen benyttes for å oppnå et materiale drevet av fra et substrat ved vann-til-damp ekspansjon, feks. kan olje oppnås fra skifer på denne måten.

P a t e n t k r a v

1.

5 Fremgangsmåte for separasjon eller ekstraksjon eller reduksjon av et hydrokarboninnhold fra en hydrokarbonkontaminert matrise (6), innbefattende trinnene å:

- regulere et vanninnhold hos et matemateriale (5) innbefattende den hydrokarbonkontaminerte matrisen (6);
- kontinuerlig føre matematerialet (5) inn i et behandlingshulrom (3);
- 10 - eksponere matematerialet (5) i et behandlingsområde hos behandlingshulrommet (3) for elektromagnetisk stråling anordnet for å forårsake rask oppvarming av i det minste en del av vanninnholdet for å danne damp, idet den raske dampdannelsen fører til termisk desorpsjon av i det minste en del av hydrokarboninnholdet fra matrisen (6); og
- 15 - kontinuerlig fjerne den behandlede matrisen (6) fra behandlingshulrommet (3);
- hvori den elektromagnetisk strålingen har en frekvens i området 10 MHz til 10 GHz
- 20 - k a r a k t e r i s e r t v e d at vanninnholdet til matematerialet (5) blir regulert ved å blande et materiale med kjent vanninnhold innbefatter behandlet matrise, med den hydrokarbonkontaminerte matrisen (6).

2.

25 Fremgangsmåte i henhold til krav 1, som videre omfatter steget å innbefatte det ytterligere trinn å måle et vanninnhold for den hydrokarbonkontaminerte matrisen (6), eller for bulkmatingsmaterialet.

3.

Fremgangsmåte i henhold til krav et hvilket som helst av de foregående krav, hvori vanninnholdet til matematerialet (5) blir regulert slik at de dielektriske egenskapene hos matematerialet (5) som en bulkkomposittsubstans er i området $\epsilon' = 0,1$ til 20 og $\epsilon'' =$
 5 $0,25$ til $0,75$, fortrinnsvis i området $\epsilon' = 2,5$ til $4,5$ og $\epsilon'' = 0,25$ til $0,75$.

4.

Fremgangsmåte i henhold til krav 3, hvori de bulkdielektriske egenskapene hos matematerialet (5) er $\epsilon' = 3,5$ og $\epsilon'' = 0,5$.

5.

10 Fremgangsmåte i henhold til et hvilket som helst av de foregående krav, hvori den elektromagnetisk strålingen har en effekt i området 5 kW til 20 MW , eller 1 MW .

6.

Fremgangsmåte i henhold til et hvilket som helst av de foregående krav, hvori matematerialet (5) blir eksponert for den elektromagnetisk strålingen over en tidslengde
 15 på opp til ca. 10 sekunder, i området $0,1$ til 10 sekunder, eller i området $0,1$ til 2 sekunder.

7.

Fremgangsmåte i henhold til et hvilket som helst av de foregående krav, som videre innbefatter det ytterligere trinn å føre eller svepe inertgass (11) gjennom
 20 behandlingshulrommet (3) i det vesentlige for å fjerne avgassinger fra behandlingsområdet (8), hvilke avgassinger har blitt produsert under eksponering av matematerialet (5) for den elektromagnetisk strålingen.

8.

Anordning (1) for separasjon eller utvinne eller redusere av et hydrokarboninnhold fra
 25 en hydrokarbonkontaminert matrise (6), hvilken anordning (1) innbefatter et behandlingshulrom (3) med et materialbehandlingsområde (8), en materialmater (7) anordnet for i bruk å kontinuerlig transportere et matemateriale (5) inn i og ut av behandlingsområdet (8), og en elektromagnetisk strålingsemitter anordnet for i bruk å eksponere matematerialet (5) i behandlingsområdet (8) for elektromagnetisk
 30 stråling med frekvens i området 10 MHz til 10 GHz for å forårsake rask oppvarming av i

det minste en del av vanninnholdet til den hydrokarbonkontaminerte matrisen (6) for å danne damp, for å fjerne i det minste en del av hydrokarboninnholdet fra matrisen (6), k a r a k t e r i s e r t v e d at materialmateren (7) innbefatter en materialblander (21) anordnet for å blande tilleggsmateriale inn i det

- 5 hydrokarbonkontaminerte matrisen (6), tilleggsmateriet omfatter en behandlet matrise med kjent vanninnhold, for å produsere et matemateriale (5) med regulert vanninnhold.

9.

Anordning i henhold til krav 8, hvori behandlingshulrommet (3) innbefatter en tunnelapplikator med et innløp og et utløp, og at behandling er lokalisert mellom
10 innløpet og utløpet.

10.

Anordning i henhold til krav 9, hvori tunnelapplikatoren innbefatter en bølgestyrer (29) anordnet for å lede den elektromagnetisk strålingen fra det elektromagnetisk strålingsemitteringsmiddelet inn i behandlingsområdet (8).

- 15 11.

Anordning i henhold til et hvilket som helst av kravene 9 eller 10, hvori tunnelapplikatoren videre innbefatter strupere anordnet for å motstå unnslippelse av elektromagnetisk stråling fra innløpet og utløpet.

12.

- 20 Anordning i henhold til et hvilket som helst av kravene 8 til 11, hvori materialmateren (7) innbefatter en gjennomgående transportør (27) for transport av matematerialet (5) gjennom behandlingshulrommet (3).

13.

- 25 Anordning (1) i henhold til krav 12, hvori transportøren (27) er adskilt fra en basisvegg av behandlingshulrommet (3).

14.

Anordning (1) i henhold til et hvilket som helst av kravene 8 til 13, som videre innbefatter en gass-sirkulasjonsmekanisme (17) anordnet for i bruk å føre inertgass (11) gjennom behandlingsområdet (8).

15.

- 5 Anordning (1) i henhold til krav 14, hvori gass-sirkulasjonsmekanismen (17) sirkulerer inertgass (11) gjennom behandlingsområdet (8) og gjenvinner og resirkulerer inertgassen (11).

16.

- 10 Anordning (1) i henhold til krav 14 eller 15, hvori gass-sirkulasjonsmekanismen (17) er anordnet for å introdusere inertgass (11) til tunnelapplikatoren ved innløpet og ved bølgestyreren (29) til tunnelapplikatoren.

17.

- 15 Anordning (1) i henhold til et hvilket som helst av kravene 14 til 16, hvori sirkulasjonsmekanismen (17) er anordnet for å fjerne gass (11) fra tunnelapplikatoren gjennom perforeringer i en vegg hos tunnelapplikatoren.

18.

Anordning (1) i henhold til et hvilket som helst av kravene 14 til 17, som videre innbefatter en separator eller avpasset for å separere i det minste litt avgassing produsert i behandlingsområdet (8) fra inertgassen (11).

1/17

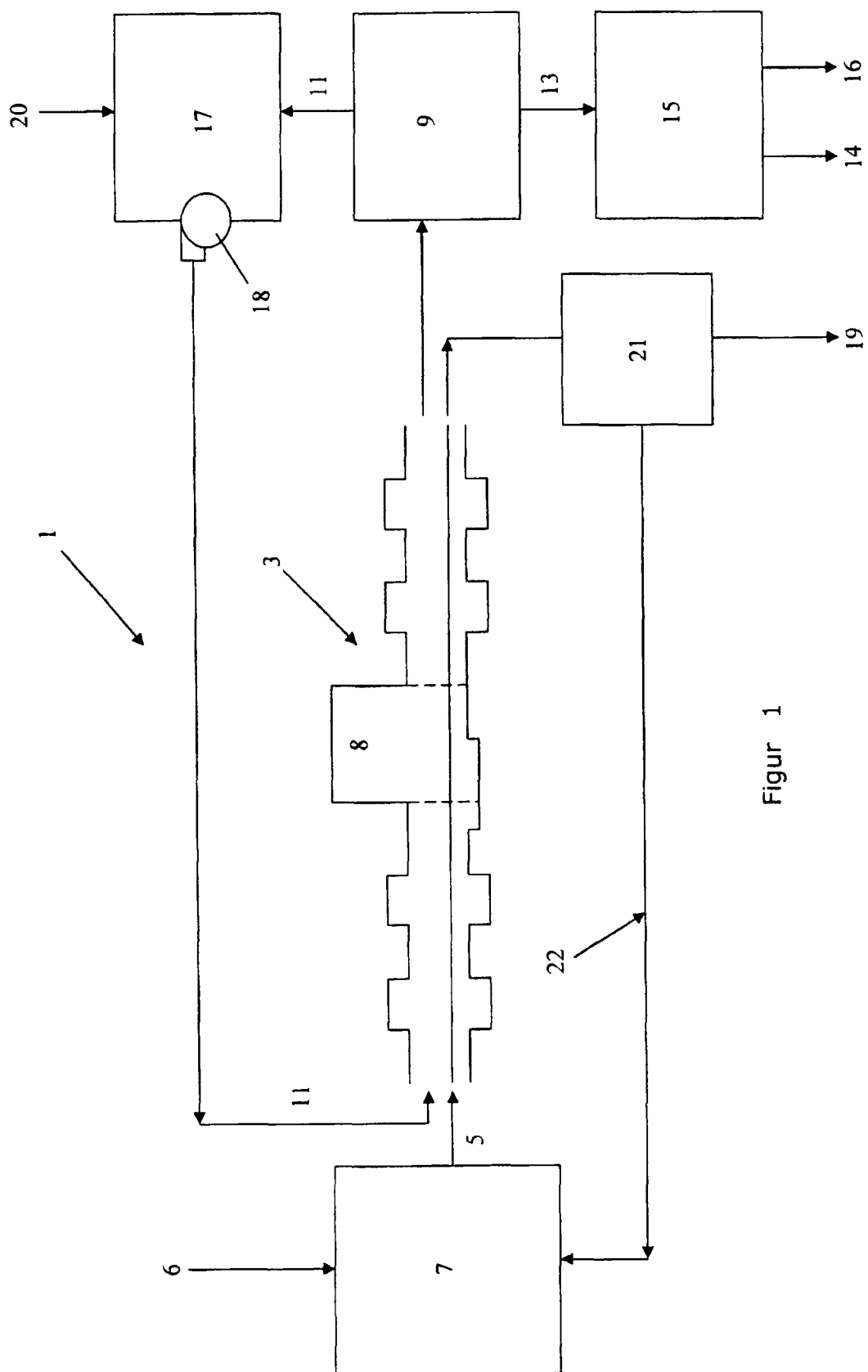
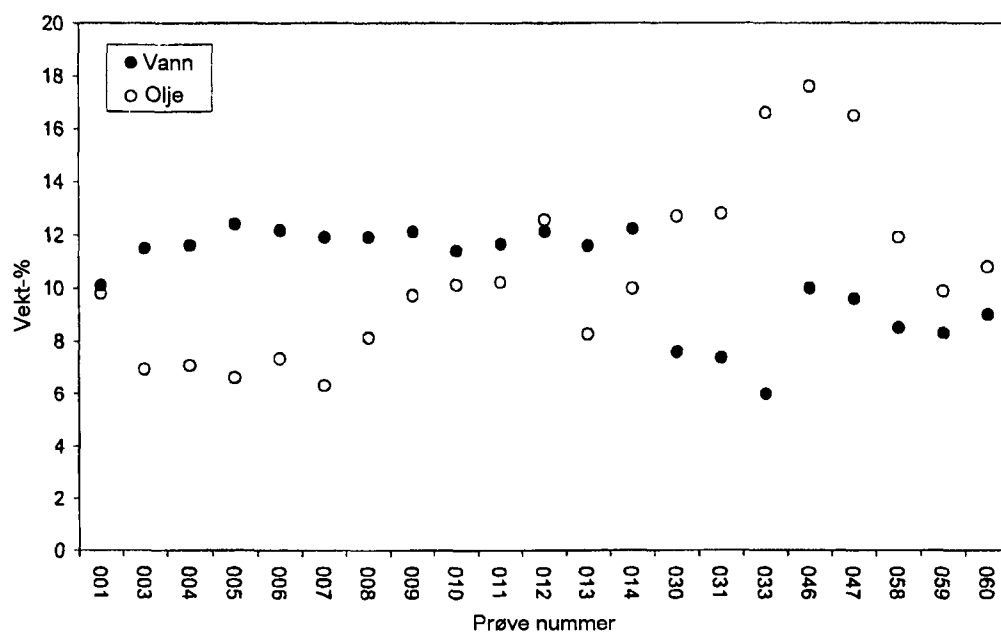
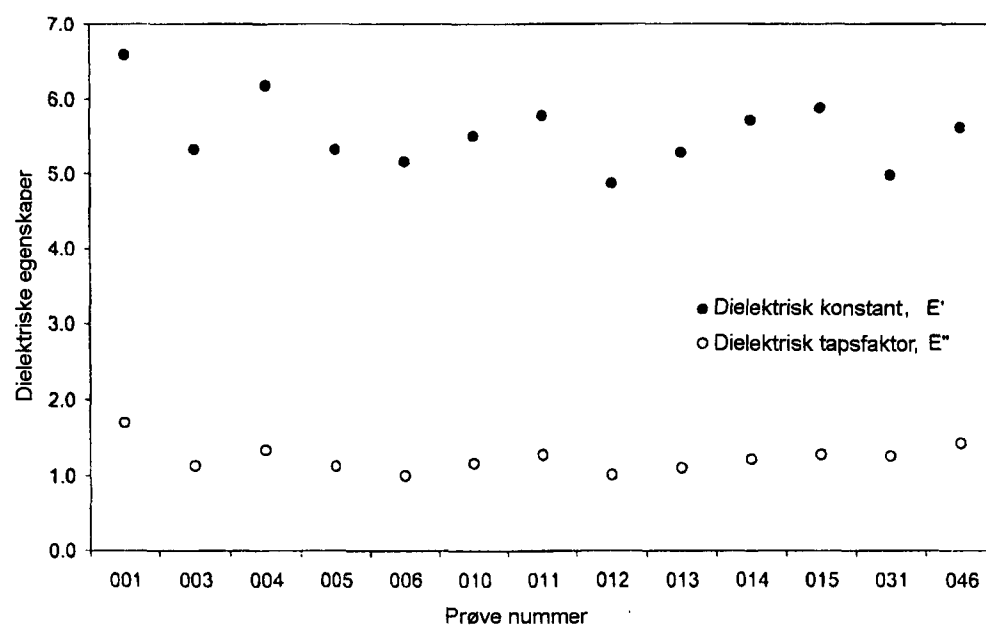


Figure 1

2/17

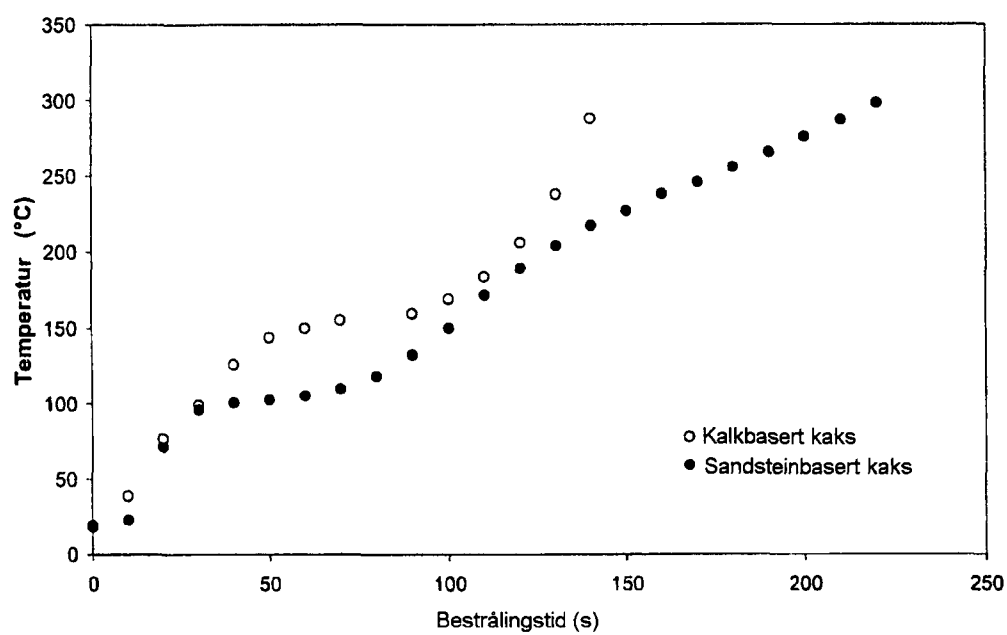


Figur 2a

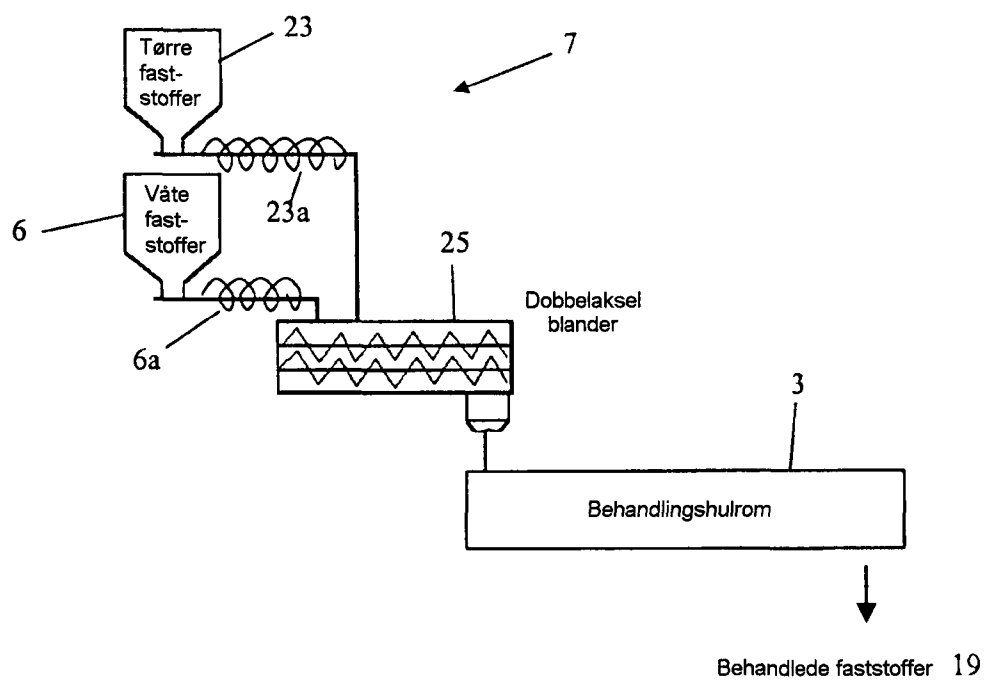


Figur 2b

3/17

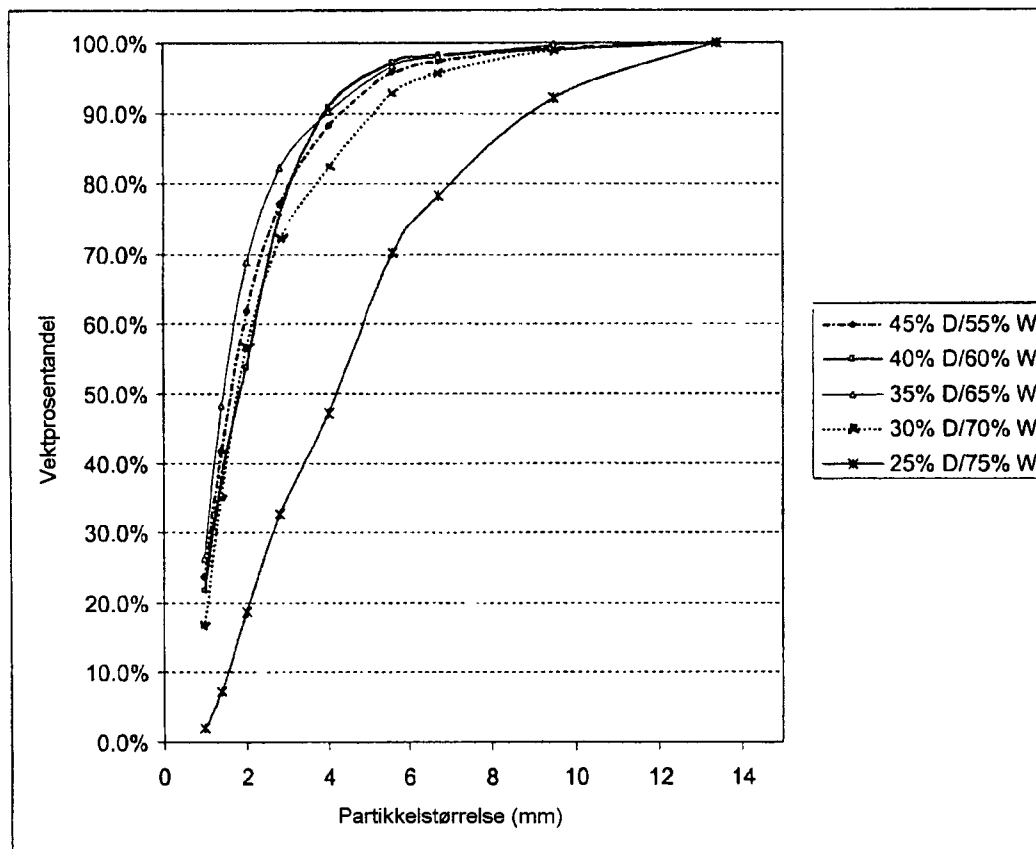


Figur 3

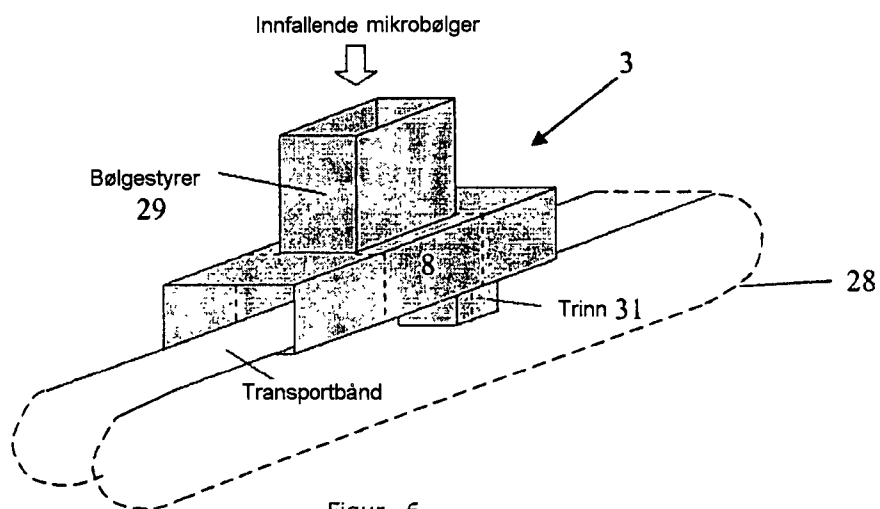


Figur 4

4/17

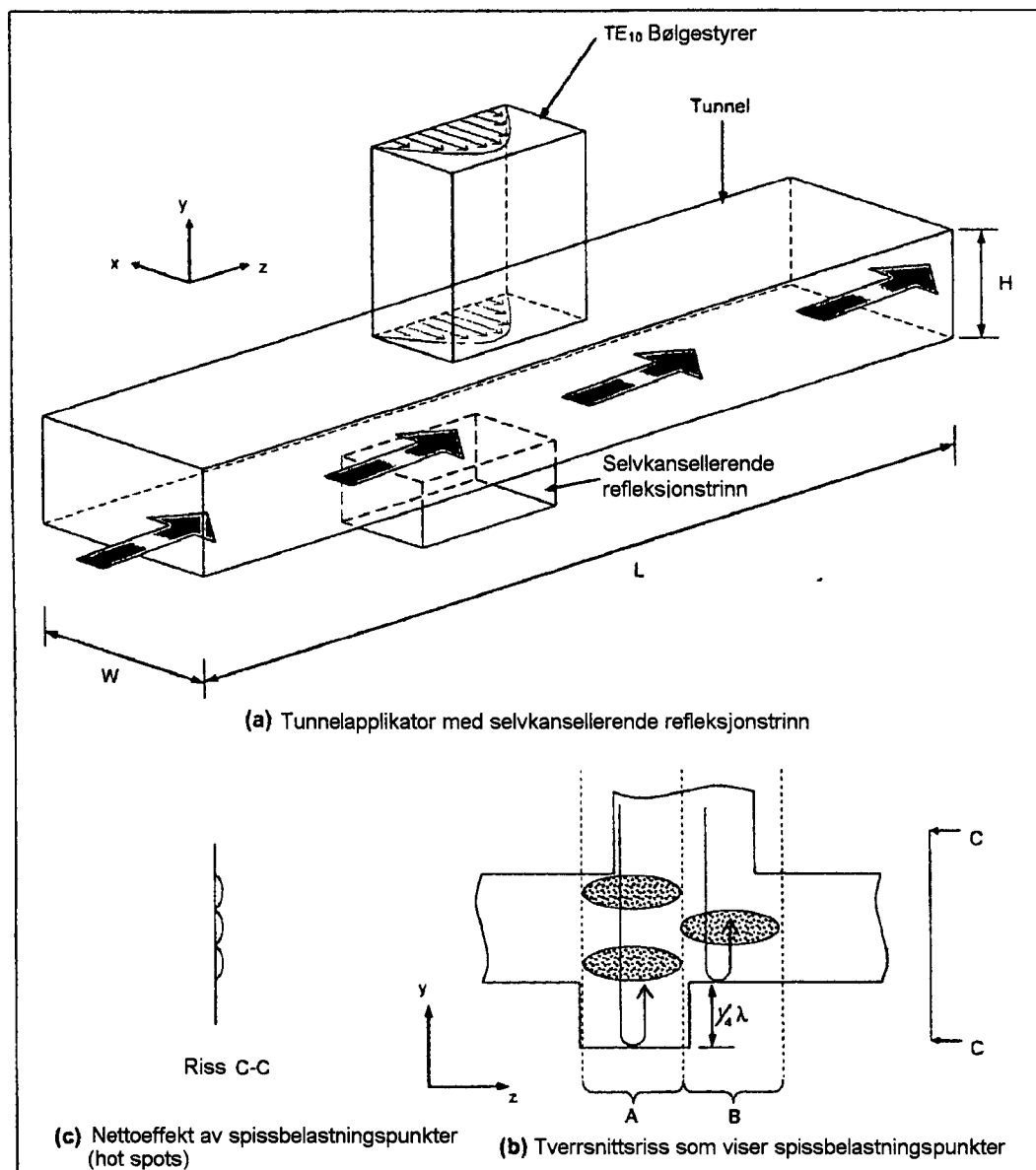


Figur 5



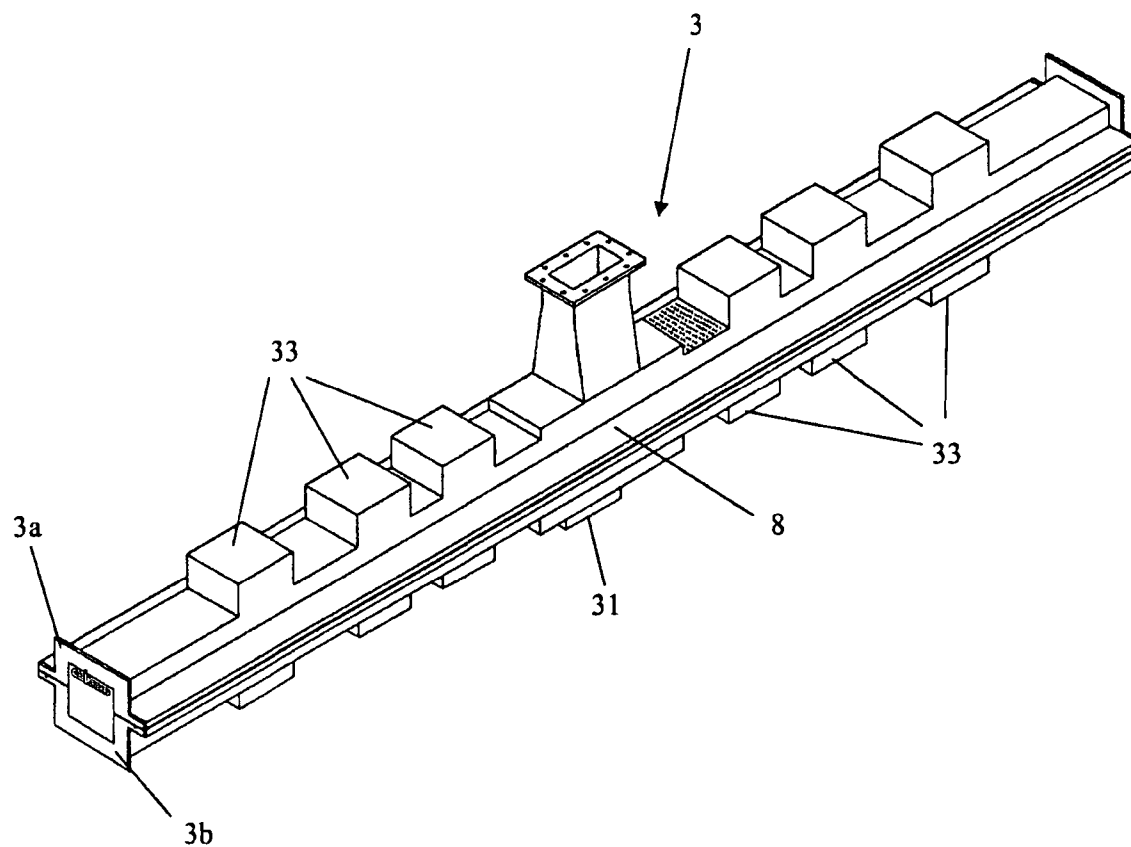
Figur 6

5/17



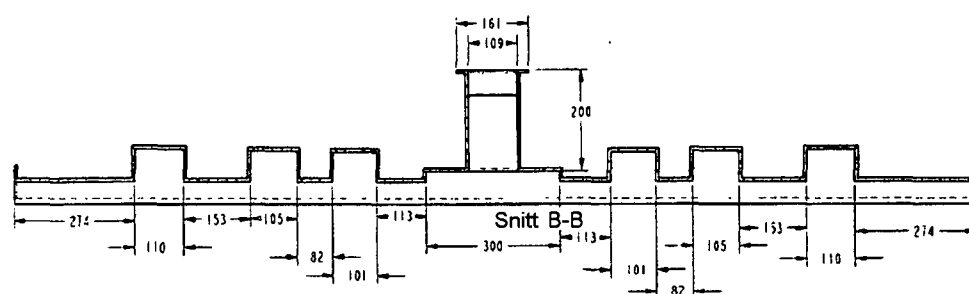
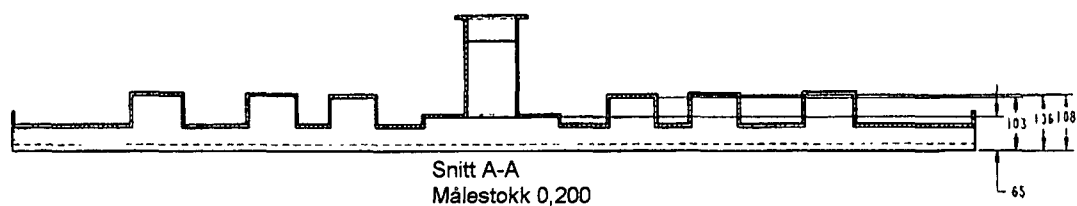
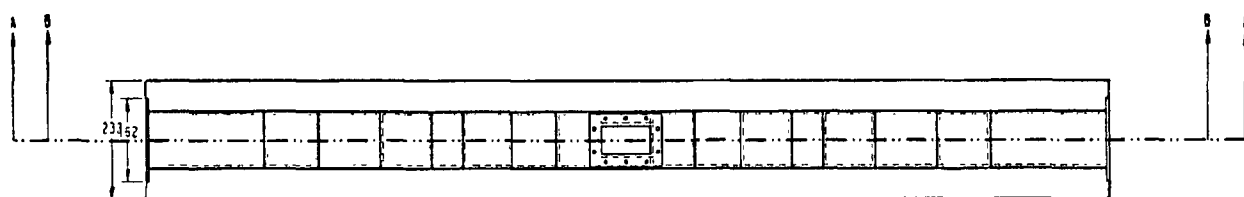
Figur 7

6/17



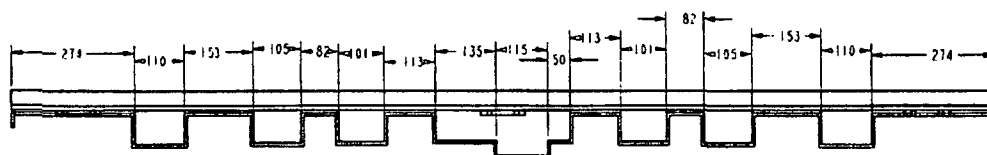
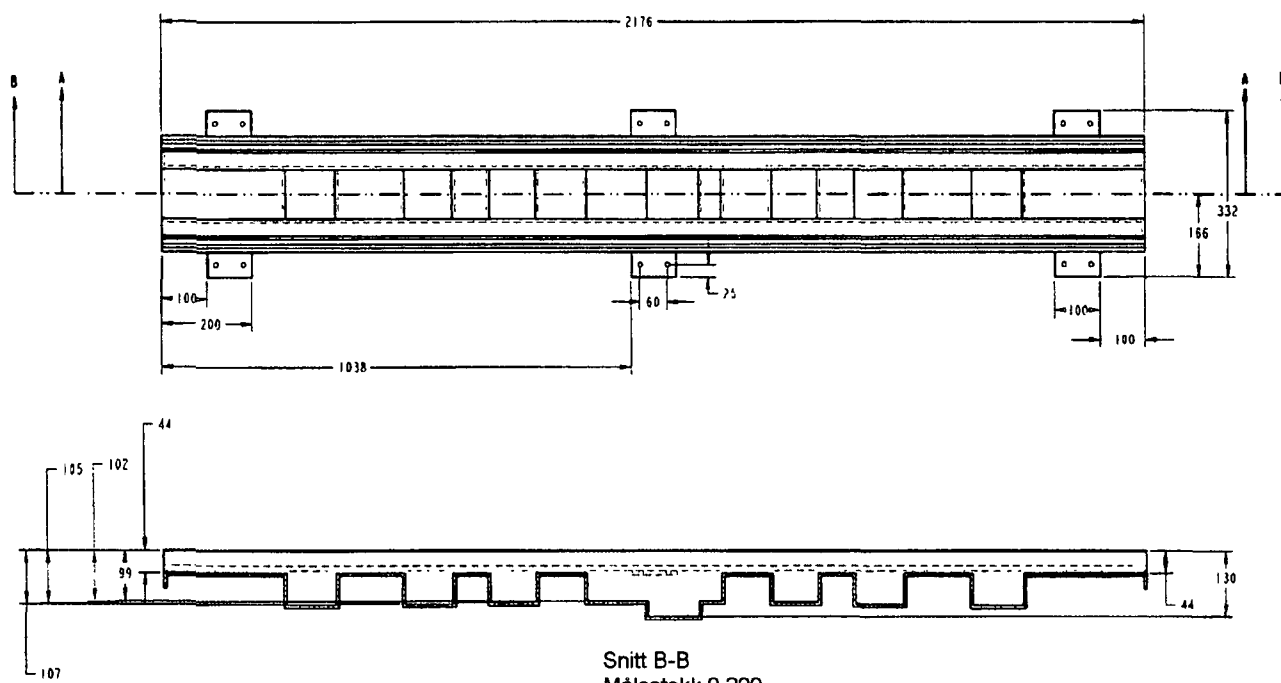
Figur 8

7/17



Figur 8a

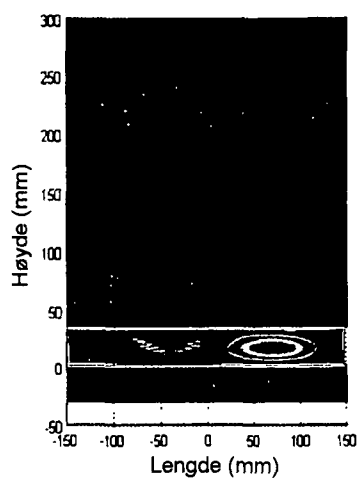
8/17



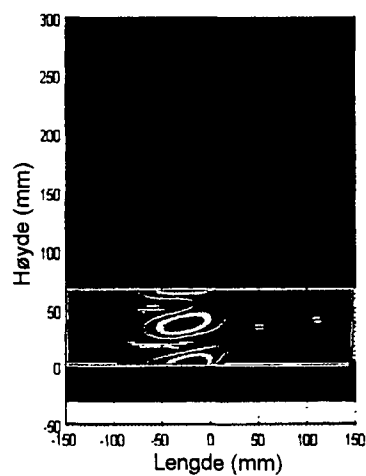
Snitt A-A

Figur 8b

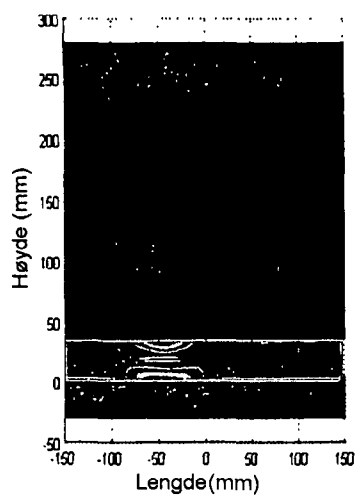
9/17



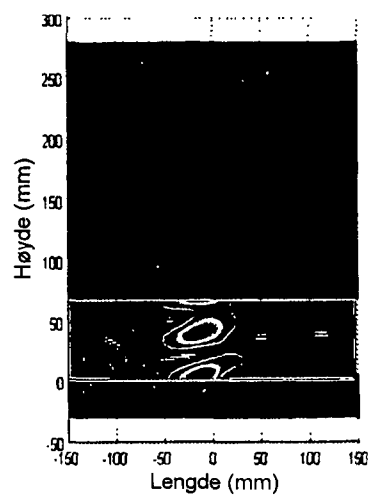
(a) Tunnelhøyde 100 mm,
Lasthøyde 33 mm



(b) Tunnelhøyde 100 mm,
Lasthøyde 66 mm



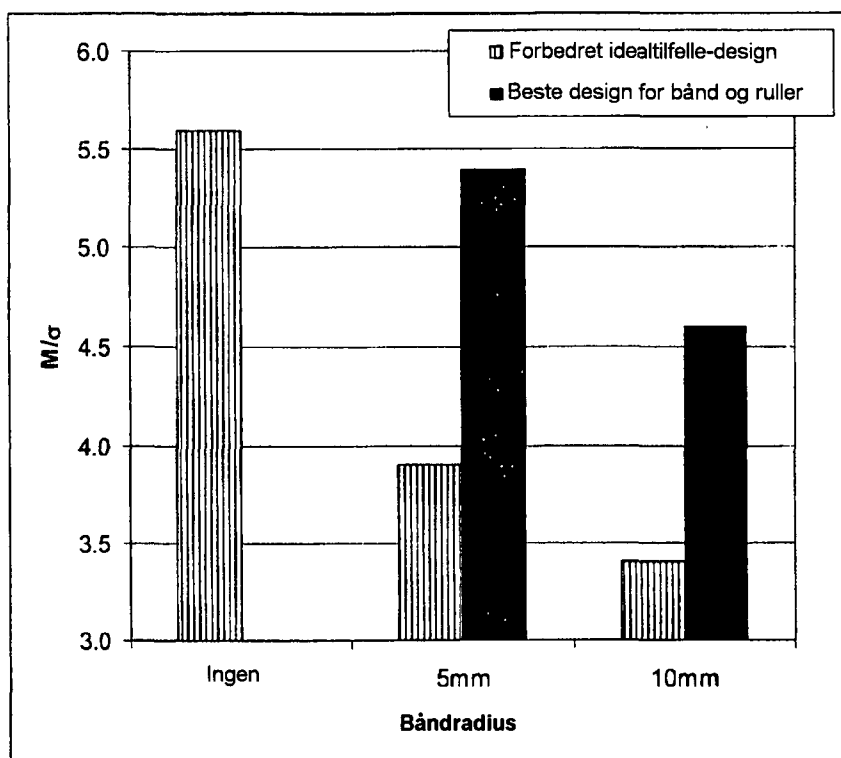
(c) Tunnelhøyde 80 mm,
Lasthøyde 33 mm



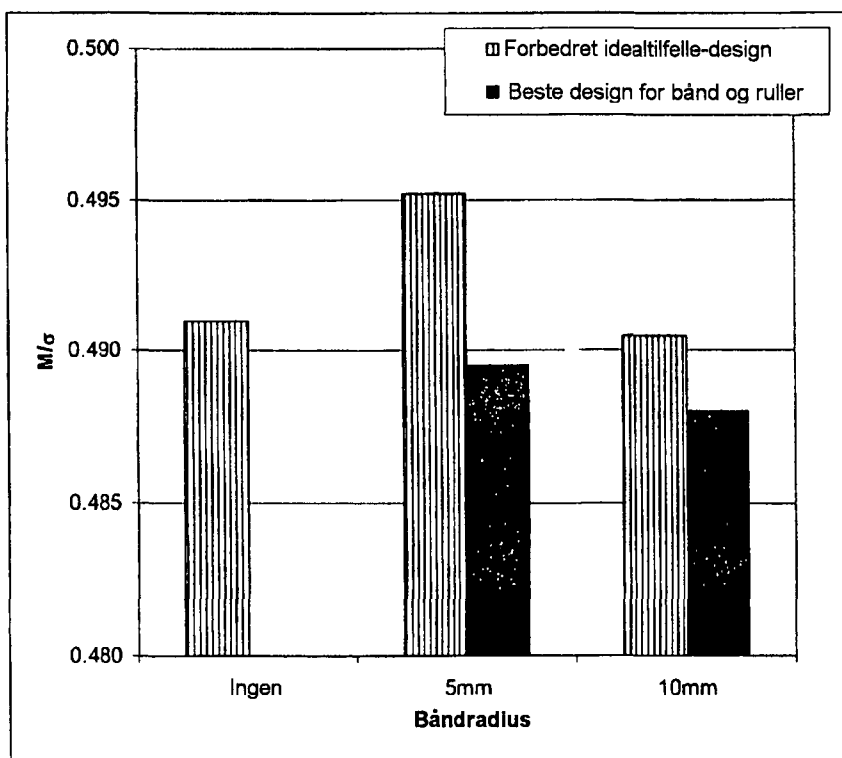
(d) Tunnelhøyde 80 mm,
Lasthøyde 66 mm

Figur 9

10/17



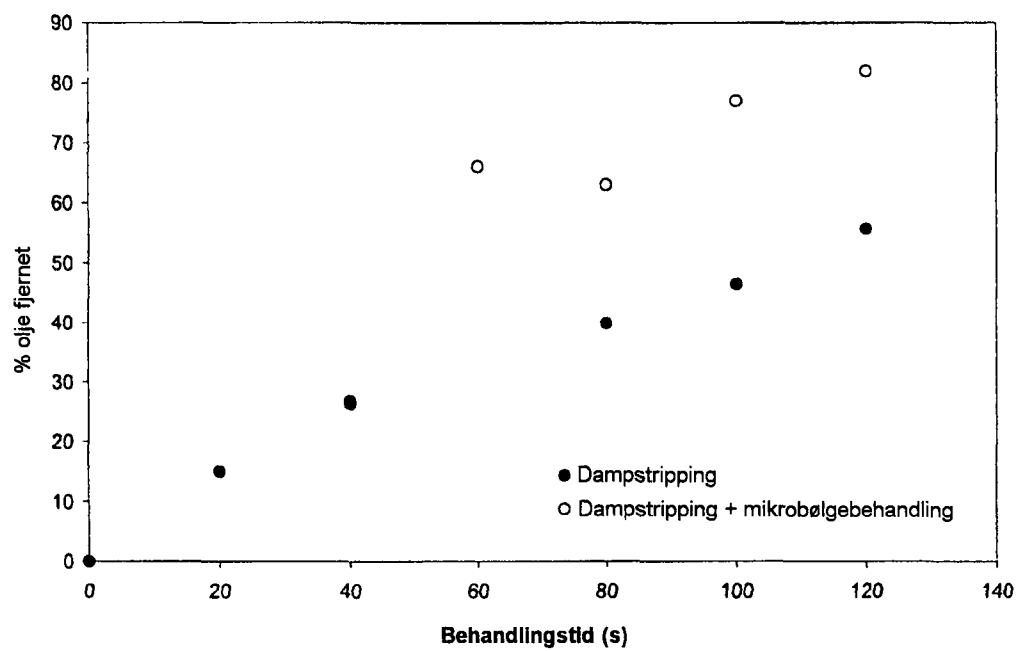
Figur 10a



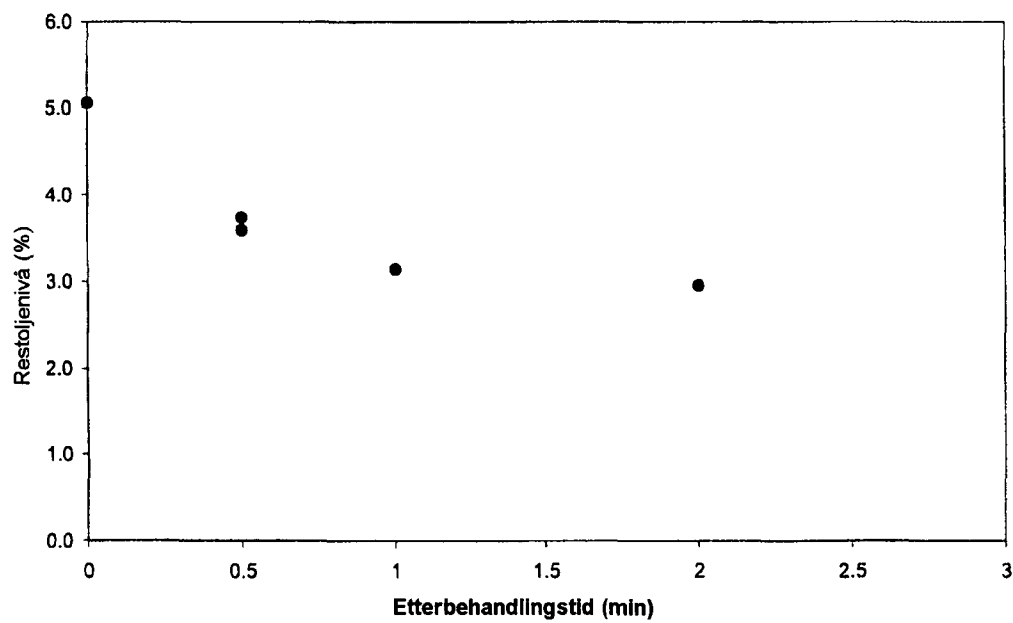
Figur 10b

Figur 12

12/17



Figur 13

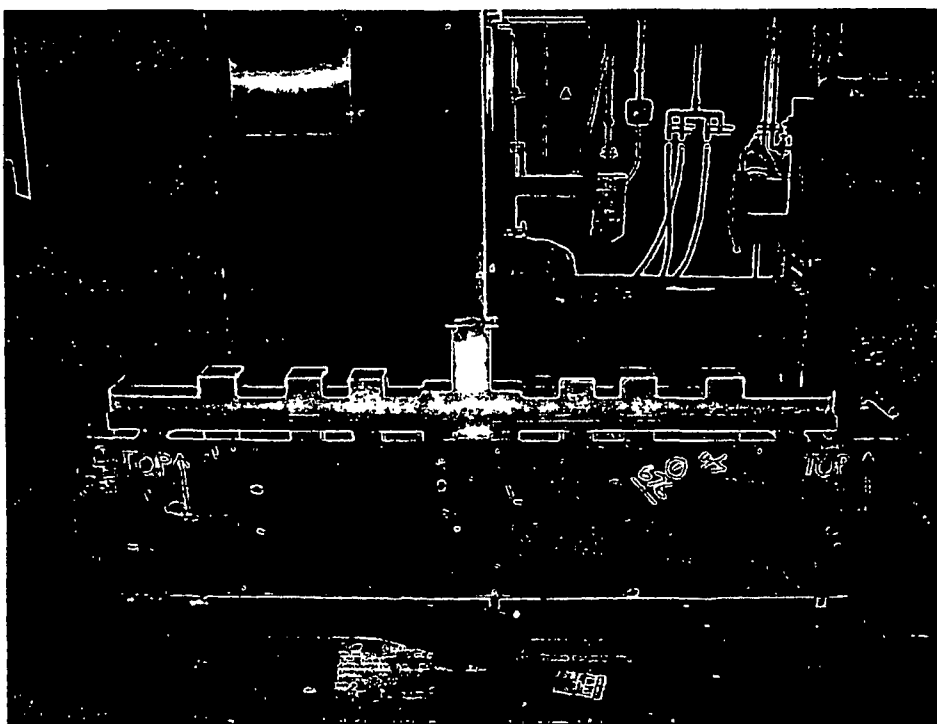


Figur 14

13/17

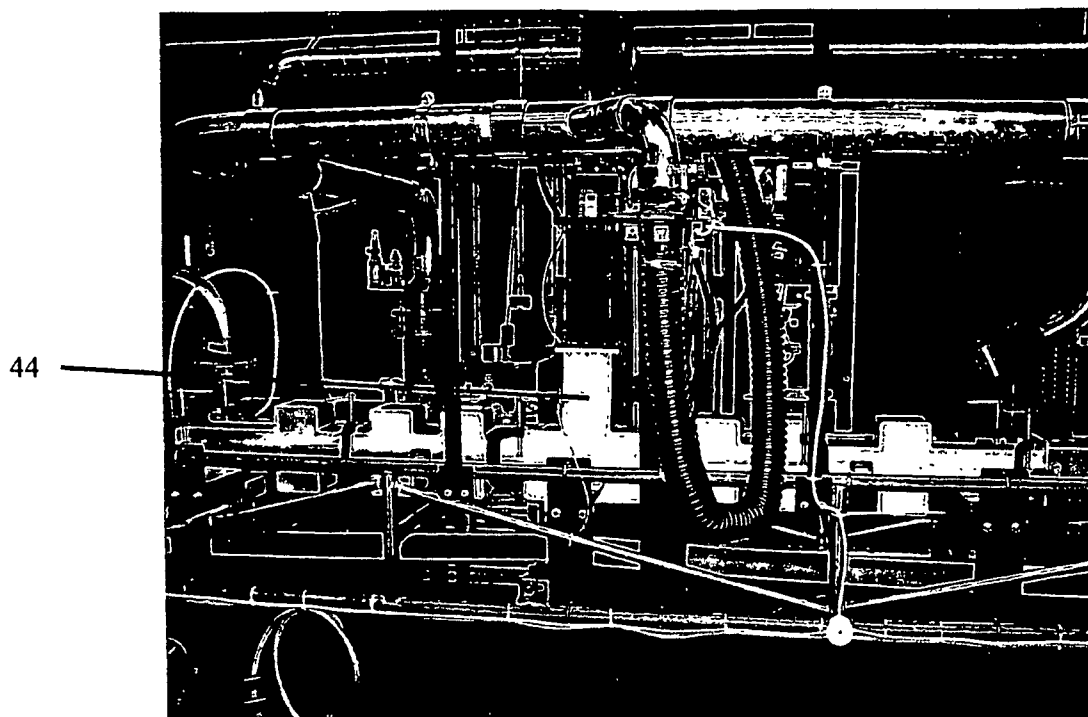


Figur 15

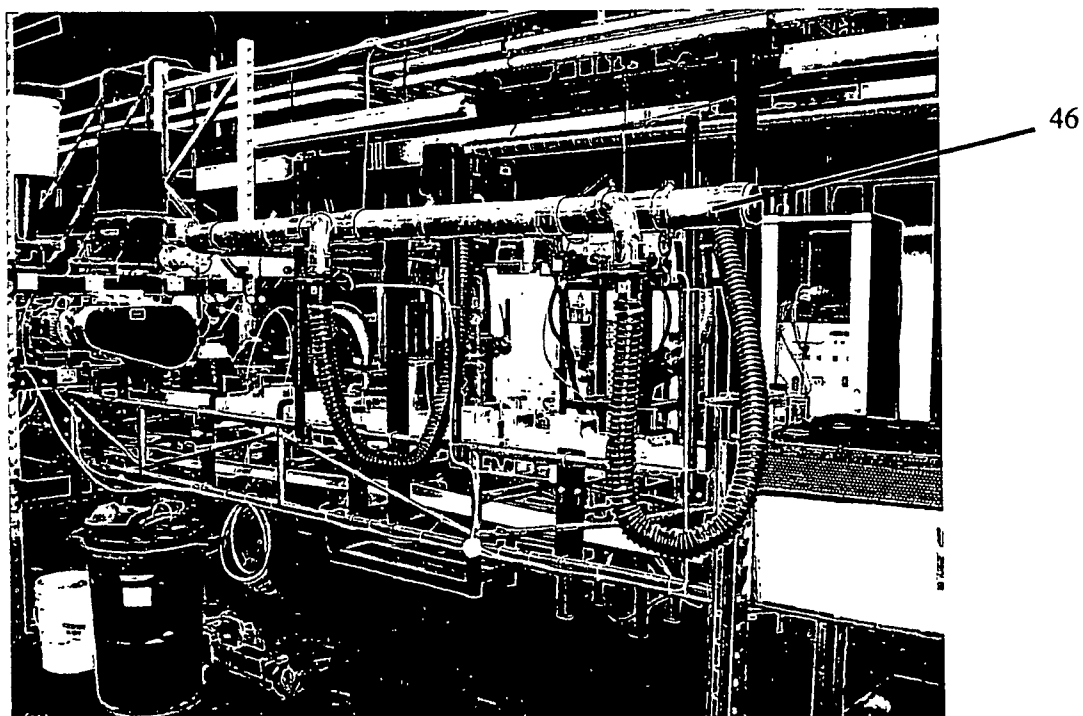


Figur 16

14/17

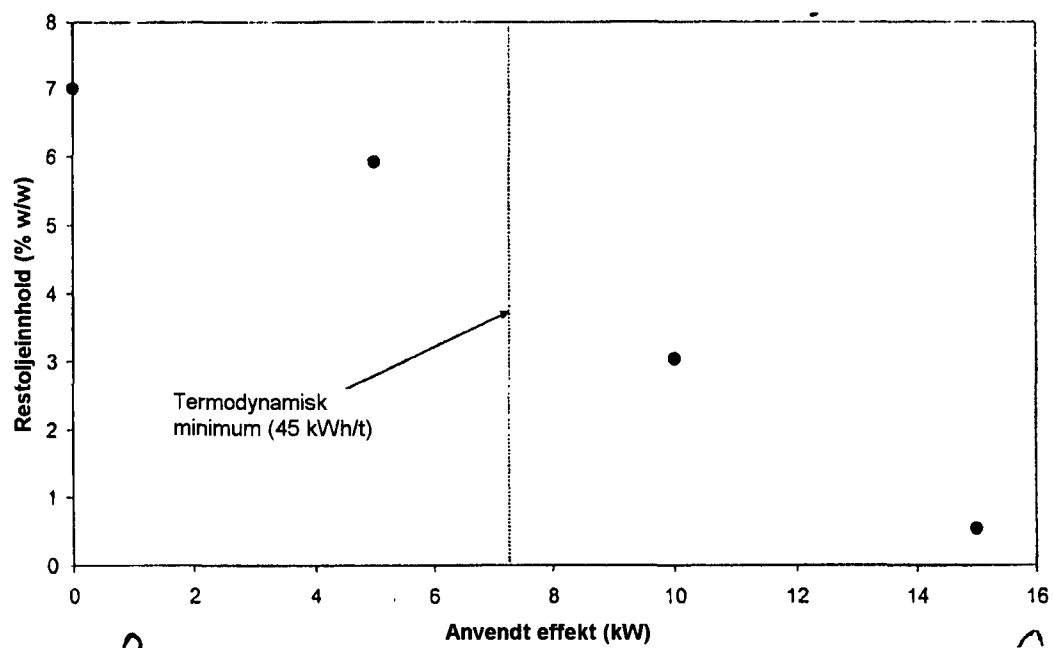


Figur 17

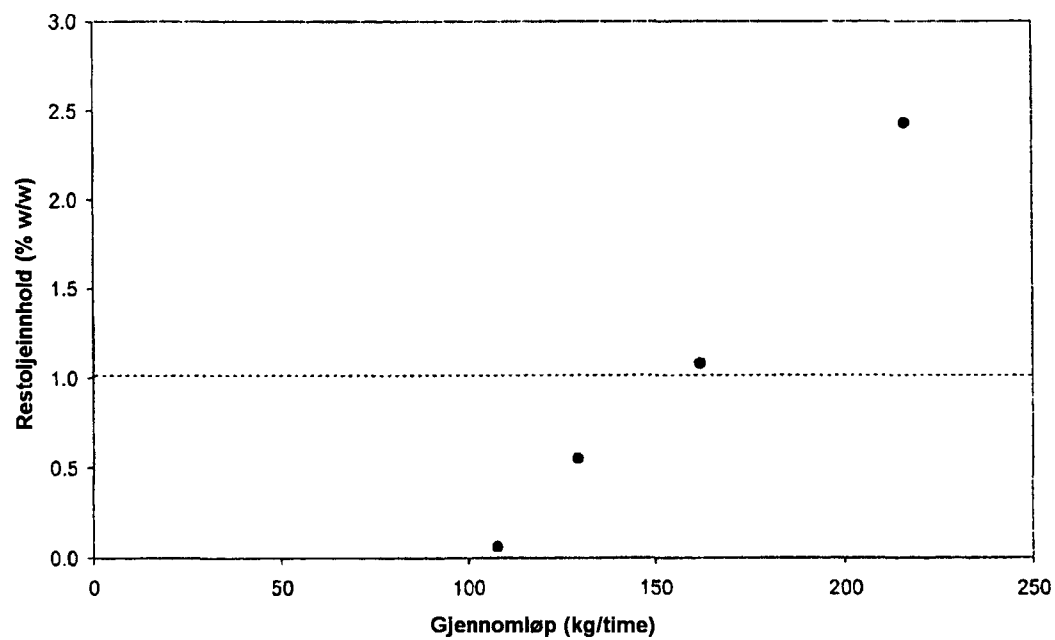


Figur 18

15/17

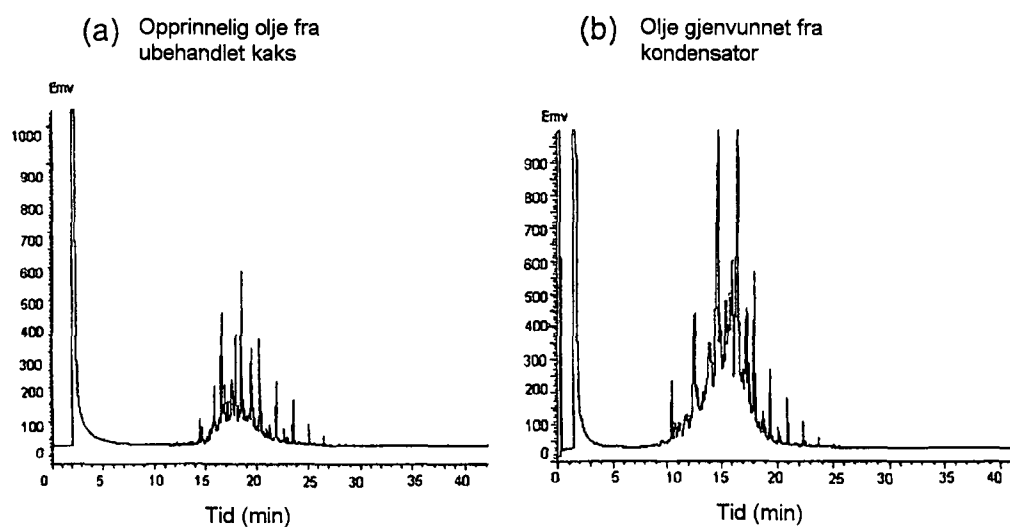


Figur 19

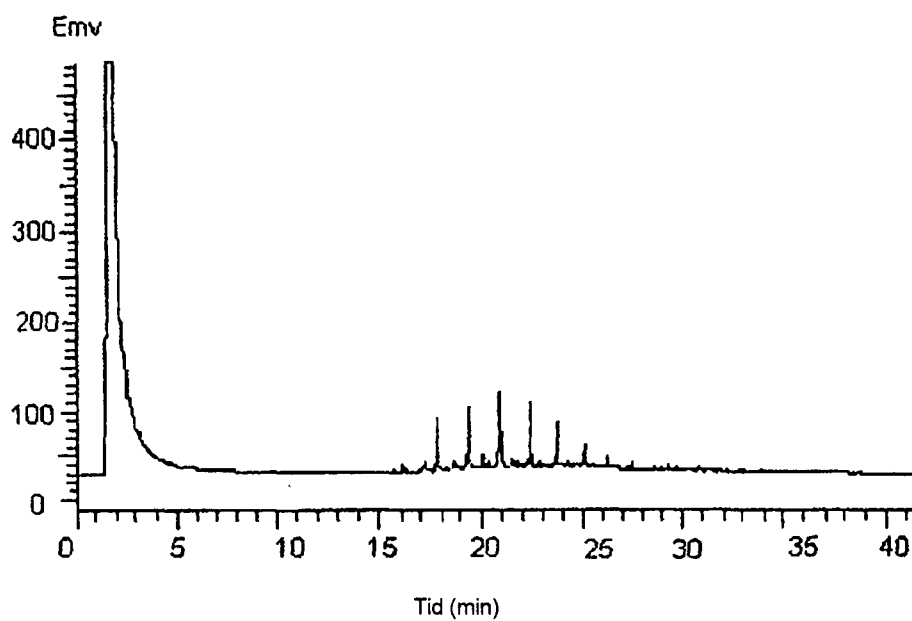


Figur 20

16/17

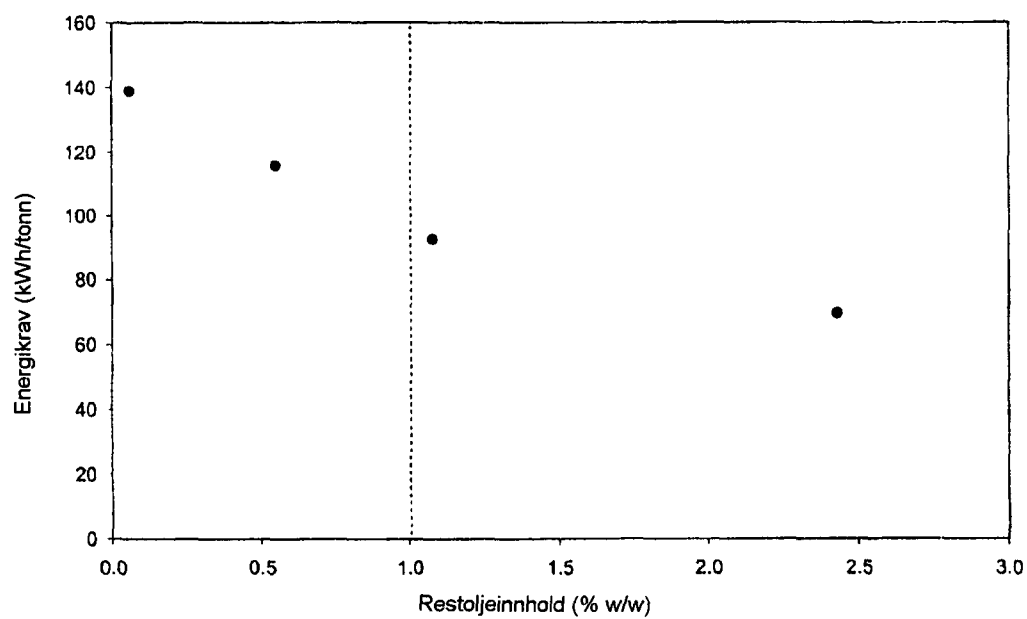


Figur 21

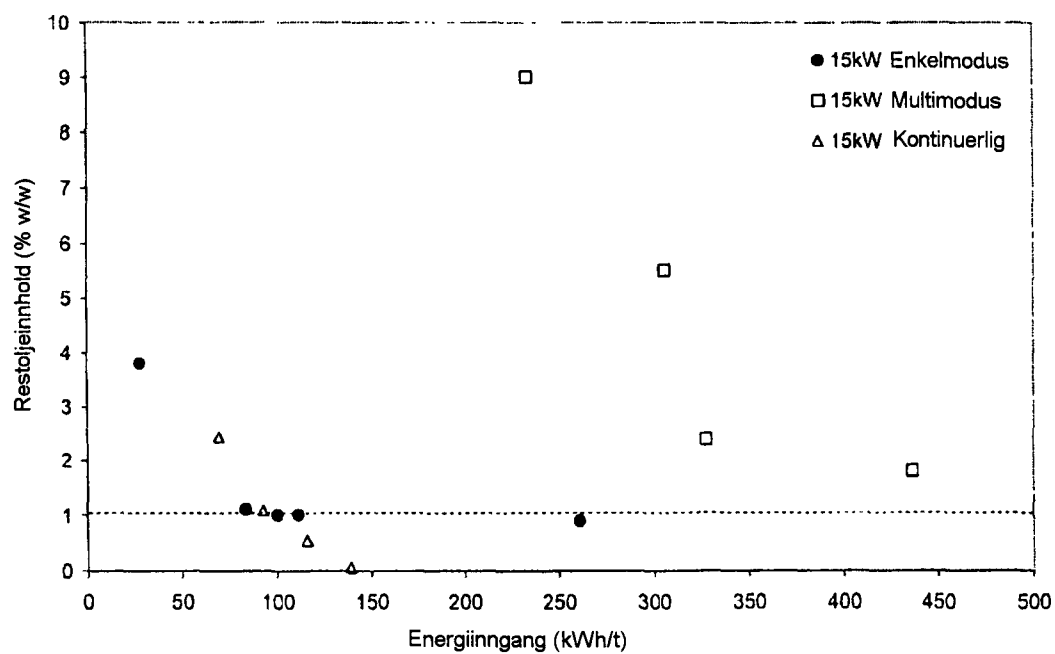


Figur 22

17/17



Figur 23



Figur 24