



(12) PATENTSKRIFT

Patent- og
Varemærkestyrelsen

- (51) Int.Cl.®: **G 01 N 23/20 (2006.01)** **G 01 N 9/24 (2006.01)**
(21) Patentansøgning nr: **PA 2006 01524**
(22) Indleveringsdag: **2006-11-22**
(24) Løbedag: **2006-11-22**
(41) Alm. tilgængelig: **2008-05-23**
(45) Patentets meddelelse bkg. den: **2009-11-02**
- (73) Patenthaver: **Force Technology, Park Alle 345, 2605 Brøndby, Danmark**
(72) Opfinder: **Finn Fallentin Olesen, Grønningen 3, Ejby, 4623 Lille Skensved, Danmark**
Steen Teller, Teglværksvej 31, 3460 Birkerød, Danmark
- (74) Fuldmægtig: **Chas. Hude A/S, H.C. Andersens Boulevard 33, 1780 København V, Danmark**
-

(54) Benævnelse: **Fremgangsmåde til tilvejebringelse af densitetsprofilen af et pladeformet legeme**

(56) Fremdragne publikationer:
DK A 94696
WO A1 9535491

(57) Sammendrag:

Opfindelsen angår en fremgangsmåde til tilvejebringelse af densitetsprofilen af et pladeformet legeme ved hjælp af en røntgenstrålingskilde (1), hvis stråling rettes mod det pladeformede legeme (5) og spredes derfra, idet den af pladematerialet fra en bestemt dybde af det pladeformede legeme spredte stråling tages som et mål for densiteten i den pågældende dybde. Fremgangsmåden er ejendommelig ved, at den af pladematerialet i forskellige dybder spredte stråling iagttages gennem en smal spalte (6), der står i hovedsagen vinkelret på stråleretningen, idet man udnytter, at der er en entydig sammenhæng imellem spredningsvinkel og dybde, hvilken spredte stråling registreres ved hjælp af et array af tæt anbragte detektorelementer til angivelse af densitetsprofilen. En fordel ved denne metode er, at den er hurtig og ikke kræver bevægelige dele. En anden fordel er, at hele dybdeprofilen måles samtidigt, specielt at over- og undersiden af det pladeformede materiale identificeres samtidigt, hvorved måleserier kan korrigeres korrekt uanset pladens bevægelser mellem delmålinger.

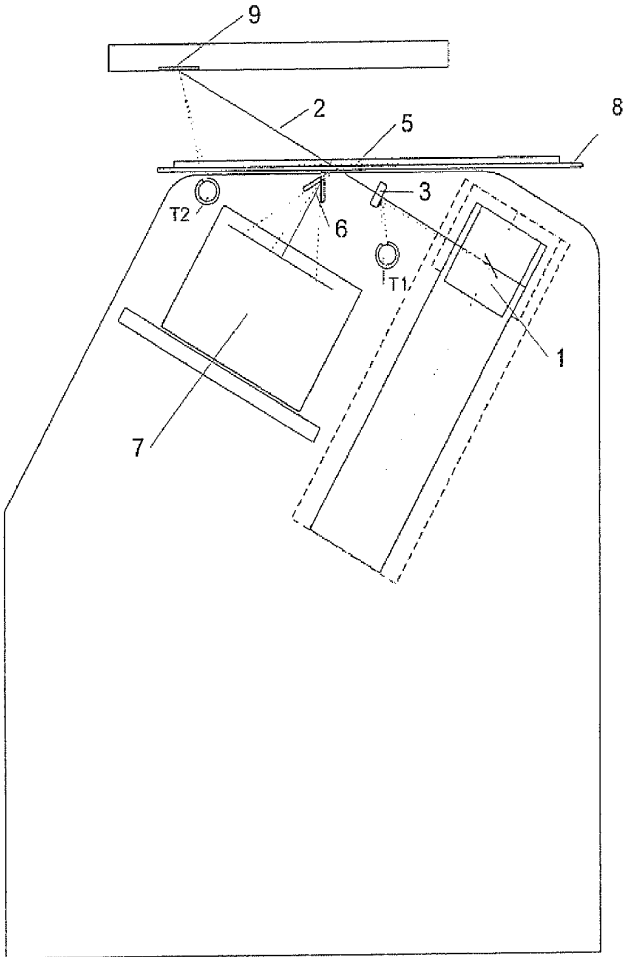


Fig 1

Titel: Fremgangsmåde og apparat til tilvejebringelse af densitetsprofilen af et pladeformet legeme

Opfindelsen angår en fremgangsmåde til tilvejebringelse af densitetsprofilen af et pladeformet legeme ved hjælp af en strålingskilde, fortrinsvis en røntgen- eller γ -strålingskilde, hvis stråling rettes mod det pladeformede legeme og spredes derfra, idet den af pladematerialet fra en bestemt dybde af det pladeformede legeme spredte stråling registreres ved hjælp af et detektorarray bestående af et array af tæt anbragte detektorelementer og tages som et mål for densiteten i den pågældende dybde. Der tænkes her på pladeformede legemer, hvis densitet varierer over pladetykkelsen, hvorimod densiteten i en bestemt dybde fortrinsvis antages at være konstant, jf. dansk patent nr. 171492.

Fra WO 94/27138 er det kendt at måle densitetsprofilen af et pladeformet legeme ved hjælp af et antal γ -strålingskilder, idet strålingen fra den enkelte kilde rettes mod et punkt i en forudbestemt dybde af det pladeformede legeme og spredes derfra, og den spredte stråling er et mål for densiteten i den pågældende dybde. Den enkelte strålingskilde og den dertil hørende retningsbestemte detektor kan imidlertid kun angive densiteten i en bestemt dybde. Ved hjælp af et antal kilde/detektorpar er det muligt at angive densiteten i et tilsvarende antal forskellige dybder, således at der opnås et passende antal punkter af densitetsprofilen. En ulempe ved denne konstruktion er imidlertid, at den kræver flere par af kilde og detektor og alligevel ikke giver et fuldstændigt densitetsprofil.

Man kan godt klare sig med én kilde og én retningsbestemt detektor, der er forskydelig, således at man derigennem vil kunne angive hele densitetsprofilen. En sådan måling indebærer imidlertid, at målingen (forskydning fra overside til underside) tager længere tid samtidigt med, at pladen ikke må forskydes vertikalt under en forskydning, da dette ville påvirke målingen af densitetsprofilen. Dette kan være vanskeligt at opnå i en praktisk pladeproduktion.

For begge nævnte metoder gælder også, at en dybderesolution af størrelsesordenen 0,1 mm, der er nødvendig ved måling på plader med tykkelser i området

2-8 mm, ikke kan opnås uden at måletiden bliver uforholdsmæssig lang.

Endvidere kendes fra dansk patentans. nr. 946/96 et apparat til bestemmelse af densitetsprofiler i pladeformede legemer. Apparatet indeholder en røntgen- eller
5 γ -strålingskilde, hvis stråling er rettet mod det legeme, der skal undersøges. En eller flere detektorer måler intensiteten af den spredte stråling fra det eller de delvolumener, hvor densiteten ønskes bestemt, hvorefter intensiteten omregnes til densiteten i delvolumenet. Detektorerne kan placeres både på samme og modsatte side som strålingskilden. Detektorerne kan være bevægelige eller stationære detektorarrays.
10

Formålet med opfindelsen er at anvise en enklere metode til angivelse af densitetsprofilet af et pladeformet legeme.

- 15 En fremgangsmåde af den indledningsvis nævnte art er ifølge opfindelsen ejendommelig ved, at den via en smal, i det væsentlige retlinet spalte, der står i hovedsagen vinkelret på stråleretningen, af pladematerialet i forskellige dybder spredte stråling registreres ved hjælp af detektorarrayet.
- 20 En fordel ved denne metode er, at den er hurtig og ikke kræver bevægelige dele. En anden fordel er, at hele dybdeprofilet måles samtidigt, specielt at over- og undersiden af det pladeformede materiale identificeres samtidigt, hvorved måleserier kan korrigeres korrekt, uanset pladens bevægelser mellem delmålinger.
- 25 Endelig er en snæver spalte (f.eks. 0,1-0,3 mm) en langt enklere konstruktion end komplicerede kollimatorer til samme dybderesolution.

Opfindelsen angår også et apparat til tilvejebringelse af densitetsprofilet af et pladeformet legeme ved hjælp af en strålingskilde, fortrinsvis en røntgen- eller
30 γ -strålingskilde, hvis stråling rettes mod det pladeformede legeme og spredes derfra, idet den af pladematerialet fra en bestemt dybde i det pladeformede legeme spredte stråling registreres ved hjælp af et detektorarray af tæt anbragte detektorelementer og tages som et mål for densiteten i den pågældende dybde,

hvilken apparat er ejendommeligt ved, at den via en smal, i det væsentlige retlinet spalte, der i hovedsagen står vinkelret på stråleretningen, af pladematerialet i forskellige dybder spredte stråling, registreres ved hjælp af detektorarrayet.

- 5 Derved opnås et særligt hensigtsmæssigt apparat til angivelse af densitetsprofil og et pladeformet legeme.

Opfindelsen skal nærmere forklares i det følgende under henvisning til tegningen, hvor

10

fig. 1 viser et apparat ifølge opfindelsen til tilvejebringelse af densitetsprofil af et pladeformet legeme,

fig. 2 viser det dertil hørende elektriske kredsløb,

15

fig. 3 illustrerer betydningen af apparatparametre som vinkler og afstande i alternative apparatkonfigurationer ifølge opfindelsen,

fig. 4 viser et eksempel på spredningssandsynligheden som funktion af spredningsvinklen (Klein-Nishina-tværsnittet),

20

fig. 5 viser et eksempel på hvorledes absorptionsforhold, spredningssandsynlighed, spredematerialets absorptionsevne og spredningsvinkler samt konstruktionsmæssige forhold har indflydelse på responset i de enkelte detektorelementer, og

25

fig. 6 viser et eksempel på et densitetsprofil tilvejebragt ved fremgangsmåden ifølge opfindelsen sammenlignet med profilet opnået ved laboratoriemåling (reference) og et profil fra samme plade målt med kendt skanderingsteknik.

30

Det i fig. 1 viste apparat ifølge opfindelsen til tilvejebringelse af densitetsprofil af et pladeformet legeme omfatter en røntgenstrålekilde 1. Strålingen fra kilden 1 føres til en kollimator 3, hvorfra der afgives en kollimeret stråling, fortrinsvis

som et plant vifteformet strålebundt 2. Den kollimerede stråling tilføres under en skrå vinkel med indfaldsvinklen V , jvf. fig. 3, til undersiden af det pladeformede, stillestående eller bevægede pladeformede legeme 5 og spredes derfra, idet den af pladematerialet fra en bestemt dybde af det pladeformede legeme 5

5 spredte stråling tages som et mål for densiteten i den pågældende dybde. Ifølge opfindelsen bliver den af pladematerialet i forskellige dybder spredte stråling iagttaget gennem en smal retlinet spalte 6, der står i hovedsagen vinkelret på pladens 5 længderetning. Derved bliver man i stand til på én gang at iagttage en spredt stråling fra flere forskellige dybder af pladematerialet, idet man udnyt-

10 ter, at der er en entydig sammenhæng imellem spredningsvinkel og dybde. Den spredte stråling registreres ved hjælp af et under spalten 6 placeret detektorarray af tæt anbragte detektorelementer 7 til angivelse af densitetsprofilen. Detektorarrayet består af ét eller flere moduler, hver med typisk 50 eller 64 enkeltde-

15 tektorer, f.eks. fotontællende halvlederdetektorer af cadmiumtellurid eller cadmium-zink-tellurid med en bredde fra under 0,1 mm til 1 mm. De enkelte detektorelementers udstrækning i den retlinede spaltes retning, der af hensyn til detektion af røntgenfotoner ønskes så stor som muligt, kan være 10 mm eller mere. Eventuelt kan der være placeret 2 eller flere detektorarrays ved siden af hinanden for derved at øge følsomheden og målefrekvensen.

20

Analoge detektorarrays baseret på registrering med silicium-dioder af det lys, der opsamles i en scintillator placeret over arrayet 7, er med dagens teknologi ikke tilstrækkelig følsomme til at registrere det begrænsede antal røntgenfotoner, der passerer ind gennem spalten 6, medens scintillationsdetektorer baseret

25 på fotomultiplikatorer, som f.eks. et lineært gammakamera typisk vil have for ringe resolutionsevne (3-5 mm). Ud over de her omtalte detektorarrays kan den tekniske udvikling resultere i mere følsomme analoge detektorarrays eller scintillationsdetektorer med bedre resolutionsevne eller helt nye detektorarraytyper, der vil kunne udnyttes i et apparat ifølge opfindelsen.

30

Den retlinede spalte 6 kan bestå af to stykker formstabilt plademateriale med stor absorption af stråling, såsom wolfram eller tantal, evt. bly eller guld. Spalten 6 fremkommer da ved, at de to plader danner en vinkel på f.eks. $\pm 45^\circ$ med nor-

malen til detektorarrayet, fortrinsvis med normalen til planet udspændt af det vifteformede strålebundt 2, og forskydes mod hinanden indtil den ønskede spaltebredde på typisk 0,1-0,3 mm er dannet.

- 5 Herved åbner spaltematerialet sig med en topvinkel på 90° både mod pladen 5 gennemstrålet af det vifteformede strålebundt 2 og mod detektorarrayet 7. Hvis der ikke er behov for så stor en åbningsvinkel, kan der opnås en bedre afskærmning ved spaltens sider ved, at vinklen mellem de to plader reduceres fra 90° til 60° , idet der samtidigt er slebet af kanterne således, at der dannes en
- 10 åbningsvinkel på 60° til begge sider af spalten 6.

Spaltens 6 længde tilpasses bredden af det vifteformede strålebundt og længden af detektorelementerne, således at alle spredningspunkter indenfor det vifteformede strålebundt kan nå den fulde udstrækning af det til spredningspunktet

15 svarende detektorelement gennem spalten. Eksempelvis har spaltens udstrækning i den i fig. 5 og 6 omtalte model og måling været 25 mm, strålebundtets største udstrækning ca. 30 mm og detektorelementernes længde som nævnt 10 mm.

20 Den nævnte spalte behøver ikke at stå nøjagtigt vinkelret på det vifteformede strålebundts udbredelsesretning eller ligge parallelt med pladen. Den kan også være anbragt lidt skråt såvel i forhold til strålen som til pladen, idet der da ad matematisk vej, i hvert fald delvis vil kunne kompenseres herfor.

25 Spalten behøver heller ikke at være helt retlinet. Den kan også være en smule buet eller bølget, idet der da ad matematisk vej, i hvert fald delvis, vil kunne korrigeres herfor.

Spalten behøver heller ikke at have samme bredde i hele sin udstrækning.

30 Spalten kan alternativt bestå af et antal spaltedele i forlængelse af hinanden. Alternativt kan spaltedelene være tilvejebragt parallelt med hinanden, i hvilket tilfælde der ad matematisk vej vil kunne korrigeres herfor.

Pladen 5 kan enten ligge stille over måleopstillingen eller mere typisk bevæge sig fremad, i hvilket tilfælde det er hensigtsmæssigt, at pladen glider på et underlag 8 fremfor på ruller. Underlaget kan da enten have udskæringer for strålingspassage eller være tildannet af et svagt absorberende materiale, f.eks. en
5 slidstærk plasttype.

Under beskrivelsen til fig. 4 og 5 omtales, at det for et apparat af den i fig. 1 viste art er muligt ad matematisk vej at beregne det pladeformede legemes densitetsprofil ud fra den registrerede spredte stråling i detektorarrayet af detektor-
10 elementerne 7, idet der udnyttes kendskab til strålingsspektret, apparatafstande og dimensioner, detektorparametre samt den kemiske sammensætning af det pladeformede materiale 5. I praksis vil den beskrevne matematiske metode blive forenklet og underbygget af et passende antal forudgående kalibreringsmålinger på kendte pladeformede legemer til beregning af densitetsprofilen ud fra
15 de målte strålingsintensiteter fra de enkelte lag i det pladeformede legeme 5.

En automatisk kalibrering til forskellige pladetykkelser med vidt forskellige densitetsprofiler kan opnås gennem en uafhængig måling af fladevægten (masse pr. arealenhed) ved anbringelse af en reflektor 9 i strålebundtet 2 efter at det
20 har passeret det pladeformede legeme 5. På samme side af det pladeformede legeme 5 som røntgenkilden 1 og spalten 6 og detektorarrayet 7 anbringes en detektor T2 til registrering af den spredte stråling og fluorescensstråling, der udsendes fra den på modsatte side af det pladeformede legeme 5 anbragte reflektor 9 i retning af detektoren T2. Den udsendte stråling 1 måles med en detektor
25 T1, enten direkte i en stråling fra kilden 1 eller som vist i fig. 1 som stråling reflekteret fra kollimatoren 3. Forholdet mellem den udsendte og den gennem pladen 5 to gange transmitterede stråling er da et mål for fladevægten.

Det er velkendt at en strålingsabsorption i pladeformede materialer på 50-75%
30 er optimal for måling af tykkelse eller fladevægt. For tynde plader eller et pladeformet legeme af svagt absorberende materiale som træ eller plast vil det derfor være hensigtsmæssigt at forsyne reflektoren 9 med et materiale, der udsender en fluorescensstråling med en for de tynde plader egnet strålingsenergi. Et eg-

net materiale kunne være 1 mm tin, hvorved en væsentlig del af røntgenfotonerne i strålebundtet 2 med energier typisk mellem 50 og 150 keV (kiloelektronvolt) omsættes til fluorescensstråling med lavere energi, der med tin som reflektor vil være 25-28 keV. Disse fotoner absorberes i højere grad i pladen, hvorved målingen af fladevægten med detektoren T2 bliver mere følsom og derigennem mere nøjagtig.

Reflektoren 9 vil med en passende udformning i forhold til strålebundtet 2 samtidig tjene som strålingsskærm.

10

Fig. 2 viser det dertil hørende elektriske kredsløb, idet man ser detektorarrayet 7 bestående af fireogtres detektorelementer, detektorerne T1 og T2 og en styreenhed 11, der står i forbindelse med detektorarrayet 7 og de to detektorer T1 og T2. En styreenhed 11 står desuden i forbindelse med en røntgenstrålekontrol 12, der styrer en højspændingsgenerator 13 til forsyning af røntgenstrålerøret 1.

Fig. 3 illustrerer betydningen af forskellige geometriske parametre såsom indfaldsvinkel V , spredningsvinkel \emptyset , den vinkelrette afstand A fra det vifteformede strålebundtet 2 til spalten 6 og afstanden B fra spalten til detektorarrayet 7, målt på den vinkelrette på strålebundtet 2 samt vinklen W mellem strålebundtet 2 og detektorarrayet 7. I fig. 1 er arrayet 7 parallelt med strålebundtet 2 og vinkel $W = 0$. Alle linjestykker på strålebundtet 2 afbildes derfor med samme optiske eller geometriske forstørrelse B/A på detektorarrayet 7 uanset spredningsvinklen \emptyset . Af fig. 3, hvor vinklen $W \neq 0$, ses ved trekantbetragtninger og ved brug af cosinusrelationerne, at den optiske forstørrelse varierer med \emptyset som

$$(B/A) * (\sin \emptyset * \cos W) / \sin(\emptyset - W)$$

For en kendt apparatgeometri (A, B og W) og med en entydig sammenhæng mellem detektorelementerne i detektorarrayet 7 og spredningsvinklen \emptyset er det derfor muligt at foretage den nødvendige korrektion af måledataene.

30

Fig. 4 viser det differentielle spredningstværsnit for Comptonspredning af røntgen- eller γ -fotoner som funktion af spredningsvinklen \emptyset ved en fotonenergi på 60 keV. Over energiområdet 30 - 150 keV ændres de absolutte værdier ca. +/- 15%, men formen med minimum omkring $\emptyset = 90^\circ$ ændres ikke. Røntgenappara-

5 rater med en højspænding mellem 60 og 150 kV, (kilovolt) udsender røntgenfotoner i et energispektrum, hvor den maksimale energi i keV er lig med den aktuelle højspænding i kV, og hvor middelværdien er ca. det halve. For røntgenfotoner i dette energiområde vil en midlet model derfor være en kurve i det væsentlige lig med den i fig. 4 viste og være en fulgyldig repræsentation for

10 spredningssandsynligheden ved fortolkningen af måledataene.

For et apparat af den i fig.1 angivne art med vinkel $W=0$, og hvor detektorarrayets 7 detektorelementer, alle med bredden dp , sidder helt tæt, kan opstilles følgende udtryk for spredt stråling $D(p,k)$ fra lag nr. k af tykkelse $dx=dp*(A /$

15 $B)*\sin(V)$ i dybden $k*dx$ af det pladeformede legeme, som efter passage af spalten 6 registreres i detektorelement nr. p :

$$\begin{aligned}
 & i=k-1 \\
 20 \quad (I) \quad D(p,k) = & Do * \exp[-Ao * (dx/\sin(V)) * \sum_{i=1}^{i=k-1} r(i)] * s(\emptyset(k)) * r(k) * Vol(k) * e(\emptyset(k)) \\
 & i=1 \\
 & i=k-1 \\
 & * \exp[-A(k) * (dx/\sin(\emptyset(k)-V)) * \sum_{i=1}^{i=k-1} r(i)] \\
 25 & i=1
 \end{aligned}$$

hvor Do er intensiteten af fotoner før spredning i lag nr. k , - det første eksponentialudtryk er dæmpningen ind til lag nr. k , - det andet eksponentialudtryk er dæmpningen af spredt stråling med spredningsvinkel $\emptyset(k)$ ud fra lag nr. k i ret-

30 ning mod spalten 6, - $s(\emptyset(k))$ er det differentielle spredningstværsnit for spredningsvinkel $\emptyset(k)$, jf beskrivelse til fig.4, enten ved en given fotonenergi eller midlet for et aktuelt røntgenspektrum, - $r(k)$ er densiteten i lag nr. k , - $Vol(k)$ er spredningsvoluminet, og $e(\emptyset(k))$ er en geometrifaktor, der tager højde for såvel

afstand fra spredningspunkt i lag nr. k til spalten som spaltens tilsyneladende størrelse for forskellige spredningsvinkler.

Do aftager med voksende k , men samtidig vokser $Vol(k)$ tilsvarende, idet $Vol(k)$ er lig længden $dx/\sin V$ multipliceret med bredde og højde af det vifteformede strålebundt 2. $Do \cdot Vol(k)$ kan derfor erstattes af $c \cdot I_0$, hvor c er en konstant, og I_0 er intensiteten af fotoner før dæmpning i det pladeformede legeme, for røntgenbaserede strålingskilder, eventuelt korrigeret for variationer i fotonflux fra strålingskilden 1 ved hjælp af T1, jf. fig. 1 og 2.

10

Ekspponentialleddene indeholder absorptionskoefficienterne A_0 og $A(k)$. Koefficienterne afhænger af pladematerialets kemiske sammensætning og fotonenergien. A_0 er absorptionskoefficienten for det indkommende strålebundt 2, for røntgenstråling midlet over det aktuelle røntgenspektrum. $A(k)$ er absorptionskoefficienten for den spredte stråling fra lag k , og da fotonenergien for spredt stråling er entydigt forbundet med energien af ikke-spredt stråling og spredningsvinklen $\theta(k)$, kan $A(k)$ beregnes for et givet materiale og et givet fotonpektrum. A_0 og $A(k)$ har dimensionen "areal pr. masseenhed" og må ikke forveksles med afstanden A i fig.3, der har dimensionen "længde".

20

Afstanden fra spredningspunkt i lag nr. k til spalten 6 er $A / \cos(90-\theta(k))$, jf. fig.3, hvorfor intensiteten af spredt stråling ved spalten 6 varierer med $(\cos(90-\theta(k)))^2$, og da det tilsyneladende spalteareal for spredningsvinkel $\theta(k)$ skal multipliceres med $\cos(90-\theta(k))$, bliver den grundlæggende form af $e(\theta(k))$ lig med $(\sin \theta(k))^3$.

25

Den spredte stråling fra det pladeformede legeme 5 gennem spalten 6 vil normalt ikke dække alle detektorarrayets 7 detektorelementer. Der vil derfor forekomme et antal detektorelementer i hver ende, hvor den registrerede stråling - korrigeret for baggrundsstråling, dvs. registreret stråling uden det pladeformede legeme - er nul, bortset fra fluktuationer begrundet i strålingens statistiske natur. Under et vist lavt niveau af registreret stråling i de enkelte detektorelementer sættes derfor såvel registreret stråling som densiteten i det tilhørende målevo-

30

lumen lig med nul. I udtrykket (I) er det derfor korrekt at sætte $D(p,k) = D(k)$, idet der anvendes samme nummerering for detektorelementer og målevoluminer.

5 Antages undersiden af det pladeformede legeme 5 at være placeret, således at detektorelement nr. q er det første med registreret stråling $D(q)$ over det nævnte niveau, findes af (I):

$$(II) \quad D(q) = c \cdot I_0 \cdot s(\emptyset(q)) \cdot e(\emptyset(q) \cdot r(q)) \quad \text{eller} \quad r(q) = [D(q) / K(q)] / (c \cdot I_0)$$

10 da $r(k) = 0$ for $k < q$.

Sprednings- og geometrifaktorer, der kun afhænger af q , er samlet i faktoren $K(q)$.

For næste element findes af (I):

15

$$(III) \quad r(q+1) = \{D(q+1)/K(q+1)\} \cdot \{ \exp[F(q+1) \cdot dx \cdot r(q)] \} / (c \cdot I_0)$$

20 hvor faktoren $F(q+1) = A_0 / \sin(V) + A(q+1) / (\sin(\emptyset(q+1) - V))$ for en kendt kemisk sammensætning af det pladeformede materiale er en apparatkonstant for hvert detektorelement, og hvor $r(q)$ er fundet i (II), og A_0 og $A(k)$ er absorptionskoefficienter.

De følgende densiteter i opbygningen af densitetsprofilen findes af

25

$$(IV) \quad r(q+i) = \{D(q+i)/K(q+i)\} \cdot \{ \exp[F(q+i) \cdot dx \cdot \sum_{j=q}^{j=q+i-1} r(j)] \} / (c \cdot I_0)$$

30 Med kendte apparatkonstanter og materialeparametre indlagt i en tilsluttet computer eller den i fig. 2 viste styreenhed 11 kan der uden mærkbar tidsforsinkelse for hvert målt datasæt i detektorarrayet 7 præsenteres et densitetsprofil. Det til det første detektorelement q hørende volumen omfatter normalt både luft og plademateriale, men da $F(q+i)$ for relevante vinkler V og $\emptyset(q+i)$ og materialer af

træ og plast er af størrelsen 0.5 cm²/g, dx er af størrelsen 0.01 cm, og r(q+i) er af størrelsen 1 g/cm³, men eventuelt med kun 10% materiale i første volumen, kan eksponentialfaktoren variere mellem 1.0005 og 1.005 i (III), altså en ret ubetydelig forskel. Modelberegninger viser, at usikkerheden fra densiteten af dette første dellag ikke nævneværdigt påvirker beregningerne i (IV), men blot i værste fald medfører en forskydning af densitetsprofilen med ét detektorelement.

Den matematiske fremgangsmåde vil normalt blive justeret og i nogle tilfælde helt blive suppleret af indlagte værdier fra kalibreringsmålinger på laboratorieudmålte pladeemner. Især materialeparametre for pladematerialet og apparatparametre som den geometriske forstærkning vil blive fastlagt ved hjælp af kalibrerede pladeemner.

Spredt stråling fra nabolag til det betragtede lag nr. k i det pladeformede legeme kan bidrage til den målte spredte stråling i det til lag nr. k svarende detektorelement. Størrelsen af disse bidrag afhænger af bredden af spalten δ , der normalt ikke bør være af samme størrelse som den ønskede opløsningsevne $dx / \sin(V)$ i det vifteformede strålebunds 2 retning. Den nødvendige korrektion for dette forhold fastlægges ligeledes ved hjælp af kendte kalibreringsemner, selv om det teoretisk er muligt at korrigere ad matematisk vej gennem en affoldningsprocedure.

Den tidligere omtalte uafhængige måling af fladevægt, fx ved hjælp af de i fig. 1 og 2 viste hjælpedetektorer T1 og T2 samt reflektoren 9, vil dels være bestemmende for valg af korrekte kalibreringsparametre, dels give en uafhængig kontrolmåling af middeldensiteten af det pladeformede materiale 5, idet pladens tykkelse er bestemt gennem antallet af detektorelementer i arrayet 7, der registrerer spredt stråling fra det pladeformede materiale 5.

30

Fig. 5 viser et eksempel på de elementer, der indgår i fortolkningen af et pladeformet legemes måldata opnået ved fremgangsmåden ifølge opfindelsen: Det pladeformede legeme er modelleret som en 6 mm tyk homogen træplade med

en densitet på 900 kg/m^3 . Indfaldsvinklen V er 30° , detektorarrayet med 64 elementer, der hver er $0,8 \text{ mm}$ brede, er parallelt med et røntgenstrålebundt ved 115 keV , dvs. vinklen $W = 0$, den optiske forstørrelse er 4 ($A = 15$ og $B = 60 \text{ mm}$, jf. fig. 3) og spalten $0,1 \text{ mm}$ med 2 tantalplader á 1 mm og en åbningsvinkel på 60° . Kurve 1 viser den kombinerede effekt af absorption ind til et spredningspunkt og ud af pladen i retning mod det til spredningspunktet svarende punkt på detektorarrayet, hvor effekten af afstandsloven for stråling under passage af pladen også er indregnet. Pladens tykkelse afbildes i ca. 60 detektorelementer svarende til $60 \cdot 0,8 \text{ mm} = 48 \text{ mm}$. Da indfaldsvinklen er 30° , bliver vejlængden for strålingen i den 6 mm tykke plade $6 \text{ mm}/\sin(30^\circ) = 12 \text{ mm}$ i overensstemmelse med den forventede optiske forstørrelse på 4 gange. Kurve 2 viser spredningssandsynligheden for det vinkelinterval, der er relevant for denne plade i denne geometri (vinkel \emptyset i intervallet 68° til 112°), jf. fig. 4. Kurve 3 viser en kombineret effekt af spaltebredde, ændringen af den effektive spaltebredde med spredningsvinklen \emptyset samt den varierende absorption igennem de stumpvinklede (120°) kanter, der udgør spaltens sider. Ved spredningsvinkler \emptyset omkring 90° vil stråling fra et spredningspunkt med retning mod naboelementer til det primære billedelement (på linjen spredningspunkt-spalte) ikke absorberes ligeså effektivt som stråling, der ikke rammer ligeså vinkelret ind på området omkring spalteåbningen. Den samlede effekt er en øget strålingsintensitet omkring de centrale detektorelementer. Endelig viser kurve 4 den samlede effekt af de 3 kurver. Det ses, at med et passende valg af geometriske parametre, herunder spaltekonstruktion, korrigeres de rå måledata til egentlige densitetsværdier for profilet af et pladeformet materiale ved hjælp af monotone og næsten lineære kurver.

Fig. 6 viser et eksempel på et densitetsprofil for en tynd træfiberplade på $3,1 \text{ mm}$ med en middeldensitet på ca. 900 kg/m^3 og tynde kanter med en densitet på op til ca. 1000 kg/m^3 målt dels med laboratorieudstyr som reference (kurve 1), dels med kendt teknik baseret på måling af spredt stråling med en forskydelig detektor med fokuseret lamelkollimator (kurve 2) og dels med et apparat ifølge opfindelsen (kurve 3). Apparatparametrene var de samme som nævnt i forbindelse med fig. 5 med en optisk forstørrelse på 4. I overensstemmelse her-

med ses den effektive strålevej i pladen, $3,1 \text{ mm}/\sin(30^\circ) = 6,2 \text{ mm}$ afbildet i ca. 31 detektorelementer á $0,8 \text{ mm}$ svarende til $24,8 \text{ mm}$. De rå måledata er i dette tilfælde blot bearbejdet med en lineær opretning samt en normering til pladens aktuelle fladevægt på $2,8 \text{ kg/m}^2$.

5

Udover den i fig. 1 anviste enkle metode til måling af det pladeformede legemes fladevægt, hvorved apparatet ifølge opfindelsen bliver selvkalibrerende, kan fladevægten opnås med mange andre metoder. F.eks. kan den som reflektor anvendte strålingsskærm 9 i strålebundtet 2 eller en del heraf eller i en sidestråle
10 opnået fra kollimatoren 3 erstattes af en passende detektor til måling af strålingstransmissionen gennem pladen. Eller der kan anvendes et andet målesystem, enten baseret på strålingsabsorption eller en vægt, hvor data oversendes til apparatet ifølge opfindelsen.

15 De i forbindelse med fig. 3 viste sammenhænge mellem de geometriske parametre ifølge opfindelsen forhindrer ikke, at spalten 6 og detektorarrayet 7 placeres på modsatte side af det pladeformede materiale 5, såfremt det findes hensigtsmæssigt. Den væsentligste parameter, spredningstværsnittet som funktion af spredningsvinklen θ , er rotationssymmetrisk omkring stråleretningen 2 og
20 bortset fra en korrektion i beregningen af absorptionen fra spredningspunktet ud af pladen er der ingen forskel. En mulighed er også en geometri med en vinkel $V = 90^\circ$, hvor der er praktisk mulighed for symmetrisk placering af to detektorarrays med tilhørende spalter, såvel over som under det pladeformede legeme.

25 Det pladeformede legeme behøver ikke at have konstant tykkelse, men kan være f.eks. kileformet eller krumt, blot det kan antages, at densitetsprofilen kun varierer i én retning inden for det volumen, der omslutter det indfaldende og den spredte stråling inklusive eventuel reflekteret eller på anden vis transmitteret stråling til opnåelse af fladevægt og inklusive den udvidelse af målevoluminet,
30 der skyldes en eventuel bevægelse af det pladeformede legeme gennem målefeltet.

I en konkret udførelsesform er der anvendt et røntgenrør, der drives ved en høj-

spænding på 115 kV og en strømstyrke på 5 mA. Røntgenrøret udsender et vifteformet strålebundt mod pladen under en vinkel på 30°. Det vifteformede strålebundt har en bredde på ca. 20 mm og en højde på 0,2 mm. Fotontætheden i det pladeformede materiale kan da beregnes til at være ca. $2,5 \cdot 10^8$ fotoner pr. 5 mm^2/sek . Den af pladematerialet spredte stråling iagttages gennem en spalte af en bredde på 0,2 mm. Den i forskellige vinkler spredte stråling registreres ved hjælp af et array af 60 detektorelementer, der er så følsomme, at selv den enkelte foton vil kunne registreres. Det enkelte detektorelement har en bredde på 0,75 mm, og afstanden imellem detektorelementerne er 0,05 mm. Afstanden fra 10 pladen til spalten er ca. 15 mm, medens afstanden fra pladen til detektorelementerne er ca. 75 mm. De af detektorelementerne registrerede signaler må selvsagt underkastes en softwaremæssig signalbehandling, inden densitetsprofilen kan angives. Eksempelvis må der korrigeres for, at den spredte stråling ikke kun afhænger af densiteten. Den afhænger også af spredningsvinklen, jf. fig. 4. 15 Endvidere må der korrigeres for, at der sker en vis dæmpning under strålingens transmission gennem materialet, jf. fig. 5.

Når disse forhold tages i betragtning, opnås det i kurve 3 i fig. 6 viste densitetsprofil.

Patentkrav

1. Fremgangsmåde til tilvejebringelse af densitetsprofilen af et pladeformet legeme (5) ved hjælp af en strålingskilde (1), fortrinsvis en røntgen- eller γ -strålingskilde, hvis stråling rettes mod det pladeformede legeme (5) og spredes derfra, idet den af pladematerialet fra en bestemt dybde i det pladeformede legeme (5) spredte stråling registreres ved hjælp af et detektorarray (7) af tæt anbragte detektorelementer, og tages som et mål for densitetsprofilen i den pågældende dybde, **kendetegnet ved**, at den via en smal, i det væsentlige retlinet spalte (6), der i hovedsagen står vinkelret på stråleretningen, af pladematerialet i forskellige dybder spredte stråling, registreres ved hjælp af detektorarrayet.
2. Fremgangsmåde ifølge krav 1, **kendetegnet ved**, at bredden af den retlinede spalte (6) er 0,1-0,3 mm.
3. Fremgangsmåde ifølge krav 1, **kendetegnet ved**, at detektorarrayet (7) omfatter mindst 64 fotontællende detektorelementer.
4. Fremgangsmåde ifølge krav 3, **kendetegnet ved**, at afstanden imellem detektorelementerne er mindre end 1 mm.
5. Fremgangsmåde ifølge et eller flere af de foregående krav, **kendetegnet ved**, at det enkelte detektorelement består af cadmiumtellurid eller cadmiumzinktellurid.
6. Fremgangsmåde ifølge et eller flere af de foregående krav, **kendetegnet ved**, at der ad matematisk vej korrigeres for spredningssandsynlighed som funktion af spredningsvinkel og strålingsenergi samt for spaltebredde og dæmpning i det pladeformede materiale.
7. Apparat til tilvejebringelse af densitetsprofilen af et pladeformet legeme (5) ved hjælp af en strålingskilde (1), fortrinsvis en røntgen- eller γ -strålingskilde, hvis stråling rettes mod det pladeformede legeme (5) og spredes derfra, idet

den af pladematerialet fra en bestemt dybde i det pladeformede legeme (5) spredte stråling registreres ved hjælp af et detektorarray af tæt anbragte detektorelementer og tages som et mål for densiteten i den pågældende dybde, **kendetegnet ved**, at detektorarrayet er indrettet til at registrere den af pladematerialet i forskellige dybder spredte stråling via en smal, i det væsentlige retlinet 5 spalte (6), der står i hovedsagen vinkelret på stråleretningen.

8. Apparat ifølge krav 7, **kendetegnet ved**, at det er udstyret med en reflektor (9) med et fluorescerende materiale f.eks. et lag tin, der omsætter en del af 10 røntgenfotonerne i strålebundtet (2) med energier, typisk mellem 50 og 150 keV til fluorescensstråling med lavere energi, typisk 25-28 keV, som i højere grad absorberes i pladen.

for FORCE TECHNOLOGY

15 Chas. Hude A/S

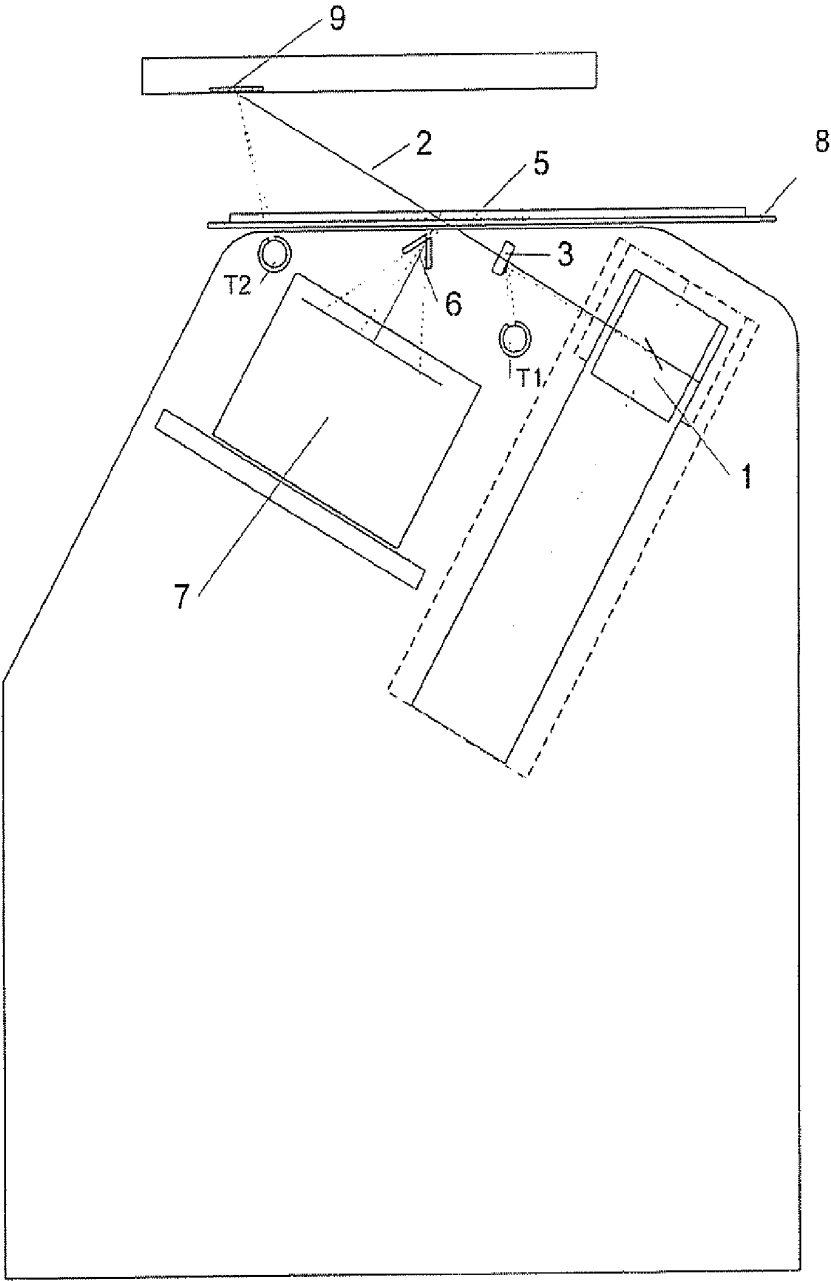


Fig 1

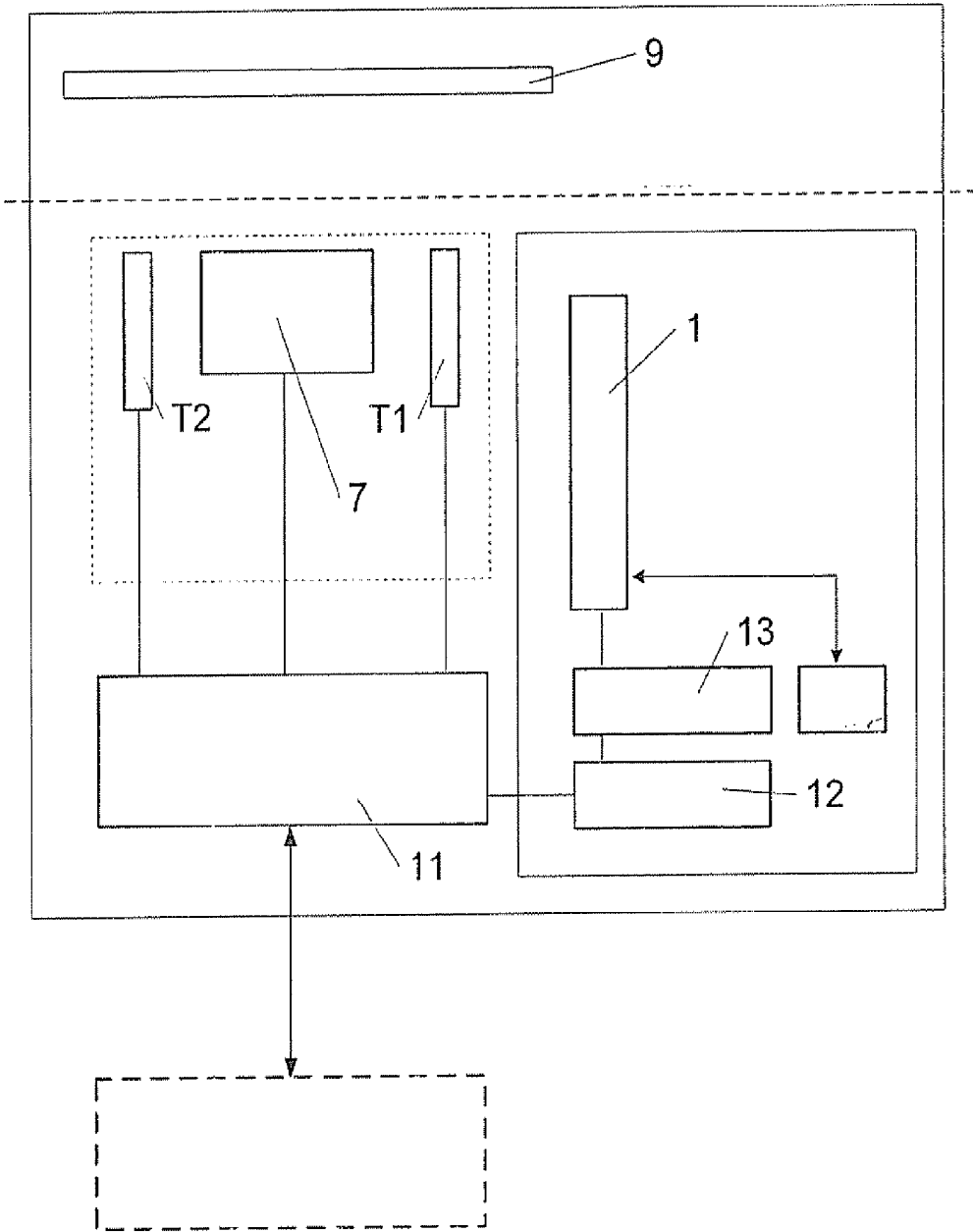


Fig 2

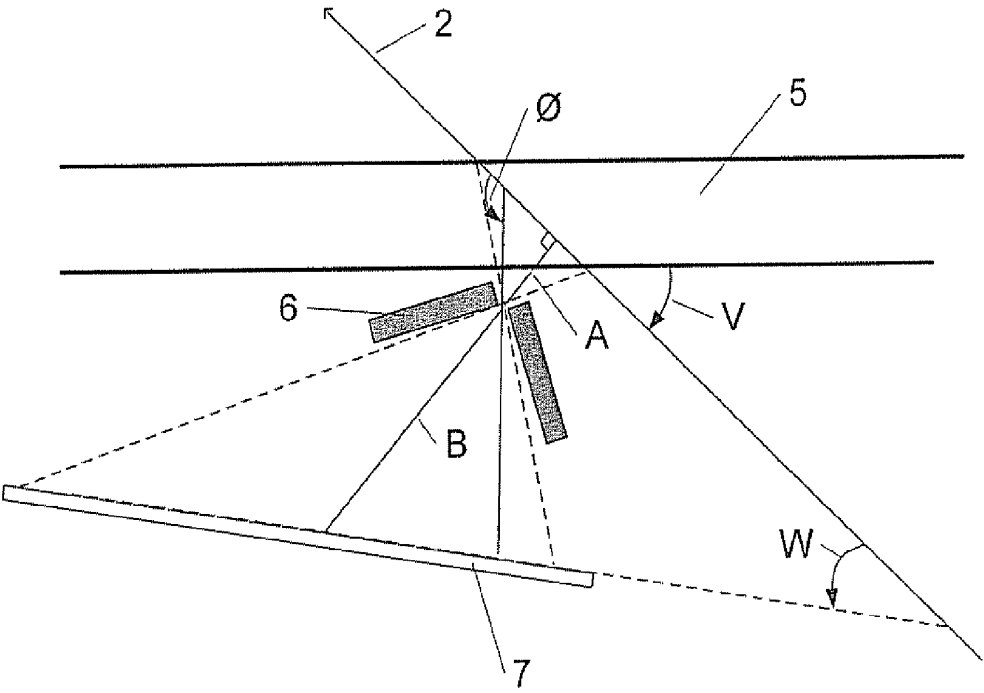


Fig 3

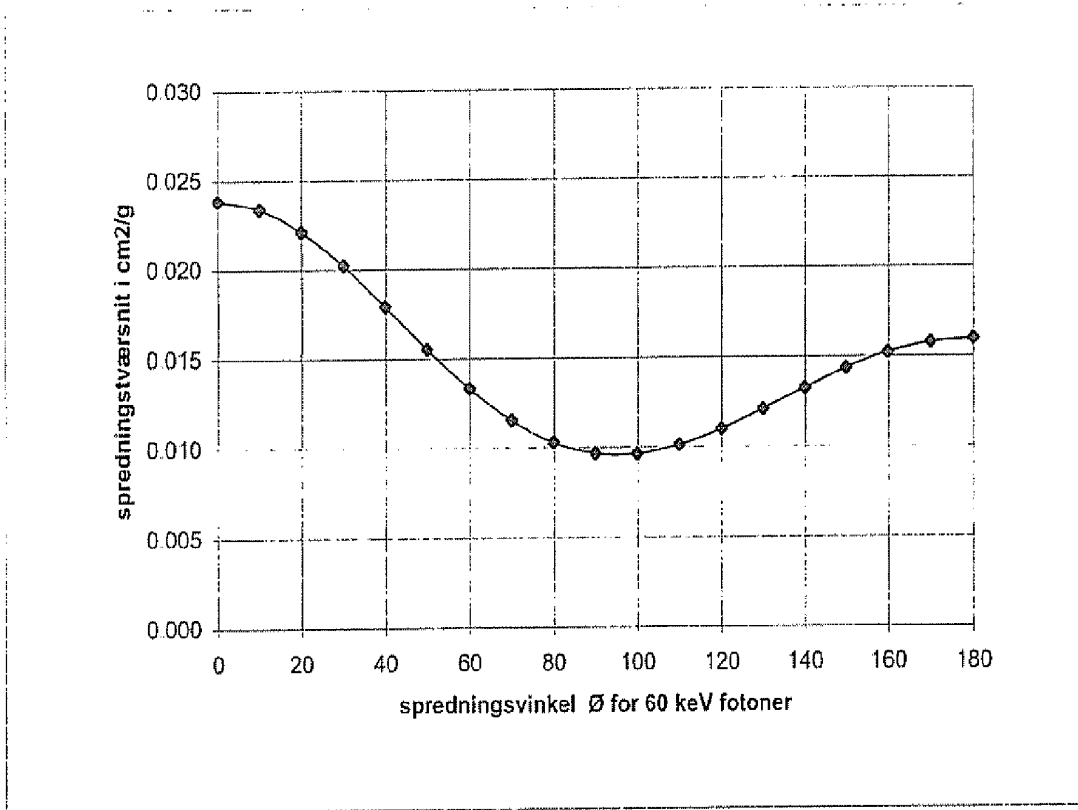


FIG. 4

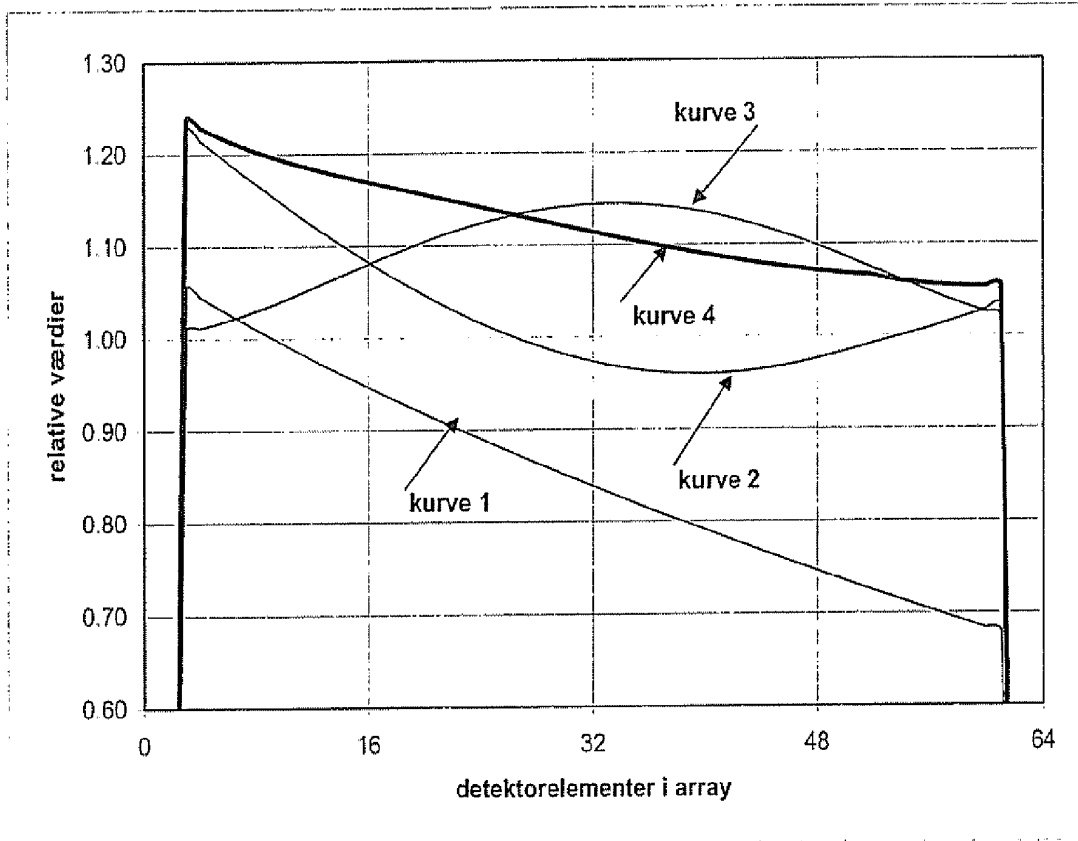


FIG. 5

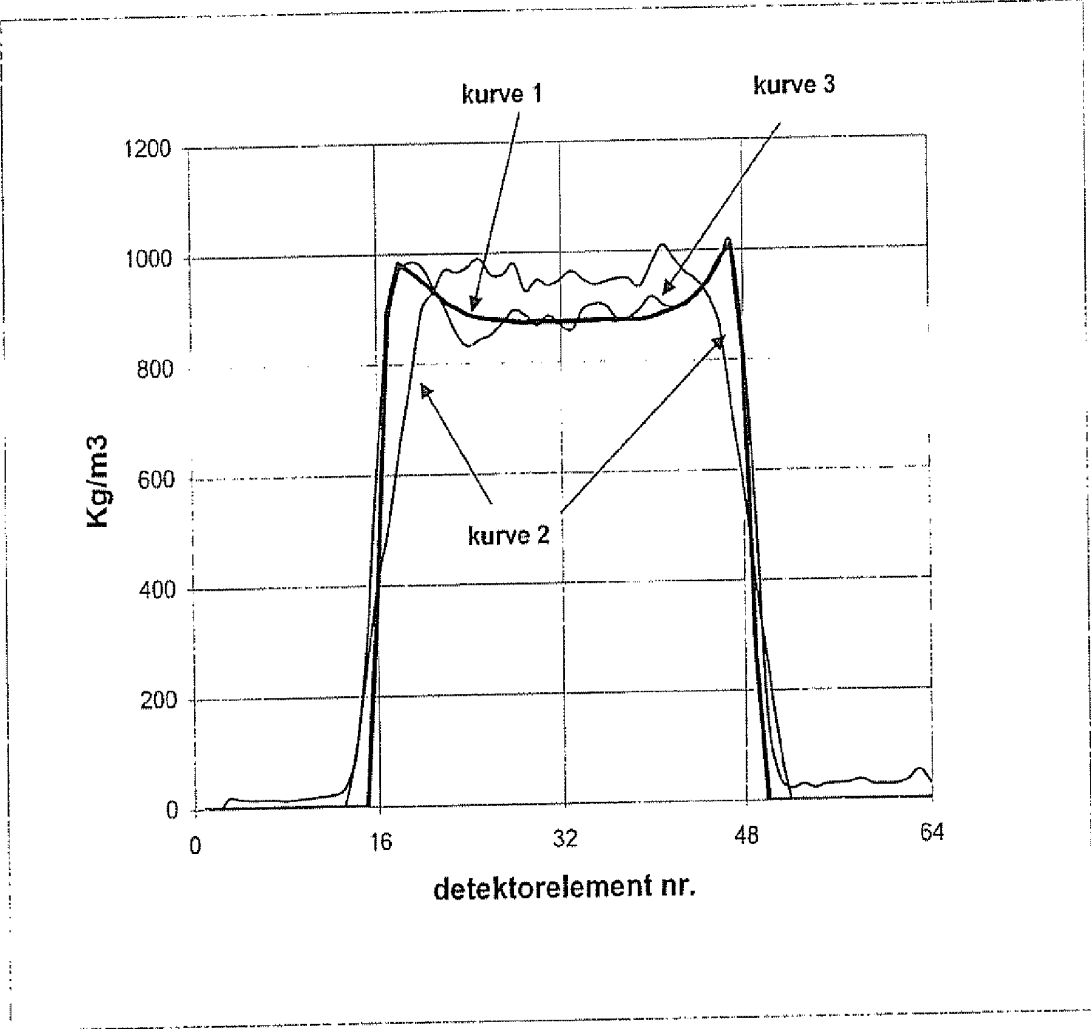


FIG. 6