(11) **FREMLÆGGELSESSKRIFT** 142895

DANMARK

(51) Int. Cl.[3] **B 01 D 21/01**

DIREKTORATET FOR
PATENT- OG VAREMÆRKEVÆSENET

(21) Ansøgning nr. 1619/76 (22) Indleveret den 5. apr. 1976

(24) Løbedag 5. apr. 1976

(44) Ansøgningen fremlagt og fremlæggelsesskriftet offentliggjort den 23. feb. 1981

(30) Prioritet begæret fra den
-

(71) F.L. SMIDTH & CO. A/S, Vigerslev Alle 77, 2500 Valby, DK.

(72) Opfinder: Bent Mærsk, Skovkilden 5, 2880 Bagsværd, DK.

(74) Fuldmægtig under sagens behandling:
Ingeniørfirmaet Hofman-Bang & Boutard.

(54) Tankreaktor til behandling af væsker, navnlig til flokkulering ved kemisk fældning af spildevand eller råvand.

Den foreliggende opfindelse angår en tankreaktor af den i krav 1's indledning angivne art til behandling af væsker, navnlig til flokkulering ved kemisk fældning af spildevand eller råvand. Reaktoren kan dog også tænkes at finde anvendelse f.eks. ved biologisk rensning efter aktivslam-metoden eller i det hele taget som reaktor inden for kemiteknikken. Opfindelsen vil i det følgende blive beskrevet under henvisning til behandling af spildevand, men finder analogt anvendelse på andre væskebehandlinger.

Kemisk fældning af spildevand udføres som bekendt ved at tilsætte et passende fældningsmiddel til spildevandet. Herved indtræder en række processer og udfældninger - afhængigt af typen af fældnings-

middel - hvorved en del af de i spildevandet værende stoffer overføres til en sådan form, at de kan fraskilles mekanisk, f.eks. ved en sedimentation. I den kemiske fældningsoperation indgår derfor almindeligvis også en flokkuleringsproces, hvorved de primært udfældede (koagulerede) partikler agglomereres til større partikelaggregater med relativ løs struktur, som bedre kan fraskilles mekanisk.

Den kemiske fældning og den tilhørende flokkulering udføres oftest i flokkulatorer, der er apparater (beholdere), hvori partiklerne bringes i kontakt med hinanden under frembringelse af hastighedsforskelle ved passende bevægelse af væsken, som kan bibringes ad hydraulisk eller mekanisk vej. Almindeligt benyttet er langsomtgående padle-røreværker med lodret eller vandret aksel eller indbyggede ledeplader (baffles), som tvinger væsken op eller ned. Som regel foretrækkes mekaniske røreværker, fordi der herved haves bedst kontrol med flokkuleringsprocessen.

Reaktionsforløbet for flokkuleringsprocessen og andre processer i tilknytning til denne, såsom udfældning, krystallisation og inaktivering,indicerer anvendelsen af en reaktor af "plug-flow" typen, og nogle af reaktionerne kræver ofte en relativ lang tid.

Som følge heraf udformes apparaturet til flokkulering oftest således, at der opnås en større eller mindre grad af "plug-flow" gennem anlægget, således at den hydrauliske kortslutning modvirkes. En sædvanlig udformning består i at benytte 2-4 tanke i serie, hver forsynet med et padle-røreværk med vertikal aksel. En anden måde kan være at lede spildevandet gennem et langstrakt trug forsynet med ledeplader, således at vandet påtvinges en zig-zag bevægelse.

Da flokkuleringen som nævnt opnås ,ved at partiklerne bringes i kontakt med hinanden ved en passende bevægelse af væsken, spiller de hastighedsforskelle (hastighedsgradienter), der skabes i væsken, en afgørende rolle for flokkuleringens forløb. Ved flokkuleringen optræder to fænomener, nemlig en flok-opbygning og en samtidig dermed forløbende flok-nedbrydning (erosion). Flok-størrelsen afhænger derfor af hastighedsgradienten (flokkuleringsintensiteten).

Jo større denne er, jo hurtigere flokopbygning, men desto mindre flokke. Det tilstræbes derfor almindeligvis at foretage flokkuleringen under aftagende hastighedsgradient, hvilket i et system af 2-4 seriekoblede flokkuleringstanke kan gøres ved at køre røreværkerne med aftagende omdrejningshastighed (periferihastighed). Vejledende angives i litteraturen, at periferihastigheden i første beholder bør være 0,4 - 0,6 m/s og i sidste 0,1 - 0,3 m/s. Ovennævnte flokkuleringsbassiner med indbyggede ledeplader er i denne henseende mindre velegnede på grund af de ringe muligheder for kontrol af flokkuleringsintensiteten.

De i det foregående omtalte flokkulatorer kan betragtes som tankreaktorer med fuldstændig eller tilnærmelsesvis fuldstændig opblanding (såkaldte CSTR- eller CMF-reaktorer), og på grund af opblandingen i tankreaktoren vil en del af den tilførte vandmængde kortslutte fra tilløb til udløb af tanken og således opholde sig i tanken i kortere tid end gennemsnittet, hvilket er særdeles uhensigtsmæssigt for reaktionsforløbet.

Denne såkaldte hydrauliske kortslutning kan eksperimentelt undersøges ved hjælp af sporstoffer, idet en bestemt mængde sporstof momentant tilsættes i tilløbet til tanken, hvorefter koncentrationen af sporstof i udløbet måles som funktion af tiden.

Sådanne undersøgelser er eksempelvis beskrevet af T.R. Camp: Flocculation and flocculation basins, Transactions American Society of Civil Engineers, vol. 120:1, p. 1-16, 1955, hvor der er opstillet teoretiske og eksperimentelle kurver for sammenhængen mellem udløbskoncentration og tid. Det er her anført, at kortslutningseffekten kan modvirkes i stigende grad ved et stigende antal reaktorer i serie, og ved de hidtil anvendte anlæg har man netop som nævnt betjent sig af denne plads- og omkostningskrævende løsning på kortslutningsproblemet.

Formålet med den foreliggende opfindelse er derfor at angive en tankreaktor til behandling af væsker, herunder flokkulering ved kemisk fældning af spildevand, som ikke er behæftet med ovennævnte ulemper, og det har overraskende vist sig, at man ved anvendelse af kun én tankreaktor kan undgå eller kraftigt nedsætte muligheden for hydraulisk kortslutning, ved at udforme reaktoren som

anført i krav 1's kendetegnende del.

Apparater, der ved en umiddelbar betragtning kan minde om det omhandlede, er beskrevet i britisk patentskrift nr. 857.545 og tysk patentskrift nr. 274.816. Det førstnævnte skrift omhandler en fremgangsmåde og et apparat til adskillelse af ikke-blandbare væsker af forskellig massefylde, især til anvendelse i forbindelse med separation af olieagtige eller tjæreholdige væsker fra vandige medier ved processer til carbonisering eller forgasning af kul eller olie.

Apparatet består af en cirkulær tank med to koncentriske skillevægge og en roterende skumafstryger, idet der endvidere findes radiære skillevægge.

Dette apparat er ikke anvendeligt til flokkulering, hvilket er en af de foretrukne anvendelser for tankreaktoren ifølge opfindelsen. Apparatet kan nærmest karakteriseres som en art centrifugalseparator til adskillelse af væsker med forskellig massefylde.

Væskestrømningen i den nævnte separator er entydigt bestemt af, at der tilledes væske til den ydre kanal, og strømretningen skifter på grund af de radiære skillevægge fra kanal til kanal. Det er klart, at en sådan strømningsmåde i høj grad vil modvirke hydraulisk kortslutning, og princippet er da også velkendt, jvf. de ovennævnte lignende konstruktioner, hvor en beholder med ledeplader påtvinger vandet en zig-zag bevægelse. Det er her anført, at sådanne apparater er mindre velegnede som flokkulatorer (reaktorer), fordi omrøringsintensiteten kun vanskeligt kan reguleres.

Det i nævnte patentskrift viste "skimming device" har ikke nogen egentlig funktion som omrører for væsken, men tjener kun som en anordning til fjernelse af skum fra overfladen. Et røreværk i almindelig forstand kan ganske enkelt ikke anbringes i tanken, fordi det vil kollidere med de radiære skillevægge.

I klar modsætning hertil er væskestrømningen i reaktoren ifølge opfindelsen bestemt af en vekselvirkning mellem omrøringsorganerne, de indbyggede koncentriske skillevægge og åbningerne i disse, og som følge heraf skifter væskestrømmen ikke retning. En af grundideerne i den omhandlede reaktor er netop, at der i modsætning til det kendte

apparat ikke findes radiære skillevægge, der kan hindre den fri bevægelse af røreværket. Tilstedeværelsen af omrøringsorganer er en nødvendig forudsætning for, at man kan opnå de ønskede virkninger ved reaktoren, nemlig en modvirkning af den hydrauliske kortslutning og en bedre kontrol med omrøringsintensiteten, hvilket som nærmere forklaret ovenfor er af stor betydning for opnåelse af en hensigtsmæssig flokkulering.

Tysk patentskrift nr. 274.816 beskriver et apparat til klaring (bundfældning) af spildevand, og apparatet består af spiralformede og ringformede kanaler kombineret med såkaldte serpentinformede bøjninger. Spildevandet påtvinges herved en strømningsbevægelse, der ifølge patentet har til formål at skabe en gnidningseffekt på spildevandet og derved øge udskillelseseffekten med hensyn til bundfældelige stoffer. Der er således formentlig tale om en flokkuleringseffekt, og apparatet kan betragtes som en primitiv flokkulator kombineret med en bundfældningstank, selv om disse begreber ikke anvendes i patentet.

Ved sammenligning af konstruktionerne i de to ovennævnte patenter ses det, at udformningen af kanalerne og strømningsmåden i disse ikke adskiller sig væsentligt fra hinanden, hvorfor det i den forbindelse anførte under det britiske patent også har gyldighed for det tyske patent.

Beholderen er således heller ikke her forsynet med et røreværk, og et sådant kan ikke bringes til at fungere på grund af de radiære skillevægge. Det skal yderligere tilføjes, at væsketilledningen ifølge det tyske patent obligatorisk sker til det centrale rum, mens den ifølge opfindelsen, som forklaret nedenfor, fortrinsvis sker til det ydre rum, idet dette på grund af den aftagende hastighedsgradient giver det mest hensigtsmæssige flokkuleringsforløb.

Tankreaktoren ifølge opfindelsen illustreres nærmere på tegningen, hvor

fig. 1 og 2 i lodret snit og set fra oven viser en udførelsesform med to rum og kvadratisk tværsnit, mens

fig. 3 og 4 tilsvarende viser en udførelsesform med tre rum og cirkulært tværsnit, og

fig. 5 viser fordelingskurven ved en sporstofundersøgelse med den på fig. 1 og 2 viste reaktor sammenlignet med konventionelle apparater.

På fig. 1 og 2 ses en tank med kvadratisk tværsnit og et røreværk bestående af en rører med fire lodrette arme 2 trukket af motoren 3. Omdrejningshastigheden kan f.eks. varieres fra ca. 3 til 30 o/min. Tanken er ved skillevægge 4 opdelt i et ydre rum (ydre kammer) 5 og et indre rum (indre kammer) 6. Det ydre rum og det indre rum står i forbindelse med hinanden via åbningen 7 for oven i den skillevæg, der ligger umiddelbart før tilløbet. Tilløbet til tankreaktoren sker ved 8, idet væskestrømmen ved hjælp af ledepladen 9, eller på anden måde, f.eks. ved hjælp af et faldrør, ledes til bunden af tanken. Afløbet fra tanken kan kun ske via røret 10, der har forbindelse med bunden af den indre beholder.

På grund af røreværkets rotation (med uret) vil væskestrømmen i det ydre rum bevæge sig rundt i pilen 11's retning. En delstrøm af samme størrelse som tilløbsmængden vil passere gennem åbningen 7 til den indre beholder 6 og videre ned gennem denne til afløbet 10, der er anbragt i bunden. En direkte kortslutning mellem tilløb 8 og åbningen 7 vil derimod være mindre sandsynlig.

På fig. 3 og 4 ses ligeledes i lodret snit og fra oven en udførelsesform for den omhandlede reaktor, opbygget som en cylindrisk tank 20 med to koncentriske skillevægge 21 og 22, så der dannes tre koncentriske rum 23, 24 og 25. Her udmunder indløbsorganerne 26 for oven i det ydre rum, men åbningen 27 i skillevæggen mellem det ydre og mellemste rum findes ved reaktorens bund og åbningen 28 mellem det mellemste og inderste rum er anbragt for oven, fjernest fra udløbsåbningen 29 i bunden. Væskestrømmen vil under påvirkning af røreværket 30 bevæge sig i pilen 31's retning. Antallet af rum kan om ønsket forøges yderligere som funktion af den ønskede effekt, spildevandets sammensætning, etc, og antallet af grene på røreværket 30 kan ligeledes varieres.

De viste udførelsesformer har som anført i krav 2's kendetegnende del indløbsorganer i forbindelse med det ydre rum og udløbsorganer forbundet til det indre rum. Denne udformning vil i reglen give det bedste resultat, når reaktoren anvendes til flokkulering, på

grund af den nedenfor forklarede aftagende periferihastighed, men der er intet principielt i vejen for at gennemlede væsken, der skal behandles, den modsatte vej, med andre ord tillede væsken til det indre rum og udtage den fra det ydre. Det bedste resultat opnås, når åbningerne mellem rummene er således anbragt i forhold til hinanden, at væsken bringes til at gennemløbe den i det væsentlige længst mulige strømningsvej inden udløbet i det følgende rum. Dette kan med fordel ske som anført i den kendetegnende del af krav 3 og/eller krav 4. Den fordelagtigste indbyrdes placering af indløb, udløb og åbninger vil endvidere afhænge af reaktorens geometri, blandt andet forholdet mellem højde og diameter, men åbningerne kan principielt anbringes vilkårlige steder i skillevæggene, idet der så efter omstændighederne må regnes med resultater ringere end de optimale. Ligeledes kan strømningsforløbet og dermed reaktorens funktion også i en vis udstrækning påvirkes gennem valget af strømningsintensitet (f.eks. røreværkets omdrejningshastighed) eller rummenes og åbningernes udformning, idet disse om ønsket kan være forsynet med ledeplader. Den optimale udformning af reaktoren bestemt til en given anvendelse kan bedst fastlægges ved forsøg.

De ifølge opfindelsen anvendte omrøringsorganer er her illustreret ved en rører med lodrette arme (padlerøreværk), men den roterende væskebevægelse kan også skabes på andre måder, f.eks. helt eller delvis ved tangentielt indløb under større eller mindre tryk, ved indblæsning af luft eller ved hjælp af en overfladeturbine.

Tankreaktoren kan f.eks. indbygges i et rensningsanlæg indeholdende de øvrige konventionelle organer, såsom sandfang, sedimentationstanke etc..Med særlig fordel kan flokkulatoren sammenbygges med en sedimentationstank som en centralt placeret enhed.

Den på figurerne viste anordning af skillevægge til opdeling af tankreaktoren vil således modvirke den hydrauliske kortslutning gennem tankreaktoren. Dette er påvist eksperimentelt ved en sporstofundersøgelse, hvor der som sporstof anvendtes lithiumchlorid. Der anvendtes en opstilling bestående af to parallelle reaktorsystemer, hvor det ene system bestod af to konventionelle tankreaktorer I og III i serie, mens det andet system bestod af en enkelt tankreaktor II ifølge opfindelsen af den på fig. 1 og 2 viste art. Hver tank havde et volumen på ca. 600 liter og var

forsynet med ensartede røreværker. Til begge parallelle systemer tilledtes en konstant vandmængde på 1,5 m^3/h. Næsten momentant tilsattes i tilløbsrørene til de to parallelle systemer samme mængde lithiumchloridopløsning og med passende tidsintervaller udtoges prøver ved afløbene fra de tre tanke I, II og III til analyse for lithium. Herved kunne dels tankreaktor I og II sammenlignes indbyrdes, og dels kunne tankreaktor II sammenlignes med et system bestående af to tankreaktorer i serie (I + III).

Resultatet af forsøget er afbildet grafisk i de på fig. 5 viste fordelingskurver. For at reaktorsystemerne kan sammenlignes indbyrdes, er koncentrationer og tider afbildet i forhold til henholdsvis den teoretiske begyndelseskoncentration C_o ved fuldstændig opblanding af sporstoffet i reaktorvoluminet og den teoretiske opholdstid T for systemet.

Kurverne giver et udtryk for, hvor længe lithium og dermed en i reaktoren værende stofmængde vil opholde sig i tankreaktoren, og arealet under et givet kurveafsnit vil repræsentere den mængde lithium, der til den givne tid har passeret reaktoren. Tabel 1 viser - på basis af en opmåling af arealet under kurverne - hvor stor en del af lithiummængden, der har passeret efter henholdsvis en fjerdedel og halvdelen af den teoretiske opholdstid.

TABEL 1

Reaktor-system	Lithiummængde passeret reaktorsystemet efter	
	1/4 T, %	1/2 T, %
I	13	37
II	0,3	13
I + III	2,5	21

Det fremgår såvel af figur 5 som af tabel I, at reaktor II ifølge opfindelsen, ikke blot var reaktor I suverænt overlegen, hvad angår modvirkning af hydraulisk kortslutning, men også var væsentlig bedre end de serieforbundne tanke I og III.

Foruden den viste modvirkning af hydraulisk kortslutning har det omhandlede apparat den flokkuleringstekniske fordel, at flokkuleringsintensiteten er aftagende fra det ydre rum mod det indre rum, bl.a. ud fra den betragtning, at periferihastigheden for det fælles røresystem er større i det ydre rum end i det indre. For den på figur 1 og 2 viste udformning var ved en omdrejningshastighed på 14 o/min. periferihastigheden ca. 0,44 m/sek. og i det indre rum ca. 0,22 m/sek. Hastighedsgradienten kan også påvirkes gennem udformningen og antallet af rørestavene.

En flokkulatorkonstruktion som vist på figur 1 og 2 er afprøvet til kalkfældning af spildevand i et forsøgsanlæg, og resultaterne er fundet tilfredsstillende sammenlignet med anlæg af traditionel udformning.

Resultaterne fra en undersøgelse af inaktiveringen af coliforme bakterier under kalkfældningsprocessen skal anføres. Denne inaktiveringsreaktion er af væsentlig betydning ved den praktiske anvendelse af kalkfældningsteknikken til spildevandsrensning.

Coliforme bakterier og andre mikroorganismer, herunder de patogene, inaktiveres på grund af det høje pH ved kalkfældningen, og denne proces er i udpræget grad afhængig af tiden og er derfor følsom over for hydraulisk kortslutning i reaktoren. Inaktiveringen undersøgtes i to parallelt kørende, ensartet belastede tankreaktorer ved pH ca. 11,7, hvoraf den ene var indrettet som vist på figur 1 og 2, mens den anden var en konventionel flokkulator. Indholdet af coli-bakterier i tilløbet og afløbet for de to flokkulatortanke er vist i nedenstående tabel II.

TABEL II

Prøve	Antal coli-bakt./ 100 ml	Fordeling procent
Tilløb	$6,5 \times 10^7$	100,0
Afløb fra tankreaktor ifølge opfindelsen	$2,0 \times 10^5$	0,3
Afløb fra konventionel flokkulator	$3,7 \times 10^6$	5,7

Det ses, at indholdet af colibakterier er mere end 10 gange større i afløbet fra den konventionelle flokkulator end i afløbet fra tankreaktoren ifølge opfindelsen.

En tankflokkulator (tankreaktor) opbygget som principielt vist på figur 1 og 2 har en virkningsgrad, som i det mindste modsvarer to traditionelt udformede tankreaktorer, hver af det halve rumfang og koblet i serie. En priskalkulation udført for sådanne to systemer baseret på et samlet volumen på ca. 160 m^3 viser, at løsningen med den enkelte tankflokkulator ifølge opfindelsen er 20-30% billigere i anlægsomkostninger, hvortil kommer pladsmæssige besparelser. Disse kalkulationer er baseret på en reaktor af beton med skillevægge af trykimprægneret træ eller plast.

P a t e n t k r a v

1. Tankreaktor til behandling af væsker, navnlig til flokkulering ved kemisk fældning af spildevand eller råvand og af den art, der er forsynet med indløbsorganer, udløbsorganer og eventuelt ledeplader, og som ved hjælp af skillevægge er opdelt i et indre rum, et dermed koaksialt ydre rum samt eventuelt et eller flere koaksialt mellemliggende rum, hvilke rum står i indbyrdes forbindelse, k e n d e t e g n e t ved, at forbindelsen mellem rummene er tilvejebragt ved hjælp af åbninger, der er således anbragt i forhold til hinanden og til henholdsvis indløbsorganernes og udløbsorganernes munding, at væsken under påvirkning af omrøringsorganer bringes til at gennemløbe en strømningsvej med samme omløbsretning i det væsentlige på langs af hvert rum, og således at en delstrøm svarende til den tilførte væskemængde bringes til at passere gennem åbningen til det følgende rum respektive til udløbet fra reaktoren.

2. Tankreaktor ifølge krav 1, k e n d e t e g n e t ved, at indløbsorganerne udmunder i det ydre rum, og at udløbsorganerne er forbundet med det indre rum.

3. Tankreaktor ifølge krav 1 eller 2, k e n d e t e g n e t ved, at åbningerne og indløbs- og udløbsorganernes mundinger er anbragt skiftevis foroven og forneden i forhold til hinanden.

4. Tankreaktor ifølge krav 1, 2 eller 3, k e n d e t e g n e t ved, at åbningerne er anbragt mindst 180^{o}, men mindre end 360^{o} forskudt for henholdsvis indløbsorganernes munding, eventuelt for hinanden, og eventuelt for udløbsorganernes munding.

Fremdragne publikationer:
Britisk patent nr. 857545
Tysk patent nr. 274816.

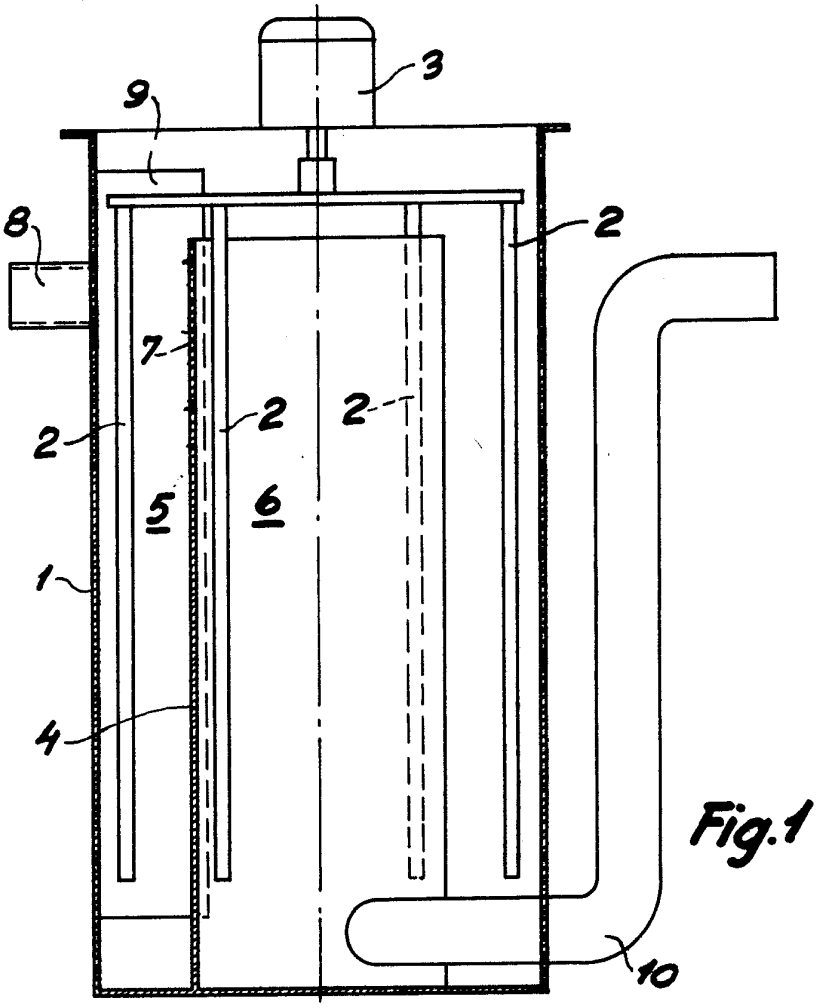

Fig.1

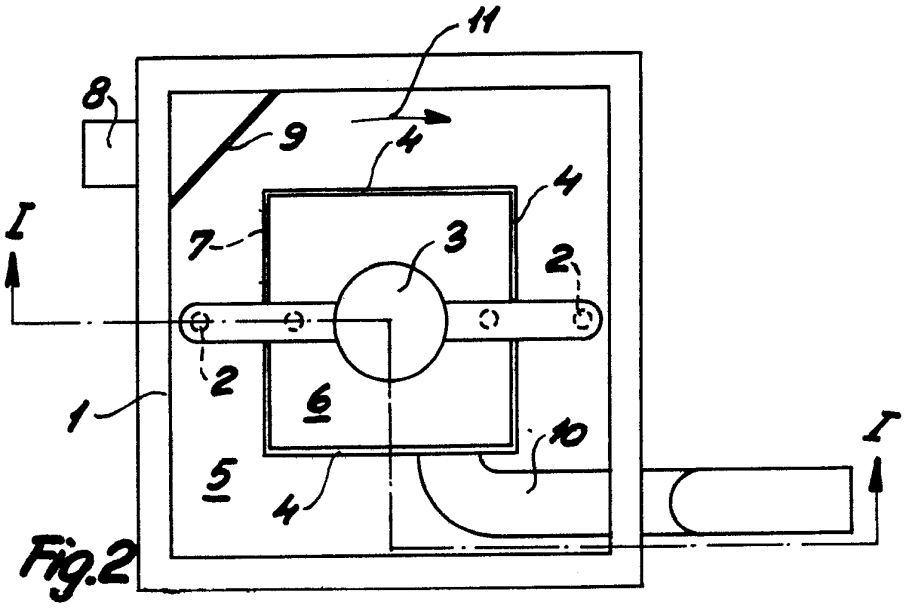

Fig.2

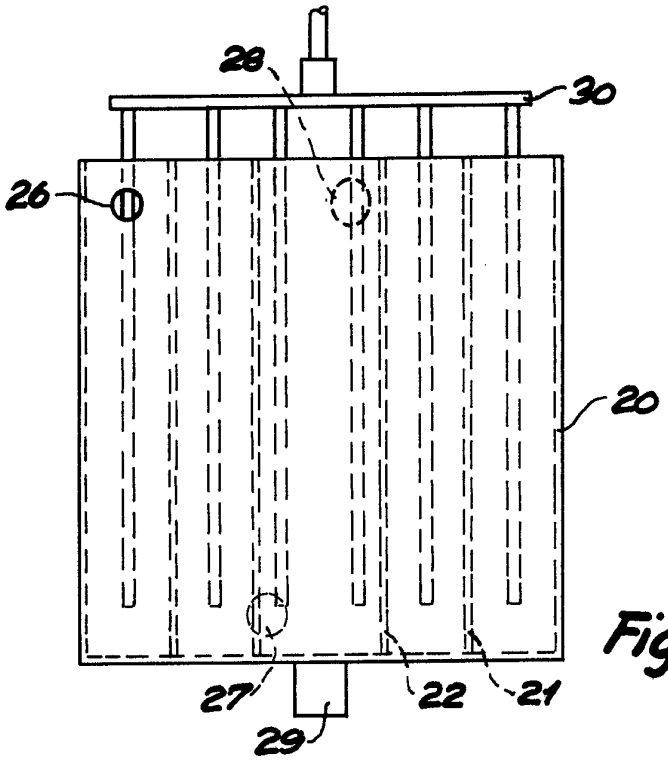

Fig. 3

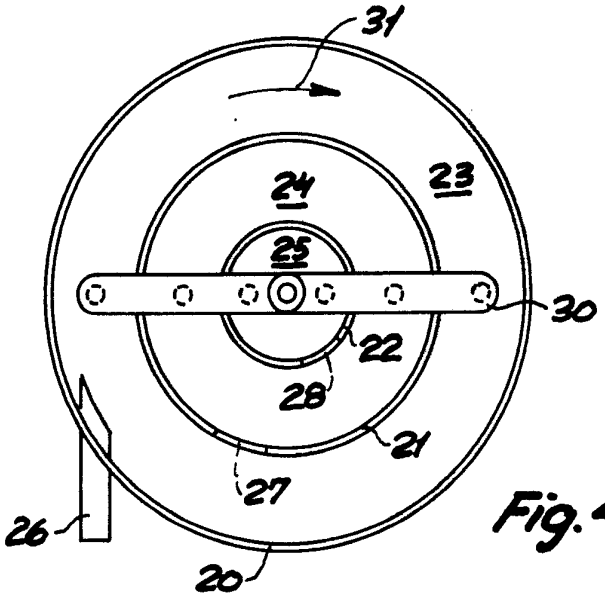

Fig. 4

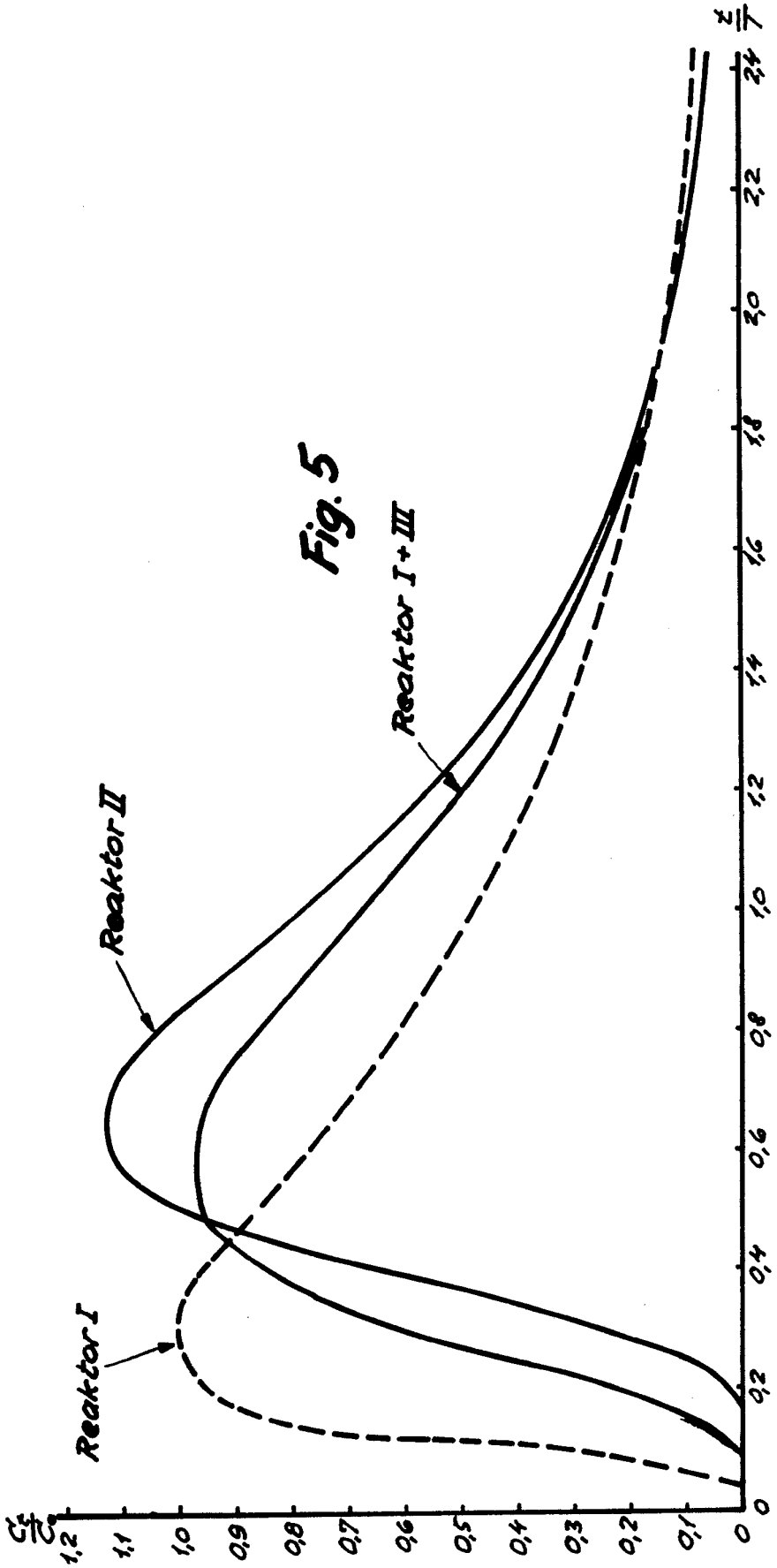
Reaktor II
Reaktor I+III
Reaktor I
C/C0
t/T
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0
1,1
1,2
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
1,6
1,8
2,0
2,2
2,4

Fig. 5