(19) DANMARK

DIREKTORATET FOR
PATENT- OG VAREMÆRKEVÆSENET

(12) **FREMLÆGGELSESSKRIFT** (11) 144257 B

(21) Ansøgning nr. 416/76

(51) Int.Cl.³ H 01 M 8/04

(22) Indleveringsdag 2. feb. 1976

(24) Løbedag 2. feb. 1976

(41) Alm. tilgængelig 13. aug. 1976

(44) Fremlagt 25. jan. 1982

(86) International ansøgning nr. -

(86) International indleveringsdag -

(85) Videreførelsesdag -

(62) Stamansøgning nr. -

(30) Prioritet 12. feb. 1975, 549598, US 12. feb. 1975, 549600, US
12. feb. 1975, 549601, US

(71) Ansøger UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION, Hartford, US.

(72) Opfinder Michael Bernard Landau, US: Ronald Cohen, US: David Peter Blocmfield, US.

(74) Fuldmægtig Larsen & Birkeholm Patentkontor.

(54) Kraftanlæg med en eller flere brændselsceller under tryk.

Opfindelsen angår et kraftværk til frembringelse af elektricitet bestående af en brændselscellestabel med et antal brændselsceller, som er elektrisk serieforbundne gennem en belastning, hvor hver celle består af en katode, en anode og en herimellem anbragt elektrolyt samt et katodegasrum og et anodegasrum på den bort fra elektrolytten vendende side af henholdsvis katoden og anoden, idet det anvendte brændstof indeholder

DK 144257 B

hydrogen, et brændselsbehandlingsaggregat, som indbefatter midler til fremstilling af damp, en dampspaltningsreaktor og en reaktorbrænder til fremstilling af varme til den nævnte spaltningsreaktor, midler til levering af ubehandlet brændstof under tryk og damp under tryk til den nævnte reaktor.

Inden for brændselscelleteknikken har man søgt at forbedre cellernes ydelse ved at søge fremad langs tre forskellige veje. Den første vej omfatter, at brændselscellens arbejdstemperatur forhøjes. Denne udvej er imidlertid begrænset af materialetæring og - dersom der anvendes en syre som elektrolyt - af fordampning af syren. Den anden vej omfatter, at man søger at forøge mængden af katalysator pr. kvadratcentimeter af elektrodernes overfladeareal. Denne udvej er imidlertid begrænset af de forøgede omkostninger og praktiske grænser for hvor meget katalysator, som på nogen måde kan anbringes på et bestemt elektrodeareal. En tredje vej omfatter, at trykket af reaktionsdeltagerne (herefter betegnet som "reaktanterne") inden i brændselscellen forhøjes. Det er velkendt, at brændselcellers ydelse forøges, når reaktanttrykkene stiger. En væsentlig anstødssten på denne vej består i, at der kræves en betydelig energimængde til at sætte reaktanterne under tryk. Man har fx tænkt sig, at energien til at sætte reaktanterne under tryk skulle udgøres af den af brændselscellen frembragte elektriske energi, som skulle anvendes til at drive en kompressor. Problemet er imidlertid, at der kræves omtrent 30% af cellestablens elektriske udgangseffekt til at drive en kompressor, dersom denne skal frembringe et reaktanttryk af en rimelig størrelse. Dette betyder, at brændselscellen skulle gøres omtrent 50% større for at opveje tabet af til rådighed stående elektrisk effekt. Da det er selve brændselscellen, som er den kostbareste del i et kraftanlæg med brændselsceller, vil den forøgede ydelse blive opvejet af de forøgede omkostninger som følge af, at cellerne skal være større. Da cellestablens samlede elektriske udgangseffekt bliver større, skal andre dele i kraftanlægget gøres forholdsmæssigt større, som fx kondensationsudstyret og brændselsbehandlingsaggregatet. På denne måde bliver kraftanlægget større og

dyrere. Endvidere er der andre tilsyneladende ulemper ved kraftanlæg med reaktanter under højt tryk, såsom omkostningerne ved ekstraudstyret til at sætte reaktanterne under tryk, behovet for mere kostbare tætningsindretninger og de yderligere omkostninger som følge af, at der skal anvendes dele med større styrke for at kunne modstå de højere tryk. På baggrund af de ovenstående betragtninger og hvad angår kraftanlæg, hvori der som oxidationsmiddel anvendes luft, har opfattelsen altid været den, at der ikke kunne opnås nogen nettoforbedring, men sandsynligvis det modsatte, ved overgang til kraftanlæg, hvori der anvendtes reaktanter under højt tryk i brændselscellestablen. Af de ovennævnte grunde er der i disse brændselscellekraftanlæg hidtil kun blevet anvendt reaktanter ved atmosfæretrykket.

Det er opfindelsens formål at anvise udformningen af et økonomisk fordelagtigt brændselscellekraftanlæg, hvori der anvendes reaktanter under tryk, hvilket anlæg har en højere virkningsgrad end hidtil, og som sammenlignet med tidligere kendte anlæg af samme art og samme maksimale ydelse har en mindre størrelse og lavere samlede omkostninger for det i anlægget indgående udstyr.

Dette formål opfyldes ved, at en kompressor, der er arbejdsforbundet til en turbine, som er indrettet til at blive drevet af energien fra et varmt gasformigt medium, til komprimering af luft til et tryk, der er højere end to atmosfærer, midler til levering af komprimeret luft fra kompressoren ind i katodegasrummet, midler til levering af brændstof under tryk fra dampspaltningsreaktoren ind i anodegasrummet, midler til levering af i det mindste en del af afgasserne fra anodegasrummet ind i reaktorbrænderen, samt midler til at føre spildenergi, som er produceret af kraftværket, ind i turbinen i form af et varmt gasformigt medium under tryk til drift af turbinen. Herved opnås, at størrelsen af kondensationsudstyret reduceres i forhold til kendt udstyr. Endvidere opnås, at der ikke skal anvendes noget af cellens elektriske udgangseffekt til kompressoren, hvorfor det ikke er nødvendigt at gøre brændselscellestablen

større for at bibeholde den samme maksimale ydelse i kraftanlægget. Tværtimod kan der tilfulde drages fordel af forbedringen i brændselscellestablens ydelse, således at stablen kan komme til at producere mere elektrisk energi uden at skulle gøres større.

Kraftværket kan ifølge krav 2 være ejendommeligt ved, at midlerne til at føre spildenergi fremstillet i kraftværket ind i turbinen indbefatter midler til at føre afgasser fra katodegasrummet ind i turbinen. Herved udnyttes spildenergien fra katodegasrummet.

Kraftværket kan ifølge krav 3 være ejendommeligt ved, at midlerne til at føre afgasserne fra katodegasrummet ind i turbinen omfatter en ledning til først at føre afgasserne fra katodegasrummet ind i kondensatoren, en ledning til at føre kondenseret vand fra kondensatoren til en kedel, samt en ledning til at føre damp fra kedlen ind i dampspaltningsreaktoren. Herved udnyttes spildenergien endvidere til opvarmning af kraftværkets kedelvand.

Kraftværket kan ifølge krav 4 være ejendommeligt ved, at det omfatter en ledning til at føre en del af den komprimerede luft fra kompressoren ind i reaktorbrænderen. Herved opnås en forbedret brændereffektivitet.

Kraftværket kan ifølge krav 5 være ejendommeligt ved midler til ved reduceret ydelse af kraftværket at lede en del af den komprimerede luft fra kompressoren uden om katodegasrummet, og en hjælpebrænder til tilførsel af ekstra varme til de gasser, der føres ind i turbinen, hvorved midlerne til at føre afgasserne ind i turbinen indbefatter midler til at føre den nævnte udenom ledede, komprimerede luft ind i turbinen. Herved opnås, at gassernes varmeindhold ved indløbet til turbinen er den samme ved reduceret ydelse som ved fuld ydelse.

Kraftværket kan ifølge krav 6 være ejendommeligt ved, at midlerne til at lede komprimeret luft udenom katodegasrummet indbefatter en omledningsgren, og at hjælpebrænderen er placeret i denne gren. Denne udførelsesform er fordelagtig, idet det er enklere og mere økonomisk at lade forbrændingen foregå i omledningsgrenen.

Kraftværket kan ifølge krav 7 være ejendommeligt ved, at midlerne til at føre afgasserne fra katodegasrummet ind i turbinen indbefatter ledninger til at føre afgasserne fra anodegasrummet og/eller udstødningsgas fra reaktorbrænderen sammen med katodegasrumsafgasserne forud for deres afgivelse til turbinen. Denne udførelsesform er hensigtsmæssig, hvor brænderen har egen brændselsforsyning.

Kraftværket kan ifølge krav 8 være ejendommeligt ved, at ledningerne til sammenføring af afgasser fra reaktorbrænderen med katodegasrumsafgasserne er placeret på nedstrømssiden af kondensatoren. Ved denne udførelsesform udkondenseres kun vand til anvendelse i reaktoren fra afgasserne fra katodegasrummet.

Kraftværket kan ifølge krav 9 være ejendommeligt ved, at ledningerne til sammenføring af afgasser fra reaktorbrænderen med katodegasrumsafgasserne er placeret på opstrømssiden af kondensatoren. Ved denne udførelsesform er det ikke nødvendigt at anvende specielt brændstof i brænderen.

Kraftværket kan ifølge krav 10 være ejendommeligt ved, at ledningen til at føre damp til dampspaltningsreaktoren er forbundet med ledninger til at føre i det mindste en del af afgasserne fra anodegasrummet ind i dampspaltningsreaktoren. Ved denne udførelsesform kræves et mindre eller slet intet udstyr til genvinding af vand fra anodegasserne.

Kraftværket kan ifølge krav 11 være ejendommeligt ved, at midlerne til afgivelse af hydrogen fra dampspaltningsreaktoren ind i anodegasrummet indbefatter midler til fjernelse af varme

til nedsættelse af temperaturen af gasserne til mindre end den temperatur, som den nævnte brændselscellestabel har. Herved opnås en afkøling af brændselscellestablen.

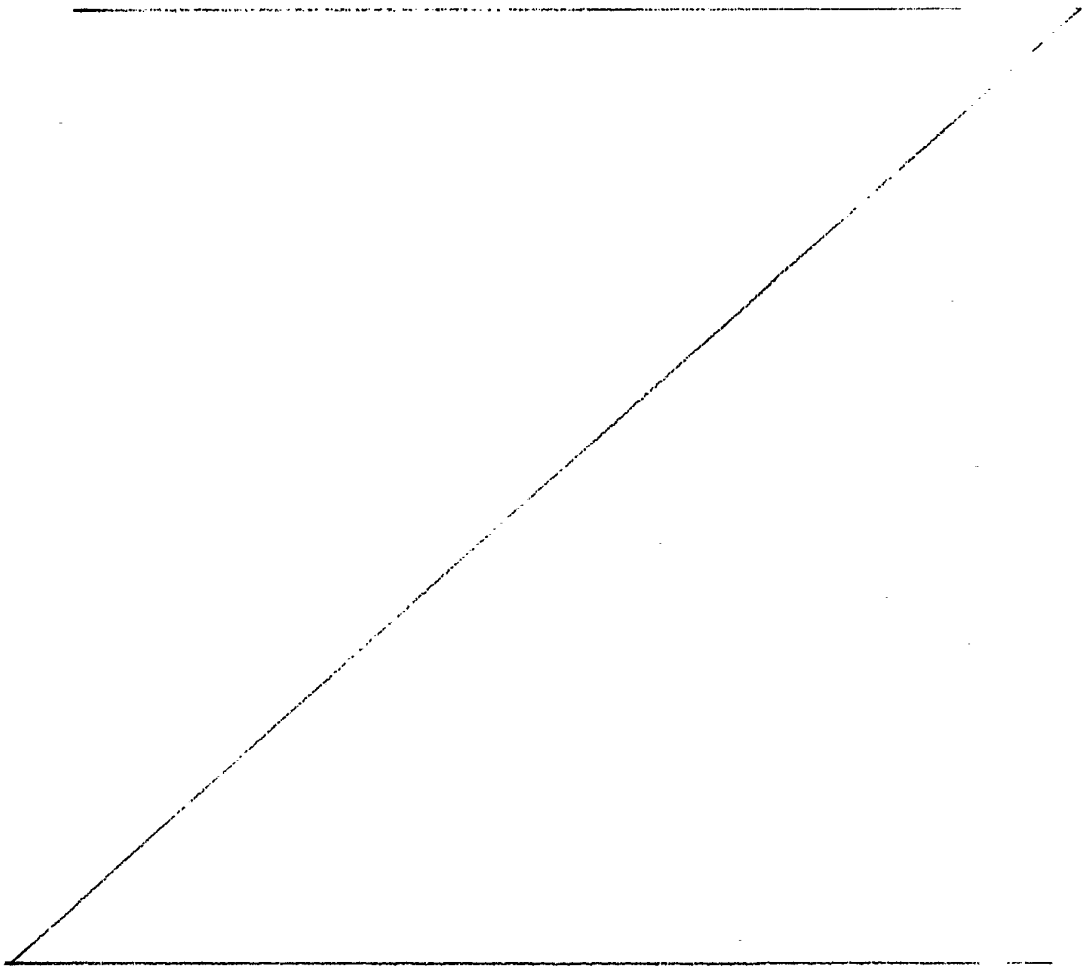
Kraftværket kan ifølge krav 12 være ejendommeligt ved, at midlerne til afgivelse af brændstof fra dampspaltningsreaktoren ind i anodegasrummet indbefatter midler til først at føre brændstoffet ind i en carbonmonoxidreaktor anbragt på opstrømssiden af anodegasrummet. Herved opnås en udnyttelse af varmen i den carbonmonoxidbestanddel, som findes i gasstrømmen fra reaktoren.

Kraftværket kan ifølge krav 13 være ejendommeligt ved, at midlerne til afgivelse af brændstof fra dampspaltningsreaktoren til anodegasrummet indbefatter midler til afgivelse af brændstof fra reaktoren ind i en selektiv oxidationsreaktor, og at der fra kompressoren via en ledning føres komprimeret luft igennem den selektive oxidationsreaktor til anodegasrummet. Herved opnås en endnu bedre udnyttelse af den bundne varmeenergi i carbonmonoxidbestanddelen i gasstrømmen fra reaktoren.

Endelig kan kraftværket ifølge krav 14 være ejendommeligt ved, at de nævnte midler til fremstilling af damp indbefatter midler til afgivelse af et kølefluidum gennem en kølesløjfe i varmeudvekslingsforbindelse med brændselscellestablen og kedlen. Herved opnås en fordelagtig udførelsesform.

Som nævnt ovenfor er det tanken i en af udførelsesformerne for kraftanlægget ifølge opfindelsen, at trykket i katodeluften forhøjes ved hjælp af en kompressor, som drives af en turbine (dvs. en turbolader). Turbinen drives af afgasser, både fra en til en dampspaltningsreaktor hørende brænder og fra brændselscellen. Under kørsel med reduceret ydelse omledes en del af den fra turboladeren kommende komprimerede luft, som ellers ville være blevet indført i katodegasrummet og i andre dele af kraftanlægget, uden om brændselscellen og føres gennem turbinen sammen med de øvrige afgasser i kraftanlægget. Under kørsel med reduceret ydelse anvendes en hjælpebrænder til at opvarme de i turbinen ind-

strømmende gasser. På denne måde bliver massestrømningshastigheden og varmeindholdet i turbinens drivgasser de samme ved reduceret ydelse som ved fuld ydelse, således at kompressoren kan drives med den samme hastighed og derved levere trykluft med det samme høje tryk ved reduceret ydelse som ved fuld ydelse. Dette træk ved opfindelsen gør det muligt at køre brændselscellen med reduceret ydelse med mindre luft end ved fuld ydelse, samtidig med at trykket i denne luft opretholdes på det samme niveau som trykket i den ved fuld ydelse anvendte luft. Dette er nødvendigt, dersom fordelene ved et kraftanlæg med forhøjet tryk skal bibeholdes i fuldt omfang under kørsel ved reduceret ydelse, således som det skal forklares nærmere i beskrivelsen af foretrukne udførelseseksempler.



Opfindelsen skal i det følgende forklares nærmere under henvisning til de på tegningen viste udførelseseksempler på kraftanlæg ifølge opfindelsen, idet

fig. 1 skematisk viser et første udførelseseksempel på et kraftanlæg med en alternativ version indtegnet i afbrudt streg,

fig. 2 er et aksialsnit gennem en turbolader, der kan anvendes i et kraftanlæg ifølge opfindelsen,

fig. 3,4,5 skematisk viser yderligere udførelseseksempler på kraftanlægget,

fig. 6 viser arbejdskurver for brændselsceller, som anvendes i kraftanlæg ifølge opfindelsen,

fig. 7 viser arbejdskurver for en dampspaltningsreaktor, som anvendes i kraftanlæg ifølge opfindelsen, og

fig. 8 viser en arbejdskurve for en carbonmonoxidreaktor ved forskellige tryk.

Som et udførelseseksempel på et anlæg ifølge opfindelsen kan man tage det, der er vist skematisk i fig. 1. Kraftanlægget er som helhed betegnet med 10, og det omfatter en som helhed med 12 betegnet brændselscellestabel, et som helhed med 14 betegnet kompressoraggregat, et som helhed med 16 betegnet brændselsbehandlingsaggregat, en kondensator 18, en kedel 20, en regenerator 22 samt en luftstrømdeler eller luftstyrekasse 25. Brændselscellestablen 12 kan omfatte brændselsceller af en hvilken som helst sædvanlig art, som arbejder med gasformede reaktionsdeltagere (i det følgende betegnet som "reaktanter"). I dette eksempel udgøres oxidationsmidlet af luft og brændslet af hydrogen, men dette udgør kun et eksempel, og der kan anvendes andre oxidationsmidler og andre brændstoffer. Stablen 12 vil normalt omfatte et antal brændselsceller, som er elektrisk forbundne gennem en belastning, men for overskuelighedens skyld er stablen her vist som bestående af kun en enkelt celle 13, og den omfatter også en varmeoverføringsdel 15. Hver sådan vist celle omfatter en katode 24, anbragt i afstand fra en anode 26, samt en mellem disse dele anbragt elektrolytbæremasse 28. I dette foretrukne udførelseseksempel udgøres elektrolyten af flydende fosforsyre, men det er ikke hensigten, at opfindelsen skal være begrænset hertil, idet der i et kraftanlæg ifølge opfindelsen kan tænkes anvendt både sure og basiske elektrolyter såvel som faste elektrolyter, som f.eks. metaloxid-elektrolyter eller faste polymer-elektrolyter. Elektroderne 24 og 26 er for-

bundet i serie gennem en belastning 29. Hver celle 13 omfatter også et katodegasrum 30 på den bort fra elektrolyten vendende side af katoden 24 samt et anodegasrum 32 på den bort fra elektrolyten vendende side af anoden 26. I dette udførelseseksempel omfatter brændselsbehandlingsaggregatet 16 en dampspaltningsreaktor (eng. "steam reforming reactor") 34 samt en reaktorbrænder 36. Kompressoraggregatet 14 udgøres af en turbolader, der omfatter en kompressor 38, som gennem en aksel 39 drives af en afgasturbine 40. Lige som de øvrige dele af kraftanlægget 10 skal kompressoraggregatet 14 beskrives nærmere i det følgende.

Idet der vedblivende henvises til fig. 1, kan det ses, at under driften kommer luft ind i kompressoren 38 gennem en luftindtagningsledning 41 og komprimeres. Et hvilket som helst tryk, der er højere end atmosfæretrykket, vil medføre visse fordele i sammenligning med "trykløse" kraftanlæg; imidlertid er et tryk på to atmosfærer eller mere ønskeligt med henblik på at opnå væsentlige fordele for det samlede kraftanlæg. Denne trykluft kommer ind i luftstyrekassen 25 gennem en ledning 43. Luftstyrekassen 25 omfatter styreorganer og ventiler til korrekt indbyrdes fordeling af luftstrømmen til de forskellige dele i anlægget. En del af luftstrømmen føres gennem en ladning 42 til katodegasrummet 30 og bringes til inden i katoden 24 at reagere elektrokemisk med fosforsyreelektrolyten i bæremassen 28 til dannelse af elektricitet og vand, idet noget af vandet fordamper tilbage til den gennem katodegasrummet 30 strømmende luftstrøm. Den fugtige og varme afgas fra katoden forlader katodegasrummet 30 gennem en afgasledning 44 og passerer gennem regeneratoren 22 og derfra til kondensatoren 18. Køleluft kommer ind i kondensatoren 18 gennem en køleluftledning 46 og forlader den i opvarmet tilstand gennem en anden køleluftledning 48. Inden i kondensatoren 18 afkøles afgassen til det punkt, hvor vandet udkondenseres og opsamles til brug i brændselsbehandlingsaggregatet 16, således som det skal omtales nedenfor. Den forholdsvis kølige katodeafgas forlader kondensatoren 18 gennem en ledning 50 og strømmer tilbage gennem regeneratoren 22, hvori afgassen genvinder noget af sin tabte varme. Den genopvarmede katodeafgas forlader regeneratoren 22 og kombineres med strømmen af anodeafgas og afgasstrømmen fra reaktorbrænderen 36. Derpå strømmer den gennem en ledning 52 ind i turbinen 4o,

som modtager energi og derved drives af gassen, hvorved turbinen driver kompressoren 38. Dersom det er nødvendigt, kan en ikke vist hjælpebrænder med sin egen brændstofforsyning anvendes til at forøge energien i den kombinerede gasstrøm, inden denne strømmer ind i turbinen 40. Efter at gassen har passeret gennem turbinen 40, kan eventuel yderligere energi i gasstrømmen enten kasseres gennem en ledning 58 eller anvendes på et andet sted i kraftanlægget.

På anodesiden bliver en hydrogenholdig væske som f.eks. nafta, hvis tryk ved hjælp af en pumpe 60 er blevet forøget til omtrent det samme som trykket i den ind i katodegasrummet 30 strømmende luft, ved et blandested 61 blandet med vanddamp fra kedlen 20 og kommer ind i dampspaltningsreaktoren 34 gennem en ledning 62. Selvom det ikke er vist, foretrækkes det, at brændslet forstøves, når det føres sammen med vanddampen i blandestedet 61, således at at den i reaktoren 34 indførte strøm befinder sig i damptilstanden.

Dersom det ønskes, kan kedlen 20 være udstyret med sin egen brænder og brændselsforsyning, men som det fremgår af det viste udførelseseksempel, drives kedlen 20 med spildvarme, som er frembragt i brændselscellestablen 12. I det viste udførelseseksempel strømmer et kølemiddel, som f.eks. en silikoneolie, ind i stablen 12's varmeoverføringsdel 15 gennem en ledning 64, optager varme, der er frembragt i stablen 12, og strømmer ud igen gennem en ledning 66. Vand fra kondensatoren 18 indføres i kedlen 20 gennem en ledning 67. Kølefluidet strømmer ind i kedlen 20 og afgiver sin varme til kedelvandet, således at der dannes vanddamp. Kølefluidet forlader kedlen 20 og strømmer ind i en køler ("radiator") 68, hvori yderligere varme kan afgives, inden kølefluidet pumpes tilbage til stablen 12 ved hjælp af en pumpe 69.

Procesbehandlet brændsel i form af hydrogengas og muligvis nogle urenheder forlader dampspaltningsreaktoren 34 gennem en ledning 70, hvorpå brændslet kommer ind i anodegasrummet 32 i brændselscellen 13, hvor det reagerer elektrokemisk med elektrolyten. I dette udførelseseksempel er det tanken, at anodegasstrømmen skal have omtrent det samme tryk som katodegasstrømmen med henblik på at formindske risikoen for, at der strømmer gas fra anodegasrum-

met til katodegasrummet eller omvendt. Strømmen af anodeafgas forlader anodegasrummet 32 gennem en ledning 72 og føres sammen med katodeafgasstrømmen ved et blandested 73 og sammen med brænderafgassen ved et blandested 74, hvorpå blandingen strømmer ind i turbinen 40 og driver kompressoren 38 som omtalt ovenfor.

I dette udførelseseksempel har dampspaltningsreaktorens brænder 36 sin egen forsyning af brændsel, som tilføres brænderen gennem en ledning 75 og kombineres med komprimeret luft fra luftstyrekassen 25, som strømmer ind i brænderen gennem en ledning 76. Luften og brændslet brænder i brænderen 36 og frembringer varme til reaktoren 34. Derefter føres brænderafgasstrømmen gennem en ledning 77 til blandestedet 74, hvor den kombineres med afgasstrømmene fra anoden og katoden.

Det vigtige træk ved opfindelsen består i, at den af kraftanlægget frembragte spildenergi anvendes til at drive kompressoren, som i sin tur komprimerer luften eller oxidationsmidlet, som anvendes i brændselscellerne. Det meste af denne energi findes i form af varme gasser under tryk, som kommer fra de forskellige dele af kraftanlægget og tilføres en turbine, som i sin tur driver kompressoren. Det er selvsagt fordelagtigt at udnytte så meget som muligt af, hvad der ellers ville være spildenergi, for derved at opnå de størst mulige fordele af opfindelsen. Imidlertid kan der opnås fordele i sammenligning med den tidligere teknik, selvom det kun var afgassen fra katodegasrummet, der blev anvendt som varm trykgas til at drive turbinen. I så fald ville afgasserne fra reaktorbrænderen og fra anodegasrummet ikke blive ført til turbinen, men i stedet herfor enten afgives til atmosfæren, eller deres energiindhold kunne anvendes til andre formål. For eksempel kunne spildenergien fra brænderen anvendes til at overhede den af kedlen frembragte vanddamp, inden den strømmer ind i reaktoren. Dersom det virkelig var således, at alene afgassen fra katodegasrummet blev anvendt til at drive turbinen, ville det være mere sandsynligt, at en (ikke vist) hjælpebrænder med sin egen brændselsforsyning kunne behøves til yderligere forøgelse af katodegasstrømmens energi, lige inden denne gas strømmer ind i turbinen. Dersom brænderafgassen heller ikke skal anvendes til at drive turbinen, bør det foretrækkes at anvende en

lavtryksbrænder, hvorved behovet for at komprimere brændluften til brænderen ophæves. Dersom anodeafgassen i så fald alligevel skulle anvendes til at forsyne brænderen med brændsel, ville det være nødvendigt at sænke dens tryk til atmosfæretrykket efter afgangen fra brændselscellen og før indgangen i brænderen, f.eks. ved hjælp af et drøvleorgan.

I det i fig. 1 viste foretrukne udførelseseksempel såvel som i de i fig. 3, 4 og 5 viste foretrukne udførelseseksempler, som skal beskrives nærmere nedenfor, anvendes energien fra både anodeafgassen, katodeafgassen og brænderafgassen tilsammen til at drive turbinen med henblik på at komprimere oxidationsmidlet.

Selvom vandet til reaktoren 34 i dette udførelseseksempel tilføres ved udkondensering af vand fra katodeafgasstrømmen, kan det forekomme, at kraftanlægget er placeret nær ved en vandforsyning i form af f.eks. en flod, en sø eller en stor vandbeholder. Dersom dette er tilfældet, vil det være muligt at udelade kondenseringsudstyret og at skaffe vand til reaktoren fra en af disse andre kilder. I så fald ville behovet for regeneratoren 22 også bortfalde.

Selvom brændselsbehandlingsaggregatet i det i fig. 1 viste udførelseseksempel kun udgøres af en dampspaltningsreaktor og en reaktorbrænder, er det tanken, at brændselsbehandlingsaggregatet i kraftanlæg ifølge opfindelsen kan omfatte andre dele, som f.eks. en carbonmonoxidreaktor (eng. "shift converter") og/eller en selektiv oxidationsreaktor. Hvilke krav, der stilles til brændselsbehandlingsudstyret, afhænger tildels af arten af det anvendte råbrændsel og af den særlige udformning af cellerne i brændselscellestablen. Faktisk kan brændselsbehandlingsaggregatet omfatte en hydrogengenerator med partiel oxidation i stedet for en dampspaltningsreaktor og en reaktorbrænder. Nogle af disse øvrige bestanddele indgår i de i fig. 3 og 4 viste udførelseseksempler på kraftanlæg ifølge opfindelsen.

Fig. 2 viser et eksempel på en turbolader, som er egnet til at anvendes i et kraftanlæg, der er udformet i overensstemmelse med op-

findelsen. Omgivelsesluft strømmer ind gennem en sugekanal 200 og rammer et enkelttrins centrifugalkompressorhjul 202, som meddeler luften bevægelsesenergi eller dynamisk tryk. Luften, som nu har en høj hastighed, strømmer ud i en diffusor 204, hvori det dynamiske tryk omdannes til statisk tryk. I det i fig. 1 viste udførelseseksempel ville luften forlade diffusoren 204 gennem ledningen 43 og ville efter at have passeret igennem luftstyrekassen 25 blive indført i katodegasrummet 30 og reaktorbrænderen 36. På den anden side strømmer varme gasser ind gennem et turbineindløb 206 (som f.eks. fra den i fig. 1 viste ledning 52) og strømmer gennem en centrifugalturbinerotor 208, som omdanner gasstrømmens termiske energi til mekanisk energi på en aksel 210, som er forbundet med kompressorhjulet 202. Gasserne udstødes gennem en turbineudløbskanal 212.

Den i fig. 2 viste turbolader udgør kun et belysende eksempel på den type, som foretrækkes til anvendelse i et kraftanlæg ifølge opfindelsen. Der kan anvendes en hvilken som helst turbolader, som kan skaffes på markedet, og hvis størrelse er tilstrækkelig til at give den nødvendige strømningshastighed og det nødvendige tryk til den brændselscellestabel, som er valgt til det pågældende kraftanlæg. I et kraftanlæg på f.eks. 1200 kW, hvori det ønskes, at de til brændselscellestablen tilførte reaktangasser skal have et tryk på omtrent 3,5 atmosfærer, kan en turbolader af typen Brown Boveri model RR150 være egnet. Denne særlige model er i stand til at frembringe en massestrømningshastighed på op til 1,36 kg/sek. ved et tryk på 3,5 kg/cm^2. Selvom udtrykket "turbolader" sædvanligvis bringer tanken hen på en centrifugalkompressor, således som det her er vist, skal denne betegnelse også anses at dække aksialkompressorer. Centrifugalkompressorer foretrækkes, da de udviser den fordel at have en høj virkningsgrad og høje kompressionsforhold i et enkelt trin, hvad der sædvanligvis ikke gælder for aksialstrømningskompressorer. Desuden er det hensigten - selvom den i fig. 2 viste turbolader omfatter en centrifugalturbine - at turboladere med aksialstrømningsturbiner skal kunne anvendes i kraftanlæg ifølge opfindelsen.

Selvom det i fig. 2 viste er et typisk eksempel på, hvad der inden for faget omtales som en "turbolader", er det ikke hensigten, at

opfindelsen skal være begrænset hertil, men kan omfatte en hvilken som helst maskine, hvori energien i en varm gas under tryk (normalt udstødsgas) bruges til at komprimere en anden gas. Der kan f.eks. anvendes en hvilken som helst varmekraftmaskine, som er i stand til at drive en kompressor, og som selv kan drives af en strøm af varm gas under tryk. Der kan også anvendes en tryklader af typen Comprex® (registreret varemærke tilhørende Brown Boveri & Co. A.G., Bade, Schweiz), hvori luft komprimeres ved direkte overføring af energi fra en gas under udvidelse, idet der anvendes kompressions- og ekspansionsbølger, eller en anden maskine, som arbejder efter lignende principper. Princippet for Comprex-trykladerne er velkendt inden for faget, og det er mere indgående beskrevet i en ASME-publikation 58-GTP-16 med titlen "The Comprex .... A New Concept of Diesel Supercharging" af Max Berchtold og F.J. Gardiner, offentliggjort i marts 1958.

Et andet træk ved dette udførelseseksempel består i, at det er lettere at holde de samme tryk i anode- og katodegasrummene 30, henholdsvis 32, da gasstrømmene fra disse rum forenes ved blandestedet 73, hvor de således selvsagt har det samme tryk. De tryk-regulatorer, som sædvanligvis behøves til dette formål, kan således udelades.

En ændret version af det hidtil omtalte og i fig. 1 viste udførelseseksempel er vist ved hjælp af de afbrudte ledningslinier i fig. 1. I dette alternative udførelseseksempel føres afgassen fra anodegasrummet 32 til brænderen 36 gennem en ledning 100 i stedet for at kombineres direkte med katodeafgasstrømmen gennem ledningen 72 ved blandestedet 73. Anodeafgasstrømmen indeholder nok uforbrændt hydrogen til, at det ikke er nødvendigt at forsyne brænderen 36 med brændsel gennem ledningen 75. Brænderen 36 frembringer varme til reaktoren 34. Brænderafgassen, som i denne version omfatter anodeafgasstrømmen, passerer gennem en varmeveksler eller regenerator 101, hvorpå den kombineres med katodeafgasstrømmen ved et blandested 102 gennem en ledning 104 i stedet for at blive kombineret ved blandestedet 74. Denne anordning medfører, at vandet fjernes fra både katodeafgasstrømmen og anodeafgasstrømmen i kondensatoren 18, hvad der er fordelagtigt, da det ikke er sikkert, at katodeafgasstrømmen alene kan tilvejebringe nok vand for reaktoren 34. De kombinerede gasstrømme forlader kondensatoren 18,

genvinder noget af den tabte varme i regeneratoren 22 og føres derpå gennem regeneratoren 101, således at dens temperatur forhøjes yderligere ved, at den optager varme fra den kombinerede afgasstrøm fra brænderen og anoden. Derpå strømmer den varme gasstrøm ind i turbinen 40, som driver kompressoren 38. Varmevekslerne 101's funktion skal forklares nærmere i det følgende, når kondensatoren 18's virkemåde forklares mere detaljeret.

Fig. 3 viser endnu et udførelseseksempel på et kraftanlæg ifølge opfindelsen. De henvisningstal, som er de samme som i fig. 1, henviser til de samme dele som i fig. 1. Dette udførelseseksempel virker på lignende måde som den i fig. 1 viste ændrede version eller alternative udførelseseksempel, men er noget mere indviklet, da brændselsbehandlingsaggregatet 16 (jfr. fig. 1) er blevet udstyret med en carbonmonoxidreaktor 105 og en selektiv oxidationsreaktor 106. Desuden er kraftanlægget blevet udstyret med yderligere fire varmevekslere samt en brændselskedel. I carbonmonoxidreaktoren 105 reduceres carbonmonoxidbestanddelen i den gasstrøm, der forlader reaktoren 34. I carbonmomoxidreaktoren 105 reagerer carbonmonoxid med vand i nærværelse af en katalysator til dannelse af hydrogen, carbondioxid og varme i overensstemmelse med den velkendte reaktionsligning som følger:

$$CO + H_2O \longrightarrow H_2 + CO_2 + \text{varme} \qquad (1)$$

I den selektive oxidationsreaktor 106 bringes størstedelen af en eventuel rest af carbonmonoxid til at reagere med oxygen i nærværelse af en katalysator til dannelse af yderligere carbondioxid og varme i overensstemmelse med følgende reaktionsligning:

$$CO + \tfrac{1}{2} O_2 \longrightarrow CO_2 + \text{varme} \qquad (2)$$

Oxygenet til den selektive oxidationsproces tilvejebringes i form af komprimeret luft gennem ledningen 108 fra luftstyrekassen 25. De kombinerede anode- og katodegasstrømme, som forlader kondensatoren 18, føres i dette udførelseseksempel gennem varmevekslere i både den selektive oxidationsreaktor og carbonmonoxidreaktoren med henblik på at optage den i disse dele frembragte yderligere varme, som ellers kunne gå til spilde.

Selvom brændselsbehandlingsaggregatet i dette udførelseseksempel er vist som omfattende en dampspaltningsreaktor, en reaktorbræn-

der, en carbonmonoxidreaktor og en selektiv oxidationsreaktor, kan brændselsbehandlingsudstyret i et kraftanlæg ifølge opfindelsen indeholde andre bestanddele. De krav, som stilles til brændselsbehandlingsudstyret, afhænger tildels af arten af det anvendte råbrændsel samt af den særlige udformning af de brændselsceller, som indgår i stablen 12. I virkeligheden kan brændselsbehandlingsaggregatet indeholde en hydrogengenerator med partiel oxidation i stedet for en dampspaltningsreaktor og en reaktorbrænder.

I dette udførelseseksempel overføres spildenergi fra brændselsbehandlingsaggregatet til turbinen 40 ved, at reaktorbrænderens afgasser indføres i turbinen. Dersom kraftanlægget ikke omfattede en dampspaltningsreaktor og derfor heller ikke nogen reaktorbrænder, måtte andre midler bringes til veje for at overføre spildenergi fra brændselsbehandlingsaggregatet til turbinen, som f.eks. en varmeveksler, som står i arbejdsforbindelse med brændselsbehandlingsaggregatet og med en hvilken som helst anden gasstrøm, der indføres i turbinen.

I de i fig. 1 viste udførelseseksempler forlader dampen kedlen 20 og føres direkte til reaktoren 34 efter at have modtaget brændsel fra ledningen 62. I det i fig. 3 viste udførelseseksempel passerer dampen gennem tre varmevekslere, inden den kommer ind i reaktoren 34. Dampen passerer først gennem en varmeveksler 116, hvori den overhedes af varme fra den gasstrøm, der forlader carbonmonoxidreaktoren 105. Derpå optager dampen råbrændsel ved blandestedet 114 og yderligere varme i en varmeveksler 118 fra komprimeret luft (d.v.s. kompressionsvarmen), hvilken luft strømmer gennem varmeveksleren 118 fra ledningen 76. Brændslet og den overhedede damp passerer derpå gennem endnu en varmeveksler 120, hvorved gasstrømmens temperatur forøges til, hvad der er passende for dampspaltningsreaktionen i reaktoren 34, d.v.s. omtrent 538°C. Fra reaktoren 34 føres det partielt procesbehandlede brændsel tilbage gennem varmeveksleren 120, hvor en stor del af dets varme gives tilbage.

Det eneste træk i dette udførelseseksempel, som adskiller sig fra det i fig. 1 viste alternative udførelseseksempel, er varmeveksle-

ren 122. Anodeafgasstrømmen passerer gennem varmeveksleren 122 via ledningen 100 og opvarmes heri, inden den indføres i brænderen 36. Brænderen 36 frembringer varmen til dampspaltningsreaktionen i reaktoren 34, og brænderens afgasser, der omfatter anodeafgasstrømmen, afkøles, inden de ankommer til kondensatoren 18, ved at føre dem gennem varmevekslerne 101 og 122 med henblik på at formindske belastningen af kondensatoren 18, således som det skal omtales nedenfor.

Et tredje udførelseseksempel på et kraftanlæg ifølge opfindelsen er vist skematisk i fig. 4. De dele, som fuldt ud svarer til dele i de ovenfor omtalte udførelseseksempler, er betegnet med de samme henvisningstal. Imidlertid er brændselscellestablen blevet tildelt et nyt henvisningstal, nemlig 300, da den - af grunde, som skal forklares nærmere nedenfor - ikke omfatter en varmeoverføringsdel. Selve cellen bærer nu henvisningstallet 302 og omfatter en katode 304, en anode 306, et anodegasrum 308, et katodegasrum 310 samt en elektrolyt 312.

Det bør bemærkes, at dette udførelseseksempel ligner det under henvisning til fig. 3 beskrevne udførelseseksempel ved det, at afgasser fra anodegasrummet 308 føres til reaktorbrænderen 36 sammen med luft fra kompressoren 38. Desuden kombineres afgasserne fra reaktorbrænderen 36 med afgasserne fra katodegasrummet 310 og føres derpå ind i turbinen 40 for at drive kompressoren 38.

En betydningsfuld forskel mellem dette udførelseseksempel og de øvrige udførelseseksempler på kraftanlæg ifølge opfindelsen består i, at dampen til dampspaltningsreaktoren frembringes direkte fra anodeafgasserne, uden at der behøves udstyr til genvinding af vand. I det i fig. 4 viste anlæg vil de afgasser indbefattende damp (d.v.s. vand), som frembringes i cellerne, forlade anodegasrummet 308 gennem en ledning 314 og derpå passere gennem en fordelingsventil 316. Fordelingsventilen 316 leder en del af gasserne til reaktorbrænderen 36 gennem en ledning 318 og en anden del til dampspaltningsreaktoren 34 gennem en ledning 320. Denne sidstnævnte del, der omfatter damp, blandes i reaktoren 34 med ikke-procesbehandlet brændsel under tryk, som tilføres reaktoren 34 gennem en ledning 322. Delvist procesbehandlet brændsel

forlader dampspaltningsreaktoren 34 gennem en ledning 324, afkøles i en køler 326 og føres til en carbonmonoxidreaktor ("shift converter") 105 for yderligere procesbehandling. Procesbehandlet brændsel forlader carbonmonoxidreaktoren 105 og føres gennem en ledning 330 til en yderligere køler 328, hvori gasserne afkøles yderligere, inden de indføres i anodegasrummet 308 gennem en ledning 332.

Dette udførelseseksempel omfatter tillige varmevekslere 334 og 336 til at overføre varme fra turbineafgasstrømmen til den i reaktorbrænderen 36 indstrømmende brændgasstrøm, henholdsvis den i reaktorbrænderen indførte strøm af komprimeret luft. En yderligere varmeveksler 340 er indrettet til at opvarme den i reaktoren 34 indstrømmende gas. Det bør kunne indses, at anvendelsen og anbringelsen af varmevekslere kan skifte fra det ene kraftanlæg til det næste i afhængighed af de i det pågældende kraftanlæg anvendte bestanddele og de anordninger og behov, som gælder i hvert enkelt tilfælde. Den i fig. 4 viste anbringelse af varmevekslerne skal ikke udgøre nogen begrænsning af opfindelsens rammer, men er kun vist som eksempel.

Udover at tilvejebringe damp for reaktoren 34 anvendes den tilbageførte eller recirkulerede anodeafgasstrøm til at afkøle brændselscellestablen 300. Dette opnås ved at afkøle den i anodegasrummet 308 indstrømmende gas til en temperatur, som ligger væsentligt lavere end den temperatur, som skal opretholdes i stablen. Den endelige afkøling af gassen foregår i køleren 328 og styres ved at regulere den mængde køleluft, som passerer ind i køleren 328 gennem en køleluftledning 341. Ved hjælp af en pumpe 342 sikres en tilstrækkelig strøm af kølegasser gennem anodegasrummet. Gasstrømmen afkøles også ved hjælp af varmeveksleren 340 og køleren 326. Køleren 326 afkøler den i carbonmonoxidreaktoren 105 indstrømmende gas, idet denne reaktor i dette udførelseseksempel er af den art, som er indrettet til at arbejde ved lave temperaturer. Reaktionen i carbonmonoxidreaktoren er exotherm og forhøjer derfor temperaturen i gasstrømmen, når denne passerer gennem reaktoren, hvad der gør det nødvendigt at anvende den anden køler 328. Et formål for varmeveksleren 340 er - udover at afkøle den ud fra reaktoren 34

strømmende gas - at opvarme de i reaktoren 34 indstrømmende gasser, således som det allerede er blevet omtalt. I virkeligheden er det tilstrækkeligt at anvende en hvilken som helst kombination af varmevekslere til at opvarme, henholdsvis afkøle de ind i, henholdsvis ud af reaktoren strømmende gasser, forudsat at en væsentlig del af varmen i reaktorafgassen ikke går til spilde.

Som nævnt ovenfor, er det nødvendigt, at en tilstrækkelig mængde damp indføres i reaktoren 34 i afgasserne fra anodegasrummet. For at sikre en tilstrækkelig dampmængde opretholdes massestrømningshastigheden gennem anodegasrummet ved hjælp af pumpen 342. Den fornødne strømningshastighed gennem anodegasrummet samt den fornødne og af fordelerventilen 316 styrede fordeling mellem reaktorbrænderen og selve reaktoren bestemmes af gassernes tryk, den krævede reaktorvirkningsgrad og den mængde brændsel, der kræves i reaktorbrænderen for at frembringe den tilstrækkelige varme til at drive dampspaltningsreaktionen på det ønskede virkningsgradniveau.

I de i fig. 1, 3 og 5 viste udførelseseksempler på kraftanlægget ifølge opfindelsen frembringes den damp, som tilføres reaktoren 34, fra en kedel, som er anbragt i brændselscellestablens kølemiddelkredsløb. Trykket i de i anodegasrummet indstrømmende gasser er begrænset af trykket i dampen, som jo er blandet med brændslet. Trykket i den i kedlen udviklede damp afhænger af temperaturen af kølemidlet inden for kølemiddelkredsløbet, som i sin tur er begrænset af stablens temperatur. Dersom f.eks. temperaturen i en fosforsyrecelle er begrænset på grund af tæringsproblemer, begrænses damptrykket tilsvarende. Det i fig. 4 viste udførelseseksempel er ikke underlagt denne begrænsning, selvom der i cellen kan anvendes en fosforsyre-elektrolyt. Grunden hertil er, at dampen fordampes ind i anodegasrummet 308 uanset det samlede tryk i dette gasrum, i stedet for at dampen udvikles i en kedel, som drives af spildvarme fra stablen. Kontinuiteten kræver, at der fjernes vand fra cellen. Vandet skal udgøre en vis mol-brøkdel af de fra cellestablen udstrømmende gasstrømme. Da damptrykket helt enkelt udgøres af det samlede tryk gange vandets mol-brøkdel, kræver kontinuiteten, at dersom det samlede tryk stiger, så må damptrykket forøges. Ved en bestemt stabeltemperatur vil - netop af denne årsag - elektrolyten blive mere fortyndet, efterhånden som det samlede tryk

stiger, og vandets damptryk over elektrolyten forøges. Det er således, dersom det ønskes, muligt at anvende meget højere reaktantgastryk, hvad der udgør en særlig fordel ved dette udførelseseksempel.

Fig. 5 viser endnu et udførelseseksempel på et kraftanlæg ifølge opfindelsen. De henvisningstal, der er de samme som i fig. 1, henviser til de samme dele som i fig. 1. Selvom dette udførelseseksempel har mange ting til fælles med de foregående udførelseseksempler, omfatter det nogle træk, som endnu ikke er blevet beskrevet, men som let kunne tilføjes til de i fig. 1 og 3 viste udførelseseksempler, dersom dette ønskes. Et af disse træk består i en forbedret anordning af kondenseringsudstyret, hvilken anordning kun er mulig i det ifølge opfindelsen under tryk stående kraftanlæg. Det andet træk består i, at der er tilføjet udstyr, som gør det muligt at køre kraftanlægget med reduceret ydelse uden derved at tabe de fordele, som opnås ved at køre anlægget ved fuld ydelse. Begge disse træk beskrives nærmere i det følgende.

Det i fig. 5 viste kraftanlæg omfatter således en som helhed med 12 betegnet brændselscellestabel, et som helhed med 14 betegnet kompressoraggregat, et som helhed med 16 betegnet brændselsbehandlingsaggregat, en hjælpebrænder 17, kondensatorer 18 og 19, en kedel 20, en køler 68 samt en luftstrømdeler eller luftstyrekasse 25. I dette udførelseseksempel - ligesom det i fig. 1 viste - omfatter brændselsbehandlingsaggregatet 16 kun en dampspaltningsreaktor 34 med tilhørende reaktorbrænder 36, selvom det ikke er hensigten at begrænse opfindelsens omfang hertil. Med undtagelse af hjælpebrænderen 17 og kondensatoren 19 findes samtlige ovenfor nævnte dele i det i fig. 1 viste kraftanlæg.

Under driften af det i fig. 5 viste anlæg kommer luften ind i kompressoren 38 gennem luftindtagsledningen 41, hvorpå den komprimeres. Denne komprimerede luft strømmer gennem en omledningsstyreventil 27 på sin vej til luftstyrekassen 25. Det antages nu for et øjeblik, at omledningsstyreventilen 27 er således indstillet, at den leder al luft fra kompressoren 38 til luftstyrekassen 25,

hvad der vil være tilfældet, når kraftanlægget kører med fuld ydelse. Luftstyrekassen 25 indeholder styreorganer og ventiler til korrekt fordeling af luftstrømmen til de forskellige dele i anlægget, således som det også er tilfældet med de øvrige ovenfor beskrevne udførelseseksempler. En del af luften ledes ind i katodegasrummet 30 gennem en ledning 42 og til brænderen 36 gennem en ledning 76. Fugtig og varm katodeafgas forlader katodegasrummet 30 gennem en afgasledning 44 og strømmer ind i kondensatoren 18. Inden i kondensatoren 18 afkøles katodeafgassen til en temperatur, hvor der udkondenseres vand, som opsamles til anvendelse i brændselsbehandlingsaggregatet 16, således som det skal forklares nedenfor. Katodeafgassen forlader kondensatoren 18 gennem en ledning 50 og blandes ved et blandested 51 med afgasstrømmen fra reaktorbrænderen 36 og passerer sammen med denne ind i turbinen 40, således at denne forsynes med energi til at drive kompressoren 38. Selvom det ikke er vist i dette udførelseseksempel, kan kraftanlægget indeholde en regenerator af lignende art som den i fig. 1 viste regenerator 22, hvorigennem katodeafgassen kunne passere, inden den strømmede ind i, og efter at den strømmede ud af kondensatoren 18, således som det sker i det i fig. 1 viste udførelseseksempel.

På anodesiden blandes det under tryk stående brændsel med trykdamp ved blandestedet 61 og strømmer ind i dampspaltningsreaktoren 34. Det procesbehandlede brændsel forlader dampspaltningsreaktoren 34 gennem en ledning 70, hvorpå det strømmer ind i anodegasrummet 32. Anodegasstrømmen har omtrent det samme tryk som katodegasstrømmen for derved at formindske risikoen for, at der strømmer gas fra anodegasrummet til katodegasrummet eller omvendt. Afgassen fra anodegasrummet 32 føres ind i kondensatoren 19 og fra denne til brænderen 36. Anodeafgasstrømmen indeholder en tilstrækkelig mængde uforbrændt hydrogen, til at der ikke behøves en særskilt brændselsforsyning for brænderen 36. Brænderen 36 frembringer varmen til reaktoren 34. Brænderafgassen, der omfatter anodeafgasstrømmen, kombineres ved blandestedet 51 med katodeafgasstrømmen, som omtalt ovenfor, hvorpå den strømmer ind i turbinen 40.

Selvom afgassen fra anodegasrummet i dette udførelseseksempel er vist som strømmende ind i brænderen 36, hvis brændsel den udgør, kan det i visse tilfælde være mere ønskeligt ikke at føre anodeafgassen til brænderen, men i stedet for kombinere den direkte med den i ledningen 50 strømmende afgas fra katodegasrummet. I så fald ville det være nødvendigt at udstyre brænderen med en egen brændselsforsyning.

Det antages nu, at man ønsker at køre kraftanlægget med reduceret ydelse. Under drift med reduceret ydelse behøver brændselscellerne mindre brændsel og mindre luft, og de vil også frembringe mindre vand. Dersom massestrømningshastigheden af luft gennem katodegasrummet ikke formindskes ved reduceret ydelse, vil derfor - da cellen frembringer mindre vand - vandets partialtryk i katodegasstrømmen blive væsentlig lavere end ved fuld ydelse. Dette er særdeles uønsket, da meget lave partielle vanddamptryk i den f.eks. gennem kondensatoren 18 strømmende katodeafgas gør det vanskeligt at udkondensere det til reaktoren krævede vand, eller også skal der anvendes en meget større kondensator. Desuden frembringer brændselscellestablen mindre varme ved reduceret ydelse end ved fuld ydelse, og - dersom der strømmer for meget luft gennem stablen ved reduceret ydelse - kan stablen blive afkølet for meget, således at den arbejder ved en temperatur under den optimale. I så fald kan der kræves en hjælpebrænder til at opvarme cellestablen til en temperatur, hvor den arbejder effektivt, men dette medfører en lav virkningsgrad og er uøkonomisk.

Detaljerede betragtninger vedrørende fordelene ved at anvende reaktanter under tryk i alle dele af kraftanlægget skal fremføres nedenfor; dersom disse fordele imidlertid skal bibeholdes i fuldt omfang under kørsel med reduceret ydelse, er det nødvendigt, at brændselscellereaktanterne holdes på det samme høje tryk under kørsel med reduceret ydelse som under kørsel med fuld ydelse. Samtidig er det også nødvendigt at formindske massestrømningshastigheden af luften gennem brændselscellernes katodegasrum med henblik på at undgå de i de umiddelbart foregående afsnit omtalte problemer. Ved det i fig. 5 viste udførel-

seseksempel er turboladerens geometri uforanderlig, og den kan derfor ikke yde det samme høje kompressortryk, når massestrømningshastigheden gennem turbinen er formindsket under kørsel med reduceret ydelse, og heller ikke, dersom temperaturen i turbinens drivgasser er lavere ved reduceret ydelse. Dersom den med uforanderlig geometri udformede turbolader 14 skal kunne levere komprimeret luft med det samme tryk under kørsel med reduceret ydelse som under kørsel med fuld ydelse, skal massestrømningshastigheden gennem turbinen 40 og temperaturen af de herigennem strømmende gasser være omtrent de samme ved kørsel med reduceret ydelse som ved kørsel med fuld ydelse. En eventuel formindskelse af energien i de i turbinen 40 indstrømmende gasser ville føre til, at den kører langsommere, og som følge heraf falder både lufttrykket og massestrømningen af den luft, der leveres af kompressoren 38.

Man kunne tænke sig, at dette problem kunne løses ved at indføre den overskydende luft (som leveres af turboladeren ved kørsel med reduceret ydelse) i reaktorbrænderen 36 via luftstyrekassen 25. Imidlertid bruger stablen 12 mindre brændsel ved reduceret ydelse, og der findes således mindre uforbrændt brændsel i afgassen, som fra anodegasrummet strømmer til brænderen 36. Selvsagt kræves der mindre varme fra brænderen 36 ved kørsel med reduceret ydelse, og derfor kræves der i så fald også mindre luft til brænderen 36 fra luftstyrekassen 25. Dersom den af kompressoren 38 leverede overskudsluft føres gennem brænderen 36, skal denne opvarme al denne luft for at holde brændertemperaturen på det fornødne niveau. Dette ville kræve ekstra brændsel til brænderen og føre til meget lave virkningsgrader.

Samtlige ovennævnte problemer undgås ved det i fig. 5 viste udførelseseksempel. Omledningsstyreventilen 27 er indrettet til at reagere på den af brændselscellen frembragte elektriske strøm. Ved fuld ydelse ledes al luft fra kompressoren 38 til luftstyrekassen 25. Efterhånden som ydelsen formindskes, åbnes ventilen 27 og leder derved en del af luften uden om stablen gennem omledningsgrenen 400. Denne omledede luft kombineres med afgassen fra brænderen 36 ved et blandested 402 og med afgassen fra katodegasrummet 30 ved blandestedet 51 og strømmer gennem turbinen 4o.

Selvom temperaturen i afgassen fra katodegasrummet og temperaturen i afgassen fra brænderen 36 kan være den samme ved reduceret ydelse som ved fuld ydelse, så vil disse afgasser på grund af deres formindskede masse indeholde mindre varme. En hjælpebrænder 17 er anbragt i omledningsgrenen 400 og opvarmer den omledede luft til en så tilstrækkelig høj temperatur, at når den kombineres med de øvrige afgasstrømme, vil den kombinerede strøms varmeindhold (og masse) ved indløbet til turbinen være omtrent det samme som ved fuld ydelse. Dersom der ikke fandtes nogen hjælpebrænder 17, ville den omledede luft sænke temperaturen i den i turbinen 40 indstrømmende gas, hvad der i sin tur ville medføre, at turbinen 40 kører langsommere, således at massestrømningshastigheden af og trykket i den fra kompressoren 38 udstrømmende luft ville blive formindsket. Hjælpebrænderen 17 forsynes med brændsel gennem en ledning 404 fra den samme kilde som brændslet for reaktoren 34. Brændselsstrømmen til hjælpebrænderen 17 styres af en brændselsventil 406, som kan være indrettet til at være afhængig af hvilke som helst af et antal af anlæggets procesvariable med henblik på at opnå den rigtige temperatur i de i turbinen 40 indstrømmende gasser.

Dersom det ønskes, kunne hjælpebrænderen anbringes hvor som helst nedstrøms fra omledningsgrenen 400, forudsat at den omledede luft strømmer derigennem på sin vej til turbinen 40. Hjælpebrænderen kan f.eks. være anbragt i ledningen 408, således som det ved 410 er antydet med en "kasse" i afbrudt streg. Imidlertid ville en i ledningen 408 anbragt hjælpebrænder modtage oxygen i en mere fortyndet koncentration end en i omledningsgrenen 400 anbragt brænder, idet omledningsluften nu er blevet blandet med forskellige afgasser, som i almindelighed mangler oxygen. Det er således meget nemmere og mere økonomisk at lade forbrændingen foregå i omledningsgrenen 400. Selvom hjælpebrænderen i dette udførelseseksempel brænder råbrændsel, kunne det også lade sig gøre at lade den brænde procesbehandlet brændsel, som i så fald kunne aftages fra ledningen 70. Dette kunne imidlertid gøre det nødvendigt at tilføre reaktoren 34 yderligere brændsel for at opveje det af hjælpebrænderen forbrugte brændsel.

For at fordelene og virkemåden af kraftanlægget ifølge opfindelsen skal kunne forstås i sin fulde udstrækning, henvises der til kurverne i fig. 6, hvormed der kan foretages en sammenligning af arbejdsydelsen for en brændselscelle, hvori reaktanterne har atmosfæretryk, med arbejdsydelsen for den samme celle, når reaktanterne har et samlet tryk på f.eks. ca. 3,5 atmosfærer. Der er flere procesvariable, som der skal tages hensyn til ved sammenligning mellem celler. Reaktantudnyttelsesgraden er forholdet mellem på den ene side massestrømningshastigheden af de reaktanter ved enten anoden eller katoden, som forbruges i cellen under den elektrokemiske reaktion, og på den anden side (d.v.s. i brøkens nævner) massestrømningshastigheden af det i cellen indstrømmende hydrogen, henholdsvis oxygen. I en brændselscelle, som arbejder med oxygen og hydrogen, er der således oxygenudnyttelse (U_{O_2}) ved katoden og hydrogenudnyttelse (U_{H_2}) ved anoden. Dersom reaktantudnyttelsen forøges, synker automatisk reaktanternes partialtryk over for anoden og katoden, idet der udtages en større mængde reaktanter fra gasstrømmen pr. enhed massestrømning gennem cellen; på denne måde bliver den gennemsnitlige reaktantmængde i gasstrømmen hen over elektrodeoverfladen mindre i retning fra indløbet hen imod udløbet. Den kurve, som i fig. 6 er mærket "1.0 ATM", viser, hvorledes cellen arbejder med en bestemt hydrogenudnyttelse og oxygenudnyttelse. Den fuldt optrukne kurve, mærket "3.5 ATM", svarer til cellens arbejdsmåde ved den samme reaktantudnyttelsesbrøk. Det antages tillige, at de celler, som hver af disse kurver angår, arbejder ved den samme temperatur. Ifølge den velkendte Tafel-ligning skal katodens ydelse (d.v.s. spænding) stige, når oxygenets partialtryk forhøjes. Denne ligning er opstillet nedenfor.

$$\Delta V_{katode} = K(mv) \log \left[\frac{P_{O_2}}{P_{O_2(ref)}} \right] \qquad (3)$$

hvor K er en konstant. Ifølge Nernst-ligningen skal der komme en forøgelse i anodens ydelse (d.v.s. en forøgelse i cellespændingen), når hydrogenets partialtryk forhøjes. Nernst-ligningen er opstillet nedenfor.

$$\Delta V_{anode} = C(mv) \ln \left[\frac{P_{H_2}}{P_{H_2(ref)}} \right] \qquad (4)$$

hvor C er en konstant. Det vil kunne indses, at ved en konstant temperatur og en konstant udnyttelsesgrad vil en forhøjelse af reaktanternes samlede tryk medføre en forhøjelse af begge reaktanters partialtryk, hvad der fører til en forbedring af ydelsen, både ved katoden og ved anoden. Den samlede forbedring i brændselscellens ydelse kan helt enkelt vises på følgende måde:

$$\Delta V_{samlet} = \Delta V_{katode} + \Delta V_{anode} \qquad (5)$$

Ligning 5's venstre side vises grafisk i fig. 6 som forskellen i spænding mellem punkterne A og B ved en konstant strømtæthed. Fra kurverne i fig. 6 kan det endvidere ses, at ved at arbejde med et reaktanttryk på 3,5 atmosfærer kan cellen gøres mindre, uden at cellens udgangsspænding formindskes, f.eks. ved at arbejde ved punktet C.

De stiplede kurver i fig. 6 svarer også til cellens ydelse ved reaktanttryk på 1,0, henholdsvis 3,5 atmosfærer, således som angivet ved afmærkningen. Disse kurver svarer til ydelsen af celler, som på alle måder er udformet ens med de til de fuldt optrukne kurver svarende celler med den ene undtagelse, at cellerne er indrettet med henblik på en højere reaktantudnyttelsesgrad. Det bør bemærkes, at ved 3,5 atmosfærer kan cellen arbejde med en højere reaktantudnyttelsesgrad og alligevel udvise en forbedring i forhold til den tidligere teknik, som f.eks. en forhøjelse af cellespændingen ved at arbejde ved punktet B' eller en forøgelse i strømtætheden (d.v.s. en formindskelse af cellens størrelse) for den samme cellespænding ved at arbejde ved punktet C'. På den anden side bør det bemærkes, at i en celle, hvori reaktanterne har atmosfæretryk, vil en forhøjelse af udnyttelsesgraden enten betyde, at cellen skal gøres større for at kunne bibeholde den samme cellespænding, eller at man skal finde sig i en lavere spænding for at bibeholde den samme cellestørrelse. Betydningen af muligheden for at arbejde med en højere hydrogrenudnyttelsesgrad uden at skulle ofre noget af ydelsen eller at gøre cellen større vil fremgå af de nedenfor fremførte betragtninger vedrørende driften af dampspaltningsreaktoren 34 i det foretrukne udførelseseksempel på et kraftanlæg ifølge opfindelsen.

Med hensyn til forbedring af brændselscellens ydelse fortjener den i fig. 4 viste anordning ifølge opfindelsen en særlig omtale. I dette kraftanlæg er der en vis recirkulation af carbondioxid gennem anodegasrummet. Dette medfører, at partialtrykket i det i anodegasrummet indstrømmende hydrogen bliver noget lavere end i de øvrige udførelseseksempler, da der er mere carbondioxid i gasstrømmen. Ifølge Nernst-ligningen (3) skulle dette sænke brændselscellens ydelse. Imidlertid medfører forbedringen i cellens ydelse ved katoden samt de øvrige forbedringer og fordele ved dette udførelseseksempel, som er omtalt ovenfor og i det følgende - som f.eks. udeladelsen af vandgenvindingsudstyret - at dette kraftanlæg alligevel vil være at foretrække til visse anvendelser. Da der i dette udførelseseksempel heller ikke er nogen begrænsning af trykket på grund af brændselscellestablens temperatur, kan der anvendes højere reaktanttryk, således at partialtrykket for det i anodegasrummet indstrømmende hydrogen bliver højere (i stedet for lavere) end i de øvrige udførelseseksempler, således at dette udførelseseksempel bliver endnu mere at foretrække under disse omstændigheder.

I tidligere kendte brændselsceller med fosforsyre som elektrolyt, som arbejder ved temperaturer over 149°C og ved atmosfæretryk, sker der en fordampning af fosforsyre-elektrolyten. På grund af denne fordampning af syren er det nødvendigt regelmæssigt at tilføre yderligere syre under anlæggets levetid. Syrefordampningen er en funktion af massestrømningshastigheden for luft gennem katodegasrummet, syrens partialtryk samt det samlede gastryk i katodegasrummet i overensstemmelse med følgende ligning:

$$\text{syretab} = \int \left\{ \text{strømningshastighed} \times \frac{\text{syredamptryk}}{\text{samlet tryk}} \right\} \qquad (6)$$

Fra den ovenstående formel kan det ses, at en forhøjelse af det samlede tryk af de gennem katodegasrummet strømmende gasser formindsker syretabet. Det er også en kendsgerning, at en forhøjelse af det samlede tryk medfører et fald i syrens damptryk på grund af fortyndingen af elektrolyten, hvad der yderligere formindsker syretabet. Også takket være de højere reaktanttryk kan de i kraftanlæg ifølge opfindelsen indbyggede brændselsceller holdes i drift med højere oxygenudnyttelsesgrader, og derfor bliver massestrømningshastigheden for luften gennem katodegasrummet lavere, og

syretabet formindskes yderligere. Det er blevet konstateret, at de ovennævnte faktorer i kombination formindsker syretabet med en faktor af størrelsesordenen 10.

Fig. 7 viser arbejdskurver for en dampspaltningsreaktor (eng. "steam reforming reactor"). Reaktorens virkningsgrad (η_R) er afsat langs med den lodrette akse, og forholdet mellem den procesbehandlede gasstrøms massestrømningshastighed (W) og (i nævneren) reaktorens varmeoverføringsareal (A_{hx}) er afsat langs med den vandrette akse. Da leddet A_{hx} står i direkte forhold til reaktorens størrelse, betyder det, at reaktoren bliver mindre, når man går imod højre langs med den vandrette akse. Reaktorens virkningsgrad defineres med følgende ligning:

$$\eta_R = (K)\, U_{H_2}(\alpha . \beta) \qquad (7)$$

hvor K er en konstant, U_{H_2} er hydrogenudnyttelsesgraden i brændselscellen, og produktet $^{2}(\alpha . \beta)$ er brændselsomdannelsen i reaktoren, udtrykt som den procentdel af carbonet i det tilførte brændsel, der omdannes til CO_2. Det er et udtryk for den mængde hydrogen, der dannes ved dampspaltningsreaktionen. I fig. 7 er der vist kurver for brændselsomdannelse på 90 og 75% sammen med en hydrogenudnyttelseskurve mærket U_{H_2} og en hydrogenudnyttelseskurve mærket U'_{H_2}, hvoraf sidstnævnte svarer til en højere hydrogenudnyttelsesgrad. Med henblik på en sammenligning antages det, at U_{H_2} er den samme hydrogenudnyttelsesgrad, der svarer til de fuldt optrukne kurver i fig. 6, og at U'_{H_2} er den hydrogenudnyttelsesgrad, der svarer til de stiplede kurver i fig. 6. Som omtalt under henvisning til fig. 6, blev brændselsceller, hvori der anvendtes reaktanter med atmosfæretryk, bundet eller begrænset til at arbejde ved en bestemt hydrogenudnyttelsesgrad U_{H_2} for derved at kunne opnå en vis cellespænding for en bestemt cellestørrelse (d.v.s. i arbejde f.eks. ved punktet A). Efter at der er blevet valgt en bestemt hydrogenudnyttelsesgrad, er det således påkrævet, at dampspaltningsreaktorens arbejdspunkt skal ligge et eller andet sted på hydrogenudnyttelseskurven mærket U_{H_2}. Det gælder således om at udvælge den bedste kombination af reaktorvirkningsgrad og reaktorstørrelse for den pågældende celle. I de hidtil kendte reaktorer er brændselsomdannelsen i almindelighed omtrent 90% med henblik på at holde reaktorens størrelse inden

for rimelige grænser. Herved ville arbejdspunktet for en dampspaltningsreaktor, som anvendtes sammen med en brændselscelle ifølge den tidligere teknik, komme til at ligge i punktet D. Det vil nu klart kunne indses, hvorfor det er så betydningsfuldt, at det er muligt at holde brændselscellen i drift med en højere hydrogenudnyttelsesgrad. F.eks. er det med et kraftanlæg ifølge opfindelsen muligt at arbejde langs med kurven U'_{H_2}. Herved kan der anvendes en dampspaltningsreaktor af en mindre størrelse uden at ofre noget af virkningsgraden, da reaktoren nu kan køres med en lavere brændselsomdannelse. Det tilsvarende driftspunkt er mærket E i fig. 7. Dersom det foretrækkes, er det selvsagt muligt at beholde den samme reaktorstørrelse og opnå en stor forbedring af reaktorens virkningsgrad, f.eks. ved at arbejde ved punktet F. Det er af betydning at lægge mærke til, at selvom brændselscellens ydelse formindskes noget, når den arbejder med højere udnyttelsesgrader (jfr. fig. 6), så er hele billedet af cellens ydelse alligevel væsentligt forbedret, og desuden kan der opnås betydelige forbedringer i dampspaltningsreaktoren. Dette står i modsætning til tidligere kraftanlæg, hvori - selvom en højere reaktantudnyttelsesgrad i brændselscellen kunne medføre fordele i dampspaltningsreaktoren - fordelene opvejes af den forringende virkning på brændselscellens ydelse.

Når det drejer sig om at konstruere og beregne et kraftanlæg ifølge opfindelsen, vil det selvsagt være nødvendigt at "slå en handel af" mellem på den ene side at søge forbedringer i reaktorens ydelse og på den anden side at søge forbedringer i brændselscelleydelsen. Således udvælges reaktantudnyttelsesgraden, cellestørrelsen, celleudgangsspændingen, reaktorstørrelsen, reaktorens virkningsgrad samt reaktorens brændselsomdannelseskoefficient i afhængighed af, hvilke mål der sigtes imod med det pågældende kraftanlæg.

I det foretrukne udførelseseksempel er det hensigten at anvende nafta som brændsel, og at dampspaltningsreaktoren 34 skal være af den velkendte art, hvori der anvendes en nikkel-katalysator. Imidlertid kan der som reaktor anvendes et hvilket som helst almindeligt apparat til at frembringe hydrogen. For eksempel

kan der - selvom virkningsgraden er mindre end for en dampspaltningsreaktor - anvendes en med partiel oxidation arbejdende hydrogengenerator, som vil drage betydelige fordele af de højere reaktantgastryk. I visse tilfælde kan selv brændselsbehandlingsaggregatet udelades, f.eks. dersom rent hydrogen er til rådighed som brændsel for brændselscellestablen.

I kraftanlæg, der er udformet svarende til fig. 1, 3 og 5, kan der anvendes kondensatorer, som er betydelig mindre end kondensatorerne i tidligere kraftanlæg med brændselsceller. Ifølge Faraday's lov frembringer brændselscellen en konstant vandmængde, når strømmen er konstant. Dette vand forlader cellen i afgasstrømmene. Det vides, at dampspaltningsreaktionen kræver en vis vandmængde, som i den tidligere teknik - svarende til de i fig. 1, 3 og 5 viste udførelseseksempler - i det mindste for en dels vedkommende blev udvundet fra katodegasstrømmen. Dette vand blev fjernet fra katodegasstrømmen ved hjælp af en kondensator. I tidligere brændselscelle-kraftanlæg, hvori elektrolyten består af fosforsyre, og hvor gasstrømmen er ved atmosfæretryk, er gasstrømmens dugpunkt så lavt, at for at udkondensere en tilstrækkelig vandmængde til at holde dampspaltningsreaktionen i gang, skal gasstrømmens temperatur ved udløbet fra kondensatoren kun være nogle få grader højere end den omgivende køleluft. Som følge heraf kræves der meget store kondensatorer. Som tidligere omtalt, er kondensatorerne de dele af tidligere kendte brændselscelle-kraftanlæg, som optager mest plads. I kraftanlæg ifølge opfindelsen, hvori der hersker overtryk, vil dugpunktet for den ud fra katodegasrummet strømmende gasstrøm være betydelig højere end i den tidligere teknik takket være gasstrømmens højere tryk. For eksempel vil dugpunktet for en gasstrøm, som forlader en brændselsstabel med 149°C med et tryk på 3,2 kg/cm^2, være omtrent 34°C højere end dugpunktet for en gasstrøm, som forlader en 149°C-stabel med atmosfæretrykket. Dette betyder, at for at udkondensere den samme vandmængde behøver gasstrømmens temperatur ikke bringes så langt ned som i de "trykløse" anlæg. Med andre ord vil der være en betydelig forskel mellem temperaturen i kondensatorens køleluft og temperaturen af den gas, som forlader kondensatoren. Dersom det antages, at der både ved kraftanlæg med og uden overtryk anvendes køleluft med en temperatur af

32°C, skønnes det, at kondensatoren kan formindskes i størrelse til omtrent halvdelen eller tredjedelen. Denne størrelsesformindskelse af kondensationsudstyret er en af opfindelsens største fordele og bidrager til at gøre kraftanlægget væsentligt billigere.

I den under henvisning til fig. 1 omtalte ændrede version eller alternative udførelseseksempel kombineres anodeafgasstrømmen efter at have passeret gennem brænderen 36 med katodeafgasstrømmen ved blandestedet 102. Denne strøm er meget varm og indeholder en betydelig mængde fugtighed. Hvad angår det arbejde, som kondensatoren 18 skal udføre, er det selvsagt ønskeligt, at temperaturen i den gasstrøm, der strømmer ind i kondensatoren 18, er så tæt på dugpunktet som muligt. Ved udløbet fra brændselsbehandlingsaggregatet 16 kan anodeafgasstrømmens temperatur være omtrent 671°C. Set fra kondensatorens synspunkt ville det forbyde sig selv at kombinere disse yderst varme gasser med katodeafgasstrømmen og føre dem direkte til kondensatoren. Derfor føres disse gasser først gennem regeneratoren 101, hvor de afkøles til omtrent 260°C. Derpå kombineres de med gasserne fra katodegasrummet 30. De kombinerede gasser strømmer ind i varmevekslerne 22, hvor de afkøles yderligere. For at gasstrømmen skal have tilstrækkelig energi til at drive turbinen, opvarmes gasstrømmen efter udløbet fra kondensatoren til omtrent 316°C, ved at bringe gassen til at strømme tilbage til regeneratorerne 22 og 101.

I tidligere kraftanlæg er det ofte tilfældet, at der ikke kan skaffes nok vand til dampspaltningsreaktoren alene fra katodegasrummet. I nogle tilfælde kan selv kraftanlæg med reaktanterne under tryk løbe ind i de samme problemer. I de tidligere brændselscelle-kraftanlæg, hvori der anvendes reaktanter uden overtryk, genvindes der i reglen yderligere vand fra afgasstrømmen fra reaktorbrænderen. I det udførelseseksempel på et kraftanlæg ifølge opfindelsen, der er vist i fig. 5, genvindes det yderligere vand, som kræves til dampspaltningsreaktoren, fra anodeafgasstrømmen, inden denne går ind i reaktorbrænderen. Dette var ikke muligt i de tidligere "trykløse" brændselscelle-

kraftanlæg, fordi den vandmængde, som kunne kondenseres fra de "trykløse" afgasser fra anodegasrummet og katodegasrummet, alligevel var utilstrækkelig for dampspaltningsreaktoren; kondensationsudstyret blev i stedet for anbragt nedstrøms fra reaktorbrænderen, for at det i denne frembragte yderligere vand kunne genvindes sammen med vandet i afgassen fra anodegasrummet. Denne anordning medførte yderligere problemer, fordi den meget høje temperatur i afgassen fra reaktorbrænderen gjorde det nødvendigt at anvende en meget stor regenerativ varmeveksler til at afkøle gasserne, inden de kom ind i kondensatoren nedstrøms fra reaktorbrænderen. I det i fig. 5 viste udførelseseksempel for et kraftanlæg ifølge opfindelsen er behovet for en sådan regenerativ varmeveksler undgået, hvad der udgør en betydelig fordel ved opfindelsen. Det (på grund af de højere tryk) højere dugpunkt i afgasserne fra anodegasrummet i kraftanlægget ifølge opfindelsen gør det muligt at genvinde en tilstrækkelig mængde vand fra disse afgasser (inden de strømmer ind i reaktorbrænderen) ved hjælp af et kondensationsudstyr af en rimelig størrelse, således at når dette vand kombineres med vand, som er blevet genvundet fra afgasserne fra katodegasrummet, er der nok vand til dampspaltningsreaktoren. Fjernelsen af vandet fra afgassen fra anodegasrummet inden indløbet i reaktorbrænderen bidrager også til at formindske størrelsen af dampspaltningsreaktoren, takket være brænderens højere temperatur som følge af, at det meste af vanddampen er blevet fjernet fra gasstrømmen.

Der henvises nu til fig. 8, der viser en arbejdskurve for carbonmonoxidreaktoren (eng. "shift converter") ved konstant temperatur i gasstrømmen. Bemærk, at de i fig. 3 og 4 viste udførelseseksempler omfatter en CO-reaktor. Det fremgår af kurven, at der er en direkte sammenhæng mellem CO-reaktorens ydelse og trykket i de gennem reaktoren strømmende procesgasser. Når der arbejdes ved højere gastryk, forøges således katalysatorens aktivitet, hvad der også kan forstås derhen, at reaktoren kan gøres mindre, eller alternativt kan der opnås en mere fuldstændig omdannelse ("shifting") med en reaktor af samme størrelse. Det kan let indses, at omdannelseskatalysatorens aktivitet fordobles, når trykket af de

gennem reaktoren strømmende gasser forhøjes fra atmosfæretrykket til omtrent 4,2 kg/cm^2. Denne forbedrede reaktorydelse er en yderligere fordel, som opnås på grund af muligheden for at lade brændselscellestablen arbejde med høje reaktantgastryk i overensstemmelse med opfindelsen.

P A T E N T K R A V

1. Kraftværk til frembringelse af elektricitet bestående af en brændselscellestabel med et antal brændselsceller, som er elektrisk serieforbundne gennem en belastning, hvor hver celle består af en katode, en anode og en herimellem anbragt elektrolyt samt et katodegasrum og et anodegasrum på den bort fra elektrolytten vendende side af henholdsvis katoden og anoden, idet det anvendte brændstof indeholder hydrogen, et brændselsbehandlingsaggregat, som indbefatter midler til fremstilling af damp, en dampspaltningsreaktor og en reaktorbrænder til fremstilling af varme til den nævnte spaltningsreaktor, midler til levering af ubehandlet brændstof under tryk og damp under tryk til den nævnte reaktor, k e n d e t e g n e t v e d en kompressor (38), der er arbejdsforbundet til en turbine (40), som er indrettet til at blive drevet af energien fra et varmt gasformigt medium, til komprimering af luft til et tryk, der er højere end to atmosfærer, midler (43,42) til levering af komprimeret luft fra kompressoren (38) ind i katodegasrummet (30), midler (70) til levering af brændstof under tryk fra dampspaltnings-reaktoren (34) ind i anodegasrummet (32), midler (314,320) til levering af i det mindste en del af afgasserne fra anodegasrummet (32) ind i reaktorbrænderen (36), samt midler (40,50,73,72,74,52) til at føre spildenergi, som er produceret af kraftværket, ind i turbinen (40) i form af et varmt gasformigt medium under tryk til drift af turbinen (40).

2. Kraftværk ifølge krav 1, k e n d e t e g n e t v e d, at midlerne til at føre spildenergi fremstillet i kraftværket ind i turbinen (40) indbefatter midler (44, 50, 73, 52) til at føre afgasser fra katodegasrummet (30) ind i turbinen.

3. Kraftværk ifølge krav 1 eller 2, k e n d e t e g n e t v e d, at midlerne (44, 50, 73, 52) til at føre afgasserne fra katodegasrummet (30) ind i turbinen omfatter en ledning (44) til først at føre afgasserne fra katodegasrummet (30) ind i kondensatoren (18), en ledning (67) til at føre

kondenseret vand fra kondensatoren (18) til en kedel (2o), samt en ledning (62) til at føre damp fra kedlen (20) ind i dampspaltningsreaktoren (34).

4. Kraftværk ifølge krav 1, 2, 3 eller 4, k e n d e t e g n e t v e d, at det omfatter en ledning (76) til at føre en del af den komprimerede luft fra kompressoren (38) ind i reaktorbrænderen (36).

5. Kraftværk ifølge krav 1, 2, 3 eller 4, k e n d e t e g n e t v e d midler (27, 400, 402) til ved reduceret ydelse af kraftværket at lede en del af den komprimerede luft fra kompressoren (38) uden om katodegasrummet (30), og en hjælpebrænder (17, 410) til tilførsel af ekstra varme til de gasser, der føres ind i turbinen (40), hvorved midlerne (44, 50, 72, 73, 74, 52) til at føre afgasserne ind i turbinen (40) indbefatter midler (402, 408) til at føre den nævnte udenom ledede, komprimerede luft ind i turbinen (40).

6. Kraftværk ifølge krav 5, k e n d e t e g n e t v e d, at midlerne (27, 400, 402) til at lede komprimeret luft udenom katodegasrummet (30) indbefatter en omledningsgren (400), og at hjælpebrænderen (410) er placeret i denne gren (400).

7. Kraftværk ifølge et eller flere af kravene 1 til 6, k e n d e t e g n e t ved, at midlerne (44, 50, 72, 73, 74, 52) til at føre afgasserne fra katodegasrummet ind i turbinen indbefatter ledninger (72, 77, 74) til at føre afgasserne fra anodegasrummet (32) og/eller udstødningsgas fra reaktorbrænderen (36) sammen med katodegasrumsafgasserne forud for deres afgivelse til turbinen (40).

8. Kraftværk ifølge krav 7, k e n d e t e g n e t v e d, at ledningerne (77, 74) til sammenføring af afgasser fra reaktorbrænderen (36) med katodegasrumsafgasserne er placeret på nedstrømssiden af kondensatoren (18).

9. Kraftværk ifølge ét eller flere af kravene 1-7, k e n d e t e g n e t v e d, at ledningerne (102, 104) til sammenføring af afgasser fra reaktorbrænderen (36) med katodegasrumsafgasserne er placeret på opstrømssiden af kondensatoren (18).

10. Kraftværk ifølge ét eller flere af kravene 1-9, k e n d e t e g n e t v e d, at ledningen (62) til at føre damp til dampspaltningsreaktoren (34) er forbundet med ledninger (314, 320) til at føre i det mindste en del af afgasserne fra anodegasrummet (32) ind i dampspaltningsreaktoren (34).

11. Kraftværk ifølge krav 10, k e n d e t e g n e t v e d, at midlerne (324, 330, 332) til afgivelse af hydrogen fra dampspaltningsreaktoren ind i anodegasrummet (308) indbefatter midler til fjernelse af varme (340, 326, 328) til nedsættelse af temperaturen af gasserne til mindre end den temperatur,som den nævnte brændselscellestabel har.

12. Kraftværk ifølge krav 10, k e n d e t e g n e t v e d, at midlerne (70 eller 324, 330, 332) til afgivelse af brændstof fra dampspaltningsreaktoren (34) ind i anodegasrummet (32 eller 3o8) indbefatter midler til først at føre brændstoffet ind i en carbonmonoxidreaktor (105) anbragt på opstrømssiden af anodegasrummet (32 eller 308).

13. Kraftværk ifølge krav 12, k e n d e t e g n e t v e d, at midlerne (70) til afgivelse af brændstof fra dampspaltningsreaktoren (34) til anodegasrummet (32) indbefatter midler til afgivelse af brændstof fra reaktoren (105) ind i en selektiv oxidationsreaktor (106), og at der fra kompressoren (38) via en ledning (108) føres komprimeret luft igennem den selektive oxidationsreaktor (106) til anodegasrummet (32).

14. Kraftværk ifølge ét eller flere af kravene 1-13, k e n d e t e g n e t v e d, at de nævnte midler til fremstilling af damp indbefatter midler til afgivelse af et kølefluidum gennem en kølesløjfe (68, 69, 64, 15, 12, 66) i varmeudvekslingsforbindelse med brændselscellestablen (13) og kedlen (20).

Fremdragne publikationer:
US patenter nr. 3112229, 3311097, 3404529, 3507702, 3615850.

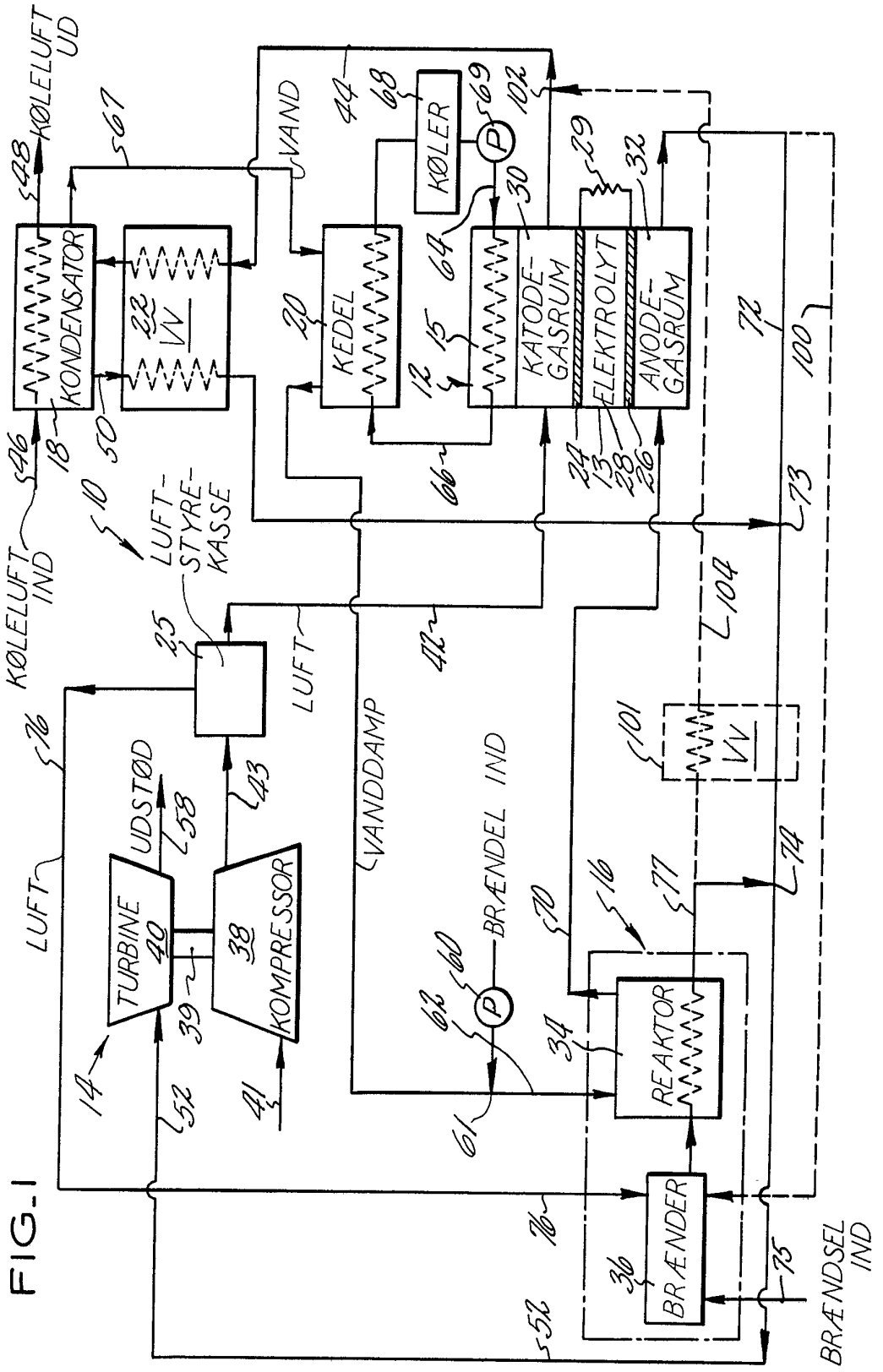

KØLELUFT UD
48
KØLELUFT IND
46
KONDENSATOR
18
67
50
22 VV
VAND
44
68
KØLER
69
102
20
KEDEL
12
64
15
KATODE-GASRUM
ELEKTROLYT
ANODE-GASRUM
30
29
32
24
13
28
26
66
72
100
73
10
LUFT-STYRE-KASSE
25
LUFT
42
104
VANDDAMP
BRÆNDEL IND
62
60
61
101
VV
16
70
77
74
34
REAKTOR
LUFT
76
UDSTØD
58
43
TURBINE 40
38 KOMPRESSOR
39
14
52
41
78
36
BRÆNDER
75
52
BRÆNDSEL IND

FIG. 1

FIG. 2

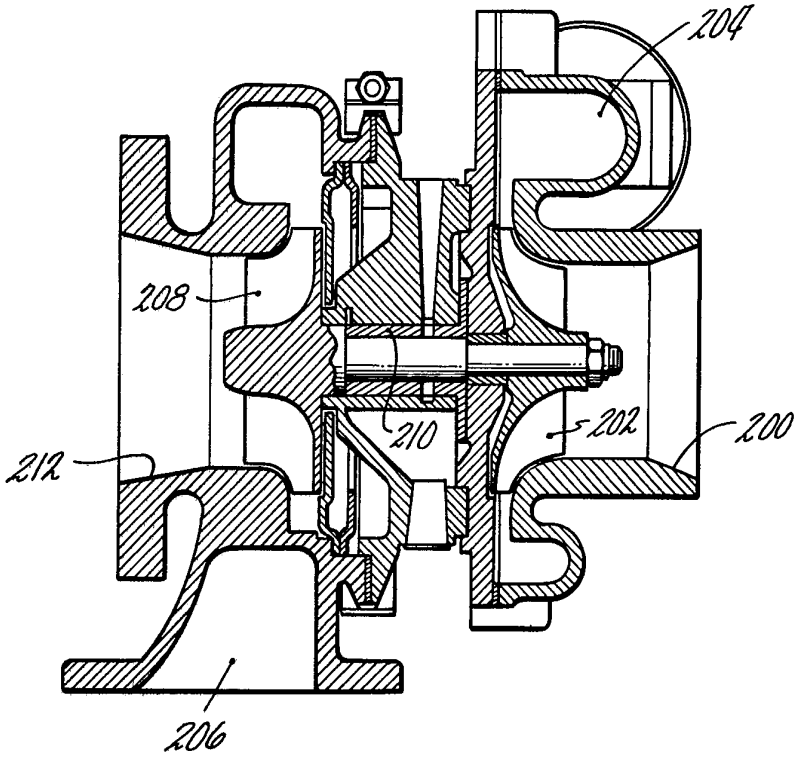


FIG. 3

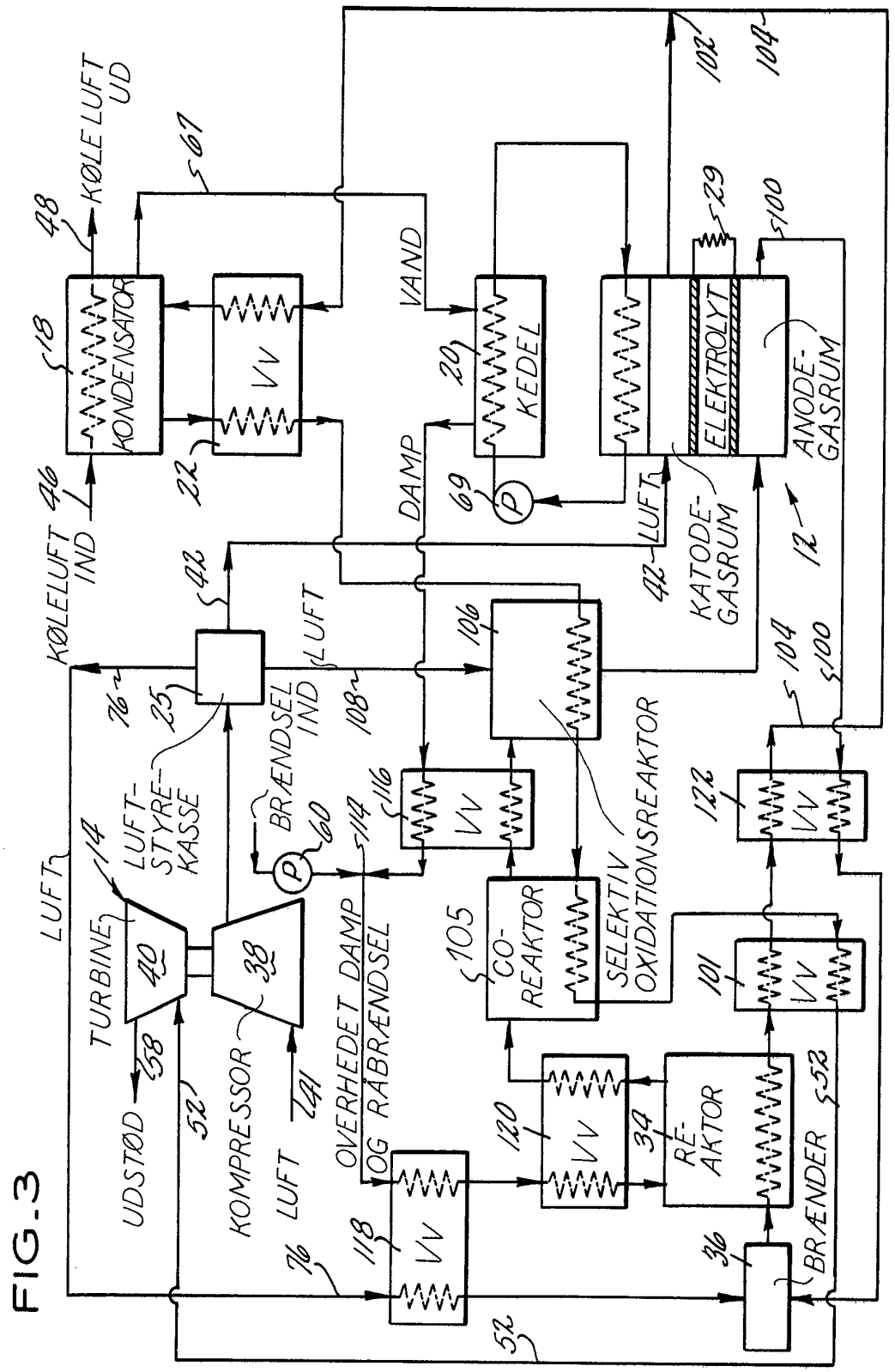

LUFT
TURBINE
14
LUFT-STYRE-KASSE
UDSTØD
58
52
KOMPRESSOR
38
40
LUFT
74
76
KØLELUFT IND
46
KØLE LUFT UD
48
KONDENSATOR
18
V/V
22
67
VAND
DAMP
20
KEDEL
69
P
LUFT
42
KATODE-GASRUM
ELEKTROLYT
29
ANODE-GASRUM
100
102
104
12
BRÆNDSEL IND
108
60
P
114
116
V/V
106
LUFT
25
76
OVERHEDET DAMP OG RÅBRÆNDSEL
118
V/V
105
CO-REAKTOR
SELEKTIV OXIDATIONSREAKTOR
120
V/V
34
RE-AKTOR
101
V/V
122
V/V
36
BRÆNDER
52

FIG. 4

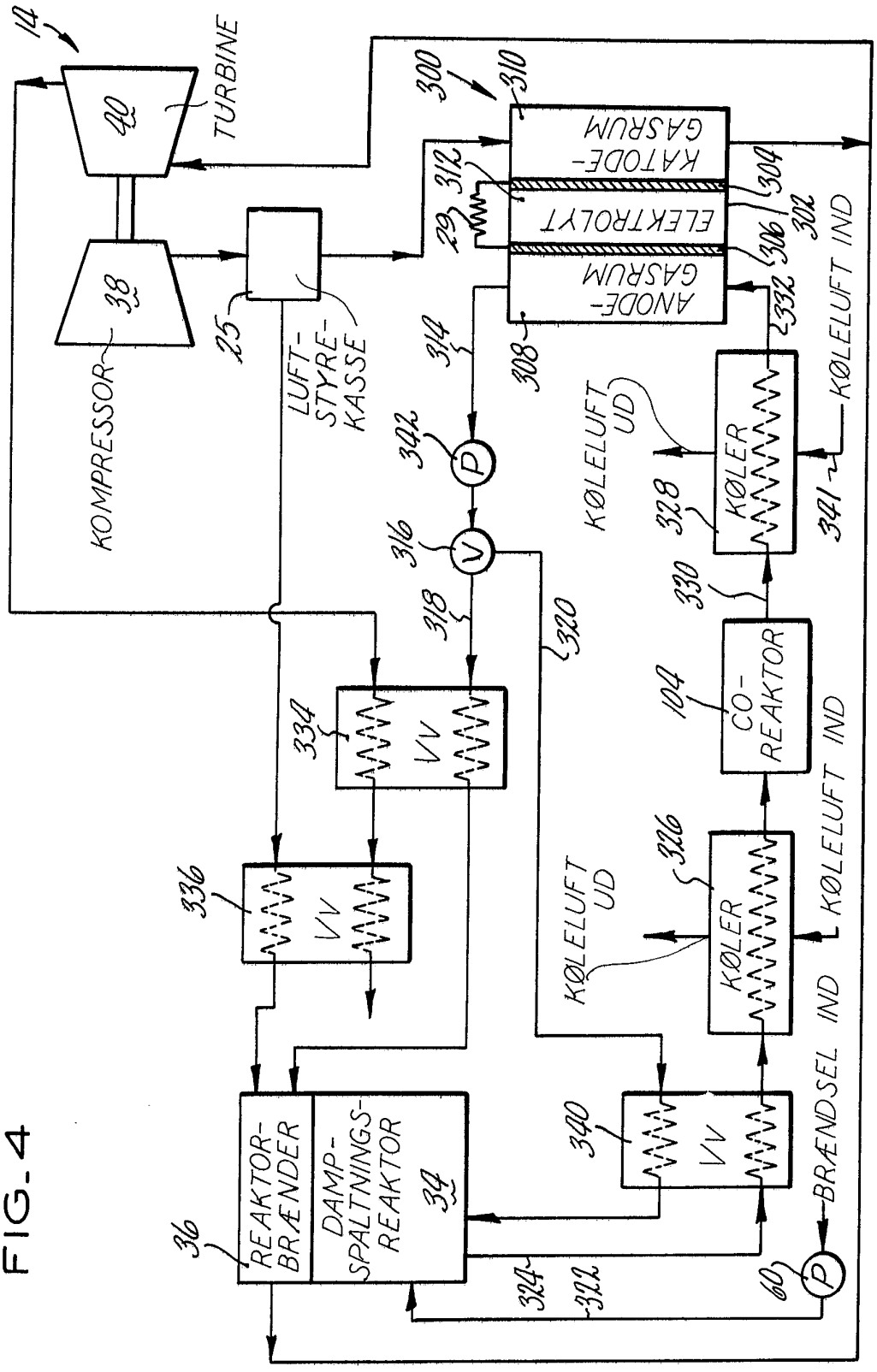

14
40
TURBINE
38
KOMPRESSOR
25
LUFT-STYRE-KASSE
300
310
KATODE-GASRUM
312
29
ELEKTROLYT
304
302
ANODE-GASRUM
306
308
332
KØLELUFT IND
314
342
P
316
V
318
320
KØLELUFT UD
328
KØLER
341
330
104
CO-REAKTOR
334
VV
336
VV
KØLELUFT UD
326
KØLER
KØLELUFT IND
340
VV
36
REAKTOR-BRÆNDER
DAMP-SPALTNINGS-REAKTOR
34
BRÆNDSEL IND
60
P
324
322

FIG. 5

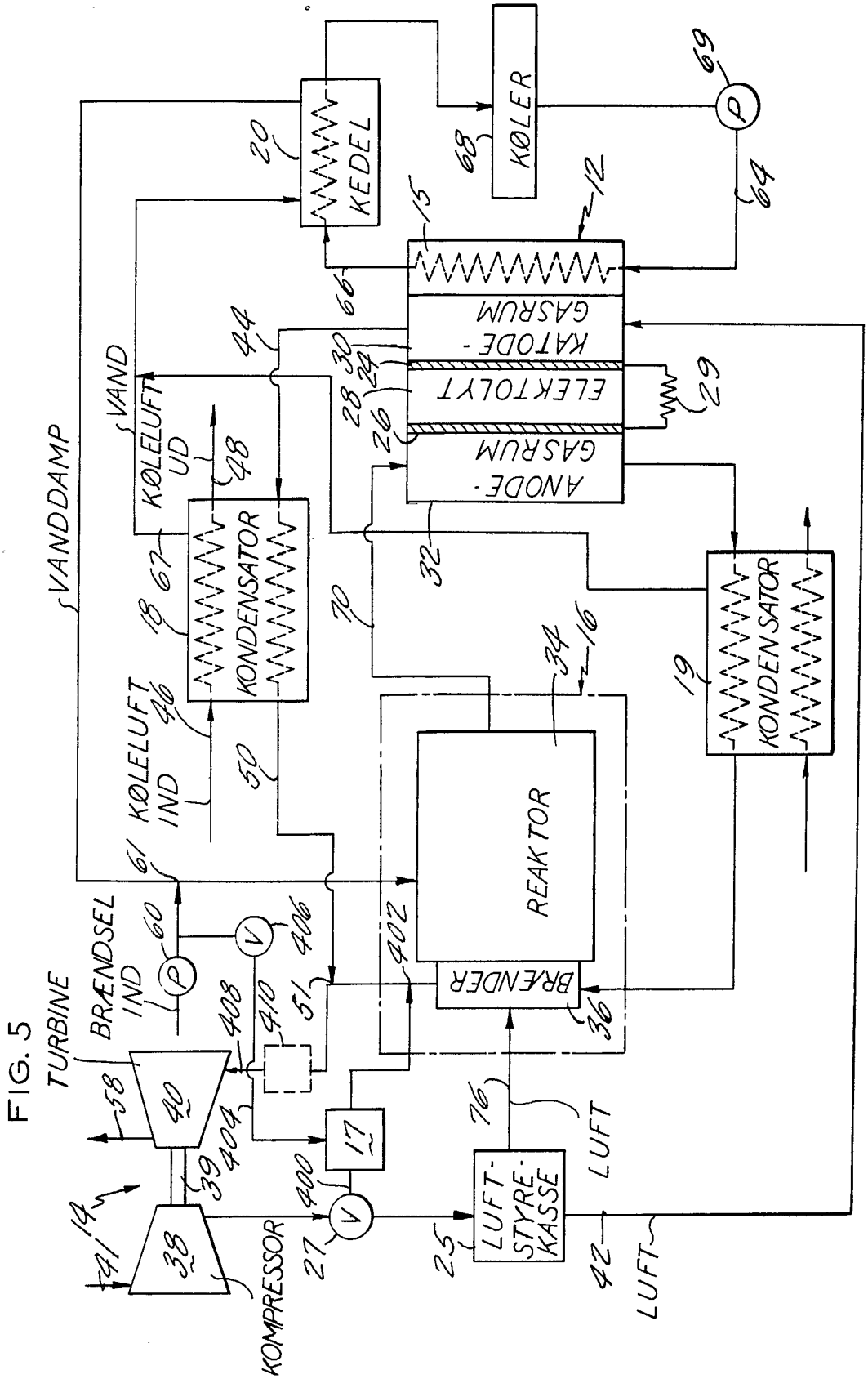

VANDDAMP
VAND
KØLELUFT UD
KØLELUFT IND
BRÆNDSEL IND
TURBINE
KOMPRESSOR
KEDEL
KØLER
KONDENSATOR
KONDENSATOR
ANODE-GASRUM
ELEKTOLYT
KATODE-GASRUM
REAKTOR
BRÆNDER
LUFT-STYRE-KASSE
LUFT
LUFT
20
68
69
64
12
15
66
44
30
24
28
26
29
32
48
67
18
70
34
16
19
46
50
61
60
406
402
408
410
51
36
58
40
404
39
14
41
38
400
17
27
76
25
42

FIG. 7

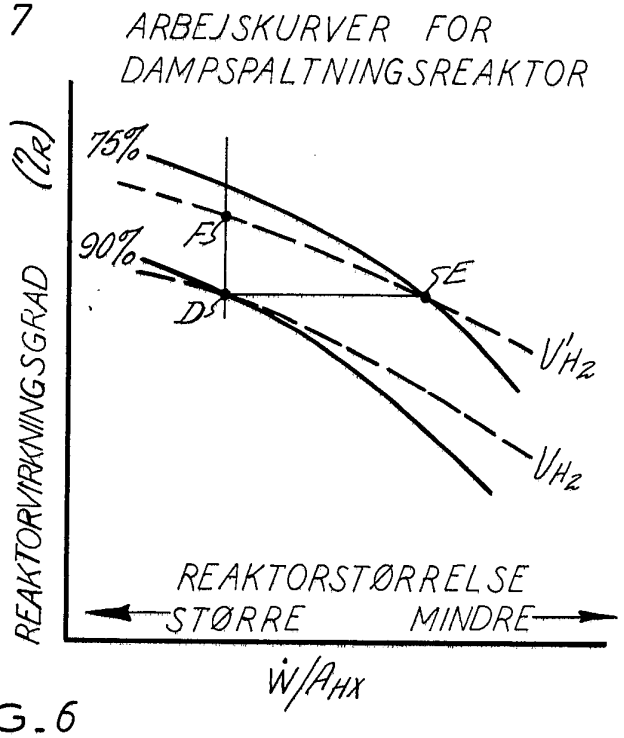

ARBEJSKURVER FOR
DAMPSPALTNINGSREAKTOR
REAKTORVIRKNINGSGRAD (2R)
75%
90%
F
D
E
V'_{H_2}
V_{H_2}
REAKTORSTØRRELSE
STØRRE
MINDRE
$\dot{W}/A_{HX}$

FIG. 6

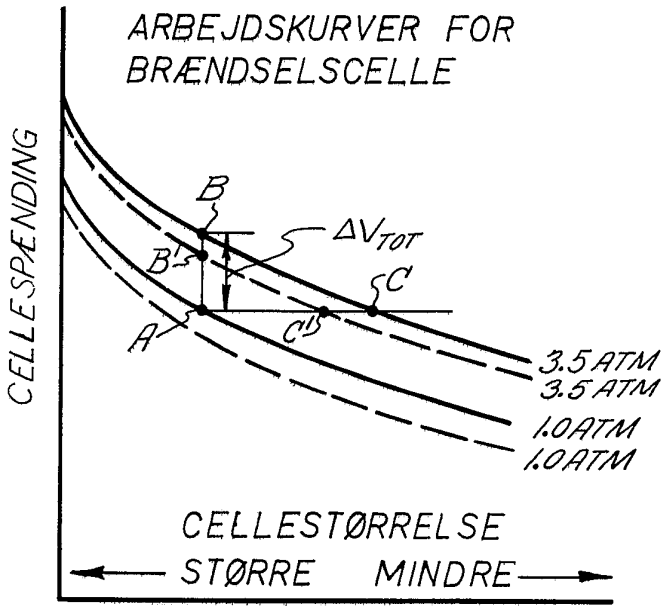
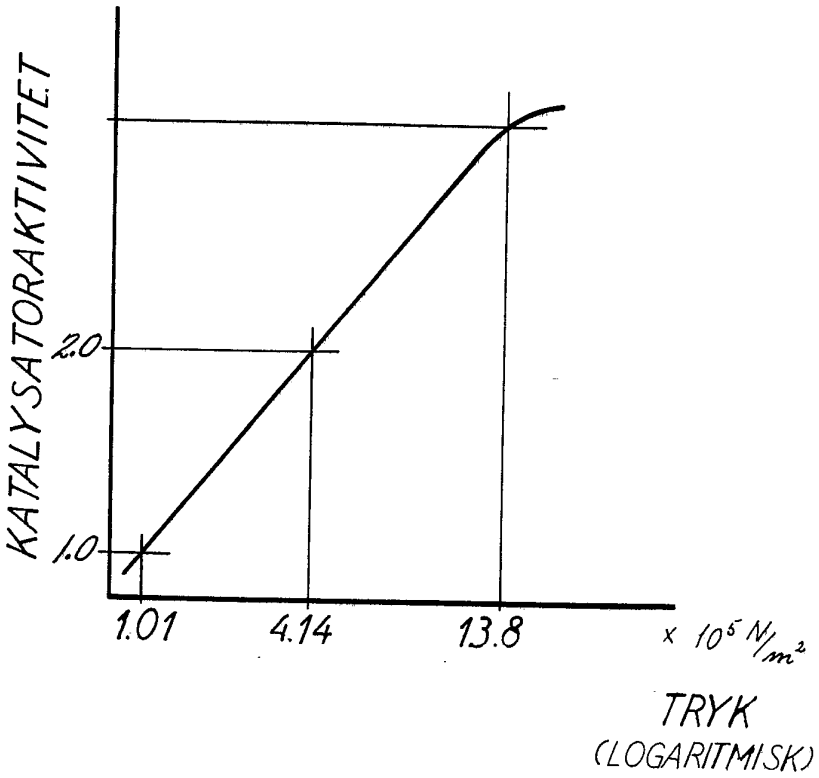

ARBEJDSKURVER FOR
BRÆNDSELSCELLE
CELLESPÆNDING
B
B'
ΔV_{TOT}
C
C'
A
3.5 ATM
3.5 ATM
1.0 ATM
1.0 ATM
CELLESTØRRELSE
STØRRE
MINDRE

FIG. 8


KATALYSATORAKTIVITET
2.0
1.0
1.01
4.14
13.8
x 10⁵ N/m²
TRYK
(LOGARITMISK)