



(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **337977**

(13) **B1**

**NORGE**

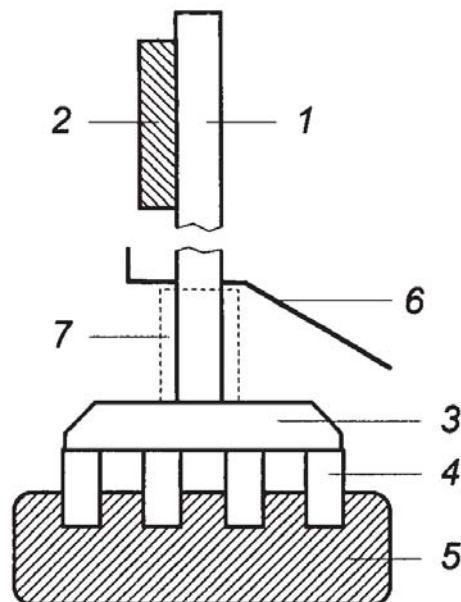
(51) Int Cl.

*C25C 3/20 (2006.01)*  
*C25C 3/06 (2006.01)*  
*C25C 3/12 (2006.01)*  
*C25C 7/06 (2006.01)*

## Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20084938	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	
(22)	Inng.dag	2008.11.24	(85)	Videreføringsdag	
(24)	Løpedag	2008.11.24	(30)	Prioritet	2008.10.31, NO, 20084611
(41)	Alm.tilgj	2010.05.03			
(45)	Meddelt	2016.07.18			
(73)	Innehaver	Norsk Hydro ASA, 0240 OSLO, Norge			
(72)	Oppfinner	Sigmund Gjørven, Blommenholmveien 25, 1365 BLOMMENHOLM, Norge Petter Nekså, Parkveien 9, 7030 TRONDHEIM, Norge Yves Ladam, Ole Laulos vei 2, 7088 HEIMDAL, Norge Bjørn Petter Moxnes, Drivavegen 35, 6600 SUNNDALSØRA, Norge Asbjørn Solheim, Starrmyra 17, 7091 TILLER, Norge			
(74)	Fullmektig	André Berg, c/o Hydro Aluminium AS, Patent- og varemerkeavdelingen, 0240 OSLO, Norge			
(54)	Benevnelse	<b>Fremgangsmåte og anordning for ekstrahering av varme fra aluminium elektrolyseceller</b>			
(56)	Anførte publikasjoner	NO318164B1 NO 318164 B1 WO 2006088375 A1 US 4737247 A US 4462887 A			
(57)	Sammendrag				

Fremgangsmåte og anordning for å trekke ut mer varme fra elektrolyseceller for produksjon av aluminium, med den hensikt å kompensere for den ekstra varmen som produseres i cellen når strømstyrken økes, samt å dissipere mindre varme til rågassen fra cellen. En anodekonstruksjon i cellen innbefatter anodestammen (1) som er koblet til anodebjelken (2) og anodeåket (3) som får elektrisk kontakt med en karbonanode (5) gjennom boltene (4). Anodestammen kjøles ved å øke overflatearealet til stammen over overbygningen (6) til cellen eller ved å bruke et kjølemedium som sirkulerer langs stammen. Kjølingen av anoden kan kombineres med å bruke et varmeisolerende materiale (7) på anodestammen nedenfor overbygningen.



5

## Beskrivelse

Den foreliggende oppfinnelsen dreier seg om en fremgangsmåte og anordning for å ekstrahere varme fra en elektrolysecelle for aluminiumsproduksjon. Nærmere bestemt dreier den seg om avkjøling av komponentgruppen av anode, bolt og åk ved å lede varme oppover langs anodestammen, og forbedring og styring av denne kjøleeffekten.

Anodekonstruksjonen i aluminiumsceller består av en anodestamme (anodestang), et anodeåk med bolter (plugg) og en karbonanodeblokk. Stammen er festet i sin øvre ende til anodebjelken ved hjelp av en klemme, og den nedre enden er koblet til anodeåket. Boltene er innebygd i anodekarbonblokken. Anodestammen kan være lagd av aluminium eller kobber, mens åket er lagd av aluminium, kobber eller vanligvis av stål. Boltene er lagd av stål. Den elektriske og mekaniske forbindelsen mellom stammen og åket består av en bimetallplate. Konvensjonelt festes boltene i hullene i karbonblokka ved hjelp av støpejern.

I tillegg til at anodestammen tilfører anoden elektrisk strøm og utgjør den mekaniske forbindelsen med anodebjelken, spiller den en viktig rolle i energibalansen til cellen. Omtrent 50 prosent av den elektriske energien som føres til cellen går tapt som varme. Opptil 50 prosent av varmetapet skjer i toppen av cellen, og hoveddelen av dette igjen skjer gjennom anoden.

For en celle på 300 kA ledes omtrent 6-7 kW varme gjennom hver anodekarbonblokk fra elektrolytten og oppover. Noe av dette passerer gjennom dekningsmaterialet for anoden øverst på anoden, men mesteparten av varmen (omtrent 5 kW per anode) ledes gjennom boltene og inn i åket. Omtrent 4 kW dissiperes så fra åket og boltene ved elektromagnetisk stråling og konvektiv varmetransport, mens den resterende 1 kW ledes inn i anodestammen. En del av denne sistnevnte varmen dissiperes til gassen mellom den øvre skorpen og overbygningen, og en del av den dissiperes utenfor overbygningen.

Energibalansen i en aluminiumscelle er nokså ømfintlig. Det er ytterst viktig å opprettholde en riktig energibalanse, siden cellens funksjon i høy grad er avhengig av at innerveggene har et lag frossen elektrolytt som beskytter fôringen. Når strømstyrken økes i eksisterende produksjonslinjer, må det gjøres mange ting for å tilpasse dem til den økte strømstyrken. Velkjente tiltak er å bruke katodekarbon med høy elektrisk ledningsevne, gjøre plass til større (lengre) anoder, øke det indre volumet av cellen ved å bruke tynnere sidevegger, samt å redusere avstanden mellom anoden og katoden (elektrodeavstanden, ACD). Imidlertid finnes det øvre grenser for anodedimensjonene, og en nedre grense for elektrodeavstanden som kan brukes uten for høyt tap av strømeffektivitet og uten risiko for magnetohydrodynamisk celleinstabilitet. Over et visst punkt er det mulig å øke strømstyrken ytterligere bare ved å holde elektrodeavstanden konstant og ta forholdsregler for å øke varmekraften ut av cellen.

Det kan argumenteres for at den enkleste måten å øke varmetapet på er å øke antall bolter i hver anode eller å øke diameteren til boltene. Ved siden av å øke varmetapet har dette den tilhørende fordel at det senker den elektriske motstanden i anodekonstruksjonen. Økningen av varmetapet gjennom boltene er imidlertid mindre enn proporsjonal med økningen i tverrsnittarealet, og de økte dimensjonene på boltene kan føre til problemer med sprekkdannelse i anodene.

Økt varmetap fra boltene/åket vil også føre til høyere temperatur i rågassen. Det er minst tre grunner til at dette er uønsket, 1) høyere vedlikeholdsutgifter med hensyn til filtersekkene i tørrskrubberer hvis temperaturen overskrider den driftstemperaturen de er utformet for, 2) det er viktig å holde temperaturen i overbygningen under visse grenser på grunn av de mange elektromekaniske installasjonene i dette området, og 3) det kan bli høyere varmestress for operatørene som arbeider i nærheten av cellen. Det ekstra varmetapet må derfor kompenseres ved økt innsuging av luft til cellene. Imidlertid er luftstrømmen i eksoskanalene og gassvaskesystemet den klart høyeste massestrømmen i et aluminiumsanlegg (f.eks. 80 tonn luft/tonn Al), og kostnadene ved å transportere gassen er omtrent proporsjonale med tredje potens av volumstrømmen. Dessuten kan også økt innsuging kreve oppskalering av utstyret som brukes til tørrvaskesystemet.

En måte å løse problemet med høyere rågassstemperatur på uten å øke innsugingen er å kjøle ned rågassen ved å sprøyte inn vanntåke i rågasskanalene, som fremlagt i WO

2004 064984. En sannsynlig ulempe med denne måten å avkjøle rågassen på er økt korrosjon i rågasskanalene. Videre vil fuktighetsinnholdet i aluminaen som tilføres til cellene øke, noe som sannsynligvis vil gi høyere HF-utslipp til miljøet. En bedre måte å senke temperaturen i forkant av tørrskrubberer på er sannsynligvis å sette inn en eller flere varmevekslere i rågasstrømmen. Problemene med tilgroing i den støvete og forurensede rågassen later til å være løst; se beskrivelsen i WO 2006 009459.

Det ble nylig fremlagt belegg for at det kan oppnås lavere temperatur i rågassen sammen med en sterk økning av varmefluksen gjennom anoden ved aktiv kjøling av anodeåkene (WO 2006 088375). Muligheten for å øke strømstyrken og også varmemengden som tas ut fra rågassen, ser ut til å være usedvanlig høyt i dette konseptet. Imidlertid kan modifikasjonen av anodeåkene og de nødvendige installasjonene i overbygningen til cellen i noen tilfeller kreve uakseptabelt høye investeringer.

15

NO 318 164 B1 viser en fremgangsmåte for å kontrollere inerte elektroder i en elektrolysecelle for aluminiumsproduksjon. Problemet som skal løses er å redusere oppløsning av anode materiale ved å transportere varme fra den aktive anodeoverflaten og å redusere beleggdannelse på den aktive overflaten av katoden ved fortrinnsvis å holde temperaturen på denne overflaten høyere enn temperaturen i elektrolytten. Ved å løse dette problem kan den elektrolyttiske prosess ved bruk av inerte elektroder forbedres.

20

Grunntanken i den foreliggende oppfinnelsen er å trekke ut mer varme fra cellens indre, samt å oppnå mindre dissipasjon av varme til rågassen ved å lede mer varme fra cellen langs anodestammen. Det kan fjernes mer varme fra cellen ved å forbedre varmeledningen langs stammen eller ved å innføre en konvektiv varmeledningskrets som formes inne i eller festes på stammen. Varmetransportfluidet sirkuleres ned til åket der det varmes opp. Så bringer det denne varmen tilbake utenfor overbygningen, der varmen frigjøres. Opptak og frigjøring av varme kan økes ved faseovergang i kjølemidlet (koking og kondensering).

30

Disse og andre fordeler kan oppnås med oppfinnelsen i henhold til de vedføyde patentkrav.

35

I det følgende beskrives oppfinnelsen mer inngående med eksempler og figurer, der:

Fig. 1 viser en anodekonstruksjon generelt,

- 5 Fig. 2 a-b viser tverrsnitt av to utførelseseksempler av anodestammer i henhold til oppfinnelsen,

Fig. 3 viser et diagram over temperaturgradienter langs en anodestamme, beregnet for fire tilfeller som omtales i teksten nedenfor.

10

Fig. 1 viser en anodekonstruksjon for en elektrolysecelle som innbefatter en anodestamme 1 koblet til en anodebjelke 2 og et anodeåk 3 samt bolter 4 som gir elektrisk kontakt mellom åket og en karbonanode 5. Anodestammen kjøles ved å øke overflatearealet til stammen over cellens overbygning 6, eller ved hjelp av et kjølemedium som sirkulerer langs stammen. Kjølingen av anoden kan kombineres med bruk av et varmeisolerende materiale 7 på anodestammen nedenfor (inne i) overbygningen.

15

Fig. 2a og 2b viser to realiseringer for å transportere kjølemediet inne i anodestammen

20 1. Figurene viser mulige tekniske løsninger som også kan brukes i kombinasjon med kjøling av anodeåket (WO 2006 088375).

20

På Fig. 2a inneholder anodestammen 1 et langsgående rør 22 for det kalde fluidet som tilføres eller tilbakeføres til toppen, og et annet langsgående rør 23 for det varme fluidet fra nederst på stammen eller fra åket og nederst på stammen. Det sistnevnte røret er varmeisolert 24 for å unngå at det varmer opp det kalde fluidet eller anodestammen selv. Rørene kan lages parallelle som på Fig. 2a eller konsentriske som på Fig. 2b.

25

På figur 2b inneholder anodestammen 1' et langsgående rør 22' for det kalde fluidet som tilføres eller tilbakeføres til toppen, og et annet langsgående rør 23' for det varme fluidet som kommer fra nederst på stammen eller fra åket og nederst på stammen. Rørene arrangeres konsentrisk med et lag isolasjon 24' mellom dem.

30

Den foretrukne tekniske løsningen bør som nevnt være et fluid som fordampes i den nedre delen av stammen eller inne i anodeåket og kondenseres i den øvre delen av

35

stammen. Siden det er forholdsvis stor kontaktflate mellom anodebjelken og stammen, kan varmen fra øverst på stammen trekkes ut ved å kjøle anodebjelken. Dette eliminerer ekstraarbeidet som kreves når anodene skal byttes hvis fluidtilførselen til og fra stammen eller åket må kobles fra og til.

5

Sirkuleringen av kjølemediet kan drives av en pumpe eller kompressor. Den kan også utføres ganske enkelt ved hjelp av oppdrift. Dette er det klassiske begrepet termosifong. Varmetransportfluidet oppvarmes nederst (åket). Det utvider seg og strømmer til toppen (utenfor elektrolysecellen) der det avkjøles. Tettheten øker og fluidet faller nedover igjen til åket. I dette prospektet ble CO<sub>2</sub>-basert termosifong funnet å være spesielt lovende. CO<sub>2</sub> er en inert gass, noe som reduserer sikkerhetsproblemet, og egenskapene for varmeveksling er svært gode. Beregninger viste at 0,014 kg/s CO<sub>2</sub> ved 50 bar kunne frakte 3 kW mellom varmesiden (åket) ved 300 °C og toppen av stammen når temperaturen der holdes på 100 °C. Hvis man fyller varmetransportfluid ved høyere trykk enn det kritiske trykket (70 bar), fungerer termosifongen transkritisk. Ved svært høy tetthetsforskjell mellom kulde- og varmesiden kan det oppnås høy sirkulasjon uten faseovergang, noe som reduserer faren for ustabilitet betraktelig.

For å sikre at det kan trekkes ut mye varme må varmetransportfluidet avkjøles ovenfor overbygningen. Det er mange måter å realisere denne avkjølingen på. Den enkleste, men ikke mest effektive måten, er å øke overflatearealet i varmetransportkretsen over overbygningen med kjølefinner. Det kunne også sprøytes vann på disse finnene.

En mer avansert løsning ville være å koble toppen av varmetransportkretsen sammen med en ekstern kjølemodul. Varmeveksling mellom varmetransportfluidet og kjølemediet kan sikres ved en egnet varmeveksler. For å kjøle dampen øverst på opphenget bedre, blir røret som transporterer den varme gassen oppover gjennom opphenget utvidet øverst på opphenget, d.v.s. til en liten beholder. Beholderen anbringes ovenfor området der strømmen føres inn i opphenget fra anodebjelken.

30

Denne løsningen krever imidlertid at kjølekretsen åpnes, noe som kan være en tungvin operasjon. Faststoffkontakt mellom finnene til varmetransporten og kjølekretsen er en annen mulighet.

Det ideelle er å utnytte varmen som trekkes ut til kraftproduksjon. Kjølekretsen vil da fortrinnsvis være av Rankine-typen med en ekspansjonsturbin som driver en generator.

5 Varme som trekkes ut fra flere anodestammer kan samles og føres til en enhet for energikonvertering som med fordel anbringes utenfor produksjonshallen.

Nylig er det utviklet såkalte termioniske materialer. Hvis det installeres et slikt materiale på finnene i varmetransportkretsen, vil det sørge for kjøling og omdanne varme til strøm uten kompliserte koblinger.

10

Som det allerede bør være klart ut fra beskrivelsene og argumentasjonen ovenfor, vil denne måten å trekke ut varme på øke potensialet for økning av strømstyrken, samt redusere kravet til høyere luftinnsuging etter økningen av strømstyrken. Men det må også nevnes at:

15

- Hvis temperaturen i åket og anodeopphenget senkes, øker den elektriske ledningsevnen gjennom opphenget og åket, d.v.s. at det sparer energi.

20

- Oppfinnelsen vil bidra til å stabilisere temperaturen i opphenget og åket på lavere nivå enn i dag, og gjøre det mulig å fjerne bimetallskjøten. Om den ikke fjernes, vil den iallfall få lengre levetid.

25

- Med mer stabil temperatur i opphenget og åket kan strømstyrken gjennom de individuelle opphengene måles indirekte mer nøyaktig enn i dag, ved å måle spenningsfallet over en spesifisert del av opphenget.

For å illustrere og understreke hovedideene og hovedtrekkene ved den foreliggende oppfinnelsen ble det laget en forenklet modell av anodestammen og omgivelsene rundt den.

30

Modellen tar hensyn til varmeledningen langs anodestammen og varmen som dissiperes fra stammen. Varmen som overføres fra stammen til omgivelsene ble beregnet ved hjelp av en enkelt varmetransportkoeffisient som skulle inneholde varmetransport både ved konveksjon og ved elektromagnetisk stråling. Som nevnt var det ikke meningen å gjøre modellen svært nøyaktig, men resultatene skulle allikevel

35

regnes som atskillig mer nøyaktige enn estimerer på nærmeste størrelsesorden. I

beregningene ble grensen mellom den nedre enden av anodestammen og bimetallplaten regnet som konstant (280 °C).

Fire tilfeller ble tatt med i beregningen, som omtalt kort nedenfor.

- 5
- Tilfelle 1: Ingen varmeisolasjon på stammen, ingen ekstra kjøling (referansetilfelle, dagens standard).
- Tilfelle 2: Ingen varmeisolasjon på stammen, stammen avkjølt til 50 °C 1 meter fra den nedre enden.
- 10 Tilfelle 3: Stammen varmeisolert nedenfor overbygningen, og avkjølt til 50 °C 1 meter fra den nedre enden.
- Tilfelle 4: Stammen varmeisolert nedenfor overbygningen, men ingen ekstra kjøling.
- 15 Resultatene fra beregningen er fremstilt i tabell 1 (varmefluks) og på figur 3 (temperaturgradienter langs stammen).
- Hvis man sammenlikner tilfelle 2 og tilfelle 1 (referansetilfellet), går det frem at kjøling av stammen utenfor overbygningen fører til at det ledes mer varme inn i
- 20 anodestammen. Denne virkningen ville selvsagt blitt enda mer uttalt hvis anodestammen var avkjølt til lavere temperatur, eller kjølt nærmere åket.
- Tilfelle 3 og tilfelle 2 er sammenliknbare, bortsett fra at stammen er varmeisolert nedenfor (inne i) overbygningen. I dette tilfellet ledes det mindre varme inn i stammen,
- 25 men på den annen side blir dissipasjon av varme til rågassen eliminert. Isolering av åket er derfor et effektivt middel til å senke temperaturen i rågassen. Hvis man sammenlikner tilfelle 3 og tilfelle 4 er det imidlertid klart at stammen må isoleres bare i kombinasjon med kjøling, ellers blir det ledet atskillig mer varme inn i stammen.
- 30 Det er mange måter å realisere kjølingen av anodestammen på. Den enkleste, men ikke mest effektive måten, er å øke overflatearealet av stammen over overbygningen, d.v.s. forsyne anodestammen med kjølefinner. Andre måter å realisere kjøling av anodestammen på beskrives i patentkravene nedenfor.



	Tilf. 1	Tilf. 2 !	Tilf. 3	Tilf. 4
Ledning fra åk til stamme	1211	1404	1121	610
Dissipasjon utenfor overbygningen	512	964	1121	610
Dissipasjon til rågassen	699	440	0	0

Tabell 1 Varmefluks (i W) inn i og ut av anodestammen i fire forskjellige tilfeller som er beskrevet i teksten ovenfor.

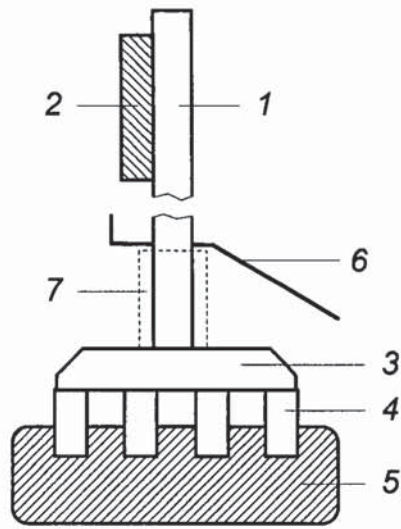
5

## Patentkrav

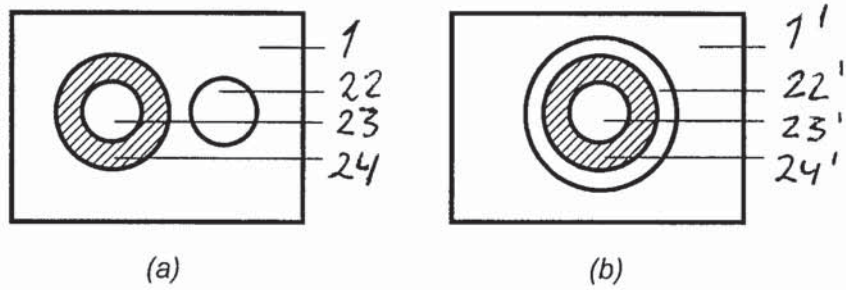
1. Fremgangsmåte for å trekke ut varme fra en elektrolysecelle for produksjon av aluminium, der cellen er innbefattende en overbygning (6) og én eller flere hengende karbonanoder på innsiden av overbygningen som er opphengt via et anodeåk til en anodestamme (1) festet til en anodebjelke (2) i sin øvre ende, og hvor anodebjelken er anbrakt på utsiden av overbygningen, idet varme trekkes ut via anodestammen (1),  
karakterisert ved at anodestammen kjøles slik at den transporterer varme fra innsiden til utsiden av overbygningen, idet anodestammen er påført varmeisolasjon på en del av sin utstrekning som er inne i overbygningen (6).
2. Fremgangsmåte i henhold til krav 1,  
karakterisert ved at kjølingen skjer på grunn av økt varmetap fra stammen (1) over overbygningen (6) til cellen ved at overflatearealet til stammen (1) utenfor overbygningen (6) økes.
3. Fremgangsmåte i henhold til krav 1,  
karakterisert ved at varme trekkes ut via anodestammen ved at anodebjelken avkjøles.
4. Fremgangsmåte i henhold til krav 1,  
karakterisert ved at kjølingen skjer ved at det brukes et kjølemiddel som sirkulerer langs anodestammen (1).
5. Fremgangsmåte i henhold til krav 4,  
karakterisert ved at det er innebygd en separat lukket kjølekrets i stammen, og muligens åket og boltene, eller individuelle kretser i hver av dem, som overfører varme til et kjølemedium som sirkulerer langs anodestammen (1), direkte med samme kjølemedium eller indirekte.

- 5 6. Fremgangsmåte i henhold til krav 4,  
k a r a k t e r i s e r t v e d at det brukes et kjølemedium som er en gass, en  
væske eller en væske som kan fordampe og kondensere, spesielt CO<sub>2</sub>, for å  
unngå høytrykksforbindelse til kjøleløyken, noe som forenkler prosedyrene med  
å bytte anoder.
- 10 7. Fremgangsmåte i henhold til krav 4,  
k a r a k t e r i s e r t v e d at kjølemediet sirkulerer enten ved naturlig  
konveksjon eller ved tvungen konveksjon drevet av en pumpe eller kompressor.
- 15 8. Fremgangsmåte i henhold til krav 1-7,  
k a r a k t e r i s e r t v e d at varme transporteres fra den nedre delen av  
anodestammen (1) og dissiperes i produksjonshallen ved naturlig konveksjon  
fra kjølefinner som fortrinnsvis oversprøytes med vann.
- 20 9. Fremgangsmåte i henhold til krav 1-7,  
k a r a k t e r i s e r t v e d at varme transporteres fra den nedre delen av  
anodestammen (1) ved hjelp av et kjølemiddel og dissiperes utenfor  
produksjonshallen eller inn i en varmeveksler der det kan utvinnes varme til  
kraftproduksjon.
- 25 10. Fremgangsmåte i henhold til krav 1-7,  
k a r a k t e r i s e r t v e d at varme transporteres fra den nedre delen av  
anodestammen (1) ved hjelp av et kjølemiddel og dissiperes av et termionisk  
materiale som produserer strøm.
- 30 11. Fremgangsmåte i henhold til krav 4,  
k a r a k t e r i s e r t v e d at kjølemediet påføres stammen (1) gjennom rør  
(22, 23) som enten er festet til utsiden av stammen eller i kanaler inne i  
stammen.

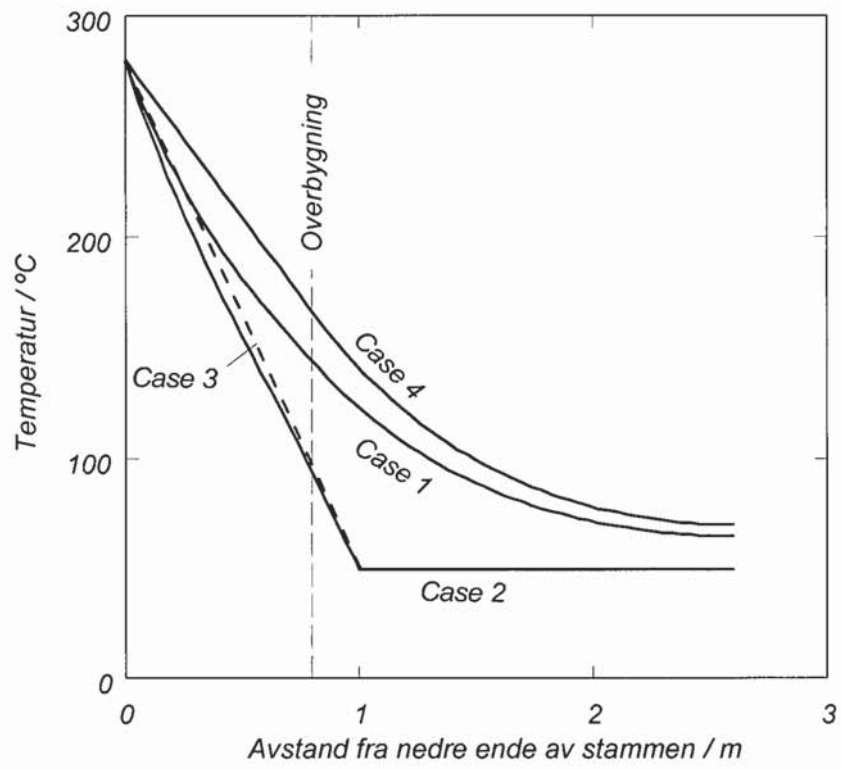
12. Anordning for å trekke ut varme fra en elektrolysecelle for produksjon av aluminium, der cellen innbefatter en overbygning (6) som danner et innvendig rom hvor én eller flere hengende karbon anoder (5) er opphengt i en anodestamme (1) via et anodeåk, og hvor anodestammen er festet til en anodebjelke (2) på utsiden av overbygget ved sin øvre ende, karakterisert ved at anodestammen (1) på innsiden av overbygningen er i det minste delvis termisk isolert og videre innrettet for kjøling ved at det benyttes et kjølemiddel som sirkulerer langs anodestammen gjennom rør (22, 23) som enten er festet til utsiden av anodestammen (1) eller utgjøres av kanaler inne i denne, slik at varme trekkes ut fra innsiden av overbygningen til utsiden av denne ved en lukket kjølekrets.



**Fig. 1**



**Fig. 2**



**Fig. 3**