



[B] (11) **KUULUTUSJULKAISU**  
**UTLÄGGNINGSSKRIFT 65522**

C (45) Patenttihallitus 10 05 1981

Patenttihallitus

(51) Kv.lk.<sup>3</sup>/Int.Cl.<sup>3</sup> H 05 B 3/12

**SUOMI—FINLAND**

**(FI)**

**Patentti- ja rekisterihallitus**  
**Patent- och registerstyrelsen**

(21) Patentihakemus — Patentansökning	752667
(22) Hakemispäivä — Ansökningsdag	23.09.75
(23) Alkuperäpäivä — Giltighetsdag	23.09.75
(41) Tullut julkiseksi — Blivit offentlig	28.03.76
(44) Nähtävääksipanon ja kuul.julkaisun pvm. — Ansökan utlagd och utl.skriften publicerad	31.01.84
(32)(33)(31) Pyydetty etuoikeus — Begärd prioritet	27.09.74
04.08.75 USA(US) 510036, 601638	

(71) Raychem Corporation, 300 Constitution Drive, Menlo Park,  
California 94025, USA(US)

(72) David August Horsma, Palo Alto, California,  
Bernard John Lyons, Atherton, California,  
Robert Smith-Johannsen, Portola Valley, California, USA(US)

(74) Berggren Oy Ab

(54) Kerrostettu itsesäätävä lämmitysesine -  
Skiktat självreglerande uppvärmningsföremål

Tämä keksintö koskee kerroksiin jaettua sähköistä vastuselementtiä, joka saavuttaessaan tietyn korotetun lämpötilan olennaisesti katkaisee elementin läpi kulkevan virran, erityisesti itseohjautuvaa lämpöelementtiä, joka käsittää

(A) ensimmäisen sähkövastuskerroksen, jonka vastuksella on positiivinen lämpötilakerroin (PTC-kerros) sekä ympäristön lämpötilan ylittävä anomalia-  
lämpötila, jonka yläpuolella se on olennaisesti johtamaton,

(B) ainakin yhden toisen kerroksen, jolloin PTC-kerros ja mainittu toinen kerros ovat sähköisesti ja termisesti kosketuksessa toisiinsa ja jolloin toinen kerros on sähköisesti resistiivinen ja sen resistiivisyys on pääasiassa vakio (CW-kerros) ainakin PTC-kerroksen anomalia-  
lämpötilan alapuolella, ja

(C) ainakin kaksi elektrodia, jotka niitä liitettäessä sähköiseen voimalähteeseen aikaansaavat sähkövirran johtamisen PTC-kerroksen ja CW-kerroksen välillä.

65522

Parannus sähkölämmityslaitteissa on viime vuosina ollut itsesäätävien lämmityssysteemien käyttöönotto, joissa käytetään materiaaleja, joilla on tiettyntyyppisiä PTC-ominaisuuksia, nimittäin että kun tietty lämpötila on saavutettu, tapahtuu huomattava vastuksen nousu. Lämmittimissä, joissa käytetään PTC-materiaaleja, ilmoitetaan olevan enemmän tai vähemmän terävät vastuksen nousut kapealla lämpötila-alueella, mutta tämän lämpötila-alueen alapuolella niissä on vain suhteellisen pienet vastuksen muutokset lämpötilan mukana. Lämpötila, jossa vastus alkaa nousta jyrkästi, määritellään usein kytkentä- tai anomialämpötilaksi ( $T_s$ ), sillä saavuttaessaan tämän lämpötilan lämmittimellä esiintyy epäsäännöllinen vastuksen muutos ja käytännön syistä se kytkeytyy pois. Itse säätävillä lämmittimillä, joissa käytetään PTC-materiaaleja, on tavanomaisiin lämmityslaitteisiin nähden etuna se, että ne yleensä poistavat erillisten termostaattien, sulakkeiden tai linjassa olevien sähkövastusten tarpeen.

Yleisimmin käytetty PTC-materiaali on ollut lakattu bariumtitanaatti, jota on käytetty sellaisten keraamisten lämmittimien itsesäätöön, joita käytetään sellaisiin sovellutuksiin, kuten ruoanlämmitystarjotimiin ja muihin pieniin kannettaviin lämmityslaitteisiin. Vaikka tällaiset keraamiset PTC-materiaalit ovat yleisessä käytössä lämmitysovellutuksissa, niiden jäykkyys rajoittaa voimakkaasti sitä sovellutus-alaa, johon niitä voidaan käyttää. PTC-materiaaleja, jotka sisältävät sähköä johtavia polymeeriseoksia, tunnetaan myös, joista joillakin väitetään olevan yllä kuvatut erikoisominaisuudet. Kuitenkin tällaisten polymeeristen PTC-materiaalien käyttö on ollut suhteellisen rajoitettua etupäässä johtuen niiden pienestä lämmityskapasiteetista. Tällaiset materiaalit sisältävät yleensä yhtä tai useampaa johtavaa täyteainetta, esim. nokea tai jauhettua metallia dispergoituna kiteiseen kestopolymeeriin. Erittäin kiteisistä polymeereistä valmistetuilla PTC-seoksilla on yleensä jyrkkä vastuksen nousu, joka alkaa joitakin asteita niiden kiteiden sulamispisteen alapuolella samalla tavoin kuin niiden keraamiset vastineet käyttäytyvät Curie-lämpötilassa ( $T_g$  keraamisille aineille). PTC-seoksilla, jotka on johdettu pienemmän kiteisyyden, esim. alle n. 50 %:n omaavista homopolymeereistä ja kopolymeereistä, on jonkin verran vähemmän jyrkät vastuksen kasvut, jotka alkavat huomommin määritellyssä lämpötilassa alueella, joka usein on huomattavasti polymeerin kiteiden sulamispisteen alapuolella. Ääritapauksessa jotkut alhaisen kiteisyyden omaavat polymeerit antavat vastus-lämpötilakäyrät, jotka ovat enemmän tai vähemmän koverat (ylhäältä). Muut kestopolymeerityypit antavat vastukset, jotka kasvavat melko tasaisesti ja enemmän tai vähemmän jyrkästi, mutta jatkuvasti lämpötilan mukana. Liitteenä olevien piirrosten kuvio 1 esittää luonteenomaisia käyriä yllä mainituille eri PTC-seosten tyypeille. Kuviossa 1 käyrässä I on terävä todella hetkellinen vastuksen kasvu (jäljempänä tunnetaan tyyppin I käyttäytymisenä), joka on yleensä ominainen muun muassa polymeereille, joilla on suuri kiteisyys; käyrä II esittää hitaampaa kasvua alemmissa lämpötiloissa (suhteessa polymeerin sulamispisteeseen), joka jäljempänä tunnetaan tyyppin II käyttäytymisenä, joka yleensä on luonteenomainen polymeereille, joilla on alhaisempi kiteisyys. Käyrä III kuvaa koveraa (ylhäältä) käyrää, joka on luonteenomainen (tyypin III käyttäytymisen) monille erittäin alhaisen kiteisyyden omaaville polymeereille kun taas käyrä IV kuvaa vastuksen suurta kasvua, jossa ei ole enemmän tai vähemmän pysyvän vastuksen aluetta (tyypin IV käyttäytymisen) ainakin kaupallisesti mielenkiintoisella lämpötila-alueella joidenkin materiaalien osalta. Käyrä V esittää lievästi nousevaa vastus-

lämpötilaominaiskäyrää (tyypin V käyttäytyminen), jota monet "normaalit" sähkövastukset osoittavat. Vaikka yllä mainittuja käyttäytymistyyppisiä on kuvattu viitaten etupäässä polymeerimateriaalin erikoistyyppisiin, alaan perehtyneet ymmärtävät, että aineen osoittama kulloinenkin käyttäytymistyyppi on myös hyvin riippuvainen johtavan täyteaineen tyypistä ja määrästä ja noen kyseessä ollen sen hiukkas-koosta ja muodosta, pintaominaisuuksista, agglomeroitumistaipumuksesta, ja hiukkasagglomeraattien muodosta (so. sen struktuurin muodostamistaipumuksesta).

On huomautettava, että alalla aikaisemmin paljastettujen suositeltavien PTC-seosten väitetään kaikkien osoittavan oleellisesti tyyppin I käyttäytymistä. Itse asiassa alalla ei aikaisemmin erityisesti tunnettu tyyppien II-IV käyttäytymistä huolimatta siitä, että monilla alalla aikaisemmin paljastetuilla PTC-seoksilla ei itse asiassa ole tyyppin I vaan mieluummin tyyppin II, III tai IV käyttäytyminen.

Tyyppin I vastus-lämpötilaominaisuuksien kyseessä ollen vastuksen kasvu  $T_s$ -pisteen yläpuolella on nopeaa siten, että pistettä  $T_s$  voidaan pitää lämpötilana, jossa laite kytkeytyy pois päältä. Kuitenkin tyyppin II tai III PTC-materiaaleilla muutos vastuksesta, joka on suhteellisen stabiili lämpötilaa nostettaessa, vastukseen, joka nousee jyrkästi lämpötilan mukana, on paljon huonommin määriteltävissä ja anomalia lämpötila tai  $T_s$  ei usein ole tarkka lämpötila. Tässä patenttimäärittelyksessä, vaikka laitetta voidaan kuvata itse katkaisevana tietyllä  $T_s$ -arvolla, alaan perehtyneet ymmärtävät, että monissa käytännön tapauksissa on sopivampaa ymmärtää  $T_s$ -arvon olevan alhaimman lämpötilan lämpötila-alueella, jolla laite kytkeytyy pois, tai pitää  $T_s$ -arvoa suhteellisen kapeana lämpötila-alueena mieluummin kuin tiettyinä lämpötilana.

Aikaisemmin paljastetuilla itsesäätävillä lämpölaitteilla, joissa käytetään PTC-materiaalia, esitetään olevan erittäin jyrkät (tyyppi I)  $R = f(T)$ -käyrät siten, että tietyn lämpötilan yläpuolella laite itse asiassa sulkeutuu, kun taas tämän lämpötilan alapuolella saavutetaan suhteellinen pysyvä wattiteho vakiojännitteellä.  $T_s$ -arvon alapuolisilla lämpötiloilla vastus on suhteellisen pieni ja vakio- tasolla ja näin ollen virtavuo on suhteellisen suuri millä tahansa käytetyllä jännitteellä. Tämän virtavuon kehittämä energia häviää lämmöksi, so. sähköinen vastus kehittää lämpöä ja lämmittää PTC-materiaalin. Lämpötilan noustessa vastus pysyy tällä suhteellisen

alhaisella tasolla, suunnilleen  $T_S$ -lämpötilaan saakka, jossa pisteessä tapahtuu nopea vastuksen kasvu. Vastuksen kasvaessa tapahtuu samanaikainen tehon lasku, mikä rajoittaa kehittyneen lämmön määrää siten, että kun  $T_S$  saavutetaan, lämmitys oleellisesti lakkaa. Sen jälkeen, kun laitteen lämpötila on laskenut alle  $T_S$ -pisteen lämpöhäviönä ympäristöön, vastus laskee nostaen tehon tuotantoa.

Pysyvässä olotilassa kehittynyt lämpö on oleellisesti tasapainossa hukkaan menneen lämmön kanssa. Näin ollen kun käytetty jännite suunnataan PTC-lämmityselementin läpi, Joule-lämpö saa aikaan PTC-elementin lämpenemisen aina suunnilleen sen  $T_S$ -pisteeseen saakka, tämän lämpenemisen nopeuden riippuessa käytetystä jännitteestä ja PTC-elementin tyypistä, minkä jälkeen vain pientä lämpötilan nousua tapahtuu johtuen vastuksen kasvusta. Johtuen vastuksen noususta PTC-lämmityselementti saavuttaa tavallisesti pysyvän olotilan suunnilleen  $T_S$ -pisteessä säätäen tällöin itse elementin lämmöntuotannon turvautumatta sulakkeisiin tai termostaatteihin. Tällaisen itseensä sisältyvän lämmönsäätöelementin edut ovat monissa sovellutuksissa ilmeiset.

Kohler paljastaa US-patentissa 3 243 753 nokitäytteen polyeteenin, jossa johtavat nokihiukkaset ovat oleellisessa kosketuksessa toistensa kanssa. Kohler kuvaa tuotetta, joka sisältää 40 % polyeteeniä ja 60 % nokihiukkasia, jolloin vastukseksi saadaan huoneenlämpötilassa n. 0,4 ohm/cm. Kuten on tyypillistä alan aikaisempien materiaalien todistetuille ominaisuuksille, Kohler'in PTC-tuotteella kuvataan olevan suhteellisen matala sähkövastuskäyrä lämpötilan funktiona kytkentälämpötilan alapuolella, jota seuraa terävä resistiivisyyden nousu, joka on vähintään 250 %  $14^{\circ}\text{C}$ :n alueella. Kohler'in ehdottama mekanismi resistiivisyyden terävälle nousulle on se, että tällöin muutos on materiaalien, so. polyeteenin ja hiukkasmaisen noen lämpölaajeneman eron funktio. Arvellaan, että seoksen suuri johtavan täyteaineen määrä muodostaa johtavan verkoston polyeteenipolymeerimatriisiin läpi antaen näin alussa muuttumattoman resistiivisyyden alemmilla lämpötiloilla. Kuitenkin suunnilleen kiteidensä sulamispisteessä polyeteenimatriisi laajenee nopeasti ja tämä laajeneminen aiheuttaa monien johtavien verkkojen murtumisen, joka puolestaan johtaa seoksen vastuksen nopeaan kasvuun.

Muihin teorioihin, joita on ehdotettu PTC-ilmiön selittämiseen johtavilla hiukkasilla täytetyissä polymeeriseoksissa, kuuluvat moni-

mutkaiset mekanismit, jotka perustuvat elektronien tunnelinmuodotukseen jyvästen välisten rakojen läpi johtavan täyteaineen hiukkasten välistä tai jotkut mekanismit, jotka perustuvat faasinmuutokseen kiteisistä amorfisiin alueisiin polymeerimatriisissa. Taustakeskustelu lukuisille ehdotetuille vaihtoehtoisille PTC-ilmiön mekanismeille löytyy artikkelista "Glass Transition Temperature as a Guide to the Selection of Polymers Suitable for PTC materials", J. Meyer, Polymer Engineering and Science, November, 1973, 13, n:o 6. US-patentissa n:o 3 673 121 Meyer ehdottaa, että perustuen faasinmuutosteoriaan, jyrkästi nousevan vastuksen PTC-käyrän saavuttamiseksi, jolla on terävä raja (tyyppi I) polymeerimatriisiin tulee sisältää kiteistä polymeeria, jolla on kapea molekyylipainojakautuma. Kawashima et al. paljastavat US-patentissa 3 591 526 PTC-valuseoksen, jossa johtavat hiukkaset, kuten noki dispergoidaan ensin kestopuoviseen materiaaliin ja tämän jälkeen tämä dispergoitu seos sekoitetaan valuhartsiin. Kawashima et al. korostavat samoin erittäin jyrkän lämpötilavastuskäyrän (so.  $R = f(T)$ )-käyrän toivottavuutta, jossa  $T_g$ -piste on välillä n. 100-130°C.

Johtuen niiden joustavuudesta, suhteellisen alhaisesta hinnasta ja asennuksen helppoudesta PTC-nauhakuumentimille, jotka sisältävät johtavia hiukkasia dispergoituina kiteiseen polymeeriin, on viime aikoina löytynyt laajaa käyttöä putkien lankakuumentimina teollisuuden putkistoissa ja sentapaisissa sovellutuksissa. Esimerkiksi tällaisia polymeerisiä PTC-kuumentimia on, johtuen niiden itsesäätävistä piirteistä, käytetty putkin peittämiseen kemiallisissa laitoksissa niiden suojaamiseksi jäätymiseltä tai pysyvän lämpötilan ylläpitämiseen, mikä puolestaan tekee mahdolliseksi vesi- tai muiden liuosten virtaamisen putkien läpi ilman "suolan erottumista".

Tällaisissa sovellutuksissa lämmittimet ihannetapauksessa saavuttavat ja ylläpitävät lämpötilan, jossa energia, joka menee hukkaan lämmönsiirrosta ympäristöön, vastaa virrasta saatua energiaa. Tällaiset lämmittimet koostuvat tavallisesti suhteellisen kapeasta ja ohuesta nauhasta tai suikaleesta, joka on noella täytettyä polymeerimateriaalia, jossa on elektrodit (kuten upotetut kuparilangat) vastakkaisilla reunoilla pitkin suikaleen pituusakselia. Näin ollen on yleensä ajateltu sähköisen jännitegradientin kulkevan pitkin nauhan pituusakselia ja sitä vastaan kohtisuorassa olevaa tasoa pitkin, vastakkaisien elektrodien välille asetetun jännitteen saadessa aikaan koko

nauhan kuumenemisen, tavallisesti suunnilleen sen  $T_g$ -pisteeseen saakka.

Edellä olevasta selostuksesta selviää, että tyyppin I materiaaleilla on merkittäviä etuja edellä lueteltuihin muuntyyppisiin PTC-materiaaleihin nähden useimmissa sovellutuksissa. Tyypillä II ja III on se haitta, että johtuen paljon vähemmän terävästä muutoksesta lämmittimen muuttumaton lämpötila on riippuvaisempi siihen kohdistetusta termisestä kuormasta. Tällaiset seokset kärsivät myös virtasäilysongelmasista, jota kuvataan yksityiskohtaisemmin jäljempänä. Tyypin IV ja V materiaaleja johtuen siitä, että niiltä puuttuu hyödyllinen lämpötila-alue, jolla energian tuotanto muuttuu lämpötilariippumattomuudesta lämpötilariippuvuuteen, ei ole pidetty tähän saakka sopivina materiaaleina käytännön lämmittimiin tavallisissa olosuhteissa.

Niissä käytöissä, joita on kuvattu yllä ja muissakin on olemassa tarvetta joustavista nauhakuumentimista, joilla on paljon suuremmat energian tuotantotiheydet ja/tai korkeammat käyttölämpötilat kuin alalla aikaisemmin ajateltiin. Ei näytä olevan mahdollista käyttää kuumentimia, erityisesti nauhakuumentimia, jotka on valmistettu alan aikaisemmista seoksista ja alan aikaisempien rakenteiden mukaisesti, korkeammilla energian tuotannoilla, so. korkeammilla wattitasoilla (yli n.  $0,23 \text{ W/cm}^2$ ) ja/tai korkeammissa lämpötiloissa (yli n.  $100^\circ\text{C}$ ). Varsinainen alan aikaisempien kuumentimien tuottama wattimäärä on paljon pienempi kuin mitä odottaisi laskemalla lämmitinpinta-alasta ja lämmönsiirtotarkasteluista ilmeisesti johtuen siitä, että lämpöä tuotetaan hyvin ohuessa nauhassa pitkin kahden elektrodin välissä olevan nauhan pituusakselia. Tällaista ilmiötä kutsutaan tässä kuumaviivaksi. Tämä kuumaviiva johtaa riittämättömään ja epäyhtenäiseen lämmitysominaisuuteen ja tekee koko lämmityslaitteen käyttökelvottomaksi suurimmaksi osaksi lämmitysjaksoa sovellutuksissa, joissa suuret wattitehot, erityisesti yli  $100^\circ\text{C}$ :n lämpötiloissa ovat toivottavia. Tarkemmin sanoen koska lämmöntuotanto on rajoittunut kapealle nauhalle tai viivalle poikittain virtatietä vastaan, tämän viivan suuri vastus estää virran kulun viivan poikki aiheuttaen itse asiassa koko lämmittimen sulkeutumisen, kunnes kuumen viivan lämpötila putoaa jälleen alle  $T_g$ -arvon.

Nyt on havaittu, että tämän kuumen viivan tila esiintyy useimmissa ellei kaikissa aikaisemman käytännön mukaan suunnitelluissa polymeerisissä PTC-nauhakuumentimissa, joissa jännite on päällä ja virta

kulkee pituussuuntaa vastaan kohtisuoraan nauhan poikki, tällaisen tilan laajuuden riippuessa yleensä käytetyn jännitteen määrästä sekä polymeerin lämmönjohtokyvystä ja epäyhtenäisen lämpöhukan määrästä. Kuuma viiva pitkin nauhan pituusakselia elektrodien välillä sulkee tehokkaasti lämmityslaitteen siitä huolimatta, että vain pieni osa kalvon pinta-alasta, so. kuuma viiva on saavuttanut  $T_s$ -arvon. Tämä tuhoaa monessa tapauksessa kuumentimen tai ainakin tekee sen niin tehottomaksi, että sillä osoittautuu olevan hyvin pieni lämmityskyky, jonka on havaittu yleisesti liittyvän aikaisemman käytännön mukaisiin PTC-polymeerinauhakuumentimiin.

Yllä olevasta selostuksesta käy ilmi, että kuuman viivan poistaminen on tärkeää PTC-itsesäätävän kuumentimen tehokkaan toiminnan kannalta, erityisesti sellaisen, jolla on suuri energiantuotanto ja/tai korkea käyttölämpötila.

Olisi myös mitä edullisinta, jos voitaisiin valmistaa PTC-itsesäätävä kuumennin, jonka lämmityspinnan muoto olisi jokin muu kuin suhteellisen pitkä, kapea nauha, esim. neliömäinen tai pyöreä lämmitystyyny. Toivottava olisi myös PTC-itsesäätävä kuumennin, joka voitaisiin valmistaa suhteellisen monimutkaisiin kolmiulotteisiin muotoihin, esim. sellainen, joka kykenisi muodostamaan tehokkaan kosketuksen oleellisesti koko kemiallisen prosessiastian ulkopinnan kanssa. Valittavasti pyrkimys kuumaan viivaan on erityisen vallitseva, kun virtatien etäisyys, so. etäisyys elektrodien välillä on suuri verrattuna poikkileikkauspinta-alaan PTC-materiaalin pituusyksikköä kohti, jonka läpi virran on kuljettava. Esimerkiksi kun kyse on lämmitysnauhasta, jossa elektrodit ovat nauhan reunoissa, leveällä lyhyellä nauhallalla on suurempi taipumus kuumaan viivaan kuin samanpituisella saman koostumuksen ja paksuuden omaavalla kapealla nauhallalla. Samoin pituuden ja leveyden ollessa samat mitä ohuempi nauha, sitä suurempi taipumus kuumaan viivaa. Nauhan pituuden lisäämisellä pidettäessä leveys ja paksuus vakiona ei ole merkittävää vaikutusta kuumaviivan muodostamispyrkimykseen. Kuumaviivan muodostumisen ongelmaa ei ilmeisesti ole aikaisemmin riittävästi ymmärretty ja varmuudella mitään koostumus- tai rakenne-ehdotusta sen pienentämiseksi ei ole tehty.

Polymeerisia PTC-seoksia on ehdotettu myös lämmössä kutistuviin tuotteisiin. Esimerkiksi Day kuvaa julkaisussa U.S. Patent Office Defensive Publication T 905 001 lämmössä kutistuvan PTC-kalvon käyt-



töä. Kuitenkin Day'n kutistekalvo kärsii siitä melko vakavasta haitasta, että koska  $T_s$  ei ole korkeampi kuin kalvon kiteiden sulamispiste, vain hyvin pieni palautumisvoima voidaan synnyttää. Buiting et al. ehdottavat US-patentissa 3 413 442 lämmitinrakenteita, joihin liittyy polymeerikerroksen laminointi hopeaelektrodien väliin. Merkittävä haitta Buiting et al.:in rakenteessa on sen joustamattomuus. Lisäksi enempää Buiting et al.:in kuin mikään muukaan edellä selostettu alan aikaisempi kuvaus ei viittaa ja vielä vähemmän ratkaisee tiettyjä lisäongelmia, jotka ovat luonteenomaisia kaikissa alan aikaisemmissa PTC-lämmittimissä.

Ensinnäkin on virtasysäyksen ongelma. Tämä ongelma on erityisen vaikea, kun halutaan saada aikaan lämmitin, jonka  $T_s$  on yli n.  $100^{\circ}\text{C}$ . Monissa sovellutuksissa voitaisiin edullisesti käyttää itsesäätäviä lämmittimiä, joiden  $T_s$  on  $200^{\circ}\text{C}$  tai jopa ylikin. Valitettavasti kuten edellä mainittiin aikaisemmin ehdotetut PTC-lämmitinrakenteet ovat oleellisesti soveltumattomia näin korkeisiin  $T_s$ -sovellutuksiin.

Materiaaleilla, joiden  $T_s$ -arvot ovat huomattavasti yli  $100^{\circ}\text{C}$ , tällaisen materiaalin vastus  $T_s$ -lämpötilassa tai juuri sen alapuolella voi olla jopa 10 kertaa sen vastus ympäristön lämpötilassa. Koska PTC-lämmitin tavallisesti toimii  $T_s$ -lämpötilassa tai hiukan sen alapuolella, sen tehokas lämmöntuotanto määräytyy sen vastuksen mukaan hieinan  $T_s$ -lämpötilan alapuolella. Tämän vuoksi PTC-lämmitin, joka kuluttaa esim. 15 amperia  $200^{\circ}\text{C}$ :ssa, voisi helposti kuluttaa 150 amperia ympäristön lämpötilassa. Tällainen lämmitinsysteemi vaatisi turhaan ylimääräistä virrankuljetuskapasiteettia siihen nähden, mitä pysyvän tilan toiminnassa vaaditaan tai vaihtoehtoisesti vaatii monimutkaisen ja yleensä helposti särkyvän tai kalliin säätöpiirin asentamista estämään 150 amperin alkuvirtasysäystä polttamasta lämmitintä tai siihen johtavia johtimia, kun lämmitin ensimmäistä kertaa kytketään sähkölähteeseen.

Viitaten liitteenä olevien piirrosten kuvioon 2, joka on vastus-lämpötilakäyrä, lämmittimen ominaiskäyrän suositeltavalla tyyppillä (käyrä ABC) on ihannemuodossaan vakiovastus (jota osoittaa suora AB)  $T_s$ -pisteeseen saakka, ja vastus, joka nousee erittäin nopeasti (jota osoittaa suora BC)  $T_s$ -pisteen yläpuolella. Näin ollen käyttöalue sanokaamme sen maksimiarvosta suunnilleen kulutettuun O-virtaan, on se, jota esittävät katkoviivat, jotka leikkaavat vastus-lämpötilakäyrää kohdissa B ja D. Ihannelämmittimen energiantuotantoon eivät vaikuta

lämpötilan muutokset  $T_s$ -pisteen alapuolella, mutta sen sijaan muutokset sen koko alueella hyvin kapealla lämpötilavälillä  $T_s$ -pisteen yläpuolella. Valitettavasti kuten edellä on kuvattu hyvin harvoilla jos millään PTC-materiaalilla itse asiassa on tätä ihanneominaisuutta. Lähintä käyrää, joka tavallisesti voidaan saada käytännön lämmittimillä, esittävät viivat AB'C'. Jos sallittu maksimiteho, joka otetaan ulos sähkövirtapiiristä, saadaan vastuksella kohdassa A, niin käyttöalue itserajoitukselle tai "säädölle" saadaan viivan B'C' sillä osalla, joka on katkoviivojen välissä. On ilmeistä, että lämmittimen lämpötila toimittaessa "säätävissä" olosuhteissa vaihtelee paljon enemmän tässä viimeksimainitussa tapauksessa ja käytettävissä oleva tehoalue "säädetyllä" alueella on pienempi kuin ihannetapauksessa. Jos halutaan saada tehoalue, joka vastaa ihannetapauksen aluetta, tarvitaan viivan A'B"C" tapainen vastuksen ominaiskäyrä.

Viitaten jälleen kuvioon 2 käyrä AEF esittää osaa tyyppin II PTC-materiaalin vastusominaiskäyrästä. Jos kuten edellisessä tapauksessa käyttötehoalue on määritetty katkovastusviivoilla, voidaan helposti arvioida, että lämmittimen lämpötila vaihtelee käytössä melko laajoissa rajoissa riippuen termisestä kuormasta.

Vaikka kuten yllä mainittiin alalla aikaisemmin ymmärrettiin se huomattava etu, joka on lämmitinseoksen käytössä, jolla on tyyppin I vastuslämpötilakäyrä, monet seoksista, joihin alalla aikaisemmin on viitattu, osoittavat käyttäytymistä, joka muistuttaa läheisemmin tyyppin II tai jopa tyyppin III käyttäytymistä. Optimaalinen (tyyppi I) ominaiskäyrä on vain rajoitetulla seosvalikoimalla ja on ollut olemassa kauan tiedostettu tarve keinolle modifioida seoksia, joilla on tyyppin II tai III käyttäytymisen sijaan, että käyttäytymisestä tulee tyyppin I kaltainen tai että se ainakin lähestyy paremmin sitä.

Alan aikaisemmille PTC-nauhalämmittimille luonteenomainen lisäongelma on se, että kun halutaan lämmittää epäsäännöllisen muotoista alustaa, lämmitin on kiedottava alustan ympärille, mikä johtaa siihen, että tietyt nauhan osat kokonaan tai osittain peittävät toisia osia. Tämä päällekkäisyys saattaa aiheuttaa epäsäännöllisen lämmityksen.

Näin ollen on ilmeistä, että vaikka suuri joukko PTC-seoksia ja -rakenteita tunnetaan alalla entuudestaan, kaikilla tällaisilla seoksilla ja rakenteilla ja itse asiassa kaikilla niiden ilmeisillä yhdistelmillä on vakavia puutteita, jotka voimakkaasti rajoittavat

itsesäätävien PTC-lämmityselementtien käyttöä.

Tämän keksinnön tarkoituksena on tarjota elementti, jolla ei ole tunnettujen ratkaisujen mainittuja haittoja. Tämä aikaansaadaan keksinnön mukaisesti sellaisella elementillä, jossa ainakin osa PTC-kerroksen pinnasta on suorassa sähköisessä kosketuksessa ainakin osaan CW-kerroksen pinnasta, ja jossa PTC-kerroksen virtatien vastus on suurempi kuin CW-kerroksen virtatien vastus ainakin koko elementin korotetussa käyttölämpötilassa, jolloin siinä tapauksessa, että CW-kerros tai -kerrokset muodostuvat materiaalista, jonka ominaisvastus on 25°C:ssa pienempi kuin 1 ohm-cm, elektrodit ovat siten järjestetyt, että mainitun korotetun lämpötilan alapuolella olevassa lämpötilassa virtatiellä on sellainen komponentti CW-kerroksen tai -kerroksien tasossa, että CW-kerroksen tai -kerroksien virtatien vastus on suurempi kuin PTC-kerroksen vastus, niin että ainakin 50 prosenttia elementin tehosta syntyy CW-kerroksen tai -kerrosten vastuskuumennuksen johdosta.

Kun elementti on yhdistetty sähköiseen virtalähteeseen ja elementin lämpötila saavuttaa korkeamman kuin

(A) sen lämpötilan, jossa ensimmäisen kerroksen vastus ylittää toisen kerroksen vastuksen (so. niiden elektrodien välisen virtatien vastaavien osien vastukset)

(B) ensimmäisen kerroksen anomalia-<sup>l</sup>ämpötilan, vallitseva virtavuo elektrodien välillä on pitkin viivaa, joka minimoi virtatien pituuden ensimmäisen kerroksen läpi.

On suositeltavaa, että virtatien pituus PTC-kerroksen läpi ei ylitä sen paksuutta (mitattuna kohtisuoraan elektrodien välistä viivaa vastaan) yli 50 %:lla ja mieluummin ei yli 20 %:lla.

On edullista, että PTC-kerroksella on kaksi oleellisesti tasomaista pintaa, jotka voivat olla yhdensuuntaiset, ja jotka kummatkin ovat ainakin osittain kosketuksessa CW-kerroksen pinnan kanssa.

65522

Vaihtoehtoisesti elektrodi voi olla metallia, joka voi olla upotettu tai kosketuksessa joko PTC-kerroksen tai CW-kerroksen pinnan kanssa tai kosketuksessa jomman kumman (so. pinnalla, joka on syrjässä rajapinnalta) tai molempien pintojen kanssa niiden välisellä jakopinnalla. Elektrodi voi olla kudosta, punosta, hila (esim. sarja yhdensuuntaisia elektrodeja tai seula tai verkko) ja langan, nauhan tai kalvon muodossa. Se voi olla myös kuitu. Kun elementti on sijoitettava johtavalle alustalle, kuten metalliputkelle, alusta voi itse muodostaa yhden elektrodin.

Elementti voi sisältää useita elektrodeja, jotka on tarkoitettu yhdistettäväksi sähköisen teholähteen kuhunkin päätteeseen, useiden tarkoittaessa tässä sarjaa. Elektrodit tietyssä sarjassa ovat mieluummin yhdensuuntaiset ja yhtä etäällä toisistaan. Kaksi sarjaa voi olla sijoitettu yhdensuuntaisesti toistensa kanssa tai poikittain erityisesti kohtisuoraan mieluummin yhdensuuntaisissa tasoissa. Kun sarjat ovat yhdensuuntaiset, elektrodi yhdessä sarjassa voi olla sijoitettu vastapäätä toisessa sarjassa olevaa elektrodia tai se voi olla sijoitettu vastapäätä toisessa sarjassa olevan kahden elektrodin välistä rakoa. Vierekkäisten elektrodien välinen etäisyys tietyssä sarjassa ja yhden sarjan ja toisen sarjan elektrodien välillä yhdessä sarjojen sijoittamisen kanssa CW- tai PTC-kerrosten ja niiden välisen jakopinnan suhteen voivat kaikki vaikuttaa lämmittimen suorituskykyyn.

Tämän keksinnön elementillä voi olla mikä tahansa suuresta määrästä rakenteita, joista joitakin esitetään ja kuvaillaan alla. Esi-merkiksi se voi sisältää kahden kerroksen tai kalvon, yhden CW- ja toisen PTC-materiaalia olevan kerroksen laminaatin, tai viipale-rakenteen, jossa toisen materiaalin yksi kerros on toisen materiaalin kahden kerroksen välissä. Toisen materiaalin kerros voi olla täysin toisen ympäröimä; PTC-materiaali voi olla pelkän kerroksen muodossa, joka välittömästi ympäröi yhtä tai molempia pituussuuntaisten elektrodien parista; tai PTC-materiaali voi olla yhden kerroksen muodossa, joka ympäröi pituussuuntaisia elektrodeja ja muodostaa nauhan niiden välille.

Elementti voidaan päällystää yhdeltä tai useammalta tai kaikilta puolilta eristävällä kerroksella. Vaihtoehtoisesti tai lisäksi voi ainakin yhdelle pinnalle olla levitetty mieluummin lämpöaktivoitu liima- tai tiivistekerros. Joissakin toteutusmuodoissa CW-kerros

voi palvella tätä tarkoitusta.

On edullista, että ensimmäinen ja toinen kerros ovat polymeeri-materiaaleja, joihin on dispergoitu johtavia hiukkasia, esim. nokea.

On edullista, että elementti on lämmössä palautuva. Mieluummin koko elementti on lämmössä palautuva, so. kaikki kerrokset kykenevät itsenäisesti palautumaan lämpöstabiiliin muotoon tai sitä kohti, mutta joissakin toteutusmuodoissa jotkut kerrokset voivat yksinkertaisesti olla passiivisia ja sallia elementin palautumisen yksikkönä. On suositeltavaa, että elementin palautusmislämpötila on elementin käyttöalueella sen toimiessa lämmittimenä. Elementti voidaan laminoida lämmössä palautuviin esineisiin, kun elementti itse mieluummin on lämmössä palautuva.

On myös edullista, että elementillä on tehollinen  $T_g$ -piste  $90^{\circ}\text{C}$ :n yläpuolella, joka on korkeampi kuin ensimmäisen kerroksen luontainen  $T_g$ -piste; tämä kerros on edullisesti polymeerinen kerros, mieluummin silloitettu polymeerinen kerros ja sen kiteiden sulamispiste on alempi kuin tehollinen  $T_g$ -arvo.

Ympäristön lämpötiloissa ensimmäisen ja toisen kerroksen resistiivisyydet voivat olla suhteessa 0,1:1,0 - 20,0:1,0.

PTC- ja CW-kerrosten ja elektrodien muoto ja sijaintisuhde ovat tiettyjen rajoitusten alaisia ja seuraavat vaatimukset on täytettävä:

1. Missä tahansa lämpötilassa ainakin osa virtavuosta vastakkaisen napaisuuden omaavien elektrodien välillä kulkee ainekin vähintään yhden PTC-kerroksen osan läpi ja myös ainakin vähintään yhden CW-kerroksen osan läpi.

2. PTC- ja CW-kerrosten välillä on sekä sähköinen että termien kosketus (ja näin ollen kytkentä). Sähköiset ja termiset gradientit voivat olla yhdensuuntaiset tai ei-yhdensuuntaiset toistensa kanssa.

Kuten jäljempänä yksityiskohtaisemmin esitetään, tietyillä elementeillä, jotka on valmistettu tämän keksinnön mukaisesti, on korkeampi anomaliaalämpötila kuin itse PTC-kerroksen luontainen  $T_S$ -piste. Elementin  $T_S$ -pistettä kutsutaan teholliseksi  $T_S$ -pisteeksi.

On edullista, että PTC-kerroksessa olevat termiset ja sähköiset gradientit ovat pääasiassa pitkin samaa viivaa tai akselia PTC-kerroksen  $T_S$ -pisteessä tai sen tai tehollisen  $T_S$ -pisteen yläpuolella, jos viimeksimainittu on korkeampi.

3.  $T_S$ -pisteessä tai tehollisessa  $T_S$ -pisteessä tai niiden yläpuolella, jos viimeksimainittu on korkeampi maksimi virtavuon tie on se tie, jolla on minimi virtatien pituus PTC-kerroksen tai -kerrosten läpi, vaikkakin tällöin aikaansaadaan pitempi virtatien pituus CW-kerroksen tai -kerrosten läpi.

Elementin rakenne on tietyissä tapauksissa mieluummin sellainen, että virran suunnassa lyhin virtatie PTC-kerroksen läpi ei mittayksiköllään ylitä PTC-kerroksen maksimipaksuutta tasossa, joka on kohtisuorassa elektrodeja yhdistävää tasoa vastaan ja kohtisuorassa virtavuota vastaan, enempää kuin n. 50 % ja mieluummin enempää kuin n. 20 %.

Sanan paksuus tarkoitetaan tässä käytettynä merkitsevän mittaa minkä tahansa kahden PTC-kerroksen pinnan välillä (sisä- ja ulkopinnan), joka on pienimmän mitan dimensio. Useimmissa tämän keksinnön mukaisissa lämmitinrakenteissa virtavuo PTC-materiaalin läpi  $T_S$ -pisteessä tai sen yläpuolella on etupäässä kohtisuorassa PTC- ja CW-kerrosten välistä rajapintaa vastaan.

Tämän keksinnön muiden etujen ohella kuumen viivan muodostumista voidaan oleellisesti pienentää tai jopa eliminoida jopa erittäin korkeilla tehontuotannoilla ja/tai käyttölämpötiloilla aikaansaamalla virtavuo PTC-kerroksen paksuuden läpi mieluummin kuin pitkin sen pituutta tai leveyttä.

Muita odottamattomia etuja muodostettaessa laminaatti PTC-materiaalista vähintään yhden CW-materiaalin kanssa ovat ne, että lämmittämiä voidaan käyttää tehoilla ja tarkoituksiin, jotka eivät ole vain jääneet tarkastelematta, vaan ovat itse asiassa olleet saavuttamattomissa aikaisemmin ehdotetuilla rakenteilla.

CW-kerros tai -kerrokset, jos ne ovat riittävän johtavia, voidaan suoraan yhdistää teholähteeseen, jotta se toimisi elektrodina ja voitaisiin pitää sellaisena. Vaihtoehtoisesti CW-kerrokseen on voitu kyllästä sisään tai ulkopuolelle elektrodit virran johtamiseksi niiden läpi. Tällaiset CW-kerros-elektrodiyhdistelmät poikkeavat kriittisesti aikaisemmin ehdotetuista elektrodin-PTC-viipalerakenteista, sillä tällaisissa alan aikaisemmissa rakenteissa elektrodikerrokset toimivat vain johtimina eivätkä resistiivisinä lisälämmityselementteinä. Vastakohtana tälle tämän keksinnön rakenteissa CW-kerros, joka on suorassa kosketuksessa PTC-kerroksen kanssa, toimii sekä elektrodina että myös tehokkaana lämpötehon lähteenä.

Tämän keksinnön mukaisesti kestumuovisia polymeeriseoksia, joilla on PTC-ominaisuuksia, voidaan sopivasti käyttää lämmityselementtinä, joka lähestyy paremmin tyyppin I ominaisuuksia kuin PTC-materiaali sellaisenaan, joka tavallisesti osoittaisi tyyppin II, III tai IV ominaisuuksia. Erityisesti itse asiassa kaikkia aikaisemmin ehdotettuja polymeerisiä PTC-materiaaleja voidaan käyttää PTC-kerroksena lämmityselementissä, joka on valmistettu tämän keksinnön mukaisesti.

Sopivia johtavia täyteaineita tässä keksinnössä hyödyllisiin polymeerisiin PTC-seoksiin hiukkasmaisen noen lisäksi ovat grafiitti, metallijauheet, johtavat metallisuolat ja -oksidit ja boorilla tai fosforilla voideltu pii tai germanium.

On suositeltavaa, että PTC-materiaalilla on vähintään kertoimen kuusi suuruinen vastuksen kasvu  $30^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilan nousulle alkaen  $T_s$ -pisteestä, tai sillä on kertoimen kuusi suuruinen kasvu alle  $30^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilan nousulle alkaen pisteestä  $T_s$ .

Kuten tässä selostuksessa on mainittu, vaikka alan aikaisemmat paljastukset painottavat niitä käytännön etuja ja merkitystä, jotka sellaisen resistiivisten seosten aikaansaamisella ovat, jotka osoittavat tyyppin I vastus-lämpötilaominaisuutta, käytettävissä olevien tällaisten seosten lukumäärä on suhteellisen pieni huolimatta alan aikaisemmista patenttivaatimuksista. Useimmilla tähän saakka paljastetuilla seoksilla on itse asiassa tyyppin II ja III vastusominaisuudet. Näin ollen menetelmä, joka saa PTC-materiaaliseokset, joilla on luonnostaan tyyppin II tai III vastusominaisuudet, osoittamaan tarkemmin tyyppin I käyttäytymistä, lisää hyvin suuresti niiden seosten lukumäärää, jotka ovat käytettävissä lämmitys- tai muissa resistiivisissä laitteissa. Niinpä PTC-materiaali voidaan valita sen  $T_s$ -pisteen ja/tai muiden haluttujen fysikaalisten ja/tai kemiallisten ominaisuuksien perusteella ja käyttäen tätä keksintöä aikaansaada lämmityselementti, joka selvemmin osoittaa tyyppin I käyttäytymistä.

Useimpien sähköä johtavien materiaalien sekä PTC- että ei-PTC-materiaalien sähköisen resistiivisyyden havaitaan kasvavan tai laskevan enemmän tai vähemmän huomattavasti lämpötilan mukana. Tämän muutoksen suuruus vaihtelee alle  $\pm 0,5 \text{ \%/}^{\circ}\text{C}$ :sta, joka on luonteenomainen useimmille metalleille,  $\pm 1-5 \text{ \%/}^{\circ}\text{C}$ :en tai ylikin, jotka muutokset esiintyvät useimmilla johtavilla kestumuovisilla polymeeriseoksilla. Useimmilla materiaaleilla kuitenkin muutoksen suunta ja suuruus on sellainen, että kun ne toimivat sähkövastuslämmittimessä, lämmittimen saavuttama lämpötila määräytyy etupäässä sitä ympäröivään tilaan tapahtuvan termisen johtumisen tai säteilyn määrän mukaan eikä etupäässä sen kytkentämekanismien mukaan, jota edellä kuvattiin kaupallisesti hyödyllisille PTC-lämmittimateriaaleille. Näin ollen sanonta CW-materiaalia tai CW-tehontuotantomateriaali tarkoittaa tässä käytettynä materiaalia, jonka vastus ei nouse enempää kuin kertoimella kuusi millään  $30^{\circ}\text{C}$ :n alueella sen PTC-materiaalin  $T_s$ -pisteen alapuolella, jonka kanssa se on kosketuksessa. Mieluummin CW-materiaalin resistiivisyys on vähintään 1 ohm/cm  $25^{\circ}\text{C}$ :ssa. On luonnollisesti huomattava, että kun CW-kerros tai -kerrokset yhdistetään PTC-materiaalin kanssa, ne voivat saada aikaan lämmittimen, jolla sen  $T_s$ -pisteen



alapuolella esiintyy yllä mainittujen rajojen sisällä olevia resistiivisyyden muutoksia, vaikka tämä kerros tai nämä kerrokset sisältävät materiaaleja, joilla, jos niiden ominaisresistiivisyys mitataan erikseen, esiintyy näiden rajojen ulkopuolella olevia resistiivisyyden muutoksia. Lisäksi koska monet PTC-materiaalit ovat wattiluvultaan muuttumattomia materiaaleja suunnilleen niiden  $T_s$ -pisteeseen saakka, sanonta muuttumaton wattiluku kattaa tässä käytettynä materiaalit, joilla on PTC-ominaisuudet edellyttäen kuitenkin, että niitä käytetään PTC-materiaalin yhteydessä, jolla on alempi  $T_s$ -piste. Näissä olosuhteissa  $T_s$ -arvoltaan korkeampi PTC-materiaali ei saavuta  $T_s$ -pistettään ja tästä johtuen osoittaa käytössä vain oleellisesti muuttumattoman wattiluvun ominaisuuksia.

Tässä keksinnössä käytettäväksi sopivat muuttumattoman wattiluvun materiaalit ovat aikaisemmin alalla hyvin tunnettuja. Sopivia tässä suhteessa ovat polymeerit, erityisesti kestumuovipolymeerit, jotka sisältävät suuria määriä johtavia hiukkasmaisia materiaaleja, esim. nokea tai metalleja. Kun kestumuovimateriaalille tapahtuu suuri tilavuuden muutos sen sulamis- tai pehmenemispisteessä, mikä pyrkii pienentämään johtavien teiden lukumäärää hiukkasten välillä tässä lämpötilassa tai lähellä sitä ja aiheuttamaan materiaalin vastuksen kasvun, tällaiset kasvut voidaan välttää moninkertaistamalla vaihtoehtoisten johtavien teiden lukumäärä esimerkiksi lisäämällä johtavan materiaalin määrää ja/tai käyttämällä johtavan materiaalin strukturoidumpaa muotoa. Strukturoitu merkitsee tässä käytettynä sekä yksityyppisten hiukkasten muotoa (esim. pallomaista, linssimäistä tai fibrillimäistä), että näiden hiukkasten pyrkimystä agglomeroitua, kun ne liitetään polymeerimatriisiin. Sopivia ovat myös oleellisesti epäorgaaniset, joustavat muuttumattoman wattiluvun materiaalit, joihin kuuluu hiilipääällysteinen asbestipaperi, jota kuvataan esimerkiksi Smith-Johansen'in US-patentissa 2 952 761. On selvää, että joissakin sovellutuksissa suuren taipuisuusasteen mukanaolo ei ole tarpeen ja resistiivisiä metallilankalämmittimiä, jotka on tuettu epäorgaanisilla eristysmateriaaleilla, voidaan käyttää muuttumattoman wattiluvun kerroksena. Tällaisessa tapauksessa resistiivisen metallilankakuumentimen toinen pää voi olla sähköisesti liitetty PTC-kerroksen elektrodin kautta, joka on samassa tasossa PTC-kerroksen pinnan kanssa, mutta ei välttämättä ulotu yhtä pitkälle kuin PTC-kerros. Vielä muissa sovellutuksissa suuri taipuisuusaste voi olla vain edullinen tai toivottava prosessissa, jossa muodostetaan elementti esimerkiksi

tyhjö- tai lämpömuovauksella. Tällaisissa tapauksissa PTC-kerros voidaan muodostaa suhteellisen jäykän, wattiluvultaan muuttumattoman materiaalin kerroksen päälle tai kerrostaa tällaisten kerrosten väliin halutun elementin rakenteessa hyvän termisen kytkennän ylläpitämiseksi kerrosten välillä, virtavuon kulkiessa joko suoraan viereisen jakopintatason poikki tai väliin tulevan elektrodin avulla sen PTC-kerroksen pinnalla, joka jätetään PTC-kerroksen ja wattiluvultaan muuttumattoman kerroksen tai kerrosten väliin.

Näissä toteutusmuotojen tyypeissä voidaan sopivasti käyttää lähes mitä tahansa wattiluvultaan muuttumattoman materiaalin tyyppiä, jota on tarkasteltu sähkölämmittimiin liittyvällä alalla tätä ennen.

Tämän keksinnön tietyissä toteutusmuodoissa wattiluvultaan muuttumaton kerros voi toimia elektrodina olemalla johtavasti yhdistetty suoraan sähköteholähteeseen. Jos wattiluvultaan muuttumaton lämmityskerros ei ole riittävän johtava toimiakseen elektrodina, metallia tai muuta erittäin johtavaa materiaalia oleva elektrodi, esimerkiksi metallihila voidaan upottaa siihen, tämän elektrodin ollessa johtavasti liitetty ulkopuoliseen teholähteeseen. Tietyissä toteutusmuodoissa saattaa olla edullista dispergoida wattiluvultaan muuttumattomaan kerrokseen (joka voi sisältää johtavaa täyteainetta) lisämäärä erittäin johtavaa (mieluummin metallia) täyteainetta kuitujen tai fibrillien muodossa. Tämä toteutusmuoto on erityisen edullinen, kun elektrodit eivät ole yhtä laajat kuin koko wattiluvultaan muuttumattoman kerroksen pinta, mutta rajoittuvat sanottuun pintaan tai wattiluvultaan muuttumattoman ja PTC-kerroksen jakopintaan tai on upotettu sanottuun wattiluvultaan muuttumattomaan kerrokseen.

On huomautettava, että keksinnön mukaisesti valmistetulla rakenteella voi olla mikä tahansa suuresta valikoimasta elektrodien muotoja, tyyppejä, sijoituksia ja materiaaleja. Esimerkiksi metallikangasverkko- tai -hila, taipuisa metallinauha, kierteiset langat, johtava maa- li, kiinteä hiili, esim. hiilikuidut, grafiitilla kyllästetty kuitu, metallipäällysteinen kuitu, esim. kupari tai ruostumaton teräs, geometrialtaan vaihteleva metallinen umpijohto ja muut elektrodit, jotka tunnetaan alalla, ovat kaikki sopivia. Elektrodi, olipa se sitten yhdistetty wattiluvultaan muuttumattomaan kerrokseen tai PTC-kerrokseen tai molempiin, voi olla täysin tai osittain samassa tasossa kuin sen ulkopinta. PTC-kerroksen ulkopinnalla tarkoitetaan sen

pintaa, joka ei rajoitu wattiluvultaan muuttumattomaan kerrokseen ja vastaavasti wattiluvultaan muuttumattoman kerroksen ulkopinta on pinta, joka ei rajoitu PTC-kerrokseen. Vaihtoehtoisesti elektrodi voidaan upottaa PTC- tai wattiluvultaan muuttumattomaan kerrokseen. Vielä toiseen rakenteeseen liittyy elektrodi, joka on upotettu PTC-kerrokseen tai sen ulkopinnalle, ja toinen elektrodi, joka sijaitsee PTC- ja wattiluvultaan muuttumattoman kerroksen välisellä jakopinnalla. On selvää, että haluttaessa voidaan käyttää suurta määrää elektrodeja, jotka on kytketty rinnan kummankin napaisuuden suhteen, jolloin sama sijoitteluvalikoima on sopiva.

Kuten tässä selityksessä edellä on mainittu, tietyt tämän keksinnön toteutusmuodot vaikuttavat merkittävästi sellaisen lämmittimen käyttööminäisyyksiin, joissa käytetään PTC-seoksia. Tarkemmin sanoen, kun käytetään upotettuja tai koskettavia elektrodeja, joiden pinta ei ole yhtä laaja kuin CW- tai PTC-kerroksen pinta, toisiinsa nähden vastakkaisen napaisuuden omaavien elektrodien sijoittelu voi merkittävästi muuttaa laitteen käyttöominaisuuksia. Niinpä, jos napaisuudeltaan vastakkaiset nauhaelektrodit, jotka ovat samassa tasossa, mutta eivät ulotu yhtä laajalle alueelle kuin CW- ja PTC-kerrosten ulkopinnat, sijoitetaan suoraan vastakkain ja yhdensuuntaiksiksi toistensa kanssa, saadaan erilaiset käyttöominaisuudet kuin ne, jotka saadaan, kun elektrodit ovat yhdensuuntaiset, mutta sivusuunnassa erillään toisiinsa nähden tai kun elektrodien pystysuorat projektiot leikkaavat toisiaan. Vaikka keksintöä ei ole tarkoitettu rajoitettavan millään erityisellä teoreettisella tulkinnalla, uskotaan, että elektrodien sijoittelulla on vaikutusta suosittuihin virtateihin eri lämpötiloissa. Niinpä tapauksessa, jossa elektrodit ovat suoraan toisiaan vastapäätä, virtavuo kulkee pääasiassa kohtisuoraan PTC-kerroksen tasoa vastaan. Kuitenkin jos elektrodit siirretään jollakin tavoin tästä järjestelystä ja CW-kerroksen vastus on alunperin (so. alemmissa lämpötiloissa) suurempi kuin PTC-kerroksen vastus, pääasiallinen johtumistie alemmissa lämpötiloissa voi olla kohtisuoraan CW-kerroksen paksuuden tasoa vastaan ja sen läpi ja lävistäjän suuntaisesti PTC-kerroksen paksuuden läpi. Jonkin verran korkeammassa lämpötilassa, jossa CW- ja PTC-kerrosten vastukset tulevat yhtä suuriksi, johtumista tapahtuu pääasiassa lävistäjän suunnassa molempien kerrosten paksuuksien läpi, kun taas vielä korkeammassa lämpötiloissa

suosittu johtumistie voi olla kohtisuorassa PTC-kerroksen paksuuden tasoa vastaan ja sen läpi, mutta lävistäjän suunnassa CW-kerroksen paksuuden läpi.

Yleensä elektrodien asettaminen vastakkain saa aikaan laitteen, jonka vastus-lämpötilakäyrä on samantapainen, mutta ei identtinen sen kanssa, joka saadaan pitämällä elektrodit kummankin ulkokerroksen kokopinnan vieressä. Jos elektrodien välistä sivusuuntaista ja/tai kulmaetäisyyttä suurennetaan vastakkaisesta yhdensuuntaisesta asemasta, sähköiset ominaisuudet pyrkivät poikkeamaan enemmän kuin yksinkertaiselta sarjakytkenältä voidaan odottaa, kuten esimerkeissä yksityiskohtaisemmin esitetään.

Tarkemmin sanoen, kun elektrodiparit asetetaan vastakkain (so. niiden keskus on viivalla, joka on kohtisuorassa PTC- ja CW-kerrosten välistä jakopintaa vastaan) ja virtatie kulkee kohtisuoraan PTC- ja CW-kerrosten läpi, tehollinen  $T_S$  on sellainen, joka on luonteenomainen kerrostettujen materiaalien eristyisyhdistelmälle. Kuitenkin jos yhtä elektrodia (tai yhden napaisuuden omaavia elektrodeja) siirretään tasossa so. yhdensuuntaisesti kerrosten jakopinnan kanssa siten, että virtatie on lävistäjän suuntainen, tehollinen  $T_S$  kasvaa. Yleensä mitä enemmän lävistäjän suuntainen (mitä enemmän siirretty jakopintaa vastaan kohtisuorasta) virtatie elektrodien välillä on, sitä korkeampi on tehollinen  $T_S$ . Itse asiassa kun CW-kerroksen vastus ylittää PTC-kerroksen vastuksen viimeksimainitun ominais- $T_S$ -pisteessä ja kun tällaista sijoitusta käytetään, tehollinen  $T_S$  voi olla oleellisesti PTC-materiaalin kiteiden sulamispisteen yläpuolella. Niinpä riippumatta vastakkaisten elektrodien suhteellisista asemista, kun wattiluvultaan muuttumattoman kerroksen resistiivisyyttä nostetaan suhteessa PTC-kerroksen resistiivisyyteen, myös tehollinen  $T_S$  pyrkii kasvamaan.

Elektrodeilla voi olla vaihtelevat muodot; esimerkiksi niiden poikileikkaukset voivat olla neliömäisiä, suorakulmaisia tai pyöreitä, ne voivat olla suoraviivaisia, tasomaisia tai käyriä nauhoja, spiraaleja (spiraalin nousun kullekin elektrodille ollessa sama tai erilainen) tai suoraviivaisia spiraaleja ja kuten edellä mainittiin, elektrodit voivat olla suoraan vastakkain tai sivusuunnassa tai muulla tavoin siirretty toistensa suhteen ja jompi kumpi tai molemmat elektrodit voivat olla luonteeltaan yksittäisiä tai monikertaisia. Näin ollen on ilmeistä, että tämän keksinnön elementin lämpötehoa ja  $T_S$ -

ominaisuuksia voidaan vaihdella valitsemalla sopivasti elektrodin muoto ja/tai asema, valinnan riippuessa käytöstä, johon rakenne on määrä asettaa ja sopivan järjestelyn ollessa todettavissa rutiiniko-keilulla.

Vaikka useimmissa toteutusmuodoissa PTC-kerros ja CW-kerros tai -kerrokset ovat täysin toisiinsa rajoittuvia (so. yhden kerroksen koko yksi pinta on kosketuksessa toisen kerroksen koko vastaavan pinnan kanssa), joissakin olosuhteissa on edullista, että PTC- ja CW-kerrokset eivät rajoitu täysin toisiinsa koko vastakkaisten pintojen alalta. Erityisesti kun halutaan saada suuren Joule-luvun tehoja korkeissa lämpötiloissa, on edullista kehittää pääosa lämpötehosta wattiluvultaan muuttumattomassa kerroksessa. Tällaisissa tapauksissa PTC-kerros rajoittuu mieluummin vain osittain CW-kerroksen vastakkaiseen pintaan. Tällaiset järjestelyt pyrkivät alentamaan tehollista  $T_s$ -pistettä. Kun PTC-kerros rajoittuu vain osittain wattiluvultaan muuttumattoman kerroksen pintaan, sanottu PTC-kerros voi kärsiä suuria vaihteluita tehon kehityksessä. Tämän vuoksi hyvä terminen kytkentä ja suhteellisten tehotasojen tasapainoitus ovat toivottavia.

Tämän keksinnön avulla aikaansaaduilla elementeillä on käyttöä suuressa joukossa sovellutuksia. Esimerkiksi niitä voidaan käyttää lämmittiminä aikaansaamaan lämmössä palautuvia elementtejä palautumaan alustan pinnalle joko olemalla kokonaisuuteen kuuluva osa lämmössä palautuvasta elementistä tai asettamalla ne oleellisesti kosketta-vaan, lämpö siirtävään suhteeseen sen kanssa. Sovellutuksissa, joissa vaaditaan liiman lämpöaktivointia, tämän keksinnön mukaisesti valmistetuilla lämmittimillä saavutettavissa olevat korkeat lämpötilat ja suuret tehot tekevät ne erittäin toivottaviksi. Elementit ovat hyödyllisiä myös, kun vaaditaan huomattavan alueen yhtenäistä lämmittämistä, kuten esimerkiksi nestevirtaukseen tarkoitetuissa lämmitetyissä putkissa tai suljetun tilan seinäminä tai paneeleina, kuten uuneissa, asunnoissa tai kuljetusvälineissä. Muita käyttöjä ovat lämmittimet teollisuuden prosessiputkiin ja -säiliöihin, jotka vaativat yhtenäistä lämmitystä ja/tai lämpötilan säätöä, ja jäätä poistavat lämmittimet kaduilla ja lentokoneen siivissä. Monien näiden elementtien laminaarinen muoto ja yhtenäiset lämmitysominaisuudet tekevät ne erityisen hyödyllisiksi vesihauteiden, lämmitystarjottimien ja kulhojen ja lääketieteellisten lämmitystyynyjen lämmittiminä samalla, kun niiden kapasiteetti korkean wattiluvun tehoon korkeissa lämpötiloissa tekee ne lisäksi erityisen houkutteleviksi lämmittämiä keittosovellu-

tuksiin, kuten painetolaattoihin ja paininpannuihin.

Useimmat PTC-materiaalit sisältävät kiteisen termoplastisen matriisin, johon on dispergoitu johtavaa, yleensä hiukkasmaista täyteainetta. Esimerkiksi aikaisemmin mainitussa Kohler'in US-patentissa 3 243 753 paljastetaan polyeteenin tai polypropeenin nokiseos, jossa polyolefiini on polymeroitu in situ, ja tällaisilla materiaaleilla on PTC-anomalia-lämpötila lähellä polymeerin sulamislämpötilaa, so. n. 110-120°C. Samoin Kohler et al. paljastavat US-patentissa 3 351 882 polyeteeniin dispergoidut nokihiukkaset, jossa seos voidaan silloittaa tai voi sisältää lämmössä kovettuvia hartseja systeemin lujuuden tai jäykkyyden lisäämiseksi. Kuitenkin  $T_g$ -lämpötila pysyy yhä juuri termoplastisen polyolefiinin kiteiden sulamispisteen alapuolella. Hummel et al. paljastavat US-patentissa 3 412 358 PTC-polymeerimateriaalin, joka sisältää noki- tai muita johtavia hiukkasia, jotka on edeltäkäs in dispergoitu eristävään materiaaliin, homogeenisen seoksen ollessa puolestaan dispergoitu termoplastiseen hartsisideaineeseen. PTC-ominaisuudet saavutetaan ilmeisesti noen ja eristysmateriaalin vuorovaikutuksella ja Hummel et al. ehdottavat, että eristysmateriaalilla on oltava spesifinen sähkövastus ja lämpölaajenemiskerroin, joka on suurempi kuin johtavilla hiukkasilla.

US-patentissa 3 823 217 paljastetaan laaja valikoima johtavilla hiukkasilla täytettyjä kiteisiä polymeereja, joilla on PTC-ominaisuudet. Näitä polymeereja ovat polyolefiinit, esim. pieni-, keski- ja suuritiheyksiset polyeteenit ja polypropeenit, poly(buteeni-1), poly(dodekametyleenipyromellitimid), etyleeni-propyleeni-kopolymeerit ja terpolymeerit, konjugoimattomien dieenien kanssa, poly(vinylideeni-fluoridi) ja vinylideenifluoridi-tetrafluorietyleenikopolymeerit. Ehdotetaan myös, että nokea sisältävien polymeerien seoksia, esimerkiksi polyeteenin ja etyleeni-etyyliakrylaatti-kopolymeerin seosta voidaan sopivasti käyttää. US-patentin 3 823 217 mukaan saavutetaan alhaisemmat vastustasot saattamalla tuote jaksottain polymeerien sulamislämpötilan ylä- ja alapuolelle. Vastuksen muutoksia, jotka aiheutuvat näytteen lämpöhistoriasta, on myös havaittu voitavan vähentää termisellä jaksotuksella. US-patentissa 3 793 716 paljastetaan johtavia polymeeriseoksia, joilla on PTC-ominaisuuksia ja jossa patentissa kiteinen polymeeri, johon on dispergoitu nokea, liuotetaan sopivaan liuottimeen ja liuoksella kyllästetään alusta-aine, mitä seuraa liuottimen haihdutus ja saadaan elementtejä, joiden resistiiv-

visyydet ovat laskeneet huoneenlämpötilassa tietyllä johtavan täyte-  
aineen määrällä. Kuitenkin  $T_s$  yhä on juuri polymeerin kiteiden sula-  
mispisteeseen alapuolella. Samalla tavoin paljastetaan US-patentissa  
3 591 526 nokea sisältäviä polymeeriseoksia, joilla on PTC-ominais-  
uuksia  $T_s$ -lämpötilan ollessa suunnilleen sen termoplastisen materiaa-  
lin kiteiden sulamispisteessä, jota on lisätty toiseen materiaaliin  
seoksen valutarkoituksessa.

Tämän keksinnön erityisen odottamaton piirre on se, että kun senttyyp-  
pisiä seoksia, joiden on alalla aikaisemmin kuvattu olevan hyödylli-  
siä PTC- tai CW-lämmittimiin, käytetään monikerroslämmittimissä,  
jotka on valmistettu tämän keksinnön tiettyjen toteutusmuotojen mu-  
kaisesti, ne osoittavat vastus/lämpötilaominaisuuksia, joita ei mi-  
tenkään odottaisi tarkastelemalla yksityisten kerrosten vastus/lämpö-  
tilaominaisuuksia tai todella olevan sellaisia, joita odottaisi saa-  
tavan, kun tällaisia kerroksia liitetään yhteen sarjaan sähköisen  
virtapiirin muodostamiseksi. Monikerroslämmittimen valmistus tämän  
keksinnön ohjeiden mukaisesti käyttäen kerroksia, joilla on sopivasti  
valitut ominaisresistiivisyydet, voi oleellisesti muuttaa PTC-ker-  
roksen sisältävän elementin  $T_s$ -pistettä lämpötilaan, joka on PTC-  
kerroksen polymeerisen aineosan sulamis- tai pehmenemispisteessä tai  
sen yläpuolella.

Niinpä vaikka alalla aikaisemmin on arveltu, että  $T_s$  on riippumaton  
lämmittimen geometrisesta muodosta, on aivan odottamatta keksitty,  
että tietyt tässä esitetyt geometriset järjestelyt voivat johtaa  $T_s$ -  
pisteiden oleelliseen nousuun jopa polymeerin sulamispisteeseen yläpuo-  
lelle lisäten täten sekä aikaisemmin ehdotettujen että muiden seos-  
ten hyödyllisyyttä ja monipuolisuutta.

Suosittelavassa toteutusmuodossa tämän keksinnön kerrostettu element-  
ti sisältää johtavaa polymeerista PTC-materiaalia olevan keskikerrok-  
sen, joka on pantu tai kerrostettu kahden CW-kerroksen väliin. CW-  
kerrokseen on voitu upottaa tai levittää niiden päälle elektrodit  
(tavallisesti metallia) siten, että syötettäessä jännite elektrodien  
poikki, virta kulkee PTC-kerroksen läpi ja aiheuttaa näin sekä PTC-  
kerroksen että CW-kerroksen lämpenemisen.

Toisessa suositeltavassa toteutusmuodossa lämmityselementti on voitu  
kiinnittää lämmössä palautuvaan materiaaliin tai voitu itse tehdä

lämmössä palautuvaksi, lämmössä palautuvan elementin aikaansaamiseksi, joka voidaan tehdä palautuvaksi sisäisesti kehitetyn lämmön avulla ulkoisesti syötetyn lämmön sijasta. Tällaisella elementillä vältetään näin ollen edullisesti ulkoisen lämmönlähteen vaatimus palautumisen aikaansaamiseen, ja tarvitaan vain liittäminen sähköiseen teholähteeseen.

Tämän keksinnön erityisen suositeltavassa toteutusmuodossa käytetään termoplastisten ja elastomeeristen materiaalien PTC-seoksia, joihin on dispergoitu johtavia materiaaleja, ja joilla esiintyy jyrkkä vastuksen nousu suunnilleen termoplastisen komponentin sulamispisteessä vastuksen jatkaessa nousuaan lämpötilan mukana sen jälkeenkin. Johtuen kasvaneesta varmuusvarasta, jonka vastuksen edelleenkasvu antaa sulamispisteen yläpuolella, tällaiset lämmittimet voidaan rakentaa säätämään  $T_g$ -pisteen yläpuolisissa lämpötiloissa ja vastuksilla, jotka ovat selvästi  $T_g$ -pisteen vastusta suuremmat, mutta silti välttää lämpötilan karkaamisen ja/tai palamisen vaara, jota esiintyy, kun alan aikaisempia PTC-seoksia käytetään tällaisissa rakenteissa. Tällaiset suositeltavat lämmittimet, erityisesti kun vastuksen kasvu lämpötilan mukana  $T_g$ -pisteen yläpuolella on hyvin jyrkkä, ovat korkeiden vaatimusten mukaan tunteettomia, so. PTC-materiaalin toimintalämpötila vaihtelee hyvin vähän termisen kuorman kanssa. Ne voidaan myös laatia tuottamaan suuria tehoja  $T_g$ -pisteeseen saakka, kun ne liitetään sähköisesti teholähteeseen. Johtuen niiden erinomaisesta lämpötilan säädöstä niitä voidaan käyttää aktivoimaan liimoja ja aikaansaamaan lämmössä palautuvia laitteita palautumaan alustojen ympärille, esim. termoplastiset puhelinkaapelivaipat tarvitsematta pelätä alustan sulamista tai muodonmuutosta vaikka se jätettäisiin kytketyksi huomattavan pitkiksi ajoiksi.

Tässä suositeltavassa toteutusmuodossa lämmittimen PTC-ytimeen yhdistetään wattiluvultaan muuttumaton ulkokerros, jonka mahdollisten termoplastisten polymeeriaineesien sulamispiste ei ole suurempi kuin PTC-seoksen termoplastisen polymeerikomponentin sulamispiste. Jos wattiluvultaan muuttumaton kerros sisältää termoplastisia polymeereja, se voidaan tehdä lämmössä palautuvaksi ja/tai valinnaisesti, mutta mieluummin käytetään myös lisäosaa, joka sisältää kerroksen, joka on lämmössä palautuvaa poly-



meeriseosta, jonka palautumislämpötila on alempi kuin PTC-seoksen termoplastisen komponentin sulamispiste. Elektrodit on edullista muodostaa litistetyistä punotuista langoista, jotka valmistetaan punomalla palmikko termoplastisen sydämen päälle ja litistämällä tuote, kun kestopuovi on pehmeä. Tällaisen toteutusmuodon on havaittu olevan erityisen edullinen kuten yllä mainittiin, kun alusta-aine on lämpöherkkä, so. jos se lämmitettynä sulamispisteensä yläpuolelle muuttaa muotonsa tai valuu. Tällaisia sovellutuksia ovat puhelinten jatkosuhvit ja monet muut sovellutukset tietoliikenneteollisuudessa.

Keksintöä kuvataan nyt yksityiskohtaisemmin ainoastaan esimerkin vuoksi viitaten liitteenä oleviin piirroksiin, joissa:

kuviot 1 ja 2, joita on jo selostettu, kuvaavat eri PTC-materiaalien vastus-lämpötilaominaisuuksia;  
kuviot 3-5 ovat perspektiivikuvia alan aikaisemmista rakenteista, joissa käytetään PTC-seoksia;  
kuviot 6-12, 13b ja 15-34 ovat perspektiivikuvia eri elementeistä, jotka on valmistettu keksinnön mukaisesti, tai palvelevat niiden kuvaamista ja selvittämistä;  
kuvio 13a on poikkileikkaus kuviossa 13b esitetystä toteutusmuodosta, kun taas kuvio 14 on poikkileikkaus kuviossa 15 esitetystä toteutusmuodosta;  
kuvio 35 esittää toteutusmuotoa, jossa itse asiassa kärkielektrodeja on sijoitettu tietyin välein pitkin elementin pituutta;  
kuviot 36 ja 37 esittävät teho-lämpötilariippuvuutta tietyissä esimerkeissä kuvatuille tuotteille.

Viitaten nyt tarkemmin kuvioihin 3-5 niissä esitetään erilaisia alan aikaisempia rakenteita, joissa käytetään PTC-seoksia. Kuvio 3 esittää nauhalämmitintä, joka on samantapainen kuin se, joka on esitetty US-patentissa n:o 3 413 442, jossa ohuet hopeakalvot 1 ja 3 on sijoitettu PTC-materiaalin 2 molemmille puolille. Tämä ei ole tämän keksinnön mukaista, vaikkakin laminoitu rakenne esitetään, sillä PTC-kerrokseen rajoittuva materiaali on niin johtavaa, ettei se itse toimi lämmittimenä.

Kuvio 4 esittää US-patentin 3 243 753 mukaista nauhalämmitintä, jossa PTC-materiaalin 6 molemmilla reunoilla on johtavat hilaelektrodit 5 ja 7.

Kuvio 5 esittää aikaisemmin ehdotettua nauhalämmitintä, jossa PTC-materiaalissa 10, jonka poikkileikkaus on dumbbell-kappaleen muotoinen, on johtavat lankaelektrodit 8 ja 9 sijoitettuna pitkin sen pituutta.

Kääntyen nyt tämän keksinnön mukaisesti laadittujen rakenteiden puoleen kuvio 6 esittää PTC-kerrosta 11, johon rajoittuu tai osittain rajoittuu CW-lämmityskerros 12. Wattiluvultaan muuttumattoman kerroksen pinnalla on hilaelektrodi 13, kun taas toinen hilaelektrodi 14 rajoittuu PTC-kerroksen sille pinnalle, joka on kauimpana wattiluvultaan muuttumattomasta kerroksesta 12.

Kuviossa 7 suuri määrä nauhaelektrodeja 16, jotka on kytketty rinnan, on upotettu CW-kerrokseen 15. Vastaelektrodi 18 on jatkuva kalvo, joka on levitetty PTC-materiaalin 17 ulkopinnalle.

Kuvio 8 esittää lisämuunnelmaa, jossa elektrodit 20 ja 22 ovat nauhaelektrodeja (elektrodien 20 ollessa rinnan tai sarjaan kytkettyjä ja elektrodien 22 samoin), elektrodien 20 ollessa kerrostettu PTC-kerroksen 21 ja CW-kerroksen 19 väliin. Tässä rakenteessa vastukseltaan alhainen CW-kerros on toivottava, koska gradienttipotentiaali pitkin kerrosten 21 ja 19 välistä jakopintaa pienenee.

Kuvio 9 esittää samantapaista rakennetta kuin kuvio 6 hilaelektrodin 23 ollessa CW-kerroksen 24 päällä, joka puolestaan rajoittuu PTC-kerrokseen 25. Toinen elektrodi on kuitenkin hilaelektrodi, joka on kerrostettu PTC-kerroksen sisään.

Viitaten kuvioon 10 CW-kerrokseen 27 on upotettu ensimmäinen elektrodien sarja 28, kun taas PTC-kerrokseen 29 on upotettu toinen elektrodien sarja 30.

On ymmärrettävää, että kuvioissa 6-10 esitettyjä eri toteutusmuotoja voidaan käyttää tämän keksinnön mukaisesti missä tahansa yhdistelmässä. Tarkemmin sanoen kuvioissa 6 ja 9 esitettyjä hilaelektrodeja, kuviossa 7 esitettyjä kalvoelektrodeja tai kuviossa 8 esitettyjä nauhaelektrodeja voidaan käyttää missä tahansa näistä toteutusmuodoista ja kahden tai useamman erityyppisen elektrodin yhdistelmää voidaan käyttää annetussa rakenteessa. Ensimmäinen elektrodi voidaan sijoittaa CW-kerroksen päälle, upottaa CW-kerrokseen tai asettaa

CW-kerroksen ja PTC-kerroksen väliin, Toinen elektrodi voidaan sijoittaa PTC-kerrosten vastakkaiselle puolelle toisen CW-kerroksen päälle, sisään tai väliin tai PTC-kerroksen alle tai sen sisään.

Kuvio 11 esittää nauhaelektrodeja 32 ja 34, jotka on upotettu kahteen CW-kerrokseen 31 ja 35, PTC-kerroksen 33 ollessa kerrostettu elektrodi-CW-kerrosten väliin. Luonnollisesti kuten edellä esitettiin, elektrodilla voi olla hila-, kalvo- tai muu rakenne.

Kuvio 12 esittää tämän keksinnön erikoistoteutusmuotoa, joka on havaittu hyödylliseksi  $T_s$ -arvon nostamiseen. Kuten edellä esitettiin, porrastamalla elektrodit siten, että virtatiellä on komponentti kerrosten poikki sen sijaan, että se olisi kohtisuoraan läpi, tehollista  $T_s$ -arvoa voidaan nostaa. Niinpä kuviossa 12 nauhaelektrodit 37 on porrastettu nauhaelektrodien 39 geometrinen kohtisuorien projektioiden väliin, elektrodisarjojen 37 ja 39 ollessa upotettu CW-kerrokseen 36 ja 40 ja PTC-kerroksen 38 ollessa kerrostettu niiden väliin.

Kuviot 13a ja 13b ovat poikkileikkaus ja perspektiivikuvanto suositeltavasta toteutusmuodosta. Suuri määrä lankaelektrodeja 42 sarjaan kytkettyinä on upotettu CW-kerrokseen 41 ja samalla tavoin suuri määrä 45 kerrokseen 44, PTC-kerroksen 43 ollessa kerrostettu kerrosten 41 ja 44 väliin. Langat 42 ovat mieluummin kaikki oleellisesti yhteen suuntaan lankojen 45 ollessa toiseen suuntaan, joka on oleellisesti kohtisuorassa ensimmäistä vastaan. Edelleen koko kerrosrakenteella voi olla kiekon muoto, joka on erityisen hyvin sopiva lukuisiin lämmityssovellutuksiin.

Viitaten kuvioihin 14 ja 15 niissä esitetään kerrostettu rakenne, joka sopii erityisesti lämmön suhteen palautuvien kapselointituotteiden valmistukseen, kuten esitetään täydellisesti suomalaisessa patentissa n:o 64482 (pat.hak. 752666). Tätä tarkoitusta varten kerrokset ovat yleensä taipuisaa polymeerimateriaalia minkä tahansa tai kaikkien kerrosten ollessa tehty lämmössä palautuviksi. Lämmössä palautuvien elementtien ja niiden sovellutusten yksityiskohtasemman kuvauksen suhteen katso yllä mainittua hakemusta. Jos elementtiä on määrää käyttää sähköliitoksen tiivistämiseen käyttäen tämän keksinnön kerrosyhdistelmää, aikaansaadaan ulkokerros 46, joka voi olla eristysmateriaalia, joka voi olla lämmössä palautuvaa, mutta ei välttämättä tarvitse olla sitä. Seuraavana laminaatissa on CW-materiaali,

Johon on upotettu elektrodit 48, jotka voivat olla punottua, saha-  
maista tai kierteistä muotoa ja jotka on kytketty sarjaan teholähtee-  
seen. Seuraavana on PTC-materiaalikerros 49, toisen elektrodien sar-  
jan 51 ollessa upotettu toiseen CW-kerrokseen 50. Toinen eristävän  
materiaalin kerros 53, joka voi olla lämmössä palautuva, on sijoitet-  
tu lämmityskerrosten viereen ja tämän kerroksen 53 ulkopinnalla on  
liimakerros 54, joka on lämpöaktivoitu tämän keksinnön lämmitysele-  
mentillä.

Viitaten nyt kuvioihin 16-34 mitä tahansa muotoa olevia elektrodeja  
on merkitty viitenumeroilla 55 ja 56, CW-kerroksia on merkitty nume-  
roilla 57 ja 58, PTC-kerroksia numeroilla 59 ja 60 ja johtavaa alus-  
taa, esim. putkea numerolla 61.

Kuvio 16 edustaa toteutusmuotoa, jossa tietyn kerroksen dimensioita  
(esimerkiksi paksuutta) ja sen seurauksena CW- ja PTC-kerrosten suh-  
teellisia paksuuksia vaihdellaan paikallisesti tehontuotantotiheyden  
ja/tai tehollisen  $T_s$ -arvon muuttamiseksi. Kuvio 17 edustaa toteutus-  
muotoa, jossa PTC- ja/tai CW-kerros sisältää eri seoksia eri paikois-  
sa wattitiheyden ja/tai tehollisen  $T_s$ -arvon muuttamiseksi.

Kuvio 18 on poikkileikkaus toteutusmuodosta, jossa alusta, esimerkik-  
si metalliputki on osa sähköistä virtapiiriä, ts. se muodostaa yhden  
elektrodeista. Kuvio 19 edustaa toteutusmuotoa, jossa yksityiset ker-  
rokset on kiedottu peräkkäin esineen ympärille, joka on tarpeen läm-  
mittää kerrostetun lämmittimen muodostamiseksi itse paikalla. Kerrok-  
set voidaan saattaa tarttumaan yhteen lämmittämällä joko ulkoisesti  
tai johtamalla niihin sähkövirtaa tai kerrokset voidaan muodostaa  
materiaaleista, jotka tarttuvat yhteen lämpötilassa, jossa esinettä  
käytetään. Tämä on esimerkki toteutusmuodosta, jossa saattaa olla  
erityisen hyödyllistä, että alusta muodostaa osan sähköisestä virta-  
piiristä. Kuviot 20-26 esittävät toista toteutusmuotojen ryhmää.  
Kuviossa 20 esitetyssä rakennemuunnoksessa elektrodilla 56 voi myös  
olla samankeskeinen kerros 60 PTC-materiaalia kuten elektrodille 55  
on esitetty. Kuvioissa 23-25 esitetyt rakenteet ovat esimerkkejä läm-  
mittimistä, joissa johtuminen tehollisen  $T_s$ -pisteen alapuolella  
(riippuen PTC- ja CW-kerrosten suhteellisista resistiivisyyksistä)  
voi tapahtua pääasiassa PTC-kerroksen poikki elektrodien välillä.  
Kuitenkin kun PTC-kerros lämpenee sen  $T_s$ -lämpötilan yläpuolelle,  
johtuminen tapahtuu pääasiassa tai lähes kokonaan toiselta elektrodil-

ta PTC-kerroksen paksuuden läpi lyhimmän mahdollisen tien kautta täältä elektrodilta wattiluvultaan muuttumattomaan kerrokseen ja sitten wattiluvultaan muuttumattoman kerroksen läpi toiselle elektrodille (jälleen mahdollisesti väliin tulevan PTC-kerroksen minimipaksuuden läpi).

Todetaan, että "pääasiallinen" virran kulku, johon tässä on viitattu, on yhteydessä tiehen, jota pitkin suurin virran "vuo" kulkee. Vaikka teoreettisesti tämä tie ei aina ole tarkalleen lyhin tie PTC-kerroksessa, koska jopa  $T_s$ -pisteessä tai sen yläpuolellakin loppuosa PTC-materiaalista kuljettaa jonkin osan virrasta, tämä osa voidaan jättää huomioonottamatta käytännön tarkoituksissa, esim. kuvion 24 tapaisessa rakenteessa, kuten piirroksessa esitetään virta kulkee käytännön syistä pääasiassa kohtisuoraan ylöspäin ja alaspäin PTC-kerroksen 59 läpi ja pitkin kerroksia 57 ja 58, vaikka on oltava olemassa hyvin pieni komponentti toista elektrodia kohti PTC-kerroksessa olevan pääasiallisen virran kulkutiellä. Tämä on riittävän pieni jätettäväksi huomioonottamatta käytännön tarkoituksiin.

Kuviossa 25 esitetyssä rakennevaihtoehdossa kerros 59 voidaan jättää pois ja elektrodi 56 sijoittaa kosketukseen kerrosten 57 ja 58 kanssa erotettuna kauaksi elektrodista 55.

Kuviot 26 ja 27 kuvaavat toteutusmuotoja, joissa PTC-kerros rajoittuu vain osittain CW-kerrokseen. Olemme havainneet, että kun koko CW-pinta-alan sitä osaa, joka on kosketuksessa PTC-pinta-alan kanssa, pienennetään, ympäristön lämpötila, jossa tietyllä käyttöjännitteellä lämmitin rajoittaa tehontuotantoaan, laskee myös.

Kuvio 28 esittää toista kuviossa 21 esitetyn toteutusmodon muunnosta ja tässä kuvion 28 muunnoksessa voi olla yksi CW-kerros 57, joka on sijoitettu siihen missä kerros 59 on kuvattu, ja pari PTC-kerroksia 59 ja 60, jotka korvaavat esitetyt CW-kerrokset 57 ja 58.

Kuviot 29 ja 30 esittävät lisämuunnoksia kerrostetusta peruslämmittimestä, jolla on sama yleinen muoto ja toimintatapa kuin kuvioissa 23-25.

Kuviot 31 ja 32 esittävät muita kuviossa 12 esitetyn toteutusmuodon muotoja, joissa lämmittimen tehollinen  $T_s$  voi edullisesti olla eri kuin pelkän PTC-materiaalin  $T_s$ -arvo edellä kuvatulla tavalla.

Kuviot 33 ja 34 osoittavat, kuinka hyödyllisiä kerrostettuja lämmitimiä voidaan muodostaa yhdistämällä suulakepuristuksella päällystettyjä lankoja, joiden päällysteillä on PTC- tai CW-ominaisuuksia.

Viitaten nyt kuvioon 35, siinä esitetään vielä eräs elementti, joka on laadittu tämän keksinnön mukaisesti ja jossa johtimilla 55 ja 56, jotka käytössä ovat erinäpaisia, on ympärillään samankeskinen eristyskerros 62. Viitenumero 59 edustaa PTC-materiaalia ja 57 CW-materiaalia. Kerros 62 on epäjatkuva johtimen pinnalla siten, että kuten muodoltaan oleellisesti lineaarisessa pitkänomaisessa elementissä esitetään, eristeselementtejä on poistettu jaksottain pitkin johtimen pituutta. Kuten voidaan nähdä, siellä missä eristys on poistettu, johdin on suoraan johtavassa kosketuksessa CW-materiaalin kanssa. Tällaiset kosketusalueet eivät kummallakaan elektrodilla ole vastapäätä toisiaan vaan itse asiassa vinottain vastapäätä pitkin elementin pituusaksella. Tämän toteutusmuodon etuna on, että välttämättä virran kulku napaisuudeltaan vastakkaisten elektrodien välillä ei tapahdu pelkästään elementin leveyden poikki, so. välimatkaa X, vaan itse asiassa virran on kuljettava välimatka Y niin että virtatie kulkee alaspäin osan elementin pituudesta. Pitkä virtatie on toivottava siinä mielessä, että se tekee mahdolliseksi käyttää vastukseltaan pientä CW-materiaalia (mikä tekee mahdolliseksi suurempien jännitteiden käytön) ilman, että se osoittaa pyrkimystä palaa. On luonnollista, että vaihtoehtoisia rakenteita, jotka varmistavat, että virta kulkee ainakin osittain alaspäin elementin pituutta pitkin, on helppo valmistaa. Esimerkiksi rakenteessa, jossa PTC-kerros on kerrostettu kahden CW-kerroksen väliin nauhaelektrodien ollessa sijoitettu CW-kerrosten ulkopinnalle; katkonainen eristyskerros voi olla sijoitettu kummankin wattiluvultaan muuttumattoman kerroksen ja sen pinnalle sijoitetun elektrodin väliin. Tai kun jatkuva eristyskerros on sijoitettu ulkopinnalle, elektrodit voivat vaihtoehtoisesti kulkea eristyskerroksen läpi ja koskettaa CW-kerrosta.

Seuraavat esimerkit kuvaavat keksintöä: tämän keksinnön mukaisesti laaditut elementit voidaan valmistaa monilla eri vanhastaan tunnetuilla tavoilla. Polymeerilämmittimiä varten yksityiset kerrokset voidaan suulakepuristaa erikseen ja sen jälkeen laminoida, sitoa tai muulla tavoin kiinnittää yhteen ja elektrodit upotetaan niihin suulakepuristuksen tai laminoinnin aikana halutulla tavalla. Kerrokset voidaan muutoin tehdä kalanteroimalla tai koekstruusiolla ja elektrodit upotetaan niihin edellä mainitulla tavalla missä tahansa sopivassa

operaation vaiheessa. Suositeltavaa menetelmää valmistaa tiettyä tämän keksinnön mukaista lämmittimen toteutusmuotoa kuvataan yllä mainitussa suomalaisessa patentissa n:o 64482.

Menetelmät ei-polymeeristen johtavien seosten laatimiseksi, jotka sopivat käytettäväksi tässä keksinnössä, esim. keraamiset seokset tai noella täytetty asbestipaperi, ovat alalla hyvin tunnettuja. Kerrokset voidaan kiinnittää toisiin kerroksiin sitomalla, hitsaamalla, liimamalla tai muilla hyvin tunnetuilla menetelmillä, joilla säilytetään tai ylläpidetään johtava kosketus kerrosten välillä.

#### Esimerkki 1

Valmistettiin kuviossa 14 yleisesti esitetyn kaltainen laminaatti, jonka PTC-kerros oli esimerkissä 5 esitetyn seoksen 2 kaltainen ja wattiluvultaan muuttumaton kerros oli esimerkissä 3 esitetyn kaltainen, eristyskerroksen koostuessa polyeteenin ja alhaisstruktuurisen, huonosti johtavan noen seoksesta. Liimakerros oli sulateliimaa, jonka rengas ja pallo-pehmenemislämpötila oli  $110^{\circ}\text{C}$ . Laminaattia säteilytettiin silloittumisen aikaansaamiseksi ennen päällystystä liimalla, kuumavenytettiin kohtisuoraan kierteisiä lankaelektrodeja vastaan ja jäädytettiin. Venytetty kalvo käärittiin polyeteenivaippaisen puhelinkaapelin ympärille ja vastakkaiset päät sidottiin yhteen. Kun elektrodilangat yhdistettiin 12 voltin lyijy-happoakkuun, laminaatti kutistui tasaisesti ja yhtenäisesti puhelinkaapelin päälle.

#### Esimerkki 2

Mitoiltaan  $2,5 \times 15,2 \times 0,05$  cm olevaa nauhaa, jonka vastakkaisille reunoille pitkin sen pituutta oli kiinnitetty kuparielektrodit ja joka koostui 70 %:sta keskitiheyksistä polyeteeniä, 18 %:sta eteeni/-etyyliakrylaattikopolymeeria ja 12 %:sta Cabot Corp.-yhtiön XC72 nokea, lämpökäsiteltiin  $150^{\circ}\text{C}$ :ssa tyhjössä 16 tuntia ja säteilytettiin sitten 20 Mrad:in annokseen saakka ja päällystettiin lämpötilaa ilmaisevalla maalilla (Template  $76^{\circ}\text{C}$ :a osoittavalla maalilla). Elektrodit yhdistettiin 110 voltin vaihtovirtalähteeseen. Alle minuutissa valkoinen maali oli sulanut kapealle alueelle, jonka leveys oli suunnilleen  $2,54/25,4$  cm ja joka oli karkeasti yhtä kaukana elektrodien välillä, ns. "kuumana viivana". Fintalämpötilan kuumen viivan keskellä arvioitiin olevan lähellä  $85^{\circ}\text{C}$ , joka on juuri tämän erikoisseoksen  $T_g$ -pisteen yläpuolella. Alueet, jotka olivat vain 0,5 cm kuumasta viivasta, olivat alle  $50^{\circ}\text{C}$ . Tässä tilassa elementti syn-

nytti oleellisesti kaiken tehonsa kuuman viivan alueelta. Samantapaisessa kokeessa, jossa elementti eristettiin, asetettiin veteen ja liitettiin teholähteeseen, havaittiin samanlainen "kuuma viiva". Tämän jälkeen tämän esimerkin seoksesta valmistettiin laminoitu ydin, joka kerrostettiin CW-kerrosten väliin, jotka olivat nokitäytteistä silikonikumia, kummankin CW-kerroksen viedessä 20 AWG:n (halkaisijaltaan n. 0,081 cm) monisäikeisen kuparilangan keskikohtaansa. Elementti lämpeni tasaisesti n. 65°C:n yhtenäiseen pintalämpötilaan ilmassa ydinlämpötilan ollessa n. 80°C. Näin ollen PTC-kerroksen kerrostaminen wattiluvultaan muuttumattomien kerrosten väliin poisti kuuman viivan tästä PTC-seoksesta.

### Esimerkki 3

Valmistettiin sarja laminoituja lämmittämiä käyttäen wattiluvultaan muuttumatonta kerrosta, joka koostui 35 osasta etyleeni-propyleenikumia, 30 osasta etyleeni-vinyyliaasetatti-kopolymeeria ja 35 osasta nokea, ja PTC-ydinseosta, jota kuvataan alla olevassa taulukossa I, ja jossa noki dispergoitiin polypropeeniin ennen kuin TPR 1900-kumi sekoitettiin mukaan.

TAULUKKO I

Näyte n:o	1	2	3	4	5	6
TPR 1900 (termoplastinen etyleeni-propyleenikumi, valm. Uniroyal Corporation)	72,5	70,0	68,75	67,5	66,25	65,0
Profax 6524 (polypropeeni, valm. Hercules Corporation)	16,5	18,0	18,75	19,5	20,25	21,0
XC72 (Cabot Corp.-yhtiön noki)	11,0	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0

CW- ja PTC-materiaalit puristettiin hydraulisesti 200°C:ssa mitoiltaan 15,2 x 15,2 x 0,05 cm oleviksi laatoiksi yhden minuutin ajan ja lämmitinrakenteita, jotka sisälsivät PTC-kerroksen kerrostettuna kahden CW-kerroksen väliin, laminoitiin 200°C:ssa kaksi minuuttia ja lämpökäsiteltiin sitten 200°C:ssa 10 minuuttia ja säteilytettiin. Mitoiltaan 2,5 x 3,75 cm olevia lämmitinsegmenttejä leikattiin jokaisesta näytteestä ja mitoiltaan 2,5 x 0,635 cm olevat johtavathopeamaali-elektrodit maalattiin CW-kerrosten diagonaalisesti vastakkaiseen 2,5:en reunaan rajautuen, mikä johti samantapaiseen lämmitinrakenteeseen kuin kuviossa 12. Seoksen muutoksen vaikutus käynnistyssysäys- ja käyttövirran väliseen suhteeseen ja itsesäätävään lämpötilaan voi-



daan nähdä käynnistysyysäysuhteesta ja  $T_s$ -lämpötilasta taulukossa II alla:

TAULUKKO II

Seos	Nokimäärä ytimessä, %	Laminaatin vastus huoneenlämpötilassa (ohm)	Käynnistysyysäyssuhde*	$T_s$ (°C)**
Pelkkä PTC-ydin	12,5	-	8	85
1	11	21 000	8	90
2	12	260	5	105
3	12,5	245	4,4	125
4	13	230	3,9	165
5	13,5	220	3,7	185
6	14	205		

\* ) Määritelty  $T_s$ -lämpötilan vastuksen ja huoneenlämpötilan vastuksen suhteena.

\*\* ) PTC-materiaalin sulamispiste n. 165°C.

Kuten käy ilmi pienehkö muutos PTC-materiaalin koostumuksessa pidettäessä CW-materiaali muuttumattomana voi merkittävästi muuttaa  $T_s$ -pistettä ja käynnistysyysäyssuhdetta, kun niitä käytetään keksinnön mukaisesti kootussa lämmittimessä. Erityisesti  $T_s$ -pistettä voidaan muuttaa PTC-materiaalin sulamispisteen yläpuolelle. Sitäpaitsi kun PTC-materiaali, jonka  $T_s$  oli 85°C ja joka sisälsi 12,5 % nokea, kerrostettiin CW-kerrosten väliin, tehollinen  $T_s$  nousi 125°C:een, käynnistysyysäyssuhteen esittämän viimeainitun vastuslämpötilakäyrän ollessa paljon lähempänä tyyppin I käyttäytymistä (jolla määritelmän mukaan on käynnistysyysäyssuhde 1).

#### Esimerkki 4

Esimerkissä 2 kuvatus koostumuksen omaava 0,063 cm paksu PTC-materiaalilaatta laminoitiin kahden 0,063 cm paksun CW-kerroksen väliin, joiden koostumus oli sama kuin esimerkin 3 CW-kerroksilla. Laminaattia lämpökäsiteltiin 150°C:ssa 16 tuntia ja säteilytettiin sitten n. 10 megaradin annokseen. Laminaatista leikatulla 2,5 cm:n neliömäisellä palalla, joka oli maalattu johtavalla hopeamaalilla CW-kerrosten koko ulkopinnoilta, so. samanlaisella perusrakenteella kuin kuviossa 11, havaittiin olevan  $T_s$ -arvo 70°C. Samanlaisella näytteellä, johon oli kiinnitetty kaksi 2,5 x 0,63 cm:n nauhaelektrodiä wattiluvultaan muuttumattoman kerroksen diagonaalisesti vastakkaisille taso-

pinnoille (yksi kummallekin kerrokselle) (so. samalla tavoin kuin kuviossa 12), havaittiin olevan  $T_g$ -arvo yli  $90^{\circ}\text{C}$ . Näin ollen on ilmeistä, että elektrodien sijoitus voi merkittävästi muuttaa tämän keksinnön mukaisten rakenteiden  $T_g$ -arvoja.

#### Esimerkki 5

PTC-seokset, joilla oli taulukossa III esitetty koostumus ja ominaisuudet, valmistettiin valssisekoituksella, puristettiin sitten hydraulisesti 0,025 cm paksuiksi laatoiksi ja säteilytettiin silloittumisen aikaansaamiseksi. Kerrostetut lämmittimet valmistettiin kerrostamalla PTC-kerros kahden CW-kerroksen väliin, joiden vastus oli 7 ohm-cm ja jotka oli valmistettu johtavasta silikonikumista (R 1515), joka oli joko 0,025 tai 0,10 cm paksua.

TAULUKKO III

Näyte n:ot	Marlex 6003 %	Sterling SRFNS %	Annos Mrad	0,025 cm:n kalvon vastus ohm-cm
5-1	58	42	12	1,5
5-2	61	39	12	20
5-3	65	35	12	200

Kooltaan  $2,5 \times 0,63$  cm:n elektrodit levitettiin lämmitinsegmenttien ulkopinnoille kuten esimerkissä 4. Lämmitin asetettiin sitten päälle ja hyvään termiseen kosketukseen ruostumattoman teräslohkon kanssa, joka oli varustettu lämpömittarilla, ja asennettu lämpösäädetylle kuumalevyille, jolla lohkon lämpötilaa voitiin vaihdella. Lämmitin liitettiin jännitelähteeseen, jonka suuruus oli sellainen, että se synnytti n.  $0,31 \text{ W/cm}^2$  suunnilleen huoneenlämpötilassa. Lämmittimen tehontuotantoa ohjattiin, kun metallilohkon lämpötila nousi. Tulosten suhteen kts. kuviota 36.

Kuvio 37 esittää kuinka teho/lämpötilakäyrä lämmittimellä, joka oli koottu 0,25 cm:n kerroksesta 5-2-seosta ja säteilyttämättömästä 0,025 cm:n kerroksesta wattiluvultaan muuttumatonta silikonia, vaihtelee elektrodirakenteen mukana. Säteilyttämättömät silikoniset wattiluvultaan muuttumatonta kerrokset valittiin, koska niiden vastus muuttuu hyvin vähän lämpötilan mukana ja näin ollen havaitut muutokset voidaan lukea geometrinen vaikutusten ja PTC-kerroksen vastuksen muutosten ansioksi. Vertailtiin kolmea muotoa: A) jossa elektrodit peittivät koekappaleen koko ylä- ja alapinnan (so. samantapainen

kuin kuvio 6 paitsi, että käytettiin kahta CW-kerrosta ja elektrodit olivat hopeamaalia, eivät verkkoa), B) jossa vastakkaiset hopeamaali-elektrodit mitoiltaan 0,63 cm x 2,5 cm asetettiin ylä- ja alapintojen poikki (kaksi molemmille puolille, elektrodien ollessa kummallakin puolilla 2,5 cm:n päässä toisistaan) ja C) jossa yhtä ylempää ja yhtä alempaa elektrodia 0,63 x 2,5 cm vaihdeltiin 2,5 cm:n välein porrastetussa rakenteessa. Kuviossa 37 esitetyt tehontiheys/lämpötilariippuvuudet näille kolmelle rakenteelle osoittavat, että teho/lämpötilakäyrää voidaan muuttaa ratkaisevasti ja odottamattomalla tavalla elektrodirakenteen muutoksilla. Moniin tarkoituksiin kohdan C osoittama tehokäyrä on suositeltava ja kuvio 37 osoittaa, että valituilla seoksilla ja vastuksilla tämä voidaan saavuttaa vuorottelevalla tai sivusuunnassa harvennetulla elektrodirakenteella. Kuitenkin myös silloin kun elektrodit peittävät CW-kerroksen koko ylä- ja alapinnat, tyyppin C käyrä voidaan saada sopivalla PTC- ja CW-kerroksen resistiivisyyden valinnalla, kuten kuviossa 36 esitetään, mikä osoittaa, että tyyppin C käyrän saamiseksi PTC-kerroksen vastuksen huoneenlämpötilassa on oltava pienempi kuin CW-kerroksen vastuksen. Kuitenkin vuorottelevasti, sivusuunnassa harvennetuilla elektrodeilla tyyppin C tehokäyrät saadaan valitsemalla PTC-kerros, jonka resistiivisyys on suurempi kuin CW-kerroksilla.

#### Esimerkki 6

Koottiin lämmittimet esimerkin 5 rakenteen A mukaisesti ja samoista seoksista kuin esimerkissä 5. Kuitenkin tietyissä koekappaleissa, kuten alla esitetään, CW-kerros oli 0,10 cm paksu. Lämmittimet testattiin asennettuna ruostumattomalle teräslohkolle esimerkissä 5 kuvatulla tavalla. Lohkon lämpötila, jossa lämmittimen kehittämä teho alkoi pudota, esitetään taulukossa IV. Tulokset osoittavat, että vaihtelemalla PTC- ja CW-kerrosten suhteellisia vastuksia, putoamislämpötilaa ja näin ollen  $T_g$ -pistettä voidaan vaihdella melko merkittävästi.

TAULUKKO IV

Lämmittimen PTC-ydin	CW-kerroksen paksuus, cm	Tehon putoamis- lämpötila, °C	Teho 23,9°C:ssa Teho 85°C:ssa
5-1	0,025	124	1,31
	0,1	127	1,15
5-2	0,025	110	1,06
	0,1	113	1,06
5-3	0,025	77	1,27
	0,1	80	1,30
5-2 <sup>x</sup> xx	0,025	93	-
	0,1	80	-

x) PTC-kerros peittää 1/3 CW-kerroksesta

xx) PTC-kerros peittää 1/6 CW-kerroksesta

Erityinen etu paksummista, so. vastukseltaan suuremmista CW-kerroksesta on se, että vastuksen vaihtelut PTC-kerroksessa eivät niin suuresti vaikuta tehontuotantoon, so. tehontuotannossa on vähemmän lämpötilavaihtelua. Tällä tavoin voidaan käyttää PTC-kerrokseen erittäin kiteistä, molekyylipainoltaan korkeaa polymeeria, jossa on erittäin strukturoitua nokea, (tällaiset yhdistelmät antavat toivottavan käyttäytymisen, likimäärin tyyppin I, mutta osoittavat saadun vastuksen äärimmäistä herkkyyttä käsittelylle ja termiselle historialle). Yhdistämällä tällaiset seokset CW-kerrokseen, joilla on paljon korkeampi resistiivisyys ja jotka voidaan valmistaa kiteisyydeltään alhaisten tai amorfisten polymeerien ja keski- tai suurstruktuurinokien seoksesta (joilla saadaan resistiivisyydet, jotka ovat vähemmän herkkiä käsittelylle tai termiselle historialle), voidaan saada aikaan lämmitin, jolla on paljon suurempi yhtenäisyys, toistettavuus ja toiminnallinen käyttökelpoisuus kuin tähän saakka on ollut käytettävissä.

Kuten yllä mainittiin toimivan lämmittimen tärkeä piirre on huoneenlämpötilan vastuksen ja halutun käyttölämpötilan vastuksen välinen suhde. Tämä suhde on verrannollinen käynnistysäyssiin, mutta ei ole identtinen sen kanssa. Sitäpaitsi tämän vastussuhteen alemmat arvot osoittavat myös parempaa lähestymistä tyyppin I vastusominaiskäyrään. Tässä esimerkissä kuvatuille lämmitimille pidetään käyttöaluetta 85°C:n läheisyydessä optimina. Alhaisten suhteiden saamiseksi suositellaan PTC- ja CW-kerrosten välisiä ominaisvastussuhteita (24°C:ssa) välillä n. 0,1:1 - 20:1 (tarkan suhteen riippuessa kerrosten suhteellisesta paksuudesta), suhteiden välillä 1 ja 10 ollessa erityisen suositeltavia.

Esimerkki 7

Valmistettiin edellisessä esimerkissä esitetyllä tavalla PTC-materiaaleja, joilla oli taulukossa V annetut koostumukset. Niiden seosten 0,05 cm paksut laatat laminoitiin kahden 0,05 cm:n laatan väliin, jotka olivat seosta, jossa oli 20 % Black Pearls-nokea Silastic 437-massassa (resistiivisyys 400 ohm-cm), ja laminaatteja säteilytettiin sitten 12 Mrad:illa ionisoivaa säteilyä silloittumisen aikaansaamiseksi niiden läpi.

TAULUKKO V

Näyte n:ot	Marlex 6003 (%)	SRF-NS (%)	PTC-kerroksen resistiivisyys, ohm-cm	Tehokäyrän tyyppi (kuvio 35)
7-1	58	42	100	B
7-2	60	40	240	C, mutta jonkin verran poikkeamista lähellä huoneenlämpötilaa
7-3	62	38	400	Erittäin hyvä C-tyyppi

Tämä esimerkki osoittaa, kuinka tehokäyrän muotoa voidaan muuttaa valitsemalla PTC- ja CW-kerroksille sopivat resistiivisyysuhteet. Teho-lämpötilariippuvuus on luonnollisesti sopusoinnussa lämpötilavastusriippuvuussuhteen kanssa kaavan  $P = I^2R$  tai  $P = \frac{E^2}{R}$  kanssa. C-niminen käyrä on lähellä odotettua ihannetapausta lämmittimellä, jonka vastuslämpötilakäyrä on tyyppiä I.

Esimerkki 8

Kaksi 30 cm pitkää ohuen nauhalämmittimen osaa, jotka oli valmistettu US-patentin n:o 3 861 029 mukaisesti ja joiden PTC-ytimen koostumus oli samanlainen kuin esimerkissä 1 käytetty, ja jotka oli muotoiltu kuten kuviossa 5 (0,8 cm leveät), kiinnitettiin alumiinilohkoon, jota pidettiin 18°C:ssa kiertovedellä. Kummankin lämmitinkappaleen toinen puoli maalattiin lämpötilaa ilmaisevalla maalilla. Kappaleisiin syötettyä jännitettä vaihdeltiin niiden tehontuotannon nostamiseksi hitaasti. Toisen kappaleen vastus oli 488 ohm/m. Tätä kappaletta voitiin käyttää jopa n. 5,48 W/m:n teholla ilman kuumaviivan muodostumista, mutta ytimen toimiessa sen  $T_s$ -lämpötilan alapuolella. Noin 6,1 W/m:n tehontuotannolla, jolla tehotasolla ydin lämpeni  $T_s$ -pisteeseensä, muodostui kuumaviiva. Toista lämmitinkappaletta, jonka vastus oli n. 8080 ohm/m, voitiin samalla tavoin käyttää n. 4,88 W/m:n teholla ilman kuumaviivan muodostumista, mutta kuumaviiva muodostui, kun toimittiin yli n. 6,1 W/m:n teholla. Yritykset käyttää

näitä molempia lämmittämiä suuremmilla jännitetasoilla johtivat samanaikaisesti virran laskuihin niin, että koeolosuhteissa nämä lämmittimet eivät kuluttaneet enempää kuin n. 9,3 W/m ja niiden maksimateho näissä olosuhteissa oli n. 0,15 W/cm<sup>2</sup>. Näin ollen yritykset käyttää nauhalämmittintä suuremmilla tehotasoilla kuin n. 0,08 W/cm<sup>2</sup> johtivat kuumaviivan muodostumiseen.

### Esimerkki 9

Valmistettiin kerrostettu lämmitin, jossa PTC-kerroksen (0,075 cm paksu) koostumus oli 47 % Marlex 6003-polyeteeniä, 5 % Epsyn 5508:a (modifioitu etyleeni-propyleenidieenikumi) ja 48 % Sterling SRF-NS:ä (noki). Kaksi 0,15 cm paksua CW-kerrosta, joiden koostumus oli 60% Elvaz 250:a (etyleeni-vinyylisetaattikopolymeeri) ja 40 % Cabot XC 72:a (noki) ja joihin oli upotettu 0,95 cm leveät ja 0,95 cm:n päässä toisistaan olevat litistetyt punoslankaelektrodit (kaikkiaan kolme molempiin CW-kerrokseen), levitettiin PTC-kerroksen molemmille puolille niin, että elektrodit olivat vastapäätä toisiaan, so. samalla tavoin kuin kuviossa 11 paitsi, että elektrodit olivat punottuja nauhojen sijasta. Lämmittimen mitat olivat 7,5 x 15 cm elektrodien kulkiessa pitkin pitkää sivua ja napaisuudeltaan vastakkaisten elektrodien ulottuessa polymeerikerrosten yli lämmittimen vastakkaisissa päissä. Kerrokset laminoitiin varovasti yhteen ja elementtiä pidettiin sitten 200°C:ssa 10 minuuttia mahdollisen jännityksen poistamiseksi, jäähdytettiin sitten ja säteilytettiin 12 Mradin annokseen käyttäen koboltti<sup>60</sup>-gamma-säteitä elementin ollessa suljettu tyyppä sisältävään säiliöön. Lämmitin kerrostettiin 0,025 cm paksujen eristyskerrosten väliin, jotka koostuivat matalatiheyksisestä polyeteenistä ja puristettiin lujasti jäähdytettyyn alumiinilohkoon kuten dellisessä esimerkissä ja lämpötilaa ilmaisevaa maalia levitettiin lämmittimen yläpinnalle. Napaisuudeltaan vastakkaiset elektrodit yhdistettiin 12 V:n akkuun. Lämmitin kulutti yli 70 A lämmitessään, so. yli 5,4 W/cm<sup>2</sup>. Muutaman minuutin aikana lämmitin stabiloitiin yli 20 A:n virralle, so. yli 15,5 W/cm<sup>2</sup>:in. Lopulta alumiinilohko alkoi lämmitä huolimatta käytetystä jäähdytyksestä ja lämmittimen PTC-kerros lämpeni T<sub>S</sub>-pisteeseensä (n. 120°C). Lämpötilaa ilmaiseva maali sulii tämän viimeisen vaiheen aikana alkaen keskeltä ja edeten nopeasti ja tasaisesti reunoille. Tässä lopputilassa lämmitin piti itsensä lämpötilassa, joka oli hyvin lähellä sen T<sub>S</sub>-pistettä ja kulutti n. 10 amperia, so. sen lämmöntuotanto oli n. 7,1 W/cm<sup>2</sup>, kun alumiinilohko korvattiin termisesti eristävän materiaalin laalla. Virta laski paljon alle yhden amperin, so. alle 0,67 W/cm<sup>2</sup>:in lämmit-

timen lämpötilan ollessa yhä hyvin lähellä  $T_s$ -pistettä ja lämmittimen koko pinnan ollessa suunnilleen tässä lämpötilassa. Näin ollen on ilmeistä, että tämän keksinnön mukainen lämmitin voi toimia suurilla tehontuotannoilla  $T_s$ -lämpötiloissa, jotka ovat selvästi yli  $100^{\circ}\text{C}$ , ilman kuumaviivan muodostumista.

Todetaan, että viittaus tässä yhteydessä PTC-kerrokseen, joka on tai tulee oleellisesti johtamattomaksi, on suhteessa CW-kerroksen sähköisiin ominaisuuksiin. Ei ole asiallista antaa tällaisille ominaisuuksille absoluuttiarvoja, sillä ne riippuvat muiden tekijöiden ohella eri kerrosten suhteellisista rakenteista, mutta esimerkiksi kuviossa 23 esitetyssä yksinkertaisessa laminaatissa niin pian kuin PTC-kerros ylittää anomalia- $T_s$ -lämpötilansa sähkövuon tiheys CW-kerroksen läpi on moninkertaisesti vuon tiheys PTC-kerroksen läpi missä tahansa laminaatin osassa, jossa nämä kaksi kerrosta ovat sähköisesti yhdensuuntaiset. On edullista, että kun nämä kaksi kerrostyyppiä ovat sähköisesti yhdensuuntaiset, virran määrä, joka kulkee CW-kerroksen läpi, on vähintään 10 ja mieluummin 25 kertaa PTC-kerroksen läpi kulkeva virta sen anomalia- $T_s$ -lämpötilan yläpuolella, vaikka tietyissä tapauksissa, esimerkiksi jos elementti on suhteellisen suuren lämpövojoaman läheisyydessä, alemmat suhteet kuten 5 tai sen alle voivat olla riittävät.

Patenttivaatimukset

1. Kerroksiin jaettu sähköinen vastuselementti, joka saavuttaessaan tietyn korotetun lämpötilan olennaisesti katkaisee elementin läpi kulkevan virran, erityisesti itseohjautuva lämpöelementti, joka käsittää

(A) ensimmäisen sähkövastuskerroksen (11, 21, 25, 33, 38, 43, 45, 49, 60), jonka vastuksella on positiivinen lämpötilakerroin (PTC-kerros) sekä ympäristön lämpötilan ylittävä anomialämpötila ( $T_g$ ), jonka yläpuolella se on olennaisesti johtamaton,

(B) ainakin yhden toisen kerroksen (12, 15, 19, 24, 31, 35, 36, 40, 41, 44, 50, 57, 58), jolloin PTC-kerros ja mainittu toinen kerros ovat sähköisesti ja termisesti kosketuksessa toisiinsa ja jolloin toinen kerros on sähköisesti resistiivinen ja sen resistiivisyys on pääasiassa vakio (CW-kerros) ainakin PTC-kerroksen anomialämpötilan ( $T_g$ ) alapuolella, ja

(C) , ainakin kaksi elektrodia, jotka niitä liitettäessä sähköiseen voimalähteeseen aikaansaavat sähkövirran johtamisen PTC-kerroksen ja CW-kerroksen välillä, t u n n e t t u siitä, että ainakin osa PTC-kerroksen (11, 21, 25, 33, 38, 43, 45, 49, 60) pinnasta on suorassa sähköisessä kosketuksessa ainakin osaan CW-kerroksen (12, 15, 19, 24, 31, 35, 36, 40, 41, 44, 50, 57, 58) pinnasta ja että PTC-kerroksen virtatien vastus on suurempi kuin CW-kerroksen virtatien vastus ainakin koko elementin korotetussa käyttölämpötilassa, jolloin siinä tapauksessa, että CW-kerros tai -kerrokset muodostuvat materiaalista, jonka ominaisvastus on 25°C:ssa pienempi kuin 1 ohm-cm, elektrodit ovat siten järjestetyt, että mainitun korotetun lämpötilan alapuolella olevassa lämpötilassa virtatiellä on sellainen komponentti CW-kerroksen tai -kerroksien tasossa, että CW-kerroksen tai -kerroksien virtatien vastus on suurempi kuin PTC-kerroksen vastus, niin että ainakin 50 prosenttia elementin tehosta syntyy CW-kerroksen tai -kerrosten vastuskuumennuksen johdosta.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen elementti, t u n n e t t u siitä, että kun se on yhdistetty sähköiseen virtalähteeseen, niin korkeammassa lämpötiloista, a) lämpötila, jossa PTC-kerroksen (59) vastus ylittää CW-kerroksen (57, 58) vastuksen, tai b) PTC-kerroksen anomialämpötila ( $T_g$ ), virrankulku noudattaa tietä, jonka pituus PTC-kerroksessa on lyhyin mahdollinen eikä sopivimmin ylitä PTC-kerroksen (59) paksuutta enempää kuin 50 %.



3. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen elementti, t u n n e t t u siitä, että PTC-kerroksella (33, 47, 49) on kaksi oleellisesti tasomaista pintaa, sekä CW-kerros (31, 35; 36, 40; 41, 44), joka ainakin osittain rajoittuu molempiin mainittuihin tasomaisiin pintoihin.
4. Patenttivaatimuksen 1 mukainen elementti, t u n n e t t u siitä, että siinä on kaksi elektrodia (55, 56), joista toinen ulottuu vain osittain toisen CW-kerroksen (57) yli ja toinen ulottuu vain osittain toisen CW-kerroksen (58) yli, jolloin virta voi kulkea ainakin yhtä CW-kerrosta pitkin tämän tasossa ainakin tietyissä lämpötiloissa.
5. Jonkin patenttivaatimuksen 1-4 mukainen elementti, t u n n e t t u siitä, että elektrodi on metallia oleva kangas, punos tai hila (13, 14, 23, 26, 48, 51) ja/tai elektrodien materiaali on langan, nauhan tai kalvon (16, 18, 20, 22, 32, 34, 37, 39, 42, 45) muodossa.
6. Jonkin patenttivaatimuksen 1-5 mukainen elementti, t u n n e t t u siitä, että ainakin yksi elektrodi on upotettu CW-kerrokseen (15; 27; 36, 40; 41, 44; 47, 50).
7. Jonkin patenttivaatimuksen 1-6 mukainen elementti, t u n n e t t u siitä, että ainakin yksi elektrodi (23; 55) on sijoitettu CW-kerroksen (24, 58) sille pinnalle, joka on poispäin kosketuksessa PTC-kerroksen (25; 60) kanssa olevasta pinnasta.
8. Jonkin patenttivaatimuksen 1-7 mukainen elementti, t u n n e t t u siitä, että ainakin yksi elektrodi (26; 30; 37; 55; 56) on upotettu PTC-kerrokseen (25; 29; 38; 59, 60).
9. Jonkin patenttivaatimuksen 1-8 mukainen elementti, t u n n e t t u siitä, että PTC-kerros (59) ja CW-kerros (57) on molemmat sijoitettu elektrodin tai elektrodien (55, 56) ympärille.
10. Jonkin patenttivaatimuksen 1-9 mukainen elementti, t u n n e t t u siitä, että se sisältää kaksi sarjaa elektrodeja (37, 39), jolloin yhden sarjan elektrodit (37) on sijoitettu yhdensuuntaisille suorille toisen sarjan elektrodien (39) kanssa ja yhden

sarjan elektrodit (37) ovat vastapäätä toisen sarjan elektrodien (39) välejä.

11. Jonkin patenttivaatimuksen 1-10 mukainen elementti, t u n - n e t t u siitä, että CW-kerros (57) ympäröi PTC-kerrosta (59) tai PTC-kerros ympäröi CW-kerrosta (57, 58).

12. Patenttivaatimuksen 11 mukainen elementti, t u n n e t t u siitä, että kerrokset ovat samankeskeisiä (57, 58, 59).

13. Jonkin patenttivaatimuksen 1-12 mukainen elementti, t u n - n e t t u siitä, että sitä peittää ainakin osittain eristyskerros (46, 53).

14. Jonkin patenttivaatimuksen 1-13 mukainen elementti, t u n - n e t t u siitä, että se sisältää myös tiivisteainetta tai liimaa (54) ainakin yhdellä pinnalla, tiivisteen tai liiman ollessa lämmöllä aktivoitavissa elementin käyttöalueeseen kuuluvassa lämpötilassa.

15. Jonkin patenttivaatimuksen 1-14 mukainen elementti, t u n - n e t t u siitä, että PTC- ja CW-kerros kumpikin on polymeerista ainetta, johon on dispergoitu nokea.

16. Jonkin patenttivaatimuksen 1-15 mukainen elementti, t u n - n e t t u siitä, että se on lämmössä palautuva lämpötilassa, joka on elementin toiminta-alueella sen toimiessa lämmittimenä.

17. Jonkin patenttivaatimuksen 1-16 mukainen elementti, t u n - n e t t u siitä, että sen tietty korotettu lämpötila on suurempi kuin PTC-kerroksen  $T_s$ .

18. Jonkin patenttivaatimuksen 1-17 mukainen elementti, t u n - n e t t u siitä, että PTC-kerroksen ja CW-kerroksen välinen resistiivisyysuhde on 24°C:ssa välillä 0,1:1 ja 20:1.

Patentkrav

1. I skikt delat elektriskt motståndselement, som när det uppnår en bestämd förhöjd temperatur huvudsakligen bryter en ström som ledes genom detsamma, i synnerhet ett självreglerande värmeelement, omfattande

(A) ett första, elektriskt resistivt skikt (11, 21, 25, 33, 38, 43, 45, 49, 60) med positiv temperaturkoefficient för motståndet (PTC-skikt) och med en anomalitemperatur ( $T_s$ ), över vilken det är i huvudsak icke ledande

(B) minst ett andra skikt (12, 15, 19, 24, 31, 35, 36, 40, 41, 44, 47, 50, 57, 58), varvid PTC-skiktet och nämnda andra skikt är elektriskt och termiskt förbundna med varandra och varvid det andra skiktet är elektriskt resistivt med i huvudsak konstant resistivitet (CW-skikt) åtminstone under PTC-skiktets anomalitemperatur ( $T_s$ ), och

(C) minst två elektroder, vilka, då de förbindes med en elektrisk kraftkälla, bringar elektrisk ström att passera mellan PTC-skiktet och CW-skiktet, k ä n n e t e c k n a t a v att åtminstone en del av en yta hos PTC-skiktet (11, 21, 25, 33, 38, 43, 45, 49, 60) befinner sig i direkt elektrisk och termisk kontakt med åtminstone en del av en yta hos CW-skiktet (12, 15, 19, 24, 31, 35, 36, 40, 41, 44, 47, 50, 57, 58), och att resistansen i PTC-skiktets strömbana är större än resistansen i CW-skiktets strömbana åtminstone vid en förhöjd användningstemperatur hela elementet, varvid för det fall att CW-skiktet eller -skikten består av ett material med en resistivitet vid 25°C av mindre än 1 ohm·cm elektroderna är så anordnade i elementet, att vid en temperatur under nämnda förhöjda temperatur strömbanan har en sådan komponent i CW-skiktets eller -skiktens plan, att resistansen i CW-skiktets eller -skiktens strömbana är större än PTC-skiktets resistans, så att minst 50 procent av elementets effekt alstras genom motståndsupphettning av CW-skiktet eller -skikten.

2. Element enligt krav 1, k ä n n e t e c k n a t a v att, när det är anslutet till en elektrisk strömkälla, vid den högre av den temperatur, vid vilken PTC-skiktets (59) resistans

överstiger CW-skiktets (57, 58) resistans, och PTC-skiktets anomalitemperatur ( $T_s$ ), strömflödet till övervägande delen följer en bana, vars längd genom PTC-skiktet är så kort som möjligt och företrädesvis icke överstiger PTC-skiktets (59) tjocklek med mer än 50 %.

3. Element enligt krav 1 eller 2, k ä n n e t e c k n a t a v att PTC-skiktet (33, 43, 49, 59) har två i huvudsak plana ytor och har ett CW-skikt (31, 35; 36, 40; 41, 44; 57, 58), som åtminstone delvis ligger intill var och en av de plana ytorna.
4. Element enligt krav 3, k ä n n e t e c k n a t a v att det har två elektroder (55, 56), av vilka den ena sträcker sig över endast en del av det ena CW-skiktet (57) och den andra sträcker sig över endast en del av det andra CW-skiktet (58), varigenom ström kan flyta längs åtminstone ett CW-skikt i dettas plan vid åtminstone vissa temperaturer.
5. Element enligt något av krav 1 - 4, k ä n n e t e c k n a t a v att elektroden är en vävnad, ett flätverk eller ett galler (13, 14, 23, 26, 48, 51) av metall och/eller att materialet i elektroderna har formen av en tråd, ett band eller en skiva (16, 18, 20, 22, 32, 34, 37, 39, 42, 45).
6. Element enligt något av kraven 1 - 5, k ä n n e t e c k n a t a v att åtminstone en elektrod är inbäddad i ett CW-skikt (15; 27; 36, 40; 41, 44; 47, 50).
7. Element enligt något av kraven 1 - 6, k ä n n e t e c k n a t a v att åtminstone en elektrod (23; 55) är placerad på en yta av ett CW-skikt (24; 58), som är vänd bort från den i kontakt med ett PTC-skikt (25; 60) befintliga ytan.
8. Element enligt något av kraven 1 - 7, k ä n n e t e c k n a t a v att åtminstone en elektrod (26; 30; 37; 55, 56) är inbäddad i ett PTC-skikt (25; 29; 38; 59, 60).
9. Element enligt något av kraven 1 - 8, k ä n n e t e c k n a t a v att PTC-skiktet (59) och CW-skiktet (57) vart och ett är placerade runt en elektrod eller elektroder (55, 56).

10. Element enligt något av krav 1 - 9, k ä n n e - t e c k n a t a v att den innefattar två satser av elektroder (37, 39), varvid elektroderna (37) i den ena satsen sträcker sig utefter linjer, som är parallella med elektroderna (39) i den andra satsen, och vardera är placerade mittemot luckor mellan elektroderna (39) i den andra satsen.
11. Element enligt något av kraven 1 - 10, k ä n n e - t e c k n a t a v att PTC-skiktet (59) är omslutet av CW-skiktet (57), eller att CW-skiktet (57, 58) är omslutet av PTC-skiktet.
12. Element enligt krav 11, k ä n n e t e c k n a t a v att skikten (57, 58, 59) är koaxiella.
13. Element enligt något av kraven 1 - 12, k ä n n e - t e c k n a t a v att det åtminstone delvis är täckt av ett isolerande skikt (46, 53).
14. Element enligt något av kraven 1 - 13, k ä n n e - t e c k n a t a v att det också innefattar ett tätningsmedel eller lim (54) på åtminstone en yta, varvid tätningsmedlet eller limmet är värmeaktiverbart vid en temperatur inom elementets arbetsområde.
15. Element enligt något av krav 1 - 14, k ä n n e - t e c k n a t a v att PTC- och CW-skikten vardera utgöres av ett polymert material, vari är dispergerad kimrök.
16. Element enligt något av krav 1 - 15, k ä n n e - t e c k n a t a v att det är värmeåterhämtbart vid en temperatur inom detsamma arbetsområde som uppvärmare.
17. Element enligt något av krav 1 - 16, k ä n n e - t e c k n a t a v att det har en bestämd förhöjd temperatur, som är högre än PTC-skiktets  $T_s$ .
18. Element enligt något av kraven 1 - 17, k ä n n e - t e c k n a t a v att resistivitetsförhållandet mellan de PTC- och CW-skikten utgör mellan 0,1 : 1 och 20 : 1 vid 24°C.

Viitejulkaisuja-Anförda publikationer

Hakemusjulkaisuja:-Ansökningspublikationer: Saksan Liittotasavalta-Förbundsrepubliken Tyskland(DE) 2 364 947, 2 263 020, 2 103 303.  
 Patenttijulkaisuja:-Patentskrifter: Iso-Britannia-Storbritannien(GB) 1 184 656, 1 251 453. USA(US) 3 805 022, 3 619 560, 3 412 358, 3 311 862.

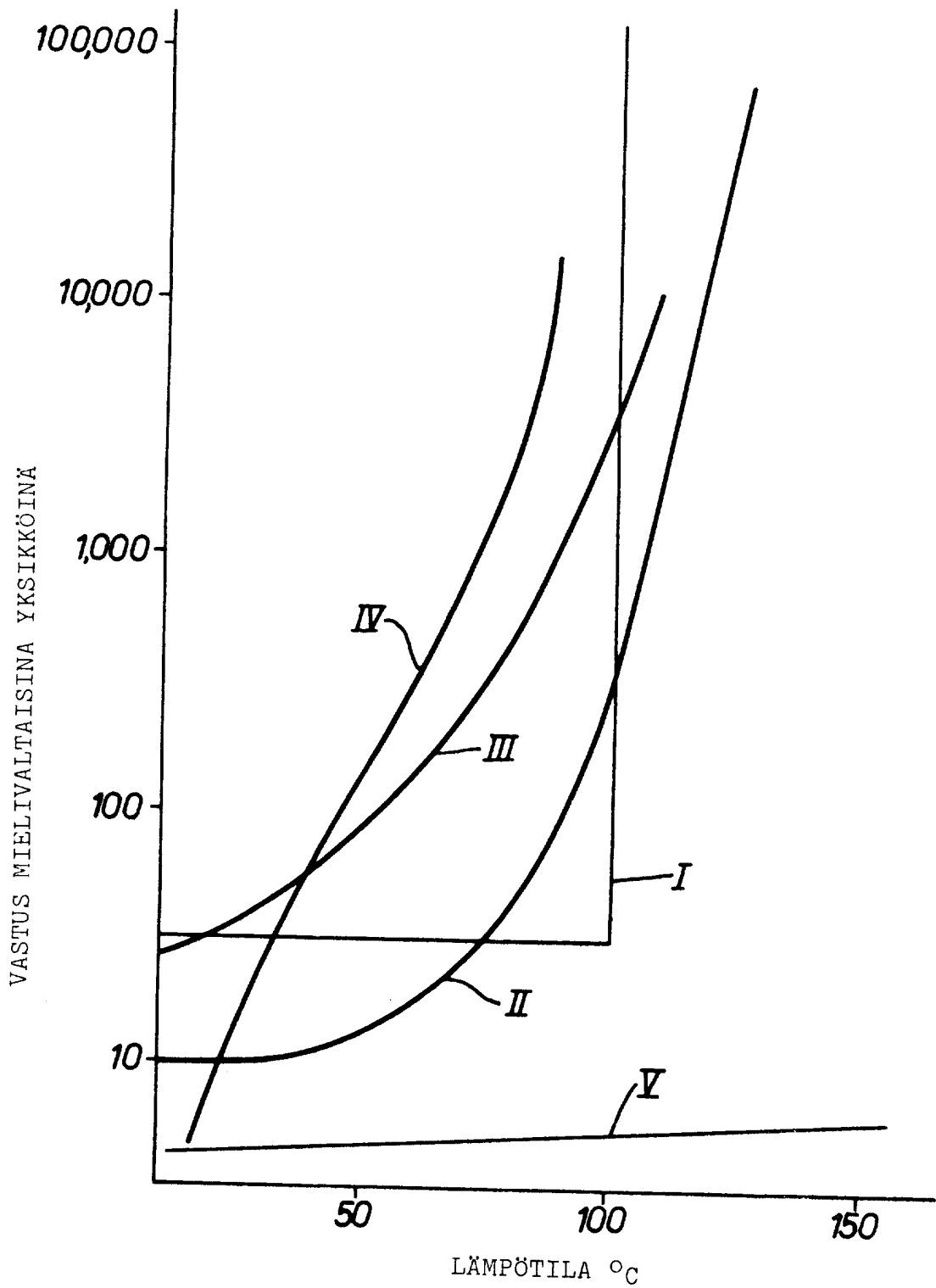


FIG. I.

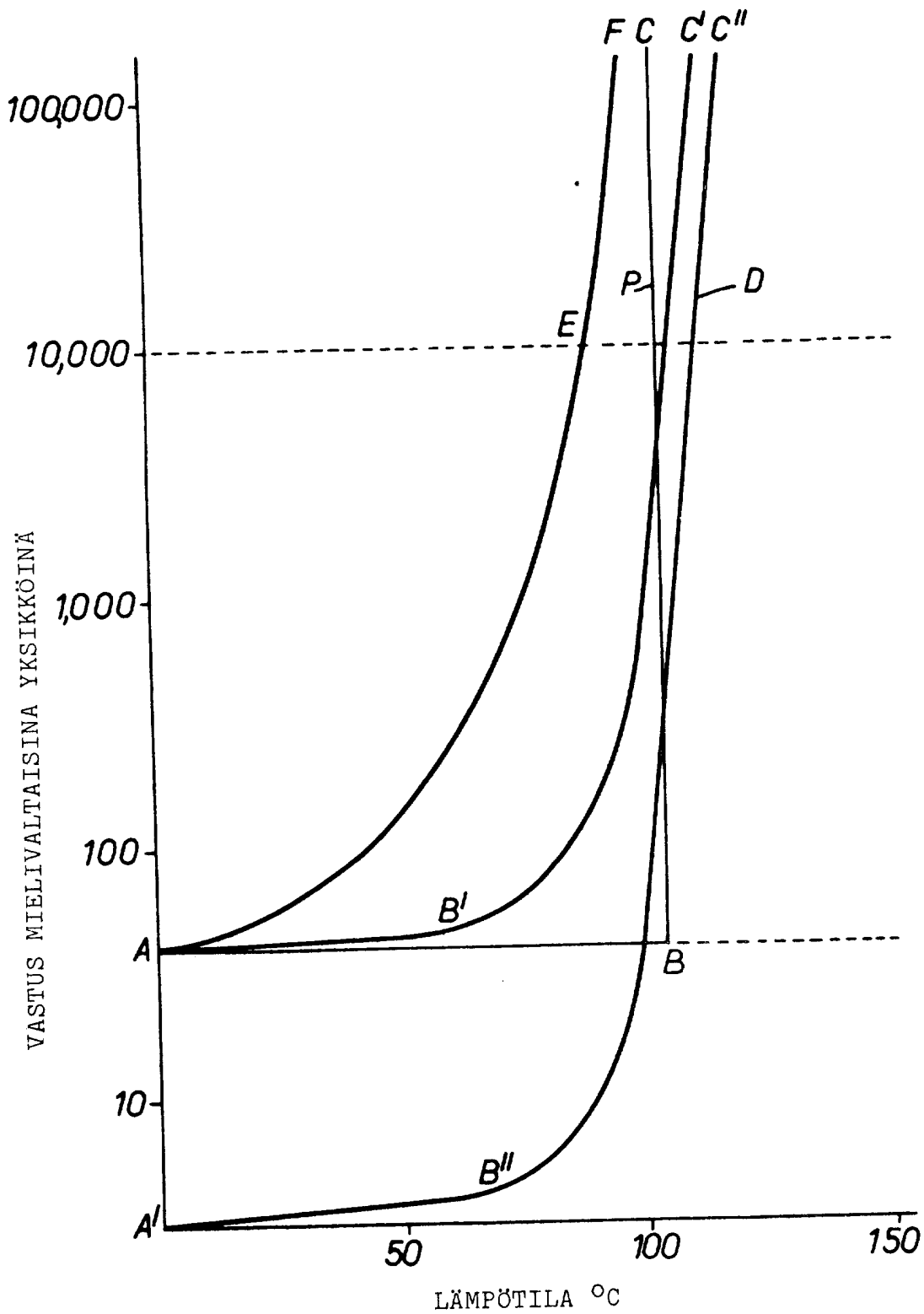


FIG. 2.

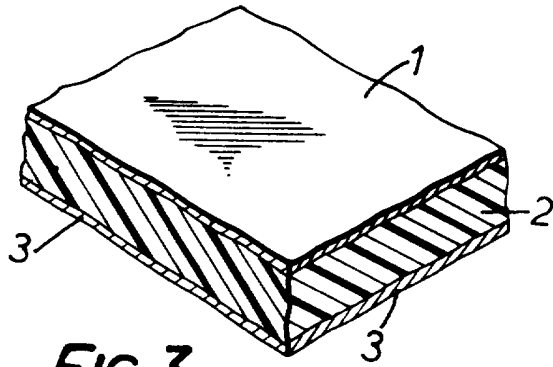


FIG. 3.

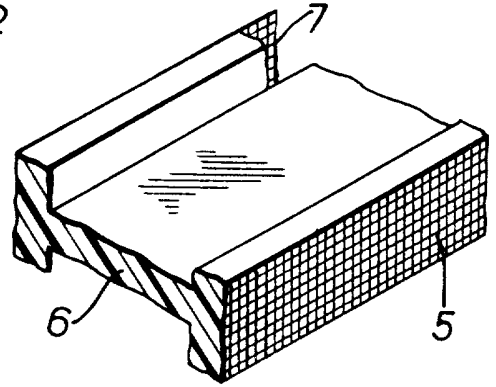


FIG. 4.

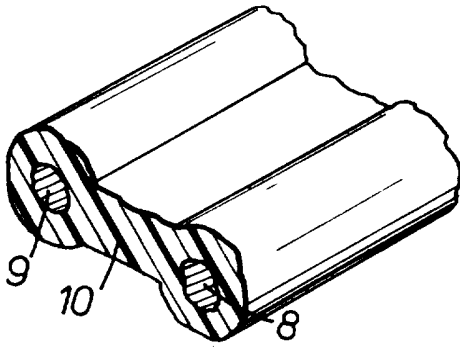


FIG. 5.

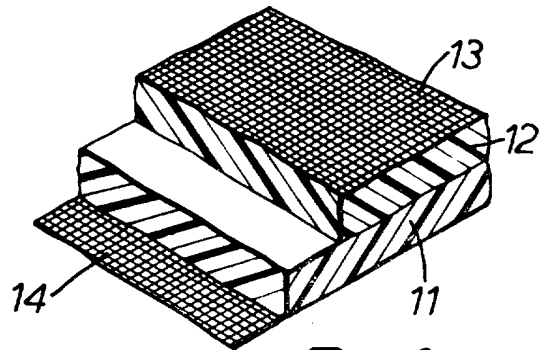


FIG. 6.

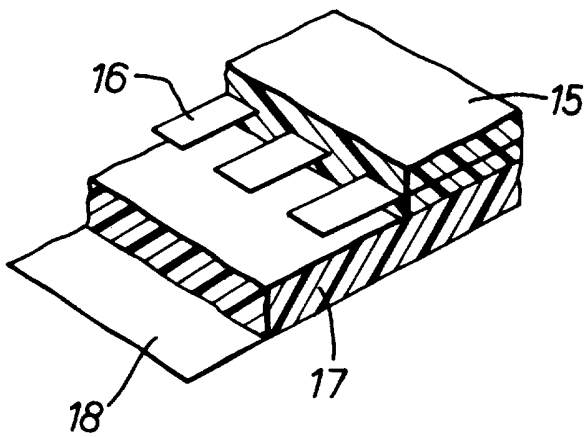


FIG. 7.

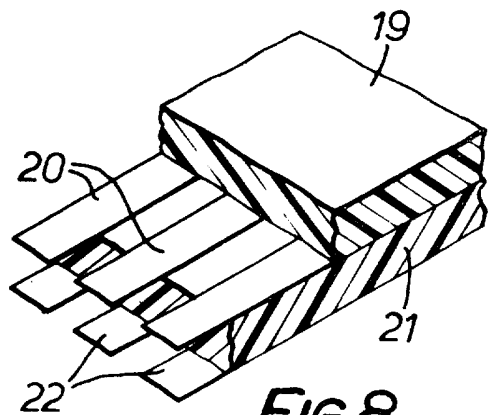


FIG. 8.



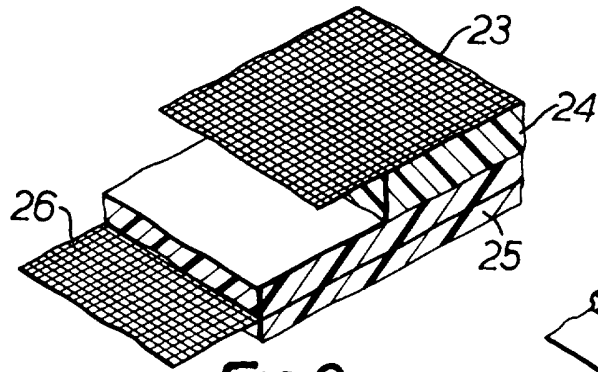


FIG. 9.

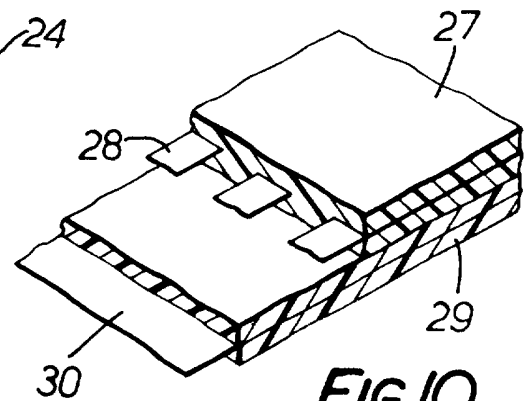


FIG. 10.

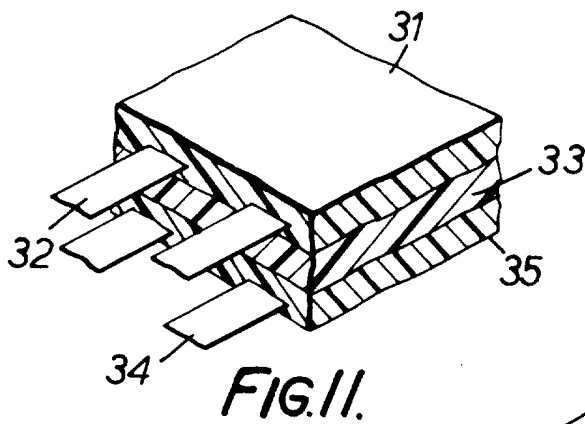


FIG. 11.

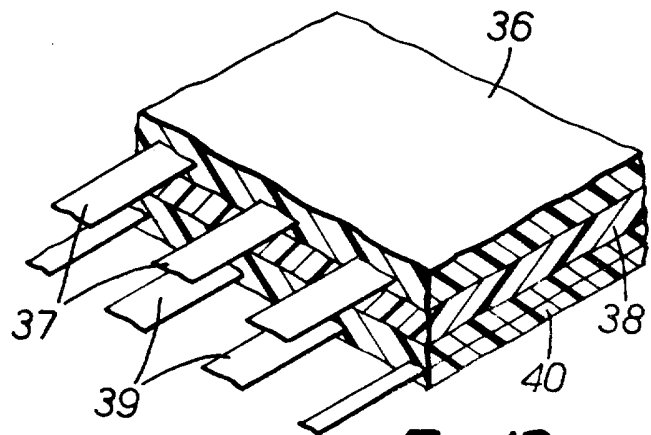


FIG. 12.

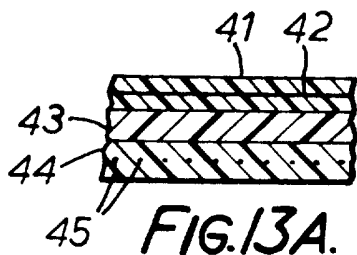


FIG. 13A.

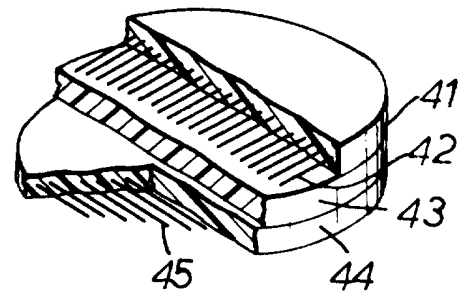


FIG. 13B.

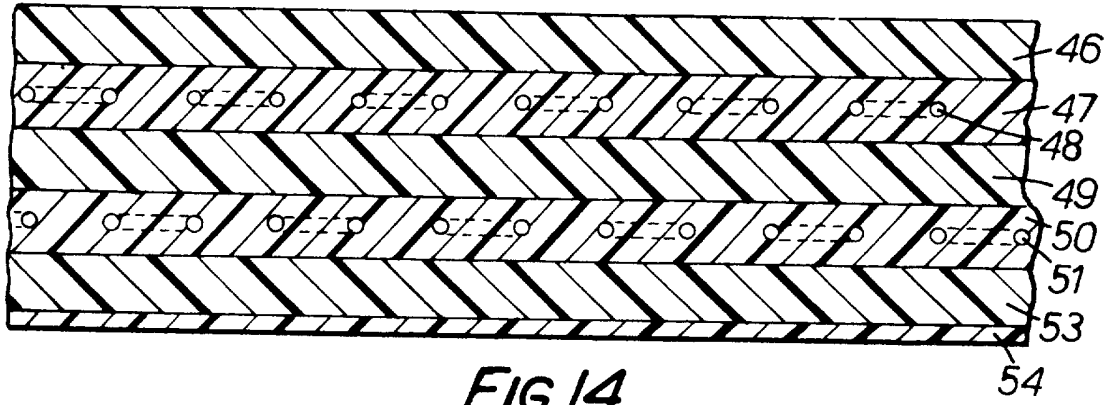


FIG.14.

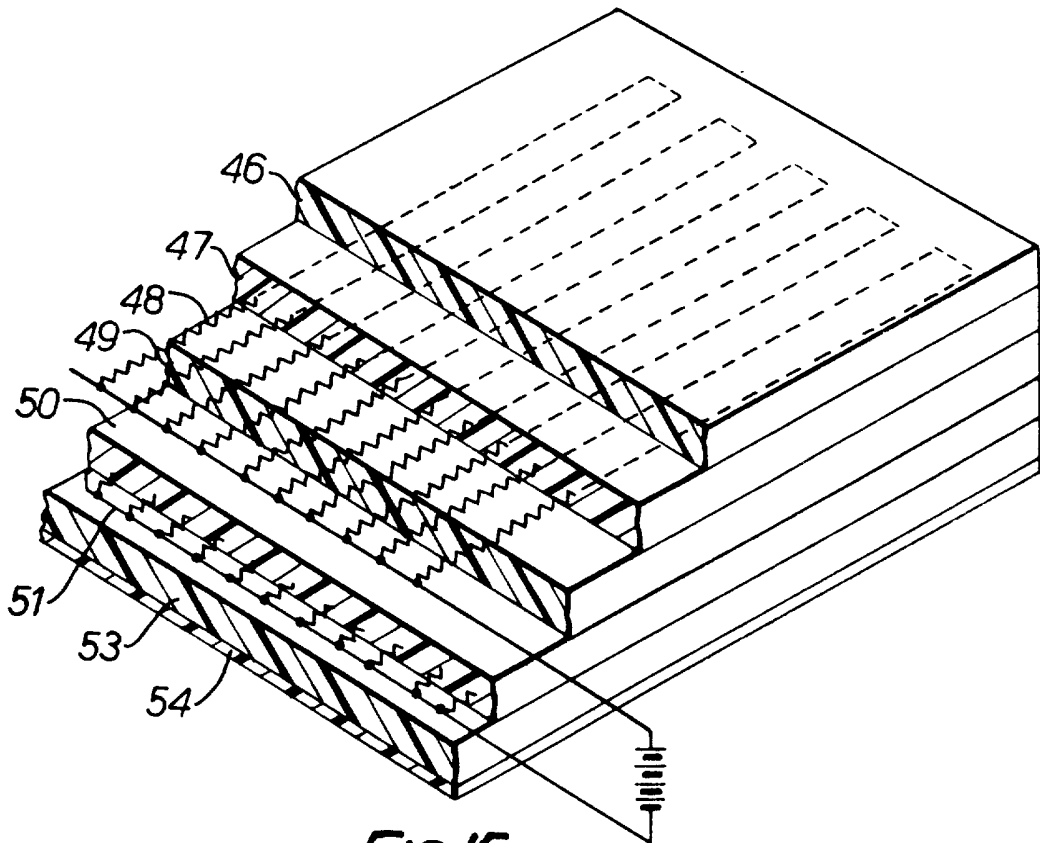
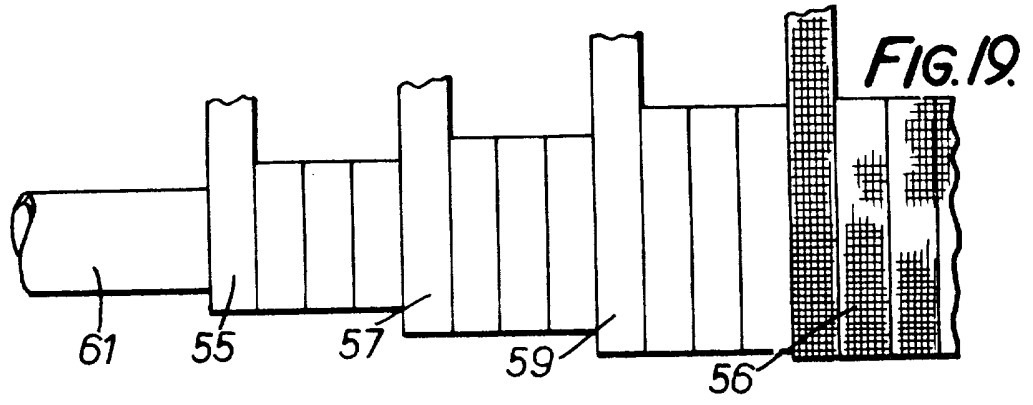
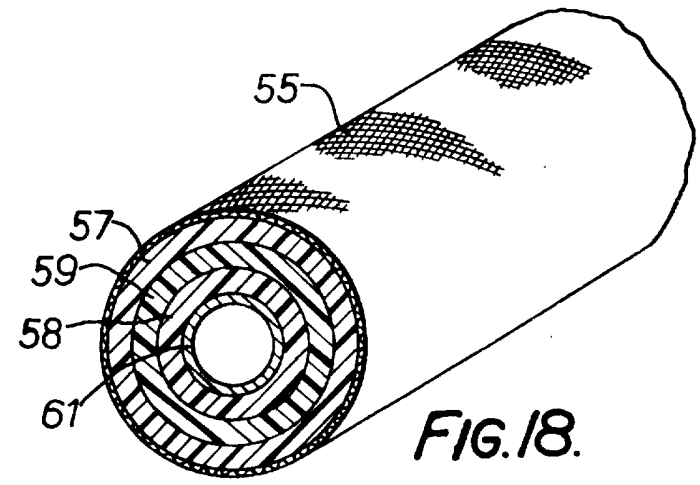
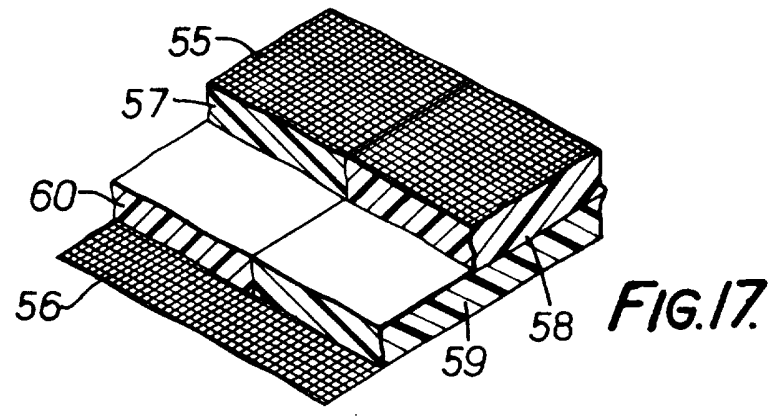
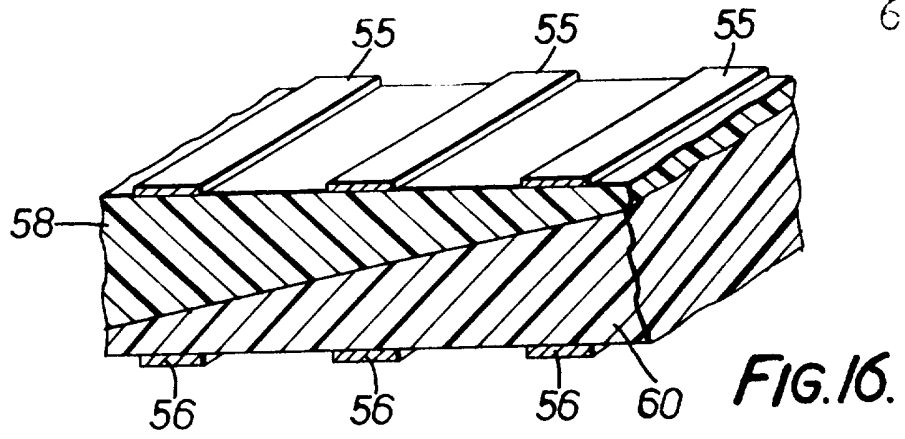
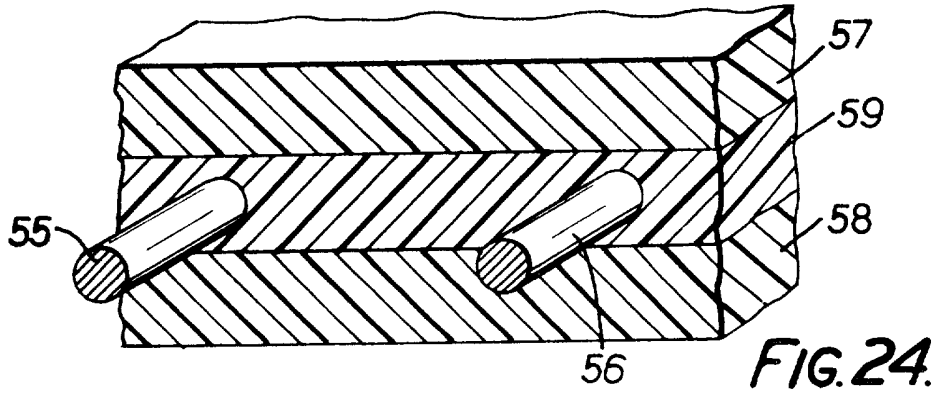
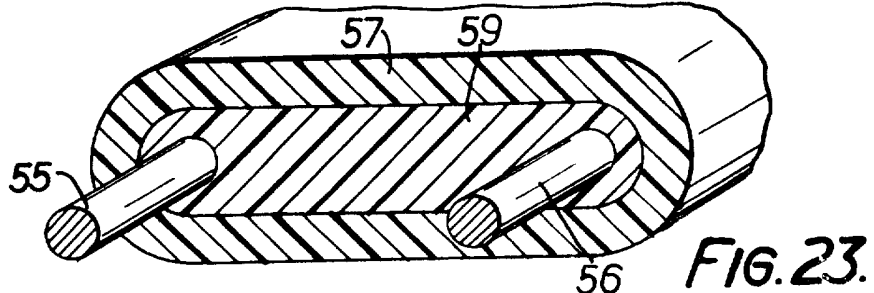
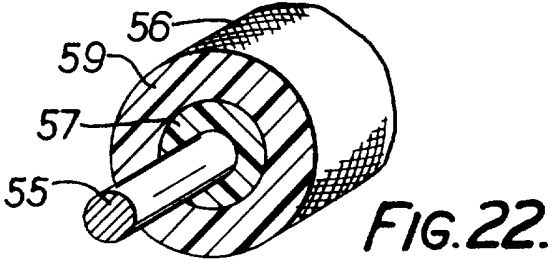
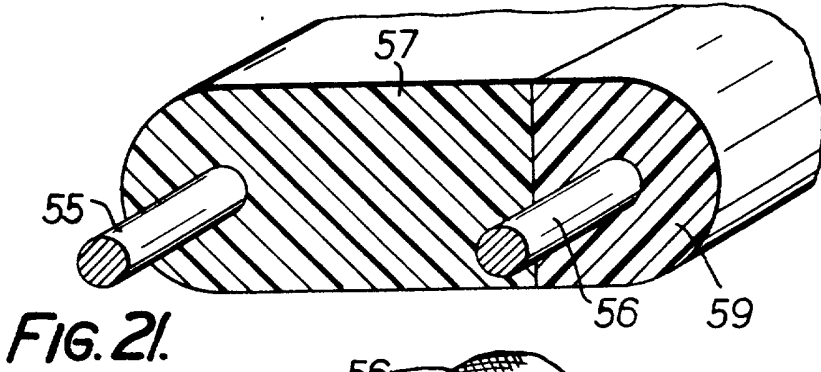
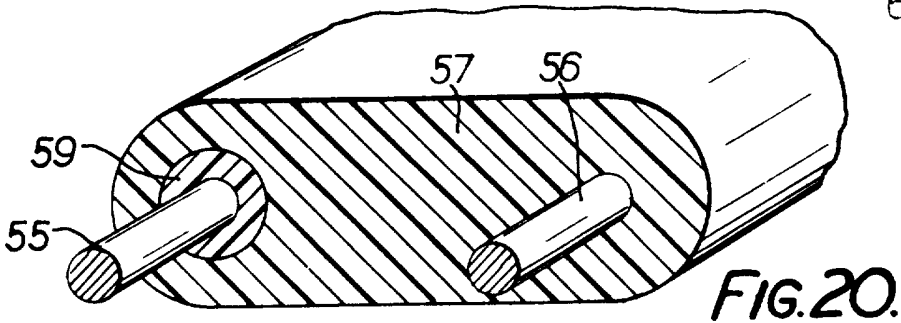


FIG.15.





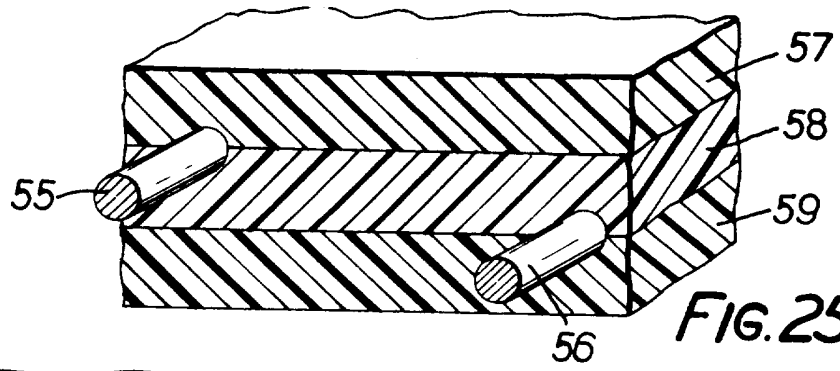


FIG. 25.

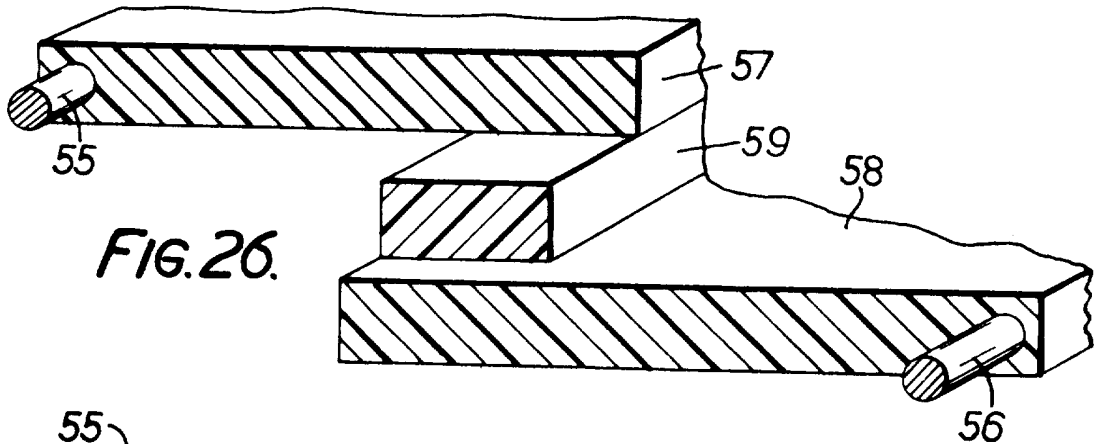


FIG. 26.

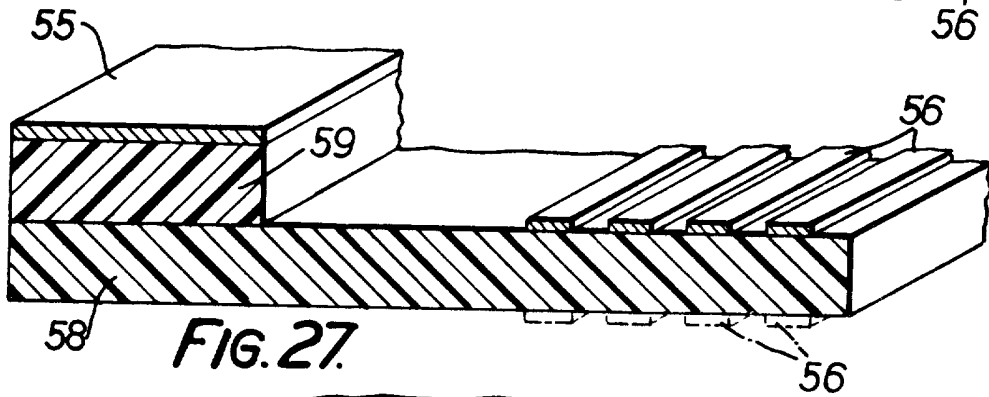


FIG. 27.

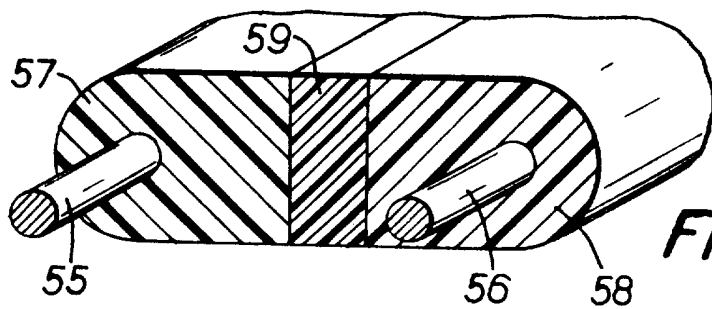


FIG. 28.

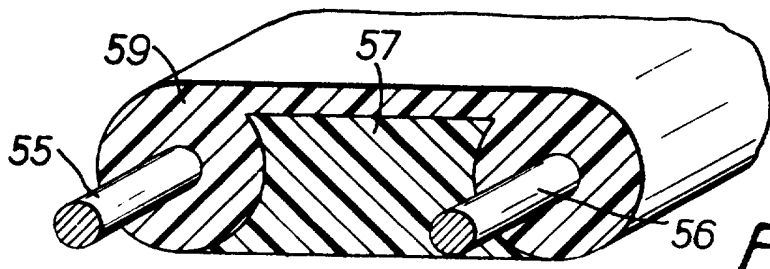


FIG. 29.

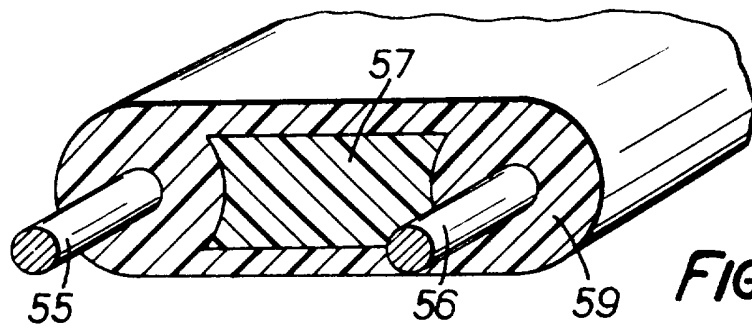


FIG. 30.

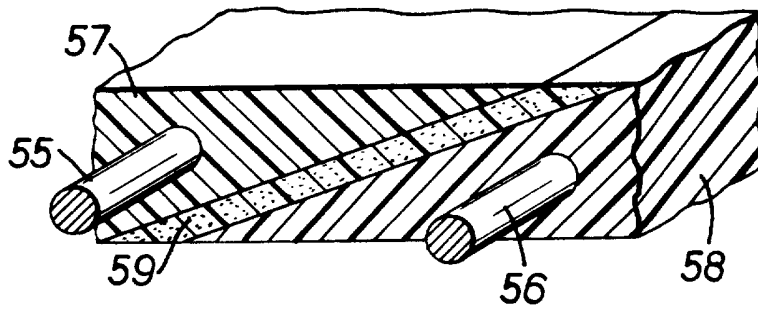


FIG. 31.

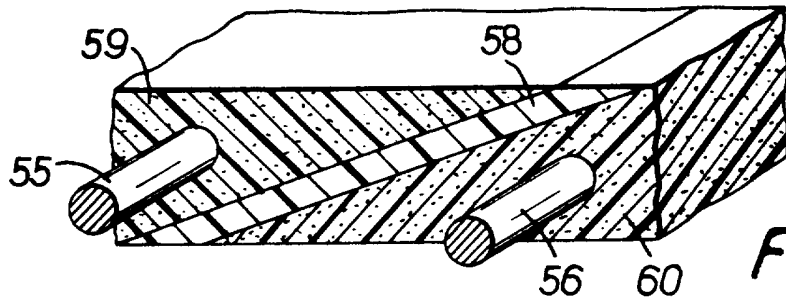


FIG. 32.

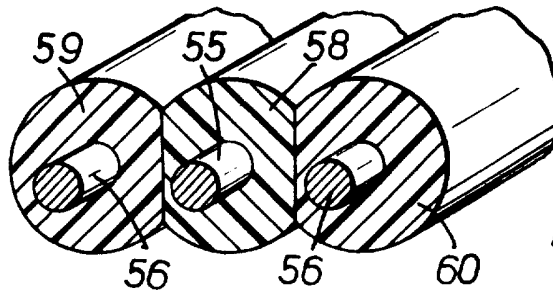


FIG. 33.

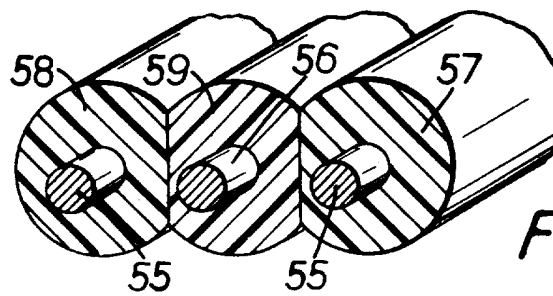


FIG. 34.

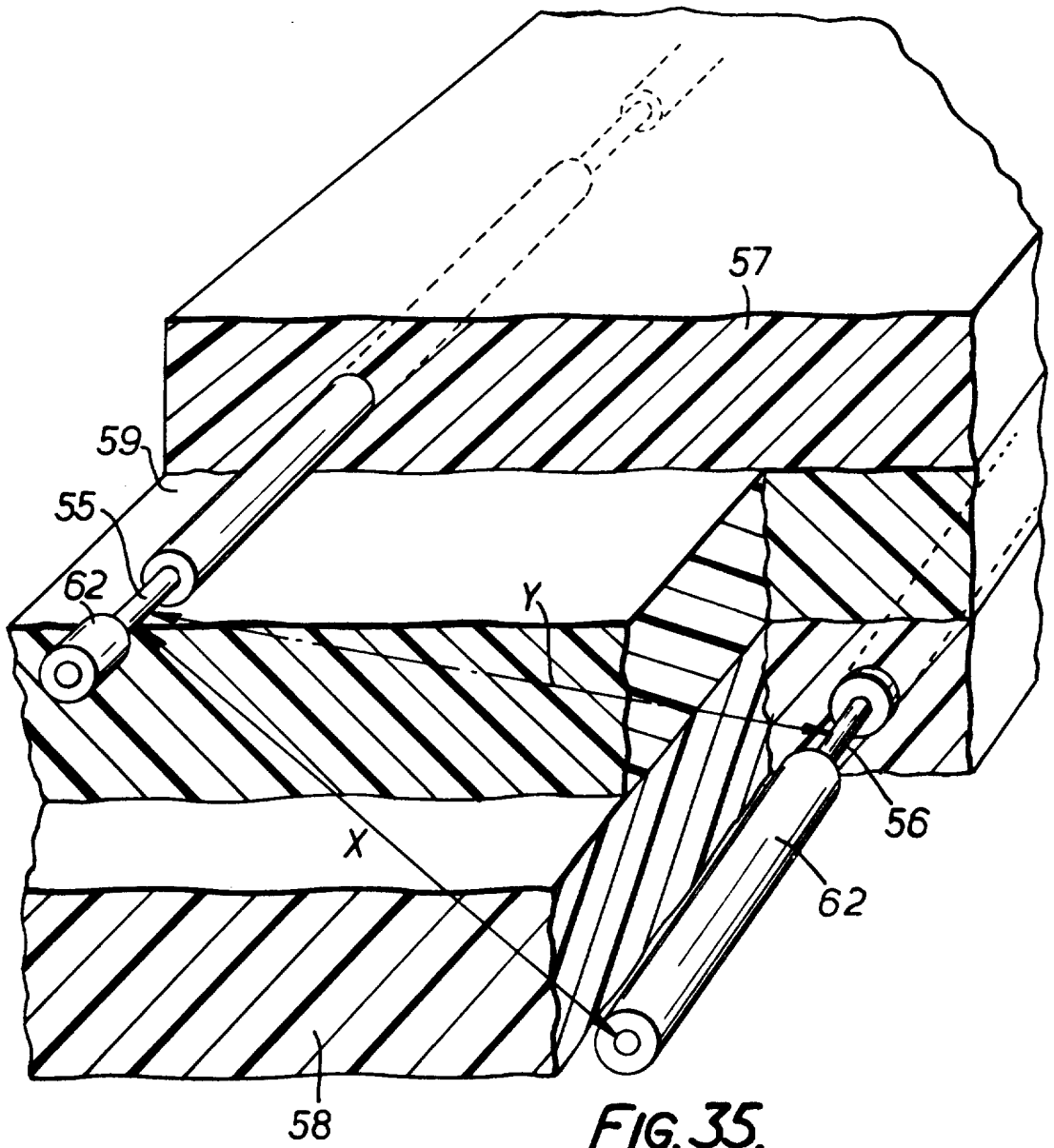


FIG. 35.

65522

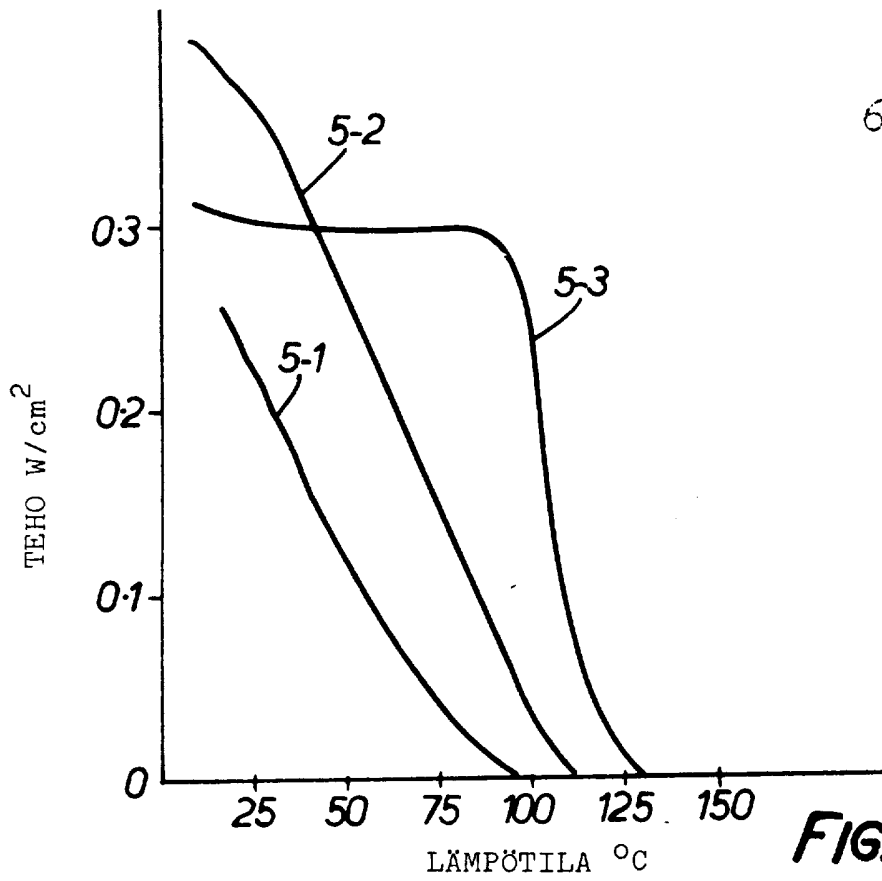


FIG.36.

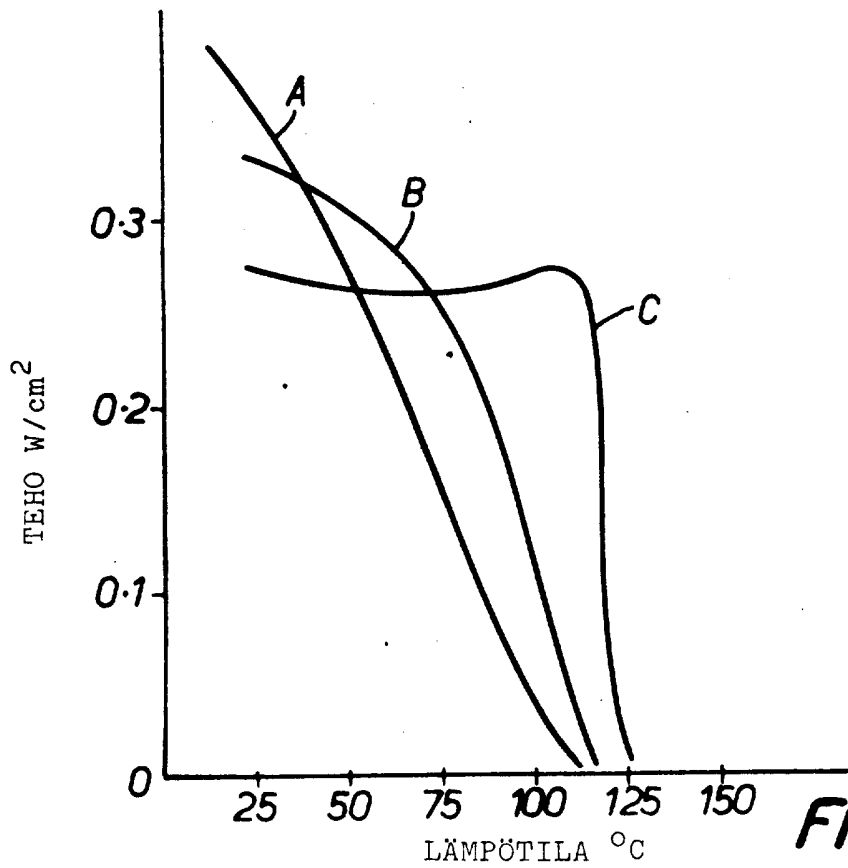


FIG.37.