

(12) **PATENT**

(21) Številka prijave: **201800199**

(51) Int. Cl. (2018.01)

(22) Datum prijave: **04.09.2018**

**F25B 9/00**

(45) Datum objave: **31.03.2020**

(72) Izumitelji: **Kitanovski Andrej, 1000 Ljubljana, SI;**  
**Tomc Urban, 1261 Ljubljana-Dobrunje, SI;**  
**Klinar Katja, 4247 Zg. Gorje, SI;**  
**Valentinčič Joško, 1000 Ljubljana, SI;**  
**Majdič Franc, 1251 Moravče, SI;**  
**Sabotin Izidor, 1000 Ljubljana, SI;**  
**Mencinger Jure, 1000 Ljubljana, SI**

(73) Imetnik: **Gorenje gospodinjiski aparati, d.o.o.,**  
**Partizanska cesta 12, 3320 Velenje, SI**

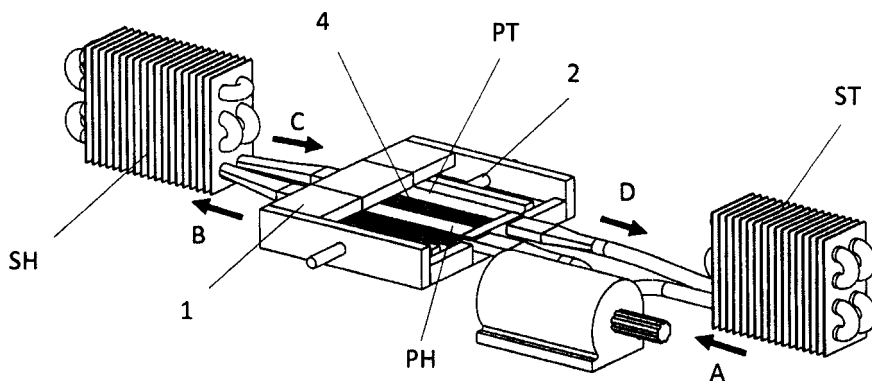
(74) Zastopnik: **Marjan Pipan, inž. el., Kotnikova 5, 1000 Ljubljana, SI**

(54) **METODA PRENOSA TOPLOTE V ZDRUŽENI STRUKTURI TOPLOTNEGA REGENERATORJA IN IZVEDBA TOPLOTNEGA REGENERATORJA**

(57) Predmet izuma je metoda prenos toplote v združeni strukturi toplotnega regeneratorja in izvedba le-tega, to je pripadajočih toplotnih regeneratorjev, ki delujejo na osnovi opisane metode in omogočajo zmanjšanje padca tlaka pri toku tekočine skozi toplotni regenerator in povečanje gostote moči. Koncept delovanja toplotnega regeneratorja po izumu, pri katerem se za oscilacijo toka primarne - prve - tekočine P uporabijo elektromehanski elementi. V ohišju (1) sta med elementoma (2) za oscilacijo primarne - prve - tekočine (P) nameščena primarni topli prenosnik (PT) toplote in primarni hladni prenosnik (PH) toplote. V smeri puščice (A) prihaja enosmerni tok sekundarne - druge - tekočine S iz ponora

toplote v primarni hladni prenosnik (PH) toplote in v smeri puščice (B) izhaja enosmerni tok sekundarne - druge - tekočine S iz primarnega hladnega prenosnika (PH) toplote proti izvoru toplote, medtem ko v smeri puščice (C) vstopa enosmerni tok sekundarne - druge - tekočine (S) v primarni topli prenosnik (PT) toplote in izhaja v smeri puščice (D) kot enosmerni tok sekundarne - druge - tekočine (S) iz primarnega toplega prenosnika (PT) toplote proti ponoru toplote. Med obema primarnima prenosnikoma (PT, PH) toplote je porozni regenerativni material, kjer je nameščen regenerator (4) s hidravlično ločenimi deli.

**SI 25712 A**





## **METODA PRENOSA TOPLOTE V ZDRUŽENI STRUKTURI TOPLOTNEGA REGENERATORJA IN IZVEDBA LE-TEGA**

Predmet izuma je metoda prenosa toplote v združeni strukturi toplotnega regeneratorja in izvedba le-tega, to je izvedba pripadajočih toplotnih regeneratorjev, ki delujejo na osnovi opisane metode in omogočajo zmanjšanje padca tlaka pri toku tekočine skozi toplotni regenerator in povečanje gostote moči. Izum podaja novo metodo za delovanje toplotnih pasivnih in aktivnih regeneratorjev, ki omogoča bistveno nižje viskozne (tlačne) izgube pri črpanju tekočine, ker tekočina ne oscilira vzdolž regeneratorja (v smeri temperaturnega gradienta, ki se vzpostavi v regeneratorju), temveč oscilira pravokotno na dolžino (pravokotno na smer temperaturnega gradienta v regeneratorju).

Toplotni regeneratorji so posebna vrsta prenosnikov toplote, ki služijo za časovno izmenično shranjevanje in oddajanje toplote. V glavnem ločimo dve vrsti regeneratorjev: statične regeneratorje (slika 1) in premikajoče se regeneratorje. Statični regeneratorji so sestavljeni iz porozne strukture, skozi katero oscilira tok tekočine. Tekočina pri tem oddaja toploto porozni strukturi ali sprejema shranjeno toploto iz porozne strukture. Uporabo statičnega regeneratorja je prvi uvedel Robert Stirling leta 1816. Torej gre za znano tehnologijo.

Pri tehnologijah, kot so na primer Stirlingove naprave ali termoakustične naprave, oscilira plin (tudi do 60 Hz) skozi porozno matrico regeneratorja, pri tem pa se na eni izmed strani regeneratorja nahaja ponor toplote (ali topli prenosnik toplote, preko katerega se toplota odvaja iz sistema), ter na drugi strani regeneratorja izvor toplote (ali hladni prenosnik toplote, preko katerega se toplota dovaja v sistem). Pri tem velja omeniti tudi tehnologijo pulznih cevi (ang. pulse

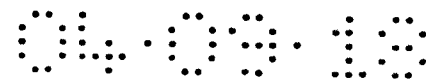


tube). To lahko na primer med drugim vidimo v sledečih patentih (US2016281638 (A1), CN105841421 (A), CN105508077 (A), WO2016146580 (A1), JP2013167220 (A), US2012151912 (A1), US2011314805 (A1), WO2010139316 (A2), JP2013117321 (A), US6560970 (B1), US2011100023 (A1), US2003196441 (A1), US2017045274 (A1), US2014238047 (A1), US2013291565 (A1)).

Številne različne izvedbe regeneracij zasledimo tudi v svetovni literaturi (R.K. Shah, D. E. Metzger (Ed); Regenerative and recuperative heat exchangers, American Society of Mechanical Engineers ASME, 1981, p.86; M. B. Ibrahim, R. C. Tew Jr., Stirling Converter Regenerators, 1st Edition, CRC Press; 2011; p. 487; D. Beck, D. G. Wilson, Gas-Turbine Regenerators, 1st ed., 1996, Springer, p. 250; F. W. Schmidt, J. A. Willmott, Regenerative and recuperative heat exchangers, Series in thermal and fluids engineering, ASME, 1981; p. 352; B. S. Baclic, G. D. Dragutinovic, Operation of Counterflow Regenerators, Computational Mechanics, Developments in Heat Transfer , Vol 4, 1998, p.208)

Skupno vsem danes poznanim rešitvam regeneracij je zagotavljanje ustrezno velike temperaturne razlike med izvorom in ponorom toplote (drugače naprava ne bi delovala). To zahteva tako konstrukcijo porozne matrice regeneratorja, ki omogoča zadostno površino za prenos toplote med regeneratorjem in tekočino, ter tudi ustrezno dolžino regeneratorja.

Tok tekočine se v vseh znanih primerih vrši vzdolž dolžine regeneratorja (slika 1). Večje, kot je število ciklov v časovni enoti (frekvenca), med katerimi se toplota oddaja ali prejema s strani regeneratorja, hitreje mora tekočina potovati. S povečevanjem frekvence namreč povečamo gostoto moči, t.j. specifično moč glede na maso materiala regeneratorja. Ker gre za porozno strukturo je jasno, da hitro osciliranje tekočine skozi porozno strukturo vodi do bistveno večjih tlačnih



izgub, ki so posledica viskoznih sil. To posledično pomeni notranjo (nezaželeno) generacijo toplote, in tudi signifikantno znižanje izkoristka naprave.

Statični regeneratori se uporabljajo tudi pri t.i. kaloričnih tehnologijah, ki jih nadalje delimo na magnetokalorične, elektrokalične, barokalorične, elastokalorične in multikalorične. Ker gre pri vseh omenjenih tehnologijah za posebno vrsto regeneratorjev, ki se pod vplivom spremembe zunanjih sil ali polj ohlajajo ali ogrevajo, imenujemo te vrste regeneratorjev aktivni kalorični regeneratori. Prva, ki sta predlagala uvedbo aktivnega (magnetokaloričnega) regeneratorsa, sta bila J.A. Barclay in W.A. Steyert, in sicer leta 1982 (US 4.332.135). Pasivni regenerators je vsak regenerators toplote, ki ni kaloričen. Torej po definiciji pasivni kalorični regeneratorsji ne obstajajo.

Tudi pri kaloričnih regeneratorsjih oscilira tok tekočine skozi porozno matrico in sicer v smeri temperaturnega gradienta, torej v smeri vzdolž regeneratorsja. Večletne raziskave na tem področju so pokazale, da je za učinkovit prenos toplote potrebna porozna struktura, ki ima poroznost v območju od 20 do 40 % (A. Kitanovski, J. Tušek, U. Tomc, U. Plaznik, M. Ožbolt, A. Poredoš, Magnetocaloric Energy Conversion: from Theory to Applications, Springer International Publishing, 2015, p.456)

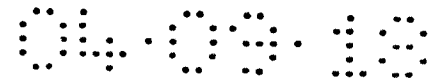
Za učinkovit prenos toplote se pri kaloričnih regeneratorsjih običajno uporabljajo kapljevine (npr. voda, voda z aditivi proti zamrzovanju, olja, tekoče kovine, hladilna sredstva hladilnih sistemov itd). V želji po čim večji gostoti moči mora tekočina v aktivnem kaloričnem regeneratorsju čim hitreje oscilirati oziroma se gibati skozi omenjeni regenerators. Omenjeni regenerators pa mora imeti za dober prenos toplote kar se da veliko površino prenosa toplote, kar posledično predstavlja majhno poroznost regeneratorsja. Ker imajo kapljevine večjo viskoznost kot plini, se pri oscilaciji kapljevins skozi aktivne regeneratorsje z majhno



poroznostjo pojavljajo težave, ki so vezane na viskozne izgube. Te pa povzročajo neželjeno generiranje toplote (zaradi disipacije energije) in močan padec tlaka oziroma povečanje potrebne moči črpalnih mehanizmov za črpanje kapljevine skozi regeneratorski element. Oboje omejuje učinkovitost regeneratorskih elementov, saj lahko zaradi ohranjanja učinkovitosti v njih običajno kapljevina oscilira le do okoli 5 Hz (število termodinamičnih ciklov na enoto časa).

Temu sledi zmožnost delovanja predvsem pri nižjih frekvencah. To dejstvo tako močno omejuje delovanje kalorične naprave, da je le ta zmožna delovati predvsem pri nižjih frekvencah. Kot je razvidno iz slike 2, običajna vrsta magnetokaloričnega regeneratorskega elementa ne omogoča učinkovitega delovanja pri visokih frekvencah oz. večjem številu (številu termodinamičnih ciklov na enoto časa). Če sledimo krivulji za specifično moč na enoto mase magnetokaloričnega materiala, le ta prične padati pri višjih frekvencah obratovanja (med 8 in 10 Hz na sliki 2). Razlog zato je v že omenjenem povečanem trenju tekočine in generaciji toplote zaradi disipacije energije. Če pa povečamo poroznost regeneratorskega elementa, se s tem sicer zmanjšajo viskozne izgube, zmanjša pa se tudi površina prenosa toplote. Še bolj očitno kot sama hladilna moč je torej padec učinkovitosti hladilnega cikla (razmerje hladilne moči in vložene moči magnetnega dela in črpalke), ki jo določamo preko hladilnega števila COP. Brez upoštevanja moči črpalke je lahko hladilno število bistveno višje. Razlog za tak občuten padec učinkovitosti je torej v črpalnih izgubah, ki so posledica viskoznih izgub zaradi oscilacije tekočine skozi porozno strukturo regeneratorskega elementa. Višja kot je frekvenca, bolj očitne so izgube.

Pregled svetovne literature, kot tudi prijavljenih patentov (npr. A.Kitanovski, J. Tušek, U. Tomc, U. Plaznik, M. Ožbolt, A. Poredoš, *Magnetocaloric Energy Conversion: from Theory to Applications*, Springer International Publishing, 2015,

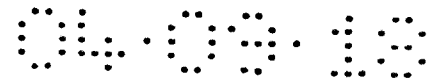


p.456; DE 3833251 C1, EP 2615393 A2, SI24240 A, US5743095, US6022486, US2004/0093877 A1, US2010/0107654 A1, US2012/0079834 A1, US2012/0222427 A1, US2013/0247588 A1, US2016/0069596 A1, US2017/0130999 A1, WO2017/162768 A1) kaže na dejstvo, da so vsi kalorični regenerotorji izvedeni na način, da tekočina oscilira vzdolž regeneratorja, torej v smeri v kateri se v celotnem regeneratorju pri stacionarnem obratovanju vzpostavi temperaturni gradient.

Kljub temu, da oscilacija tekočine vzdolž matrice regeneratorja povzroča generiranje toplote in velike tlačne izgube, ni niti v patentnih dokumentih, niti v svetovni literaturi zaslediti, da bi bila uporabljena drugačna metoda gibanja tekočine skozi regenerator.

Metoda prenosa toplote z enosmernim tokom tekočine v združeni strukturi toplotnega regeneratorja po izumu podaja nov način delovanja toplotnih pasivnih in aktivnih regeneratorjev, ki omogoča bistveno nižje viskozne (tlačne) izgube pri črpanju tekočine. Bistvo metode po izumu je v tem, da tekočina ne oscilira vzdolž regeneratorja (smeri temperaturnega gradienta, ki se vzpostavi v regeneratorju), temveč oscilira bistveno pravokotno na vzdolžno os (pravokotno na smer temperaturnega gradienta v celotnem regeneratorju).

Pri metodi po izumu sta uporabljeni dve (primarna in sekundarna) tekočini, ki prenašata toploto v strukturi regeneratorja, ki je sestavljena iz regeneratorja, sestavljenega iz več ločenih hidravlično ločenih prekatov in štirih prenosnikov toplote: primarni hladni prenosnik PH toplote, primarni topli prenosnik PT toplote, sekundarni hladni prenosnik SH toplote in sekundarni topli prenosnik ST toplote. Primarna (prva) tekočina P oscilira po širini porozne strukture v regeneratorju in prenaša toploto iz primarnega hladnega prenosnika PH toplote v primarni topli prenosnik PT toplote. Na ta način naredi enak volumen tekočine v enem ciklu



veliko krajšo pot kot pri do sedaj znani rešitvi (ki je shematsko prikazana na sliki 1), medtem ko sekundarna tekočina kroži (enosmerni tok) in potuje skozi vse štiri prenosnike PH, PT, SH, ST toplote.

Toplotni regeneratorski sistem, ki deluje na osnovi predlagane metode sestoji iz:

- porozne strukture regeneratorskega sistema, sestavljenega iz hidravlično ločenih delov, ki onemogočajo vzdolžni tok primarne - prve - tekočine P, ki je delovna tekočina v regeneratorskem sistemu;

- primarnega toplega prenosnika PT toplote, ki v primeru hladilne naprave ali toplotne črpalke omogoča prenos toplote iz oscilirajočega toka primarne - prve - tekočine P na enosmerni tok sekundarne - druge - tekočine S na topli strani porozne strukture regeneratorskega sistema;

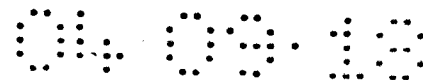
- primarnega hladnega prenosnika PH toplote, ki v primeru hladilne naprave ali toplotne črpalke omogoča prenos toplote iz enosmerne toka sekundarne - druge - tekočine S na oscilirajoči tok primarne - prve - tekočine P na hladni strani porozne strukture regeneratorskega sistema;

- sekundarnega hladnega prenosnika SH toplote, ki je nameščen na strani izvora toplote in služi v primeru hladilne naprave ali toplotne črpalke za dovod toplote v sekundarno (drugo) tekočino S;

- sekundarnega toplega prenosnika ST toplote, ki je nameščen na strani ponora toplote in služi v primeru hladilne naprave ali toplotne črpalke za odvod toplote iz sekundarne - druge - tekočine S;

- sekundarne - druge - tekočine S, ki povezuje izvor in ponor toplote preko prenosnikov PT in PH toplote;

- toka sekundarne - druge - tekočine S skozi primarni topli prenosnik PT toplote, ki je nasprotno usmerjen svojemu toku sekundarne - druge - tekočine S v primarnem hladnem prenosniku PH;



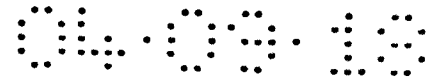
- sistema za črpanje sekundarne - druge - tekočine S;
- sistema za oscilacijo primarne - prve - tekočine P.

Izum bomo podrobneje obrazložili na osnovi izvedbenega primera in pripadajočih slik, od katerih kaže:

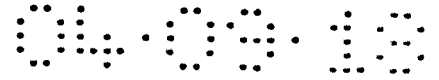
- slika 1 primer statičnega regeneratorja z oscilacijo toka tekočine (znano stanje);
- slika 2 graf delovanja kalorične naprave v odvisnosti od frekvence (števila termodinamičnih ciklov na enoto časa);
- slika 3 princip delovanja toplotnega regeneratorja po metodi za prenos toplote po izumu;
- slika 4A osnovni primer delovanja po konceptu izuma, pri katerem oscilacija toka primarne - prve - tekočine P temelji na delovanju elektro-mehanskih elementov;
- slika 4B izvedbeni primer delovanja po konceptu izuma, pri katerem oscilacija toka primarne - prve - tekočine P temelji na delovanju elektro-mehanskih elementov;
- slika 5 izvedbeni primer črpanja primarne - prve - tekočine P s piezoelektričnim elementom in hidravličnim ojačevalnikom pomika;
- slika 6 izvedbeni primer črpanja primarne - prve - tekočine P s piezoelektričnim elementom z mehanskim ojačevalnikom pomika;
- slika 7 izvedbeni primer črpanja primarne - prve - tekočine P s piezoelektričnim aktuatorjem brez ojačevalnika pomikov;



- slika 8 izvedbeni primer črpanja primarne - prve - tekočine P z elektromotorjem;
- slika 9 izvedbeni primer črpanja primarne - prve - tekočine P z elektromagnetom;
- slika 10 shema sistema z eno črpalko v primarnem krogu in 4/2 potnim ventilom;
- slika 11 shema koncepta z dvema črpalkama;
- slika 12 shema koncepta s štirimi 2/2 vklopno/izklopnimi potnimi ventili;
- slika 13A shematski prikaz pulziranja toka tekočine preko regeneratorja z ustvarjanjem tlačnih valov s kontinuiranim delovanjem črpalke ter zapiranjem in odpiranjem 2/2 potnega ventila pri odprtem ventilu, pulz toka v smeri delovanja črpalke;
- slika 13B shematski prikaz pulziranja toka tekočine preko regeneratorja z ustvarjanjem tlačnih valov s kontinuiranim delovanjem črpalke ter zapiranjem in odpiranjem 2/2 potnega ventila pri zaprtem ventilu, pulz toka proti smeri delovanja črpalke;
- slika 14A osnovni koncept izuma pri katerem oscilacija toka primarne - prve - tekočine P temelji na uporabi principa elektrohidrodinamike ali elektrokinetike tekočine;
- slika 14B izvedbeni primer delovanja izuma pri katerem oscilacija toka primarne - prve - tekočine P temelji na uporabi principa elektrohidrodinamike ali elektrokinetike tekočine;



- slika 15A prikaz hidravlično ločenega dela celotnega regeneratorja toplote, ki je v stiku s prenosnikoma PT toplote in PH toplote, sestavljenega iz urejene strukture (npr. vzporedne plošče, zig-zag plošče, satovje, plošče z obdelano površino);
- slika 15B prikaz hidravlično ločenega dela celotnega regeneratorja toplote, ki je v stiku s prenosnikoma PT toplote in PH toplote, sestavljenega iz porozne matrice (npr. nasutje, pena, ovoj žic);
- slika 16A primer izvedbe dela kaloričnega regeneratorja, sestavljenega iz vzporednih plošč kaloričnega materiala, na katerih so nameščene elektrode, kjer so kapljice ločene med ploščicami;
- slika 16B primer izvedbe dela kaloričnega regeneratorja, sestavljenega iz vzporednih plošč kaloričnega materiala, na katerih so nameščene elektrode, kjer so kapljice ena zraven druge na ravnini ploščice;
- slika 17A primer izvedbe dela kaloričnega regeneratorja, sestavljenega iz vzporednih plošč kaloričnega materiala z orebreno površino na katerih so nameščene elektrode, kjer so kapljice ločene med ploščicami;
- slika 17B primer izvedbe dela kaloričnega regeneratorja, sestavljenega iz vzporednih plošč kaloričnega materiala z orebreno površino na katerih so nameščene elektrode, kjer so kapljice ena zraven druge na ravnini ploščice;
- slika 17C primer izvedbe dela kaloričnega regeneratorja, sestavljenega iz vzporednih plošč kaloričnega materiala z orebreno



- površino na katerih so nameščene elektrode, ki kaže povečano sliko ploščic z razširjeno površino;
- slika 18A prikazuje spodnjo stran regenerotorja na kateri so nanešene elektrode, s katerimi s spreminjanjem električnega potenciala premikamo tekočino P (princip elektroosmočenja) skozi piramidasto oblikovane kanale;
- slika 18B prerez regenerotorja, kjer so razvidni piramidasto oblikovani kanali, eden zraven drugega;
- slika 19A prikazuje spodnjo stran regenerotorja na kateri so nanešene elektrode, s katerimi s spreminjanjem električnega potenciala premikamo tekočino P (princip elektroosmočenja) skozi kroglasto oblikovane kanale;
- slika 19B prerez regenerotorja, kjer so razvidni kroglasto oblikovani kanali, eden zraven drugega;
- slika 20A spodnji in zgornji del kaloričnega regenerotorja, sestavljenega iz kaloričnega materiala, katerega površina ima kanale v obliki različnih oblik kanalov;
- slika 20B spodnji del kaloričnega regenerotorja, katerega površina ima kanale v obliki vijugastih kanalov;
- slika 20C zgornji del kaloričnega regenerotorja, sestavljenega iz kaloričnega materiala, katerega površina ima kanale v obliki labirintnih kanalov;
- slika 20D spodnji del kaloričnega regenerotorja, katerega površina ima kanale v obliki cik-cak kanalov;



- slika 20E zgornji del kaloričnega regeneratorja, sestavljenega iz kaloričnega materiala, katerega površina ima kanale v obliki labirintnih kanalov;
- slika 20F spodnji del kaloričnega regeneratorja, katerega površina ima kanale v obliki labirintnih kanalov;
- slika 20G zgornji del kaloričnega regeneratorja, sestavljenega iz kaloričnega materiala, katerega površina ima kanale v obliki labirintnih kanalov;
- slika 20H spodnji del kaloričnega regeneratorja, katerega površina ima kanale v obliki križnih kanalov;
- slika 21 shematski prikaz mehanizma za oscilacijo toka, ki temelji na principu elektroosmoze; tok primarne tekočine v prenosnik toplote PH toplote; regenerator je podvržen pozitivni spremembi polja ali sile kjer detajl A prikazuje elektrohidrodinamične razmere toka primarne - prve - tekočine P znotraj prenosnika toplote;
- slika 22 shematski prikaz mehanizma za oscilacijo toka, ki temelji na principu elektroosmoze; tok primarne – prve - tekočine v prenosnik PT toplote; regenerator je podvržen negativni spremembi polja ali sile kjer detajl A prikazuje elektrohidrodinamične razmere toka primarne - prve - tekočine P znotraj prenosnika toplote;
- slika 23 primer strukture prenosnika PT toplote in prenosnika PH toplote, med katerima se v vmesnem prostoru nahaja regeneratorski del;



- slika 24 primer strukture prenosnika PT toplote ali prenosnika PH toplote;
- slika 25A primer celotne strukture prenosnika PT toplote ali prenosnika PH toplote;
- slika 25B primer celotne strukture prenosnika PT toplote ali prenosnika PH toplote v prečnem prerezu;
- slika 26 primer strukture prenosnika PT toplote ali prenosnika PH toplote;
- slika 27 primer strukture prenosnika PT toplote ali prenosnika PH toplote s pravokotnimi kanali, za primer elektrohodinamičnega črpanja primarne - prve - tekočine P;
- slika 28 primer strukture prenosnika PT toplote ali prenosnika PH toplote s cik-cak kanali, za primer elektrohodinamičnega črpanja primarne - prve - tekočine P;
- slika 29 primer strukture prenosnika PT toplote ali prenosnika PH toplote s trikotnimi kanali za primer elektrohodinamičnega črpanja primarne - prve - tekočine P.

Metoda prenosa toplote v združeni strukturi toplotnega regeneratorja po izumu in izvedbeni primeri bodo v nadaljevanju podrobno opisani.

Za lažjo razlago delovanja predlagane metode po izumu je na sliki 3 prikazano delovanje strukture toplotnega regeneratorja po metodi za prenos toplote po izumu. Metoda regeneracije toplote z oscilacijo toka primarne – prve - tekočine P

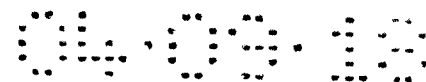


poteka pravokotno na smer temperaturnega gradienta v celotni strukturi regeneratorja, in z enosmernim tokom sekundarne - druge - tekočine S, ki povezuje izvor in ponor toplote preko sekundarnega toplega prenosnika ST toplote in sekundarnega hladnega prenosnika SH toplote.

Metodo po izumu lahko za ponazoritev obravnavamo kot delovanje kalorične hladilne naprave in njeno delovanje razdelimo na štiri osnovne termodinamične procese:

- magnetizacija, polarizacija, razteg kaloričnega regeneratorja ali porast tlaka v kaloričnem regeneratorju. Celotna struktura regeneratorja se posledično segreje;
- prenos toplote v konstantnem polju ali ob konstantni sili. Primarna - prva - tekočina P v tej fazi oscilacije potuje v smeri primarnega toplega prenosnika PT toplote. Posledično primarna - prva - tekočina P prevzame toploto iz hidravlično ločenih delov regeneratorja in toploto prenese v primarni topli prenosnik PT toplote. Prenosnik PT toplote prenese toploto na sekundarno - drugo - tekočino S;
- demagnetizacija, depolarizacija, razbremenitev kaloričnega regeneratorja ali padec tlaka v kaloričnem regeneratorju. Celotna struktura regeneratorja se posledično ohladi;
- prenos toplote ob odsotnosti polja ali ob odsotnosti sil na kalorični regeneratork. Primarna - prva - tekočina P v tej fazi oscilacije potuje v smeri primarnega hladnega prenosnika PH toplote. Posledično primarna - prva - tekočina P odda toploto hidravlično ločenim delom regeneratorja in sprejme toploto v primarnem hladnem prenosniku PH toplote. Prenosnik PH toplote sprejme toploto iz sekundarne - druge - tekočine S.

Termodinamični procesi so lahko tudi drugačni, odvisno od vrste termodinamičnega krožnega procesa.



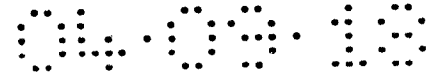
Na slikah 4a in 4b je prikazan koncept delovanja toplotnega regeneratorsa po izumu, pri katerem se za oscilacijo toka primarne tekočine P iz slike 3 uporabijo elektro-mehanski elementi.

V ohišju 1 sta med elementoma 2 za oscilacijo primarne - prve - tekočine P nameščena primarni topli prenosnik PT toplote in primarni hladni prenosnik PH toplote. V smeri puščice A prihaja enosmerni tok sekundarne - druge - tekočine S iz ponora toplote ST v primarni hladni prenosnik PH toplote in v smeri puščice B izhaja enosmerni tok sekundarne - druge - tekočine S iz primarnega hladnega prenosnika PH toplote proti izvoru toplote SH, medtem ko v smeri puščice C vstopa enosmerni tok sekundarne - druge - tekočine S izvora toplote v primarni topli prenosnik PT toplote in izhaja v smeri puščice D kot enosmerni tok sekundarne - druge - tekočine S iz primarnega toplega prenosnika PT toplote proti ponoru toplote. Med obema primarnima prenosnikoma PT, PH toplote je porozni regenerativni material, kjer je nameščen regenerators 4 (prikazan na sliki 3) s hidravlično ločenimi deli.

Primarni topli prenosnik PT toplote, primarni hladni prenosnik PH toplote, sekundarni topli prenosnik ST toplote in sekundarni hladni prenosnik SH toplote so sestavljeni iz materialov, izbranih iz skupine , ki jo sestavljajo kovine, polimeri, ogljikovi ali karbonski materiali, kot so ogljik, grafit, grafen, kompozitni materiali, keramični materiali, cement, beton ali kamnine in njihovih kombinacij.

Primarna - prva - tekočina P in sekundarna – druga - tekočina S sta izbrani iz skupine, ki jo sestavljajo kapljevinna, tekoči metal, plin ali hladivo.

Mehanizem, naprava ali fizikalni fenomen, ki omogoča tok primarne - prve - tekočine P temelji na mehanskem gibanju, kapilarnem efektu, elektro-kinetiki, elektro-hidrodinamiki, magneto-hidrodinamiki, elektro-omočenju ali magneto-omočenju ali principu toplotne cevi, medtem ko mehanizem, naprava ali fizikalni



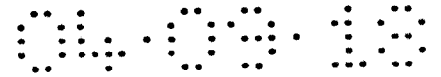
fenomen, ki omogoča tok sekundarne - druge - tekočine S temelji na mehanskem gibanju, kapilarnem efektu, elektro-kinetiki, elektro-hidrodinamiki, magneto-hidrodinamiki, elektro-omočenju ali magneto-omočenju, principu toplotne cevi ali parno-kompresorskega procesa.

Porozni regenerativni material regeneratorja 4 v hidravlično ločenih predelkih je lahko kalorični (magnetokalorični, barokalorični, elastokalorični, elektokalorični, multikalorični) material, kombiniran z vsaj enim drugim materialom izbranim iz skupine, ki jo sestavljajo kovine, keramika, steklo, kompozitni ogljikovi ali karbonski materiali, polimer ali kompozit iz polimernih materialov, metamateriali, tekoči kristali.

Kadar naprava vsebuje kalorični ali kombinacijo kaloričnega materiala in drugih materialov kot porozni regenerativni material v hidravlično ločenih predelkih, potem je naprava, ki jo lahko tvorimo na podlagi tega, izbrana iz skupine, ki jo sestavljajo kalorični hladilnik, kalorična toplotna črpalka in kalorični generator energije.

Porozni regenerativni material regeneratorja v hidravlično ločenih predelkih je lahko izbran iz skupine, ki jo sestavljajo desikativni materiali, kot so: aktiviran aluminij, aerogel, benzofenon, bentonit, kalcijev klorid, kalcijev oksid, kalcijev sulfat, kobaltov klorid, bakrov sulfat, litijev klorid, litijev bromid, magnezijev sulfat, magnetijev perklorat, molekularno sito, kalijev karbonat, kalijev hidroksid, silica gel, natrij, natrijev klorat, natrijev klorid, natrijev hidroksid, natrijev sulfat, sukroza.

Kadar naprava vsebuje desikativni material kot porozni regenerativni material v hidravlično ločenih predelkih, potem je naprava, ki jo lahko tvorimo na podlagi tega izbrana iz skupine, ki jo sestavljajo adsorpcijski hladilnik, adsorpcijska toplotna črpalka ali adsorpcijska sušilna naprava, adsorpcijski hladilnik,



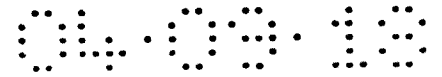
absorpcijska toplotna črpalka ali absorpcijska sušilna naprava, ali katalizator, ali kemični reaktor.

Porozni regenerativni material regeneratorja v hidravlično ločenih predelkih je lahko izbran iz skupine, ki jo sestavljajo materiali iz skupine, ki načeloma niso kalorični, kot so: kovine, keramika, steklo, kompozitni ogljikovi ali karbonski materiali, polimer ali kompozit iz polimernih materialov, ali metamateriali, ali minerali, cement, beton, kamnine, ali kombinacija vsaj dveh navednih materialov. Kadar naprava vsebuje take materiale kot porozni regenerativni material v hidravlično ločenih predelkih, potem je naprava, ki jo lahko tvorimo na podlagi tega izbrana iz skupine, ki jo sestavljajo: mehanski Stirlingov hladilnik, mehanska Stirlingova toplotna črpalka, mehanski Stirlingov generator energije, termoakustični hladilnik, termoakustična toplotna črpalka, termoakustični generator energije, hladilnik, temelječ na pulzni cevi, hladilnik, temelječ na Gifford-McMahon (GM) ciklu, peč ali kotel, katalizator ali kemični reaktor.

Število hidravlično ločenih predelkov je večje od 10000, prednostno med 1000 in 10000, bolj prednostno med 100 in 1000, in najbolj prednostno med 10 in 100.

Na slikah 5 do 12 so prikazani izvedbeni primeri elektro-mehanskih elementov za oscilacijo toka primarne - prve - tekočine P.

Slika 5 prikazuje prvi izvedbeni primer mehanizma za oscilacijo toka primarne - prve - tekočine P iz slike 3. Ta rešitev vključuje piezoelektrični element 5 in hidravlični ojačevalnik 6 pomika. Hidravlični ojačevalnik 6 pomika deluje po principu različnih velikosti stičnih površin. Napolnjen je z nestisljivo kapljevino, ki male pomike velike ploskve pretvori v večje pomike manjše ploskve. Koncept z lijakom poskrbi, da male pomike piezoelektričnega elementa 5 in bata 7 z mebrano dodatno ojača, kar omogoča dosego ciljnega pretoka skozi strukturo regeneratorja. Oba prenosnika PT in PH toplote sta v ohišju nameščena med

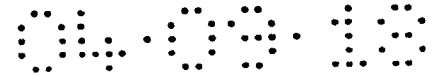


piezoelektričnim elementom 5 in hidravličnim ojačevalnikom 6 pomika z batom 7 in membrano na eni strani in batom 7' in membrano ter vzmetjo 8 na drugi strani.

Slika 6 prikazuje drugi izvedbeni primer mehanizma za oscilacijo toka primarne - prve - tekočine P iz slike 3. Zamisel je zasnovana na podobnem principu kot rešitev na sliki 5, vendar s to razliko, da je mehanizem ojačenja drugačen. Oba prenosnika PT in PH toplote sta nameščena podobno kot v izvedbi opisani na sliki 5, le da je v tej izvedbi uporabljeno mehansko ojačevanje pomikov. Mehanski ojačevalniki pomikov, ki temeljijo na vzvodu 9, so v praksi najpogosteje uporabljeni. Ko skladovnemu piezoelektričnemu elementu 10 na sliki dovajamo električni tok, se le ta raztegne, ob prekinitvi pa skrči ter se tako ustvari oscilatorno premikanje piezoelektričnega elementa 10 za črpanje primarne - prve - tekočine P.

Slika 7 prikazuje tretji izvedbeni primer mehanizma za oscilacijo toka primarne - prve - tekočine P iz slike 3. Oba prenosnika PT in PH toplote sta nameščena podobno kot v izvedbi opisani na sliki 5, le da izvedbo na sliki 7 sestavlja piezoelektrični element 11, ki je vezan direktno na bat 12 z membrano brez ojačevalnikov pomikov. Za doseganje želenih pomikov membrane moramo zaporedno postaviti daljši sklad piezoelektričnih elementov 11.

Slika 8 prikazuje četrti izvedbeni primer mehanizma za oscilacijo toka primarne - prve - tekočine P iz slike 3. Oba prenosnika PT in PH toplote sta nameščena podobno kot v izvedbi opisani na sliki 5, le da izvedbeni koncept visokofrekvenčnega pulziranja vključuje enosmerni elektromotor 13 brez krtačk in rotor 14, na katerega je ekscentrično pritrjena mehanska povezava, ki rotacijsko gibanje elektromotorja 13 pretvarja v linearno gibanje membrane. Ta posledično pulzira kapljevino skozi strukturo regenerotorja. Razlog za izbiro enosmernega elektromotorja 13 brez krtačk je v tem, da so ti motorji tišji, bolj zanesljivi, imajo

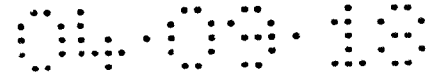


večji izkoristek in višje razmerje navor-masa, kot pa motorji s krtačkami. Ena izmed pomembnih lastnosti je tudi, da ne potrebujejo zračnega toka za hlajenje in so posledično lahko zaprti v ohišje, ki preprečuje vdor umazanije in vode.

Slika 9 prikazuje peti izvedbeni primer mehanizma za oscilacijo toka primarne - prve - tekočine P iz slike 3. Oba prenosnika PT in PH toplote sta nameščena podobno kot v izvedbi opisani na sliki 5, pri čemer pulziranje primarne - prve - tekočine P omogoča na eni strani nameščen elektromagnet 15, ki ga vklapljammo in izklapljammo tako, da dobimo pulziranje z želeno frekvenco. Na drugi strani je nameščen batom 7' z membrano ter vzmetjo 8. Ko v elektromagnet 15 steče tok, le-ta privlači bat 7 z membrano. Med gibanjem bata 7 in membrane proti elektromagnetu 15 se hkrati stiska tudi vzmet 17, ki po izklopu elektromagneta 15 omogoča vrnitev bata 7 in membrane v prvoten položaj. Sila vzmeti 17 mora biti bistveno manjša od sile elektromagneta, da ne ovira njegovega delovanja, vendar dovolj velika da ob izklopu elektromagneta 15 dovolj hitro vrne bat 7 z membrano v prvotni položaj.

Slika 10 prikazuje shemo šestega izvedbenega primera mehanizma za oscilacijo toka primarne - prve - tekočine P iz slike 3. Ta izvedba zahteva eno črpalko 18 s konstantno iztislino in 4/2 potni ventil 19. Črpalka 18 primarnem krogu s konstantno iztislino potiska tekočino skozi ventil 19, ki izmenično spreminja smer toka v primarnem krogu skozi strukturo regenerotorja. Tako v ciklu, ko se generira toplota to potisne na eno stran, ko pa se struktura regenerotorja ohladi pa na njegovo drugo stran. Druga črpalka 20 pa v drugem, sekundarnem krogu potiska tekočino skozi ločeni plasti regenerotorja konstantno v eno smer čez hladni prenosnik PH in topli prenosnik PT toplote.

Slika 11 prikazuje shemo sedmega mehanizma za oscilacijo toka - prve - tekočine P iz slike 3. Ta izvedba je sestavljena iz dveh črpalk 21,22, ki sta



nameščeni vsaka na eni strani regeneratorja in sta obrnjeni ena proti drugi. Delovanje tega mehanizma temelji na elektronskem krmiljenju, ki z ustrežno frekvenco izmenično vklaplja in izklaplja črpalke 21,22. Na ta način dobimo spremembo smeri vstopa kapljevine v strukturo regeneratorja. Sekundarni krog je enak kot v primeru na sliki 10.

Slika 12 prikazuje shemo osmega mehanizma za oscilacijo toka primarne - prve - tekočine P iz slike 3. Ta izvedba je sestavljen iz štirih vklopno/izklopnih 2/2 potnih ventilov 23,24,25,26, črpalke 27 in varnostnega ventila 28. Ventili 23, 24 25, 26 so elektronsko krmiljeni tako, da se smer toka skozi strukturo regeneratorja izmenično spreminja. Na sliki 12 so vsi 2/2 potni ventili 23, 24 25, 26 narisani v ničelnem položaju – to pomeni da za ta položaj ni potrebnega električnega toka na njihovih elektromagnetih. Ničelni položaj vseh štirih 2/2 potnih ventilov 23, 24 25, 26 je izbran tako, da je zagotovljena prva smer toka primarne - prve - tekočine P skozi generator. Črpalka 27 potiska primarno – prvo - tekočino P skozi pretočno odprti ventil št. 23 v regenerator. Iz regeneratorja se primarna – prva - tekočina P vrača na sesalni del črpalke skozi pretočno odprti ventil 26. Ventila 24 in 25 sta za prvo smer toka primarne - prve - tekočine P zaprta. Za zamenjavo smeri toka primarne - prve - tekočine P pa elektronika električno napajanja (vklopi) vse štiri magnetne 2/2 potnih ventilov 23, 24 25, 26. Tako je v tem primeru ventil št. 25 pretočno odprt in primarna – prva - tekočina P primarnega kroga potuje od črpalke 27 na drugo stran regeneratorja (na sliki 12 z zgornje strani). Iztok primarne - prve - tekočine P iz regeneratorja je v tem drugem primeru s spodnje strani. Primarna – prva - tekočina P se preko pretočno-odprtega ventila 24 vrača na sesalni del črpalke 27. Sekundarni krog je enak kot v primeru na sliki 10.

Slika 13 prikazuje shemo devetega mehanizma za oscilacijo toka primarne - prve - tekočine P iz slike 3, ki ne potrebuje dodatnih elektro-mehanskih komponent. Osciliranje primarne - prve - tekočine P temelji na tlačnem valovanju, ki je posledica nenadnih odpiranj in zapiranj pretočne reže v dvopoložajnem (2/2) potnem ventilu 28. Črpalka 29 deluje enosmerno in kontinuirano, medtem ko s pulzirajočim odpiranjem in zapiranjem 2/2 potnega ventila 28 ustvarjamo tlačne (odbojne) valove, ki potujejo po sistemu. Zato se v sistemu spremeni smer toka primarne - prve - tekočine P. Slika 13A prikazuje stanje, ko je 2/2 potni ventil 28 odprt. Črpalka 29 potiska tekočino v x-smeri proti ponoru toplote in tudi preko porozne strukture regenerotorja. Tako je tlak na tlačni strani črpalke 29 višji, kot pred vstopom v ventil 28, kar je razvidno iz diagrama p-x.

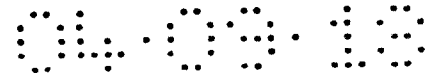
Slika 13B prikazuje tlačne razmere, ko 2/2 potni ventil 28 za trenutek zapremo, medtem ko črpalka 29 še vedno deluje. Zaradi nenadnega zaprtja poti toku primarne - prve - tekočine P pride do nenadnega porasta tlaka tik pred 2/2 potnim ventilom 28. Tlak je tik pred ventilom 28 v tem trenutku višji od tlaka na tlačni strani črpalke 29 (kar prikazuje diagram p-x). Zaradi višjega tlaka na strani ventila 28 tok tekočine spremeni smer in teče preko regenerotorja v nasprotno smer proti črpalci 29. Z izmeničnim vklapljanjem in izklapljanjem ventila 28 se tako ustvari oscilirajoče gibanje primarne - prve - tekočine P preko regenerotorja. Sliki 14A in 14B prikazujeta primer delovanja izvedbe po izumu, pri kateri se za oscilacijo toka primarne - prve - tekočine P iz slike 3 uporabi princip elektrohidrodinamike ali elektrokinetike tekočine. Na sredino naprave je umeščen regenerotor s hidravlično ločenimi deli za pretok primarne - prve - tekočine P. Levo in desno od regenerotorja sta postavljena prenosnika PT in PH prenosnik, katerih namen je prenos toplote med primarno – prvo - tekočino P in sekundarno – drugo - tekočino S. Oba prenosnika PH in PT toplote ter regenerotor imajo v

kanalih za tok primarne - prve - tekočine P elektrode za elektrohodinamično gibanje primarne - prve - tekočine P. Primarna – prva - tekočina P je v takšem primeru v obliki posamičnih kapljic, ki se oscilatorno premikajo med regeneratorm in prenosnikoma toplote s preminjanjem električnega potenciala na posameznih elektrodah. Sistem za oscilacijo primarne - prve - tekočine P ni prikazan na sliki 14.

Sekundarna – druga - tekočina S kroži (enosmerni tok) in potuje skozi vse štiri prenosnike toplote in sicer skozi primarni hladni prenosnik PH toplote, primarni topli prenosnik PT toplote), sekundarni hladni prenosnik SH toplote in sekundarni topli prenosnik ST toplote. Sistem za črpanje sekundarne - druge -tekočine S je prikazan na sliki 14B.

Slika 15 prikazuje primer desetega mehanizma za oscilacijo toka primarne - prve - tekočine P iz slike 3, ki temelji na principu elektro-omočenja. V primeru na sliki 15 je prikazan detajl enega hidravlično ločenega dela celotnega regeneratorm toplote, ki je v stiku s prenosnikom PT toplote in prenosnikom PH toplote.

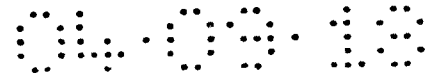
Na sliki 15A je prikazan primer regeneratorm, ki je sestavljen iz urejene strukture plošč 32 (npr. vzporedne plošče, zig-zag plošče, plošče z obdelano površino). V tem primeru so na površinah 30,30' urejene strukture postavljene elektrode 31. Na sliki 15B je prikazan primer regeneratorm, ki je sestavljen iz porozne matrice 34 (npr. nasutje, pena, ovoj žic). V tem primeru so v regeneratorm vstavljene med seboj oddaljene elektrode. V obeh primerih na slikah 15 A in 15 B sta prenosnik PT toplote in prenosnik PH toplote izvedena na način, da omogočata kanale za tok oscilacije primarne tekočine. Na površini kanalov v obeh prenosnikih so nameščene elektrode 31.



Delovanje principa elektro-omočenja iz slik 14A in 14B deluje na dva načina. V obeh primerih zaradi lažje razlage privzamemo, da je material regeneratorja kalorični (magnetokalorični ali elektrokalorični ali elastokalorični ali barokalorični ali multikalorični).

Prvi način deluje v štirih fazah delovanja enega termodinamičnega cikla. V prvi fazi je primarna tekočina P v obliki kapljic 35 ločena na dva dela, en del kapljic 35 se nahaja v toplem prenosniku toplote PT ter drugi del kapljic 35 v hladnem prenosniku toplote PH. Regenerator 4, ki sestoji iz kaloričnega materiala, je podvržen pozitivni spremembi sile ali polja (se ogreje). V drugi fazi sta polje ali sila na regenerator 4 še vedno prisotna. Primarna tekočina P v obliki kapljic 35, ki se nahaja v toplem prenosniku toplote PT, se preko spremembe napetostnih potencialov na elektrodah 31 premakne v strukturo regeneritorja 4. Zaradi prenosa toplote primarna tekočina P v obliki kapljic 35 prejme toploto kaloričnega materiala regeneritorja 4. Nato se ob nespremenjenem polju ali sili giblje nazaj v topli prenosnik toplote PT, kjer odda toploto na sekundarno tekočino S. Tretja faza predstavlja prehod polja ali sile na kalorični material, na stanje brez polja ali sile na kalorični material (se ohladi). V četrti fazi delovanja pa se nato primarna tekočina P v obliki kapljic 35, ki se nahaja v hladnem prenosniku toplote PH, preko spremembe napetostnih potencialov na elektrodah 31, premakne v strukturo regeneritorja 4. Zaradi prenosa toplote primarna tekočina P v obliki kapljic 35 odda toploto kaloričnemu materialu regeneritorja 4. Nato se ob nespremenjenem polju ali sili giblje nazaj v hladni prenosnik toplote PH, kjer prejme toploto iz sekundarne tekočine S.

Drugi način deluje prav tako v štirih fazah enega termodinamičnega cikla, le da primarna tekočina P v obliki kapljic 35 ni več ločena na dva dela, kapljice 35 so vedno skupaj in se nahajajo v toplem prenosniku toplote PT in regeneritorju, ali



pa v hladnem prenosniku toplote PH in regeneratorju. V prvi fazi je kalorični material regeneratorja 4 podvržen pozitivni spremembi polja ali sile (se ogreje). Primarna tekočina P v obliki kapljic 35, ki se v tem trenutku nahaja v regeneratorju 4 zaradi prenosa toplote prejme toploto iz kaloričnega materiala, drugi del kapljic 35 pa se nahaja v hladnem prenosniku toplote PH. V drugi fazi je regeneratorski 4 še vedno podvržen pozitivni spremembi polja ali sile. Primarna tekočina P v obliki kapljic 35 se preko spremembe napetostnih potencialov na elektrodah 31 prične gibati proti toplemu prenosniku toplote PT. Kapljice 35, ki so prejele toploto v regeneratorju 4 oddajo toploto v toplem prenosniku PT na sekundarno tekočino S. Kapljice 35, ki so se nahajale v hladnem prenosniku toplote PH pa vstopijo v regeneratorski 4. V tretji fazi je regeneratorski podvržen negativni spremembi polja ali sile, torej polje ali sila nista več prisotna (regeneratorski se ohladi). Primarna tekočina P v obliki kapljic 35, ki se nahaja v regeneratorski 4 zaradi prenosa toplote odda toploto kaloričnemu materialu. Četrta faza nato še vedno poteka ob neprisotnosti polja ali sile. Primarna tekočina P v obliki kapljic 35 se preko spremembe napetostnih potencialov na elektrodah 31 prične gibati proti hladnemu prenosniku toplote PH. Kapljice 35, ki so bile v regeneratorski se premaknejo v hladni prenosnik toplote PH, kjer zaradi prenosa toplote prejmejo toploto iz sekundarne tekočine S. Kapljice, ki so se nahajale v toplem prenosniku toplote PT pa vstopijo v regeneratorski 4.

Slike 16 do 22 prikazujejo različne koncepte kombinacije elektrod in kaloričnega materiala za potrebe izvedbe gibanja primarne - prve - tekočine P s pomočjo elektro-omočenja.

Sliki 16A in 16B prikazujeta primer dela regeneratorski, ko je ta sestavljen iz vzporednih plošč 30, na katere so nameščene elektrode 31.

Slika 16A predstavlja primer vzporednih plošč 30, kjer so kapljice 35 ločene med seboj med posameznimi ploščami 30, medtem ko slika 16B prikazuje primer vzporednih ploščic 30, kjer kapljice 35 niso med seboj ločene s ploščicami 30 in so postavljene ena zraven druge glede na ravnino plošč 30.

Slike 17A do 17C prikazujejo primer dela regeneratorskega, ko je ta sestavljen iz vzporednih plošč 30 kaloričnega materiala z orebereno površino, na katerih so nameščene elektrode 31. Orebrana površina služi za hitrejši prenos toplote med kapljico 35 in ploščami regeneratorskega.

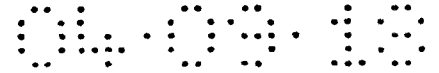
Slika 17A predstavlja primer vzporednih plošč 30, kjer so kapljice 35 ločene med seboj med posameznimi ploščami 30, medtem ko slika 17B prikazuje primer vzporednih ploščic 30, kjer kapljice 35 niso med seboj ločene s ploščicami 30 in so postavljene ena zraven druge glede na ravnino plošč 30.

Slika 17C pa prikazuje povečan detajl ploščic 30 iz slike 17A, kjer se nazorneje vidi povečano površino za prenos toplote.

Sliki 18A in 18B prikazujeta prvi primer dela kaloričnega regeneratorskega 4, sestavljenega iz kaloričnega materiala s kroglastimi kanali za primarno – prvo - tekočino P (v obliki kapljic).

Slika 18A prikazuje spodnjo stran regeneratorskega 4 na kateri so nanešene elektrode, s katerimi s spreminjanjem električnega potenciala premikamo primarno – prvo - tekočino P (princip elektroosmoze) skozi kroglaste kanale (Slika 18B) regeneratorskega 4.

Slika 18B prikazuje presek regeneratorskega 4, kjer so razvidni kroglasti kanali, en zraven drugega. Namen takšnih kroglastih kanalov je predvsem v povečanju površine za prenos toplote med regeneratorskim 4 in primarno – prvo - tekočino P.



Sliki 19A prikazuje drugi primer dela kaloričnega regeneratorja 4, sestavljenega iz kaloričnega materiala s kroglastimi kanali za primarno – prvo - tekočino P (v obliki kapljic).

Slika 19B prikazuje spodnjo stran regeneratorja 4 na kateri so nanešene elektrode, s katerimi s spreminjanjem električnega potenciala premikamo primarno – prvo - tekočino P (princip elektroosmoze) skozi kroglaste kanale regeneratorja 4. Kroglasti kanali, izvedeni eden zraven drugega imajo namen predvsem v povečanja površine za prenos toplote med regeneratorjem 4 in primarno – prvo - tekočino P.

Slike 20A do 20H prikazuje različne možnosti izvedbe delov kaloričnega regeneratorja 4, sestavljenega iz kaloričnega materiala, katerega površina ima različne oblike kanalov.

Slika 20B prikazuje vijugaste kanale preko regeneratorja 4, slika 20D cik-cak kanale, slika 20F labirintne kanale ter slika 20H križne kanale. Na slikah 20E in 20G so prikazane elektrode 31 na spodnji strani regeneratorja 4 za potrebe elektrohidrodinamičnega premikanja kapljic primarne - prve - tekočine P z principom elektroosmoze. Namen takšnih zavrtih kanalov je predvsem v podaljšanju poti primarne - prve - tekočine P preko regeneratorja 4. V primerjavi z ravnimi kanali, se na ta način bistveno poveča površina za prenos toplote med regeneratorjem 4 in primarno – prvo - tekočino P.

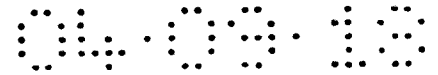
Sliki 21 in 22 prikazujeta shemi mehanizma za osilacijo toka primarne tekočine P, ki temelji na principu elektroosmoze. Iz obeh shem je razvidno, da sta prenosnik PT toplote in prenosnik PH toplote izvedena na način, da so kanali za tok primarne - prve - tekočine P pod spreminjajočim se električnim poljem (spreminjanje polaritete).

Slika 21 prikazuje stanje, ko je porozna struktura regenerotorja podvržena pozitivni spremembi polja ali sile, slika 22 pa stanje, ko je porozna struktura regenerotorja podvržena negativni spremembi polja ali sile. Ko je regenerotor podvržen pozitivni spremembi polja, vidimo v detajlu A slike 21, da je prenosnik toplote v električnem polju, ki je levo pozitivno (katoda) in desno negativno (anoda). Stene kanala so nabite negativno, zaradi česar se pozitivni ioni (kationi) iz elektrolitične primarne - prve - tekočine P premikajo proti njej. Ob steni tako nastane sloj, ki je nasičen s pozitivnimi kationi. Zaradi visoke gostote pozitivnih kationov se prične sloj primarne - prve - tekočine P pomikati proti negativni anodi na desni strani kanala. Zaradi viskoznih sil ta sloj za seboj potegne še preostali del primarne - prve - tekočine P, ki je v kanalu. Na ta način se ustvari tok primarne - prve - tekočine P, ki teče iz prenosnika PT toplote, preko regenerotorja, kjer mu odvzame generirano toploto, v prenosnik PH toplote. V prenosniku PH toplote nato primarna - prva - tekočina P odda toploto sekundarni - drugi - tekočini S.

Proces prikazan na sliki 22 je ravno obraten zgornjemu procesu. Regenerator je podvržen negativni spremembi polja ali sile in se zato ohladi. V prenosnikih PT in PH toplote se sedaj polariteta obrne in elektrolitična primarna – prva - tekočina P prične teči iz prenosnika PH toplote, preko regenerotorja, kjer se ohladi in naprej v prenosnik PT toplote, kjer sprejme toploto iz sekundarne - druge - tekočine S.

Slika 23 prikazuje primer strukture prenosnika PT toplote in prenosnika PH toplote, med katerima se v vmesnem prostoru nahaja regenerotor 4.

Slika 24 prikazuje prvi primer strukture prenosnika PT toplote ali prenosnika PH toplote, ki za prenos toplote v kanalih uporablja ravne urejene strukture.



Slika 25A in 25B prikazujeta drugi primer strukture prenosnika PT toplote ali prenosnika PH toplote, ki za tok sekundarne - druge -tekočine S uporablja cevi okroglih ali drugačnih presekov.

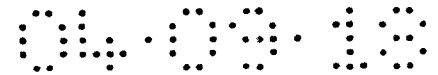
Slika 26 prikazuje tretji primer strukture prenosnika PT toplote ali prenosnika PH toplote, ki za prenos toplote v kanalih uporablja cik-cak, ali drugačne urejene strukture.

V vseh primerih na slikah je lahko površina kanalov za tok tekočine v prenosnik PT toplote in/ali tok tekočine v prenosnik PH toplote orebrena.

Slika 27 prikazuje četrti primer strukture prenosnika PT toplote ali prenosnika PH toplote, kjer je za premikanje primarne - prve - tekočine P (v obliki kapljic) apliciran princip elektroomočenja. Kanali na strani primarne - prve - tekočine P imajo na stenah nanešene elektrode, ki s spreminjanjem električnega potenciala premikajo kapljice iz/v prenosnik PT toplote ali prenosnik PH toplote. Na strani toka sekundarne - druge -tekočine S so prikazani pravokotni kanali, skozi katere kontinuirano teče sekundarna – druga - tekočina S.

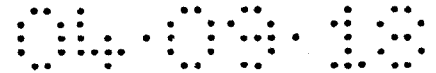
Slika 28 prikazuje peti primer strukture prenosnika PT toplote ali prenosnika PH toplote, kjer je za premikanje primarne - prve - tekočine P (v obliki kapljic) apliciran princip elektroomočenja. Kanali na strani primarne - prve - tekočine P imajo na stenah nanešene elektrode, ki s spreminjanjem električnega potenciala premikajo kapljice iz/v prenosnik PT toplote ali prenosnik PH toplote. Na strani toka sekundarne - druge -tekočine S so prikazani cik-cak kanali, skozi katere kontinuirano teče sekundarna - druga - tekočina S.

Slika 29 prikazuje peti primer strukture prenosnika PT toplote ali prenosnika PH toplote, kjer je za premikanje primarne - prve - tekočine P (v obliki kapljic) apliciran princip elektroomočenja. Kanali na strani primarne - prve - tekočine P imajo na stenah nanešene elektrode, ki s spreminjanjem električnega potenciala



premikajo kapljice iz/v prenosnik PT toplote ali prenosnik PH toplote. Na strani toka sekundarne - druge -tekočine S so prikazani trikotni kanali, skozi katere kontinuirano teče sekundarna - druga - tekočina S.

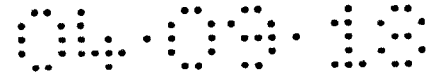
Metoda prenosa toplote v združeni strukturi toplotnega regeneratorja 4 in izvedbe pripadajočih toplotnih regeneratorjev, ki delujejo na osnovi opisane metode po izumu uporablja hidravlično ločene predele v generatorju. Ti onemogočajo tok tekočine vzdolž regeneratorja 4, kot je to običajno. Tok tekočine skozi hidravlično ločene predelke regeneratorja 4 se torej vrši pravokotno na smer temperaturnega gradienta, ki je v stacionarnem stanju vzpostavljen vzdolž regeneratorja 4. Uporaba toka tekočine skozi hidravlično ločene predelke ne zadostuje za delovanje pri večjih temperaturnih razponih, saj so predelki v smeri toka tekočine skoznje krajši od celotne dolžine regeneratorja 4. Za uporabo toka primarne – prve - tekočine P skozi regeneratork 4 moramo zato na obeh straneh regeneratorja vzpostaviti dva prenosnika toplote. Medtem ko primarna – prva - tekočina P oscilira v regeneratorju 4 in prenaša toploto v oba dodana prenosnika toplote PH in PT je potrebna sekundarna - druga - tekočina S ki nemoteno teče med ponorom toplote in izvorom toplote. Če opazujemo samo prenosnika toplote PH in PT, potem je smer toka sekundarne - druge - tekočine S skozi en prenosnik toplote PH nasprotno usmerjena smeri toka sekundarne - druge -tekočine S skozi drugi prenosnik toplote PT. Na ta način lahko, kljub temu, da smo vzpostavili oscilatorni tok primarne - prve - tekočine S pravokotno na dolžino celotnega regeneratorja, ustvarimo temperaturno porazdelitev, kot če bi imeli oscilatorni tok tekočine vzdolž celotne dolžine regeneratorja 4, torej brez hidravličnih predelkov. Pri tem imamo seveda veliko manjši padec tlaka skozi regeneratork 4, kot bi ga imeli sicer.



## PATENTNI ZAHTEVKI

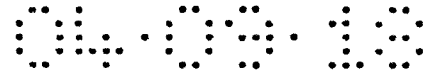
1. Metoda prenosa toplote v združeni strukturi toplotnega regeneratorja, ki jo omogoča:

- večje število predelkov iz poroznega regenerativnega materiala, ki so hidravlično med seboj ločeni, pri čemer je temperaturni gradient skozi posamezni hidravlično ločeni predelek manjši od temperaturnega gradienta vzdolž združene strukture toplotnega regeneratorja (4);
- tok primarne – prve - tekočine (P), ki oscilira skozi vsakega izmed predelkov iz poroznega regenerativnega materiala in sicer v smeri, ki je v bistvu pravokotna na smer temperaturnega gradienta, ki je vzpostavljen vzdolž združene strukture toplotnega regeneratorja (4), pri čemer primarna - prva - tekočina (P) oddaja ali prejema toplotni tok iz prvega in drugega prenosnika toplote;
- prvi prenosnik toplote, ki je hidravlično povezan s prvo stranjo hidravlično ločenih predelkov iz poroznega regenerativnega materiala;
- drugi prenosnik toplote, ki je hidravlično povezan z drugo stranjo hidravlično ločenih predelkov iz poroznega regenerativnega materiala;
- prenosnik toplote, ki predstavlja povezavo z virom toplote;
- prenosnik toplote, ki predstavlja povezavo s ponorom toplote;
- tok sekundarne – druge - tekočine (S), ki teče skozi prenosnik toplote, ki predstavlja povezavo z virom toplote, teče skozi prvi prenosnik toplote, teče skozi prenosnik toplote, ki predstavlja povezavo s ponorom toplote, ter teče skozi drugi prenosnik toplote;
- mehanizem, napravo ali fizikalni fenomen, ki omogoča tok primarne – prve- tekočine (P) in sekundarne - druge - tekočine (S).

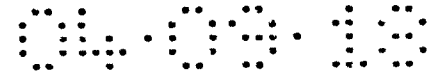


2. Toplotni regeneratorski sistem, ki deluje na osnovi metode po zahtevku 1, **označen s tem**, da vsebuje:

- porozne strukture regeneratorskega sistema, sestavljenega iz hidravlično ločenih delov, ki onemogočajo vzdolžni tok primarne tekočine, ki je delovna tekočina v regeneratorskem sistemu;
- primarni topli prenosnik (PT) toplote, ki omogoča prenos toplote iz oscilirajočega toka primarne – prve - tekočine (P) na enosmerni tok sekundarne – druge - tekočine (S) na topli strani porozne strukture regeneratorskega sistema;
- primarni hladni prenosnik (PH) toplote, ki omogoča prenos toplote iz enosmerne toka sekundarne - druge - tekočine (S) na oscilirajoči tok primarne – prve - tekočine (P) na hladni strani porozne strukture regeneratorskega sistema;
- sekundarni hladni prenosnik (SH) toplote, ki je nameščen na strani izvora toplote in služi za dovod toplote v sekundarno – drugo - tekočino (S);
- sekundarni topli prenosnik (ST) toplote, ki je nameščen na strani ponora toplote in služi za odvod toplote iz sekundarne – druge - tekočine (S);
- sekundarno – drugo - tekočino (S), ki povezuje izvor in ponor toplote preko prenosnikov (PT) in (PH) toplote;
- tok sekundarne – druge - tekočine (S) skozi primarni topli prenosnik (PT) toplote, ki je nasprotno usmerjen svojemu toku sekundarne – druge - tekočine (S) v primarnem hladnem prenosniku (PH);
- sistem za črpanje sekundarne – druge - tekočine (S); in

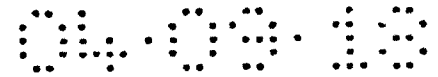


- sistem za oscilacijo primarne - prve - tekočine (P).
3. Toplotni regeneratorski sistem, ki deluje na osnovi metode po zahtevku 1 in po zahtevku 2, **označen s tem**, da je porozni regenerativni material regeneratorskega sistema (4) v hidravlično ločenih predelkih kalorični (magnetokalorični, barokalorični, elastokalorični, elektrokalični, multikalorični) material.
  4. Toplotni regeneratorski sistem, ki deluje na osnovi metode po zahtevku 1 in po zahtevku 2, **označen s tem**, da je porozni regenerativni material regeneratorskega sistema (4) v hidravlično ločenih predelkih kalorični (magnetokalorični, barokalorični, elastokalorični, elektrokalični, multikalorični) material, kombiniran z vsaj enim drugim materialom izbranim iz skupine, ki jo sestavljajo kovine, keramika, steklo, kompozitni ogljikovi ali karbonski materiali, polimer ali kompozit iz polimernih materialov, metamateriali, tekoči kristali.
  5. Toplotni regeneratorski sistem, ki deluje na osnovi metode po zahtevku 1 po zahtevku 2, **označen s tem**, da porozni regenerativni material regeneratorskega sistema (4) v hidravlično ločenih predelkih ni kalorični in je izbran iz skupine, ki jo sestavljajo desikativni materiali, kot so: aktiviran aluminij, aerogel, benzofenon, bentonit, kalcijev klorid, kalcijev oksid, kalcijev sulfat, kobaltov klorid, bakrov sulfat, litijev klorid, litijev bromid, magnezijev sulfat, magnetijev perklorat, molekularno sito, kalijev karbonat, kalijev hidroksid, silica gel, natrij, natrijev klorat, natrijev klorid, natrijev hidroksid, natrijev sulfat, sukroza
  6. Toplotni regeneratorski sistem, ki deluje na osnovi metode po zahtevku 1 po zahtevku 2, **označen s tem**, da porozni regenerativni material regeneratorskega sistema (4) v

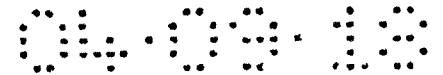


hidravlično ločenih predelkih ni kalorični in je izbran iz skupine, ki jo sestavljajo materiali, kot so: kovine, keramika, steklo, kompozitni ogljikovi ali karbonski materiali, polimer ali kompozit iz polimernih materialov, cement, beton, kamnina, ali metamateriali ali kombinacija vsaj dveh navednih materialov.

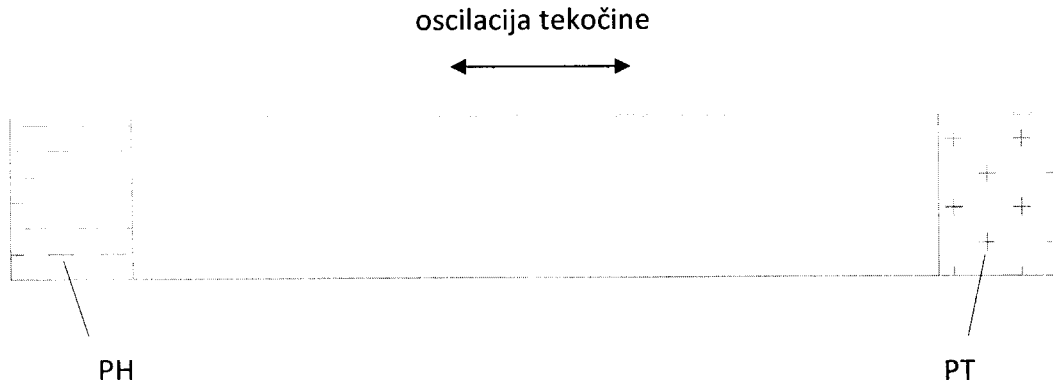
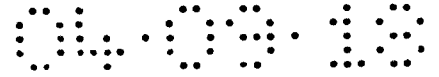
7. Toplotni regeneratorski sistem, ki deluje na osnovi metode po zahtevku 1 po zahtevku 2, ter zahtevkih 3, 4, 5, **označen s tem**, da porozni regenerativni material regeneratorskega sistema (4) v hidravlično ločenih predelkih kombinacija vsaj dveh navedenih materialov v zahtevkih 3, 4, 5.
8. Toplotni regeneratorski sistem, ki deluje na osnovi metode po zahtevku 1 in po zahtevku 2, **označen s tem**, da je število hidravlično ločenih predelkov večje od 10000, prednostno med 1000 in 10000, bolj prednostno med 100 in 1000, in najbolj prednostno med 10 in 100.
9. Toplotni regeneratorski sistem, ki deluje na osnovi metode po zahtevku 1 in po zahtevku 2, **označen s tem**, da je primarna (prva) tekočina (P) izbrana iz skupine, ki jo sestavljajo kapljevinna, tekoči metal, plin ali hladivo.
10. Toplotni regeneratorski sistem, ki deluje na osnovi metode po zahtevku 1 in po zahtevku 2, **označen s tem**, da je sekundarna (druga) tekočina (S) izbrana iz skupine, ki jo sestavljajo kapljevinna, tekoči metal, plin ali hladivo.
11. Toplotni regeneratorski sistem, ki deluje na osnovi metode po zahtevku 1 in po zahtevku 2, **označen s tem**, da mehanizem, naprava ali fizikalni fenomen, ki omogoča tok primarne tekočine temelji na mehanskem gibanju, kapilarnem efektu, elektro-kinetiki, elektro-hidrodinamiki, magneto-hidrodinamiki, elektro-omočenju ali magneto-omočenju ali ali principu toplotne cevi.



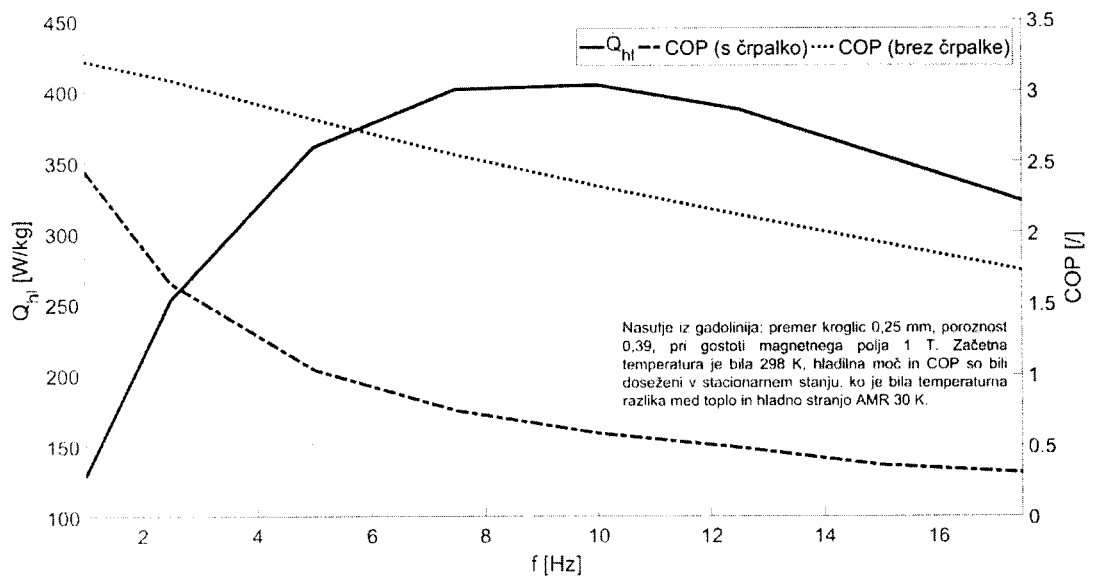
12. Toplotni regeneratorski sistem, ki deluje na osnovi metode po zahtevku 1 in po zahtevku 2, **označen s tem**, da mehanizem, naprava ali fizikalni fenomen, ki omogoča tok sekundarne tekočine temelji na mehanskem gibanju, kapilarnem efektu, elektro-kinetiki, elektro-hidrodinamiki, magneto-hidrodinamiki, elektro-omočenju ali magneto-omočenju, principu toplotne cevi ali parno-kompresorskega procesa
13. Toplotni regeneratorski sistem, ki deluje na osnovi metode po zahtevku 1 in po zahtevku 2, **označen s tem**, da so primarni topli prenosnik (PT) toplote, primarni hladni prenosnik (PH) toplote, sekundarni topli prenosnik (ST) toplote in sekundarni hladni prenosnik (SH) toplote sestavljeni iz materialov, izbranih iz skupine , ki jo sestavljajo kovine, polimeri, ogljikovi ali karbonski materiali, kot so ogljik, grafit, grafen, kompozitni materiali, keramični materiali, cement, beton ali kamnine in njihovih kombinacij.
14. Toplotni regeneratorski sistem, ki deluje na osnovi metode po zahtevku 1 in po zahtevku 3, 4, **označen s tem**, da je naprava, ki vsebuje kalorični material v hidravlično ločenih predelkih izbrana iz skupine, ki jo sestavljajo kalorični hladilnik, kalorična toplotna črpalka in kalorični generator energije.
15. Toplotni regeneratorski sistem, ki deluje na osnovi metode po zahtevku 1 in po zahtevku 5, **označen s tem**, da je naprava, ki vsebuje desikativni material v hidravlično ločenih predelkih izbrana iz skupine, ki jo sestavljajo adsorpcijski hladilnik, adsorpcijska toplotna črpalka ali adsorpcijska sušilna naprava, adsorpcijski hladilnik, adsorpcijska toplotna črpalka ali adsorpcijska sušilna naprava



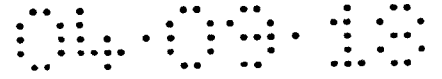
16. Toplotni regeneratorski, ki deluje na osnovi metode po zahtevku 1 in po zahtevkih 2, 3 in 4 in 5 in 6, **označen s tem**, da je naprava, ki uporablja material v hidravlično ločenih predelkih izbrana iz skupine, ki jo sestavljajo: mehanski Stirlingov hladilnik, mehanska Stirlingova toplotna črpalka, mehanski Stirlingov generator energije, termoakustični hladilnik, termoakustična toplotna črpalka, termoakustični generator energije, hladilnik, temelječ na pulzni cevi, hladilnik, temelječ na Gifford-McMahon (GM) ciklu, peč ali kotel, katalizator ali kemični reaktor.
17. Toplotni regeneratorski, ki deluje na osnovi metode po zahtevku 1 in po zahtevkih 2, in 7, **označen s tem**, da je naprava, ki uporablja material v hidravlično ločenih predelkih izbrana iz skupine naprav, ki so navedene v zahtevkih 15, 16 in 17.



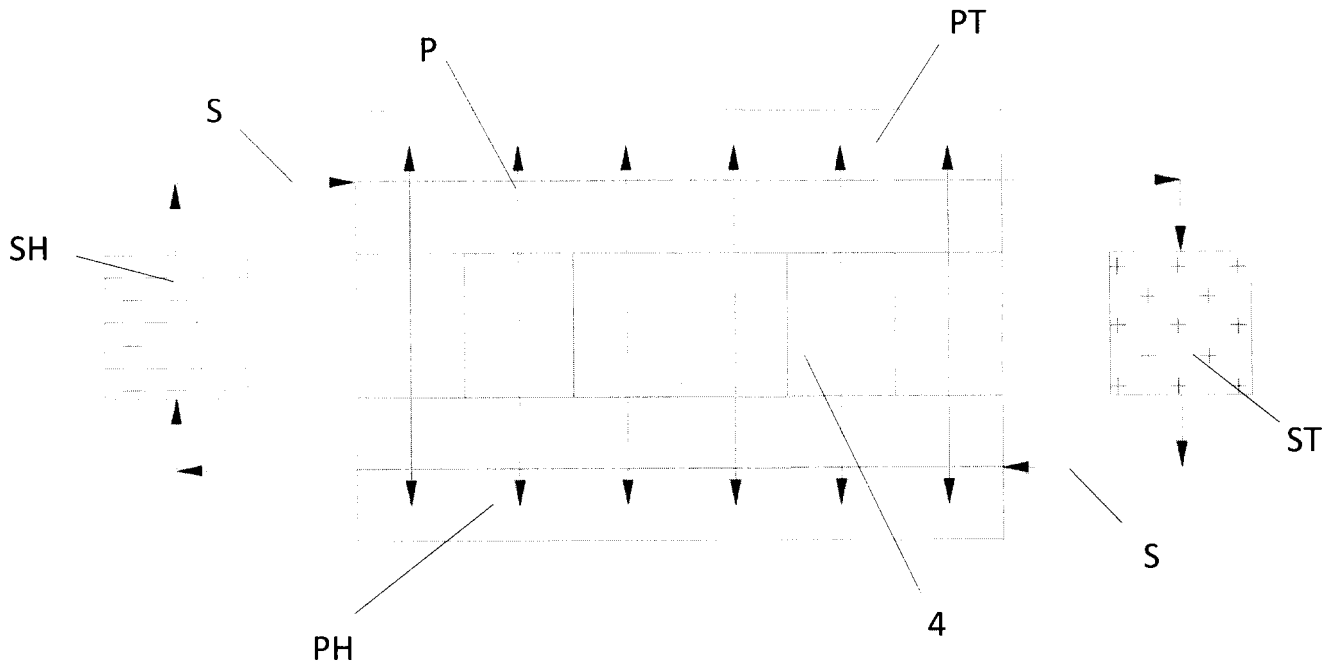
Slika 1



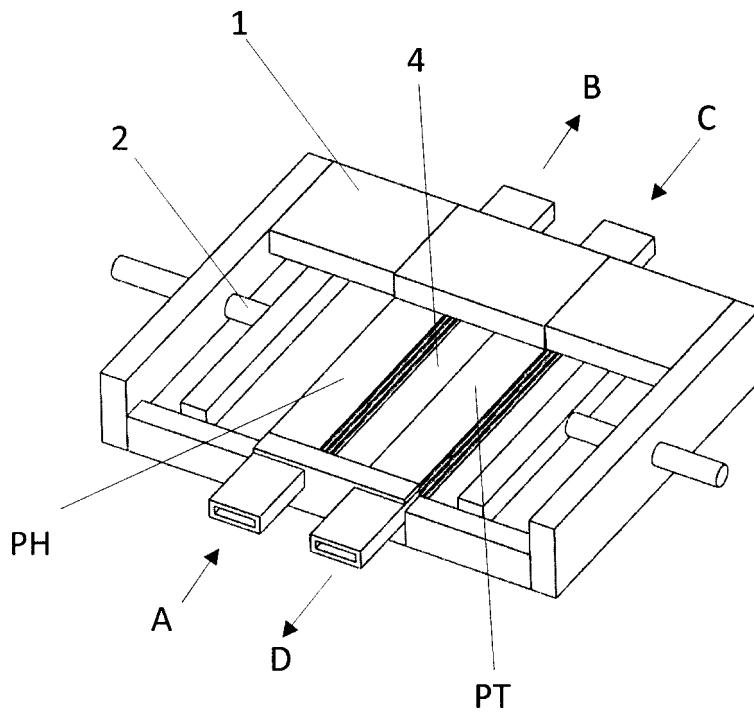
Slika 2



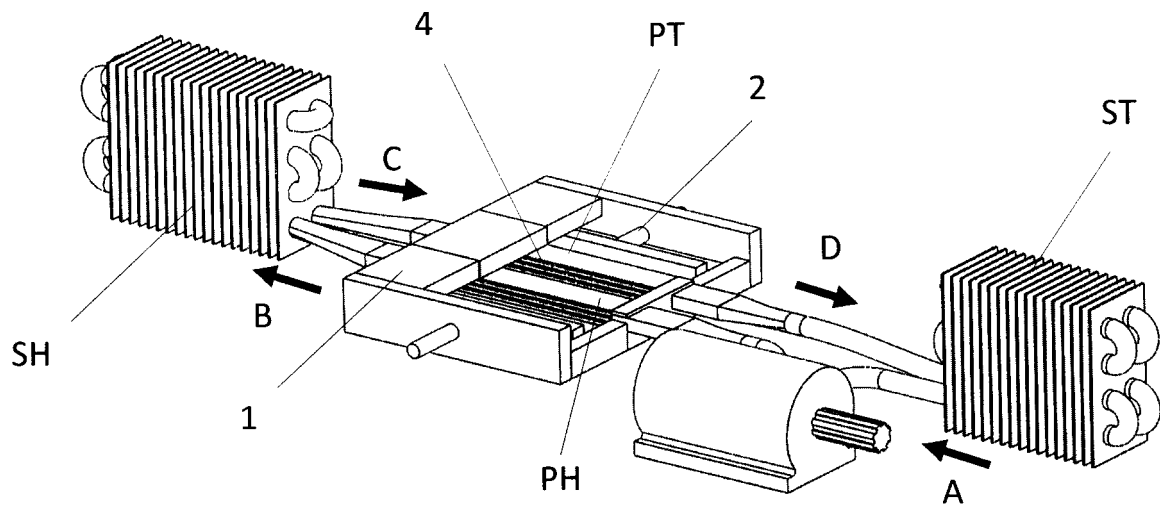
2/24



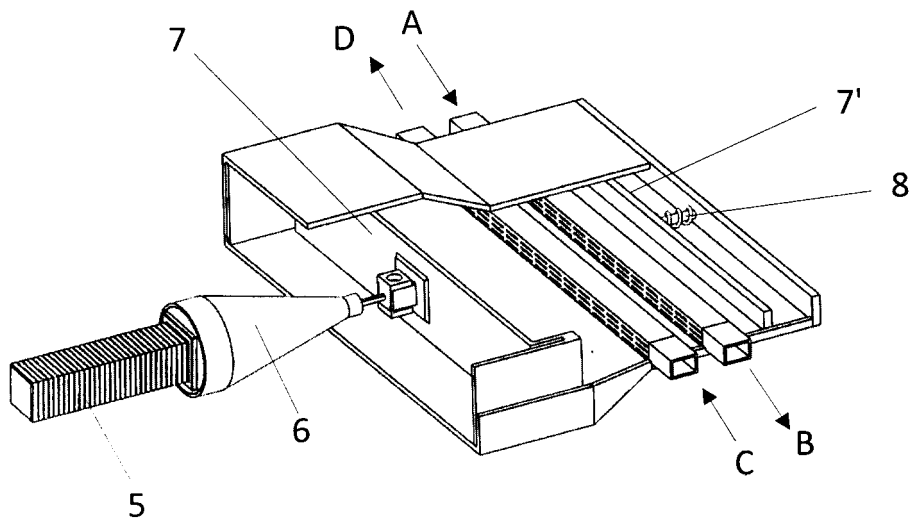
Slika 3



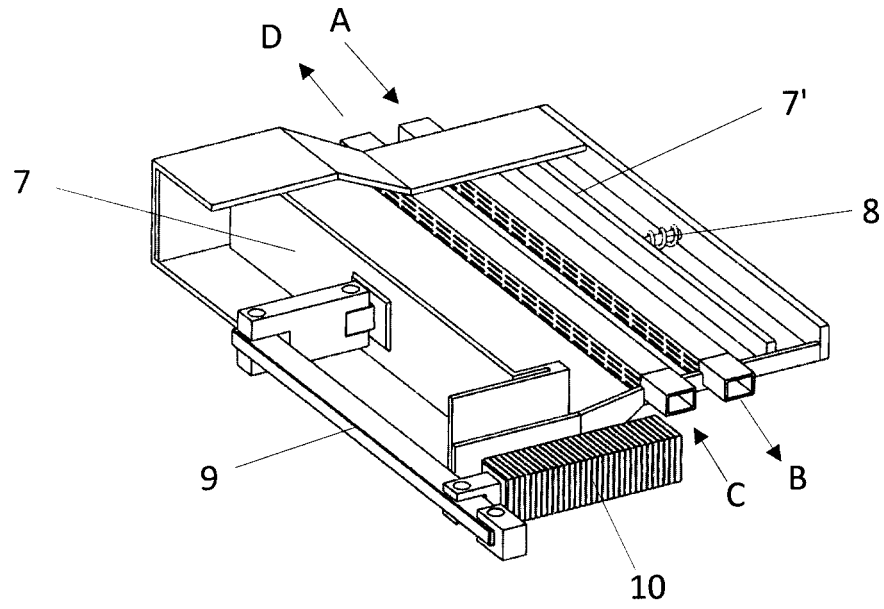
Slika 4A



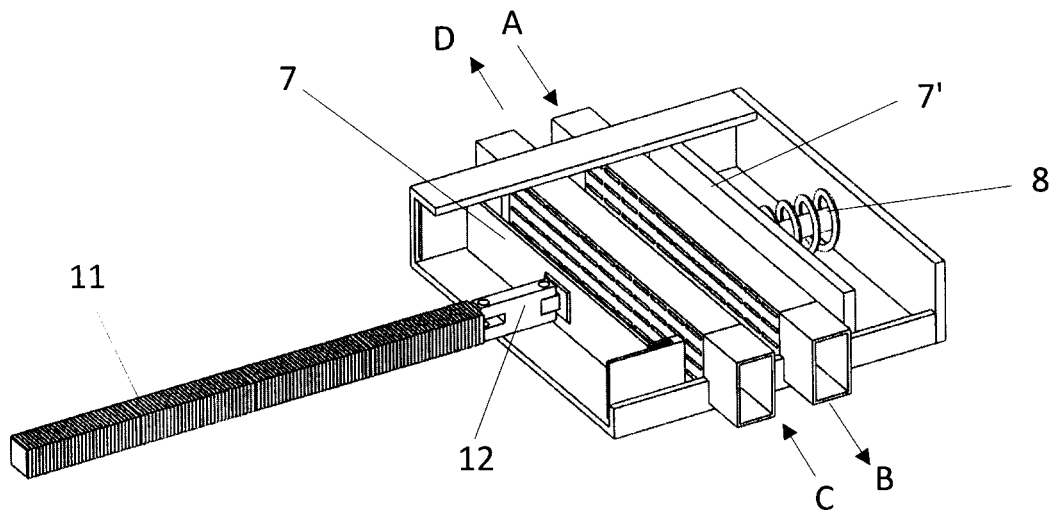
Slika 4B



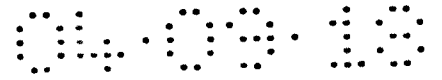
Slika 5



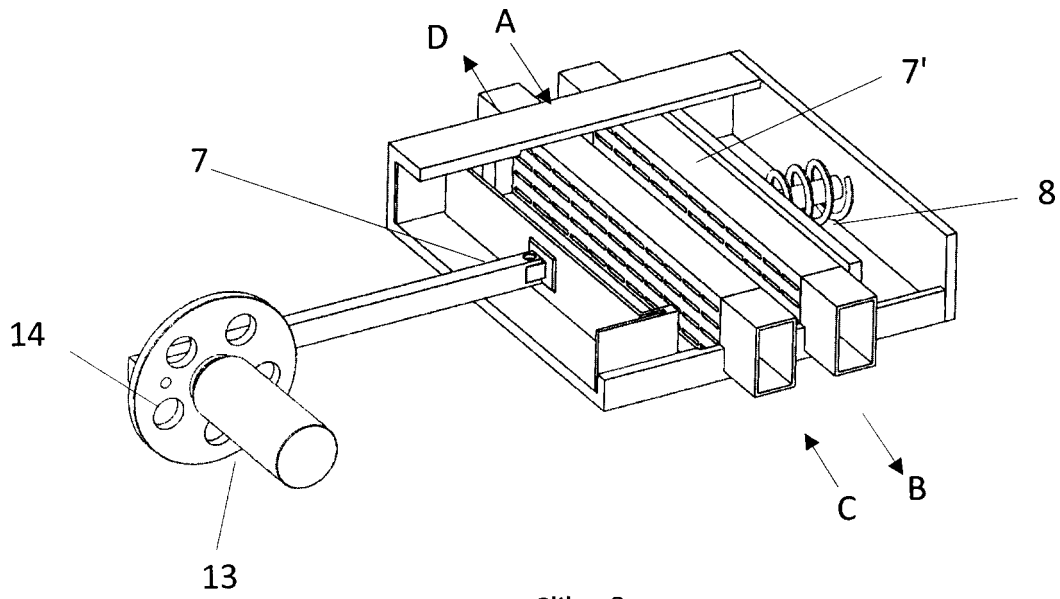
Slika 6



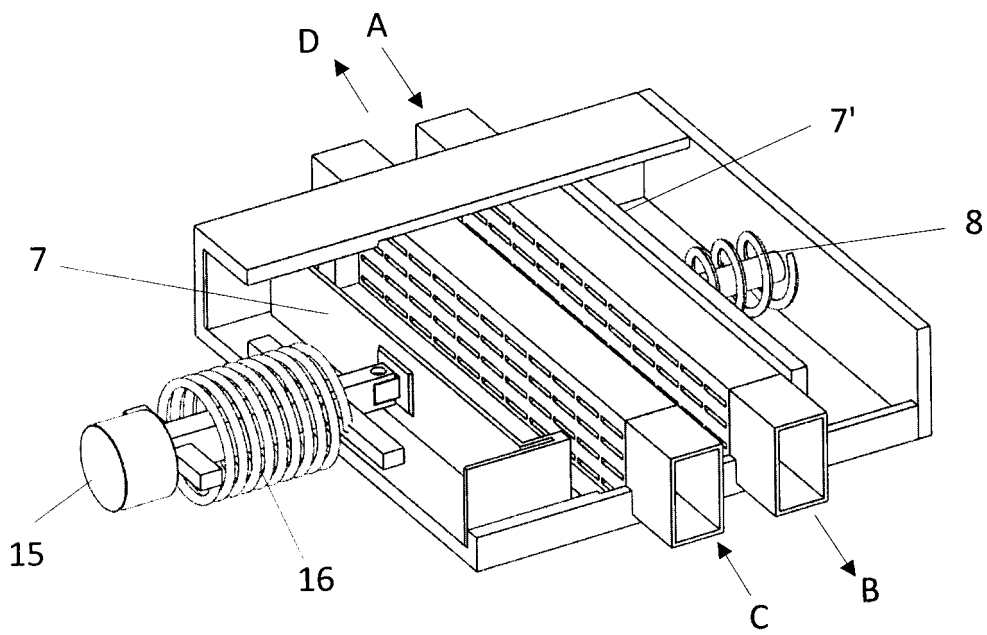
Slika 7



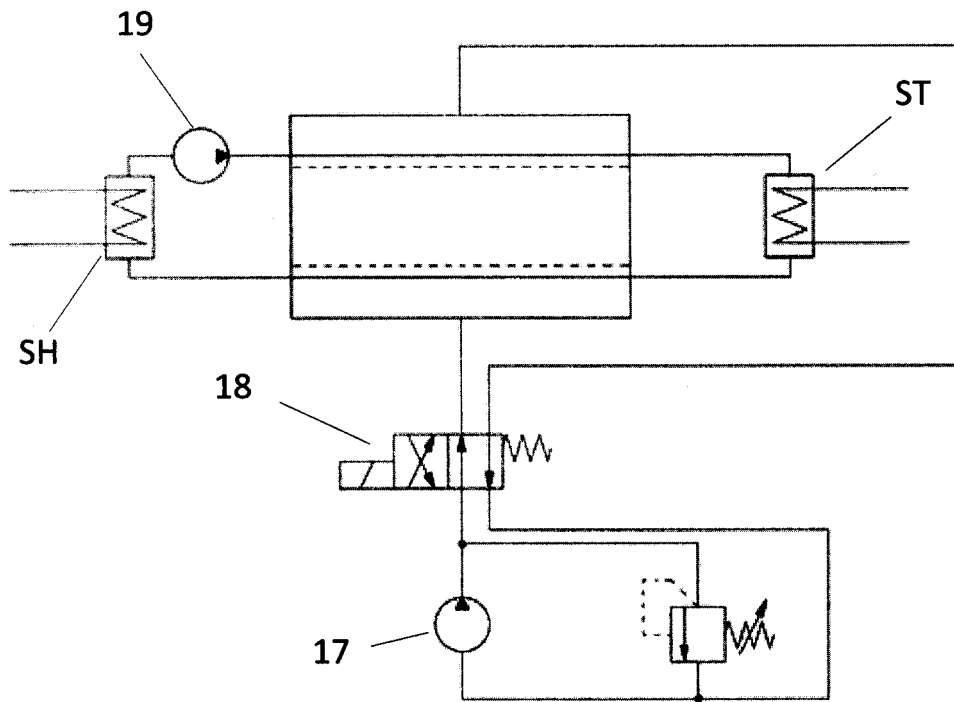
5/24



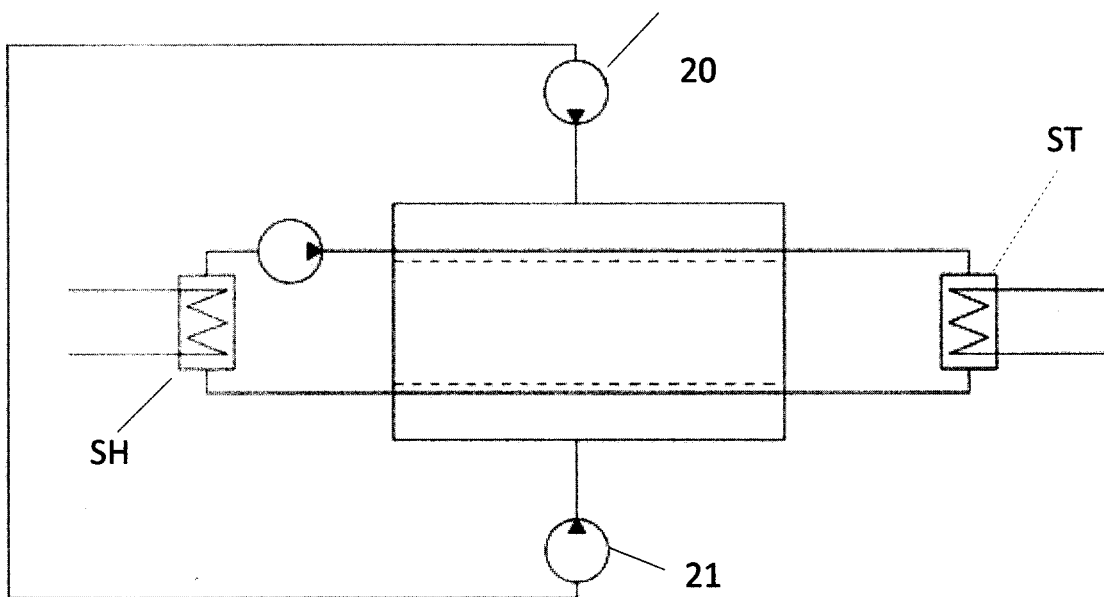
Slika 8



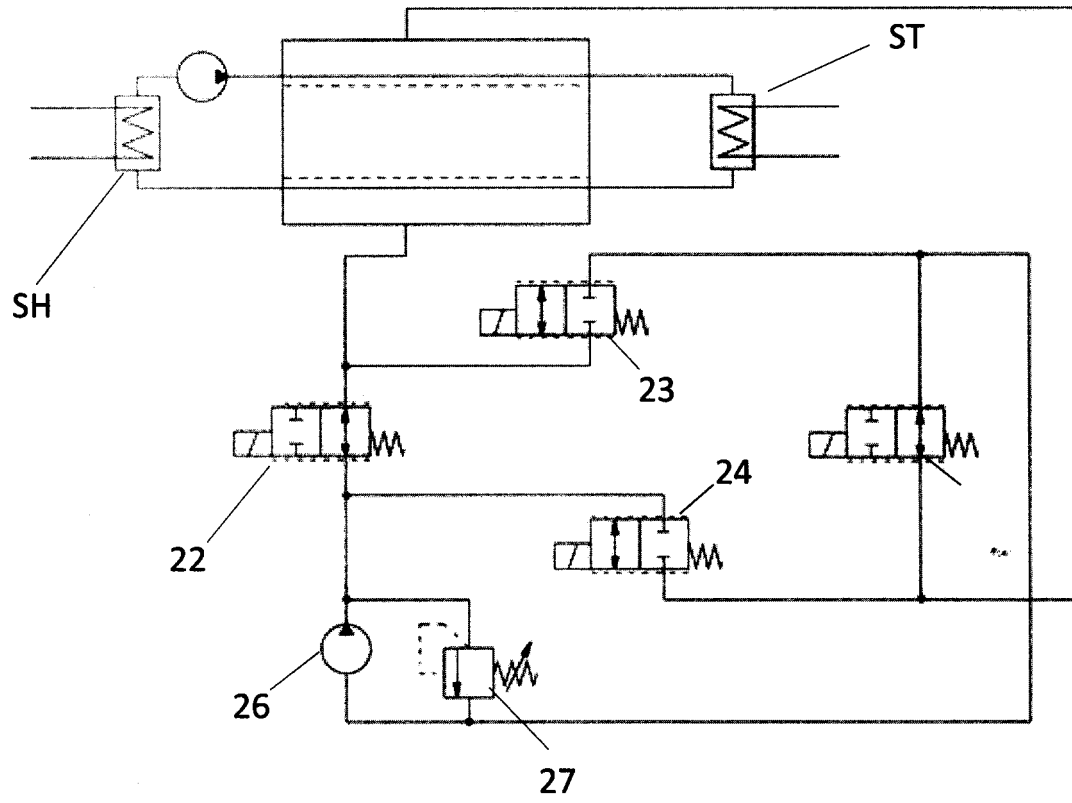
Slika 9



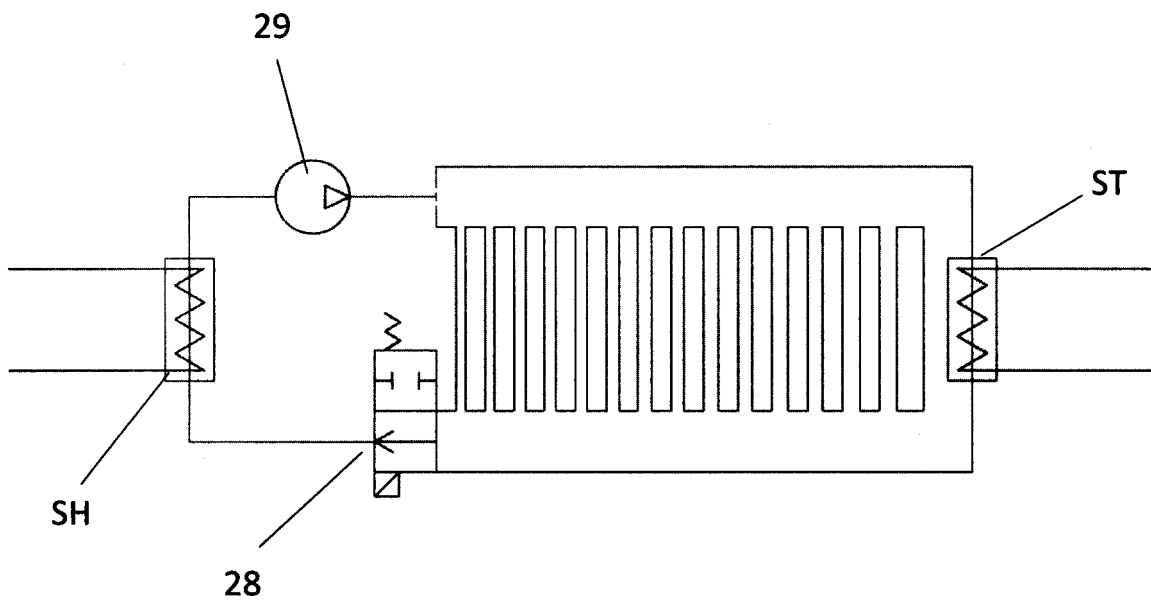
Slika 10



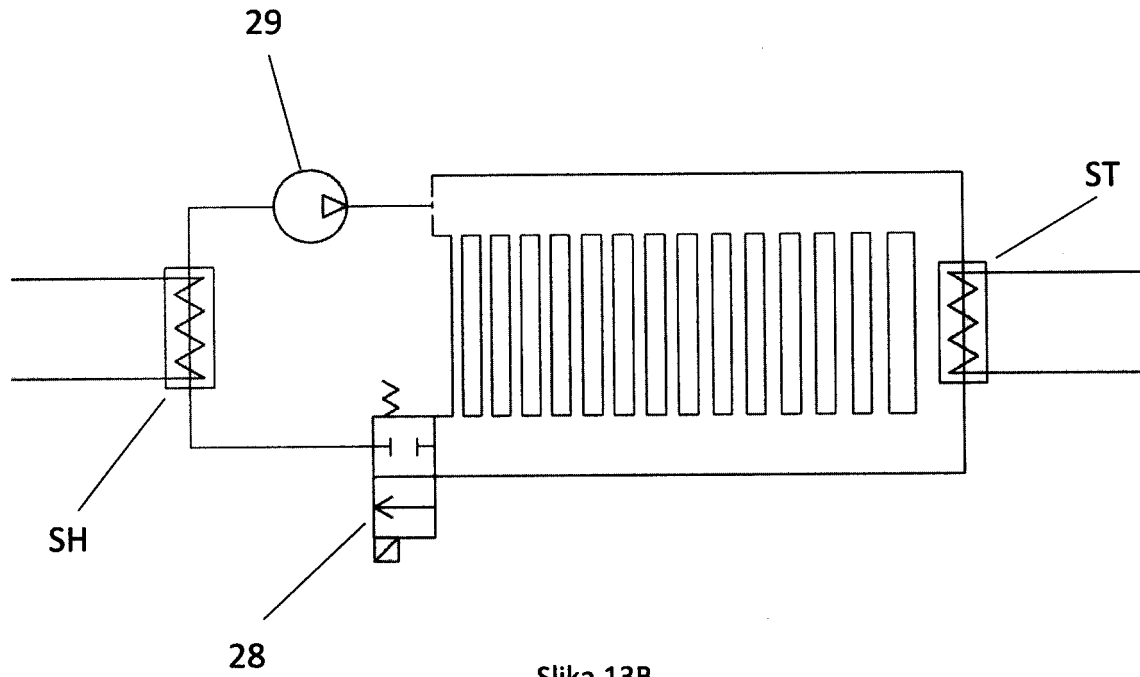
Slika 11



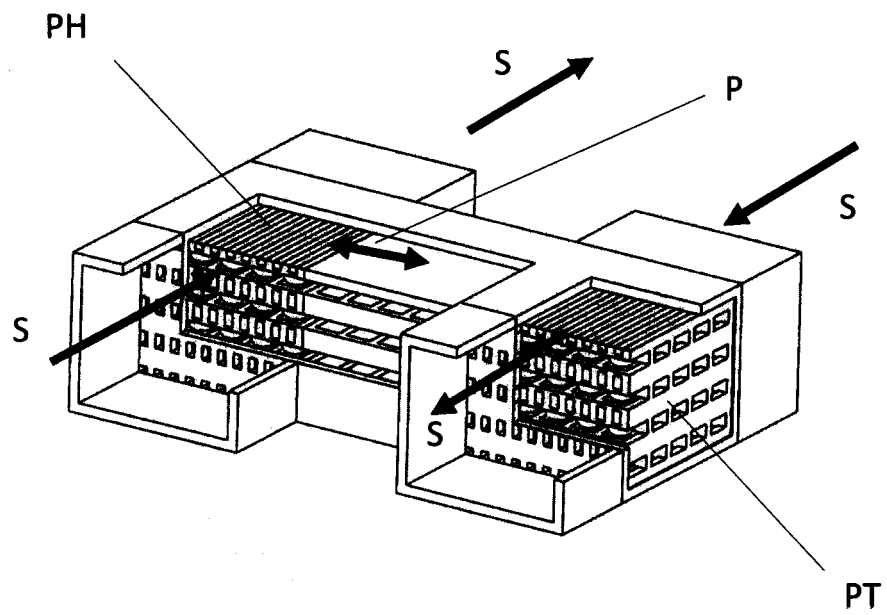
Slika 12



Slika 13A

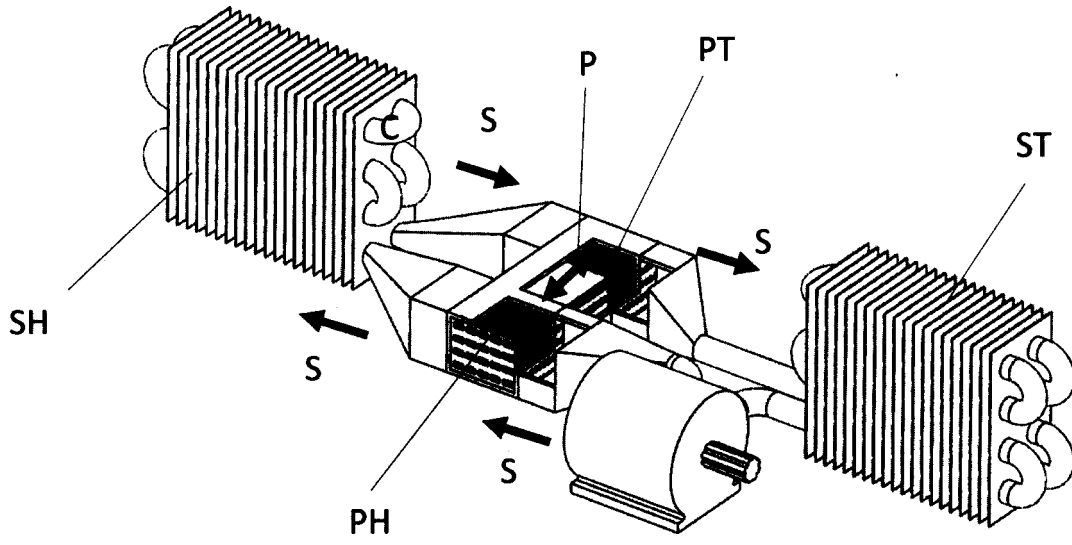


Slika 13B

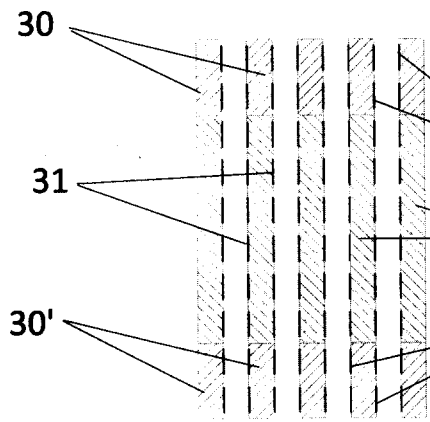


Slika 14A

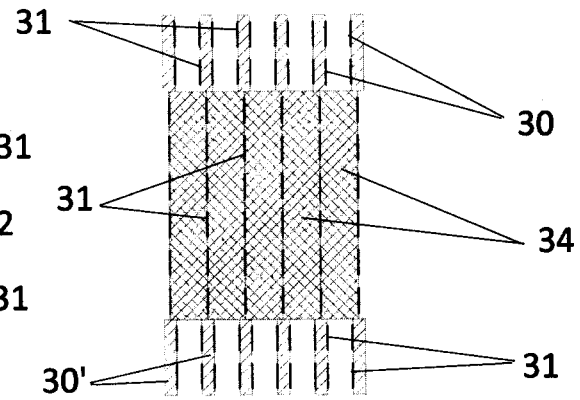
9/24



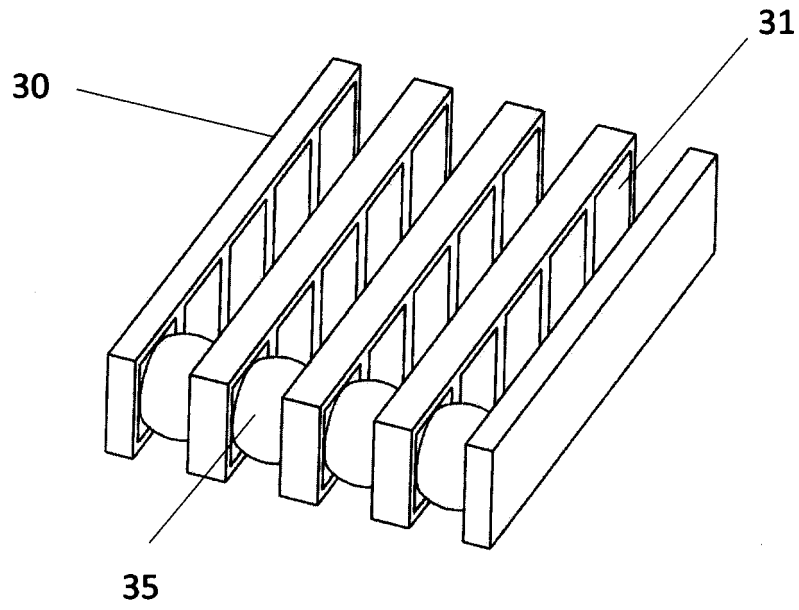
Slika 14B



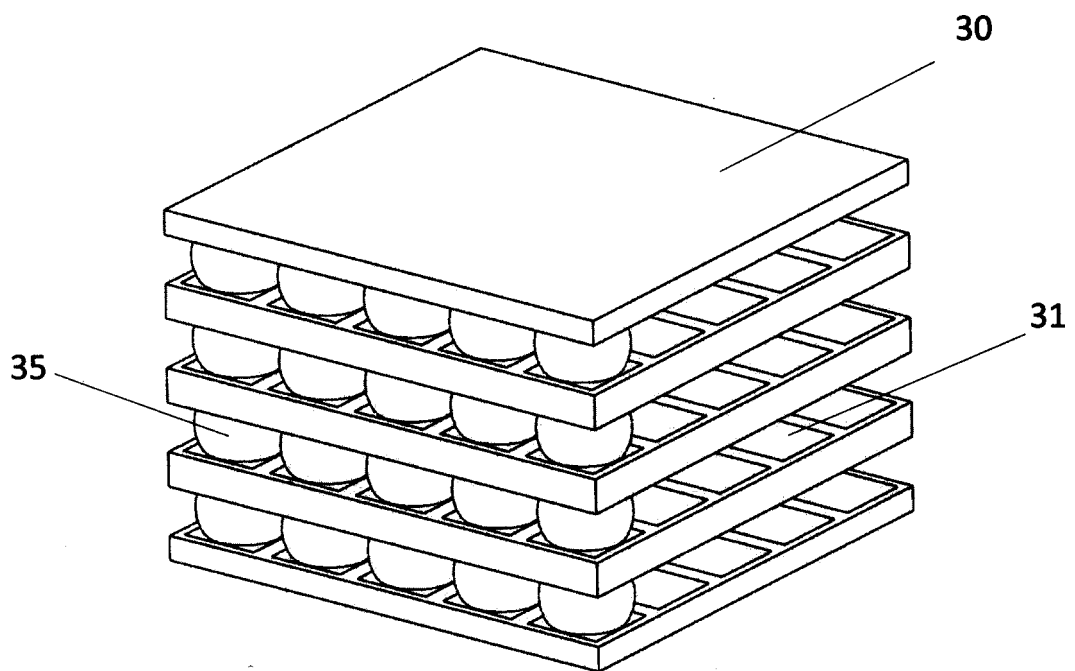
Slika 15A



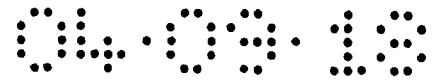
Slika 15B



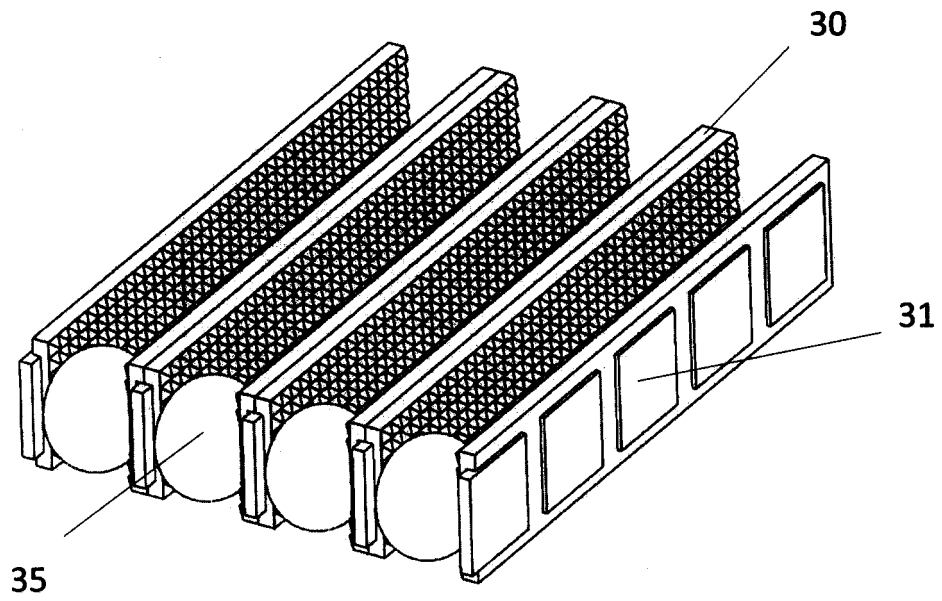
Slika 16A



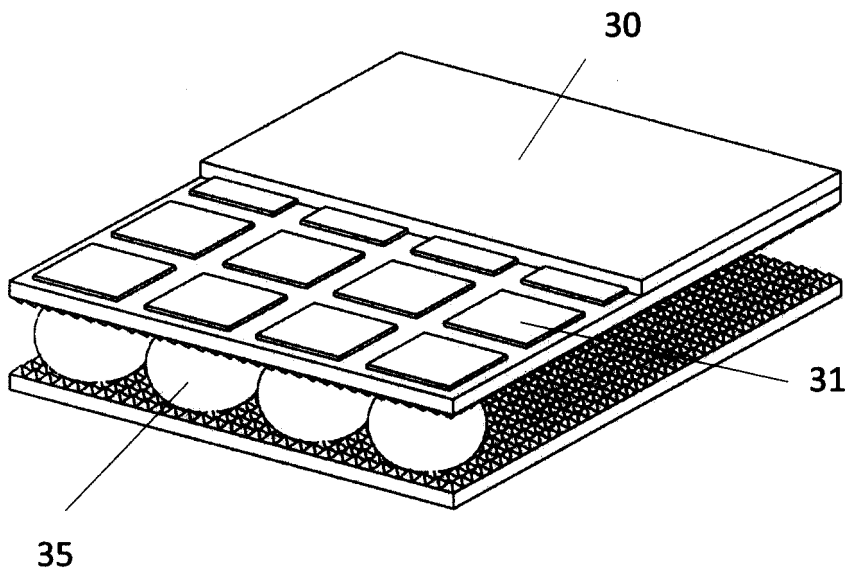
Slika 16B



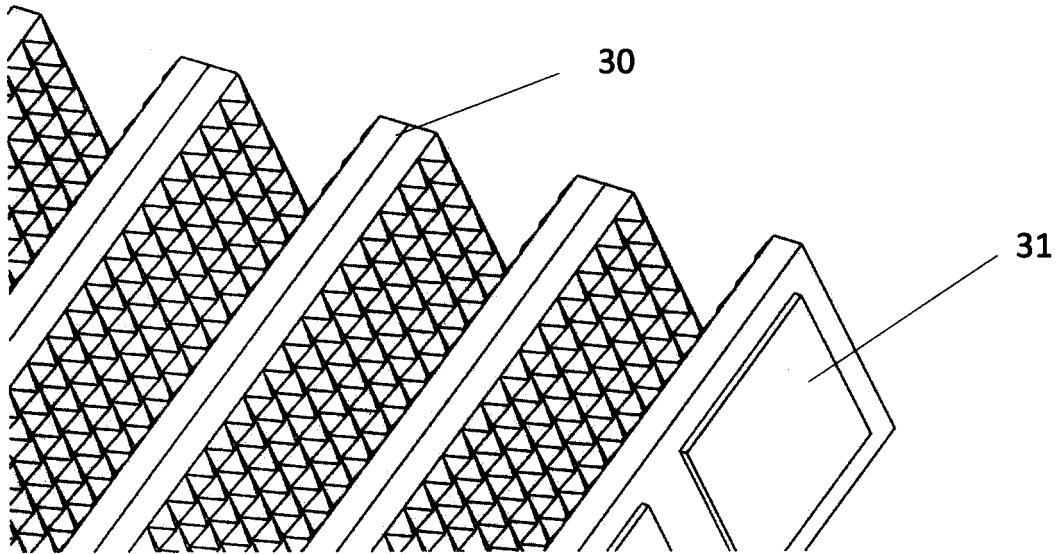
11/24



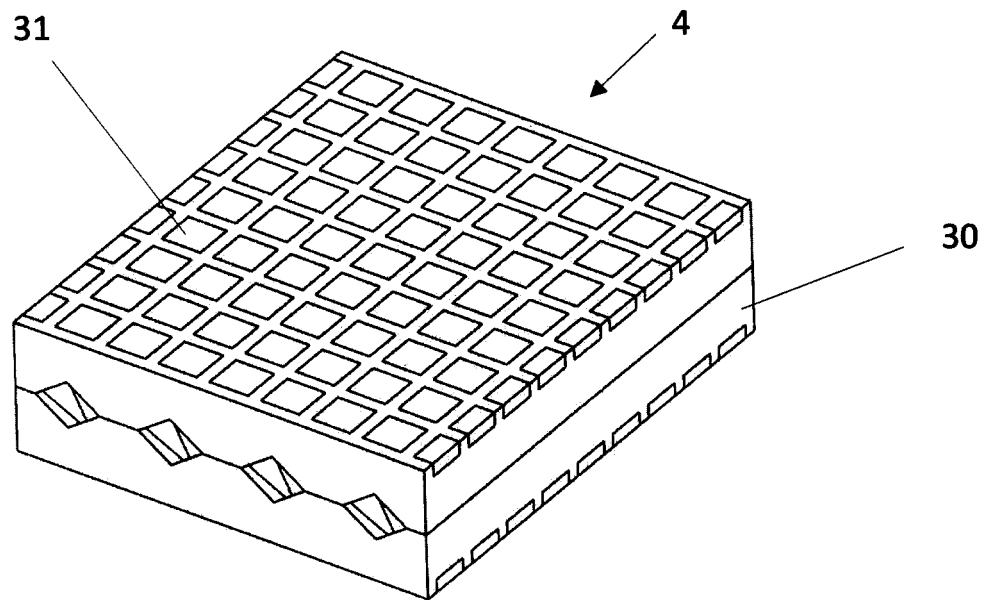
Slika 17A



Slika 17B

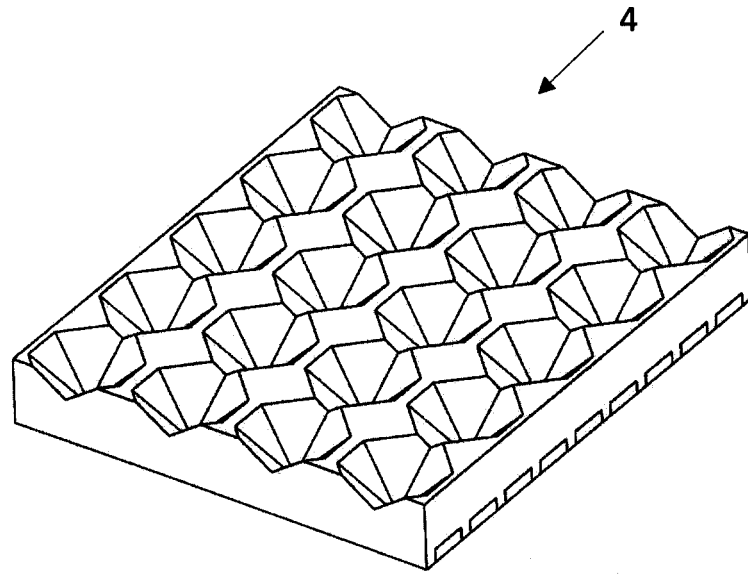


Slika 17C

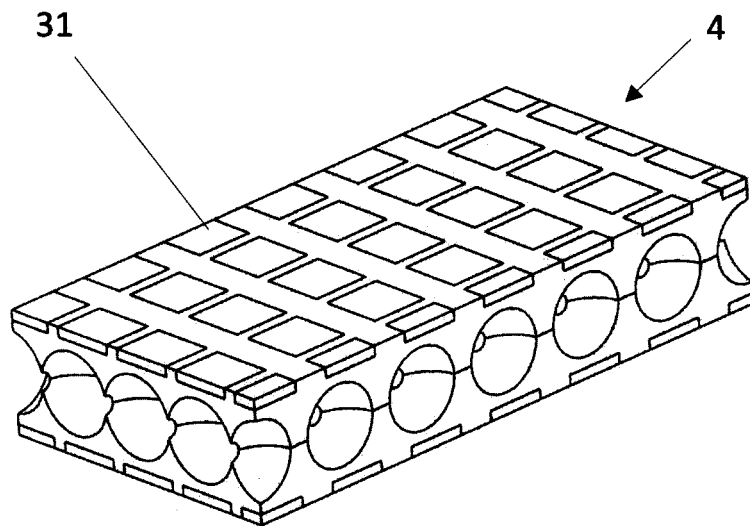


Slika 18A

13/24

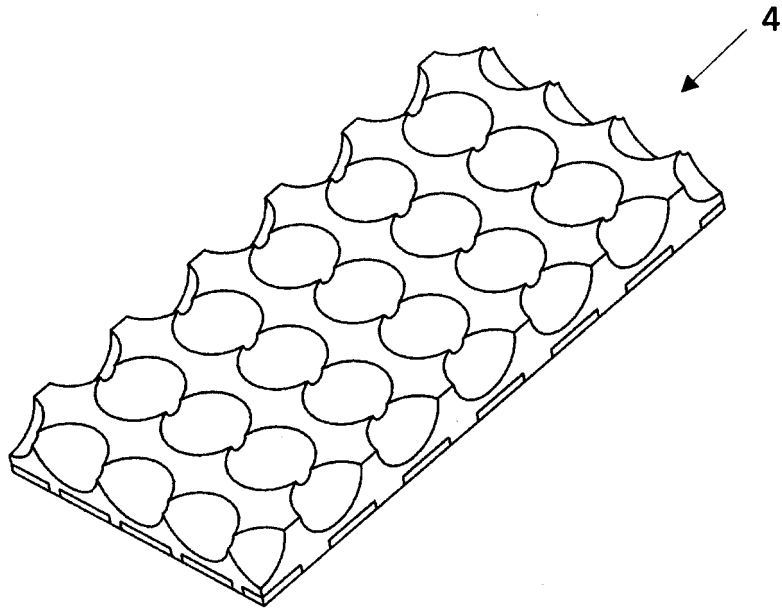


Slika 18B

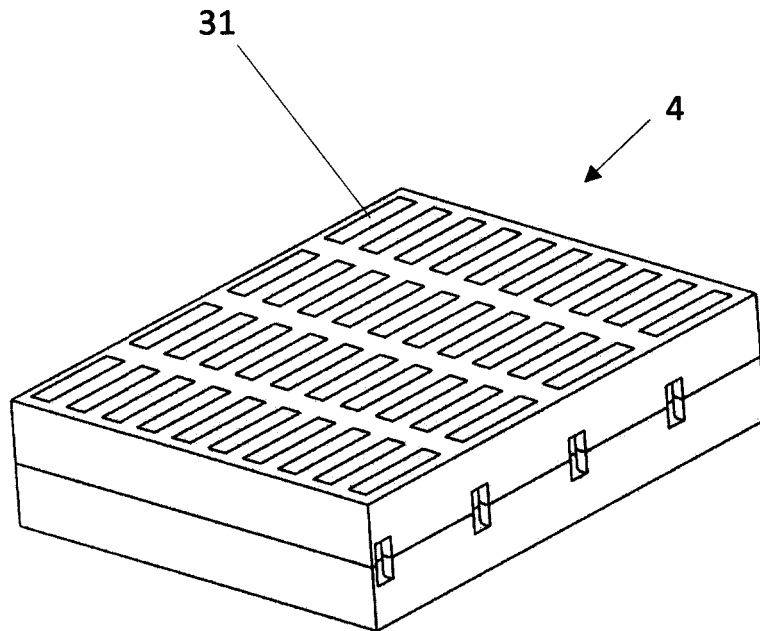


Slika 19A

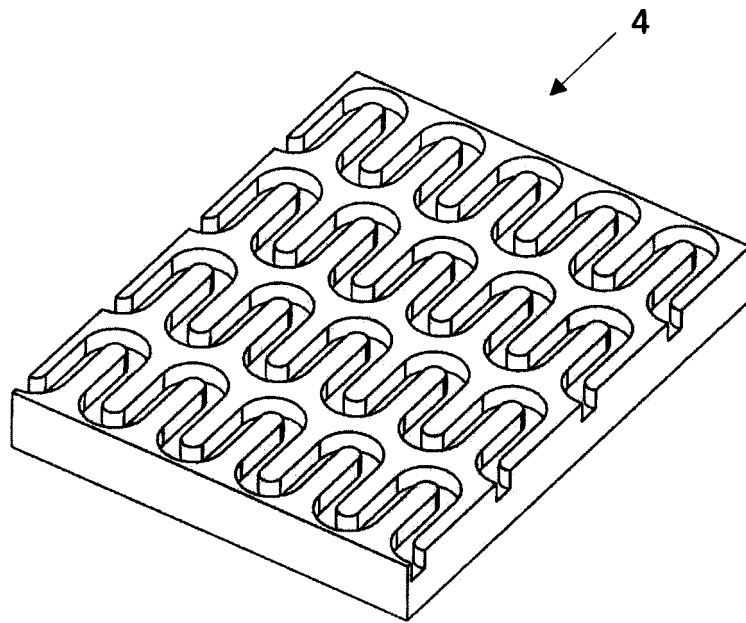
14/24



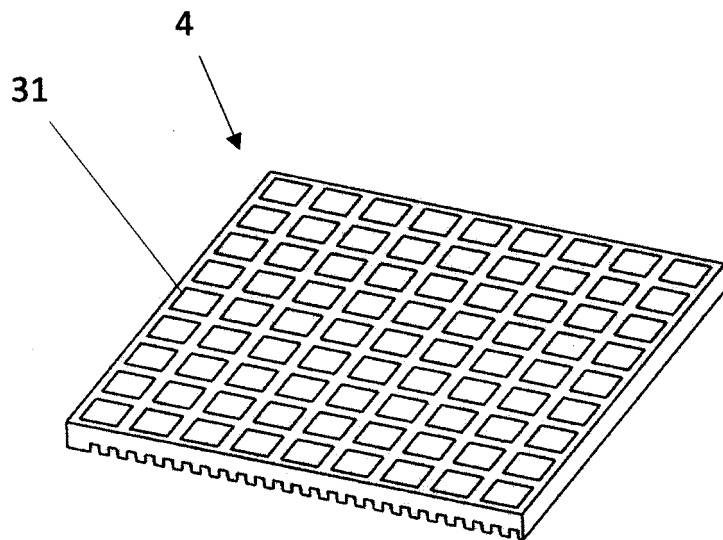
Slika 19B



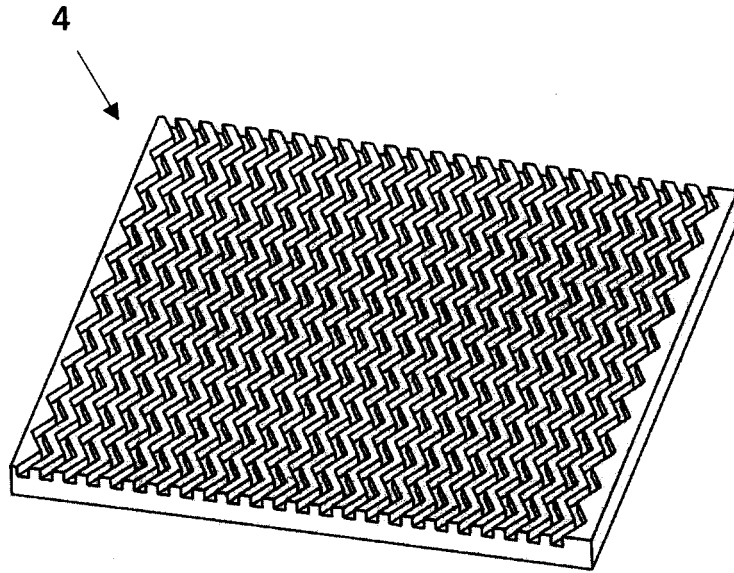
Slika 20A



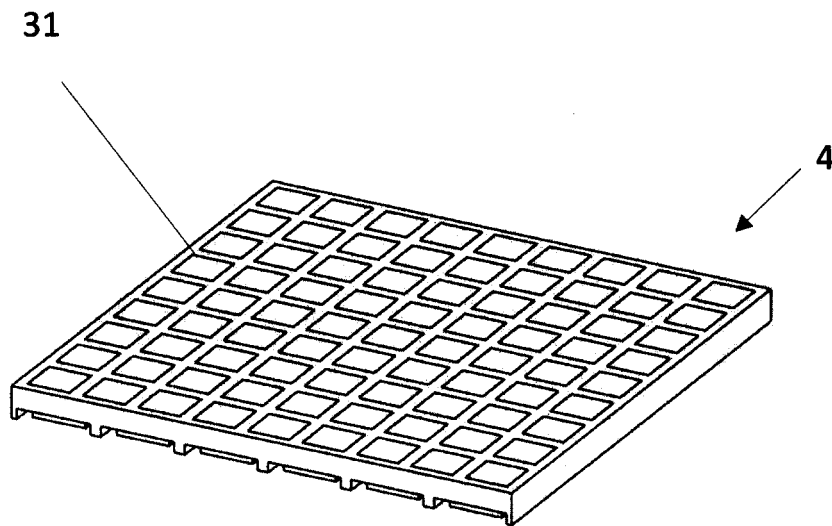
Slika 20B



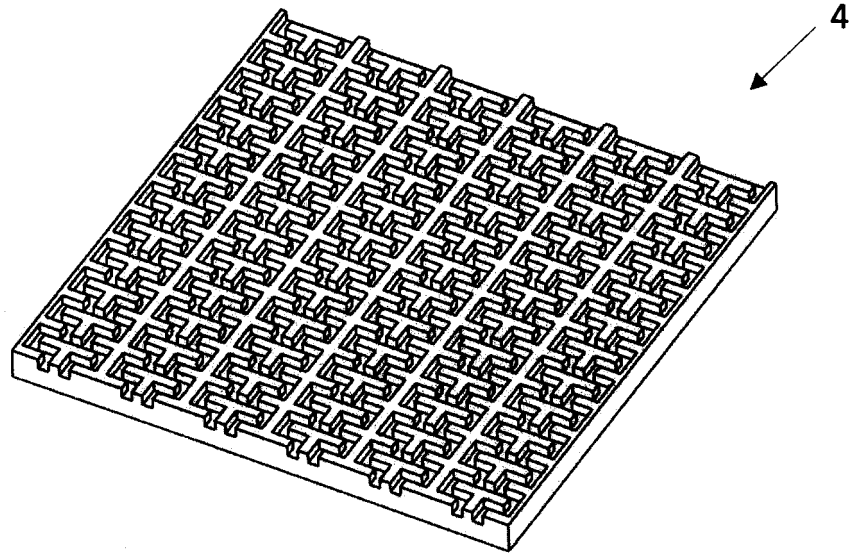
Slika 20C



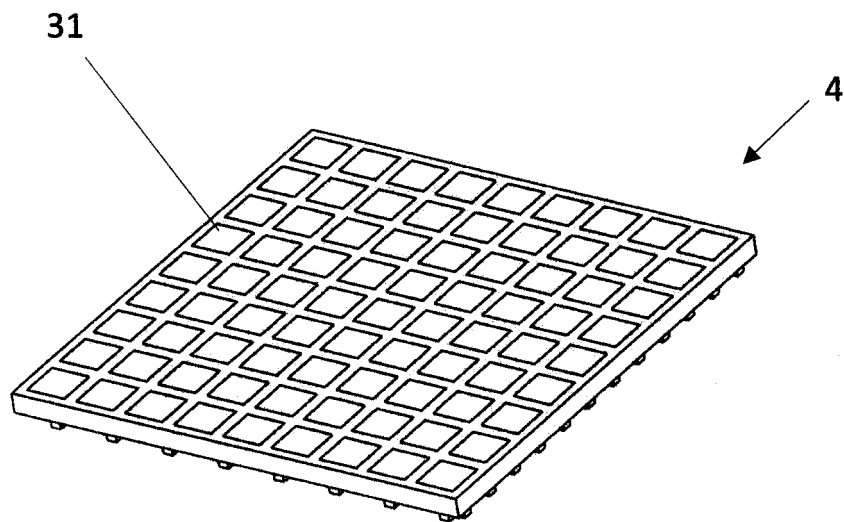
Slika 20D



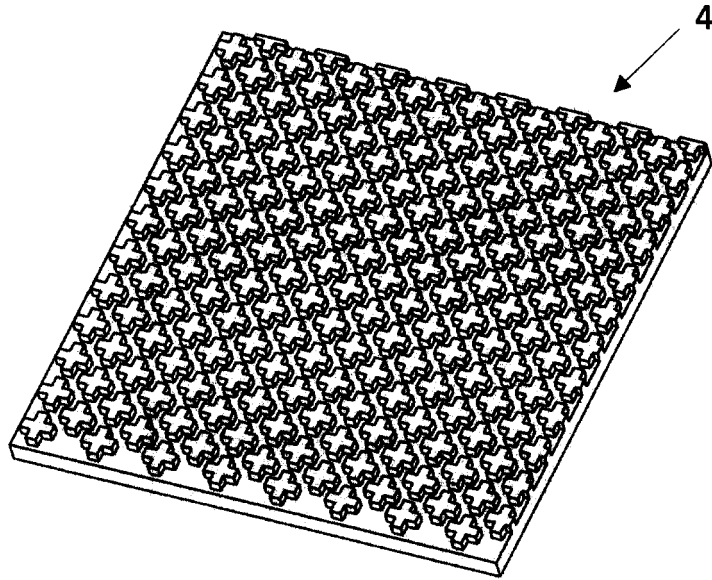
Slika 20E



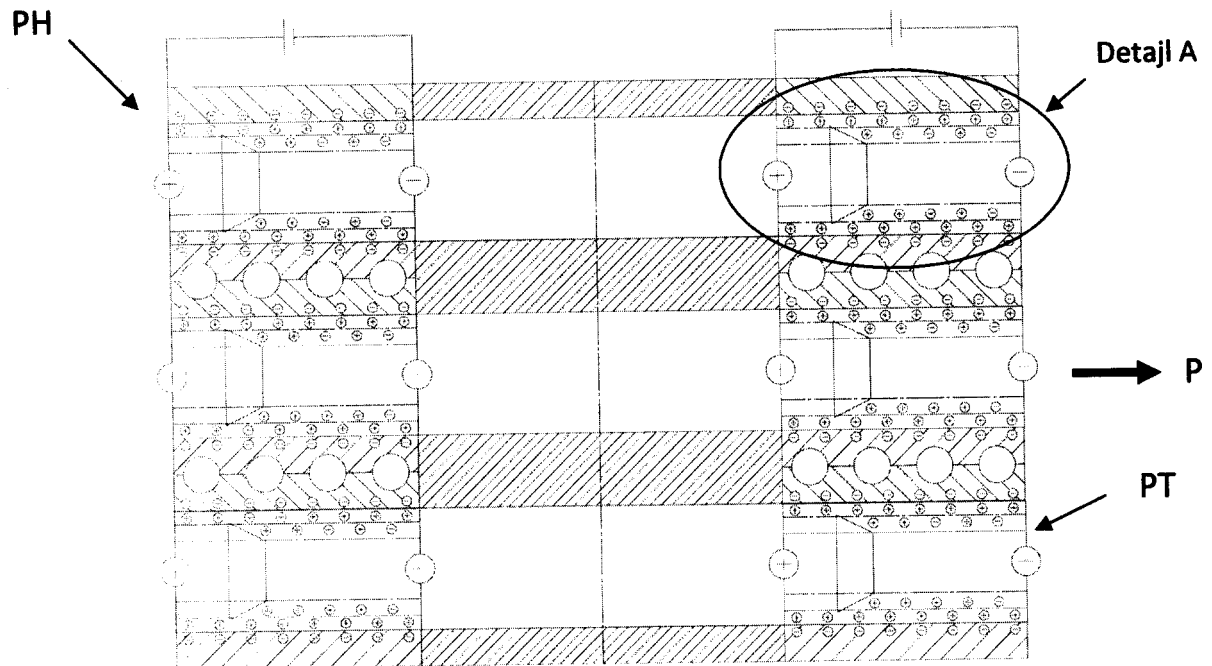
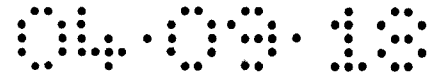
Slika 20F



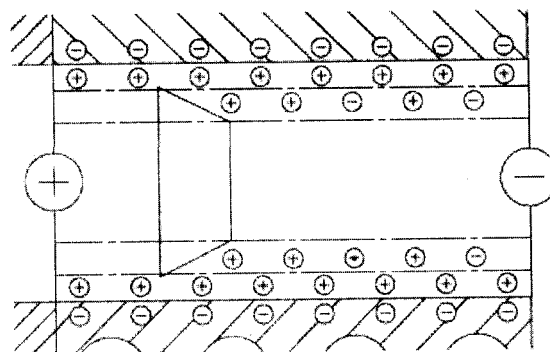
Slika 20G



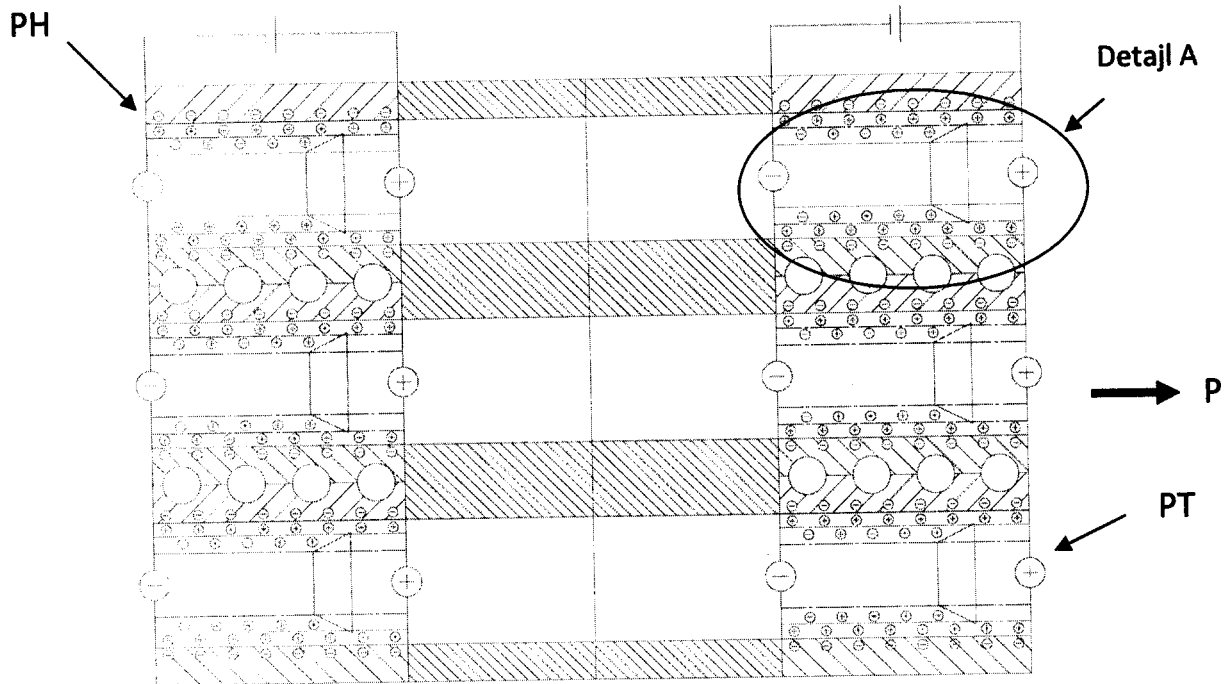
Slika 20H



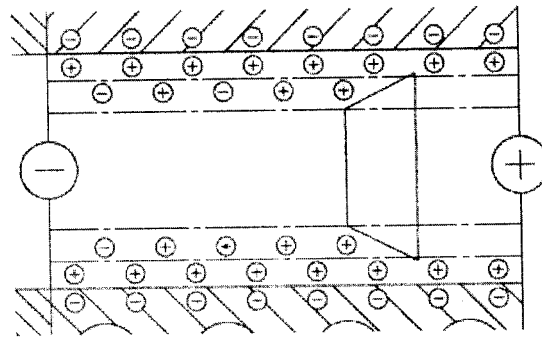
Detajl A



Slika 21

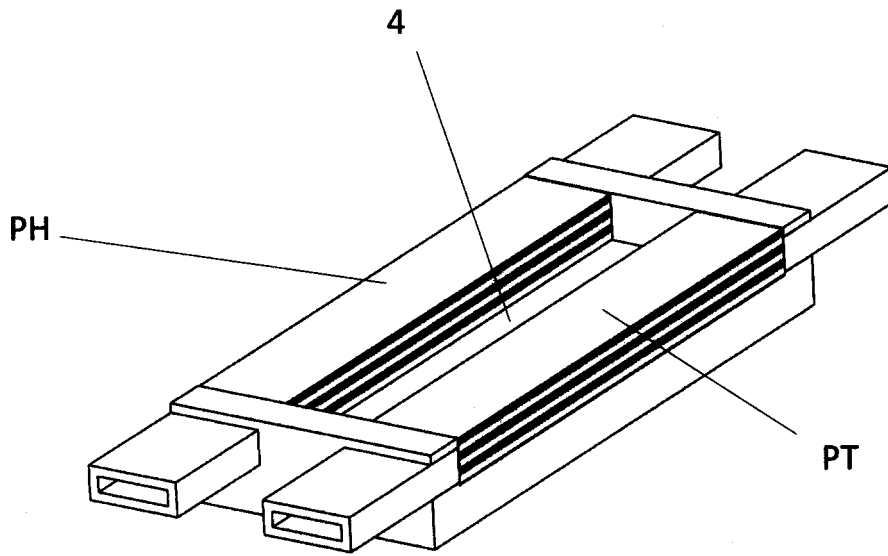


Detajl A

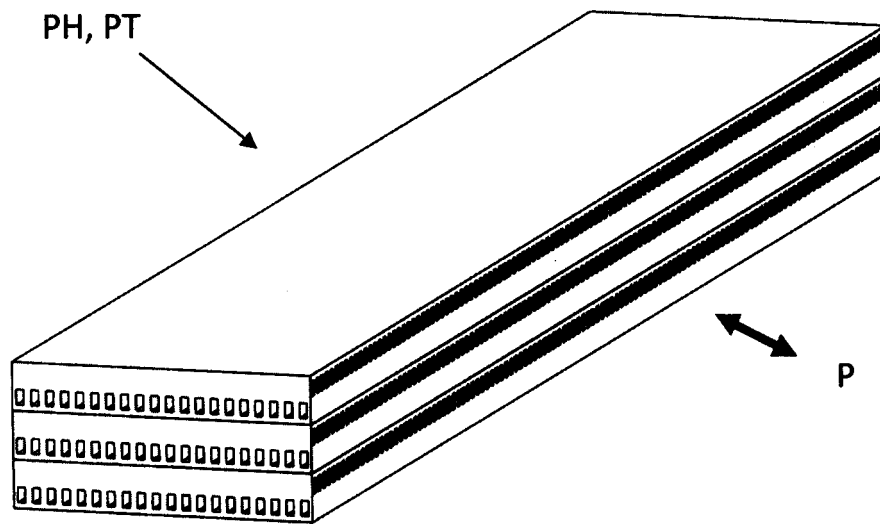


Slika 22

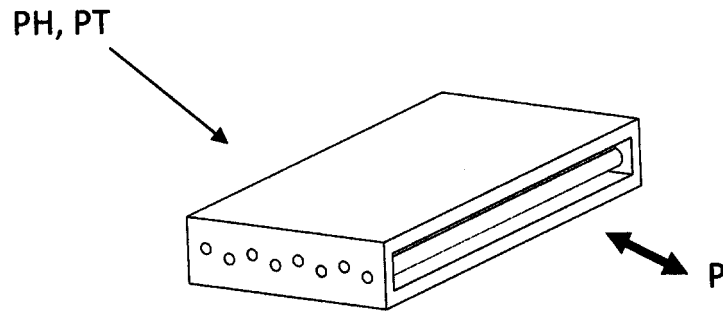
21/24



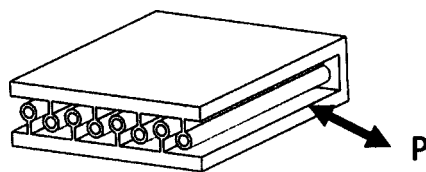
Slika 23



Slika 24

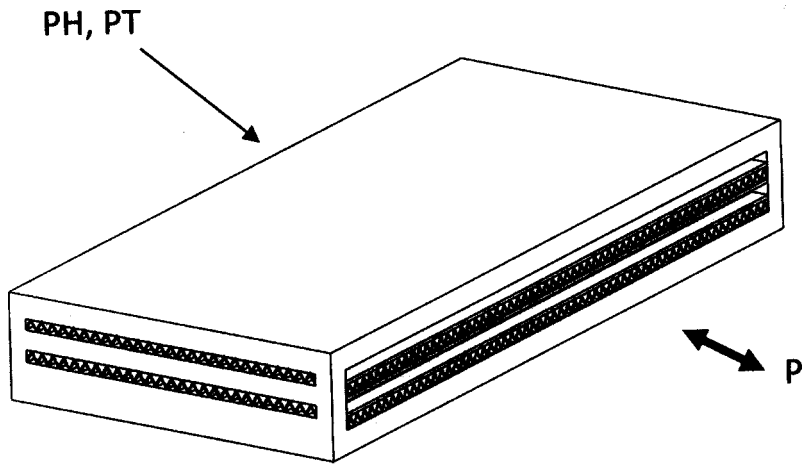


Slika 25A

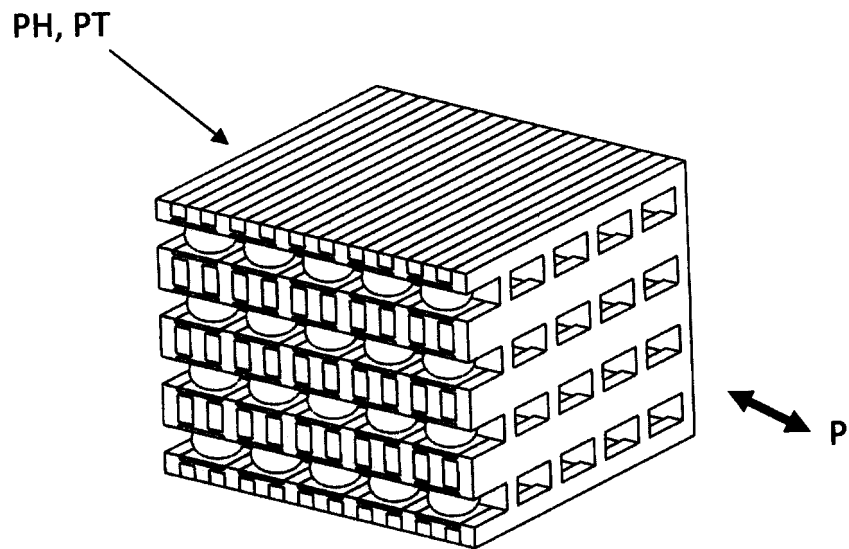


Slika 25B

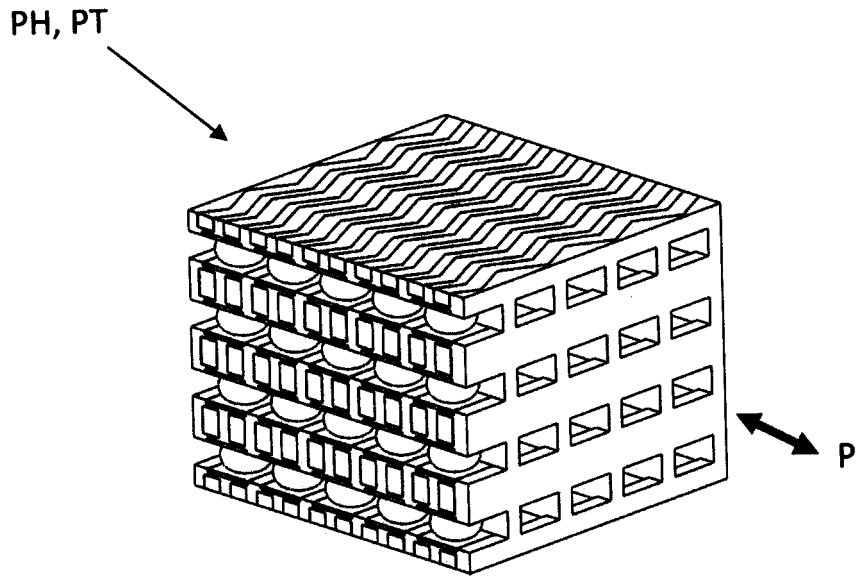
23/24



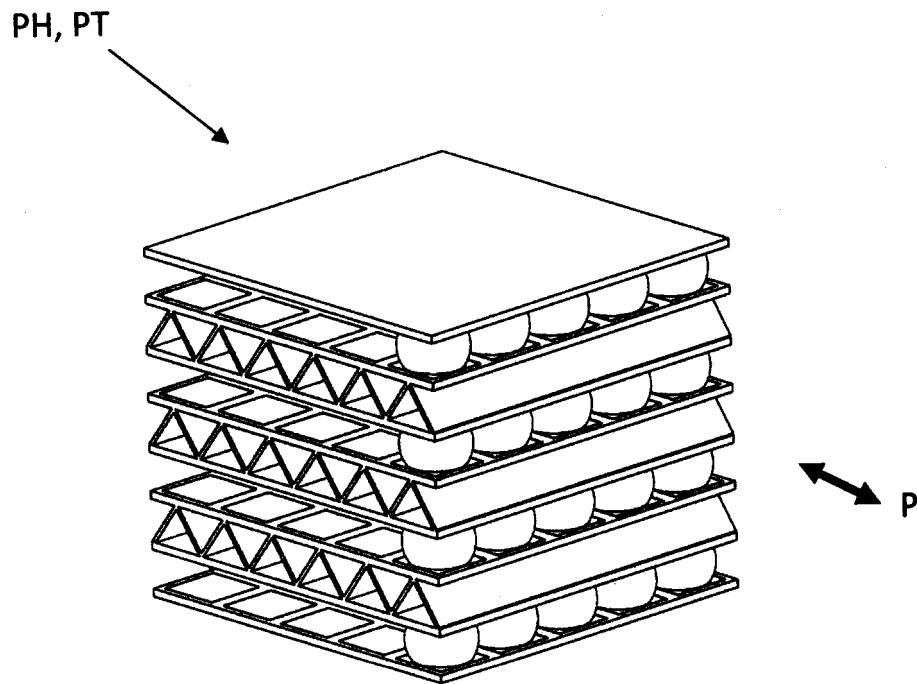
Slika 26



Slika 27



Slika 28



Slika 29