

PATENTOVÝ SPIS

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2011-449**
(22) Přihlášeno: **22.07.2011**
(40) Zveřejněno: **16.05.2012**
(Věstník č. 20/2012)
(47) Uděleno: **05.04.2012**
(24) Oznámení o udělení ve Věstníku: **16.05.2012**
(Věstník č. 20/2012)

(11) Číslo dokumentu:

303 190

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

A61M 1/36 (2006.01)
F28D 7/00 (2006.01)
F28D 7/06 (2006.01)

(56) Relevantní dokumenty:

EP 0524662 B; JP 2554016 B2; US 5294397 A; US 4177816 A; WO 2008062344 A; CZ 269522 B6; CZ 300266 B6.

(73) Majitel patentu:

Univerzita Karlova v Praze, Lékařská fakulta v Plzni,
Plzeň, CZ

(72) Původce:

Bolek Lukáš MUDr. Ph.D., Plzeň, CZ
Dejmek Jiří Ing., Plzeň, CZ
Růžička Jiří MUDr. Ph.D., Plzeň, CZ
Beneš Jiří MUDr. Ph.D., Plzeň, CZ
Petránková Zuzana Ing., Veltruby, CZ

(74) Zástupce:

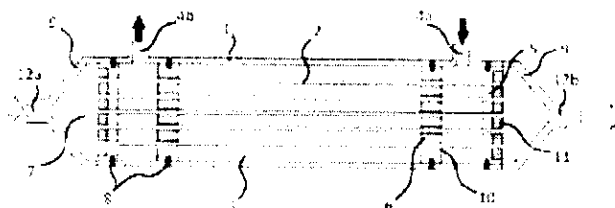
Hák Janeček & Švestka, Patentová a známková kancelář,
RNDr. Roman Hák, U Průhonu 5, Praha 7, 17000

(54) Název vynálezu:

Tepelný výměník s laminarizérem

(57) Anotace:

Tepelný výměník umožňuje účinné a rovnoměrné chlazení a/nebo ohřívání kapalin, zejména krve. Tento výměník je určen zejména pro použití v lékařství. Tepelný výměník obsahuje protáhlý válcovitý plášť (1), kapiláry (2) upevněné v plášti (1) pomocí přepážek (5) tak, že jsou rovnoběžné s podélnou osou pláště (1) a vzájemně rovnoběžně umístěné. Plášť (1) obsahuje přívod (4a) a odvod (4b) chladicí/ohřívací kapaliny a na každém konci zakončovací prvek (9), který obsahuje vstup (12a), respektive výstup (12b) chlazené/ohřívané kapaliny. Uvnitř pláště (1) je alespoň jeden laminarizér (6) ve formě přepážky s otvory (10), vždy jeden otvor (10) pro každou z kapilár (2). Průměr otvoru (10) je větší než vnější průměr kapiláry (2) a laminarizér (6) je umístěn tak, že kapiláry (2) procházejí středem otvorů (10) v laminarizéru (6). Výhodně obsahuje tepelný výměník dva laminarizéry (6). Tepelný výměník je výhodně celý vyroben z plastů. Výhodně je výměník na vstupu (12a) a/nebo výstupu (12b) chlazené/ohřívané kapaliny opatřen ještě teplotním čidlem.



CZ 303190 B6

Tepelný výměník s laminarizérem

Oblast techniky

5

Vynález se týká tepelného výměníku, který umožňuje účinné a rovnoměrné chlazení a/nebo ohřívání kapalin, zejména krve. Tento výměník je určen zejména pro použití v lékařství.

10

Dosavadní stav techniky

Je známo, že mimotělní kontakt krve se syntetickými materiály spouští srážecí mechanismus a dochází ke koagulaci krve. Současné výzkumy ukazují, že podchlazení krve v externím oběhu do značné míry snižuje její nežádoucí srážení, což představuje obrovský potenciál pro zdravotnictví. Pacienti s onemocněním ledvin tvoří početnou skupinu, která by mohla z tohoto objevu mít významný prospěch. Tento nový princip zabránění přirozenému srážení krve (Kroužecký, A. et al., Intensive Care Med (2009) 35:364-370, CZ300266, DE102008062424, US2010114003) by mohl nahradit dosud běžnou praxi, která využívá jiných „antikoagulačních“ mechanismů (např. heparin), často s četnými nežádoucími účinky. Základním předpokladem účinnosti tohoto nového principu je zajištění dostatečného ochlazení a opětovného ohřátí (před vstupem zpět do tělního oběhu) krve, a to pomocí speciálního tepelného výměníku. Ze stavu techniky jsou známy jak tepelné výměníky vhodné pro technické účely, tak i tepelné výměníky určené pro lékařské použití, zejména pro ochlazování/ohřívání krve.

25

Výměník sloužící jako ohříváč nebo chladič vody, páry, oleje a pod., obsahující svazek trubic, byl popsán v patentu CZ133689. Jiný trubkový tepelný výměník vhodný pro technické účely popisuje např. patent CZ269522.

30

Tepelný výměník vhodný pro krev je popsán v US4177816, kde trubičky pro vedení krve jsou kovové a obsahují vložky (např. ve tvaru pásku) pro zajištění laminárního proudění krve.

35

Trubicový tepelný výměník vyrobený z plastu, který je vhodný pro lékařské použití, tj. pro chlazení/ohřívání krve, je popsán v JP56059197. Výměník popsáný v JP2102661 se snaží dosáhnout vyšší účinnosti výměny tepla tím, že chladicí kapalina je vedena kovovými trubičkami uvnitř tělesa výměníku a krev protéká vlastním tělesem výměníku.

Dalším příkladem tepelného výměníku pro lékařské použití je výměník popsáný v US5294397.

40

Všechny uvedené dokumenty zmiňují jako závažný problém homogenitu a účinnost chlazení/ohřevu. Žádný z popisovaných výměníků, ve kterých proudí krev trubičkami umístěnými uvnitř pláště obsahujícího chladicí/ohřívací kapalinu, neobsahuje žádné zařízení nebo konstrukční prvek, který by zjišťoval rovnoměrné laminární proudění chladicí/ohřívací kapaliny a tím zajišťoval vysokou homogenitu a účinnost chlazení/ohřívání krve. Účinnost takového typu výměníku je závislá mj. na kvalitě proudění chladicí/ohřívací kapaliny, kterou se žádný z dokumentů ze stavu techniky doposud nezabýval. Proudění ochlazované/ohřívané kapaliny, tedy krve, nepředstavuje žádný problém, neboť krev protéká tenkými trubičkami (kapilárami) a jde v podstatě vždy o laminární proudění. Naproti tomu proudění chladicí/ohřívací kapaliny v nádobě výměníku (relativně velký objem) svým charakterem (turbulentní, laminární) výrazně ovlivňuje účinnost výměníku, která je významným faktorem nejen při lékařském použití.

50

V lékařské praxi existuje stále potřeba účinného a relativně levného (vhodného pro jedno použití) zařízení k ochlazování/ohřívání krve. Původci proto vyvinuli nový tepelný výměník, ve kterém je nový prvek, pojmenovaný jako laminarizér, který usměrňuje proudění chladicí/ohřívací

kapaliny tak, že dochází k rovnoměrnému proudění, čímž se eliminují slepá místa v tělese výměníku a zvyšuje chladicí/ohřívací efekt tepelného výměníku.

5 Podstata vynálezu

Vynález se týká tepelného výměníku, který je určený zejména pro chlazení nebo ohřívání (v celém textu pro zjednodušení psáno jako chlazení/ohřívání) krve v externím krevním oběhu, který je ale vhodný i pro chlazení/ohřívání jiných typů kapalin. Tepelný výměník podle vynálezu obsahuje vnější plášť, ve kterém jsou umístěny kapiláry (hadičky nebo trubičky s malým průměrem, termíny kapilára, kapilární hadička, hadička nebo trubička jsou zde dále užívány zaměnitelně). Kapiláry jsou upevněné uvnitř v plášti pomocí přepážek a procházejí alespoň jedním, výhodně dvěma (případně i více) laminarizéry. Laminarizér je prostředek ve formě přepážky s otvory, který usměrňuje proudění chladicí/ohřívací kapaliny tak, že dochází k jejímu rovnoměrnému, v podstatě laminárnímu proudění.

Plášť slouží jednak pro udržení chladicí/ohřívací kapaliny v kontaktu s kapilárami, jednak jako nosná konstrukce celého zařízení a také jako tepelná izolace chladicí/ohřívací kapaliny. V obvodu pláště je umístěn přívodní otvor (přívod) a odváděcí otvor (odvod) chladicí/ohřívací kapaliny a dále fixační elementy pro aretaci vnitřních součástí, tj. přepážek a jednoho či více laminarizérů. Na vnější konce pláště je z obou stran nasazen zakončovací prvek, jehož funkcí je přivádět a odvádět pomocí vstupního otvoru (vstupu) a výstupního otvoru (výstupu) chlazenou/ohřívanou kapalinu.

Přepážky slouží pro fixaci kapilár, jsou umístěny v blízkosti konců pláště a jsou upevněné pomocí fixačních elementů. Tato aretace udržuje všechny kapiláry (zejména jsou-li použity pružné hadičky) v napnutém a vzájemně rovnoběžném stavu s přesně definovanou vzdáleností a rozložením jednotlivých kapilár po celé délce jejich uložení.

Ve vnitřní části tepelného výměníku je umístěn alespoň jeden laminarizér, výhodně dva laminarizéry, a to tak, že leží v prostoru mezi přepážkami fixujícími kapiláry, a to ve vhodně zvolené vzdálenosti od přepážek pro fixaci kapilárních hadiček, aby prostor mezi laminarizérem a přepážkou byl sice malý, ale přitom umožňoval přívod a odvod chladicí/ohřívací kapaliny. Další jeden nebo případně několik laminarizérů může být umístěno uvnitř pláště, v pravidelných či nepravidelných rozestupech. V laminarizéru je množství otvorů (počet otvorů je shodný s počtem kapilár) vhodně zvoleného průměru a rozložení, tj. o průměru větším, než je vnější průměr kapiláry, přičemž kapiláry procházejí středem uvedených otvorů. Laminarizér je pomocí fixačních elementů pevně připojen k plášti v osově souměrnosti k přepážce a kapilárám, stejně jako přepážka, takže nedochází k jeho pohybu a je zachována osová souměrnost jednotlivých kapilár a otvorů v laminarizéru. Laminarizér usměrňuje proudění chladicí/ohřívací kapaliny tak, že dochází k rovnoměrnému, v podstatě laminárnímu proudění, které eliminuje slepá místa a zvyšuje chladicí/ohřívací efekt tepelného výměníku.

Výměník podle vynálezu je konstruován tak, že splňuje požadavky na lékařské použití, a to jak z hlediska materiálu, tak funkčnosti.

Výměník, tj. všechny jeho součásti, je vyroben z plastů, buďto jednoho druhu nebo kombinace více druhů (např. PVC, PMMA, PTFE, PE, PUR apod.), což jsou sice tepelně špatně vodivé materiály, ale jsou rutinně využívány pro svou krátkodobou a v některých případech i dlouhodobou zdravotní nezávadnost hlavně ve zdravotnictví, potravinářství atd. Některé z nich jsou navíc snadno zpracovatelné a jejich cena je nízká, což je důležité hlavně z obchodního hlediska, zvláště u výměníků pro lékařské použití, kde se předpokládá jednorázové použití. Zároveň je nízká tepelná vodivost do určité míry s výhodou, neboť dochází k malému přenosu tepla mezi výměníkem a jeho okolím. Spojení materiálů a jednotlivých částí je řešeno zalitím shodným či jiným

plastem, slepením, zatavením nebo slisováním. Technologie zpracování plastů a výrobků z plastů vhodné pro výrobu tepelného výměníku podle vynálezu jsou odborníkovi běžně známy.

Chladicí/ohřívací kapalinou je libovolná neagresivní kapalina, vhodná je destilovaná voda, eventuálně s přísadami snižujícími teplotu tuhnutí, které nejsou agresivní k použitým materiálům výměníku. Pro chlazení krve je výhodným chladivem fyziologický roztok. Celkový objem chlazené/ohřívané kapaliny ve výměníku je minimalizován na objemy řádově v desítkách ml, což je výhodné v aplikacích vyžadujících minimální ztrátu objemu - např. mimotělní krevní oběh. Tento objem je nejmenší ve výhodném provedení tepelného výměníku v příkladu 3, kde došlo kromě dalších dílčích zlepšení ke zmenšení reziduálních objemů chlazené/ohřívané kapaliny ve srovnání s provedením z příkladu 2.

Vzhledem k tomu, že výměník je určen především pro zdravotnické účely, je konstruován tak, aby byla omezena rizika vznikající při proudění krve. Mezi základní riziko patří v tomto případě riziko srážení krve, ke kterému by mohlo docházet při jejím pomalém proudění. Je tedy nutné zajistit dostatečnou rychlost proudění krve kapilárami výměníku. Při vyšší rychlosti se však snižuje čas, po který je krev v kontaktu s vnitřními stěnami kapilár - pro kompenzaci tohoto jevu bylo třeba maximalizovat plochu, se kterou je krev v kontaktu. Do úvahy byl vzat také objem protékající krve (měl by být co nejmenší), průřez kapilár, jejich délka, hydrodynamický odpor (který je významný při spojení s další technikou, např. dialyzačním monitorem), objem chladicí/ohřívací kapaliny obtékající kapiláry a celkový objem výměníku. Výměník podle vynálezu v provedeních uvedených v příkladech představuje kompromis mezi všemi výše uvedenými požadavky. Odborníkovi je jasné, že konkrétní rozměry a tvar prvků výměníků však může být upraven, aniž by se takový výměník odchýlil od konceptu tepelného výměníku podle vynálezu, jak je zde popsán a definován v patentových nárocích.

Ve výhodném provedení zvolené parametry výměníku (viz příklad 2) zajišťují velmi nízký hydrodynamický odpor (výměník zvyšuje tlak protékající vody řádově jen o jednotky kPa) a nerizikovou rychlost protékající krve (řádově jednotky ml/s) při dosažení co největšího snížení či zvýšení teploty. Jakmile je odborníkovi jednou představen v předložené přihlášce popsán koncept výměníku s laminarizérem, stanovení jiných vhodných rozměrů výměníku je závislé mj. na účelu použití výměníku a jde v podstatě o rutinní záležitost, kterou odborník vyřeší rutinním experimentováním, případně v kombinaci s matematickým modelováním.

Primární oblastí využití zařízení je zdravotnictví, ale své uplatnění může najít i ve farmaceutickém, kosmetickém a potravinářském průmyslu apod. Kromě oblastí, kde jsou vysoké požadavky na dodržování maximální hygieny a sterility, je zařízení možné používat opakovaně. U lidské krve se jedná pouze o jednorázové použití. Předpokládaná výrobní cena výměníku je ve srovnání s výměníky z jiných materiálů než z plastů (zvláště pak PVC) relativně nízká, což je pro jednorázové použití s výhodou, zejména při očekávaných větších objemech výroby.

Konkrétně je tedy předmětem předloženého vynálezu tepelný výměník obsahující protáhlý válcovitý plášť, kapiláry, upevněné pomocí přepážek tak, že jsou rovnoběžné s podélnou osou pláště a vzájemně rovnoběžné, přičemž plášť obsahuje přívod a odvod chladicí/ohřívací kapaliny a na každém konci zakončovací prvek, který obsahuje vstup, respektive výstup chlazené/ohřívané kapaliny, charakterizovaný tím, že uvnitř pláště obsahuje alespoň jeden laminarizér ve formě přepážky s otvory, vždy jedním otvorem pro každou z kapilár, přičemž průměr otvoru je větší než vnější průměr kapiláry, a laminarizér je umístěn tak, že kapiláry procházejí středem otvorů v laminarizéru.

Výhodně tepelný výměník podle předloženého vynálezu obsahuje dva laminarizéry.

Ve výhodném provedení je celý tepelný výměník podle vynálezu vyroben z plastů.

Ve výhodném provedení tepelného výměníku podle vynálezu jsou přepážky umístěny v plášti tak, že zalévací prostor přepážky směřuje do prostoru pro chladicí/ohřívací kapalinu.

5 Tepelný výměník podle vynálezu je výhodně na vstupu a/nebo výstupu chlazené/ohřívané kapaliny opatřen teplotním čidlem.

Znaky a výhody tepelného výměníku podle vynálezu budou dále patrný z příkladů provedení, s přihlédnutím k připojeným obrázkům.

10

Přehled obrázků na výkresech

15 Obr. 1.1 - Tepelný výměník v podstatě odpovídající stavu techniky - celkový pohled (podélný řez). Bílé šipky označují směr toku ochlazované/ohřívané kapaliny, černé šipky označují směr toku chladicí/ohřívací kapaliny

Obr. 1.2 - Detail přepážky a fixace kapilárních hadiček (řez)

20 Obr. 2.1 - Tepelný výměník podle vynálezu obsahující dva laminarizéry - celkový pohled (podélný řez)

Obr. 2.2 - Detail provedení laminarizéru (řez) výměníku podle obr. 2.1.

25 Obr. 3.1 - Tepelný výměník podle vynálezu obsahující dva laminarizéry - další výhodné provedení - celkový pohled (podélný řez)

Obr. 3.2 - Detail přepážky a fixace hadičky u tepelného výměníku podle obr. 3.1.

30 Obr. 4.1 - Fixační přepážka tepelného výměníku sloužící k uchycení kapilár

Obr. 4.2 - Fixační přepážka podle obr. 4.1. - pohled z protilehlé strany než ukazuje obr. 4.1. ukazující zalévací prostor

35 Obr. 5 - Laminarizér tepelného výměníku podle vynálezu

Obr. 6.1 - Počítačová simulace proudění chladicí/ohřívací kapaliny ve srovnávacím tepelném výměníku bez laminarizéru podle obr. 1.1.

40 Obr. 6.2. - Počítačová simulace proudění chladicí/ohřívací kapaliny v tepelném výměníku podle vynálezu se dvěma laminarizéry podle obr. 2.1.

Obr. 6.3 - Počítačová simulace proudění chladicí/ohřívací kapaliny v jiném výhodném provedení tepelného výměníku podle vynálezu se dvěma laminarizéry podle obr. 3.1.

45 Obr. 6.4a - Počítačová simulace proudění chladicí/ohřívací kapaliny v tepelném výměníku podle vynálezu v provedení s jedním laminarizérem

Obr. 6.4b - Počítačová simulace proudění chladicí/ohřívací kapaliny v tepelném výměníku podle vynálezu v provedení se třemi laminarizéry

50

Obr. 6.4c - Počítačová simulace proudění chladicí/ohřívací kapaliny v tepelném výměníku podle vynálezu v provedení se čtyřmi laminarizéry

Příklady provedení vynálezu5 **Příklad 1**

Srovnávací tepelný výměník bez laminarizéru

10 Na obr. 1.1 je znázorněn srovnávací tepelný výměník (který v podstatě odpovídá tepelnému výměníku podle dosavadního stavu techniky), tj. tepelný výměník bez laminarizéru.

Tepelný výměník obsahuje protáhlý, válcovitý plášť 1, kapiláry 2 (což jsou např. hadičky nebo trubičky), které jsou v plášti 1 upevněny pomocí přepážek 5 tak, že jsou rovnoběžné s podélnou osou pláště 1.

15 Plášť 1 slouží jednak pro udržení chladicí/ohřívací kapaliny v kontaktu s kapilárami 2, jednak jako nosná konstrukce zařízení a také jako tepelná izolace chladicí/ohřívací kapaliny. V obvodu pláště 1 je umístěn přívod 4a a odvod 4b chladicí/ohřívací kapaliny a dále fixační elementy 8 pro aretaci přepážek 5. Na každý vnější konce pláště 1 je nasazen zakončovací prvek 9, jehož
20 funkci je přivádět, resp. odvádět skrz vstup 12a, resp. výstup 12b, chlazenou/ohřívanou kapalinu. Přívod 4a chladicí/ohřívací kapaliny je umístěn na opačném konci pláště 1 než je vstup 12a chlazené/ohřívané kapaliny, neboť se jedná v principu o protiproudový tepelný výměník, (černé šipky na obr. 1.1, 2.1 a 3.1 označují směr toku chladicí/ohřívací kapaliny, bílé šipky označují směr toku chlazené/ohřívané kapaliny).

25 Přepážky 5 (obr. 1.2, 4.1 a 4.2) slouží pro fixaci kapilár 2, a to zalitím prostoru 11 vhodným fixačním materiálem (např. akrylátovou pryskyřicí, např. Spofakryl). Fixační přepážky 5 jsou umístěny na obou koncích pláště 1 a jsou upevněné pomocí fixačních elementů 8. Tato aretace udržuje všechny kapiláry 2 v přímém, nedeformovaném tvaru v přesně definovaných vzdálenostech od sebe, v osově souměrnosti s přepážkou a vzájemně rovnoběžné.
30

Chlazená/ohřívána kapalina je vedena vstupem 12a do kapilár 2, které jsou orientovány uvnitř pláště 1 axiálně s podélnou osou pláště. Na opačném konci výměníku je chlazená/ohřívána kapalina svedena do výstupu 12b a opouští tepelný výměník. Kapiláry 2 jsou uchyceny v přepážce 5
35 (detail na obr. 1.2), která odděluje prostor 3 pro chladicí/ohřívací kapalinu od prostoru 7 pro chlazenou/ohřívanou kapalinu. Přepážka 5 obsahuje stejný počet otvorů jako je počet kapilár 2 o v podstatě shodném průměru (resp. přiměřeně větším, aby bylo možné kapiláry 2 otvory prostrčit) jako vnější průměr kapilár 2, kapiláry 2 jsou pak do přepážky 5 zataveny nebo vlepeny (nebo upevněny jakýmkoliv jiným vhodným způsobem, který je odborníkům znám), přičemž spoje jsou
40 dokonale těsné, aby nedocházelo k nežádoucímu míchání chladicí/ohřívací a chlazené/ohřívané kapaliny.

45 **Příklad 2**

Základní provedení tepelného výměníku se dvěma laminarizéry

Tepelný výměník podle vynálezu (viz dvě varianty provedení na obr. 2.1 a 3.1) je v podstatě podobný provedení podle příkladu 1 (obr. 1.1). Zásadní odlišností je, že obsahuje dva laminarizéry
50 6 (detailní znázornění viz obr. 2.2 a obr. 5), které jednak účinně rozdělují proud chladicí/ohřívací kapaliny ke všem kapiláram 2, kterými protéká chlazená/ohřívána kapalina, a usměrňují proudění chladicí/ohřívací kapaliny tak, že dochází k rovnoměrné a efektivnější výměně tepla na vnějším povrchu kapilár a v konečném důsledku k účinnému ochlazení/ohřívání ochlazované/ohřívané kapaliny. V tomto provedení jsou dva laminarizéry 6 umístěny na obou stranách pláště 1 výmění-

ku ve vhodné vzdálenosti (přibližně 1-2 cm od přepážek 5, tedy přibližně 3 cm od konců pláště 1, a to při celkové délce kapilár 2 (přibližně 30 cm) od uchycení kapilár 2 v přepážce 5. Laminarizéry 6 jsou, obdobně jako přepážky 5, aretovány pomocí fixačních elementů 8 k plášti 1, takže nedochází k jejich pohybu.

5

V tomto konkrétním provedení vnější průměr pláště 1 je 70 mm a vnitřní průměr pláště je 62 mm. Velikost vnitřního průměru je závislá mj. na počtu kapilár 2 ve výměníku. V tomto provedení výměník obsahuje kapiláry o délce 30 cm, s vnitřním průměrem 1 mm, vnějším průměrem 1,5 mm, celkový počet kapilár je 200, celkový objem chlazené kapaliny v kapilárách výměníku včetně „mrtvých prostor“ je 65 ml. Toto uspořádání zajišťuje velmi nízký hydrodynamický odpor, výměník zvyšoval tlak protékající vody pouze o 7 kPa. Toto výhodné provedení bylo zvoleno na základě předchozích optimalizačních experimentů a výsledků matematického modelování.

10

Úkolem laminarizéru 6 je zajištění rovnoměrného proudění chladicí/ohřívací kapaliny uvnitř pláště 1, což, jak bylo experimentálně potvrzeno, zvyšuje významně ochlazovací/ohřívací efekt výměníku oproti rozměrově shodnému výměníku bez laminarizéru 6 (viz příklad 1, obr. 1.1). Laminarizér 6 je konstruovaný v podstatě jako přepážka s otvory 10 pro každou z kapilár 2. Laminarizér způsobuje rovnoměrné pronikání chladicí/ohřívací kapaliny v otvorech 10 kolem kapilár 2, přičemž je celý výměník konstruován tak, že kapiláry 2 procházejí středem otvorů 10 v laminarizéru 6. Velikost otvoru 10 je mj. závislá na průměru kapiláry, na rychlosti proudění chladicí/ohřívací kapaliny, na vnitřním průměru výměníku a na počtu a uspořádání kapilár. Průměr otvoru 10 je určen na základě odborníky známých fyzikálních zákonů tak, že chladicí kapalina vytváří okolo jednotlivých kapilár laminární proudění (Reynoldsovo číslo pro danou konfiguraci je menší než 2000). Vypočtená hodnota se pak ověřila např. pomocí počítačové simulace a nakonec experimentálně ověřením účinnosti výměníku při chlazení/ohřívání kapaliny (vody, krve).

20

25

Prívod 4a a odvod 4b chladicí/ohřívací kapaliny v obvodu pláště 1 nemusí být umístěny jen ve vzájemně shodné poloze vzhledem k obvodu pláště 1 (jak je znázorněno např. na obr. 2.1), ale v jakékoliv vzájemné poloze, např. výhodně také v „protilehlé“ poloze (posunuty vzájemně o 180° po obvodu pláště 1).

30

Příklad 3

35

Srovnání funkce tepelného výměníku bez laminarizéru a výměníku se dvěma laminarizéry při chlazení/ohřívání vody

40

Z hlediska funkčnosti výměník podle vynálezu zajišťuje ochlazení protékající kapaliny, např. krve, o 15 až 25 °C v závislosti na zvoleném průtoku charakteristickém pro danou konstrukci (např. 300 až 700 ml/min), a to při teplotě chladicí kapaliny 5 až 10 °C. Se snižujícím se průtokem chlazené kapaliny a snižující se teplotou chladicí kapaliny lze dosáhnout vyššího teplotního rozdílu. Pro technické účely je při použití nemrznoucích chladicích směsí možné dosáhnout teplot chlazené kapaliny i nižších než 0 °C.

45

Výměník je též určen pro ohřívání kapalin. Např. při zachování stejného, výše uváděného průtoku a při teplotě ohřívací kapaliny přibližně 35 až 45 °C, lze protékající kapalinu, konkrétně např. krev, ohřát o 15 až 25 °C.

50

Například v případě použití srovnávacího výměníku bez laminarizéru (viz příklad 1) se ochlazená kapalina (destilovaná voda) o teplotě 37 °C ochladila na 20 °C při průtoku 440 ml/min, a to při teplotě chladicí kapaliny (destilovaná voda) 7 °C a průtoku chladicí kapaliny 2 l/min. Za zce-

la stejných podmínek došlo u výměníku se dvěma laminarizéry podle vynálezu (obr. 2.1) ke snížení teploty chlazené kapaliny ze 37 °C na 15 °C, což je významný rozdíl.

5 V případě použití srovnávacího výměníku (viz příklad 1) pro ohřívání došlo k ohřátí ohříváné kapaliny (destilovaná voda) o výchozí teplotě 20 °C na 31 °C při průtoku 440 ml/min, teplotě ohřívací kapaliny 44 °C a průtoku ohřívací kapaliny 21/min. Při použití výměníku se dvěma laminarizéry podle vynálezu (obr. 2.1) pro ohřívání, za jinak zcela stejných podmínek, došlo k oteplení ohříváné kapaliny (destilovaná voda) z teploty 20 °C na 37 °C.

10 Uvedené číselné hodnoty jsou jen vybrané reprezentativní hodnoty. Experimenty byly prováděny opakovaně a byly získávány obdobné hodnoty. Vyšší chladicí i ohřívací účinnost výměníku podle vynálezu (obr. 2.1) oproti srovnávacímu výměníku (obr. 1.1), definované jako dosažený rozdíl teplot chlazené/ohříváné kapaliny na vstupu a výstupu při jinak stejných teplotách a průtocích, byly statisticky průkazné.

15

Příklad 4

Ověření funkce tepelného výměníku s krví

20

Obdobné experimenty jako v příkladu 3 byly provedeny s krví zvířete (vepř) jakožto ochlazovanou/ohřívanou kapalinou. Bylo dosaženo velmi podobných výsledků.

25

Například v případě použití výměníku se dvěma laminarizéry (viz obr. 2.1 nebo 3.1) se neupravená ochlazovaná krev o teplotě 36,6 °C ochladila na 14,3 °C při průtoku 400 ml/min, a to při teplotě chladicí kapaliny (destilovaná voda) 6,5 °C a průtoku chladicí kapaliny 2 l/min.

30

V experimentu s neupravovanou krví zvířete bylo také ověřováno riziko srážení krve v trubičkách výměníku při snížení průtoku krve v kombinaci s nedostatečným ochlazováním. Experiment ukázal, že ani v extrémních podmínkách, tj. při snížení proudění krve až na 200 ml/min a teplotě okolního prostředí trubiček kolem 27 °C (materiál trubiček - PVC) ještě nedochází ke srážení krve v trubičkách výměníku. Jedná se o extrémní kombinaci negativních vlivů, která by již mohla vést k aktivaci srážecích procesů krve při jejím návratu do krevního oběhu, což by bylo v uvažovaném léčebném procesu (např. dialýza) nepřijatelné.

35

Příklad 5

Zlepšené provedení tepelného výměníku se dvěma laminarizéry

40

Další výhodné provedení tepelného výměníku (viz obr. 3.1) se vyznačuje zmenšenými reziduálními objemy (zejména objemem prostoru 7 mezi základním tělesem pláště 1 a zakončovacím prvkem 9 a z hlediska výroby jednodušší konstrukcí a je navíc vybaveno teplotními čidly 16 na vstupu 12a a výstupu 12b výměníku.

45

U tohoto výhodného provedení tepelného výměníku došlo ke zlepšení konstrukce, a to předně ve změně tvaru zakončovacího prvku 9 (viz obr. 3.1), které vedlo ke zmenšení prostoru 7 a tedy zmenšení reziduálního objemu chlazené/ohříváné kapaliny. Dále bylo zlepšeno vnitřní uspořádání fixační přepážky 5 a laminarizéru 6. Navíc zakončovací prvek 9 obsahuje integrované teplotní čidlo 16, pro přímé měření teploty vstupující a/nebo vystupující ochlazované/ohříváné kapaliny na vstupu 12a nebo výstupu 12b. Vhodným umístěním čidla 16 (obr. 3.6) a jeho miniaturní velikostí je minimalizován jeho vliv na proudění chlazené/ohříváné kapaliny. Fixační přepážka 5 a laminarizér 6 jsou v tomto provedení pevně spojeny třemi pravidelně rozmístěnými

50

distančními sloupky 15 (a vytvářejí tak celek nazvaný hlavice). Fixační přepážka 5 má na rozdíl od předchozího provedení (příklad 2) obráceně lokalizovaný prostor pro fixaci kapilár 2 zalitím prostoru 11 vhodným fixačním materiálem. Tento prostor 11 je zde umístěn z vnitřní strany (tj. ze strany zasahující do prostoru 3 chladicí/ohřívací kapaliny) fixační přepážky 5, jak je patrné z obr. 3.1. a 3.2), čili kapiláry jsou zality těsnící hmotou ze strany chladicí/ohřívací kapaliny (tj. v prostoru 3 a nikoliv v prostoru 7, srovnej obr. 2.1. a 3.1). Tím je zabráněno kontaktu zalévací hmoty s krví.

10 Příklad 6

Počítačové simulace funkce tepelného výměníku s různým počtem laminarizérů

Na obr. 6.1 je zobrazena počítačová simulace proudění chladicí/ohřívací kapaliny ve srovnávacím tepelném výměníku bez laminarizérů 6 (příklad 1, obr. 1.1). Z modelu je zřetelně patrné, že chladicí/ohřívací kapalina neproudí rovnoměrně, dochází zejména k vytváření „slepých“ oblastí s minimální obměnou chladicí/ohřívací kapaliny. Naproti tomu, jak je patrné z obr. 6.2 (výměník podle obr. 2.1) a 6.3 (výměník podle obr. 3.1), dva laminarizéry 6 ve výměníku podle vynálezu markantně usměrňují proudění chladicí/ohřívací kapaliny a tak vytvářejí rovnoměrné proudění, které eliminuje slepá místa a významně zvyšuje chladicí/ohřívací efekt tepelného výměníku.

Při použití výměníku s jedním laminarizérem 6 umístěným blíže přívodu 4a chladicí/ohřívací kapaliny (viz obr. 6.4a) bylo dosaženo lepšího chladicího/ohřívacího efektu než u výměníku bez laminarizéru (viz obr. 6.1), avšak zlepšení nebylo tak výrazné jako u výměníku se dvěma laminarizéry 6 (viz obr. 3.1) umístěnými v blízkosti přepážek 5 (viz obr. 6.3). Počítačové simulace dále ukázaly, že např. vložení jednoho či dvou (případně i více) dalších laminarizérů 6 mezi dva „krajní“ laminarizéry 6 (viz obr. 6.4b a 6.4c) již nepřináší významné zlepšení laminarizace toku chladicí/ohřívací kapaliny. Z hlediska dostatečného chladicího/ohřívacího efektu a současně z hlediska nákladů na výrobu tepelného výměníku lze považovat výměník se 2 laminarizéry 6 za výhodné řešení.

Ve všech výše popsaných experimentech bylo potvrzeno, že laminární proudění chladicí/ohřívací kapaliny, kterého je dosaženo pomocí jednoho, výhodně dvou laminarizérů 6 umístěných v plášti 1 tepelného výměníku, zajišťuje rovnoměrnější a efektivnější chlazení/ohřívání kapaliny, což je zejména důležité pro zabezpečení rovnoměrného ochlazování/ohřívání zabraňujícího nežádoucím změnám v ochlazovaných/ohřívávaných kapalinách - zejména např. parciálnímu srážení krve. Zároveň bylo ukázáno, že ve výměníku s alespoň jedním, případně více (výhodně dvěma) laminarizéry 6 dochází k efektivnějšímu chlazení/ohřívání kapaliny než u výměníku bez laminarizéru(ů) 6 podle příkladu 1.

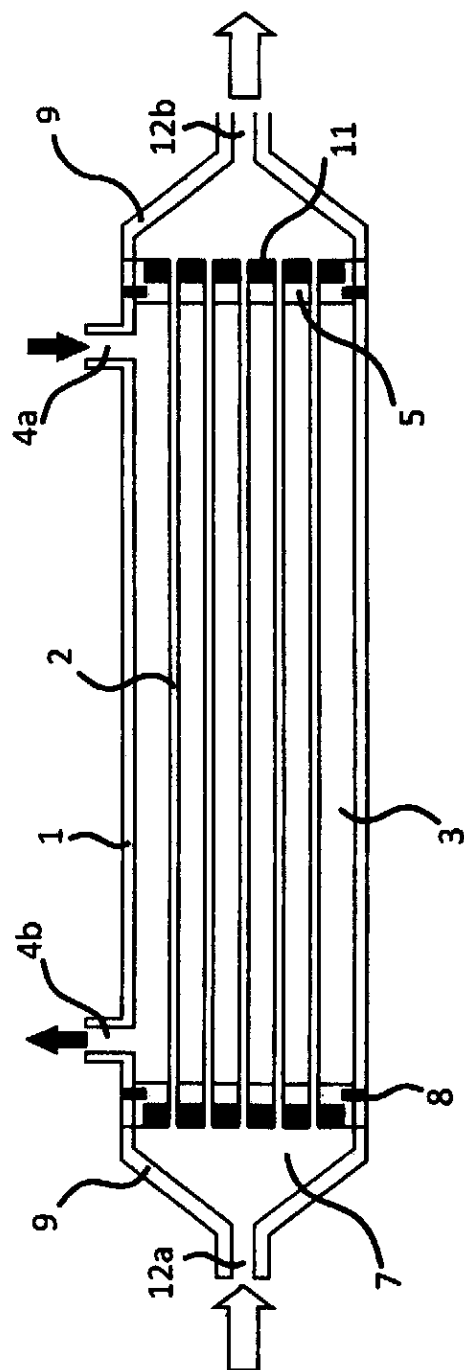
PATENTOVÉ NÁROKY

- 5 1. Tepelný výměník obsahující protáhlý válcovitý plášť (1), kapiláry (2) upevněné v plášti (1) pomocí přepážek (5) tak, že jsou rovnoběžné s podélnou osou pláště (1) a vzájemně rovnoběžně umístěné, přičemž plášť (1) obsahuje přívod (4a) a odvod (4b) chladicí/ohřívací kapaliny a na každém konci zakončovací prvek (9), který obsahuje vstup (12a), respektive výstup (12b) chlazené/ohřívané kapaliny, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že uvnitř pláště (1) obsahuje alespoň jeden
- 10 laminarizér (6) ve formě přepážky s otvory (10), vždy jeden otvor (10) pro každou z kapilár (2), přičemž průměr otvoru (10) je větší než vnější průměr kapiláry (2), a laminarizér (6) je umístěn tak, že kapiláry (2) procházejí středem otvorů (10) v laminarizéru (6).
- 15 2. Tepelný výměník podle nároku 1, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že obsahuje dva laminarizéry (6).
3. Tepelný výměník podle nároku 1 nebo 2, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že je celý vyroben z plastů.
- 20 4. Tepelný výměník podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že přepážky (5) jsou umístěny v plášti (1) tak, že zalévací prostor (11) přepážky (5) směřuje do prostoru (3) pro chladicí/ohřívací kapalinu.
- 25 5. Tepelný výměník podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že na vstupu (12a) a/nebo výstupu (12b) chlazené/ohřívané kapaliny je opatřen teplotním čidlem (16).

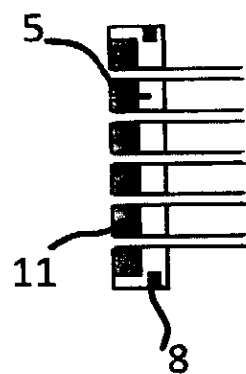
30

7 výkresů

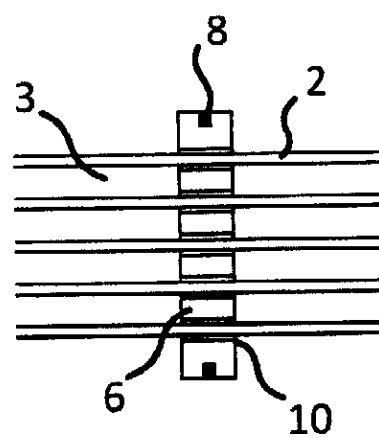
Obr. 1.1



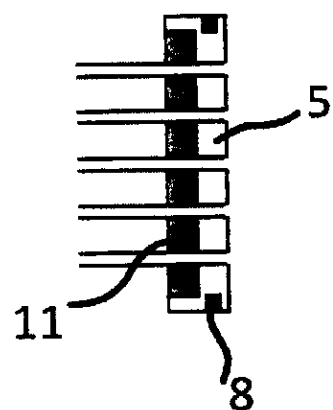
Obr. 1.2



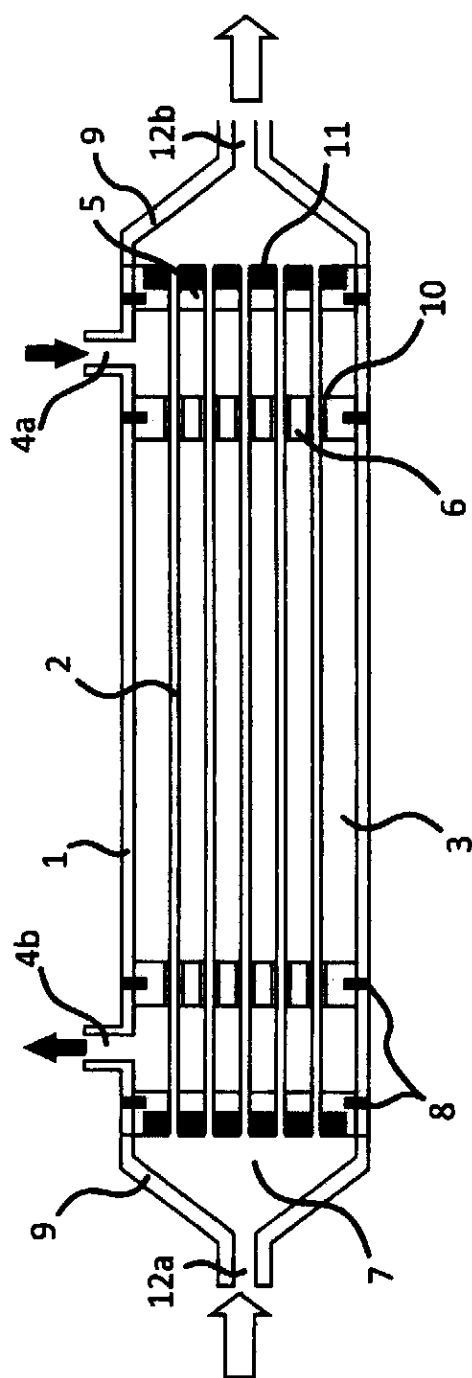
Obr. 2.2



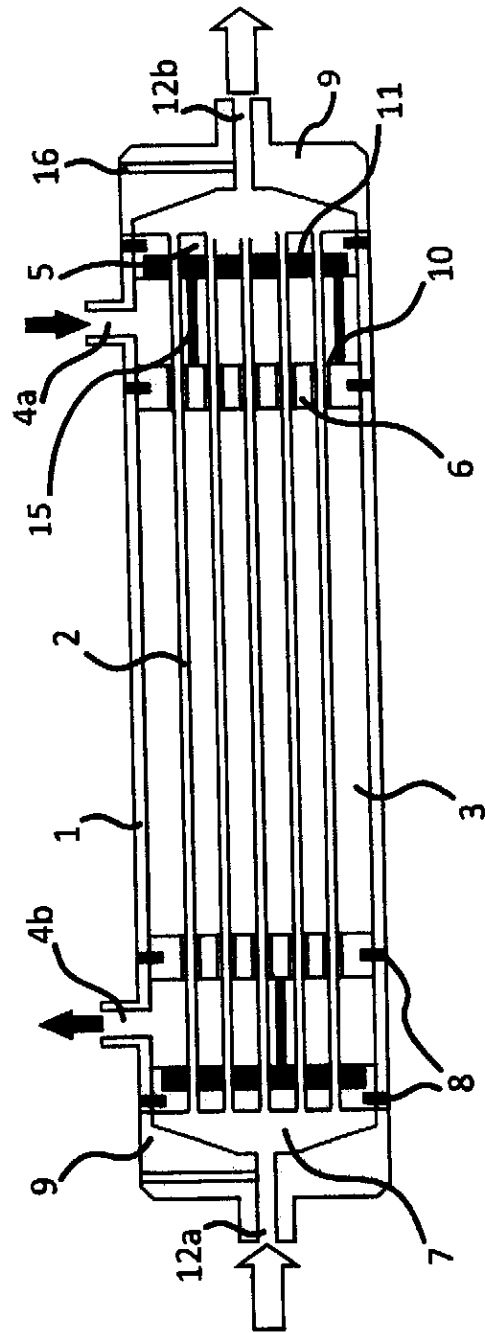
Obr. 3.2



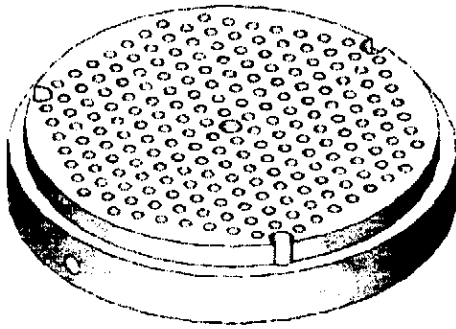
Obr. 2.1



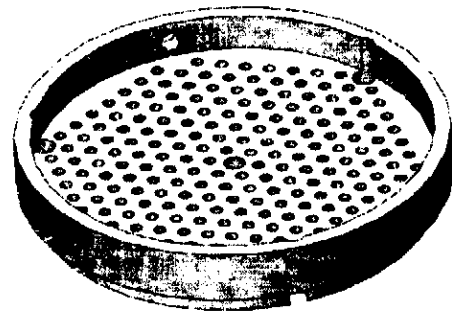
Obr. 3.1



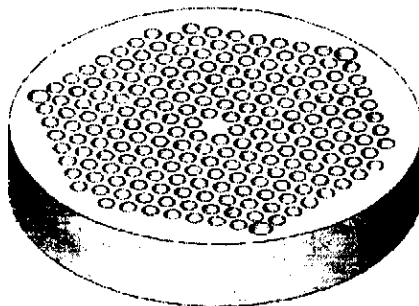
Obr. 4.1



Obr 4.2



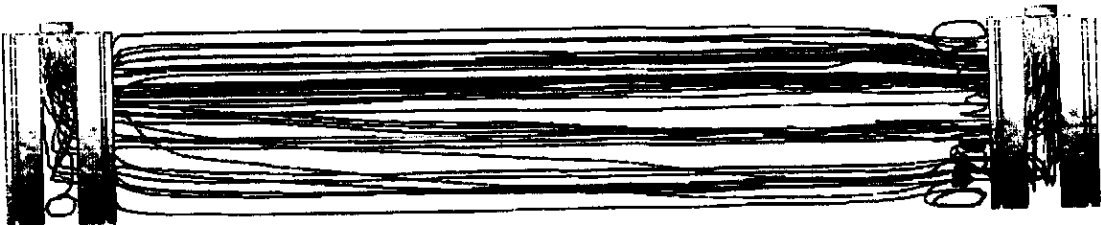
Obr. 5.



Obr. 6.1



Obr. 6.2.



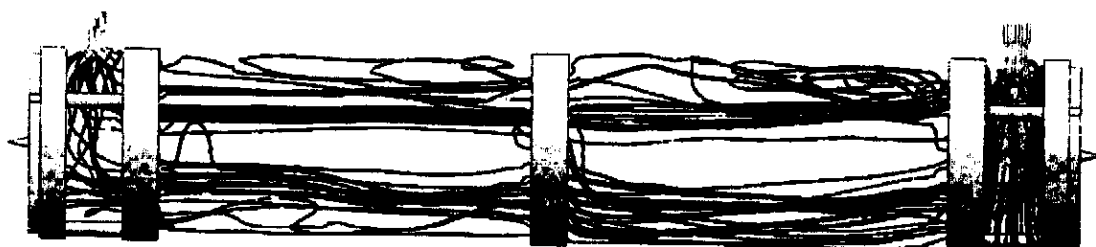
Obr. 6.3



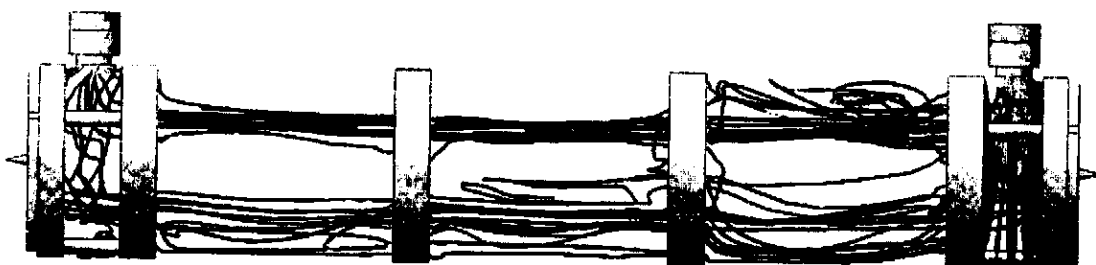
Obr. 6.4a



Obr. 6.4b



Obr. 6.4c



Konec dokumentu
