

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Термоенергетски уређаји и постројења

Број индекса: 435/2018

Марија Т. Гвозденовић

**Прорачун плочастог размењивача топлоте
мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Небојша Лукић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да да преглед савремених концепција рекуператорских размењивача топлоте. Првенствено треба да опише плочасте размењиваче топлоте, њихову функцију и употребу. Суштина рада се састоји у прорачуну плочастог размењивача топлоте и његовог приказа у 3D моделу.

Препоручена литература:

- [1] Лукић Н, Скрипте са предавања из предмета термоенергетски уређаји и постројења, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2019.
- [2] Бојић М., Хнатко Е., Термотехника, Машински факултет, Крагујевац, 1987.
- [3] Какаç S., Liu H., Pramuanjaroenkij A., Heat exchangers, CRC Press, New York, 2012.

Крагујевац, март 2020.

Ментор:
Проф. др Небојша Лукић

Abstract

This paper presents the historical development of heat exchangers, divisions and uses. An overview of modern concepts of recuperator heat exchangers is presented. Plate heat exchangers are primarily described.

The paper calculates a plate heat exchanger with a heat capacity of 500 kW, which will be used in practice for heating a residential building in Kragujevac. A plate and shell heat exchanger - type P 350 with 100 plates - was chosen as the optimal solution.

Plate and shell heat exchangers are an ideal combination of plate and shell-tube heat exchangers, combining the best characteristics of both types of heat exchangers (degree of efficiency, small dimensions of plate heat exchangers with safety and resistance to high temperatures and pressures of shell-tube heat exchangers).

At the end of the paper, a 3D model of a plate and shell heat exchanger - type P 350 with 100 plates is presented.

Keywords: heat exchanger, plate and shell heat exchanger, calculation, 3D model, heat exchanger P 350 with 100 plates...

Резиме

У овом раду приказан је историјски развој размењивача топлоте, подела и употреба. Приказан је преглед савремених концепција рекуператорских размењивача топлоте. Првенствено су описани плочасти размењивачи топлоте.

У раду је извршен прорачун плочастог размењивача топлоте, топлотног капацитета 500 kW, који ће у пракси бити коришћен за загревање једног стамбеног објекта у Крагујевцу. Као оптимално решење одабран је плочасто-добошаста размењивач топлоте - типа P 350 са 100 плоча.

Плочасто-добошаста размењивачи топлоте представљају идеалан спој плочастих и добошасто цевастих размењивача топлоте, комбинујући најбоље карактеристике обе врсте размењивача топлоте (степен ефикасности, мале габарите плочастих размењивача топлоте са сигурношћу и отпорношћу на високе температуре и притиске добошасто цевастих размењивача топлоте).

На крају рада дат је приказ 3D модела плочасто-добошастог размењивача топлоте - типа P 350 са 100 плоча.

Кључне речи: размењивач топлоте, плочасто-добошаста размењивач топлоте, прорачун, 3D модел, размењивач топлоте P 350 са 100 плоча...

Списак номенклатура које су се користиле у раду:

Q - количина топлоте [W]

m - масени проток [kg/s]

c_p - специфична топлота [J/kgK]

T - температура [K]

ΔT - средња температура [K]

ΔT_m - средња логаритамска разлика температура [K]

A - површина [m^2]

K - средњи коефицијент пролаза топлоте [W/m^2K]

N - број плоча [-]

N_{ps} - број канала примара [-]

N_{ss} - број канала секундара [-]

Φ - пречник плоче [m]

N_{tu} - број пренесених јединица [-]

D_e - хидраулични пречник [m]

b - дубина плоче [m]

δ_p - дебљина плоче [m]

λ_p - топлотна проводљивост материјала плоче [$W/m^2 K$]

λ - топлотна проводљивост посматраног флуида [$W/m^2 K$]

h - коефицијент прелаза топлоте [W/m^2K]

Nu - Нуселт-ов број [-]

Re - Рејнолдсов број [-]

Pr - Прандлтов број [-]

μ_f - динамичка вискозност флуида на средњој температури флуида [$Pa \cdot s$]

μ_z - динамичка вискозност флуида на температури зида [$Pa \cdot s$]

ρ - густина [kg/m^3]

V - брзина [m/s]

σ - резерва површине [-]

P - притисак [Pa]

ΔP - пад притиска [Pa]

ΔP_p - пад притиска у плочама [Pa]

ΔP_c - пад притиска у прикључцима [Pa]

S_n - смицајни напон [Pa]

$C, a, b, x, \xi, E_t, F_t, L_o$ - коефицијенти [-]

Садржај:

1	Увод.....	1
2	Историјски развој размењивача топлоте	2
3	Теоријске основе размењивача топлоте	3
4	Појам и дефиниција	4
5	Примена размењивача топлоте.....	8
6	Подела размењивача топлоте	10
6.1	Индиректни размењивачи топлоте	12
6.1.1	Регенератори.....	12
6.1.2	Рекуператори	14
6.1.3	Поређење истосмерних и супротносмерних размењивача топлоте.....	17
6.1.4	Размењивачи топлоте са флуидизованим слојем.....	18
6.2	Директни размењивачи топлоте	19
7	Савремене концепције рекуператорских размењивача топлоте	20
7.1	Ваздушни размењивачи топлоте	20
7.2	Размењиваче топлоте цев и омотач	21
7.3	Плочасти размењивачи топлоте.....	21
7.3.1	Лемљени плочасти размењивачи топлоте	24
7.3.2	Плочасто-добошасте размењивачи топлоте	25
7.3.3	Спирални плочасти размењивачи топлоте	28
7.3.4	Ламеларни размењивачи топлоте.....	29
7.4	Размењивачи за специјалне намене	30
7.5	Размењивачи топлоте са мешалицом	30
7.6	Котловско постројење и економијери.....	31
8	Изрази за прорачун плочасто добошастог размењивача топлоте	34
9	Пројектни задатак	38
10	Прорачун плочасто-добошастог размењивача топлоте без резерве површине	40
11	Прорачун плочасто-добошастог размењивача топлоте са резервом површине	44
12	3D модел одабраног размењивача топлоте	51
13	Закључак	53
14	Литература.....	54

1 Увод

У данашње време свет и савремен живот, био би другачији без употребе размењивача топлоте, у разним сегментима, како у кућним условима тако и у индустријским постројењима. Свакодневно се сусрећемо са развојем што ефикаснијих, бољих и функционалнијих размењивача топлоте. Сличне примере у усавршавању и унапређењу налазимо путујући кроз историју. Сам развој технике, и унапређење комерцијалнијих производа није био равномеран. Смењивали су се периоди убрзаног развоја и стагнације. Сам развој науке, технике и технологије довео је до квалитетних промена у области производње и друштву уопште.

Размењивачи топлоте у најдаљој историји постоје онолико дуго, колико и сам човек кува и пече у лонцу. Да бисмо ово боље разумели, потсетићемо се да постоје три начина преноса топлоте, конвекцијом, кондукцијом и зрачењем. Електрична пећница је класичан размењивач топлоте између хране и извора топлоте. Што се тиче ране историје најранији и први најпознатији размењивач топлоте давне историје је било камење у ватри. Камење би се загревало довољно дуго у ватри сачувало топлоту од ватре, потом би се померало у унутрашњост просторије, коју је требало да загреје својом површином, без страха од паљења.

Размењивачи топлоте данас се креирају у величинама које су тако мале да могу стати на длан руке, а толико снажни да су авионима и кранерима неопхони да би се покренули. Употреба размењивача топлоте је веома велика и широка почевши од лаптопова у нашим домовима, петрохемијској рафинерији, индустрији хране, пића, фармацеутским производима. Чување и поновно распоређивање енергије штеди милијарде долара сваке године.

Размењивачи топлоте се праве у разним сортама, од којих свака задовољава своју специфичну намену и потребу на тржишту. Облика су цеви, љуске, плоче, шкољке, а даље се могу категоризовати на основу врсте флуида, броја флуида, начина проласка флуида и слично.

Главни циљ научника и свих нас, како у садашњости, тако и у будућности, је усмерен на што већој уштеди новца, смањеној емисији угљеника и повећаној ефикасности производње.

2 Историјски развој размењивача топлоте

Са историјског аспекта посматрано дуг је и трновит пут који су прешли размењивачи топлоте у свом дизајну, намени и модернизацији, све док нису добили улогу коју данас имају у свакодневном животу, како за појединца у домаћинству, тако и за огромна индустријска постројења. Као што смо и навели раније, примарни праисторијски и најједноставнији размењивач је било камење у ватри, које се потом користило за загревање простора. Око 2000-их година пре нове ере први импровизован вид централног грејања у виду “хипокауста”, примењивали су Кинези и Корејанци, а на наше просторе донели Римљани.

Последњих хиљаду година, Корејанци су почели да примењују технологију са Ондол грејачима. Прошло је доста година, па тек 1829. године, је направљен велики помак у историји размењивача топлоте, када је у Енглеској патентиран први систем за грејање кућа. Подно грејање је први сигнал почео да испољава на прелазу између 19-ог и 20-ог века, а прва комерцијализација и глобално ширење настаје проналаском стабилног полиетилена и развојем индустрије цеви, а то се догодило у задњој четвртини 20-ог века.

Фабричка произвођа првих радијатора, у Европи, у различитим земљама, започиње скоро у исто време. 1927. године R. Bloksma старији, је основао прву импровизовану фабрику, у подруму у Амстердаму, која је примарно била усмерена на поправку примитивних радијатора, а већ 1930. године започиње сопствену линију производа, да би након Другог светског рата, компанија развила и сопствене машине за производњу. А с напретком посла и ширењем подручја 1954. године је отворен и погон за производњу радијатора за извоз, направљен први радијатор широког капацитета за возове, а 1950. године алуминијумски радијаторе налазе своју путању и до аутомобилске индустрије.

1938. године Pontus Nytte, син познатог шведског сликара Carl Larssona, започиње производњу размењивача топлоте у Шведској и премешта погон и производњу у Лунд.

Исто тако, прва потреба и примитивна креација првог расхладног клима уређаја, датира још од 1840. године, лекар и проналазач доктор John Gorrie, са Флориде, први је предвидео идеју за хлађење великих градова, како би се становништво ублажило “злих температура”. Gorrie је веровао да је хлађење кључни фактор за сузбијање опасних заразних болести, попут маларије, а уједно би пацијентима у болесничким собама било знатно удобније за боравак. Основни систем за хлађење болесничких соба била је идеја која је захтевала да се лед из замрзлих језера и вода Северне Америке доведе до Флориде. Да би се импровизовали логистички изазови, Gorrie је започео експеримент са концептом вештачког хлађења. Дизајнирао је прву машину која је стварала лед уз помоћ компресора, и први патент је конструисан 1851. године. Gorrie је био неуспешан да патентира своју технологију на тржиште због смрти финансијског помагача. Његов изум је поставио темељ модерне климатизације и хлађења.

Идеја о вештачком хлађењу је стагнирала неколико година, све док није рад инжењера Willis Carrier резултирао креацијом првог модерног електричног клима уређаја. Преко серије експеримената, дизајнирао је коначно и систем који је

контролисао влажност ваздуха уз помоћ расхладних клемова, и обезбедио патент за свој “Апарат за третирање ваздуха”, који би могао да влажи ваздух помоћу грејане воде или уз помоћ расхладне воде. Тестирањем и додатним пречишћавањем своје технологије, осмислио је аутоматску контролу система за регулисање влажноти и у температуре ваздуха, а овај апарат је нашао примену у текстилној индустрији. Прошло је доста времена, пре него што је Carrier схватио да би контрола влаге и климатизација, користила и у другим индустријама и на крају је формирао компанију са још шест инжењера (Carrier Engineering Corporation).

1922. године уграђен је први добро дизајниран клима ситем за хлађење позоришта у Metropolitan Theatru, у Лос Анђелесу.

Од 1970. употреба клима уређаја је веома распрострањена широм света. Радило се на што бољем унапређењу рада, а уједно и смањењу трошкова.

Унапређења у будућности односе се на производе који неће у свом раду користити HFC (хидрофлуорокарбон), који је штетан по околину. Процењује се да технологије без компресије, могу смањити потрошњу енергије и до 50%.

3 Теоријске основе размењивача топлоте

Размењивачи топлоте су уређаји чија је улога размена топлоте између два или више флуида. Размена топлоте је могућа између два или више флуида, између чврсте површине и флуида, као и између чврстих честица и течноти, на различитим температурама. У размењивачу топлоте увек постоји топлија и хладнија зона. Топлији флуид је грејни флуид, а хладнији флуид је грејани флуид. И грејни и грејани флуид могу бити гасовити или течни. У размењивачима топлоте може да се обави процес провођења и прелаза топлоте. Топлотна размена међу флуидима може бити непосредна (директна) и посредна (индиректна).

Код непосредног контакта у размењивачима топлоте између два флуида нема препрека, они су у директном контакту. У неким случајевима их је лако раздвојити, а у неким пак се мешају у хомоген флуид. Пример су расхладне куле у термоелектранама у директном контакту са атмосферским ваздухом хлади се вода која је неопходна за хлађење кондезатора парне турбине. Кула је грађена као висока лимена шкољка до 100 метара висине, вода која се хлади одозго улази у кулу, а ваздух који је ту кроз кулу тече природним потиском. Главни недостатак у овим и сличним врстама расхладног торња је стална потреба за надокнадом хладне воде, због испаравања. Други пример је комора за хлађење ваздуха у климатизованим постројењима где се директним мешањем воде и ваздуха повећава његова релативна и апсолутна влажност. Предност директних у односу на индиректне је веома велика брзина преноса топлоте, знатно су јефтинији, проблем загађивања готово и да не постоји јер нема преградног зида међу флуидима.

Размењивачи топлоте са посредним контактном (индиректним) у пракси су знатно чешћи. Два флуида су раздвојена чврстом преградом којом размењују топлоту. Са једне стране преграде је један, а са друге стране преграде је други флуид. Грејна површина је од материјала са великим коефицијентом проводљивости топлоте (бакар,

алуминијум и њихове легуре). Понекад је и челик у комбинацији са алуминијумом, а понекад и делови могу бити од пластике где је то могуће, како би се штитили од корозије, која је једна од недостатака. Али и временом сви материјали подлегну оксидацији и таложењу честица и других депозита.

Уопштено говорећи, прелаз топлоте се односи на кретање течности са једног на други крај уређаја различите температуре. Најефикаснији размењивач топлоте је онај уређај који функционише у оквиру оптималних граница за притисак и граница за брзину. Број пролаза на примарном колу се може прилагодити како би се оптимизирали топлотни учинци и избегли евентуални недостаци.

Ефикасност размењивача топлоте се може дефинисати на више начина, али у смислу топлотне перформансе треба размотрити неколико фактора, а то су температурна разлика, проток и инсталација.

Температурна разлика је разлика између вруће течности и рахладног средства, ова разлика је веома важна приликом пројектовања размењивача топлоте. Расхладна течност мора бити на нижој температури него врућа течност. Самим тим ниже температуре расхладне течности узмеће више топлоте из вреле течности. Пример је чаша воде на собној температури, коју је лакше охладити уз помоћ леда, него само хладном водом. Исти принцип је и на нивоу функционисања размењивача топлоте. Мерењем протока и температура на улазу и излазу из размењивача топлоте, могуће је утврдити количину топлоте која се размени за топлији и хладнији флуид.

4 Појам и дефиниција

Размењивач топлоте је сложен уређај, који обезбеђује пренос топлотне енергије између два или више флуида на одређеној температури. Размењивачи топлоте, у суштини, представљају уређаје (апарате), који су намењени за размену топлоте између грејне и грејане радне средине. Према томе, у размењивачима топлоте се врши загревање једног флуида односно хлађење другог флуида или промена агрегатног стања флуида. Када говоримо о механизму преноса топлоте, постоје три типа преноса топлоте, а то су:

1. кондукција,
2. конвекција и
3. зрачење.

Провођење топлоте или кондукција је у суштини процес размене (преноса) топлоте енергије између елементарних честица. Кондукција је практично једини механизам преноса топлоте кроз чврста тела, док је знатно мање изражена код флуида. Механизам преноса топлоте провођењем се објашњава осциловањем атома и молекула (еластични таласи) у структури материјала, као и кретањем слободних електрона (метали). Делови материјала који имају вишу унутрашњу енергију (температуру) преносе наведеним механизмима топлотну енергију у делове са нижом температуром (унутрашњом енергијом). Како је дефинисање кондукције на нивоу атома и молекула веома сложено,

у техници се овом проблему приступа феноменолошки. Материја се посматра као непрекидна средина и квантитативно се описује резултат сумарних ефеката. Описани приступ проблему кондукције даје добре резултате у односу експериментално утврђене.[1]

За разлику од провођења топлоте које је, како је већ речено, микроскопска појава (кретање електрона, осциловање атома и молекула), конвекција представља макроскопску појаву где су носиоци топлотне енергије флуидни делићи који се крећу. Делићи флуида више температуре крећу се и мешају са делићима ниже температуре и на тај начин врше пренос топлоте. Како је конвекција везана за флуиде и њихово кретање, поред познавања температурног поља у средини, потребно је и познавање поља брзине. У суштини конвекција подразумева размену топлоте кретањем флуидних делића, али и уз истовремено провођење топлоте (кондукцију) између њих. Утицај кретања флуидних делића је од знатно већег значаја на конвекцију од увек присутних ефеката провођења топлоте кроз флуид.

За праксу је посебно значајан случај када се топлота размењује између флуида и чврсте површине и обратно. Ова појава се назива прелаз топлоте, а при том размењени топлотни флуks, q (W/m^2) се израчунава као:

$$q = h(T_z - T_f) , \quad (1)$$

где су, h (W/m^2K) коефицијент прелаза топлоте, T_z (K) температура зида и T_f (K) температура флуида. Иако једначина (1) изгледа веома једноставно, израчунавање коефицијента прелаза топлоте представља један од најкомпликованијих проблема теорије преноса топлоте. Величина h зависи од физичких особина флуида (топлотна проводљивост, густина, вискозност, специфична топлота,...), које су опет зависне од притиска и температуре, зависи од брзине и врсте струјања (ламинарно или турбулентно), као и од геометријских карактеристика струјног канала или површине.

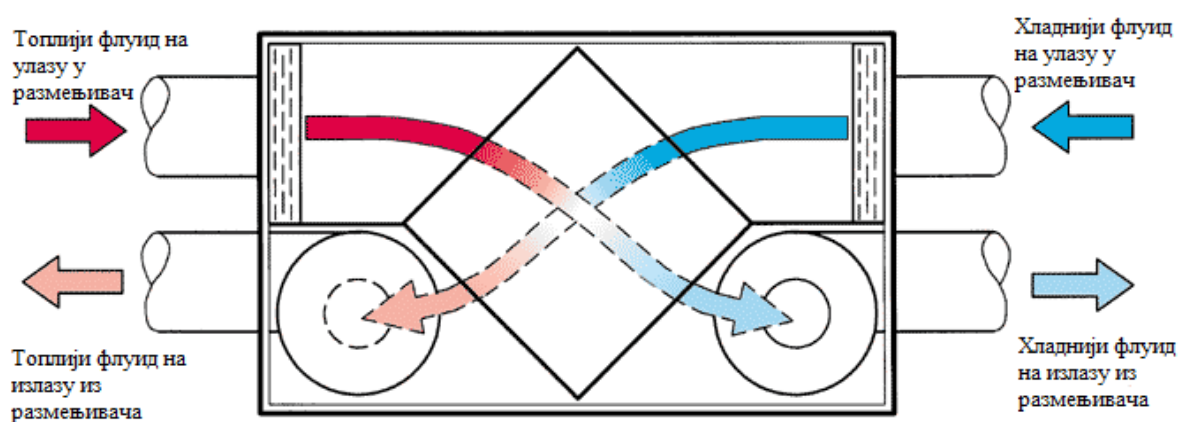
Електромагнетно зрачење чији је састав и интензитет зависан, поред природе материјала од њене температуре назива се температурно зрачење. Свако тело температуре више од 0 K зрачи температурно зрачење. Пренос топлоте зрачењем се за разлику од кондукције и конвекције одвија и кроз нематеријалну средину (вакум), а на тај начин нам долази сва енергија са Сунца. Електромагнетни таласи настају осцилацијама наелектрисаних честица, електрона и јона. Енергија зрачења има двојну природу: таласну и корпускуларну. Тело емитије и апсорбује енергију зрачења у дискретним износима, фотонима. Када електромагнетни таласи падну на тело, они најчешће делом бивају апсорбовани, при чему се енергија фотона трансформише у унутрашњу енергију тела. Посматрано тело део своје унутрашње енергије трансформише у енергију електромагнетних таласа и зрачи у окружење.

Температурно зрачење се практично одиграва при свим таласним дужинама, а у зависности од њиховог опсега, зрачење је подељено на врсте, као што су гама зрачење, х зрачење, ултравиолетно, видљиво, инфрацрвено, радио зрачење. Чврста тела и течности зраче непрекидни спектар зрачења (у датом опсегу), док гасови и паре (и специјално поједине чврсте површине) зраче селективно зрачење. Овакво зрачење карактеришу таласне дужине електромагнетних таласа у уском опсегу таласних

дужина. Уколико материја зрачи на једној таласној дужини ради се о монохроматском зрачењу.

За изучавану област преноса топлоте, најинтересантније је температурно зрачење у опсегу таласних дужина од 0,4 до 1000 μm (видљиво и инфрацрвено зрачење).[1]

Принцип рада једноставног размењивача топлоте приказан је на слици 1. Врућ флуид је приказан црвеном бојом, он путује унутар цеви од једне до друге, док хладнији флуид који је обележен плавом бојом путује у супротном смеру. Размена топлоте се дешава међу флуидима, тако што се топли флуид хлади, а хладан флуид загрева, док флуиди међусобом не долазе у контакт и не мешају се. Овом шемом је објашњен процес рада на једноставним цевастим размењивачима, док постоји веома велики број размењивача са доста цеви унутар њих.



Слика 1: Принципијски рад размењивача топлоте

Размењивачи топлоте се користе или као појединачни уређаји или као компоненте већих термичких система, у широком спектру индустријских, комерцијалних производа и апликација за домаћинство, на пример систем за хлађење, грејање, климатизацију, вентилацију, производњи лекова, као и о областима заштите животне средине.

Размењивач топлоте преноси топлоту из врућег у хладнији флуид. У многим инжењерским функцијама неопходно је повећати температуру у једној течности, а омогућити хлађење у другој. Ово двоструко економично дејство постиже се управо помоћу размењивача топлоте. Међу његовим функцијама је и хлађење једне фракције, на пример нафте, док се друга загрева, потом хлађење ваздуха или других гасова са водом између фаза компресије и прегревање ваздуха за сагоревање које је доведено у котловску пећ, користећи топлоту димног гаса као грејни медиум. Друга употреба укључује пренос топлоте из метала у воду атомске електране и враћање енергије из издувне гасне турбине преносом топлоте на компримовани ваздух до коморе за сагоревање.

Размењивачи топлоте имају различита имена и служе бројним наменама. Производе се у различитом дизајну и за различите протоке и намене. Најједноставнији је концентрична цев или двоцевни размењивач топлоте. Улазни и излазни канали су

обезбеђени за два флуида. Хладна течност тече кроз унутрашњост цеви а топла течност је у истом правцу кроз простор између спољашњих и унутрашњих цеви. Овакав вид протока се назива паралелни проток. Топлота се преноси из топле течности кроз зид унутрашње цеви тзв. грејне површине до хладне течности. Размењивач топлоте може радити и у односу на проток, где су паралелни токови али у супротним смеровима.

Најучесталији размењивач топлоте је у облику шкољке или цеви. Дизајниран је као сноп цеви кроз коју тече флуид. Ове цеви су међусобом заварене у шкољку, а други флуид тече у слободном простору између цеви. У нуклеарним реакторима шипке за гориво могу заменити цеви, а расхладна течност тече око шипки, уклања топлоту генерисану поступком физије. Размењивач топлоте је уређај који је дизајниран да ефикасно преноси или размени топлоту. Када се течност користи за пренос топлоте, течност може бити вода, уље.

Још један вид размењивача топлоте је хладњак аутомобила. Раствор воде и етилен гликола, антифриз, преноси топлоту од мотора до хладњака, а потом из хладњака у ваздух, који тече кроз њега. Овај процес помаже да се мотор не прегреје.

Размењивачи топлоте су дизајнирани тако, да, отклањају вишак топлоте из авионских мотора, рендген цеви, ласера, војне опреме и многе друге врсте опреме која захтева хлађење. У широким индустријским процесима губитак топлоте је расипан и неефикасан, размењивачи топлоте су створени за хватање и поновно коришћење топлоте која би била изгубљена у околини.

Генерално, функција омогућава врућем флуиду да протиче кроз зид, поред хладне течности, без мешања. Топлота тече од врућег до хладног флуида, греје хладан флуид и уједно хлади врућ флуид. То омогућава топлоти да се транспортује и поново користи, а не само да се одбаци. Два флуида ће пролазити један поред другог, у којима је један у цевима, а други излази из цеви у околину шкољке. Постоји много различитих размењивача топлоте, од којих су неки погоднији за једну намену, од других. Неки у самом дизајну имају уграђене преграде за одвајање, складиштење топлоте, док други омогућавају мешање топлоте.

Материјали од кога су направљени размењивачи топлоте су од врло квалитетних материјала, како би испунили све своје радне задатке. Челик у комбинацији са алуминијумом је најчешће употребљавана материја, као и нерђајући челик, титанијум, а понекад се направе и одређени делови од пластике, како би се додатно штитили од корозије. Временом, сви подлегну оксидацији и таложењу депозита. Стандардни размењивачи топлоте су погони за већину флуида, међутим за корозивне течности, хлорисану слану воду, расхладна средства и киселине, потребно је да се направе од чврстих материјала, попут челика и титанијума.

5 Примена размењивача топлоте

Данашњи савремен живот, не би био у могућности да функционише у било којој сфери, почевши од кућне технике, превозних средстава, индустријке производње без употребе размењивача топлоте. Широка употреба, савремен дизајн, неопходност данашњице дали су размењивачима топлоте посебно место међу уређајима. Постоји велики број размењивача топлоте, њихова подела на основу бројних карактеристика, примене, намене, дизајна дала је велику палету производа од којих је сваки нашао своју намену и улогу. Размењивач топлоту воде која одлази из каде може пренети на чисту воду која иде ка бојлеру на месту где се те две цеви додирну, или у вентилационом систему - топлоту ваздуха који напушта зграду преноси на свеж ваздух који у зграду улази, чиме смањује потрошњу енергије у зградама... Размењивачи топлоте имају широку примену, а она укључује и обухвата производњу електричне енергије, процесе у хемијској и фармацеутској индустрији, процесе у прехранбеној индустрији, електроници, авиоиндустрији, примена у еколошком инжењерству, улога у рециклажи, индустрији за грејање и хлађење хидрауличних уља, у термоелектранама, у котловима, нуклеарним генераторима, парним кондезаторима, регенераторима и расхладним кулама, улога је у пастеризацији млека и индустрији хране уопште, као и производња у разним другим фабрикама.

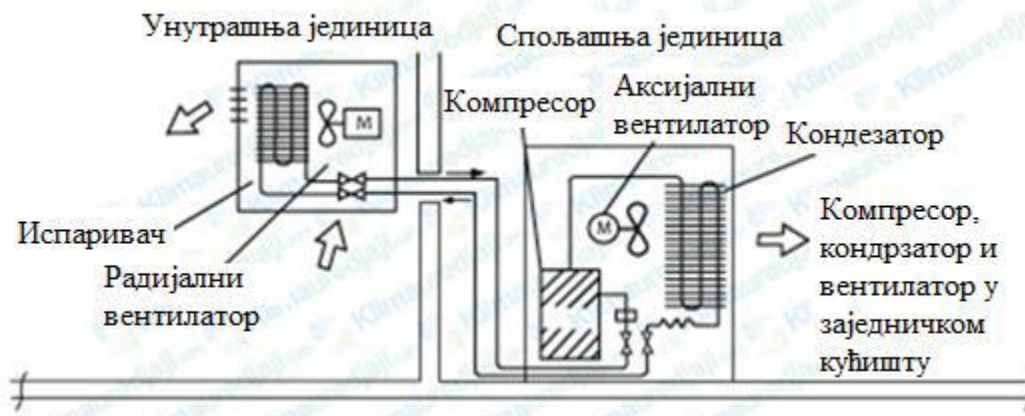
Поред велике примене у индустрији, живот свакодневни и примена у домаћинству је назамислива без употребе размењивача топлоте и то као систем даљинског грејања, расхладна техника, односно радијатори и клима уређаји.

Размењивачи топлоте често се користе у процесу производње нафте, транспорту, енергетици, климатизацији, процесима у алтернативном гориву, и у производној индустрији. Њихова примена је широка и чак кључна компонента многих индустријских производа, доступних на тржишту. Генерално гледано, размењиваче топлоте можемо видети на готово свим местима, у кућним системима најчешће су у склопу ситема за грејање и хлађење.

Течност која се користи за хлађење дизел мотора често пролази кроз размењивач топлоте, а топлота која се враћа користи за загревање хладног ваздуха. На тај начин се штеди на додатним електричним грејачима, који би загревали кабину превозног средства нпр, аутобуса. Примена у аутомобилима је још једна врста размењивача топлоте без ког превозно средство не би функционисало, наиме у току рада аутомобила, вода или антифриз, који хлади мотор протиче кроз хладњак који је грађен од доста алуминијумких плоча са отворима за ваздух, док аутомобил ради, хладни ваздух који пролази кроз хладњак уклања топлоту, хлади воду и одржава мотор ефикасним.

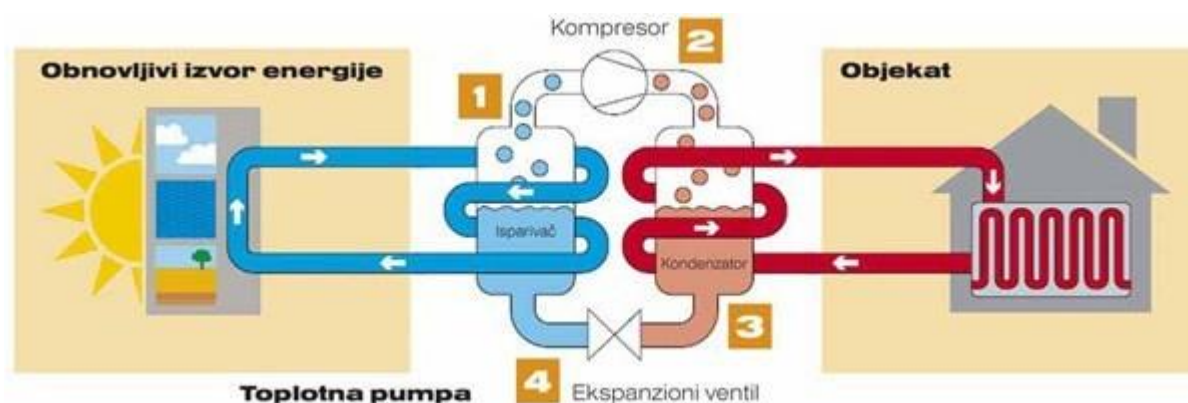
Размењивачи топлоте заузимају важно место и у системима вентилације. Вентилација зграда подразумева унос свежег ваздуха и избацивање искоришћеног ваздуха из објекта (слика 2). Међутим, избацивањем ваздуха из објекта избацује се и жељена температура - нижа лети, и виша зими. Зато се свеж ваздух увлачи у зграду преко размењивача који му преноси температуру ваздуха који избацујемо из објекта.

Наравно, овај пренос не може никада достићи 100% ефикасности, али уштеде енергије су веома значајне.



Слика 2: Рад клима уређаја заснован на кружном процесу радног флуида који кроз цев кружи у затвореном систему. При томе радни флуид мења агрегатно стање.

Топлотне пумпе (слика 3) такође раде са размењивачем топлоте. У топлотним пумпама размењивач ради по истом принципу по ком ради и онај у фрижидерима и замрзивачима - у хладњаку (размењивачу) сабија се гас за хлађење (фреон или слично) који при преласку из гасовитог у течно стање ослобађа топлоту из хладњака како би се у уређају постигла нижа температура, и обрнуто.



Слика 3: Принципи рада топлотне пумпе

У принципу свака топлотна пумпа делује као хладњак, само обрнуто. Енергија се са нижег температурног нивоа диже на виши који онда служи загревању просторија и добијању топле воде. Што је мања разлика у температури, делотворност система је боља. За расподелу топлоте у обзир долазе подно или зидно грејање које има ниску радну температуру од 30 до 40 °C. Најважнији предуслов за исплативо коришћење топлотне пумпе је одлично изолован објект код којег потребе за топлотом нису велике.

Функционално гледано, свака топлотна пумпа је иста, само се мењају спољашњи извори топлоте (ваздух, земља, вода). На први поглед, као јефтин извор топлоте чини се спољашњи ваздух, али он има и недостатак: код појачаних потреба за

топлотом током зиме, спољашња башта има врло ниску температуру. Зато се зими врло често морају користити електричне грејне сонде за добијање топле воде.[7]

Земни колектори одлично су решење за објекте који на располагању имају велике окућнице. Они се полажу хоризонтално у слој земље отпоран на смрзавање, а површина коју заузимају мора да буде најмање два пута већа од стамбене квадратуре коју ће загревати.

Да би топлотна пумпа била ефективна, треба испунити два врло важна предуслова: сам објект који се загрева мора бити оптимално изолован, а сам систем не сме да буде премалих или превеликих димензија. На тај начин ће се трошкови инвестиције који су директно повезани са топлотним капацитетом одржати под контролом.

Много мање места заузимају земне сонде које се вертикално утискују у дубље слојеве земље тако да имају на располагању константну температуру од отприлике 10 °C. За једну породичну кућу потребно је уградити до четири такве сонде у размаку од пет до шест метара и на дубини од 40 до 100 метара.

Треба још напоменути специјалне изворе топлоте који су исплативи само у појединачним случајевима, а то су вода река, језера и вода темељница.

6 Подела размењивача топлоте

Категоризација и подела размењивача топлоте се врши према конструкцији, врсти флуида, броју пролаза, смеровима токова, улазу и излазу флуида, употребљеним материјалима за израду итд..

Флуиди који се најчешће користе у размењивачима топлоте могу бити: криогени и расхладни флуиди, гасови, различите врсте уља, раствори, течни метали, вода и водена пара.

Размењивачи топлоте могу се поделити у две велике групе: према принципу дејства: површински и са мешањем и према намени. [15], [16]

Размењивачи топлоте се према намени могу поделити на: кондензаторе, испариваче, хладњаке и загрејаче, упариваче, кристализере, замрзиваче и размрзиваче.

Према начину рада размењивачи топлоте деле се на:

1. мешне
2. регенеративне
3. рекуперативне
4. са унутрашњим извором топлоте

Код мешних размењивача топлоте размена топлоте обавља се мешањем и то у директном контакту два или више флуида различитих температура.

Регенеративне размењиваче топлоте карактерише да се размена топлоте обавља преко чврстих површина које у различитим временским интервалима најпре акумулирају топлоту од топлијег флуида, а затим предају топлоту хладнијем флуиду. Упоредјујући смер топлотног протока код рекуперативних и регенеративних размењивача топлоте, може се закључити да је код рекуперативних размењивача топлоте у свакој тачки површине размене топлоте смер топлотног протока исти, док

код регенеративних размењивача се смер топлотног протока мења у разним периодима размене топлоте. [15], [16], [17]

Рекуперативне размењиваче топлоте карактерише да се размена топлоте обавља кроз чврсту преграду (зид), при чему се сам процес размене топлоте између два флуида изводи истовремено. Процес преноса топлоте састоји из два позната процеса и то конвекције са грејног флуида на зид и са зида на грејани флуид и једног процеса кондукције у зиду размењивача.

Код размењивача топлоте се прелаз топлоте са једног оперативног флуида на преграду обавља преко површине за размену топлоте која је познатог облика и димензија, тако да се овај тип рекуперативних и регенеративних размењивача топлоте назива површинским размењивачима топлоте. Размена топлоте између носилаца топлоте може да се одвија у непрекидном режиму, али и на принципу периодичног (прекидног) дејства. Рекуперативне размењиваче топлоте карактерише непрекидни режим, док регенеративне размењиваче топлоте карактерише како принцип непрекидног режима тако и принцип рада прекидног дејства.

Уколико се размена топлоте обавља између грејног тела више температуре и радног флуида у размењивачу топлоте, реч је о размењивачима топлоте са унутрашњим извором. Радни флуид апсорбовану топлоту износи тренутно или са кашњењем у околину. Грејна тела више температуре су на пр. електрични грејачи. Подела размењивача топлоте може се извршити и према типу температурског поља као и према начину преноса топлоте са једног на други радни флуид, при чему је ова подела извршена на основу функционлно техничких решења. [15], [16], [17]

Размењивачи топлоте према типу температурског поља могу бити: шаржни уређаји и проточни уређаји.

Шаржни уређаји су такви уређаји код којих један флуид мирује у резервоарском простору, а други флуид континуално струји кроз грејно тело размењивача, а комплетан процес се одвија у нестационарном температурском режиму.

Проточне уређаје карактерише да кроз њих континуално протичу радни флуиди при константним вредностима протока и улазних температуре, и за разлику од шаржних уређаја, раде у стационарном температурском режиму.

На основу начина струјања кроз уређај, проточни размењивачи топлоте, могу бити:

- размењивачи са истосмерним (паралелним) струјањем радних флуида,
- размењивачи са супротносмерним струјањем радних флуида,
- размењивачи са унакрсним струјањем флуида у једном пролазу,
- размењивачи са унакрсним струјањем радних флуида у више пролаза.

Класификација размењивача топлоте према њиховом температурском радном режиму је извршена на следећи начин:

- високотемпературски размењивачи, који се употребљавају при процесима сагоревања са радним опсегом од 400 °C до 2000 °C,
- средњетемпературски размењивачи, који се употребљавају у процесима загревања, кондензације и испаравања са радним опсегом од 150 °C до 400 °C,
- нискотемпературски размењивачи, који се употребљавају у процесима загревања, хлађења, кондензације, испаравања, упаравања и топљења, као и при

процесима, који се одвијају у системима грејања, хлађења и климатизације са радним опсегом од $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $150\text{ }^{\circ}\text{C}$,

- криогени размењивачи, чине групу размењивача топлоте у којима се процеси одвијају на температурама нижим од $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Размењивачи топлоте имају широку примену у различитим гранама технике тако да без обзира на принцип дејства могу имати и специфичне називе, који су одређени како њиховом технолошком наменом тако и конструктивним особеностима. Са становишта термотехнике сви размењивачи топлоте имају исту намену, а то је да преносу топлоту са једног носиоца топлоте на други.

Ход размењивача топлоте представља пут који пређу носиоци топлоте до промене смера струјања. Према броју ходова размењивачи топлоте се могу поделити на једноходне, двоходне, итд. Ако се размена топлоте обавља између више струја, размењивач топлоте се назива вишеструјним, а ако се размена топлоте обавља између два носиоца топлоте ради се о двострујним размењивачима топлоте.[15], [16], [18]

Поделу размењивача топлоте на основу начина преноса топлоте карактерише начин на који се процес преноса топлоте обавља. Најчешће је у питању процес прелаза топлоте конвекцијом. Према овом критеријуму, подела је извршена на следећи начин:

- размењиваче са конвекцијом са обе стране површине за размену топлоте,
- размењиваче са конвекцијом са једне, а испаравањем или кондензацијом са друге стране површине размене топлоте,
- размењиваче са испаравањем или кондензовањем са обе стране. [15], [16], [18], [19].

6.1 Индиректни размењивачи топлоте

У размењивачима топлоте са посредним (индиректним) контактном флуида, који су у пракси знатно чешћи, два флуида су раздвојена чврстом преградом преко које размењују топлоту (пролаз топлоте). Индиректни размењивачи топлоте се могу поделити на:

- регенератори,
- рекуператори и
- размењиваче са флуидизованим слојем.

6.1.1 Регенератори

Код регенератора флуиди су раздвојени, али они не струје истовремено кроз уређај. Флуиди се наизменично пропуштају кроз масу размењивача који акумулира топлотну енергију и у следећем кораку предаје је другом флуиду. По конструкцији регенератори могу бити ротациони (на пример предгрејач ваздуха у котловима, ЛУВО пакет) или непокретни.

У регенераторима проточни пут се састоји од матрице, која се загрева када врела течност пролази тзв. “врућ удар.” Ова топлота се потом пушта у хладну течност када протиче кроз матрицу “хладан удар”. Добар преглед о регенераторима даје Валкер

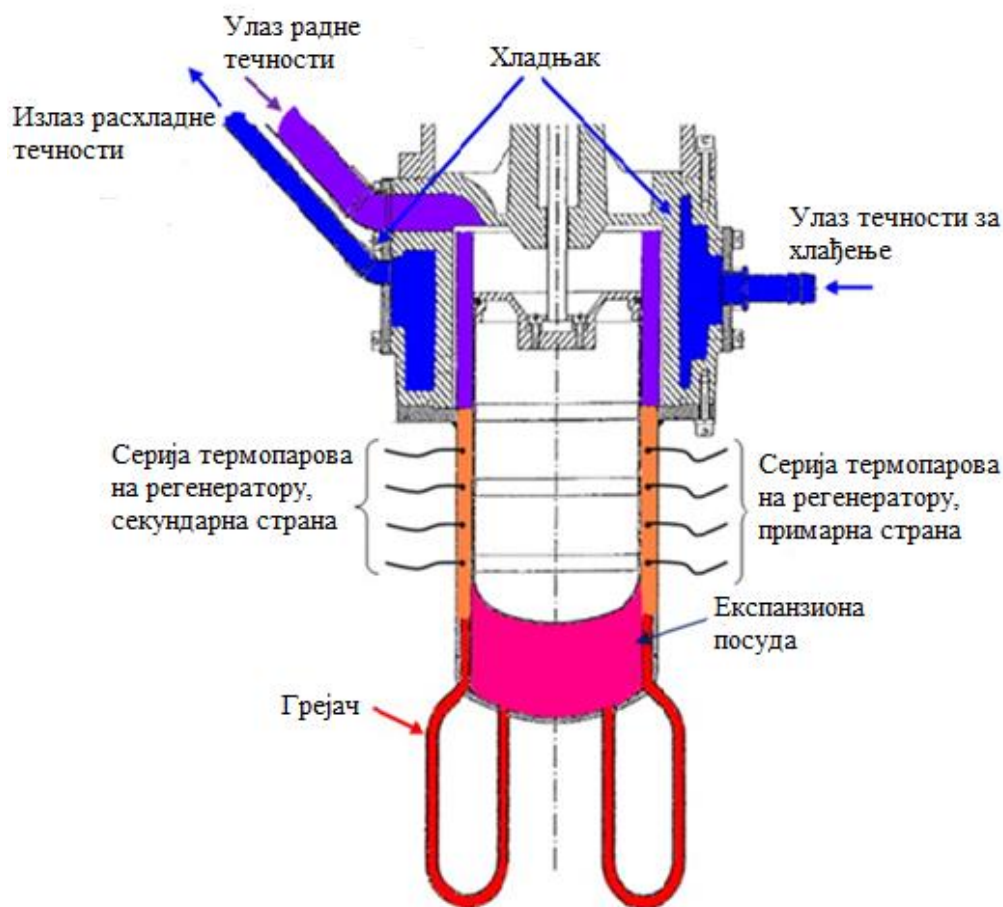
1982. Регенератори се углавном користе за проток гаса у електранама и другим индустријским постројењима. Два главна типа регенератора су статички и динамички. Оба типа, доводе до унакрсне контаминације, па се мора пажљиво надгледати њихова примена и употреба.

Употреба регенератора ће се вероватно повећати у будућности, јер се ради на побољшавању енергетске ефикасности и што бољем искоришћавању веће количине топлоте. Обзиром да се регенеративни размењивачи топлоте користе за специфичне апликације, чешћа је употреба рекупертора.

Статични регенератори су фиксног споја, немају покретне делове, сем вентила. Врућ гас пролази кроз матрицу у фиксним временским интервалима. На крају се догоди преокрет тако што врућ гас излази из матрице а хладни пролази кроз матрицу. Главни недостатак је што се и врући и хладни токови прекидају. Да би се ово превазишло и да би имали непрекидан рад, неопходно је да поседују два статичка регенератора или ротацијски регенератор.

Ротацијски регенератор је цилиндрично обликован који се ротира око своје осе. Врућ и хладни гас протичу истовремено кроз канал са обе стране ротирајућег цилиндра.

Повратком у историју, регенератори су имали улогу у грејању током развоја индустријске револуције. Потом су имали примену у високим пећима, па у производњи стакла.



Слика 4: Једна од конструкција регенератора у Стирлинговом мотору

На слици 4 је приказан изглед једне од конструкција регенератора у Стирлинговом мотору. У Стирлинговом мотору, регенератор је унутрашњи размењивач топлоте и привремено спремиште топлотне енергије смештен између хладног и врућег простора мотора. Кроз њега протиче радни гас прво у једном па у другом смеру. Његова функција је да задржи топлоту која би иначе била изгубљена у околину и с тиме се омогућава да се термална ефикасност мотора приближи највећој ефикасности могућој за Карноов циклус.

Примарни ефект регенерације топлоте у Стирлинговом мотору је велико повећање термичке ефикасности са поновним кориштењем (рециклажом) унутрашње топлоте која би иначе била неповратно изгубљена. Уз то, повећана ефикасност даје већу снагу за исту величину мотора и размењивача топлоте.

Регенератор ради као нека врста термичког кондензатора. Идеално, има што виши термални капацитет, што нижу термалну кондуктивност у смеру проласка гаса, и што већу у смеру окомитом на пролазак гаса. Уз то има минималну запремину, и пружа минимално трење за пролаз гаса. Што се ближе прилази овом идеалу, повећава се ефикасност мотора

Циљ дизајна регенератора треба да буде да омогући довољан топлотни капацитет и капацитет преноса топлоте, а у исто време да смањи што је више могуће унутрашњу запремину и отпор току гаса. Ови конфликтни захтеви су једни од фактора који утичу на границу степена искоришћења практичног Стирлинговог мотора. Типични дизајн користи слојеве fine металне мрежице са ниском порозношћу да смањи запремину. Осе мрежице су окомите на смер тока гаса да се смањи проводност у том смеру и да се повећа пренос топлоте конвекцијом.

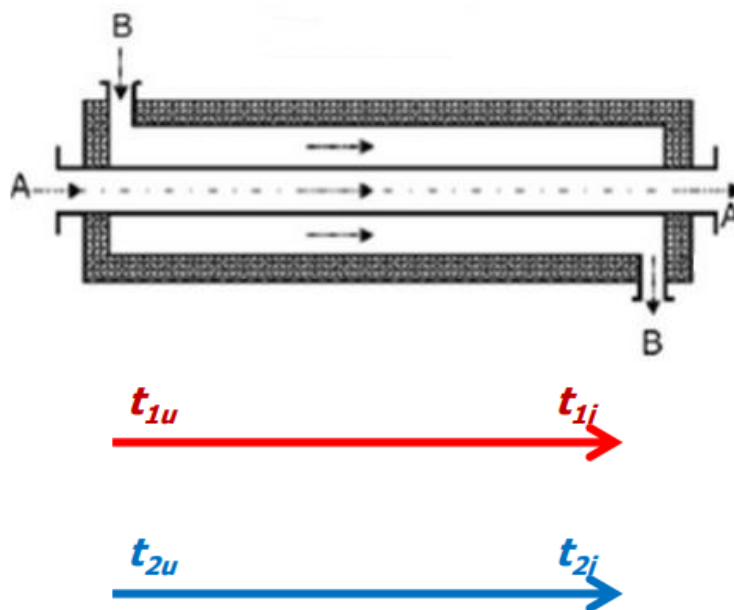
6.1.2 Рекуператори

Код рекуператора флуиди су раздвојени преградом и струје истовремено. Постоји јако велики број конструкција рекуператора. Неке оновне групе су размењивачи топлоте са цевним снопом и омотачем, плочасти и размењивачи топлоте са оребреним површинама. Могућ је јако велики број конструктивних решења рекуператора, тако да не могу бити сврстани само у једну од наведених категорија. Рекуператори су далеко најбројнија група размењивача топлоте.

Правац и смер струјања флуида су један од критеријума по којима се размењивачи топлоте деле. Само промена смера струјања флуида, уз све друге непроменљиве услове размене топлоте, може значајно променити ефикасност размењивача. Основни смерови струјања флуида су истосмерни, супротносмерни и унакрсни.

Истосмерни и супротносмерни ток флуида се најлакше сагледавају у једноставном рекуперативном размењивачу топлоте састављеном од две цеви, смештених једна у другу. Кроз ужу цев струји топлији флуид, а кроз прстенасти попречни пресек шире цеви струји хладнији флуид. Топлији флуид, је онај који предаје топлоту у размењивачу је обележен индексом 1, а хладнији флуид индексом 2. Следећи индекс означава да ли се ради о улазном (u), или излазним (I) параметрима посматраног флуида.

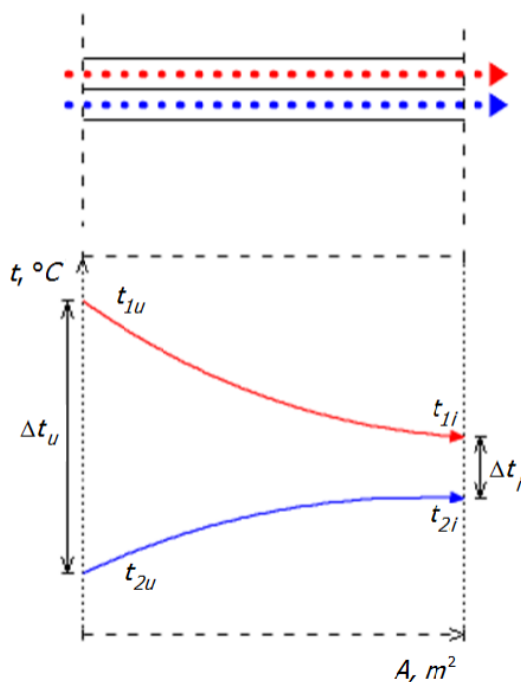
На слици 5 је приказан ток флуида једносмерног (истосмерног) размењивача топлоте).



Слика 5: Једносмерни (истосмерни) размењивач топлоте

t_{1u} - температура топлијег флуида на улазу у размењивач топлоте,
 t_{1i} - температура топлијег флуида на излазу из размењивача топлоте,
 t_{2u} - температура хладнијег флуида на улазу у размењивач топлоте,
 t_{2i} - температура хладнијег флуида на излазу из размењивача топлоте.

У истосмерном размењивачу топлоте, температура хладнијег медијума на излазу t_{2i} нижа је температуре топлијег медијума на улазу t_{1u} и температуре топлијег медијума на излазу из размењивача топлоте t_{1i} , што се може видети на дијаграму 1.



Дијаграм 1: Расподела температуре код истомерног размењивача топлоте

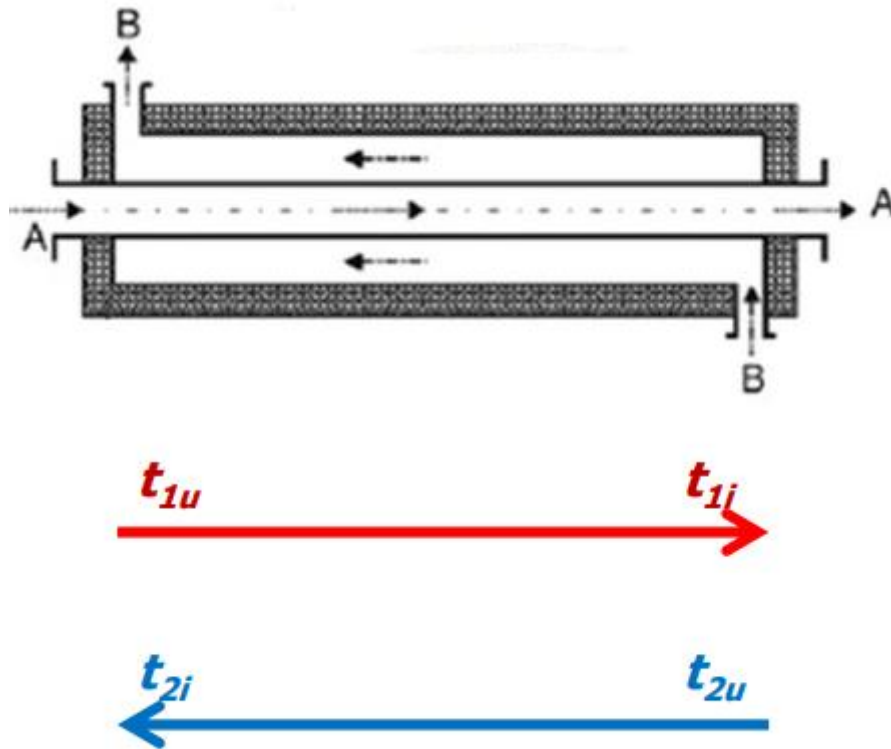
$$t_{2i} < t_{1i} < t_{1u} \quad (2)$$

$$t_{2i} > t_{2u} \quad (3)$$

$$\Delta t_u = t_{1u} - t_{2u} \quad (4)$$

$$\Delta t_i = t_{1i} - t_{2i} \quad (5)$$

Супротносмерни ток флуида је онај када два флуида, при размени топлоте у размењивачу струје паралелно али у супротним смеровима (слика 6).



Слика 6: Супротносмерни размењивач топлоте

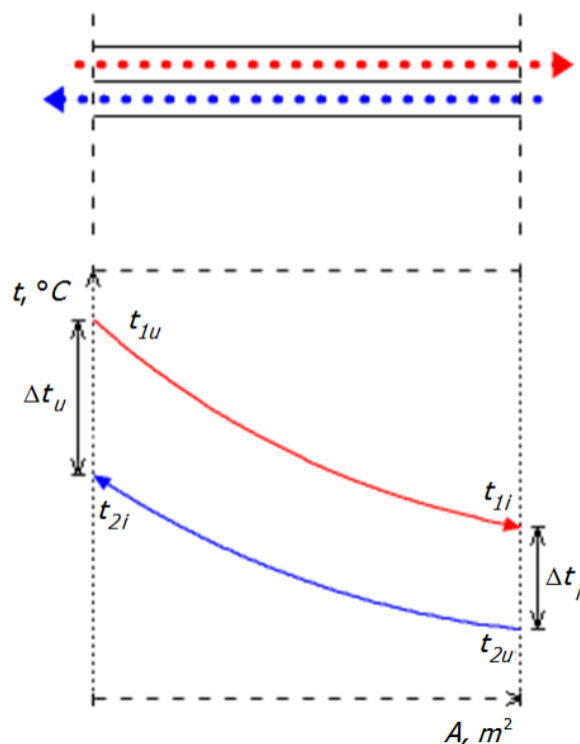
t_{1u} - температура топлијег флуида на улазу у размењивач топлоте,

t_{1i} - температура топлијег флуида на излазу из размењивача топлоте,

t_{2u} - температура хладнијег флуида на улазу у размењивач топлоте,

t_{2i} - температура хладнијег флуида на излазу из размењивача топлоте.

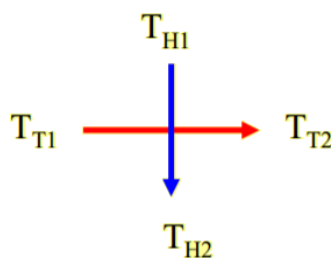
У супротносмерном размењивачу топлоте температура хладнијег медијума на излазу t_{2i} може бити већа од температуре топлијег медијума на излазу t_{1i} због чега се супротносмерно струјање више користи (дијаграм 2).



Дијаграм 2: Расподела температуре код супротносмерног размењивача топлоте

$$t_{2i} > t_{1i} \quad (6)$$

Унакрсни ток флуида (слика 7) је онај када два флуида у размењивачу топлоте струје под углом већим од 0° , најћешће 90° . Улаз у размењивач топлоте је увек дефинисан местом где у њега улази топљији флуид, а излаз тамо где излази топлији флуид.

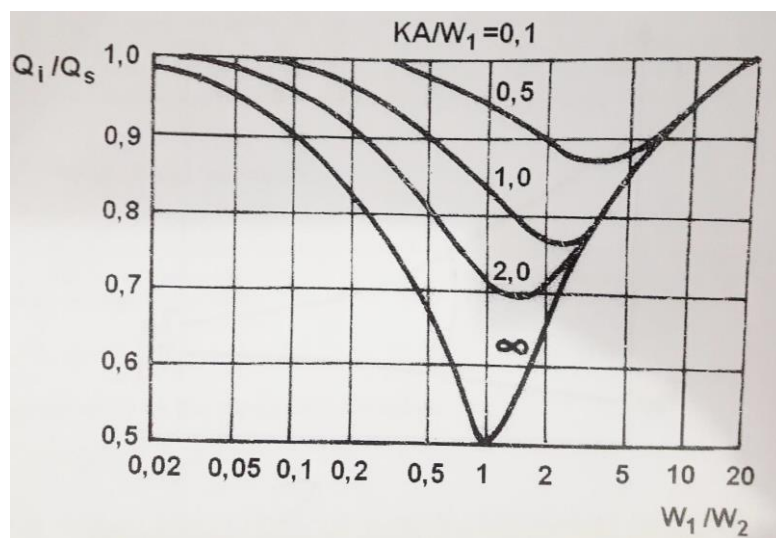


Слика 7: Унакрсни ток флуида

6.1.3 Поређење истосмерних и супротносмерних размењивача топлоте

На основу поређења (дијаграм 3), испитивања су показала да су супротносмерни размењивачи топлоте, при истим условима функционисања ефикаснији од истосмерних. Разлог, како је већ речено, лежи у равномернијој разлици температура топлији-хладнији флуид дуж површине, код супротносмерних размењивача топлоте. Само у специјалним случајевима истосмерни размењивачи достижу ефекте размене

супротносмерних. За мале вредности коефицијента пролаза топлоте и површине размењивача (KA), у односу на топлотни капацитет топлијег флуида (W_1), размењене топлотне снаге (флуксеви) супротносмерног и истосмерног размењивача топлоте су практично једнаки ($KA/W_1 < 0.1$). То важи и за случајеве када је топлотни капацитет (водени еквивалент) једног флуида знатно већи од другог ($W_1 > W_2$ или $W_1 < W_2$). Међутим, када су топлотни капацитети флуида слични и када размењивач топлоте има велику површину и потенцијал (K) да размењује топлоту, супротносмерни размењивач топлоте показује знатне предности у односу на истосмерни. Истосмерни размењивач топлоте ће размењивати 50 % мање топлотне снаге у случају једнакости водених еквивалената ($W_1=W_2$) и виоких вредности израза KA/W_1 . Величина топлотног капацитета флуида се директно одражава на његов пад температуре дуж размењивача. За веома велике топлотне капацитете, промена температуре је минимална. Случај кондензације топлијег флуида, кога хлади флуид без промене фазе је случај $W_1 > W_2$. Случај кључања хладнијег флуида, кога греје флуид без промене фазе је случај $W_1 < W_2$. У овим случајевима супротносмерни размењивач топлоте нема предност у односу на истосмерни. Другим речима, што се тиче размењене топлоте, није битан смер флуида који кључа или се кондензује. [1]



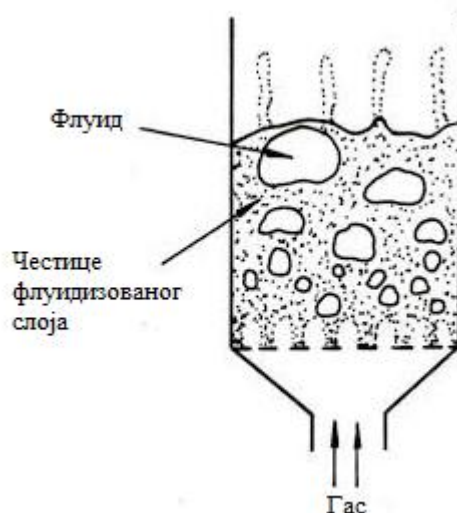
Дијаграм 3: Поређење истосмерних и суротносмерних размењивача топлоте, при различитим условима функционисања

6.1.4 Размењивачи топлоте са флуидизованим слојем

Размењивачи топлоте са флуидизованим слојем су специфични размењивачи где се у процес размене топлоте између два раздвојена флуида, који струје истовремено, уводи и уситњена маса чврстог материјала, који ствара, такозвану флуидизовану средину и повећава коефицијент прелаза топлоте. Данас се користе у многим технолошким процесима, хемијским и физичким, на пример карбонизација и гасификација уља, печење руде, производња полиетилена, произвођа алуминијум анхидрида, гранулација, производња винил хлорида, сагоревање отпада, припрема нуклеарног горива, сагоревање чврстог и течног горива, сушење, адсорпција, хлађење,

грејање, замрзавање, транспортовање, складиштење и термичку обраду различитих материјала у чврстом стању.[3]

Материјали за флуидизовани слој су углавном мешавина различитих чврстих честица (слика 8). Честице могу потицати од природних или технолошких процеса. Геоматријска, физичка, аеродинамичка својства честица утичу на почетак флуидизације. Најважније карактеристике честица су: густина, порозност, облик и брзина кретања честица.



Слика 8: Размењивач топлоте са флуидизованим слојем

6.2 Директни размењивачи топлоте

У размењивачима топлоте са непосредним контактом флуида, између два флуида нема препрека, већ су они у директном контакту. У неким случајевима их је лако раздвојити, а у неким случајевима они се мешају у један хомогени флуид. Пример за први случај су расхладне куле у термоелектранама, где се у директном контакту са атмосферским ваздухом хлади вода потребна за хлађење кондезатора парне турбине. Други случај би била комора за влажење ваздуха у климатизационом постројењу, где се директни мешањем воде и ваздуха повећава његова релативна и апсолутна влажност. Директни размењивачи топлоте се користе више од сто година у пракси. Почетак индустријске револуције има велике везе са употребом директних размењивача топлоте од стране James Watt-a, у стварању потребног вакуума за парне машине. Поред употребе као расхладне куле, имају још и као грејачи воде у термоелектранама, кондезатори у нафтној индустрији, у постројењима за сепарацију гаса, процеима сушења итд.

У поређењу са индиректним размењивачима топлоте директни имају добар пренос топлоте, конструкција им је релативно јефтина, проблем замагљивања не постоји, због непостојања преградног зида између флуида.

7 Савремене концепције рекуператорских размењивача топлоте

Савремене концепције рекуператорских размењивача топлоте можемо поделити у пет основних група, и то:

1. Ваздушни размењивачи топлоте,
2. Размењивачи топлоте цев и омотач,
3. Плочасти размењивачи топлоте,
4. Размењивачи топлоте за специјалне намене и
5. Размењивачи топлоте са мешалицом.

7.1 Ваздушни размењивачи топлоте

Како ваздух поседује веома лоше физичке карактеристике са аспекта размене топлоте (мала густина, специфична топлота, ниска топлотна проводљивост) у случајевима када је један од флуида у размењивачу топлоте ваздух (или евентуално други гас без промене фазе током размене), прибегава се оребрењима цеви и коришћењем вентилатора (осим код радијатора). На слици 9 приказан је изглед ваздушног размењивача топлоте.[4]



Слика 9: Ваздушни размењивач топлоте

Обично су у употреби бакарне цеви у комбинацији са бакарним или чешће алуминијумским ребрима (размак ребара 2-5 mm).

Када се ваздушни размењивач користи за кондензацију (хлађење) расхладног флуида у цевима, ради се о ваздушном кондензатору.

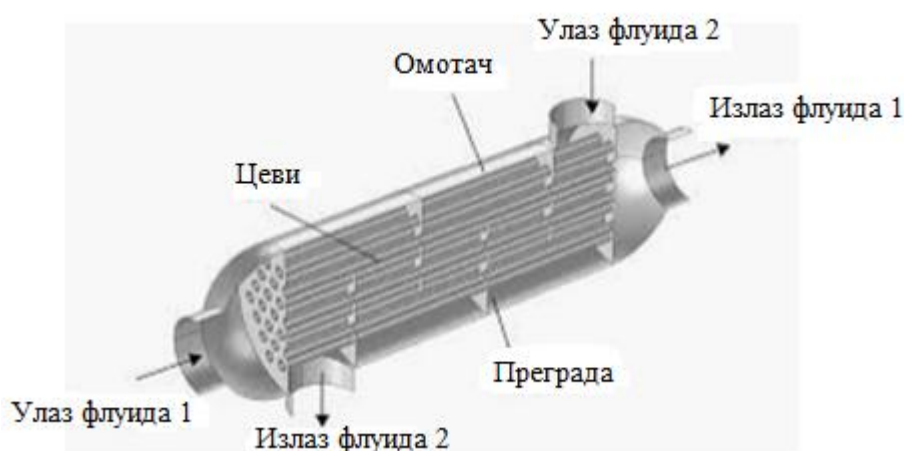
Када се ваздух хлади у размењивачу коришћењем расхладне течности без промене фазе (вода на пример), ради се о хладњацима са течношћу. Како не постоји гасовита фаза у цевима, код ових размењивача оне су нешто мањих димензија.

Када ваздух хлади у размењивачу коришћењем расхладног флуида који испарава, ради се о испаривачима.

7.2 Размењиваче топлоте цев и омотач

Практично најстарија конструкција рекуперативног размењивача топлоте. И даље имају широку примену због своје једноставне конструкције, али постоје ефикаснији размењивачи.

Код овакве конструкције се сноп цеви смешта у већу (омотач), чиме се остварује размена топлоте између флуида који струји у цевима и око цевима. Постоје различите конструкције овог концепта размењивача топлоте (са правим, U-савијеним, спиралним цевима, са једним или више пролаза, са два или више флуида који учествују у размени топлоте). Могу се користити и за запрљане флуиде. На слици 10 је приказан изглед размењивача сноп цеви у омотачу.



Слика 10: Размењивач топлоте сноп цеви у омотачу

Уколико се цев смести у цев већег пречника добија се конструкција цев у цевима, која такође има више техничких решења (комбинација две, три или више цеви једне у другој). Често се користе у условима вискозних флуида (прехранбена индустрија).

7.3 Плочасти размењивачи топлоте

Са аспекта односа размењене количине топлоте и активне површине размене, најефикаснија конструкција рекуперативног размењивача топлоте јесу плочасти размењивачи топлоте.

Грејна површина је састављена од више лимених плоча, које су поређане једне иза других. Између плоча постоје танки зазори за струјање флуида. Величина грејне површине одређује колико ће се плоча користити за топлотну размену. Међусобно су причвршћени заједно, лемљени, варени како би им се побољшала конструкција и улога. Плоче су међусобно спојене у фиксном раму који представља главу. Флуиди улазе у плочаст размењивач топлоте кроз отворе на оквиру и дистрибуирају се између плоча. Простор између две узастопне плоче функционише као пролаз за флуиде. Улаз флуида кроз алтернативне путеве је контролисан постављањем заптивача на плочама.

Велики број контакта међу флуидима који мењају проток узрокује високу турбуленцију између плоча.

Плочаст размењивач топлоте је најфункционалнија врста размењивача топлоте са малом ценом, флексибилношћу, лако одржавање, и високим преносом топлоте. Дизајнирани су да достижу висок ниво турбуленције, што резултира највећи могући пренос топлоте и топлотни коефицијент уз најмањи могући пад притиска, а уз одоварајуће температуре. Познати су још као, плоча-рам размењивач топлоте. Број плоча одређује више параметара (проток, брзина, физичко стање флуида, пад притиска и температуре).

Историјат плочатих размењивача топлоте почиње почетком 20-ог века. Оригинална идеја за плочастим размењивачима топлоте, и први успешно дизајниран појављује се још 1923. године од стране доктора Richarda Seligman-a. Основни дизајн остаје непромењен, али се знатно побољшавају друге карактеристике и ради на усавршавању дизајна, радог притика и других особина, а у циљу што боље искоришћености и примене.

Значајно место у примени плочасти размењивачи топлоте налазе у хемијској индустрији, петрохемијској, машинској, текстилној, фармацеутској, термотехничкој, нуклеарним постројењима.

Шездесетих година, плочасти размењивачи почињу примену у производњи потрошне топле воде, а потом за грејање воде у инсталацијама грејања стамбених објеката. У последње три деценије, масовна примена у системима даљинског грејања и индустријској производњи. Шира примена на просторима Југославије је започета тек око 1990-их година.

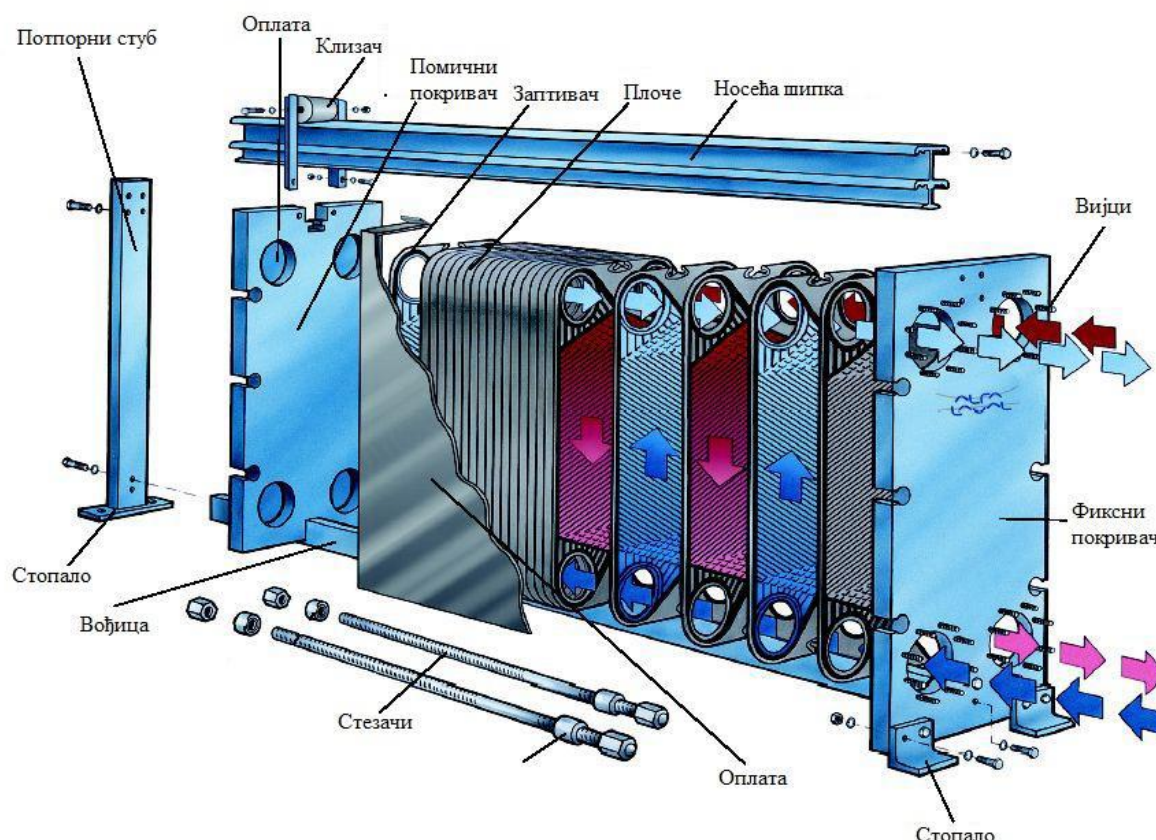
Плочасти размењивачи топлоте су направљени од различитих материјала, на пример плоче од нерђајућег челика, титанијума, никла... Плоче су дебљине од 0.5-1.2 mm са великом ефикасношћу преноса топлоте, стварање турбулентног протока међу плочама, а површина за пренос топлоте је од 0.03 – 3.5 m². До 700 плоча се може уградити у оквиру највећег размењивача, који пружа површину око 2400 m². Прикључци за протоке су димензионисани пропорционално површини плоче и контролишу максималан проток течности. [2]

Плочасти размењивачи топлоте се израђују од равних или профилисаних плоча, између којих се формира међупростор за струјање флуида. Плоче могу бити демонтажне или међусобом заварене образујући нерасклопиве или полурасклопиве апарате. Расклопиви су за велики дијапазон температуре од -3 до 180 степени и притисак до 25 бара, а нерасклопиви за температуре од -150 до 400 степени, и притисак 40 бар.

Једна од најважнијих особина размењивача топлоте поред њихове ефикасности јесте и компактност, односно повољан однос активне површине према запремини. За размењиваче топлоте без промене фазе, компактним размењивачем топлоте се сматрају они чији је однос површине и запремине већи од 700 m²/m³. Пример компактног размењивача је хладњак аутомобила (1000 m²/m³). Размењивачи топлоте овог типа се одликују великом компактношћу (обично 600-2200 m²/m³) а максимално до 4500 m²/m³, могућношћу стварања супротносмерног, истомерног или унакрсног тока, па чак

и за више од два радна флуида у једном апарату. Људска плућа имају компактност око $17500 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Користе се као грејачи, кондезатори, испаривачи.

Компактни се изграђују од алуминијума (распон температуре разних флуида је од -268 степени до 260 степени, за притиске од 6 бара). Размењивачи направљени од челика могу да издрже притиак до 30 бара (неке конструкције и 80 бара), а максималне радне температуре износе око 650 степени. Основни елемент конструкције компактног размењивача топлоте се састоји од две разделне равне плоче, између којих се поставља профилисано ребро. Већи број ових елемената спојених у компактну целину, представља размењивач топлоте. Облик ребара се одабира за сваки радни флуид, а понекад може бити и изостављено ребро, уколико то захтева задатак.



Слика 11: Плочасти размењивач топлоте са заптивкама

На слици 11 је приказан изглед плочастог размењивача топлоте са заптивкама. Плоче су постављене између предње и задње завршне плоче, стегнуте помоћу навојних шипки. Између профилисаних плоча налазе се заптивке које служе да задрже и усмере радни флуид између унутрашњих плоча. Заптивке су направљене од ЕПДМ (етилен-пропилен-термодимер - каучук), чија је максимална радна температура од 150 степени. Понекад је заптивка и од НБР (нитрил), када је радни флуид бензин или уље, максимална радна температура је 110 степена.

Најчешћа је примена за санитарну топлу воду, за раздвајање термичких кола, систем централног грејања, за поновно искоришћавање топлоте за индустријске процесе, за хлађење или грејање прехранбених супстанци (млеко, пиво, вино), за хлађење индустријских погона, за загревање воде за купање у базенима, саунама.

Постоји велики број подгрупа растављивих размењивача топлоте за заптивкама, прилагођених специфичним наменама.

Класични широке примене, због веома уских проточних пресека (дебљине 3-5 mm), генерално захтевају рад са чистим флуидима. Широко подручје примене.

Конструкција плочастог размењивача топлоте се успешно примењује и код испаривача и кондензатора (увек већи проточни пресеци гасовите фазе).

Са дуплим зидом се примењују тамо где треба искључити и најмању могућност мешања два радна флуида (рецимо стварање експлозивне смеше).

Са графитним плочама се примењују у области екстремно високих температура.

Размењивачи високих хигијенских захтева су израђени од високо-отпорних и квалитетних материјала (метала).

Размењивачи широког проточног пресека се примењују за рад са запрљаним или вискозним флуидима.

Поред растављивих, плочасте размењиваче топлоте можемо поделити и на лемљене, плочасто-добошасте, спиралне, ламералне.

7.3.1 Лемљени плочасти размењивачи топлоте

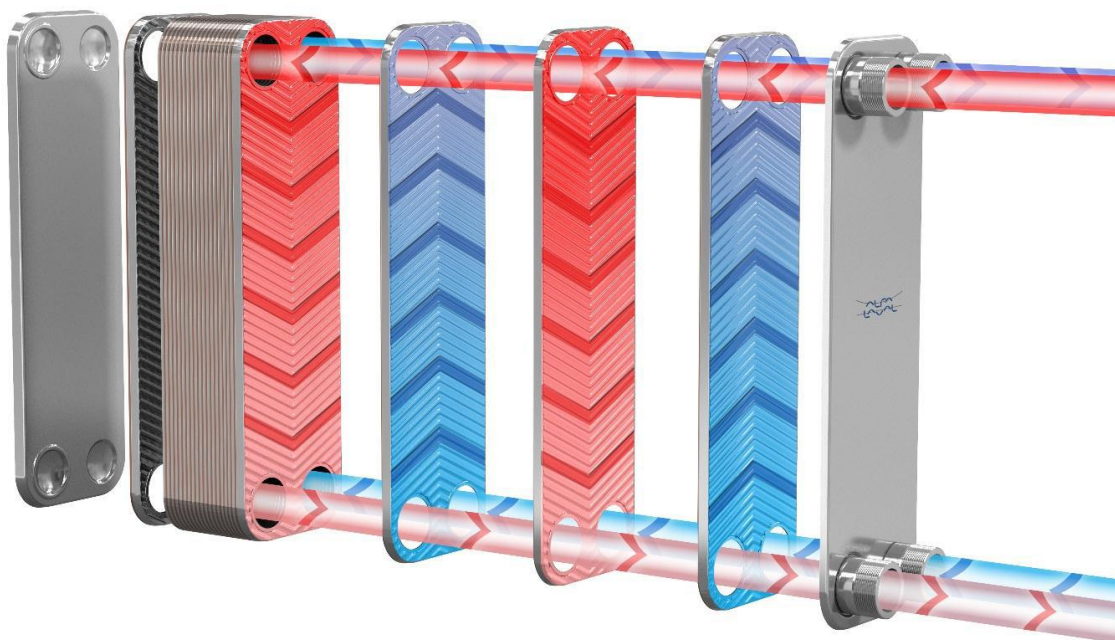
Налазе широку примену и индустрији (хлађење хидрауличких уља у машинама, рекуперација топлоте у разним процесима, пастеризација разних течности у прехранбеној индустрији), у грејној техници (у ситемима даљинког грејања, централна примена топле воде, топлотне пумпе), расхладна техника (кондезатори, испаривачи, економијери, топлотне пумпе).

Лемљени размењивачи топлоте се састоје од одређеног броја профилисаних металних плоча са отворима кроз који пролазе два медијума (флуида), између којих се врши размена топлоте. Суседне плоче су међусобно заокренуте на 180 степени и на тај начин се формира површина за размену топлоте. Пошто се плоче споје вакумским лепљењем, на овај начин се формира компактна структура која је у стању да издржи знатне радне притиске (до 40 бара) и представља врло ефикасан систем за размену топлоте. Профилисање плоча је тако уређено да после лемљења обезбеди апсолутно заптивање, тако да не постоји могућност да дође до мешања радних флуида. Профилисаност плоча такође потпомаже и стварање турбулентног струјања који помаже у што ефикаснијем преносу топлоте. [6]

Предност лемљених размењивача топлоте се огледа у малим температурним разликама између две стране (омогућава већу укупну ефикасност целог система), високи радни притисци (до 40 бара), отпорност замрзавању, компактност, економичност (ниска цена, брза и лака инсталација, лако одржавање, висока ефикасност). [6]

У случају да дође до нагомилавања нечистоћа, каменца, чишћење се врши испирањем слабиим растворима киселине у супротном смеру од смера струјања флуида. Најчешће се користи 5% раствор фосфорне киселине (H_3PO_4) и 5% раствор окслане киселине ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), а након тога добро испирање чистом водом. Лако одржавање и доступност чишћењу сматра се једном од већих предности плочастих размењивача топлоте у односу на друге врсте.

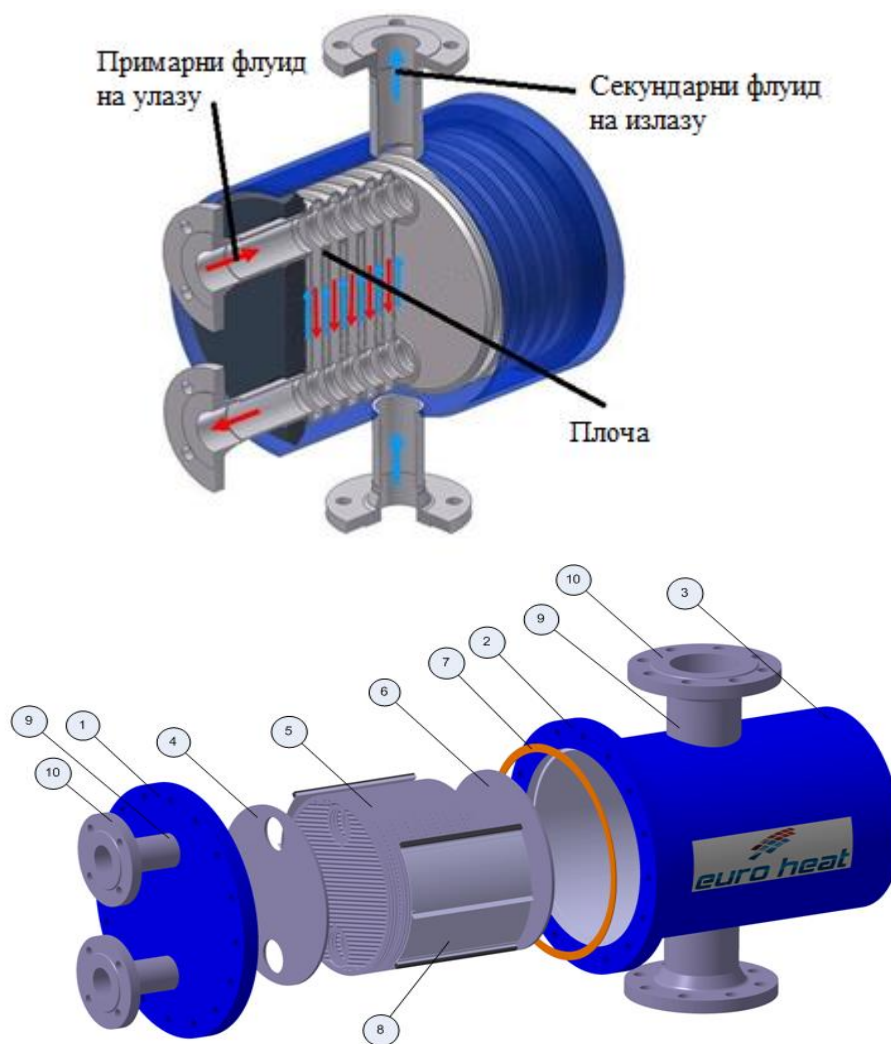
Канали се формирају између плоча, два флуида (слика 12) теку у супротносмерном правцу. Да би се постигао најефикаснији пренос топлоте. Пренос се одвија преко велике површине. Слој плоче је специјално дизајнирана да индукује максималну турбуленцију и равномерну расподелу оба тока флуида, како би трансфер био што ефикаснији.



Слика 12: Лемљени размењивач топлоте

7.3.2 Плочасто-добошасти размењивачи топлоте

Идеалан спој плочастих и добошасто цевастих размењивача топлоте, комбинујући најбоље карактеристике обе врсте размењивача топлоте (степен ефикасности, мале габарите плочастих размењивача топлоте са сигурношћу и отпорношћу на високе температуре и притиске добошасто цевастих размењивача топлоте), (слика 13). Унутрашњост плоче су међусобно заварене тако да не постоје заптивке, пошто овом типу размењивача топлоте омогућава рад у температурном распону од $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, као и рад на врло високим радним притицима (до 200 бара). Примена је готово у свим областима где постоји потреба за разменом топлоте између два флуида (систем грејања, врло често као примарни размењивач, а капацитетима од неколико MW), у рахладној техници, као испаривачи кондезатори, индустрији за грејање и хлађење хидрауличких уља. У последње време своје место су пронашли у функцији економајзера и рекуператора (топлотне енергије отпадних гасова). Једна од највећих предности плочасто-добошастих размењивача топлоте је лако, брзо чишћење једне стране размењивача, због чега се овај тип размењивача врло често користи код великих котловских постројења где служи као примарни размењивач топлоте, односно као заштита котла од нечистоћа, које би могле да стигну из топловодне мреже. [6]

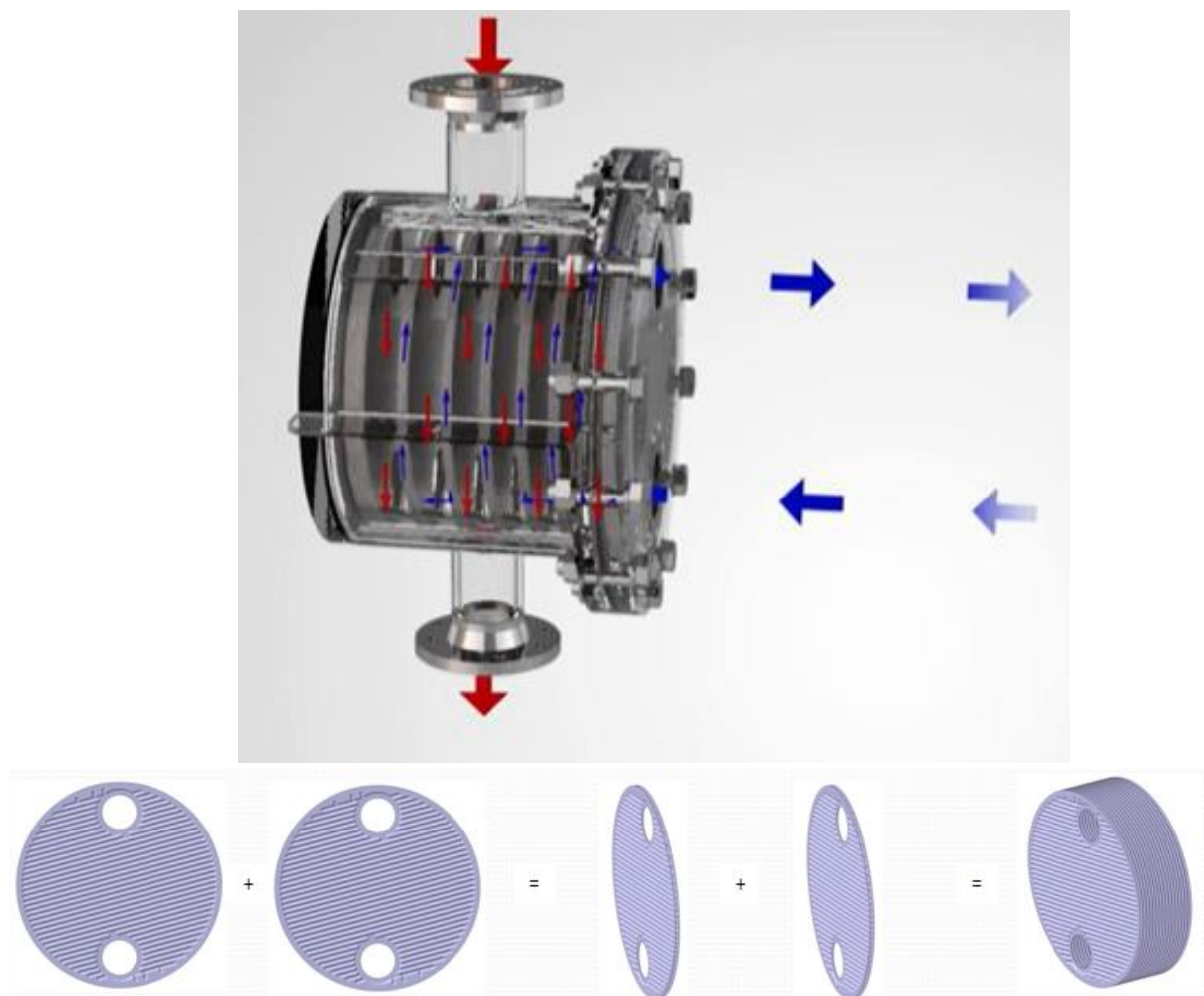


Слика 13: Плочно-добошаста размењивач топлоте

Табела 1: Назив позиција плочно-добошастог размењивача топлоте

	Назив позиције
1	Поклопац
2	Прстенаста плоча
3	Шкољка
4	Крајња плоча паковања плоча
5	Паковање плоча
6	Доња плоча паковања плоча
7	Заптивка
8	Канали за проток
9	Прикључак
10	Прирубнице

Плочаста страна се састоји од округлих валовитих плоча, које се наизменично варе на ободима, или на суседна два отвора на плочама (слика 14). Цилиндрична страна се састоји од цилиндричне шкољке, која је потпуно заварена, али има отвор на једној или на обе стране. Отвори између таласастих плоча формирају канале за проток, где улазе примарни и секундарни флуиди. Правац протока може бити истосмерни, супротносмерни или унакрсни. Топлота се преноси преко валовитих плоча, на тај начин се ствара турбуленција и побољшава пренос топлоте. Могу се плоче конфигурисати за вишеструке пролазе, па се на тај начин повећава термичка дужина. [8]



Унутрашња плоча+унутрашња плоча=паковање од две плоче+паковање од две плоче=паковање плоча

Слика 14: Принцип рада плоче и кућишта измењивача топлоте и начин паковања плоча

7.3.3 Спирални плочасти размењивачи топлоте

Примарна идеја о спиралним плочатим размењивачима топлоте је предложена још у 19-ом веку, али због недостатка материјала и техника производње њихов развој је одложен све до 1930-е године. Од тада је наступио интезиван напредак у развоју, производњи и употреби у многим индустријама, укључујући хемијку, челичну, папирну. Први произведен спирални размењивач топлоте је био врло једноставан у својој конструкцији. Састојао се од две металне траке, савијене у кружном облику, како би се формирала два концентрична канала кроз које би пролазили флуиди у супротним смеровима. Брзина преноса зависила је од ширине канала. До 1960-е године, максималан капацитет преноса је био 200 (m^2), јер је челична трака доступна само у уским ширинама.

Данашњи концепт грађе се састоји од две дугачке металне плоче које се увијају око средишњег језгра, како би се формирала два концентрична пролаза, по један за сваки флуид. Ивице плоча су заварене, тако да свака течност остаје у сопственом пролазу, без промена и мешања токова. Ширина и размак канала (размак између плоча), су оптимизирани за максималан пренос топлоте и лакоћу приступа. Захваљујући својственом кружном дизајну, и односу притисак и запремина, спирални размењивачи топлоте имају јединствену предност у односу на цевасте.

Други закривљени канали обезбеђују добру дистрибуцију протока, интезивну турбуленију и висок коефицијент преноса топлоте (50 - 100% већу од цевастих). Скидајући поклопци који се налазе у оквиру њихове конструкције омогућавају једноставан приступ унутрашњим површинама, ради детаљнијег чишћења и одржавања. Идеална употреба на вискозним густо замућеним течностима или течностима које имају доста влакана и честица. На слици 15 је приказана шема спиралног плочастог размењивача топлоте.

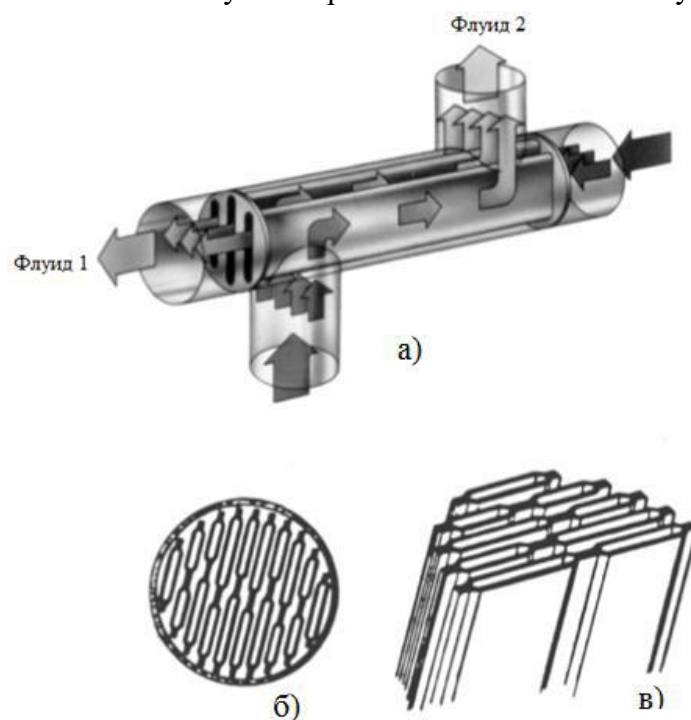


Слика 15: Принципска шема спиралног плочастог размењивача топлоте

7.3.4 Ламеларни размењивачи топлоте

Ламелни размењивачи топлоте (слика 16) састоје се од низа паралелних, заварених, танких плочатих ламела, постављених у плашту (љуска). [9] Ламеле могу бити равне или валовите. Један флуид пролази кроз цев, док друга протиче кроз размак између цеви. Најчешће су изграђене од алуминијума (па имају велику ефикасност у пролазу топлоте), али и од титанијума и нерђајућег челика. Имају високу турбуленцију, униформну дистрибуцију токова, лаки су и доступни инспекцији и чишћењу (могуће је ламелни сноп уклонити из љуске и извршити чишћење), за разлику од цевастих где у случају оштећења мора се заменити цео уређај, што је сада повољније и економичније по купце. Ова врста размењивача се користи на ниским температурама, као што су постројења за укуп гаса, и у индустрији мотора за авионе, у индустрији целулозе и папира.

Предности су висока ефикасност пролаза топлоте, веће подручје пролаза топлоте, приближно су око пет пута лакши од цевастих, могу поднети високе притиске. Недостаци су појава наслага због уских пролаза и тешко чишћење уских пролаза. [10]



Слика 16: Ламеларни размењивач топлоте

Један од проблема са којима се сусрећу готово сви размењивачи топлоте у свом раду јесу корозија и таложење. Талог је најчешће со, седимент, кристали, полимери. Овај талог утиче на пренос топлоте и доводи до квара. Корозија представља механичко оштећење и погоршање материјала због агресивног утицаја и контакта течноти на материјал. За ублажавање корозије и талоба Panchal и Knudsen (1988), су дали смернице:

- додатак хемијских адитива,
- коришћење физичких уређаја за чишћење
- прилагођавање процеса (праћењем, заменом воде),

- коришћењем алтернативних уређаја и метода (магнети, радиоталаси),
- најчешћа је даље употреба чисте воде, за прање и испирање.

Постоје бројне анализе које омогућавају инжењерима што бољу и прецизну анализу размењивача топлоте, и отклањање додатних недостатака, а односе се у већини случајева на брзину и величину. Методе које су у примени су:

- LMTD метод
- NTU метод. [11]

7.4 Размењивачи за специјалне намене

Размењивачи топлоте за специјалне намене (екстремно високи притисци, веома опасне материје, екстремни услови и захтеви). Специјалне намене изискују специјалне конструкције размењивача топлоте, које најчешће представљају комбинације познатих решења (на пример плочасти размењивач топлоте у омотачу (комори) под високим притиском.[4]

7.5 Размењивачи топлоте са мешалицом

Размењивачи топлоте са мешалицом одавно су били у прехранбеној индустрији и користе се у разне сврхе, готово је немогуће именовати све. Модерни дизајни су их учинили популарнијим него икада у индустрији прераде хране, у великој мери због њихове способности да преносе топлоту између хране различитих састојака. Они такође помажу компанијама да уштеде вредан простор, производе више униформне крајње производе, реше неуравнотежене проблеме хлађења, поједностављују процес чишћења и одржавања и смањују контаминацију. Заправо, коришћењем размењивача топлоте са мешалицом, компаније у прехранбеној, хемијској, нафтној, фармацеутској и сродној индустрији успеле су смањити трошкове производње и рада, а испоручивши супериорне производе онима са којима послују.

За веома вискозне или флуиде са чврстим честицама, често се користи систем цев у цеви, где је у унутрашњој цеви смештена мешалица, која омогућава квалитетно струјање флуида и размену топлоте.[4] На слици 17 је приказана шема размењивача топлоте са мешалицом.



Слика 17: Размењивач топлоте са мешалицом

7.6 Котловско постројење и економајзери

Претварање топлотне енергије у друге облике (електро и механичку енергију), или њено коришћење за технолошке, металуршке или друге процесе, могуће је тек када се на располагању има тело погодних карактеристика. Добијање водене паре, паре других супстанција, или пак врелих флуида у течної фази, може се остварити и коришћењем хемијске енергије горива и његовим сагоревањем у котловским постројењима.

Котловско постројење чине котловски агрегат и помоћни уређаји.

Према намени коришћења образоване паре, или врелих флуида котловска постројења се деле на:

- енергетска,
- индустријска,
- комбинована,
- утилизаторска,
- грејна.

Котловски агрегат у којем се одиграва сагоревање горива и размена топлоте између димних гасова и радног тела представља основни део котловског постројења. Њега сачињавају: котао (испаривач), прегрејач паре, економајзер, догрејач ваздуха, ложиште, канали за довод ваздуха и одвод димних гасова, оплата и скелет, уређаји за регулацију (арматура) као и одржавање и чишћење цеви (гарнитура).

Помоћни уређаји служе за припрему и транспорт горива, одвођења пепела и шљаке, чишћење и транспорт напојног флуида, довођење ваздуха и његов транспорт, транспортовање димних гасова у околину, као и контролу и регулацију режима рада помоћних уређаја.

Котао представља специфичан размењивач топлоте у којем се топлота размењује кроз металну површину ватросталних челичних цеви захваљујући зрачењу и хлађењу

врелих димних гасова. Кроз цеви струји напојни флуид (вода, органске течности..) загревајући се (вреловодни котлови) или испаравајући (парни котлови) захваљујући чему се обезбеђује термодинамичке карактеристике радног тела.

Површину размене топлоте чине цеви које обливају врели димни гасови и пламен.

Прегрејач паре служи да се сувозасићена пара, настала у котлу, прегреје (углавном изобарски) до жељене температуре у рекуперативном размењивачу топлоте. Наиме, после излаза из ложишта, врели димни гасови наилазе на специјално уређен сноп цеви, кроз које струји сувозасићена пара, обливајући га и размењујући са њим топлотну енергију неопходну за прегревање паре. Таквим поступком допунски се користи енергија врелих гасова, што доприноси економичности рада котловског постројења.

Економајзер (слика 18), (предгрејач) се користи за предгревање напојног флуида којим се пуни котао. Као такав, представља рекуперативни размењивач топлоте у коме се врелим димним гасовима одузима енергија и користи за догревање течних флуида до температуре у котлу. Његово коришћење такође повећава економичност котловског постројења.



Слика 18: Економајзер

Принцип рада економајзера заснован је на рециклажи горива, али поставља различите циљеве. У једном случају то је повећање енергетске ефикасности котловске опреме, а у другом повећање периода рада јединице. С друге стране, економични котлови дизајнирани су тако да оптимизирају процесе преноса топлоте. Најзад, корисник добија економичнију потрошњу горива уз висок пренос топлоте. То се не може изразити директно, већ, на пример, у облику интензивног стварања паре. У сложенијим когенерационим системима, где су котлови повезани на електричну инфраструктуру, ефекат економајзера може се огледати у минимизирању потрошње енергије. Али то се углавном односи на индустријску опрему.

У процесу рада било ког котла, ослобађа се дим. Дим има високу температуру, па се може рећи да се топлота уклања заједно са овим протоцима. Како не би трошили произведену енергију, инжењери су предложили економајзере. Шта је са котлом? То је функционална јединица која на неки начин акумулира димну енергију, претварајући је у грејање воде. Односно, то није блок који делује као претварач дима, већ вода која се у њега улива. Затим прелази у посебне резервоаре за потпуно загревање. Кружење воде у котловима са размењивачем топлоте је уобичајена појава, али у овом случају се загрева без примене главне топлотне енергије опреме.

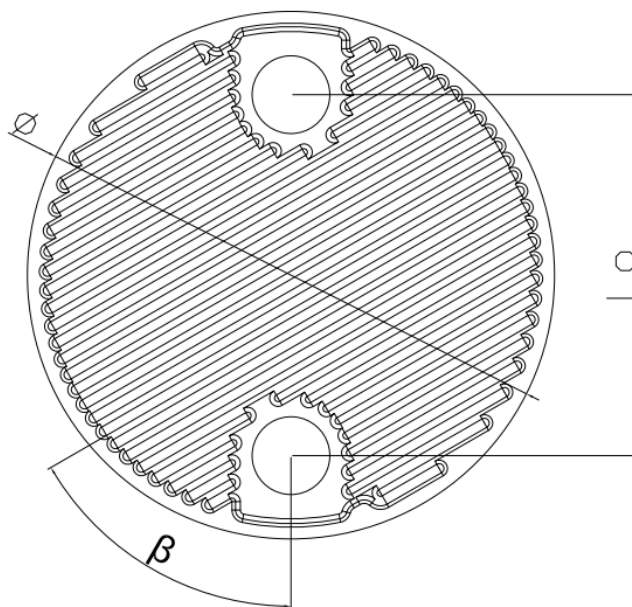
У најједноставнијим верзијама, економајзер је комплекс цевастих елемената који пролазе кроз воду или пару. Поред тога, цеви нису равне, већ намотавају змије и цикл-цак облике. Неколико цеви чине један пакет. У сваком паковању се поставља цевasti елемент у једној заједничкој конфигурацији. Такође, економајзер осигурава постојање изолационих плоча и металних преграда које раздвајају пакете.

8 Изрази за прорачун плочасто добошастог размењивача топлоте

Плочасто добошаста размењивач топлоте је апарат у коме се врши размена топлоте, односно прелаз топлоте са једног флуида на други радни флуид. У размењивачима топлоте се најчешће јавља комбинација провођења и прелаза топлоте.

Основни задатак конструктора размењивача топлоте је избор оптималне конструкције апарата. Оптимална конструкција апарата остварује задати технолошки процес са поузданом опремом најниже цене, уз најмање трошкове погона. Оптимизација се посматра у оквиру различитих конструкционо-техничких решења апарата. Конструкција размењивача зависи од следећих фактора: од количине топлоте која треба да се пренесе са једног флуида на други, врсте флуида, хемијске агресивности флуида, расположивог простора за смештај размењивача, величине притиска, висине температуре радног флуида.

На слици 19 приказан је изглед плоче плочасто добошастог размењивача топлоте.



Слика 19: Изглед плоче плочасто добошастог размењивача топлоте

Укупна размењена количина топлоте у апарату (под условом занемарених губитака) се може приказати као:

$$Q = m_1 \cdot c_{p1} \cdot (T_{1u} - T_{1i}) \quad (7)$$

$$Q = m_2 \cdot c_{p2} \cdot (T_{2i} - T_{2u}) \quad (8)$$

$$Q = K \cdot \Delta T_m \cdot A \quad (9)$$

где су Q [W] укупно размењена количина топлоте, m_1 [kg/s] масени проток топлијег флуида, m_2 [kg/s] масени проток хладнијег флуида, c_1 [J/kgK] специфична топлота топлијег флуида, c_2 [J/kgK] специфична топлота хладнијег флуида, T_{1u} [K] улазна температура топлијег флуида, T_{1i} [K] излазна температура топлијег флуида, T_{2u} [K]

улазна температура хладнијег флуида, T_{2i} [K] излазна температура хладнијег флуида, A [m] активна површина размењивача топлоте, K [W/m²K] средњи коефицијент пролаза топлоте у размењивачу, ΔT_m [K] средња логаритамска разлика температура.

Активна површина размењивача топлоте се израчунава као:

$$A = (N - 2) \cdot \left(\frac{\Phi}{2}\right)^2 \cdot \pi \quad (10)$$

где су N [-] број плоча у размењивачу, а Φ [m] пречник плоче.

Средња логаритамска разлика температуре за супротносмеран размењивач износи:

$$\Delta T_m = \frac{(T_{1u} - T_{2i}) - (T_{1i} - T_{2u})}{\ln \frac{T_{1u} - T_{2i}}{T_{1i} - T_{2u}}} \quad (11)$$

Број пренесених јединица N_{tu} се израчунава као:

$$N_{tu} = \frac{\Delta T}{\Delta T_m} \quad (12)$$

Геометријска карактеристика струјања посматраног флуида (хидраулични пречник) се рачуна као:

$$De = 2 \cdot b \quad (13)$$

где је b [m] дубина плоче.

Средњи коефицијент пролаза топлоте у размењивачу се израчунава као:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\delta_p}{\lambda_p} + \frac{1}{h_2}} \quad (14)$$

где су δ_p [m] дебљина плоче λ_p [W/m² K] топлотна проводљивост материјала плоче, h_1 [W/m² K] коефицијент прелаза топлоте са топлијег флуида на плочу, h_2 [W/m² K] коефицијент прелаза топлоте са плоче на хладнији флуид.

Коефицијент прелаза топлоте h се израчунава према формули:

$$h = \frac{Nu \cdot \lambda}{De} \quad (15)$$

где су средњи Nu [-] средњи Нуселт-ов –ов број посматраног флуида, λ [W/m K] топлотна проводљивост посматраног флуида.

Средњи Нуселт-ов број за турбулентни ток флуида у плочасто добошастом размењивачу топлоте се израчунава као:

$$Nu = C \cdot Re^a \cdot Pr^b \left(\frac{\mu_f}{\mu_z} \right)^x \quad (16)$$

где су C , a , b и x [-] коефицијенти, Re [-] Рејнолдсов број флуида, Pr [-] Прандлтов број флуида μ_f , μ_z [Pa·s] динамичка вискозност флуида на средњој температури флуида, и на температури зида, респективно.

Прандлт-ов број, Pr се за плочасто добошасте размењивач топлоте рачуна као:

$$Pr = \frac{(\mu_f \cdot C_p)}{\lambda} \quad (17)$$

Рејнолдсов број, Re се за плочасто добошасте размењивач топлоте израчунава као:

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot De}{\mu_f} \quad (18)$$

где је ρ [kg/m³] густина посматраног флуида, V [m/s] брзина струјања флуида и рачуна се према обрасцу:

$$V = \frac{m_1}{A \cdot \rho} \quad (19)$$

Укупан пад притиска у плочасто добошастом размењивачу топлоте, ΔP [Pa] се може израчунати као:

$$\Delta P = \Delta P_p + \Delta P_c \quad (20)$$

где су ΔP_p [Pa] пад притиска у плочама, ΔP_c [Pa] пад притиска у прикључцима.

Пад притиска у плочама се рачуна као:

$$\Delta P_p = \xi \cdot \frac{L_o}{De} \cdot \frac{V \cdot \rho}{2} \quad (21)$$

где су L_o и ξ коефицијенти. ξ се рачуна по обрасцу:

$$\xi = \frac{E_t}{Re^{F_t}} \quad (22)$$

где је F_t коефицијент.

Пад притиска у прикључцима ΔP_c [Pa] се рачуна као:

$$\Delta P_c = 137 \cdot \frac{V^2 \cdot \rho}{2} \quad (23)$$

Смицајни напон S_n [Pa] се рачуна као:

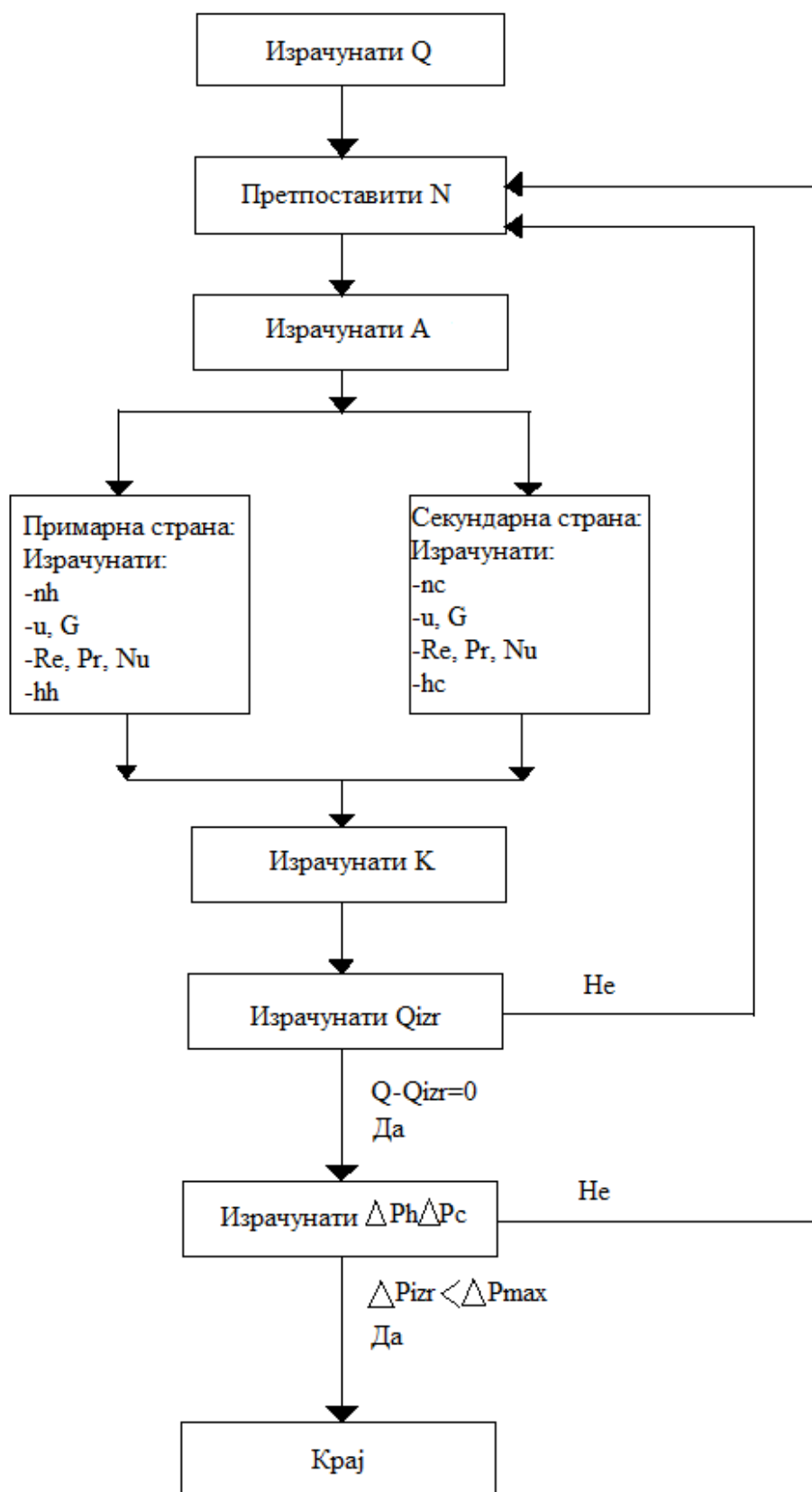
$$S_n = \frac{\Delta P_p \cdot De}{2 \cdot Lo} \quad (24)$$

9 Пројектни задатак

У оквиру пројектног задатка, треба одредити који је плочасто-добошаста размењивач топлоте потребан за загревање стамбеног објекта (зграде) у Крагујевцу. Флуиди који учествују у размени топлоте су вода-вода.

Топлотни капацитет [W]	Q=500000	
	Примарна страна	Секундарна страна
Улазна температура [°C]	T _{1u} =140	T _{2u} =70
Излазна температура [°C]	T _{1i} =80	T _{2i} =90
	$T_{1sr}=\frac{(T_{1u}-T_{1i})}{2} = 110 \quad (25) \quad T_{2sr}=\frac{(T_{2u}-T_{2i})}{2} = 80 \quad (26)$	
Карактеристике флуида:		
Густина [kg/m ³]	ρ _{1in} = 926.096	ρ _{2in} = 977.68
	ρ ₁ = 950.7	ρ ₂ = 971.75
	ρ _{1out} = 971.75	ρ _{2out} = 965.30
Специфична топлота [J/kgK]	Cp ₁ = 4233	Cp ₂ = 4195
Вискозност [kg/ms]	μf _{1in} = 0.000198	μf _{2in} = 0.000405
	μf ₁ = 0.0002562	μf ₂ = 0.0003563
	μf _{1out} = 0.000354	μf _{2out} = 0.000313
Вискозност на зиду [kg/ms]	μz ₁ = 0.0002316	μz ₂ = 0.0003463
Топлотна проводљивост воде [W/m°C]	λ ₁ = 0.6809	λ ₂ = 0.6692
Масени проток [kg/s]	$m_1 = \frac{Q}{Cp_1 \cdot (t_{1u}-t_{1i})} = 1.9687 \quad (27)$	
	$m_2 = \frac{Q}{Cp_2 \cdot (t_{2i}-t_{2u})} = 5.9595 \quad (28)$	
Стандардна димензија плоче [m]: Ns = 0.32		
Пројектни притисак [Pa]: Pp = 30000		
Пројектна температура [°C]: Tp = 150		

На слици 20 приказана је принципска шема по којем се редоследу врши прорачун плочасто добошастог размењивача топлоте.



Слика 20: Принципска шема по којем се редоследу врши прорачун размењивача топлоте

10 Прорачун плочасто-добошастог размењивача топлоте без резерве површине

Топлотни биланс примарне стране [W]:

$$Q_1 = m_1 \cdot C_{p1} \cdot (t_{1u} - t_{1i}) = 5 \times 10^5 \quad (29)$$

Топлотни биланс секундарне стране [W]:

$$Q_2 = m_2 \cdot C_{p2} \cdot (t_{2u} - t_{2i}) = 5 \times 10^5 \quad (30)$$

Средња логаритамска температура [°C]:

$$\Delta t_m = \frac{[(t_{1u} - t_{2i}) - (t_{1i} - t_{2u})]}{\ln \left[\frac{(t_{1u} - t_{2i})}{(t_{1i} - t_{2u})} \right]} = 24.853 \quad (31)$$

Средња температура на примару [°C]:

$$\Delta t_1 = t_{1u} - t_{1i} = 60 \quad (32)$$

Средња температура на секундару [°C]:

$$\Delta t_2 = t_{2i} - t_{2u} = 20 \quad (33)$$

Број пренесених јединица на примару:

$$N_{tu1} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_m} = 2.414 \quad (34)$$

Број пренесених јединица на секундару:

$$N_{tu2} = \frac{\Delta t_2}{\Delta t_m} = 0.805 \quad (35)$$

Дубина плоче [m]:

$$b = 0.0021125$$

Хидраулични пречник [m]:

$$De = 2 \cdot b = 0.004225 \quad (36)$$

Површина канала кроз који струји вода [m²]:

Број канала примара:

$$N_{ps} = 42$$

Број канала секундара:

$$N_{ss} = N_{ps} + 1 = 43 \quad (37)$$

$$A_{pr} = (N_{ps} + N_{ss}) \cdot 0.07557 = 6.423 \quad (38)$$

Проточна површина примара [m²]:

$$A_1 = N_{ps} \cdot 0.000407 = 0.017 \quad (39)$$

Проточна површина секундара [m²]:

$$A_2 = N_{ss} \cdot 0.0004196 = 0.018 \quad (40)$$

Површине на прикључцима на улазу и излазу из размењивача примара и секундара A_{1pin} , A_{1pout} , A_{2pin} , A_{2pout} , површине сабирника и разделника A_{1s} , A_{1r} , A_{2s} , A_{2r} , респективно, кроз које пролази флуид. Површине су извучене из 3D модела.

$$A_{1pin} = 0.00785 \quad A_{1s} = 0.00785 \quad A_{2pin} = 0.00785 \quad A_{2s} = 0.00785$$

$$A_{1pout} = 0.00785 \quad A_{1r} = 0.00785 \quad A_{2pout} = 0.00785 \quad A_{2r} = 0.00785$$

Брзине струјања [m/s]:

$$V_{1pin} = \frac{m_1}{(A_{1pin} \cdot \rho_{1in})} = 0.271 \quad (41)$$

$$V_{1pout} = \frac{m_1}{(A_{1pout} \cdot \rho_{1out})} = 0.258 \quad (42)$$

$$V_{2pin} = \frac{m_2}{(A_{2pin} \cdot \rho_{2in})} = 0.777 \quad (43)$$

$$V_{2pout} = \frac{m_2}{(A_{2pout} \cdot \rho_{2out})} = 0.786 \quad (44)$$

$$V_1 = \frac{m_1}{(A_1 \cdot \rho_1)} = 0.121 \quad (45)$$

$$V_2 = \frac{m_2}{(A_2 \cdot \rho_2)} = 0.34 \quad (46)$$

$$V_{1s} = \frac{m_1}{(A_{1s} \cdot \rho_{1in})} = 0.271 \quad (47)$$

$$V_{1r} = \frac{m_1}{(A_{1r} \cdot \rho_{1out})} = 0.258 \quad (48)$$

$$V_{2s} = \frac{m_2}{(A_{2s} \cdot \rho_{2in})} = 0.777 \quad (49)$$

$$V_{2r} = \frac{m_2}{(A_{2r} \cdot \rho_{2out})} = 0.786 \quad (50)$$

Рејлнудсов број:

$$Re_1 = \frac{(\rho_1 \cdot V_1 \cdot De)}{\mu_{f1}} = 1.899 \times 10^3 \quad (51)$$

$$Re_2 = \frac{(\rho_2 \cdot V_2 \cdot De)}{\mu_{f2}} = 3.917 \times 10^3 \quad (52)$$

Прандалтов број:

$$Pr_1 = \frac{(\mu_{f1} \cdot C_{p1})}{\lambda_1} = 1.593 \quad (53)$$

$$Pr_2 = \frac{(\mu_{f2} \cdot C_{p2})}{\lambda_2} = 2.234 \quad (54)$$

Нуселтов број:

$$Nu_1 = 0.112 \cdot Re_1^{0.724} \cdot Pr_1^{0.33} \cdot \left(\frac{\mu_{f1}}{\mu_{z1}}\right)^{0.17} = 31.41 \quad (55)$$

$$Nu_2 = 0.157 \cdot Re_2^{0.724} \cdot Pr_2^{0.33} \cdot \left(\frac{\mu_{f2}}{\mu_{z2}}\right)^{0.17} = 82.118 \quad (56)$$

Коефицијент прелаза топлоте [W/m²°C]:

$$h_1 = \frac{(Nu_1 \cdot \lambda_1)}{De} = 5.062 \times 10^3 \quad (57)$$

$$h_2 = \frac{(Nu_2 \cdot \lambda_2)}{De} = 1.301 \times 10^4 \quad (58)$$

Резерва површине:

$$os = 0$$

Дебљина плоче [m]:

$$\delta_p = 0.0007$$

Топлотна проводљивост материјала плоче [W/m²°C]:

$$\lambda_p = 16.3$$

Средњи коефицијент пролаза топлоте [W/m²°C]:

$$K_{pc} = \frac{1}{[\left(\frac{1}{h_1}\right) + \left(\frac{\delta_p}{\lambda_p}\right) + \left(\frac{1}{h_2}\right)]} = 3.151 \times 10^3 \quad (59)$$

$$K_{pf} = \frac{1}{[\left(\frac{1}{h_1}\right) + \left(\frac{\delta_p}{\lambda_p}\right) + \left(\frac{1}{h_2}\right)] \cdot \left(1 + \frac{os}{100}\right)} = 3.151 \times 10^3 \quad (60)$$

Активна површина размене топлоте [m²]:

$$A_{11} = \frac{Q}{K_{pf} \cdot \Delta tm} = 6.385 \quad (61)$$

$$N = \frac{A_{11}}{Ns} = 86$$

$$Q_{iz} = A_{pr} \cdot K_{pf} \cdot \Delta tm = 5.03 \times 10^3 \quad (62)$$

$$Q - Q_{iz} = -3.011 \times 10^3 \quad (63)$$

$$\frac{Q}{Q_{iz}} = 0.994 \quad (64)$$

Пад притиска [Pa]

Пад притиска - примар:

$$Et = 20$$

$$Ft = 0.278$$

$$Lo = 0.226$$

$$\xi_1 = \frac{Et}{Re_1^{Ft}} = 2.452 \quad (65)$$

$$\Delta P_{1p} = \xi_1 \cdot \frac{Lo}{De} \cdot \frac{V_1^2 \cdot \rho_1}{2} = 915.057 \quad (66)$$

$$\Delta P_{1c} = 137 \cdot \frac{V_1^2 \cdot \rho_1}{2} = 955.654 \quad (67)$$

$$\Delta P_1 = \Delta P_{1p} + \Delta P_{1c} = 1.871 \times 10^3 \quad (68)$$

Пад притиска - секундар:

$$Et = 27$$

$$Ft = 0.239$$

$$Lo = 0.226$$

$$\xi_2 = \frac{Et}{Re_2^2} = 3.738 \quad (69)$$

$$\Delta P_{2p} = \xi_2 \cdot \frac{L_o}{De} \cdot \frac{V_2^2 \cdot \rho_2}{2} = 1.122 \times 10^4 \quad (70)$$

$$\Delta P_{2c} = 97 \cdot \frac{V_2^2 \cdot \rho_2}{2} = 5.445 \times 10^3 \quad (71)$$

$$\Delta P_2 = \Delta P_{2p} + \Delta P_{2c} = 1.667 \times 10^4 \quad (72)$$

Смицајни напон [Pa]:

$$S_{n1} = \frac{\Delta P_{1p} \cdot De}{2 \cdot L_o} = 8.553 \quad (73)$$

$$S_{n2} = \frac{\Delta P_{2p} \cdot De}{2 \cdot L_o} = 104.918 \quad (74)$$

11 Прорачун плочасто-добошастог размењивача топлоте са резервом површине

Топлотни биланс примарне стране [W]:

$$Q_1 = m_1 \cdot C_{p1} \cdot (t_{1u} - t_{1i}) = 5 \times 10^5 \quad (75)$$

Топлотни биланс секундарне стране [W]:

$$Q_2 = m_2 \cdot C_{p2} \cdot (t_{2u} - t_{2i}) = 5 \times 10^5 \quad (76)$$

Средња логаритамска температура [°C]:

$$\Delta t_m = \frac{[(t_{1u} - t_{2i}) - (t_{1i} - t_{2u})]}{\ln \left[\frac{(t_{1u} - t_{2i})}{(t_{1i} - t_{2u})} \right]} = 24.853 \quad (77)$$

Средња температура на примару [°C]:

$$\Delta t_1 = t_{1u} - t_{1i} = 60 \quad (78)$$

Средња температура на секундару [°C]:

$$\Delta t_2 = t_{2i} - t_{2u} = 20 \quad (79)$$

Број пренесених јединица на примару:

$$N_{tu1} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_m} = 2.414 \quad (80)$$

Број пренесених јединица на секундару:

$$N_{tu2} = \frac{\Delta t_2}{\Delta t_m} = 0.805 \quad (81)$$

Дубина плоче [m]:

$$b = 0.0021125$$

Хидраулични пречник [m]:

$$De = 2 \cdot b = 0.004225 \quad (82)$$

Површина канала кроз који струји вода [m²]:

Број канала примара:

$$N_{ps} = 49$$

Број канала секундара:

$$N_{ss} = N_{ps} + 1 = 50 \quad (83)$$

$$A_{pr} = (N_{ps} + N_{ss}) \cdot 0.07557 = 7.481 \quad (84)$$

Проточна површина примара [m²]:

$$A_1 = N_{ps} \cdot 0.000407 = 0.02 \quad (85)$$

Проточна површина секундара [m²]:

$$A_2 = N_{ss} \cdot 0.0004196 = 0.021 \quad (86)$$

Површине на прикључцима на улазу и излазу из размењивача примара и секундара A_{1pin} , A_{1pout} , A_{2pin} , A_{2pout} , површине сабирника и разделника A_{1s} , A_{1r} , A_{2s} , A_{2r} , респективно, кроз које пролази флуид. Површине су извучене из 3D модела.

$$A_{1pin} = 0.00785 \quad A_{1s} = 0.00785 \quad A_{2pin} = 0.00785 \quad A_{2s} = 0.00785$$

$$A_{1pout} = 0.00785 \quad A_{1r} = 0.00785 \quad A_{2pout} = 0.00785 \quad A_{2r} = 0.00785$$

Брзине струјања [m/s]:

$$V_{1pin} = \frac{m_1}{(A_{1pin} \cdot \rho_{1in})} = 0.271 \quad (87)$$

$$V_{1pout} = \frac{m_1}{(A_{1pout} \cdot \rho_{1out})} = 0.258 \quad (88)$$

$$V_{2pin} = \frac{m_2}{(A_{2pin} \cdot \rho_{2in})} = 0.777 \quad (89)$$

$$V_{2pout} = \frac{m_2}{(A_{2pout} \cdot \rho_{2out})} = 0.786 \quad (90)$$

$$V_1 = \frac{m_1}{(A_1 \cdot \rho_1)} = 0.104 \quad (91)$$

$$V_2 = \frac{m_2}{(A_2 \cdot \rho_2)} = 0.292 \quad (92)$$

$$V_{1s} = \frac{m_1}{(A_{1s} \cdot \rho_{1in})} = 0.271 \quad (93)$$

$$V_{1r} = \frac{m_1}{(A_{1r} \cdot \rho_{1out})} = 0.258 \quad (94)$$

$$V_{2s} = \frac{m_2}{(A_{2s} \cdot \rho_{2in})} = 0.777 \quad (95)$$

$$V_{2r} = \frac{m_2}{(A_{2r} \cdot \rho_{2out})} = 0.786 \quad (96)$$

Рејлнудсов број:

$$Re_1 = \frac{(\rho_1 \cdot V_1 \cdot De)}{\mu_{f1}} = 1.628 \times 10^3 \quad (97)$$

$$Re_2 = \frac{(\rho_2 \cdot V_2 \cdot De)}{\mu_{f2}} = 3.368 \times 10^3 \quad (98)$$

Прандалтов број:

$$Pr_1 = \frac{(\mu_{f1} \cdot C_{p1})}{\lambda_1} = 1.593 \quad (99)$$

$$Pr_2 = \frac{(\mu_{f2} \cdot C_{p2})}{\lambda_2} = 2.234 \quad (100)$$

Нуселтов број:

$$Nu_1 = 0.112 \cdot Re_1^{0.724} \cdot Pr_1^{0.33} \cdot \left(\frac{\mu_{f1}}{\mu_{z1}}\right)^{0.17} = 28.093 \quad (101)$$

$$Nu_2 = 0.157 \cdot Re_2^{0.724} \cdot Pr_2^{0.33} \cdot \left(\frac{\mu_{f2}}{\mu_{z2}}\right)^{0.17} = 73.623 \quad (102)$$

Коефицијент прелаза топлоте [W/m²°C]:

$$h_1 = \frac{(Nu_1 \cdot \lambda_1)}{De} = 4.527 \times 10^3 \quad (103)$$

$$h_2 = \frac{(Nu_2 \cdot \lambda_2)}{De} = 1.166 \times 10^4 \quad (104)$$

Резерва површине:

$$os = 0$$

Дебљина плоче [m]:

$$\delta_p = 0.0007$$

Топлотна проводљивост материјала плоче [W/m²°C]:

$$\lambda_p = 16.3$$

Средњи коефицијент пролаза топлоте [W/m²°C]:

$$K_{pc} = \frac{1}{l \left(\left(\frac{1}{h_1} \right) + \left(\frac{\delta_p}{\lambda_p} \right) + \left(\frac{1}{h_2} \right) \right)} = 2.861 \times 10^3 \quad (105)$$

$$K_{pf} = \frac{1}{l \left(\left(\frac{1}{h_1} \right) + \left(\frac{\delta_p}{\lambda_p} \right) + \left(\frac{1}{h_2} \right) \right) \cdot \left(1 + \frac{os}{100} \right)} = 2.861 \times 10^3 \quad (106)$$

Активна површина размене топлоте [m²]:

$$A_{11} = \frac{Q}{K_{pf} \cdot \Delta tm} = 7.033 \quad (107)$$

$$N = \frac{A_{11}}{Ns} = 100$$

$$Q_{iz} = A_{pr} \cdot K_{pf} \cdot \Delta tm = 5.319 \times 10^5 \quad (108)$$

$$Q - Q_{iz} = -3.19 \times 10^4 \quad (109)$$

$$\frac{Q}{Q_{iz}} = 0.94 \quad (110)$$

Пад притиска [Pa]

Пад притиска - примар:

$$Et = 20$$

$$Ft = 0.278$$

$$Lo = 0.226$$

$$\xi_1 = \frac{Et}{Re_1^{Ft}} = 2.56 \quad (111)$$

$$\Delta P_{1p} = \xi_1 \cdot \frac{Lo}{De} \cdot \frac{V_1^2 \cdot \rho_1}{2} = 701.723 \quad (112)$$

$$\Delta P_{1c} = 137 \cdot \frac{V_1^2 \cdot \rho_1}{2} = 702.113 \quad (113)$$

$$\Delta P_1 = \Delta P_{1p} + \Delta P_{1c} = 1.404 \times 10^3 \quad (114)$$

Пад притиска - секундар:

$$Et = 27$$

$$Ft = 0.239$$

$$Lo = 0.226$$

$$\xi_2 = \frac{Et}{Re_2^{Ft}} = 3.875 \quad (115)$$

$$\Delta P_{2p} = \xi_2 \cdot \frac{Lo}{De} \cdot \frac{V_2^2 \cdot \rho_2}{2} = 8.606 \times 10^3 \quad (116)$$

$$\Delta P_{2c} = 97 \cdot \frac{V_2^2 \cdot \rho_2}{2} = 4.027 \times 10^3 \quad (117)$$

$$\Delta P_2 = \Delta P_{2p} + \Delta P_{2c} = 1.263 \times 10^4 \quad (118)$$

Смицајни напон [Pa]:

$$Sn_1 = \frac{\Delta P_{1p} \cdot De}{2 \cdot Lo} = 6.559 \quad (119)$$

$$Sn_2 = \frac{\Delta P_{2p} \cdot De}{2 \cdot Lo} = 80.446 \quad (120)$$

На основу прорачуна одабран је модел плочасто-добошастог размењивача топлоте фирме „Euro heat”, Крагујевац.

Овај тип размењивача представља идеалан спој плочастих и добошасто-цевних размењивача топлоте комбинујући најбоље карактеристике обе врсте размењивача топлоте – степен ефикасности и мале габарите плочастих размењивача са сигурношћу и отпорношћу на високе температуре и притиске добошасто цевних размењивача топлоте.

Унутрашње плоче су међусобно заварене тако не постоје заптивке, што овом типу размењивача омогућава рад у температурном распону од -200 до 500 °C као и рад на врло високим радним притисцима (до 100 bar, па и више.)

Степен корисности код плочасто добошастог типа размењивача је врло висок и креће се до 95%.

Овакав тип размењивача је нашао своје место у готово свим областима где постоји потреба за разменом топлоте између два флуида – системи даљинског грејања (врло често као примарни размењивачи са капцитетима од по неколико десетина мегавата), у расхладној техници као испаривачи и кондезатори, у индустрији за грејање и хлађење хидрауличког уља.

У последње време овај тип размењивача све више проналази своје место у функцији економајзера и рекуператора топлотне енергије отпадних гасова.

Једна од највећих предности плочасто добошастих размењивача топлоте је лако и брзо чишћење једне стране размењивача, због чега се овај тип размењивача врло често користи код великих котловских постројења где служи као примарни размењивач топлоте тј. као заштита котла од нечистоћа које би могле да стигну из топловодне мреже.

Карактеристике оваквог типа размењивача топлоте су следеће:

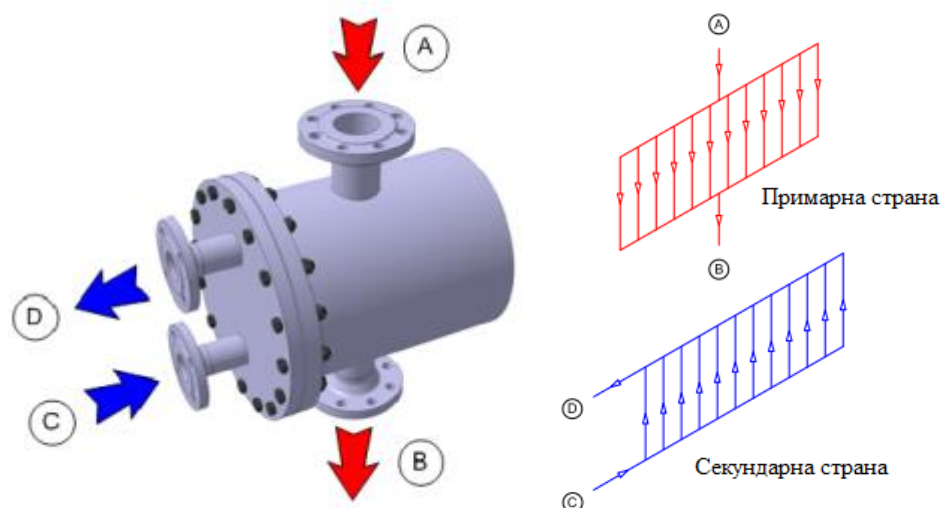
- производи се у седам величина,
- прикључци на плашту су величине DN 15 до DN 800,
- материјали који се користе за израду плоча: AISI 316L, AISI 304, Hastelloy C-276, SMO254, Titanium, итд.,
- материјали који се користе за израду плашта: Carbon steel, AISI 304, AISI 316, SMO 254.

У табели 2 приказано је поређење плочасто-добошастих размењивача топлоте у односу на плочасте размењиваче топлоте са заптивкама.

Табела 2: Поређење плочасто-добошастог размењивача топлоте са плочастим размењивачима топлоте са заптивкама

	Поређење размењивача топлоте			
	Плочасто-добошаста		Са заптивкама	
Пројектована температура	од -190 °C	до 900°C	од 5°C	до 160°C
Пројектовани притисак	200 bar		25 bar	
Заптивке	Без заптивки		Са заптивкама	
Гас као радна течност	Да		Не	
Примена уља	Да		Не	
Примена издувних гасова	Да		Не	
Посебна упутства за чишћење	Не		Да	
Попречни проток	Да		Не	

На основу прорачуна одабран је модел плочасто-добошастог размењивача топлоте Р 350. На слици 21 приказан је његов изглед, а у табели 3 су приказане и његове карактеристике.



Слика 21: Плочасто-добошасте размењивач топлоте модел Р 350

- A - улаз примара
 B - излаз примара
 C - улаз секундара
 D - излаз секундара

Табела 3: Основни подаци размењивача топлоте - тип Р 350

Прикључак на страни регистра	DN 50
Прикључак на страни плашта	DN 25 ÷ DN 150
Димензије V x Š x D [mm]	488 x 425 x 153 + 3.5 x n
Површина размене топлоте [m ²]	0.079 x n
Запремина регистра/плашта [l / ploči]	0.06 / 0.29
Тежина размењивача топлоте [kg]	105 + 0.595 x n
Дебљина унутрашњих плоча [mm]	0.5
Максимални број унутрашњих плоча	300
Максимални препоручени проток [m ³ /h]	40
Максимална радна температура [°C]	400
Минимална радна температура [°C]	-200
Називни притисци	NP6 , NP16 , NP25 , NP32 , NP40
Пробни притисак [bar]	60
Материјали	
Плашт и прикључци	S235JR (Č 0361 , 1.0115) - ПЛАСТИЦИФИРАНО
	AISI 304 (X5CrNi18 -10 , 1.4301 , 08Ch18N10 , Č 4580)
	AISI 316 (X5CrNiMo 17-12-2 , 1.4401 , 03Ch17N13M2 , Č 4573)
	AISI 316L (X2CrNiMo 18-14-3 , 1.4435 , 03Ch17N14M2)
Унутрашње плоче	AISI 304 (X5CrNi18 -10 , 1.4301 , 08Ch18N10 , Č 4580)
	AISI 316 (X5CrNiMo 17-12-2 , 1.4401 , 03Ch17N13M2 , Č 4573)
	AISI 316L (X2CrNiMo 18-14-3 , 1.4435 , 03Ch17N14M2)

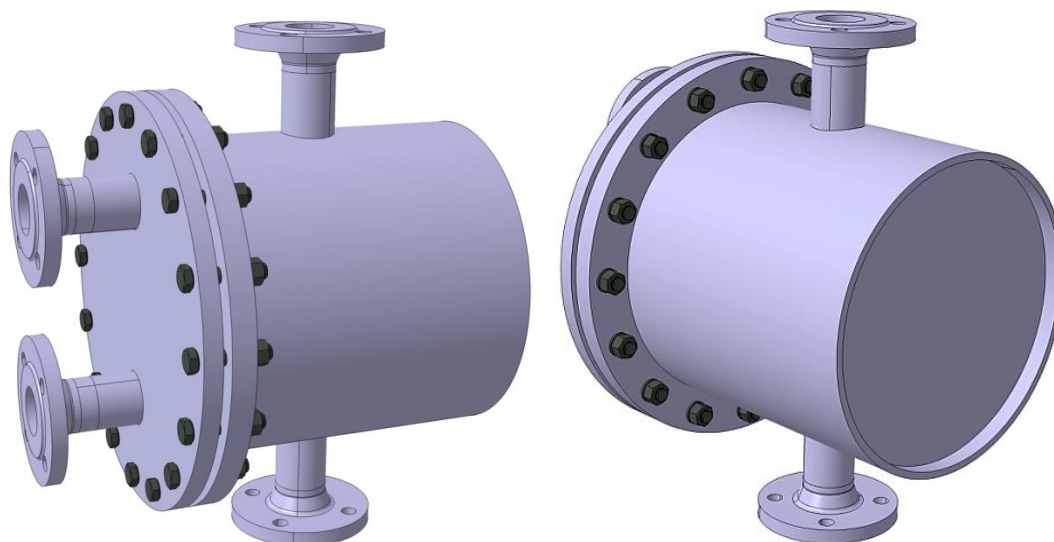
n - број унутрашњих плоча

Прикључци на плашту - прирубнички- DN 25 - DN 150

Прикључци на страни унутрашњих плоча - прирубнички - DN 50

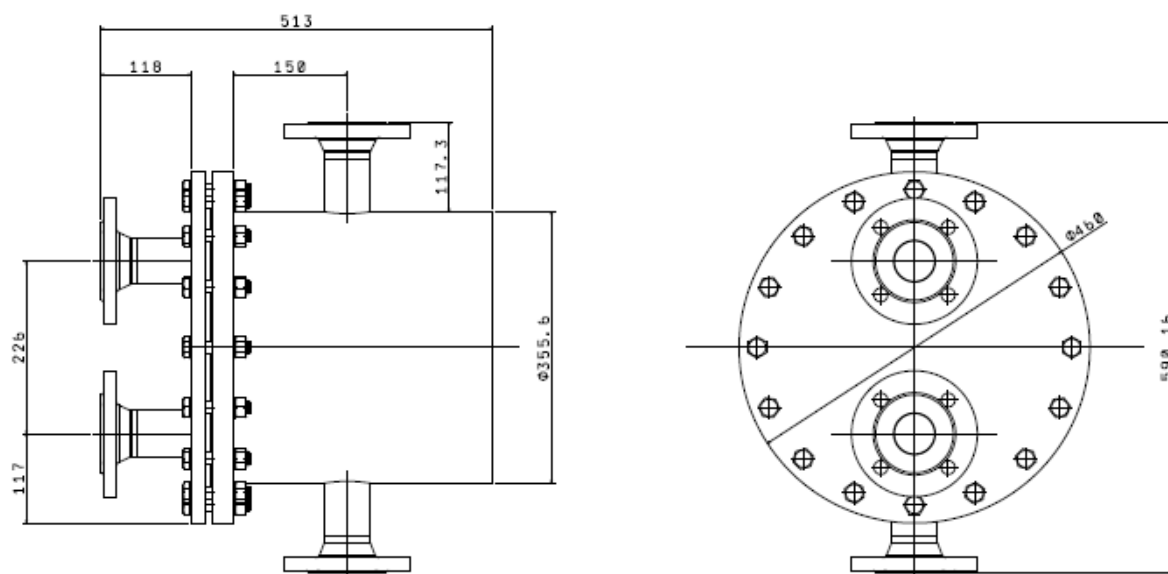
12 3D модел одабраног размењивача топлоте

Као што је већ поменуто, на основу прорачуна одабран је плочасто-добошасте размењивач топлоте - типа Р 350 са 100 плоча. 3D модел размењивача рађен је у програму CatiaV5 и приказан је на слици 22.



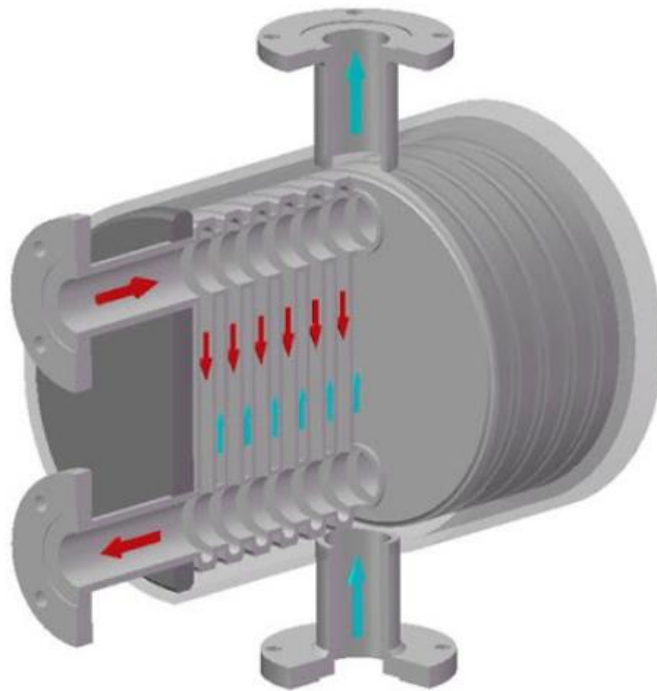
Слика 22: 3D модел размењивача топлоте типа Р 350 са 100 плоча

Основне димензије модела приказане су на слици 23.



Слика 23: Размењивач топлоте - тип Р 350 са 100 плоча са приказаним основним димензијама

На слици 24 приказан је попречни пресек одабраног размењивача топлоте, као и кретање флуида у њему.



Слика 24: Попречни пресек размењивача топлоте - тип Р 350 са 100 плоча и ток кретања флуида

13 Закључак

У данашње време свет и савремен живот, био би другачији без употребе размењивача топлоте, у разним сегментима, како у кућним условима тако и у индустријским постројењима. Свакодневно се сусрећемо са развојем што ефикаснијих, бољих и функционалнијих размењивача топлоте.

Данас су најчешће у употреби савремене концепције размењивача топлоте, које сврставамо у пет основних група и то на: ваздушне размењиваче топлоте, размењиваче топлоте цев и омотач, плочасте размењиваче топлоте, размењиваче топлоте за специјалне намене и размењиваче топлоте са мешалицом. Са аспекта односа размењене количине топлоте и активне површине размене, најефикаснија конструкција рекуперативног размењивача топлоте јесу плочасте размењивачи топлоте.

Грејна површина је састављена од више лимених плоча, које су поређане једне иза других. Између плоча постоје танки зазори за струјање флуида. Величина грејне површине одређује колико ће се плоча користити за топлотну размену. Међусобно су причвршћени заједно, лемљени, варени како би им се побољшала конструкција и улога. Плоче су међусобно спојене у фиксном раму који представља главу. Флуиди улазе у плочаст размењивач топлоте кроз отворе на оквиру и дистрибуирају се између плоча. Простор између две узастопне плоче функционише као пролаз за флуиде. Улаз флуида кроз алтернативне путеве је контролисан постављањем заптивача на плочама.

Идеалан спој плочастих и добошасто цевастих размењивача топлоте, комбинујући најбоље карактеристике обе врсте размењивача топлоте (степен ефикасности, мале габарите плочастих размењивача топлоте са сигурношћу и отпорношћу на високе температуре и притиске добошасто цевастих размењивача топлоте), добијена је још једна врста плочастих размењивача топлоте и то плочасто-добошасте размењивач топлоте. Унутрашњост плоче су међусобно заварене тако да не постоје заптивке, што овом типу размењивача топлоте омогућава рад у температурном распону од $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, као и рад на врло високим радним притицима (до 200 бара).

Овакав тип размењивача је нашао своје место у готово свим областима где постоји потреба за разменом топлоте између два флуида – системи даљинског грејања (врло често као примарни размењивачи са капацитетима од по неколико десетина мегавата), у расхладној техници као испаривачи и кондезатори, у индустрији за грејање и хлађење хидрауличког уља.

Овакав тип размењивача топлоте био би идеалан за загревање стамбеног објекта у Крагујевцу, топлотног капацитета 500000 W.

Једна од највећих предности плочасто-добошастих размењивача топлоте је лако и брзо чишћење једне стране размењивача, због чега се овај тип размењивача врло често користи код великих котловских постројења где служи као примарни размењивач топлоте тј. као заштита котла од нечистоћа које би могле да стигну из топловодне мреже.

14 Литература

- [1] Лукић Н, Скрипта са предавања из предмета преноса топлоте и масе, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2017.
- [2] Бојић М., Хнатко Е, Термотехника, Машинки факултет, Крагујевац, 1987.
- [3] Ramesh K. Shah, Sekulic P. Dusan, Fundamentals of heat exchanger design, New Jersey, 2003.
- [4] Лукић Н, Скрипта са предавања из предмета Термоенергетски уређаји и постројења, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2019.
- [5] Томић М, Експериментално и нумеричко истраживање термо-струјних процеса у пакету перфорираних плоча, Докторска дисертација, Машински факултет у Нишу, 2015.
- [6] Доступно на: <https://www.euroheat.co.rs/catalog/izmenjivaci-toplote/>, дана 12.04.2020.
- [7] Доступно на: <https://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/981/820/izmenjivac-toplote-tipovi-opste-karakteristike-i-primena-u-gradjevinarstvu>, дана 27.03.2020.
- [8] Доступно на: <http://www.gesmex.com/en/products/xps-plate-and-shell-en/xps-form-and-function>, дана 12.04.2020.
- [9] Kakaç S., Liu H., Pramuanjaroenkij A., Heat exchangers, CR Pres, New York, 2012.
- [10] Доступно на: http://www.berglunds.se/sidor_en/lamell.html, дана 13.05.2020.
- [11] Доступно на:
<http://kb.engsoftware.com/display/ESKB/Difference+Between+the+Effectiveness-NTU+and+LMTD+Methods>, дана 14.05.2020.
- [12] Thulukkanam K., Karnopp D., Heat Exchanger Design Handbook, CRC Press, New York, 2013.
- [13] Hamid Nabati, Optimal pin fin heat exchanger surface, Malardalen University Sweden, 2008.
- [14] Доступно на: <https://www.slideshare.net/adlinilda/compact-heat-exchangers>, дана 23.04.2020.
- [15] Debeljković Lj. D., V. S. Mulić, G. V. Simeunović, Dinamika razmenjivača toplote I DEO, Čigoja štampa, Beograd, 2002.
- [16] Debeljković Lj. D., V. S. Mulić, G. V. Simeunović, Dinamika razmenjivača toplote II DEO, Čigoja štampa, Beograd, 2005.

- [17] Mitrović Z. Dinamika rekuperativnih razmenjiča toplote, Magistarska teza, Mašinski fakultet, Beograd, Beograd, 1991.
- [18] Debeljković Lj. D., Dinamika objekata i procesa, Mašinski fakultet, Beograd, 1983.
- [19] Debeljković Lj. D., Dinamika objekata i procesa, II izdanje, Mašinski fakultet, Beograd, 1989.