

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Пренос топлоте и масе

Број индекса: 727/2017

Драгана В. Мировић

**Размењивачи топлоте са мешалицом
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Небојша Лукић -ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Завршни рад

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

- Дефинише појам размењивача топлоте, објаснити њихову примену. Објаснити историјски развој.
- Класификовати размењиваче топлоте. Објаснити индиректне размењиваче топлоте, рекуперативне размењиваче топлоте, регенераторе као и размењиваче са флуидизованим слојем. Објаснити принципе рада директних размењивача топлоте као и њихово поређење са индиректним размењивачима топлоте.
- Објаснити размењиваче топлоте са мешалицом, где се они примењују, какав је њихов принцип рада.

Препоручена литература:

[1] Лукић Н, Скрипта са предавања из предмета преноса топлоте и масе, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2018.

[2] <http://www.thermopedia.com/content/1111/>,

[3] <http://williamscarver.com/wp-content/uploads/2014/09/Waukesha-Scraped-Surface-Heat-Exchangers.pdf>.

Крагујевац, октобар 2018

Ментор:
Проф. др Небојша Лукић

Садржај:

1. УВОД	5
2. Основни концепти размењивача топлоте	6
2.1. Појам и дефиниција.....	7
2.2. Историјски развој	9
2.3. Примена размењивача топлоте	11
3. Подела размењивача топлоте	13
3.1. Индиректни размењивачи топлоте	14
3.1.1. Регенератори	14
3.1.2. Рекуператори.....	15
3.1.3. Размењивачи топлоте са флуидизованим слојем	18
3.1.4. Основне једначине размене топлоте у размењивачу	19
3.2. Директни размењивачи топлоте	21
3.3. Поређење истомernih и супротносмерних размењивача топлоте.....	22
3.4. Пад притиска у размењивачу топлоте.....	23
4. Рекуператорски размењивачи топлоте	24
4.1. Плочасти размењивачи топлоте.....	24
4.2. Ваздушни размењивачи топлоте	25
4.3. Размењивач топлоте цев и омотач	26
4.4. Размењивачи топлоте за специјалне намене	27
5. Размењивачи топлоте са мешалицом	27
5.1. Опште карактеристике.....	27
5.2. Предности размењивача топлоте са мешалицом	29
5.3. Принцип рада.....	30
5.4. Динамички размењивачи са мешалицом	31
5.5. Подела размењивача топлоте са мешалицом	31
5.1.1. Ротирајући, цевасти динамички размењивачи топлоте са мешалицом.....	31
5.5.2. Повратни, цевасти динамички размењивачи топлоте са мешалицом.	35
5.5.3. Ротирајући, плочасти динамички размењивачи топлоте са мешалицом	36
6. Размењивачи топлоте – судови са мешалицом	36
6.1. Дупликатори	37
6.2. Судови са спиралом	39
6. Закључак	40
7. Литература.....	41

Abstract:

In this paper we present the basic principle, and ways of functions of heat exchangers. In this final work, the basic principles, the mode of operation and the functioning of the heat exchanger are attached.

The most common and most common heat exchangers are defined and classified. The modern concept of heat recovery heat exchangers is also presented. Wide application in industry, household, and technology give special importance to heat transfer, with special emphasis on scraped surface heat exchanger.

The basic types of scraped surface heat exchanger.

Keywords: exchanger, heat, scraped surface heat exchanger, principles.

Резиме

У овом завршном раду су приказани основни принципи, начин рада и функционисање размењивача топлоте. Дефинисани су и класификовани најчешћи и најзаступљенији размењивачи топлоте.

Приказана је и савремена концепција рекуператорских размењивача топлоте. Широка примена у индустрији, домаћинству, техници даје посебан значај размењивачима топлоте, са посебним освртом на размењиваче топлоте са мешалицом.

Приказани су основни типови размењивача топлоте са мешалицом.

Кључне речи: размењивач, топлота, размењивачи топлоте са мешалицом, принципи.

1.УВОД

У данашње време свет и савремен живот, би био 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.

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 кроз конвекцију, кондукцијуи зрачење. 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. Исти начин размишљања довео је до развоја боце топлом водом.

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. На пример највећи размењивач топлоте стоји на висини 81 метар и тежак 450 тона. Употреба размењивача топлоте је веома велика и широка почевши од лаптопова у нашим домовима, петрохемијској рафинерији, индустрији хране, пића, фармацеутским производима.

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.Основни концепти размењивача топлоте

Размењивач топлоте је уређај дизајниран да ефикасно преноси или "размени" топлоту између два или више флуида. Они могу пренети топлоте између течности и гаса (тј. течног-ваздушног размењивач топлоте) или два гаса (тј. ваздушни-ваздушни размењивач топлоте), или могу радити као течни размењивач топлоте. Размена топлоте могућа је између два или више флуида, између чврсте површине и флуида, као и између чврстих честица и течности, 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. Други пример је комора за хлађење ваздуха у климатизованим постројењима где се директним мешањем воде и ваздуха повећава његова релативна и апсолутна влажност. 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. 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. 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. 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. У многим гранама технике као што су: прехранбена индустрија, енергетика, хемијска индустрија, металургија, нафтна индустрија, јавља се потреба да се изврши размена топлоте између различитих носилаца топлоте. Носиоци топлоте се посматрају као радне средине, чији су најчешћи представници флуиди, између којих се размењује топлота.

С обзиром да се топлота једног флуида може предавати на више флуида и обрнуто, очигледно је да у самим процесима размене топлоте може учествовати више носилаца

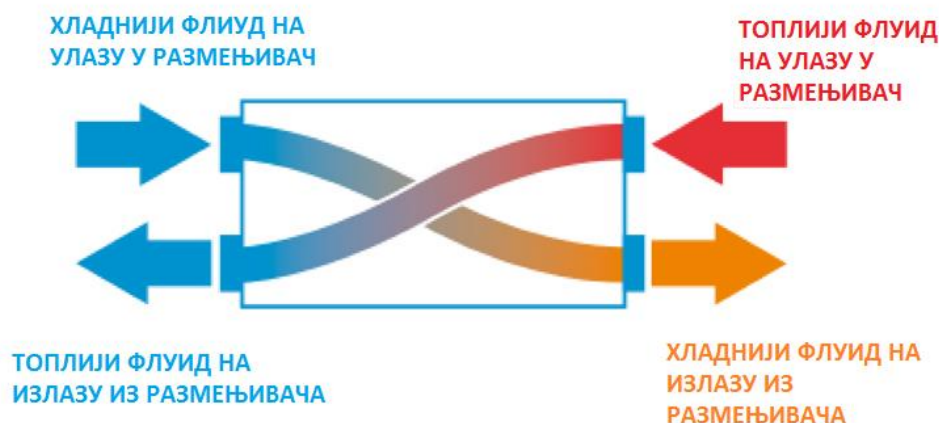
топлоте. Топлотни процеси, који се одвијају у размењивачима топлоте могу бити веома различити, а најчешћи су: кључање, кондензација, загревање, хлађење, испаравање, топљење и сложени процеси који представљају комбинацију претходно набројаних.

2.1. Појам и дефиниција

Размењивач топлоте је сложен уређај, који обезбеђује пренос топлотне енергије између два или више флуида на одређеној температури. Када говоримо о преносу топлоте требамо пре свега појснити, да грана инжењерства проучава процесе стварања, коришћење, конверзију и размену топлотне енергије и топлоте физичког система. Покретна снага преноса топлоте је резултат температурног градијента између два простора. Током преноса топлоте, топлотна енергија се увек креће у истом правцу. Када говоримо о механизму преноса топлоте, постоје три типа преноса топлоте, а то су:

- Кондукција или спровођење топлоте (Температура неке материје је пропорционална кинетичкој енергији молекула. Уколико кинетичка енергија молекула буде већа, то је температура те материје виша),
- Конвекција (при конвекцији топлота се простира кретањем делова самог флуида, течности или гаса кроз флуид, а флуида на чврсту површину, а чврсте површине на флуид),
- Зрачење (поред провођења или конвекције, зрачење је још један начин простирања топлоте. Такво простирање топлоте се дешава између било која два објекта која се налазе на различитим температурама, без обзира да ли је између њих вакуум или није).

Принцип рада једноставног размењивача топлоте (слика 1.1). 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.



Слика 1.1 - Принцип рада размењивача топлоте [2]

Размењивачи топлоте се користе или као појединачни уређаји или као компоненте већих термичких система, у широком спектру индустријских, комерцијалних производа и апликација за домаћинство, нпр. 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 нпр. нафте, док се друга загрева, потом хлађење ваздуха или других гасова са водом између фаза компресије и прегревања 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. Најпознатији размењивач 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.

2.2. Историјски развој

Са историјског аспекта посматрано дуг је и трновит пут који су прешли размењивачи топлоте у својм 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 година пре нове ере први импровизован вид централног грејања у виду “хипокауста”, примењивали су Кинези и Корејанци, а на наше просторе донели Римљани. 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. 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-е године R. Bloksma старији, је основао прву импровизовану фабрику, у подруму у Амстердаму, која је примарно било усмерена на поправку примитивних радијатора, а већ 1930-е 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-е године је отворен и погон за производњу радијатора за извоз, направљен први радијатор широког капацитета за возове, а 1950-е године алуминијумски радијатори налазе своју путању и до аутомобилске индустрије.

1938-е године Pontus Nyttе, син познатог шведског сликара Carl Larssona, започиње производњу размењивача топлоте у Шведској и преместа погон и производњу у Лунд. Исто тако, прва потреба и примитивна креација првог расхладног клима уређаја, датира још од 1840-е 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 - е 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 рад инжењера Willis Carrier је резултирао креацијом првог модерног електричног клима уређаја. Преко серије експеримената, дизајнирао је коначно и систем који је контролисао влажност ваздуха уз помоћ расхладних клема, 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- е године уграђен је први добро дизајниран клима ситем за хлађење позоришта у Metropolitan Theatru, у Лос Анђелесу.

Од 1970-е 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 процената.

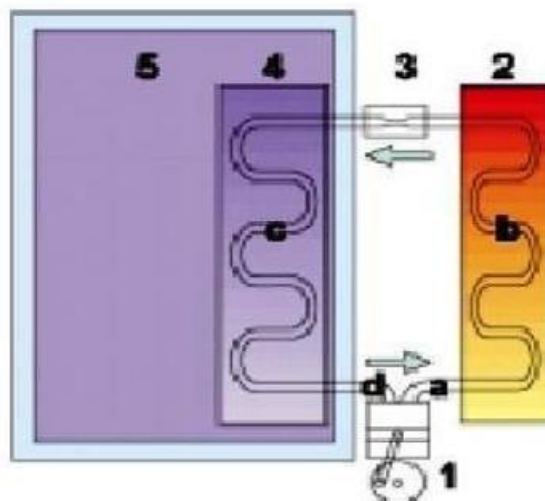
2.3. Примена размењивача топлоте

Све већа пажња се посвећује важној улози размењивача топлоте у многим применама. Топлотни измењивачи су већ неко време коришћени у комерцијалним и индустријским постројењима. Процес преноса топлоте кроз размењиваче топлоте флуид-флуид базиран је на основним особинама топлотне проводљивости. Када се додирују две независне коморе или кругови који носе течности са температурном разликом, топлота се увек креће према хладном флуиду, покушавајући да пронађе равнотежу. Два важна фактора у ефикасности преноса топлоте су површина која долази у контакт са изворима топлоте и материјалима који се користе за пренос топлоте.

Данашњи савремен живот, не би био у могућности да функционише у било којој сфери, почевши од кућне технике, превозних средстава, индустријске производње, без употребе размењивача топлоте. Широка употреба, савремен дизајн, неопходност даншњице 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. 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 система за грејање и хлађење, имају улогу у моторима фрижидера и замрзивача, да раде боље и ефикасније.

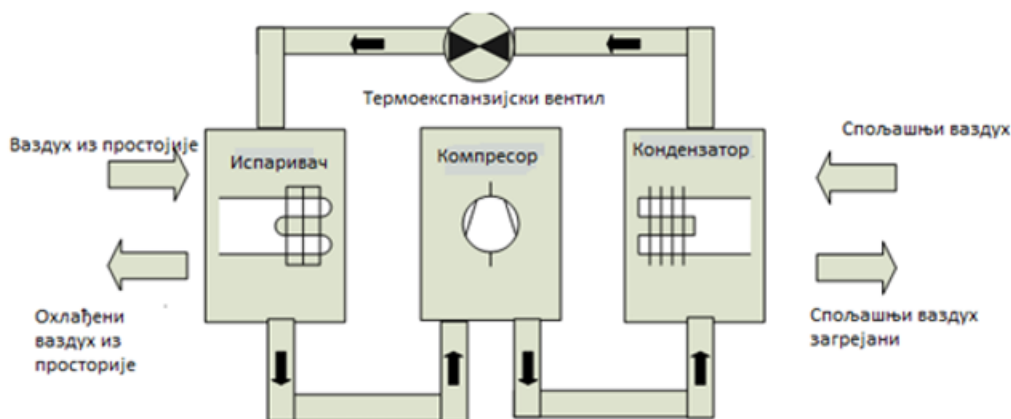
Фрижидери и клима системи на пример функционишу на тај начин што размењивачи топлоте уклањају вишак топлоте, одводе је и испуштају у течност, а потом одводе даље у атмосферу. Код фрижидера и замрзивача размењивач топлоте се налази позади уређаја. Принцип рада је такав да се у хладњаку сабија гас за хлађење, односно фреон, који приликом преласка из гасовитог у течно стање ослобађа топлоту, која напушта хладњак и одлази у атмосферу, како би се унутар уређаја постигла ниска температура. На слици 2.2. приказани су делови компресорског хладњака.



Слика 2.2. Делови компресорског хладњака 1. компресор, 2. кондензатор, 3. притисни вентил, 4. испаривач, 5. хлађени простор [4]

Систем рада клима ситема је такав (слика 2.3.), да код њих постоје по два размењивача топлоте. Први је у кућној просторији која се хлади, а вентилатором се преноси хладноћа у просторију, други размењивач је постављен ван куће. Радни флуид као течност улази у испаривач који се налази у унутрашњој јединици те проласком кроз цеви испарава. Топлота је потребна за процес испаравања, и ова топлота се узима из ваздуха просторије. На тај начин се ваздух кроз размењивач хлади. Након што је радна течност испарила, она у гасовитом стању кроз цевовод одлази до компресора у спољној јединици. Компресијом се радној материји повећава притисак и температура те таква улази у кондензатор, који се такође налази у спољној јединици, где поново прелази у течност. Процес кондензације генерише топлоту апсорбовану спољашњим ваздухом пролазом кроз кондензатор. Из кондензатора течни радни флуид долази до термоекспанзијског вентила у којем јој се смањују притисак и температура те таква улази у испаривач и поступак креће испочетка.

Испаривач и кондензатор су измењивачи топлоте који се састоје од бакарних цеви, у којима струји радна течност, повезане алуминијумским ламелама које повећавају размењивачку површину, а тиме и количину размењене топлоте.



Слика 2.3. Систем рада клима система. [5]

Многи индустријски процеси захтевају размењивач топлоте, да би могли да функционишу. У индустријским постројењима су обавезни за многе машине, хемикалије, воду, гас и друге супстанце, унутар сигурне радне температуре. Могу наћи примену још у хватању и преносу парних или издувних гасова, који се ослобађају као нуспродукт у току процеса, па се могу искористити на неком другом месту, самим тим повећава им се ефикасност и штеди новац.

Улога размењивача топлоте у хлађењу се може појаснити улогом за хлађење ваздуха или гасова водом, између фаза компресије и спречавање прегревања ваздуха за сагоревање доведено у котловску пећ, користећи топлоту димног гаса као грејни медиум.

Друга употреба укључује пренос топлоте из метала у воду у електранама, и поновно враћање енергије из издувне гасне турбине, преносом топлоте на компримовани ваздух до коморе за сагоревање.

Систем даљинског грејања у градовима функционише, тако што топлана загрева воду, сагоревањем угља, нафте, мазута. Та вода у затвореном систему, кружи градом, долази до зграде пролази кроз размењивач топлоте и враћа у топлану. У згради, вода путује и кружи од подстанице до радијатора у становима, на тај начин предаје се топлота да би се станови грејали. У овом примеру размењивач топлоте је сам радијатор јер предаје топлоту из воде ваздуху у стану који се греје на овакав начин.

Такође, сврха им је и отклањање вишак топлоте авионских мотора, рендген цеви, ласера, војне опреме и многе друге врсте опрема које захтевају хлађење, и на тај начин спречавају додатно прегревање.

3. Подела размењивача топлоте

Размењивачи топлоте се могу поделити по више критеријума: по начину размене топлоте, према начину протицања флуида кроз размењивач, начин конструкције, механизам рада...

Размењивачи топлоте се деле на:

- Размењивач топлоте са непосредним контактом флуида и
- Размењивач топлоте са посредним контактом флуида.

3.1. 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). Они се могу поделити на:

- регенераторе,
- рекуператоре и
- размењиваче са флуидизованим слојем.

3.1.1. 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 рекуператора.

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.

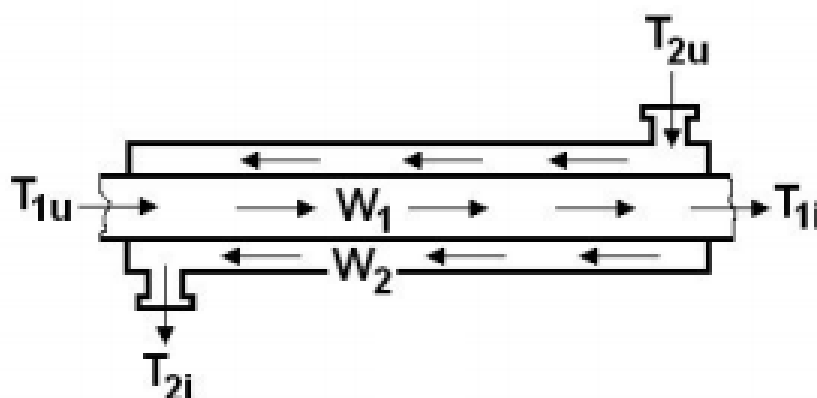
3.1.2. Рекуператори

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.

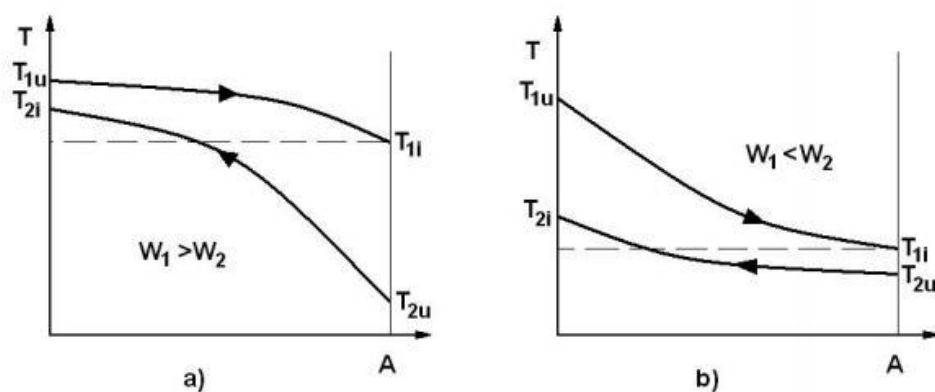
Правац и смер струјања флуида су један од критеријума по којима се размењивачи топлоте деле. Само промена смера струјања флуида, уз све друге непроменљиве услове размене топлоте, може значајно променити ефикасност размењивача. Основни смерови струјања флуида су истосмерни, супротносмерни и унакрсни.

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. Тако су на слици 2 и 2.2: T_{1u} (K) улазна температура топлијег флуида, T_{1i} (K) излазна температура топлијег флуида, T_{2u} (K) улазна температура хладнијег флуида и T_{2i} (K), излазна температура хладнијег флуида. Даље су W_1 , W_2 (W/K) водени еквивалент топлијег и хладнијег флуида, респективно.

Супротносмерни ток флуида је онај када два флуида, при размени топлоте у размењивачу, струје паралелно али у супротним смеровима. (Слика 3.1)

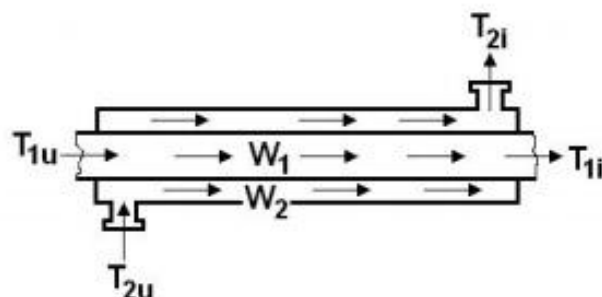


Слика 3.1. Приказ супротносмерног тока [6]

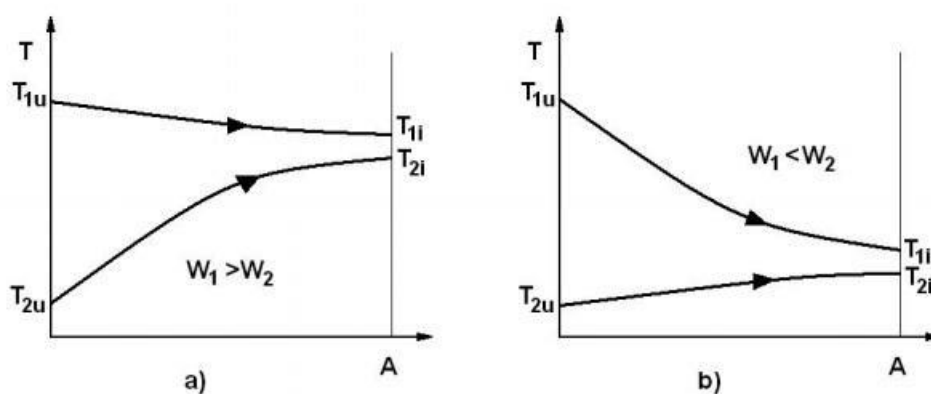


Слика 3.2 - Промена температуре топлијег и хладнијег флуида у размењивачу топлоте са супротносмерним током. [6]

Истосмерни ток флуида је онај када два флуида, при размени топлоте у размењивачу струје паралелно у истом смеру (слика 3.3).

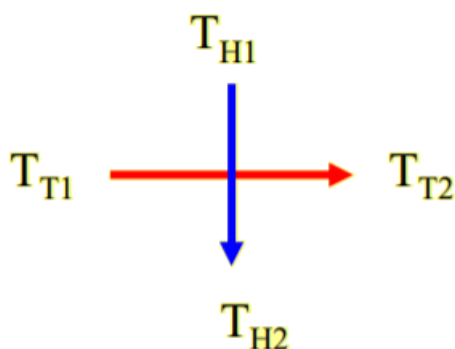


Слика 3.3 - Приказ истосмерног тока флуида [6]



Слика 3.4 - Промена температуре топлијег и хладнијег флуида у размењивачу топлоте са истосмерним током. [6]

Унакрсни ток флуида је онај када два флуида у размењивачу топлоте струје под углом већим од 0 степени, најчешће 90 степени (Слика 3.5).



Слика 3.5 - Унакрсни ток флуида [6]

Улаз у размењивач топлоте је увек дефинисан местом где у њега улази топлјији флуид, а излаз тамо где излази топлији флуид.

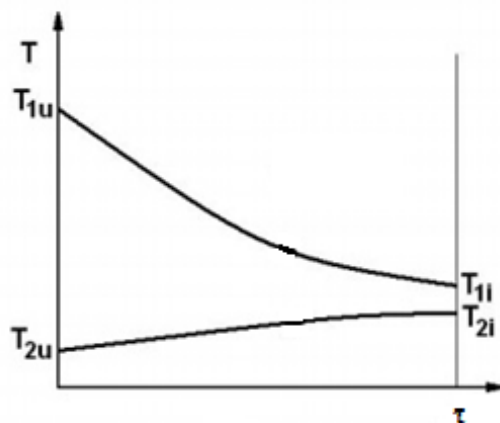
У размењивачима топлоте често се комбинују ови наведени смерови тока флуида, па се не може рећи, на пример да је размењивач чисто супротносмерни, истосмерни или унакрсни.

Флуиди који има велики топлотни капацитет имаће мали пад температуре дуж размењивача топлоте и обрнуто. Величина A (m^2), представља површину размене топлоте у размењивачу. На сликама се види да при већим разликама температуре топлији - хладнији флуид, топлотни флуks се интензивније размењује, па температура топлијег флуида убрзано опада, а хладнијег расте. У случају када је ова разлика мала, пад и пораст температуре флуида је успорен. На величину разлике температура од улаза у размењивач до његовог излаза директно утиче вредност воденог еквивалента флуида. Тако флуид са малом вредношћу W има значајну промену температуре дуж размењивача и обрнуто.

Са слике се види да је температура топлијег флуида увек виша од температуре хладнијег флуида, без обзира који део размењивача посматрали. На излазу из оваквих размењивача топлоте, разлика температуре топлији-хладнији флуид је најчешће мала и интензитет размене топлоте је низак. Са слике се види да је температура топлијег флуида у супротносмерном размењивачу топлоте може да буде и нижа од температуре хладнијег флуида. Наравно да не може бити случај на истој позицији у размењивачу али са слике 3.1 се види да је температура топлијег флуида на излазу нижа од температуре хладнијег флуида на излазу. Наравно излаз топлијег и хладнијег флуида у овом распореду није на истој страни размењивача. Због тога је у супротносмерном размењивачу разлика температуре топлији - хладнији флуид равномернија. Касније ће се показати да је то основни разлог зашто су супротносмерни размењивачи топлоте ефикаснији од истомерних при истим условима функционисања.

Са аспекта пролаз топлоте у размењивачу, може се посматрати размена топлоте на елементарној површини. Флуиди који мирују је занимљив случај размене топлоте између два флуида, на пример у два резервоара, где је мањи смештен у већи. Топлотни флуks ће се размењивати све до тренутка када се не изједначе температуре флуида у

резервоарима (систем се посматра изоловано од околине). У овом случају температуре флуида се неће.



Слика 3.6. - Промена температуре топлијег и хладнијег флуида који мирују. [6]

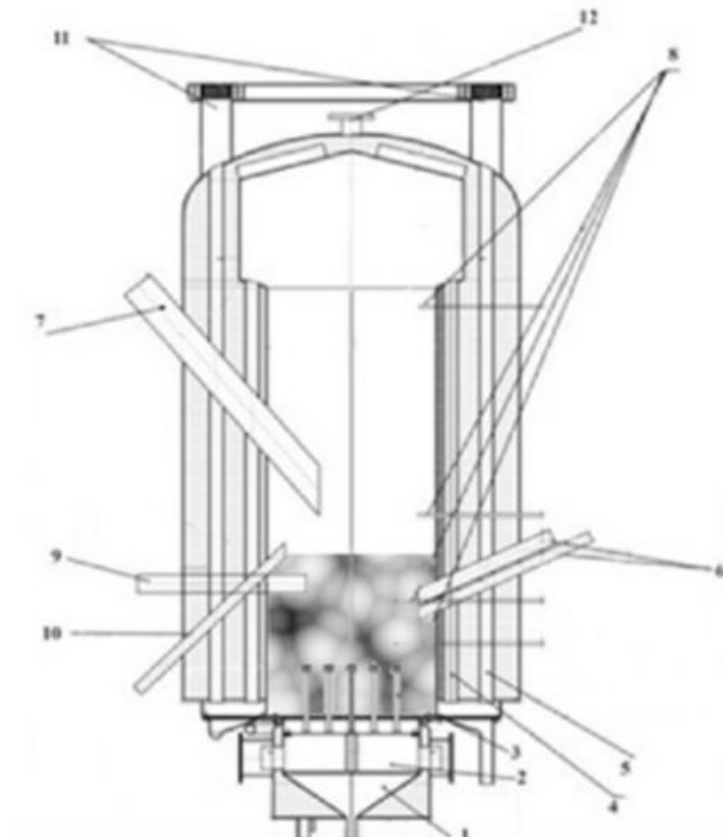
3.1.3. Размењивачи топлоте са флуидизованим слојем

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, транспортавање, складиштење и термичку обраду различитих материјала у чврстом стању.

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.

На слици 3.7. приказана је скица котла са флуидизованим слојем са позицијама, при сагоревању неконвенционалног горива. Сагоревањем материја мале топлотне моћи, ложиште се изолује, па се процес сагоревања у флуидизованом слоју одвија у адијабатским условима. Димни гасови након догоревања у простору изнад флуидизованог слоја улазе у вертикалне цеви прве и друге „промаје“ уроњене у водени омотач котла (хладњак димних гасова). При преласку из прве.у другу промају, део честица летећег пепела/ инертног материјала слоја се, услед инерције одваја изструје димних гасова, а на излазу из цеви друге промаје, у сепаратору честица-

циклону. У случају сагоревања материја са вишом топлотном моћи врши се хлађење флуидизованог слоја како би се спречиле високе температуре.



Слика 3.7. Скица котла са флуидизованим слојем [7]

1. Сабирник са воденим хлађењем за одвођење пепела и инертног материјала слоја,
2. Сабирна комора дистрибутора ваздуха за флуидизацију,
3. Печурке дистрибутора ваздуха,
4. Цеви прве промаје димних гасова,
5. Цеви друге промаје димних гасова,
6. Коси уводници за пнеуматско дозирање у слој,
7. Коси уводник за дозирање на слој,
8. Керамичке цеви за смештај термопарова за аквизицију температуре у и изнад слоја,
9. Хоризонтални уводник за дозирање чврстог горива у слој,
10. Преливна цев за одвођење пепела из слоја,
11. Сабирни димни канал,
12. Излаз воде из котла.

3.1.4. Основне једначине размене топлоте у размењивачу

Дуж површине размењивача топлоте температура топлијег флуида опада, а а хладнијег расте, што је разумљиво. Према првом закону термодинамике, уколико се занемаре

топлотни губици размењивача топлоте према околини, могу се написати две једначине за размењени топлотни флуks (топлотну снагу).

$$Q = m_1 C_1 (T_{1u} - T_{1i}) \quad (1)$$

$$Q = m_2 C_2 (T_{2i} - T_{2u}) \quad (2)$$

где су Q (W) размењени топлотни флуks у размењивачу топлоте између два флуида, m_1 , m_2 (kg/s) масени проток топлијег и хладнијег флуида, респективно, C_1 , C_2 (J/kg) специфична топлота при константном притиску топлијег и хладнијег флуида, респективно.

Како је за топлији флуид размењена количина топлоте негативна (одводи се) у једначини (1) је промењен редослед температура у загради, како би се добио позитиван топлотни флуks. Једначине (1) и (2) дефинишу чињеницу да сву количину топлоте коју преда топлији флуид мора да прими хладнији (губици се занемарују). Једначине (1) и (2) се могу написати као:

$$Q = W_1 (T_{1u} - T_{1i}) \quad (3)$$

$$Q = W_2 (T_{2i} - T_{2u}) \quad (4)$$

где су $W_1 = m_1 C_1$ (W/K) топлотни капацитет топлијег флуида и $W_2 = m_2 C_2$ (W/K) топлотни капацитет хладнијег флуида. Величина W_1 и W_2 се често називају и воденим еквивалентима. Из једначине (3) и (4) се може закључити да је однос разлика температура топлијег и хладнијег флуида дуж размењивача топлоте обрнуто пропорционалан њиховим воденим еквивалентима:

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{T_{1u} - T_{1i}}{T_{2i} - T_{2u}} \quad (5)$$

Са аспекта пролаза топлоте у размењивачу, може се посматрати размена топлоте на елементарној површини.

$$\delta Q = K \Delta T dA \quad (6)$$

где су: δQ (W) елементарно размењени топлотни флуks у размењивачу топлоте, K (W/m²K) коефицијент пролаза топлоте у размењивачу и dA (m²) елементарна површина размене топлоте.

Интеграцијом по целокупној површини размењивача топлоте, A (m²) се добија размењени топлотни флуks Q (W):

$$Q = \int_0^A K \Delta T dA \quad (7)$$

где је ΔT_m (K) средња разлика температуре дуж размењивача топлоте.

Може се показати да је та средња разлика температуре једнака:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_u - \Delta T_i}{\ln \frac{\Delta T_u}{\Delta T_i}} \quad (8)$$

За истосмерни размењивач топлоте, средња логаритамска разлика температуре је једнака:

$$\Delta T_M = \frac{(T_{1u} - T_{2u}) - (T_{1i} - T_{2i})}{\ln \frac{T_{1u} - T_{2u}}{T_{1i} - T_{2i}}} \quad (9)$$

а за супротносмерни је једнака:

$$\Delta T_M = \frac{(T_{1u} - T_{2i}) - (T_{1i} - T_{2u})}{\ln \frac{T_{1u} - T_{2i}}{T_{1i} - T_{2u}}} \quad (10)$$

За унакрсни ток флуида, како постоји велики број могућих конструкција и случајева, користи се следећи израз за средњу логаритамску разлику температура.

$$\Delta T_M = \Delta T_{m_u} = \varepsilon \Delta T \Delta T_{m_s} \quad (11)$$

где је $\varepsilon \Delta T$ (-) корекциони фактор за унакрсни ток флуида (у односу на супротносмерни ток, ΔT_{m_s}), функција од израза W_1/W_2 и $P = (T_{2i} - T_{2u}) / \Delta T_u$ као и констрикција размењивача са унакрсним током. У различитим приручницима се могу наћи дијаграми за одређивање овог корекционог фактора, у зависности од наведених фактора и конструкције размењивача топлоте

Када су при прорачуну размењивача познате само две улазне температуре T_{1u} и T_{2u} онда се из система једначина (1), (2) и (7) могу израчунати преостале две температуре и топлотни флуks за истосмерни ток.

$$T_{1u} - T_{1i} = \Psi_i (T_{1u} - T_{2u}) \quad (12)$$

и супротносмерни ток флуида у размењивачу топлоте:

$$T_{1u} - T_{1i} = \Psi_s (T_{1u} - T_{2u}) \quad (13)$$

где су: Ψ_i и Ψ_s (-) помоћне функције за истосмерни и супротносмерни ток, респективно.

Ове помоћне функције су једнаке:

$$\Psi_i = \frac{1 - e^{-(1 + \frac{W_1}{W_2}) \frac{KA}{W_1}}}{1 + \frac{W_1}{W_2}} \quad (14)$$

$$\Psi_s = \frac{1 - e^{-(1 - \frac{W_1}{W_2}) \frac{KA}{W_1}}}{1 - \frac{W_1}{W_2} e^{-(1 - \frac{W_1}{W_2}) \frac{KA}{W_1}}} \quad (15)$$

3.2. 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 атмосферним ваздухом хлади вода потребна за хлађење кондезатора парне турбине. Други случај 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 потројењима за сепарацију гаса, процеоима сушења итд.

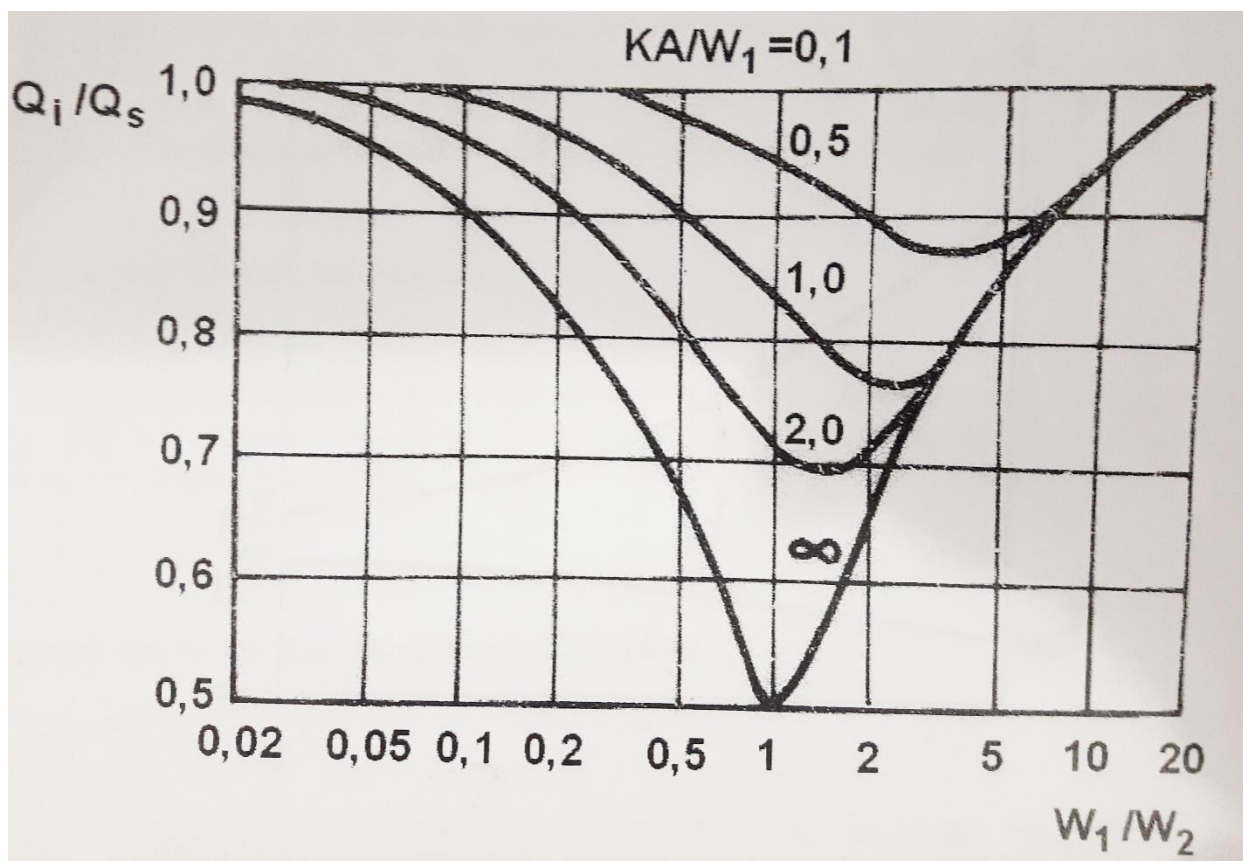
У поређењу са индиректним размењивачима топлоте директни:

- имају добар пренос топлоте,
- конструкција им је релативно јефтина,
- проблем замагљивања не постоји, због непостојања преградног зида између флуида.

3.3. Поређење истосмерних и супротносмерних размењивача топлоте

На основу поређења, испитивања су показала а 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 у 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 високих 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 кондезације 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.



Слика 3.8 - Поређење истосмерних и суротносмерних размењивача топлоте, при различитим условима функционисања [6]

3.4. Пад притиска у размењивачу топлоте

При прорачуну размењивача топлоте, потребно је познавати масене протоке топлијег и хладнијег флуида. Међутим, у зависности од примењеног размењивача, ови процеси се могу мењати. На пример, у случају да топлана испоручује топлији флуид према размењивачу топлоте. Према хидрауличкој шеми целокупног система, односно према расположивом паду притиска на прикључцима потрошача - размењивач, прилагодиће се и проток кроз размењивач. У случају да размењивач топлоте има велике отпоре струјања (мали пречници цеви, додатне препреке струјању) проток кроз њега ће бити мали. У супротном, проток ће бити већи али ће недостатак преграда и велики попречни пресеци струјања условити мале брзине и самим тим мали коефицијент пролаза топлоте.

Другим речима, за дефинисане услове постоји оптималана конструкција размењивача топлоте. Сваке накнадне измене у правцу смањења или повећања отпора струјања у размењивачу, под дефинисаним условима, водило би смањењу размењене количине топлоте.

Дакле, хидраулички прорачун размењивача топлоте (прорачун пада притиска) је исто тако важан као и термички. Када је размењивач отворен у односу на околину, тада се у

прорачун узима и пад притиска потребан за потискивање флуида (висина стуба течности). Отворене конструкције размењивача топлоте у значајно ређе од ових других.

4. Рекуператорски размењивачи топлоте

Рекуперативни размењивачи топлоте представљају посебну класу термодинамичких машина које служе за хлађење од којих је сваки од њих различит у односу на остале у неком садржају у компоненти и конструкцији. Општи принцип рекуперативних размењивача топлоте је да се у њима врши и грејање и хлађење флуида преко конструкције размењивача топлоте помоћу граничних површина између флуида који се у радном циклусу хлади, а након тога загрева.

У криогеној техници има посебну важност с обзиром да се употреба врло ниских температура користи као предуслов за функције посебних својстава нанотехнологије применљивих на савремене сензорске уређаје као што су модерно хлађени детектори инфра црвеног зрачења. По свом карактеру њихова конструкција подлеже захтевима детектора који се хлади као и систему на коме је смештен као пратећи термодинамички уређај намењен за радну функцију објекта. Сам објекат може бити са општим и посебним захтевима па самим тим рекуперативни размењивач може бити различит. Потребе објекта и њихово моделирање за регулацијом или без регулације као што је речено зависи и од типа али пре свега од наменских услова његовог коришћења као подсистема на одговарајућем системски интегрисаном склопу. Степен сложености размењивача топлоте и његове смештајне пратеће конструкције могу да захтевају посебне услове са додатним подсистемима и компонентама које интегрално обезбеђују понашање и управљање објектом који се хлади. Такав је пример представља посебан, у литератури познат уређај, као криогени минихладњак. Овакав уређај чеесто се користи на ракетним и муницијским самонавођеним подсклоповима у глави за самонавођење познатим под именом инфрацрвени координатор циља.

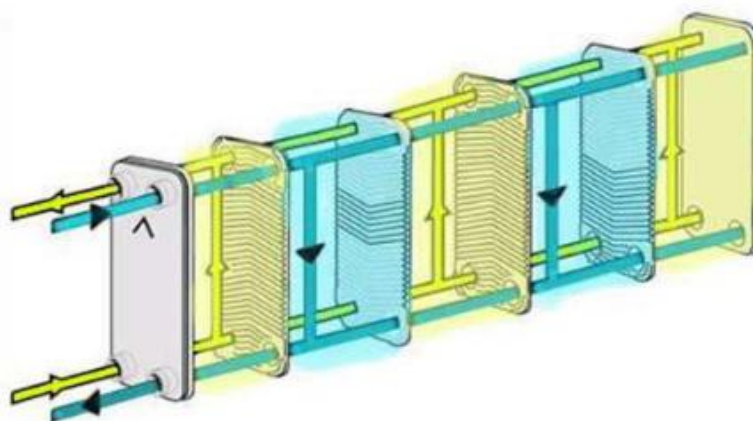
Савремене концепције рекуператорских размењивача топлоте можемо поделити у пет основних врста:

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

4.1. 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 међуобно 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. На слици 4.1 приказан је проток течности кроз размењивач.



Слика 4.1. Проток течности унутар плочастог размењивача. [9]

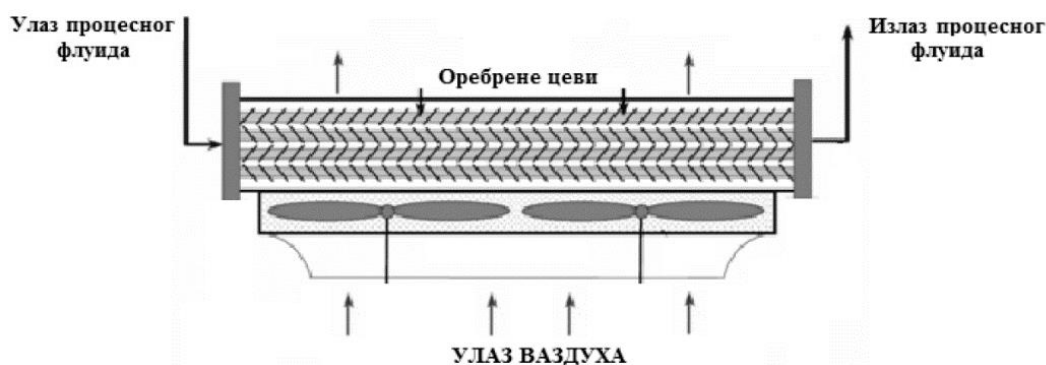
Плочасти размењивач топлоте је најфункционалнија врста размењивача топлоте са малом ценом, флексибилношћу, лако одржавање, и високим преносом топлоте. Дизајнирани су да достижу висок ниво турбуленције, што резултира највећи могући пренос топлоте и топлотни коефицијент уз најмањи могући пад притиска, 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-е године од стране доктора Richarda Seligman-а. 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.

4.2. Ваздушни размењивачи топлоте

Под размењивачима топлоте са оребреним цевима подразумевамо апарате код којих су цеви у снопу оребрене са спољашње стране. Кроз цеви апарат протиче процени или енергетки флуид, а са спољашње стране цевни токови. Уколико се овакви апарати користе за хлађење проценог или енергетког флуида, као хладнији флуид се може користити ваздух, па се ови апарати зову размењивачи топлоте хлађени ваздухом.

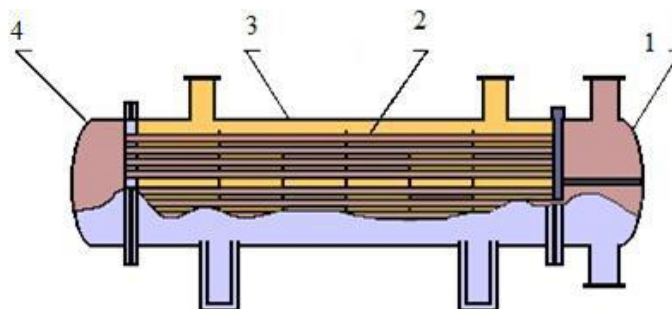
Струјање гаса, односно вазуха, се остварује принудно, помоћу вентилатора, а постоје и апарати са природним струјањем гаса на пример продукти сагоревања високе температуре. Вентилатори могу бити усисни или потисни, при чему се користе и аксијални и радијални вентилатори (у пракси се најчешће срећу усисни аксијални вентилатори). На слици 4.2 је шематски приказан размењивач топлоте са ваздушним хлађењем, мали интензитет прелаза топлоте између гаса и спољашње површине цеви се компензује релативно великом површином ребара. Проток ваздуха кроз ваздушне хладњаке се мења у зависности од локалних климатских услова у току године, изменом броја обртаја вентилаторског котла, променом угла лопатица вентилатора. Коришћење овог типа апарата се препоручује у подручјима без довољно воде за хлађење и када температурски режим дозвољава употребу ваздуха као хладијег флуида. Повећање интензитета хлађења се може остварити квашењем спољашње површине цеви помоћу воде која се распршује преко цевног снопа.



Слика 4.2. – Ваздушни размењивач топлоте [10]

4.3.Размењивач топлоте цев и омотач

Широка примена у индустрији, за грејање и хлађење течности. Састоји се од шкољке у којој се налазе цеви. Флуиди могу бити течност или гасови, један протиче унутар цеви, а други ван цеви унутар љуске. (слика 4.3)



Слика 4.3 – Размењивач топлоте цев и омотач [10]

- 1- Предња глава
- 2- Цевни склоп
- 3- Омотач
- 4- Задња глава

4.4.Размењивачи топлоте за специјалне намене

Специјални размењивачи топлоте обично су пројектовани као комбинација неколико основних типова измењивача топлоте, нпр. снопа цеви, размењивача топлоте или плоча.

Све специјалне размењиваче топлоте делимо на основу намене и употребе на:

- криогене,
- топлотне цеви,
- сушаре,
- ситем за исправање,
- пећи и коморе за сагоревање.

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.

5.1.Опште карактеристике

Иако се често класификују као размењивачи топлоте са мешалицом, неки размењивачи имају стругалице које заправо не додирују површину преко које пролазе, али се крећу у непосредној близини. Такви дизајни се могу назвати "размењивачи топлоте са чистачима" и могу бити пожељни, где се хабање површина или стругалица не може толерисати са механичке тачке гледишта или због утицаја контаминације.

Размењивачи топлоте са мешалицом могу радити пуни течности или течност може ући у размењивач као периферни ток. Први се могу монтирати вертикално или хоризонтално, али је за друге поменуте уобичајено, мада не искључиво, монтирање вертикално тако да течност тече надоле под дејством гравитације. Где се врши испаравање, на пример у процесу концентрирања, ово је преферирани аранжман; па се пара уклања под вакуумом са врха склопа испаривача. Време боравка у опреми може бити доста ниско; што је пожељно за прераду топлотно осетљивих течности. Салден (1987) расправља о агитираним танким филмским испаривачима, како их понекад називају. Осим већ поменутих предности, овај аутор истиче да је опрема погодна за вишенаменске примене и да је испаравање до сувог стања могуће ако постоји потреба за чврст производ.

Направљени су покушаји да се корелира пренос топлоте у опреми размењивачи топлоте са мешалицом и користе уобичајене безразмерне групе, укључујући Нуселт, Прантл и Реинолдсови бројеви који су заједнички многим корелацијама преноса топлоте, али такође укључују такозвани "ротацијски" Реинолдсов број дефинисан као:

$$\frac{D^2 N \rho}{\eta} \quad (16)$$

где је D пречник тела размењивача, N је брзина ротације, а ρ и η су густина течности и кинематска вискозност, респективно. У корелацији се такође може узети у обзир степен размера размењивача и број стругалица.

Имајући у виду сложеност геометрије, посебно састава стругалица, и неколико интеракцијских фактора, дизајн се обично базира на емпиријски одређеним параметрима изведеним из искуства. Размењивачи топлоте са мешалицом се, генерално, користе само за посебне примене.

Размењивачи топлоте са мешалицом се обично користе у прехранбеној, хемијској и фармацеутској индустрији за пренос топлоте, кристализацију и остале континуиране процесе. Идеални су за производе који су вискозни, лепљиви, који садрже честице или који захтевају одређени степен кристализације. Пошто ове карактеристике описују огромну већину прехранбених производа, размењивачи топлоте са мешалицом су посебно погодни за прехранбене производе који се пумпају. Током рада, производ се доводи у контакт са површином за пренос топлоте која се брзо и континуирано струже, чиме се површина излаже пролазу необрађеног производа. Осим одржавања високе и равномерне размене топлоте, стругалице такође обезбеђују истовремено мешање и агитацију. Размена топлоте за лепљиве и вискозне намирнице, као што су тешке салате, маргарин, чоколада, маслац, фондант и сладолед је могућа само уз помоћ размењивача топлоте са мешалицом. Високи коефицијенти преноса топлоте се постижу јер се гранични слој континуирано замењује свежим материјалом. Штавише, производ је у контакту са површином грејања само неколико секунди, а градиенти високе температуре могу се користити без опасности изазивања непожељних реакција. Размењивачи топлоте са мешалицом су разноврсни у употреби медијума за пренос топлоте и различитих операција у јединици које се могу извршити истовремено.

Мешање је кључна компонента за обраду у размењивачу топлоте са мешалицом, који се широко користе у прехранбеној, хемијској или фармацеутској индустрији за неколико термичких апликација као што су замрзавање, стерилизација, хлађење и желатинизација. Размењивач са мешалицом је дизајниран да се бави проблемима који настају приликом обраде прехранбених производа као што су маргарин, сладолед, чоколада, намази, кикирики путер, јогурт и џем. Специфичност ових размењивача је њен капацитет за термички третман великих вискозних течности. Широко се користе у индустрији хране за стерилизацију или хлађење високо вискозних флида као што су крем сир, кикирики путер и сладолед. Како су третиране течности у размењивачу топлоте са мешалицом веома вискозне, могу се појавити проблеми са замагљивошћу и значајно смањити топлотну ефикасност размењивача. Присуство ротирајућих лопатица омогућава да се избегне могућност проблема са замућењем на површини за размену топлоте и да се побољша третман топлотног преноса производом. Размењивач топлоте са мешалицом се састоји од кружног размака са цилиндричним ротором и статор. Ротор је опремљен са ножевима, који њиме управљају.

5.2.Предности размењивача топлоте са мешалицом

Размењивачи топлоте са мешалицом се користе за континуирану, затворену обраду, укључујући грејање, хлађење, мешање, кување и гелирање хране. Пренос топлоте је примарни елемент већине прехранбених процеса, тако да има размењивач топлоте који је способан да помера топлоту до и од производа како би их довезао на своју идеалну температуру без знатног смањења квалитета што је једна од многих предности. Говорећи о погодностима које пружају ови размењивачи, има још неколико ствари које вреди поменути.

Размењивачи топлоте са мешалицом омогућавају објекту да има више расположивих површина, а мало ствари у прехранбеној индустрији. На крају крајева, више површина подједнако се изједначава са више производње, што је пресудно за финансијску добробит сваког посла.

Део начина на који размењивачи топлоте са мешалицом могу уштедети толико простора је зато што је њихова укупна дужина минимална. Могу се монтирати вертикално или хоризонтално, што их чини идеалним за широк спектар простора.

Производња недоследних крајњих производа је велики проблем у прехранбеној индустрији, а велики део овог проблема је резултат спорих, неефикасних серијских операција. Размењивачи топлоте са мешалицом топлоте су изграђени како би се обезбедила јединственост, контрола и поновљивост за прераду хране.

Супериорне перформансе преноса топлоте и способност да се баве широким асортиманом вискозитета су оно што их чини неизоставним у индустријама разних области.

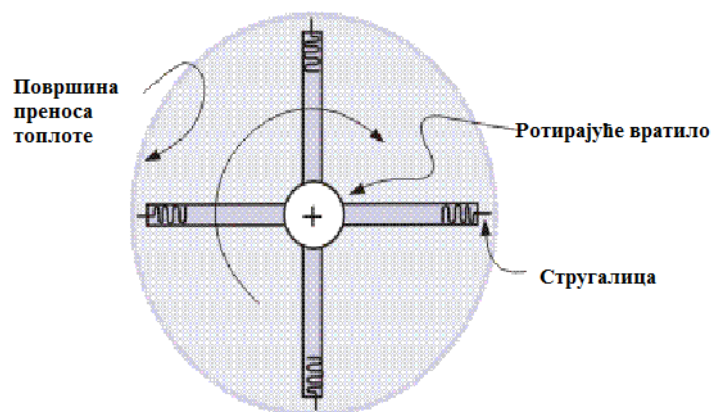
Контаминација је увек ризик када се бавите храном, посебно када су у игри велике разлике у температури. Због овог размењивача топлоте да брзо (али равномерно) хлади производе, раст бактерија због великих разлика температура више није значајан проблем.

5.3. Принцип рада

Због пратећих сила вуче повезаних са протоком вискозне течности, вискозни подслој је углавном веома дебео или, у многим случајевима, турбулентни услови у течности језгра не могу се постићи без неподношљивог губитка притиска и прекомерних трошкова пумпања. Један од начина за превазилажење проблема је физичко уклањање слојева течности на површини преноса топлоте и њихово мешање са централном течности у размењивачу топлоте. На тај начин, ако се течност загрева, топлота се преноси директно од течности са обода до централне течности. Ова техника је нарочито атрактивна за топлотно осетљиве течности, нпр. прехранбених или фармацеутских производа, због ниске додирне температуре између течности и површине за размену топлоте за задату укупну силу за покретање температуре.

У размењивачу топлоте са мешалицом, ротирајућа стругалица напуњена опругом стружу површину и ефикасно уклањају течност са ње. Алтернативно, стругалице се крећу супротно површини преноса топлоте под утицајем ротационих сила. У исто време док се уклањају слојеви течности, такође се уклања било која тврда супстанца нанета на површину, чиме се осигурава да је контаминација процесне течности сведена на минимум, што може бити пресудно уколико су укус и текстура важни квалитети производа.

Слика 5 илуструје принцип рада размењивача топлоте са мешалицом. Број приказаних стругалица је четири, али може се користити било који број стругалица, мада са повећањем броја стругалица, трошкови капитала расту. Осим тога, велики број стругалица није потребан, јер је временски интервал између сукцесивних стругања релативно кратак, тј. време задржавања честица течности на површини је релативно кратко. Избор броја лопатица је емпиријски заснован компромис између цене капитала, прихватљиве брзине ротације и вискозности течности. Због ротирајућих делова, трошкови одржавања могу бити релативно високи.



Слика 5. Принцип рада размењивача топлоте са мешалицом. [12]

5.4.Динамички размењивачи са мешалицом

Динамички размењивач топлоте са мешалицом дизајниран је да се суочи са неким проблемима који се налазе у другим врстама размјењивача топлоте. Повећавају пренос топлоте помоћу: уклањања слојева загађења, повећања турбуленције у случају високе вискозности и избјегавања стварања леда и других процесних нуспроизвода. Динамички размењивач топлоте са мешалицом садржи унутрашњи механизам који повремено уклања производ са зидова за пренос топлоте.

Најважније технологије за индиректан преносне топлотне користе цеви (размењивачи топлоте цев и омотач) или равне површине (плочасти размењивачи топлоте). Њихов циљ је размена максималне количине топлоте по јединичној површини стварањем што више турбуленције испод граничних вредности снаге пумпања.

Међутим, ове технологије за конформацију геометрије, израчунавање оптималних масених протока и других фактора повезаних са турбуленцом, смањују се када се појављује загађење, обавезујући дизајнере да се уклопе у знатно веће површине преноса топлоте. Постоји неколико врста загађења, укључујући акумулацију честица, преципитацију (кристализацију), седиментацију, стварање ледених слојева итд.

Још један фактор који представља тешкоће при преносу топлоте је вискозност. Високо вискозне течности имају тенденцију стварања дубоког ламинарног протока, стања са врло лошим стопама преноса топлоте и високог губитака притиска који укључује значајну снагу пумпања, често прекорачујући границе дизајна измјењивача.

Динамички размењивачи топлоте са мешалицом дизајнирани су да се суоче са горе наведеним проблемима. Повећавају пренос топлоте помоћу: уклањања слојева загађења, повећања турбуленције у случају високог вискозитета и избјегавања стварања леда и других процесних нуспроизвода.

Динамички размењивачи топлоте са мешалицом садрже унутрашњи механизам који повремено уклања производ са зида преноса топлоте. Страна производа се струже стругалицама причвршћеним за покретно вратило или оквир. Стругалице су израђене од крутог пластичног материјала како би се спречило оштећење стругане површине. Овај материјал је одобрен од стране FDA за случај апликације на храну.

5.5.Подела размењивача топлоте са мешалицом

У основи постоје три врсте динамичких размењивача топлоте са мешалицом у зависности од распореда стругалица.

5.1.1.Ротирајући, цеваста динамички размењивачи топлоте са мешалицом.

Вратило је постављено паралелно са осовином цеви, која није обавезна и обрће се на различитим фреквенцијама, од неколико десетина обртаја до више од 1000 обртаја у минути. Број стругалица осцилира између 1 и 4 и може искористити центрифугалне силе да саструже унутрашњу површину цеви. Примери су Waukesha Cherry-Burrell Votator II, Alfa Laval Contherm, Terlet Terlotherm и Kelstream's размењивачи топлоте са мешалицом.

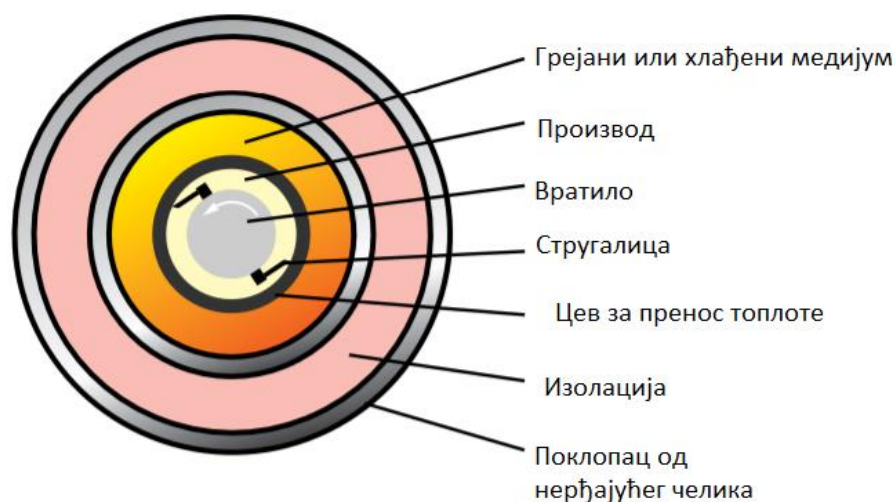
- **Waukesha Cherry-Burrell Votator II размењивач топлоте са мешалицом**

Votator-ов је најновији дизајн размењивача топлоте са мешалицом.

То је комбинација дизајнерских карактеристика проверене породице Votator, топлотних размењивача и нових иновација које резултирају робусним, економичним и хигијенским и размењивачем топлоте који се могу користити за грејање и хлађење производа широког спектра вискозитета, укључујући врло лепљиве производе за који захтевају кретање ексцентричног дизајна.

Votator-ова висока ефикасност и продуктивност резултат је једноставног концепта, топлоте или хладног континуираног покретања производа обезбеђивањем велике површине преноса топлоте за малу количину производа у затвореном простору.

У сваком Votator-евом размењивачу (Слика 5.1) , вратило се окреће у склопу цеви (светло жута). Производи пролазе кроз прстен који формира осовина и цев за пренос топлоте. Грејани или хлађени медијум тече у јакне (наранџаста). Јединица је изолована (розе) да би се смањио губитак енергије и заштитило особље. Изолација је од нерђајућег челика. У раду, ротирајуће вратило има сечива која скидају залепљене производе са зидова цеви за пренос топлоте, чиме се повећава пренос топлоте.



Слика:5.1- Приказ рада Votator-евог размењивача топлоте са мешалицом. [13]

- **Alfa Laval Contherm размењивач топлоте са мешалицом**

Размењивачи топлоте са мешалицом Contherm дизајнирани су за грејање и хлађење у континуираној и полу-континуалној преради многих производа за храну, здравље и лепоту.

Многи припремљени прехранбени производи брзо би прекривали зидове осталих врста размењивача топлоте, јер су вискозни или лепљиви, садрже честице или мењају стање када се загреје, због тога су неопходни размењивачи топлоте са мешалицом.

Нова генерација Contherm размењивача топлоте са мешалицом из Alfa Laval-а је ажурирана са четири нова побољшања перформанси која проширују могућности у овом подручју. То значи побољшане иницијативе за безбедност хране, још лакши третман производа и побољшана отпорност на хабање и хемијску корозију.



Слика:5.2.- Размењивачи топлоте са мешалицом Contherm[14]

У овом топлотном размењивачу, производ улази у цилиндар на дну и тече према горе. Средство за грејање или хлађење путује кроз уски прстенасти канал.

Ротирајуће сечиво непрекидно уклања производ из зида цилиндра како би се обезбедио јединствени пренос топлоте на производ. Производ улази у цилиндар у шаблонском вакуму у истом смеру као и ротирајући део, (слика5.2.) Тиме се очувава квалитет производа тако што се обезбеђује већа површина протока, нежније руковање производом и смањен пад притиска на улазу. Прехранбени производ напушта цилиндар на врху.

И проток производа и брзина ротора могу се разликовати како би одговарали одређеним особинама производа у цилиндру.

- **Terlet Terlotherm размењивач топлоте са мешалицом**

Terlotherm размењивач топлоте са мешалицом (Слика 5.3.) има велике предности у поређењу са другим системима. Terlet комбинује (конвенционалне) технике преноса топлоте, заједно са сопственим јединственим дизајнерским карактеристикама. Овај ојачани топлотни размењивач нуди многе предности за ефикасан пренос топлоте у комплексним производима.

Две концентричне површине за размену топлоте обезбеђују оптималан и ефикасан пренос топлоте без оштећења производа.

Terlotherm ради са ниским притиском и ниским обртним моментима, али и даље одржава исте брзине папучица као и друге јединице које раде под много већим обртним моментима и притисцима. Ово је кључна предност када говоримо о веома осетљивим или сложеним производима који се лако могу оштетити притисаком или превисоким брзинама обртаја. Ефикасан пренос топлоте постиже се сталним стругањем целе површине за размену топлоте. Уређај за детекцију цурења обезбеђује непосредну индикацију било ког цурења на заптивку вратила.



Слика: 5.3. Вертикални Terlet Terlotherm размењивач топлоте са две концентричне површине. [15]

- **Kelstream's размењивачи топлоте са мешалицом.**

Kelstream размењивач топлоте са мешалицом је вертикални размењивач топлоте (Слика5.4.) који се користи за грејање и / или хлађење средње вискозних производа, као што је пире кромпир.

Kelstream је доступан у распону модела од 0,5 m² до и укључујући 7,0 m² за капацитете у распону од 50 kh/h до капацитета 10.000 kh/h по јединици.

Предности Kelstream -овог размењивача топлоте су:

- Две концентричне површине за размену топлоте, како би се обезбедио ефикасан пренос топлоте,
- Ефикасан пренос топлоте континуираним очвршћавањем целокупне површине,
- Велика површина за грејање по јединици на малом отвору.



Слика:5.4.-Kelstream размењивач топлоте са мешалицом.[16]

5.5.2.Повратни, цевasti динамички размењивачи топлоте са мешалицом.

Вратило је концентрично на цев и помиче уздужно без ротације. Фреквенција се креће између 10 и 60 захвата у минути. Стругалице се могу разликовати у броју и облику, од жлеб аранжмана до перфориране диск конфигурације. Пример је HRS(Heat Exchangers Unicus).

- **HRS(Heat Exchangers Unicus) топлотни размењивач са мешалицом**

HRS Unicus топлотни размењивач са мешалицом идеални су за индустријску и хигијенску употребу. На основу традиционалне шкољке и цеви размењивач топлоте,

Unicus има стружни елемент унутар сваке унутрашње цеви која се креће напред и назад

хидрауличним деловањем, (Слика5.5.) Ефекат стругања је двоструки, то осигурава да се потенцијално загађење минимизује држањем зида цеви чистим док повећава турбуленцију и брзину преноса топлоте. Овај дизајн чини Unicus идеалним размењивачем топлоте због велике вискозности течности. Примењују се за грејање/хлађење, пастеризацију, кристализацију и испаравање.



Слика: 5.5- Елементи Unicus-a[17]

5.5.3.Ротирајући, плочасти динамички размењивачи топлоте са мешалицом.

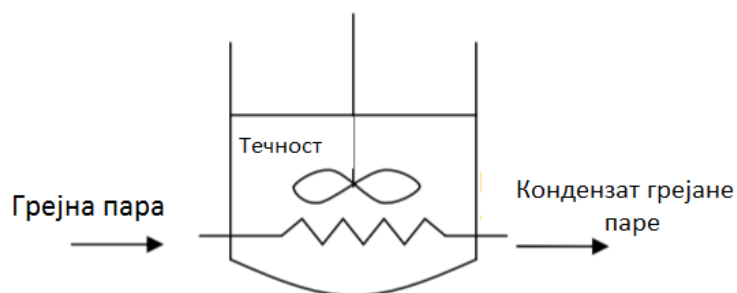
Стругалице стружу у серији вањску површину кружних плоча унутар шкољке. Течност за грејање/хлађење протиче унутар плоча. Фреквенција је око неколико десетина обртаја у минути. Пример је HRS Spiratube T-Sensation.

6.Размењивачи топлоте – судови са мешалицом

Постоје два основна типа оваквих уређаја:

- дупликатори (грејна пара се кондензује у дуплим зидовима суда)
- судови са спиралом (грејна пара се кондензује у спиралној цеви која се налази у суду)

На слици 6. приказан је шематски приказ размене топлоте између грјане паре и флуида који се загрева.



Слика 6. Размена топлоте између грејне паре и флуида[18]

Диференцијална једначина која описује процес размене топлоте између грејне паре и флуида који се загрева гласи:

$$m \cdot c \cdot d(T - T_1) = k \cdot A \cdot (T_p - T) \cdot d\tau \quad (17)$$

$$t_j \cdot \int_0^\tau d\tau \frac{m \cdot c}{A} \cdot \int_{T_1}^{T_2} \frac{1}{k} \cdot \frac{d(T-T_1)}{T_p-T} \quad (18)$$

m – маса флуида који се загрева (kg)

c – специфични топлотни капацитет флуида који се загрева (kJ/kgK)

k – коефицијент пролаза топлоте са грејне паре на раствор (kW/m²K)

A – површина за размену топлоте (m²)

T_p – температура кондензације грејне паре (K)

T_1 – температура флуида на почетку процеса загревања (K)

T_2 – температура флуида на крају процеса загревања (K)

τ - време трајања процеса загревања

6.1.Дупликатори

Дупликатори (слика 6.1) се примењују у производњи јогурта и сирева у мини млекарама или џема, ратлука и зимнице за следеће операције: укување, пастеризацију, ферментацију, растапање. Опремљени су системом за грејање и хлађење и мешалицом према технолошком захтеву. Постоје две варијанте: отвореног типа и пуфер дупликатори затвореног типа који раде под притиском 0,9 бара. Први се користе за истакање пумпом или слободним падом, а други за истакање под притиском ваздуха.

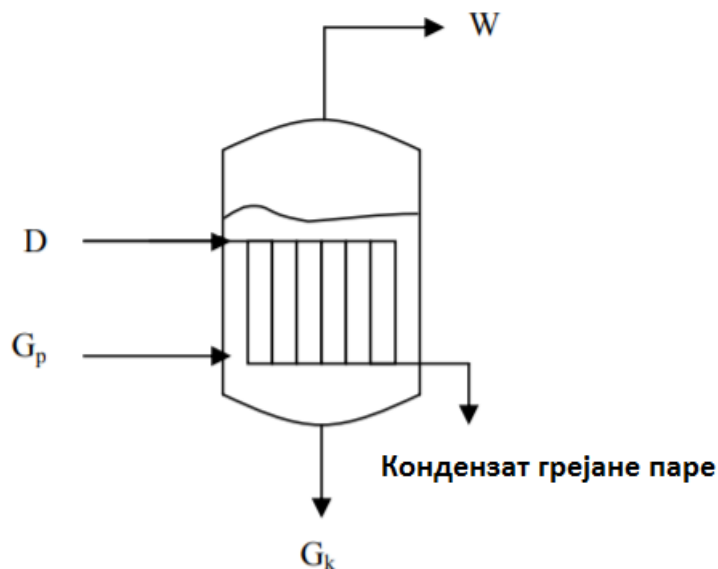


Слика:6.1- Дупликатор[19]

- **Укување**

Укување је технолошка операција чији је циљ повећање концентрације суве материје полазног раствора. До повећања концентрације суве материје долази услед одстрањивања једног дела течност грејна пара кондензат грејне паре воде која се налази у полазном раствору. Наиме у укувачима се водени раствор најпре загрева до температуре кључања а затим и испарава један део воде из полазног раствора.

Са аспекта укувавања сваки раствор састоји се из две компоненте, воде и суве материје (слика 6.2). Под концентracијом суве материје подразумевамо масени удео суве материје у раствору. Водену пару коју одстрaнимo из полазног раствора (W) називамо секундарна пара, а водену пару која служи за загревање полазног раствора називамо грејна (примарна) пара. Решавање практичних проблема из укувавања вршимо постављањем билансних једначина за посматрани укувач (или више њих).



Слика 6.2.. Процес укувавања[18]

Општи материјални биланс:

$$G_p = G_k + W \quad (19)$$

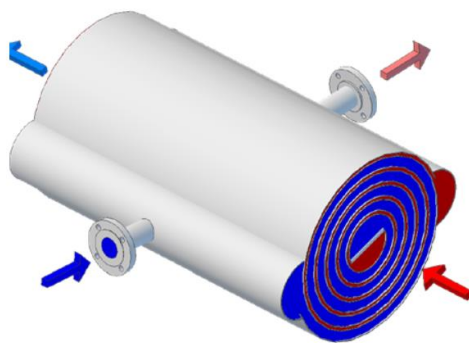
G_p - масени проток полазног раствора (ks/s)

G_k - масени проток концентрисаног раствора (kg/s)

W - масени проток секундарне паре (kg/s)

6.2. Судови са спиралом

Измењивач топлоте са спиралном плочом је (слика 6.3.)заправо породица размењивача топлоте базирана на основном спиралном језгру типа. Разноврсни спирални размењивачи топлоте могу се створити додавањем или уклањањем заварених шавова и уређаја главе. Ова свестраност чини спиралу атрактивним за многе услуге и апликације.



Слика 5.5. Размењивач топлоте са спиралном плочом[20]

6.Закључак

У данашњој ери, експанзије технике и машинства, савремен свакодневни живот би био другачији без употребе размењивача топлоте. Многе студије и анализе се односе на размењиваче топлоте а све у циљу побољшавања њихове функције, и односе на питања:

- како постићи што компактније размењиваче топлоте,
- како достићи што већу температурну ефикасност,
- како направити што бољи баланс између преноса топлоте и пада притиска?

Свим овим питањима с тенденцијом побољшавања и отклањања недостатака, баве се инжењери у пракси.

Детаљном анализом размењивача топлоте, на основу њихове грађе, конструкције, топлотне перформансе долазимо до закључка да су размењивачи топлоте са мешалицом врло компактан тип.

Размењивачи топлоте са мешалицом револуционисали су индустрију прераде хране на много начина. Оне чине компаније профитабилнијим, чине купце и раднике сигурнијим, а додатно олакшавају производни процес. Размењивачи топлоте са мешалицом најзаступљенији су у прехрамбеној индустрији, где су присутни веома вискозни и лепљиви материјаликоји садрже честице или који захтевају одређени степен кристализације. Одличне перформансе преноса топлоте и способност да се баве широким асортиманима вискозитета су оно што их чини неизоставним у индустријама разних области. Иако нема говора о будућности, вероватно је да ће размењивачи топлоте и даље бити у близини предње стране када су у питању технологије обраде хране.

Из свега наведеног можемо закључити ови размењивачи топлоте заузимају посебно место, да су врло популарни и данашњи живот би био другачији без њихове примене и употребе.

7. Литература

[1] Доступно на:

<http://www.explainthatstuff.com/how-heat-exchangers-work.html>, дана 26.09.2018.

[2] Доступно на:

http://www.nfan.co.uk/what_are_heat_recovery_systems, дана 26.09.2018.

[3] Доступно на:

<http://mahans.com/the-evolution-of-heat-exchangers/> . дана 28.09.2018.

[4] Доступно на:

<http://www.mojaenergija.hr/index.php/me/Knjiznica/Teme/Energetska-ucinkovitost/Energetska-ucinkovitost-u-kucanstvu/Kucanski-uredaji-i-rasvjeta/Hladnjaci-i-zamrzivaci>, дана 2.10.2018.

[5] Доступно на:

<http://www.frigokor.hr/Saznajvi%C5%A1e/Oklimaure%C4%91ajima/tabid/328/Default.aspx>, дана 4.10.1018.

[6] Лукић Н, Скрипта са предавања из предмета преноса топлоте и масе, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2018

[7] Доступно на:

<http://www.smeits.rs/include/data/docs0274.pd>, дана 5.10.2018.

[8] Доступно на:

<http://moodle.mfkg.rs/course/view.php?id=187>, дана 5.10.2018.

[9] Доступно на:

<https://www.onda-it.com/eng/news/how-a-plate-heat-exchanger-works/plate-heat-exchanger-working-principle>, дана 6.10.2018.

[10] Доступно на:

<http://www.thermopedia.com/content/832/>, дана 8.10.2018.

[11] Доступно на:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16527753>, дана 17.08.2018.

[12] Доступно на:

<http://www.thermopedia.com/content/1111/>, дана 17.10.2018.

[13] Доступно на:

<http://williamscarver.com/wp-content/uploads/2014/09/Waukesha-Scraped-Surface-Heat-Exchangers.pdf>, дана 17.10.2018.

[14] Доступно на:

<https://www.alfalaval.com/sk/products/heat-transfer/scraped-surface-heat-exchangers/Single-scraped-surface-heat-exchangers/contherm-scraped-surface-heat-exchangers/> дана 17.10.2018.

[15] Доступно на:

<https://holmach.wordpress.com/2018/03/13/holmach-to-support-terlet-at-anuga/> ,дана 17.10.2018.

[16] Доступно на:

<https://www.potatopro.com/products/kelstream-scraped-surface-heat-exchanger> 17.10.2018

[17] Доступно на:

<http://cdn.hrs-he.com/en/resources/downloads/hrs-u-series.pdf>

[18] Доступно на:

https://www.afc.kg.ac.rs/files/data/upis/Tehnoloke_operacije_2_-_Toplotne_operacije.pdf, дана 5.10.2018

[19] Доступно на:

http://www.bipom.org.rs/Produkti/pr-kategorije-pdf/38.02%20Pasterizator-duplikator_POMAK-S_srp.pdf ,дана 6.10.2018

[20] Доатупно на:

<http://www.elancoheatexchangers.com/spiral-heat-exchangers.html>, дана 6.10.2018