

**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: 714/2011

Младен Љ. Јовић

**Размењивачи топлоте са ваздухом
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Небојша Лукић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да да преглед размењивача топлоте свих конструкција, која раде са ваздухом.

Препоручена литература:

- [1] Н. Лукић, Скрипта предавања Пренос топлоте и масе, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2011.
- [2] Ф. Бошњакловић, Наука о топлини, Техничка књига, Загреб, 1950.
- [3] М. Поповић, Грејање и проветравање, Машински приручник „Техничар“, Грађевинска књига, Београд, 1963.

Крагујевац, датум:

ментор:

Проф. др Небојша Лукић

САДРЖАЈ:

1 УВОД	6
1.1 Ваздух као флуид за размену топлоте	6
1.1.1 Хемијске карактеристике ваздуха	6
1.1.2 Физичке карактеристике ваздуха	7
2 РАЗМЕЊИВАЧИ ТОПЛОТЕ	9
2.1 Подела размењивача топлоте	9
2.2 Основни смерови струјања флуида у размењивачу топлоте.....	10
2.3 Основне једначине размене топлоте у размењивачу	11
3 РЕКУПЕРАТОРСКИ РАЗМЕЊИВАЧИ ТОПЛОТЕ САВРЕМЕНИХ КОНЦЕПЦИЈА	14
3.1 Ваздушни размењивачи топлоте.....	14
3.1.1 Ваздушни кондензатори.....	15
3.1.2 Хладњаци са течношћу	17
3.1.3 Хладњаци испаривачи	20
4 РАДИЈАТОРИ И КОНВЕКТОРИ	25
4.1 Радијатор	25
4.2 Прорачун топлотног учинка радијатора.....	34
4.3 Конвектори.....	38
5 ТЕХНИЧКИ ПРОРАЧУН И ИЗБОР РАДИЈАТОРА	42
5.1 Карактеристике објекта	42
5.2 Прорачун топлотних губитака објекта.....	43
5.3 Одабир радијатора.....	46
6 ЗАКЉУЧАК	50
7 ЛИТЕРАТУРА	51

РЕЗИМЕ

Размењивачи топлоте су уређаји чији је задатак, размена топлоте између два (или више) флуида. У размењивачу топлоте увек постоји топлији и хладнији флуид. Ови уређаји имају широку примену у техници, у небројено много примена.

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 гасне фазе током размене), прибегава се оребрењима цеви и коришћењем вентилатора (осим код радијатора).

Ваздухом хлађени кондензатори или, популарно названи, ваздушни кондензатори, примењују се у инсталацијама за хлађење разних величина и намена. Досадашња примена ваздухом хлађених кондензатора била је оријентисана искључиво на комерцијалне расхладне уређаје и клима-уређаје мањих капацитета.

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. Хладњак служи за хлађење ваздуха у летњем и прелазним периодима. Конструктивно се не разликује од грејача. И хладњаци су, као и грејачи израђени од оребрених цеви.

Када се ваздух хлади у размењивачу коришћењем расхладног флуида који испарава, ради се о испаривачима. Хладњаци са директним испаравањем раде са примарним расхладним флуидом. Топлота потребна за испаравање расхладног флуида одузима се од ваздуха који струји кроз хладњак. Смер струјања није битан као код водених хладњака, јер је температура површине хладњака константна.

Радијатори носе своје име према томе јер су конструисани да одају топлоту зрачењем. У ствари они већи део топлоте одају конвекцијом, а само један део зрачењем. Због тога их често сусрећемо и под именом конвектори.

Преношење топлотне енергије из котла врши се цевним водоводима, а топлота се депонује у размењиваче топлоте (радијатори) одакле се преноси на просторију коју треба загрејати. Грејна тела су дакле завршни део постројења за централно грејање. Без обзира на врсту грејних тела начин дејства је овај: флуид (пара или вода) који је загрејан у котлу долази у грејно тело и пролази кроз њега, загрева га, при чему се сам расхлађује. Грејно тело чија је површина топлија од околине у којој се налази, одаје услед тога своју топлоту околини.

Прорачун топлотних губитака је рађен помоћу софтвера „Калкулатор топлотних губитака – Microm“¹. Избор радијатора начињен је према прорачуну топлотних губитака из каталога произвођача радијатора “Југотерм”².

Кључне речи: ваздух, флуид, размењивач топлоте, радијатор, прорачун, топлотни губици.

ABSTRACT

Heat exchangers are devices whose task is to exchange heat between two (or more) fluids. There is always a warmer and cooler fluid in the heat exchanger. These devices have wide application in technology, in countless applications.

Since the air has very poor physical characteristics from the aspect of heat exchange (low density, specific heat, low thermal conductivity) in cases where one of the fluids in the heat exchanger is air (or possibly another gas without changing the gas phase during the exchange), it is used with pipe trim and using a fan (except for radiators).

Air-cooled condensers or, popularly called, air-condensers, are used in cooling installations of various sizes and purposes. The former application of air cooled condensers has been embodied exclusively on commercial cooling devices and small-capacity devices.

When the air is cooled in the heat exchanger using cold water without changing the phase (water for example), it is cooler with liquid. Since there is no gaseous phase in the pipes, these are somewhat smaller in these exchangers. The refrigerator serves for air cooling in the summer and the transitional periods. It is not structurally different from the heaters. And refrigerators, as well as heaters made of ribbed tubes.

When the air is cooled in a heat exchanger using a refrigerant evaporator, it is a vaporizer. Direct-evaporator coolers work with primary coolant. The heat required to evaporate the cooling fluid is subtracted from the air flowing through the refrigerator. The flow direction is not important for water coolers because the temperature of the coolant surface is constant.

Radiators carry their name accordingly because they are designed to give heat radiation by radiation. In fact, they spend most of their heat convection, and only one part of the radiation. That's why we often meet them as convectors.

The transfer of heat from the boiler is done by piping water pipes, and the heat is deposited in the heat exchangers (radiators) from where it is transferred to the room to be heated. The heating bodies are therefore the final part of the central heating plant. Regardless of the type of heating body, the mode of action is this: the fluid (vapor or water) that is heated in the boiler enters the heating body and passes through it, heats it, and cools itself. A heating body whose surface is warmer than the environment in which it is located gives its heat to the surrounding environment.

The heat loss calculation was done using the software "Heat loss calculator - Microma". The choice of radiators is made according to the calculation of heat losses from the catalog of the manufacturer of radiator "Jugoterm".

Keywords: air, fluid, heat exchanger, radiator, calculation, heat losses.

1 УВОД

1.1 Ваздух као флуид за размену топлоте

1.1.1 Хемијске карактеристике ваздуха

Атмосферски сув ваздух је састављен (запремински удео) од 78,08% азота, 20,95% кисеоника, 0,93% аргона, 0,03% угљен-диоксида, док се остали присутни гасови налазе у веома малим количинама (неон, хелијум, криптон, ...). Међутим, у природи практично не постоји сув ваздух, напред дефинисаног састава, већ он увек у мањој или већој мери садржи водену пару. Мешавина сувог ваздуха и водене паре се назива влажан ваздух. Како се при атмосферским условима и сув ваздух и водена пара практично понашају као идеални гасови (са веома малим одступањем) за њих ће важити термодинамичка једначина стања идеалног гаса, а њихова мешавина ће се посматрати као мешавина идеалних гасова. У овој мешавини атмосферског влажног ваздуха количина сувог ваздуха је непроменљива, док количина водене паре може значајно варирати, у зависности од услова.

Влага у ваздуху се може појавити у сва три агрегатна стања (пара, капљице-магла и кристали леда-иње), а влажан ваздух при томе може бити хомогена (ваздух и пара) или хетерогена мешавина (ваздух, пара, капљице воде и/или кристали леда).

Количина влаге коју влажан ваздух може садржати у парном стању, зависи пре свега од температуре ваздуха. Све док је парцијални притисак водене паре у ваздуху, као компоненте мешавине, нижи од притиска засићења водене паре за дату температуру влажног ваздуха, ова мешавина је у могућности да и даље прима влагу у виду паре, испаравањем у окружењу. У овом случају се ради о незасићеном влажном ваздуху.

Уколико парцијални притисак водене паре у мешавини (влажном ваздуху) достигне вредност засићења за постојећу температуру, водена пара постаје сувозасићена, а влажан ваздух засићен. Температура при којој долази до преласка водене паре у сувозасићено стање, при њеном константном парцијалном притиску назива се тачка росе. Даљим снижавањем ове температуре долази до кондензације вишка влаге у ваздуху и до појаве магле (хетерогена мешавина влажног ваздуха). Процеси преласка влажног ваздуха из незасићеног у засићено стање и обратно, су стално присутни у атмосфери.

У специјалним случајевима чисте атмосфере, не мора доћи до кондензације вишка паре иако је температура влажног ваздуха нижа од тачке росе. Тада је реч о презасићеном ваздуху, а разлог лежи у недостатку иницијалних центара за кондензацију у ваздуху.

1.1.2 Физичке карактеристике ваздуха

Од физичких карактеристика ваздуха, најважније су:

- Густина $\rho, (kg/m^3)$
- Динамичка вискозност $\mu, (Pa \cdot s)$
- Кинематска вискозност $\nu, (m^2/s)$
- Специфична топлота при константној запремини $c_v, (J/kgK)$
- Специфична топлота при константном притиску $c_p, (J/kgK)$
- Температурна проводност $a, (m^2/s)$
- Топлотна проводљивост $\kappa, (W/mK)$

При температури од 20°C и атмосферском притиску од 1 *bar*, дефинисане величине износе:

$$t = 20^\circ\text{C}, \quad p = 1 \text{ bar}$$

Ваздух

$$\rho = 1,19 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu = 18,1 \cdot 10^{-6} Pa \cdot s$$

$$\nu = 15,1 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$c_v = 0,719 \frac{kJ}{kgK}$$

$$c_p = 1,006 \frac{kJ}{kgK}$$

$$a = 21 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$\kappa = 25,4 \cdot 10^{-3} \frac{W}{mK}$$

У односу на воду:

Вода

$$\rho = 998,2 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu = 1 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$$

$$\nu = 10,03 \cdot 10^{-7} \frac{m^2}{s}$$

$$C_v = C_p = 4,184 \frac{kJ}{kgK}$$

$$\alpha = 1,43 \cdot 10^{-7} \frac{m^2}{s}$$

$$\kappa = 0,603 \frac{W}{mK}$$

Предности ваздушних система у односу на водене:

- мала инертност система – врло брзо ступају у дејство,
- добра централна и локална регулација рада,
- могућност обављања функције проветравања (вентилације) простора,
- „цурење“ радног флуида не представља проблем (као цурење воде).

Недостаци ваздушних система су:

- подизање прашине у просторији (уколико су брзине струјања неприлагођене),
- недостатак размене топлоте зрачењем,
- велике димензије канала у поређењу са димензијама цеви за топлу воду (проблем смештања у објекту).

2 РАЗМЕЊИВАЧИ ТОПЛОТЕ

Размењивачи топлоте су уређаји чији је задатак, размена топлоте између два (или више) флуида. У размењивачу топлоте увек постоји топлији и хладнији флуид. Ови уређаји имају широку примену у техници, у небројено много примена.

2.1 Подела размењивача топлоте

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

Размењивачи топлоте се деле на:

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

У размењивачима топлоте са непосредним контактом флуида, између два флуида нема препреке, већ су они у директном контакту. У неким случајевима их је лако раздвојити, а у неким случајевима они се мешају у један хомоген флуид. Пример за први случај су расхладне куле у термоелектранама, где се у директном контакту са атмосферским ваздухом хлади вода потребна за хлађење кондензатора парне турбине. Други случај би била комора за влажење ваздуха у климатизационом постројењу, где се директним мешањем воде и ваздуха повећава његова релативна и апсолутна влажност.

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

- Рекуператоре,
- Регенераторе и
- Размењиваче са флуидизованим слојем.

Код рекуператора флуиди су раздвојени преградом и струје истовремено. Постоји јако велики број конструкција рекуператора. Неке основне 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 група.

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.

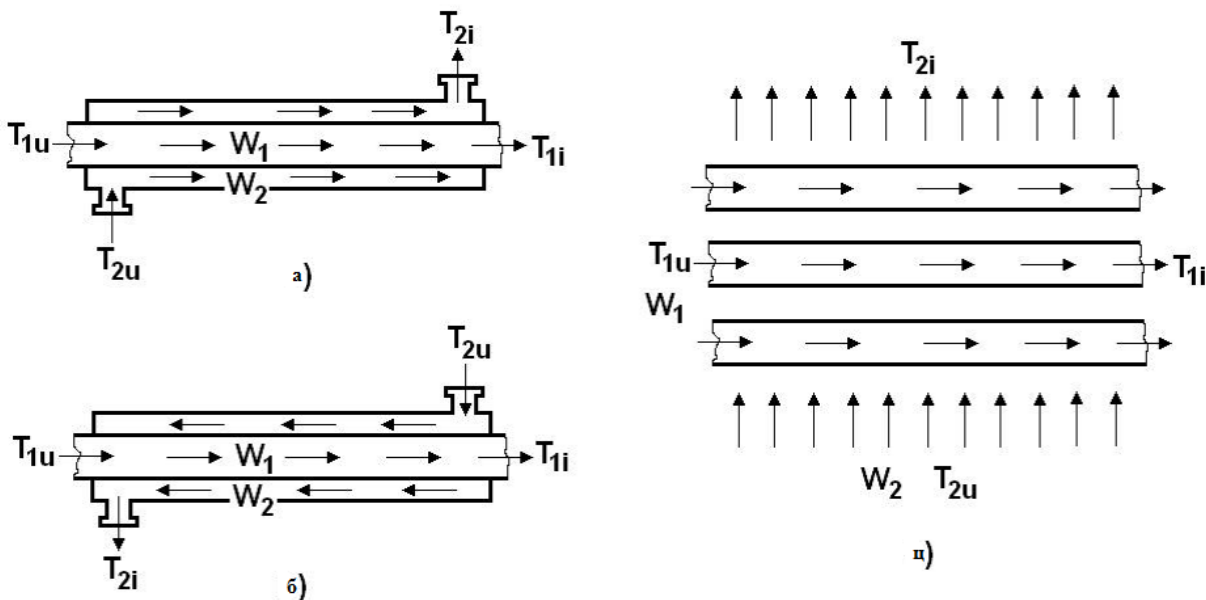
Размењивачи топлоте са флуидизованим слојем су специфични размењивачи где се у процес размене топлоте између два раздвојена флуида, који струје истовремено, уводи и

уситњена маса чврстог материјала, који ствара, такозвану флуидизовану средину и повећава коефицијент прелаза топлоте.

У овом тексту ће пре свега бити речи о рекуператорима, као далеко најбројнијој групи размењивача топлоте.

2.2 Основни смерови струјања флуида у размењивачу топлоте

Правац и смер струјања флуида у размењивачу топлоте је један од критеријума по којима се они деле. Само промена смера струјања флуида, уз све друге непромењене услове размене топлоте, може значајно променити ефикасност размењивача. На слици 2.2.1 су приказани три основна смера струјања флуида у размењивачу топлоте: истосмерни, супротносмерни и унакрсни.



Слика 2.2.1 Основни смерови струјања флуида кроз размењивач топлоте

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, онај који предаје топлоту у размењивачу је обележен индексом 1, а хладнији флуид индексом 2. Следећи индекс означава да ли се ради о улазним (u) или излазним (i) параметрима посматраног флуида. Тако су на слици 2.2.1, 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 еквиваленти топлијег и хладнијег флуида, респективно. Ове величине ће бити дефинисане у тексту који следи.

Истосмеран ток флуида је онај када два флуида, при размени топлоте у размењивачу, струје паралелно и у истом смеру (слика 2.2.1 а). Супротносмеран ток флуида је онај када два флуида, при размени топлоте у размењивачу, струје паралелно али у супротним смеровима (слика 2.2.1 б). Унакрсан ток флуида је онај када два флуида у размењивачу топлоте струје под углом већим од 0° , најчешће 90° , што је приказано на (слици 2.2.1 ц).

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

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

2.3 Основне једначине размене топлоте у размењивачу

Дуж површине размењивача топлоте температура топлијег флуида опада, 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), према слици 2.2.1:

$$Q = m_1 c_1 (T_{1u} - T_{1i}), \quad (1)$$

$$Q = m_2 c_2 (T_{2i} - T_{2u}), \quad (2)$$

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/kgK) 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 позитивни 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 и као:

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

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

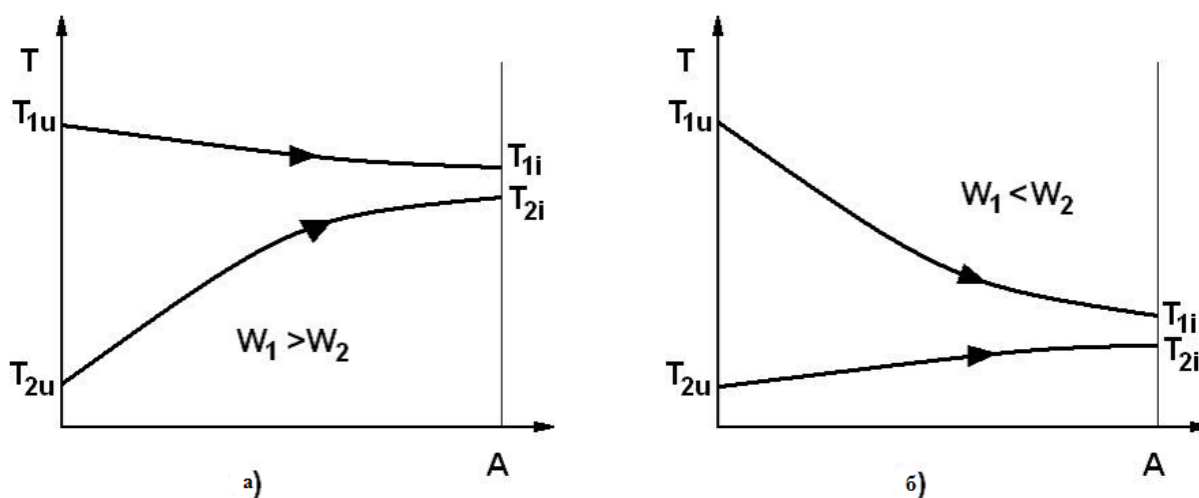
где су: $W_1 = m_1 c_1$ (W/K) топлотни капацитет топлијег флуида и $W_2 = m_2 c_2$ (W/K) топлотни капацитет хладнијег флуида. Величине W_1 и W_2 се често називају и воденим

еквивалентима. Из једначина (3) и (4) се може закључити да је однос разлика температура топлијег и хладнијег флуида дуж размењивача топлоте, обрнуто пропорционалан њиховим воденим еквивалентима:

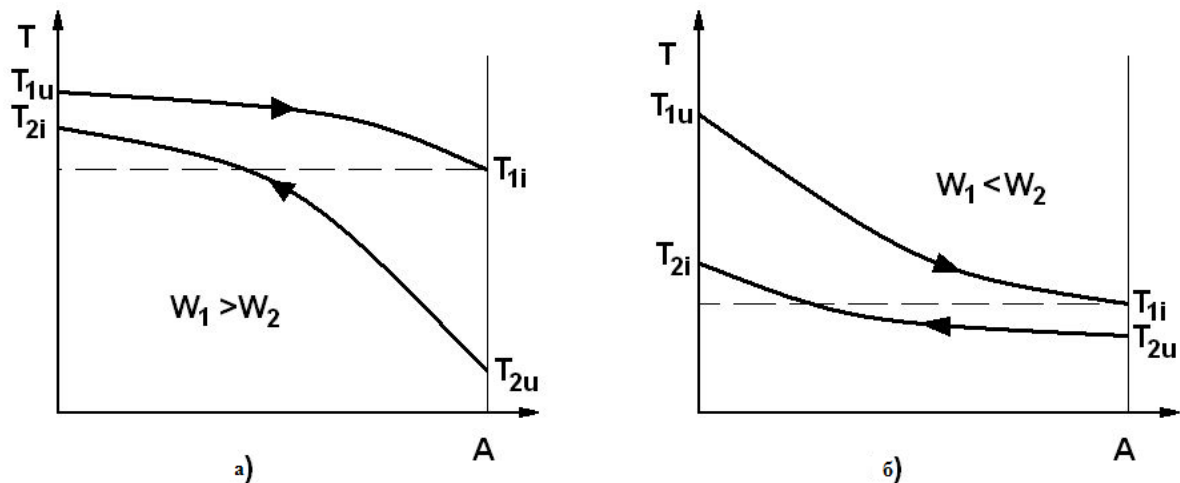
$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{T_{1u} - T_{1i}}{T_{2i} - T_{2u}}. \quad (5)$$

Другим речима, флуид који има велики топлотни капацитет имаће мали пад температуре дуж размењивача топлоте и обрнуто. Према речено на сликама 2.3.1 и 2.3.2 су приказане промене температура дуж размењивача топлоте са истосмерним и супротносмерним током, респективно. Величина $A \text{ (m}^2\text{)}$ представља површину размене топлоте у размењивачу. Са слика 2.3.1 и 2.3.2 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 (случајеви а и б).

Са слике 2.3.1 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 температура топлији-хладнији флуид је најчешће мала и интензитет размене топлоте је низак.



Слика 2.3.1 Промена температура топлијег и хладнијег флуида у размењивачу топлоте са истосмерним током



Слика 2.3.2 Промена температура топлијег и хладнијег флуида у размењивачу топлоте са супротносмерним током

Са слике 2.3.2 се види да температура топлијег флуида у супротносмерном размењивачу топлоте може да буде и нижа од температуре хладнијег флуида. Наравно де не може бити случај на истој позицији у размењивачу али са слике 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. Касије ће се показати да је то основни разлог зашто су супротносмерни размењивачи топлоте ефикаснији од истосмерних при истим условима функционисања.

Са аспекта пролаз 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/m^2K) коефицијент пролаза топлоте у размењивачу и dA (m^2) елементарна површина размене топлоте.

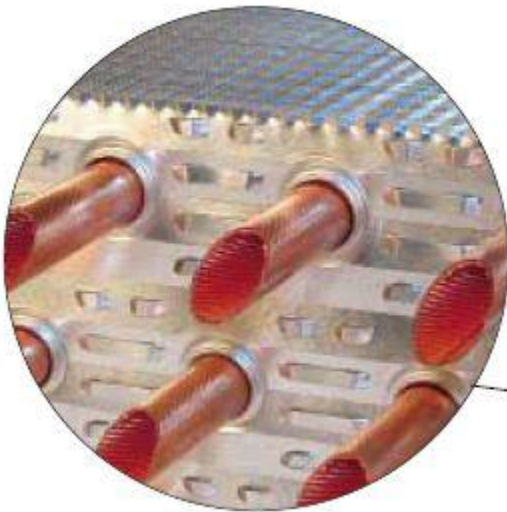
3 РЕКУПЕРАТОРСКИ РАЗМЕЊИВАЧИ ТОПЛОТЕ САВРЕМЕНИХ КОНЦЕПЦИЈА

Основна подела:

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

3.1 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 гасне фазе током размене), прибегава се оребрењима цеви и коришћењем вентилатора (осим код радијатора).



Слика 3.1.1 Фрагмент цевчица и ребара



Слика 3.1.2 Кућиште са вентилатором

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

3.1.1 Ваздушни кондензатори

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

Ваздухом хлађени кондензатори или, популарно названи, ваздушни кондензатори, примењују се у инсталацијама за хлађење разних величина и намена. Повећана примена ових кондензатора последњих двадесет година побудила је шире интересовање.

Досадашња примена ваздухом хлађених кондензатора била је оријентисана искључиво на комерцијалне расхладне уређаје и клима-уређаје мањих капацитета. Овако ограничена примена правдала се тиме што су ови кондензатори због ранијих конструкционо-термодинамичких решења били техничко-економски неоправдани. Ситуација се изменила у корист ваздухом хлађених кондензатора јер примена јединица и од неколико милиона килокалорија доказује оправданост увођења ових кондензатора у инсталације већих капацитета.

Не би се могло говорити о предностима ваздухом хлађених кондензатора, а да се не помену и неки од његових недостатака, чијим се отклањањем ови кондензатори доводе у равноправан положај са осталим врстама кондензатора.

Ваздухом хлађени кондензатори су били познати по следећим недостацима:

а) Ограничење капацитета кондензатора због досадашњих конструкционих решења постављања кондензатора на заједничко постоље са осталим елементима инсталације за хлађење - агрегатирано извођење.

б) Лоша дистрибуција ваздуха због неконтролисаног струјања ваздуха преко кондензатора, што смањује термички ефекат. Ово је, такође, врло чест случај код агрегатираних јединица са отвореним компресором где се вентилатор везује на каишник електро-мотора који покреће компресор.

ц) Појава недозвољене буке нарочито је изражена код вентилатора чији број обртаја прелази $1.500 \text{ o} / \text{min}$.

д) Лоша локација кондензатора уопште ствара могућност нагомилавања прашине на кондензатору, због чега се смањује термички ефекат.

е) Коришћење ваздуха као средства за одвођење топлоте приликом кондензације, условљава високе температуре кондензације односно високи притисак, што ствара двоструку непријатност: смањује се капацитет читаве инсталације и то баш када је хлађење најнеопходније (спољне температуре ваздуха врло високе) и намеће потребу строжег димензионисања елемената због повећаних радних притисака.

ф) Коришћењем неподесних конструкционих материјала стварају се проблеми, нарочито код већих капацитета, у неконкурентној цени са осталим кондензаторима као и тешкоће са транспортом, смештајем итд.

г) Запостављањем кондензатора хлађених ваздухом првенствено у истраживачкој делатности, а затим и код пројектаната, створен је отпор према њиховој примени. Потпуно или делимично отклањање ових недостатака, довело је до веће примене тих кондензатора у инсталацијама. Брзи развој и масовна производња ваздухом хлађених кондензатора произишли су и због све веће оскудице у хладној и релативно чистој води као и повећања трошкова одржавања инсталација, код којих је вода главно средство кондензације.

Примена ваздухом хлађених кондензатора у инсталацијама почиње између осталог и оног момента када је пројектант постао одговоран за цео објекат у коме је расхладна инсталација само један део.

Резимирајући до сада изнесено, можемо закључити да су недостаци ваздухом хлађених кондензатора у основи следећи:

- неоспорно повећање радних притисака и температура кондензација, што захтева веће капацитете компресора у односу на кондензаторе хлађене водом;

- још увек релативно високе набавне цене. Брже освајање „кондензаторског тржишта“ ваздухом хлађени кондензатори могу да захвале својим очигледним предностима:

- непостојање доводно-одводне мреже са водом;

- одсуство потребе за појачавањем грађевинске конструкције ради ношења тешких кондензатора и њихових пратећих елемената;

- јефтино одржавање и руковање, са дугим веком трајања;

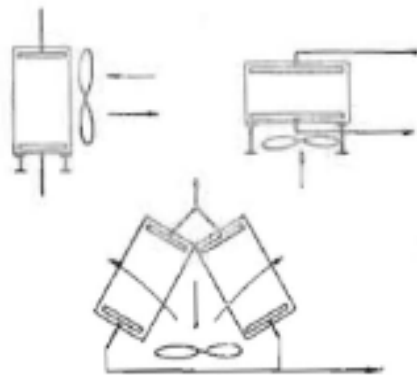
- околина се не загађује влагом, што је случај код кула за хлађење воде и сл.

Ваздухом хлађени кондензатори са принудном циркулацијом ваздуха могу се, по својој конструкцији, (слика 3.1.1.1) сврстати у три категорије:

- Вертикални кондензатори који се раде до капацитета 500000 kcal/h . Вентилатор је у вертикалном положају и може да усисава или дува преко кондензаторског снопа цеви а може се користити и ефекат промаје.

- Хоризонтални кондензатори капацитета и до неколико милиона kcal/h - конструкционо су повољнији. Вентилатор дува кроз кондензатор.

- Коси - крововски кондензатори су повољни у случајевима где је простор ограничен. Заузима обично 60% хоризонталног. Вентилатор дува кроз кондензатор.



Слика 3.1.1.1 Конструкционо извођење кондензатора

3.1.2 Хладњаци са течношћу

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.

Хладњак служи за хлађење ваздуха у летњем и прелазним периодима. Конструктивно се не разликује од грејача. И хладњаци су, као и грејачи израђени од оребрених цеви. Могу се израђивати од бакарних цеви, што је добро због отпорности на корозију. Ребра бакарних цеви се израђују од алуминијума или бакра. Такође се могу израђивати од челичних цеви са челичним оребрењем. Облик ребара може бити правоугаони, кружни или спирални.

Код хладњака се, у односу на грејач, разликују услови размене топлоте:

- мања је температурска разлика између ваздуха и површине хладњака

$$\Delta\theta_{HL} = (\theta_{V,sr} - \theta_{W,sr})_{HL} < (\theta_{W,sr} - \theta_{V,st})_{GR} = \Delta\theta_{GR},$$

где су:

$\Delta\theta$ - средња температурска разлика,

HL - хладњака,

GR - грејача,

θ - температура,

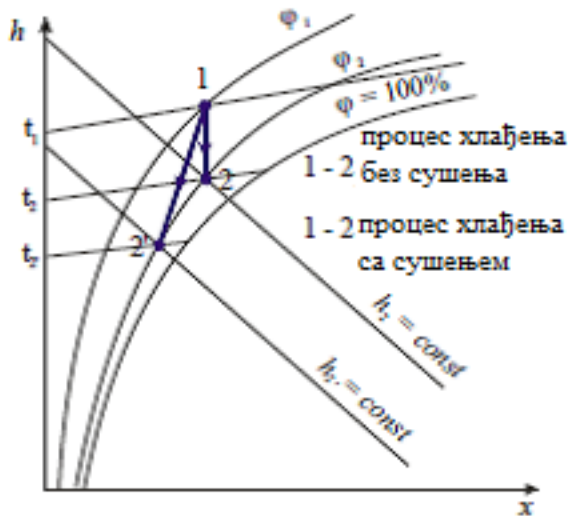
V, sr - средња, ваздуха,

W, sr - средња, површине хладњака,

$\sim 16 \quad \sim 25 \quad \sim 9 \quad < \quad \sim 80 \quad \sim 10 \quad \sim 70$, што има за последицу:

$F_{HL} > F_{GR}$, тј. површина хладњака је већа од површине грејача;

- уз хлађење се обично врши и сушење ваздуха, тј. долази до издвајања влаге из ваздуха који се хлади и стварања кондензата на површини хладњака. То уствари значи да се у хладњаку одводи и **сува** и **латентна** топлота.



Да ли ће доћи до издвајања влаге приликом хлађења ваздуха зависи од:

- стања ваздуха који струји преко површине хладњака (температуре тачке росе θ_{TR})
- температуре површине хладњака θ_{PH} .

Када је: $\theta_{TR} > \theta_{PH}$ доћи ће до издвајања влаге из ваздуха приликом хлађења, што је приказано на слици 3.1.2.1.

Слика 3.1.2.1 Процес хлађења у h - x дијаграму

Да ли ће доћи до издвајања влаге приликом хлађења ваздуха зависи од:

- стања ваздуха који струји преко површине хладњака (температуре тачке росе θ_{TR})
- температуре површине хладњака θ_{PH} .

Када је: $\theta_{TR} > \theta_{PH}$ доћи ће до издвајања влаге из ваздуха приликом хлађења.

Према врсти расхладног флуида хладњаци се могу поделити на:

а) **Хладњаке са директним испаравањем**, када је радни флуид неки од расхладних флуида (фреон, амонијак, CO_2 ...) Тада је испаривач расхладне машине хладњак у клима комори и тада је површина хладњака на константној температури која одговара температури испаравања;

б) **Проточне хладњаке**, када је радни флуид хладна вода (или водени раствор антифриза ако су потребне ниже температуре радног флуида). У овом случају температура површине хладњака није константна, већ се мења како се вода загрева од температуре на улазу у хладњак до температуре на излазу из хладњака. Данас се у клима комора претежно користи овај тип хладњака (са секундарним расхладним флуидом). Вода потребна за хлађење целог објекта се припрема у расхладној машини. На овај начин се избегава

опасност од цурења фреона у клима комори и обезбеђује централна припрема хладне воде, чиме је смањена количина примарног расхладног флуида у систему. Међутим, рад са секундарним расхладним флуидом је термодинамички неповољнији због додатног посредника у предаји топлоте.

Према месту уградње хладњаци се могу поделити на:

- а) *Хладњаке у клима комори*, када је хладњак једна од секција клима коморе
- б) *Хладњаке у елементима* за дораду или убацивање ваздуха у просторију; тада се обично у хладњацима врши само одвођење суве топлоте без издвајања влаге.

Хладњаци који раде са водом као расхладним флуидом обавезно користе супротносмерно-унакрсно струјање расхладног и хлађеног флуида јер је тада већи ефекат размењене количине топлоте.

Уобичајене температуре које се јављају приликом процеса хлађења су:

$$\text{ВАЗДУХ:} \quad \theta_{V,ul} = 26 \div 35^{\circ}\text{C},$$

$$\theta_{V,iz} = 10 \div 15^{\circ}\text{C};$$

$$\text{ВОДА:} \quad \theta_{W,ul} = 5 \div 6^{\circ}\text{C},$$

$$\theta_{W,iz} = 11 \div 12^{\circ}\text{C}; \text{ што даје уобичајену вредност } \Delta\theta_W = 5 \div 6^{\circ}\text{C}.$$

Ефекат хлађења неког хладњака може тачно да се одреди једино експерименталним путем. Ипак постоје изрази за један приближан, крајње упрошћен прорачун, који показује утицај појединих параметара на размењену количину топлоте.

Укупно одведена топлота у хладњаку једнака је збиру суве и латентне:

$$Q = Q_S + Q_I \tag{7}$$

$$Q_S = \alpha_s \cdot F \cdot \Delta\theta_m \tag{8}$$

$$Q_I = \sigma \cdot F \cdot r \cdot \Delta x_m \tag{9}$$

где су:

α_s - коефицијент прелаза суве топлоте са ваздуха на површину хладњака,

F - површина хладњака,

$\Delta\theta_m$ - средња температурска разлика расхладног и хлађеног флуида,

$\sigma = \frac{\alpha_s}{c_p}$ - Луисов број,

r - топлота промене фазе (кондензације влаге),

Δx_m - разлика апсолутних влажности ваздуха који се хлади и засићеног ваздуха на t_{PH} ,

Коришћењем Луисовог закона добија се израз:

$$Q = \alpha_s \cdot F \cdot (\Delta\theta_m + \frac{r \cdot \Delta x_m}{c_p}) = \frac{\alpha_s \cdot F \cdot \Delta h_m}{c_p}, \quad (10)$$

где је:

Δh_m - средња разлика енталпија ваздуха који се хлади и засићеног ваздуха на θ_{PH} .

Ако се уведе неки фиктивни, кориговани коефицијент прелаза топлоте α_k , који обухвата прелаз и суве и латентне топлоте, онда се може написати:

$$\alpha_k \cdot F \cdot \Delta\theta_m = \frac{\alpha_s \cdot F \cdot \Delta h_m}{c_p}, \text{ одакле следи:}$$

$$\alpha_k = \alpha_s \cdot \frac{\Delta h_m}{c_p \cdot \Delta\theta_m}, \text{ односно следи да је } \alpha_k > \alpha_s.$$

У пројектантској пракси потребну величину хладњака одређује произвођач на основу следећих података које доставља пројектант:

- протока ваздуха кроз хладњак,
- стања ваздуха на улазу и излазу из хладњака (температуре и влажности),
- температурског режима хладне воде.

На бази датих података, односно услова у којима хладњак ради, произвођач одређује:

- површину хладњака,
- масени проток расхладног флуида (воде),
- пад притиска са водене и ваздушне стране и брзину струјања ваздуха кроз хладњак.

3.1.3 Хладњаци испаривачи

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

Хладњаци са директним испаравањем раде са примарним расхладним флуидом. Топлота потребна за испаравање расхладног флуида одузима се од ваздуха који струји кроз хладњак. Смер струјања није битан као код водених хладњака, јер је температура површине хладњака константна. Температура испаравања расхладног флуида (а самим тим и притисак испаравања) одређује се из услова хлађења ваздуха. Анализом потребног хлађења ваздуха у " h - x " дијаграму одређује се и усваја температура површине хладњака, док се за температуру испаравања усваја вредност која је за око 3°C нижа.

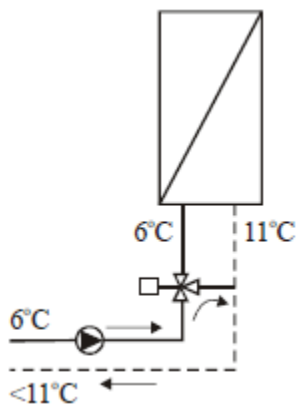
Температура испаравања мора бити изнад 0°C , иначе би дошло до смрзавања издвојене влаге из ваздуха, што проузрокује:

- смањење попречног пресека за струјање ваздуха кроз хладњак,
- смањење капацитета хладњака, јер се повећава отпор провођењу топлоте због наслага леда,
- прекид рада постројења због отапања леда.

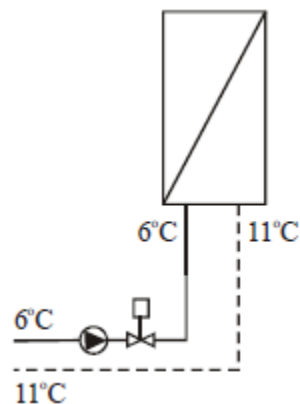
Регулација расхладног учинка хладњака врши се **квантитативно**, променом протока расхладног флуида, док температура на улазу у хладњак остаје непромењена:

$$\dot{m}_w \neq \text{const}, \theta_{w,ul} = \text{const}.$$

Због малих разлика температура воде на улазу и излазу из хладњака квалитативна регулација није добра - била би јако груба - повишењем температуре воде у разводу за само 1°C резултовало би смањењем расхладног учинка хладњака за 17%. На слици 3.1.3.1 приказани су начини квантитативне регулације хладњака.

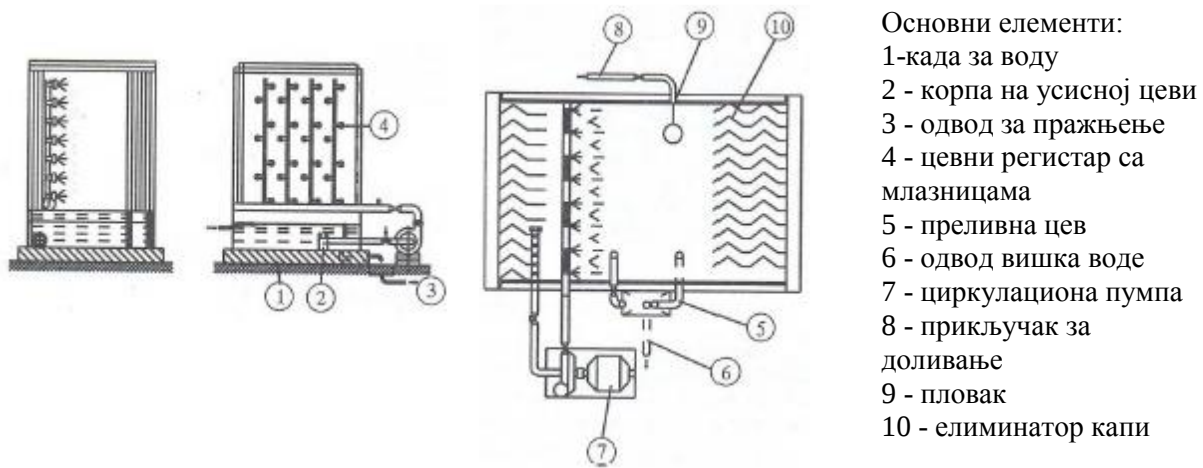


Слика 3.1.3.1 а) Регулација помоћу троструког вентила који ради као разделни



Слика 3.1.3.1 б) Регулација помоћу пригушног вентила - повећање пригушења смањује проток

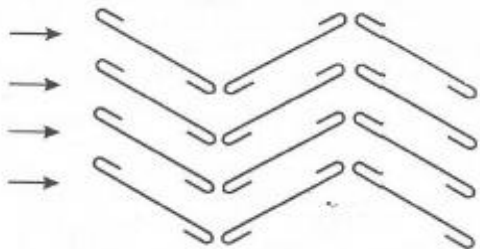
Маглена комора је део клима коморе у коме се врши влажење ваздуха водом. Маглена комора се састоји од кућишта од поцинкованог лима или неког вештачког материјала (пластике). Доњи део маглене коморе је када за скупљање и допуну воде. На једној страни маглене коморе налазе се млазнице чија је улога распршивање воде у што ситније капи. Да би се интензивирао процес размене материје (остварило боље влажење), потребно је да распршене капи воде буду јако ситне, у циљу повећања површине контакта између воде и ваздуха. Шематски приказ маглене коморе у 3 пројекције (са стране, фронтално и одозго) приказан је на слици 3.1.3.2.



Слика 3.1.3.2 Маглена комора са основним елементима

Већина млазница за распршивање воде је са унутрашње стране обрађена у облику спирале, па струја воде добија ротацију и постиже се боље распршивање. Млазница је везана за цевни регистар (вертикалне цеви које су повезане са хоризонталним разделником). Често се ставља заштитна мрежица како би се спречио продор нечистоћа које могу да запуше млазницу. Млазнице се израђују од месинга, бронзе, челика, порцелана, пластичних материјала, отвора $1 \div 5 \text{ mm}$. Величина распршених капи воде креће се од $0,01 \div 1 \text{ mm}$ у пречнику.

Кадица има прикључак за доливање воде, са вентилом који је повезан са пловком за регулисање ниво воде у кади. Када ниво воде у кади опадне, отвара се вентил на прикључку за доливање. На кади се налази и преливна цев, као и цев за пражњење, која је везана за дно каде. У каду је потопљен усисни део цевовода који је заштићен мрежом за спречавање продора нечистоћа. Циркулациона пумпа усисава воду из каде и шаље је у цевни регистар.



Слика 3.1.3.3 Елиминатор капи

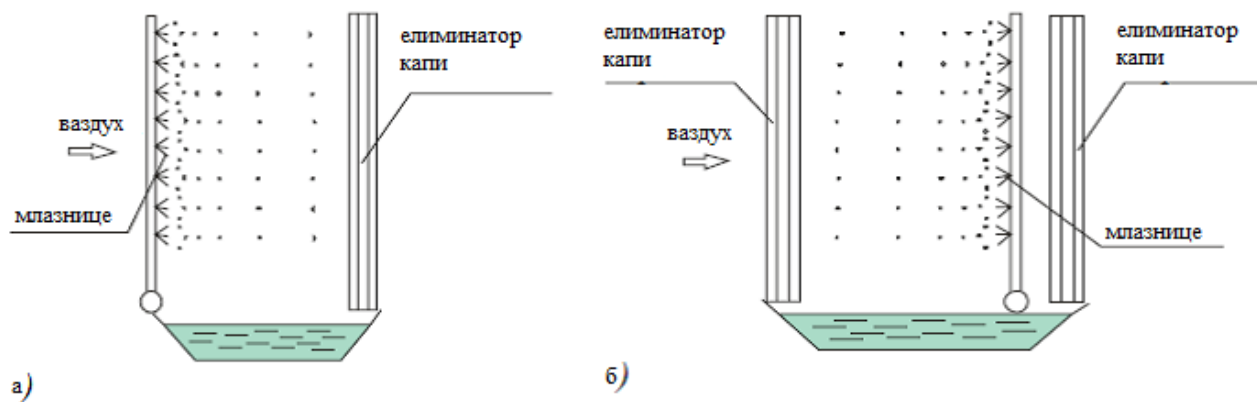
Излазни пресек (а некада и улазни) снабдевен је елиминатором капи, чија је улога да издвоји из струје ваздуха капи воде које нису испариле. Елиминатор капи је сачињен од паралелних плоча у које ударају капљице воде и сливају се у каду, док струја ваздуха пролази кроз елиминатор (слика 3.1.3.3). Плоче елиминатора могу бити израђене од поцинкованог лима или од неког вештачког материјала. Важно је да је материјал елиминатора капи отпоран на корозију.

Дужина маглене коморе је од $1 \div 2 \text{ m}$, а брзина струјања ваздуха је $2 \div 3 \text{ m/s}$, тако да је време контакта између воде и ваздуха нешто испод 1 s . Вода у магленој комори се, по правилу, термички не обрађује - нити се загрева, нити се хлади.

Регулација влажења се може вршити на два начина:

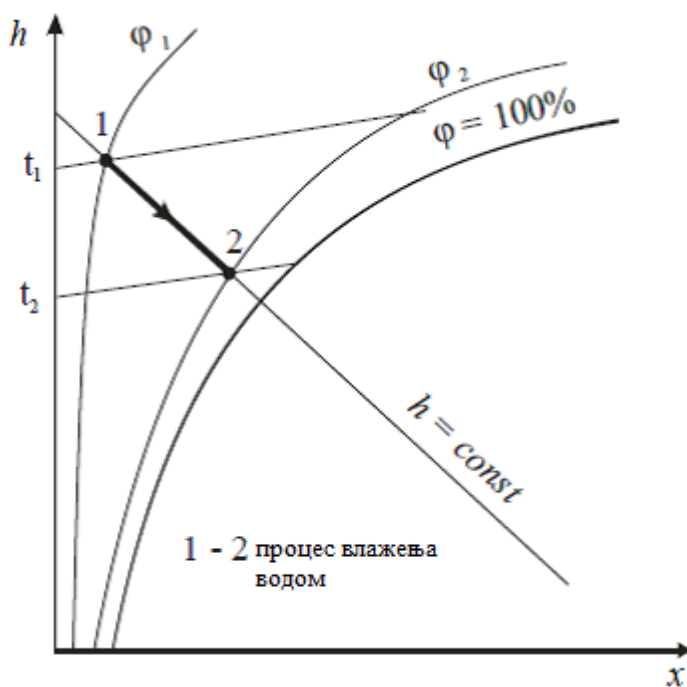
1. Укључивањем и искључивањем пумпе (ON/OFF систем)
2. Деловањем на вентил на доводној цеви - пригушивањем (притварањем вентила) смањује се проток воде који долази до млазница.

Смер струјања ваздуха кроз маглену комору може бити истосмеран или супротносмеран (слика 3.1.3.4). При супротносмерном струјању ваздуха, у односу на правац распршивања воде, остварује се бољи ефекат влажења.



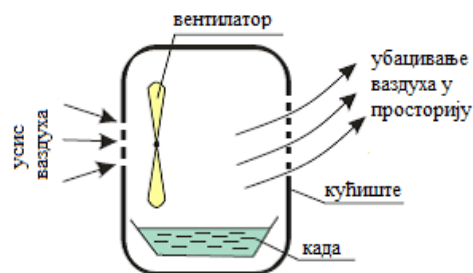
Слика 3.1.3.4 Смерови струјања ваздуха кроз маглену комору: а) истосмерни, б) супротносмерни

Процес влажења водом у магленој комори сматра се изенталпским процесом ($h = \text{const}$) јер је енталпија воде занемарљиво мала ($h_w = c_w \cdot \theta_w = 4,19 \cdot 10 \approx 40 \text{ kJ/kg}$) и не утиче битно на правац промене стања приликом влажења (слика 3.1.3.5).



Слика 3.1.3.5 Процес влажења у h - x дијаграму

Поред маглене коморе постоје и локални овлаживачи ваздуха са водом, који се постављају у просторији. Они су веома једноставне конструкције: у кућишту, које је углавном лепо обликовано, налази се посуда са водом (резервоар) и мали аксијални вентилатор којим се остварује циркулација ваздуха кроз апарат (сл. 3.1.3.6).



Слика 3.1.3.6 Локални овлаживач ваздуха

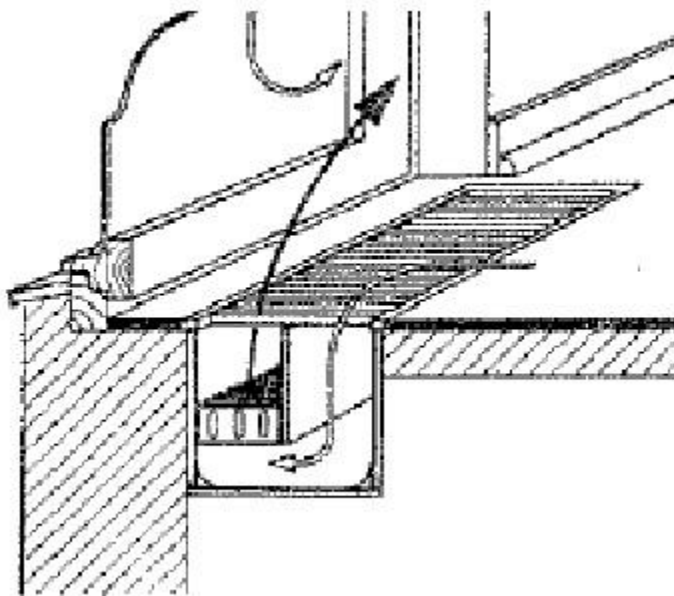
С обзиром да се при процесу влажења водом ваздух хлади (што се види са дијаграма на слици 3.1.3.5), често се дешава да произвођачи локалних овлаживача рекламирају своје уређаје као еколошке уређаје за хлађење лети, који троше јако мало енергије (потребне за рад вентилатора, који је обично јако мале инсталисане снаге), без компресора и фреона! Њихов ефекат и ефикасност су за дискусију - тачно је да хладе ваздух, али и повећавају влажност; некада је много угодније имати нижу релативну влажност при вишој температури, него обрнуто.

Често се може наћи у литератури или чути у пракси за појам **адијабатско хлађење**, што није ништа друго него изенталпско влажење водом.

4 РАДИЈАТОРИ И КОНВЕКТОРИ

Данас има у употреби неколико врста грејних тела за централно грејање. На првом месту су радијатори, затим грејна тела састављена од цеви (глатких и ребрастих) и најзад панели. Не треба изгубити из вида да и сами котлови за централно грејање играју улогу грејних тела за просторије у којима се налазе, што се често користи у малим инсталацијама.

Највише су у употреби радијатори. Они носе своје име према томе јер су конструисани да одају топлоту зрачењем. У ствари они већи део топлоте одају конвекцијом, а само један део зрачењем. Због тога их често сусрећемо и под именом конвектори (слика 4.1).



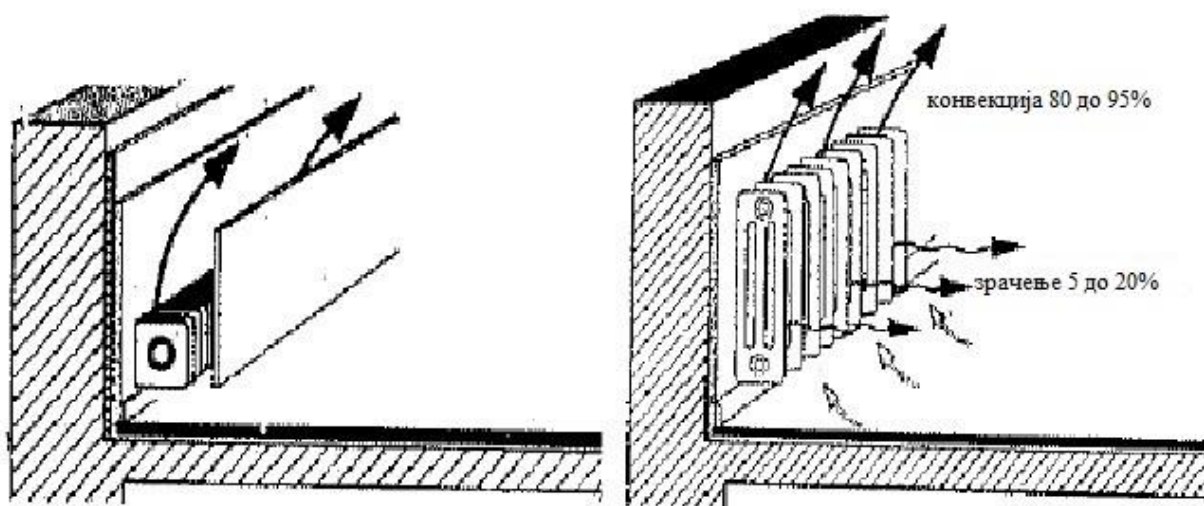
Слика 4.1 Радијатор или конвектор

Сем одвајања топлоте конвекцијом и зрачењем где радијатори загревају плоче и предмете, а да се ваздух кроз који се преноси топлота не загрева, постоји и трећи, комбиновани начин; конвекција - зрачење.

4.1 Радијатор

У размењиваче топлоте убрајамо све апарате у којима се помоћу једног флуида загрева или хлади други. Преношење топлотне енергије из котла врши се цевним водоводима, а топлота се депонује у размењиваче топлоте (радијатори) одакле се преноси на просторију коју треба загрејати. Грејна тела су дакле завршни део постројења за централно грејање. Без обзира на врсту грејних тела начин дејства је овај: флуид (пара или вода) који је загрејан у котлу долази у грејно тело и пролази кроз њега, загрева га, при чему

се сам расхлађује. Грејно тело чија је површина топлија од околине у којој се налази, одаје услед тога своју топлоту околини. Грејна тела треба да су таквог изгледа и тако постављена да се постигне оптимални ефекат у преносу топлоте на просторије које се загревају. Овај услов је веома важан исто тако као што је важно да се радијатори (грејна тела) редовно и добро чисте. Треба имати у виду да дуж зидова радијатора струји ваздух великом брзином и да тај ваздух ковитла и захвата прашину са радијатора заједно са испарењима нечистоће (тзв. сува дестилација прашине почиње код температуре око 90°C) и разноси их по просторији. На слици 4.1.1 дат је пример конвекционог рада радијатора.



Слика 4.1.1 Пример конвекционог рада радијатора

Који проузрокује одређено кружење ваздуха у соби. Од тога и потиче онај познати осећај у грлу, који се погрешно приписује сувом ваздуху. Ако се радијатори и вруће цеви чисте онда нема тога осећаја. Зато треба водити рачуна о чистоћи грејних тела.

Најједноставнија, а уз то и најбоља грејна тела су челичне голе жице, постављене као змија са одговарајућим падом према излазу, или у облику тзв. регистра тј. више упоредних међусобно заварених цеви. Код змија грејни флуид пролази кроз цело грејно тело у једној струји не делећи се а код регистра флуида се дели у више паралелних струја. Недостатак им је њихова дужина и изглед. Ради тога су погодне за индустријске и друге помоћне просторије, које су велике а није им важан изглед, као што су складишта, заводи, радионице или споредне смештајне просторије (кухиња, купатило итд.). Сусрећемо их и по школама, дворанама и слично. Цевна грејна тела су јефтинија од радијатора, а сем тога се кроје и састављају (варењем) на лицу места.

Да би се повећала грејна површина по дужном метру израђују се и цеви са ребрима (слика 4.1.2 са табелом). Оне могу бити или изливене заједно са цевима или се на челичне цеви навлаче ребра од лима. Хигијенски су неповољне јер се тако чисте (чешће се не брише)

па наталожена прашина приликом грејања испарава. Због тога се ребрасте цеви могу употребљавати у таквим просторијама које могу поднети њихове недостатке, а уједно користе њихове предности (сушионице).

У термичком погледу имају грејну површину и до 7 пута већу од глатких цеви, а само одавање топлоте је у истој употреби четири пута веће. Израђују се у величинама од 12,7 – 76,2 mm (1/2 – 3) (заварене или бешавне).

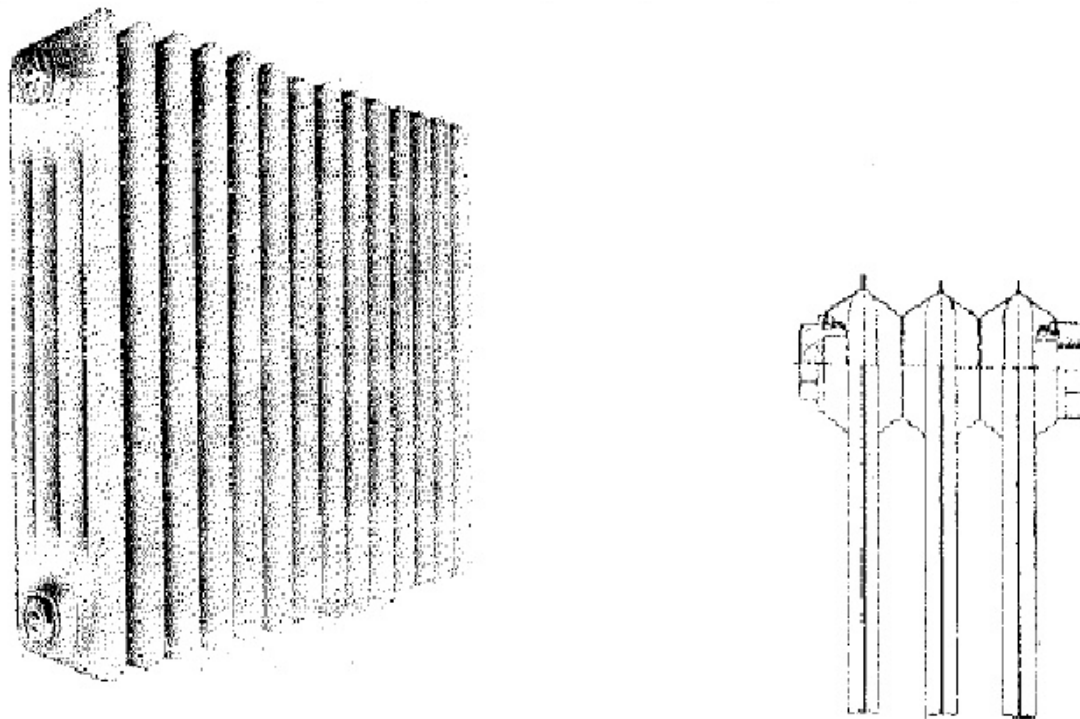


Слика 4.1.2 Цеви са ребрима

Табела 1. Величине цеви са ребрима

d (mm)	12,7 (1/2")	19,05 (3/4")	25,4 (1")	31,7 (1 1/4")	38,1 (1 1/2")	50,8 (2")	63,5 (2 1/2")	76,2 (3")
D (mm)	60	66	84	102	108	130	156	178
Број навоја на 1 m дужине	100	100	85	85	77	70	65	65
Огревне или расхладне површине (m ²)	0,69	0,79	1,07	1,53	1,71	1,93	2,45	3,14
Маса (kg) на 1 m дужине	4,05	4,88	7,72	9,58	10	13	16,6	21,2

У стамбеним просторијама се готово искључиво употребљавају чланкасти радијатори, који су састављени од једнаких чланака (слика 4.1.3). Ова конструкција је усвојена због тога да би се могле постићи разне величине грејних површина - према потреби просторија.



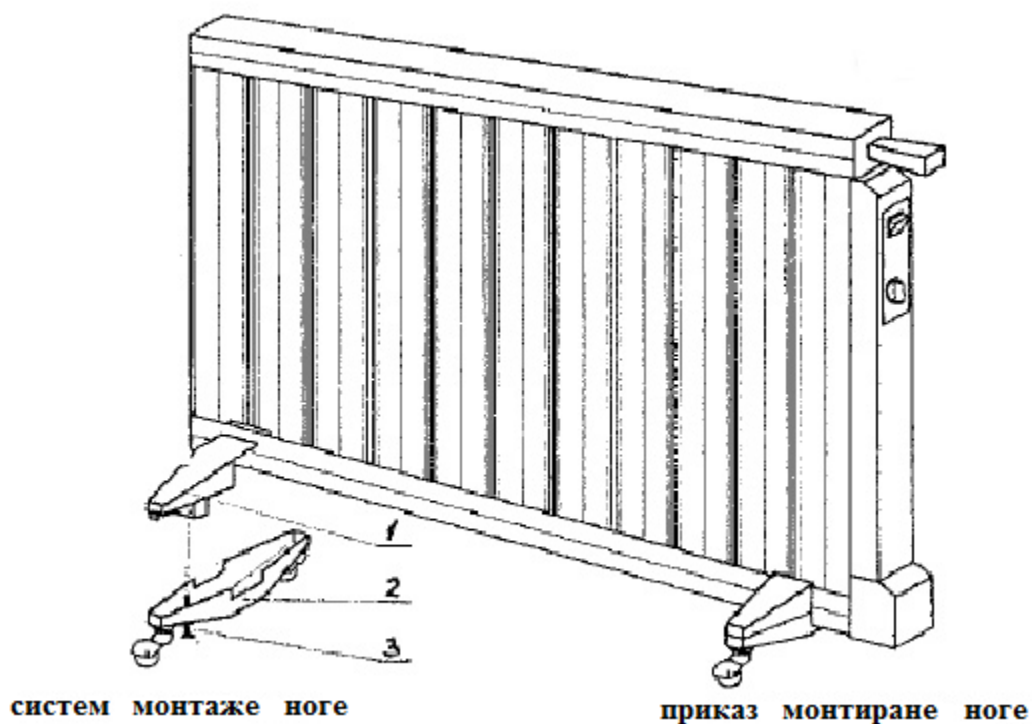
Слика 4.1.3 Чланкасти радијатори

Чланци се спајају горе и доле помоћу чарапица. Спајањем већег или мањег броја чланака добија се већи или мањи радијатор. Сваки чланак је једно шупље тело (слика 4.1.4) и гради се са једном или више шупљина по висини. Радијатори се разликују по броју стубова (ребара), броју чланака, гревној површини, ширини и висини. Главне мере ребрастих радијатора су стандардизоване. На табели су дате мере за челичне и ливене радијаторе.



Слика 4.1.4 Спајање чланака

Крајњи чланци радијатора могу се градити са „ногама“ (слика 4.1.5) да би радијатор стојао на поду просторије. Носаче радијатора стављати тако да се горњи делови (1) убаце у прорез на радијатору. Доњи делови носача (2) причврсте се за горње завртњем (3).



Слика 4.1.5 Радијатори са „ногама“

Табела 2. Радијатори од ливеног гвожђа-дужина 60 mm

Удаљеност између углављења $h = 1\text{ m}$	Висина $h = 2\text{ m}$		Дубина $C\text{ (mm)}$		
900	980	70	160	220	—
500	580	110	160	220	—
350	430	—	160	220	—
200	280	—	—	—	250

На инсталационим цртежима се радијатори означавају групом бројева:

$$\frac{24 - IV \cdot 604 - 194}{6,24}$$

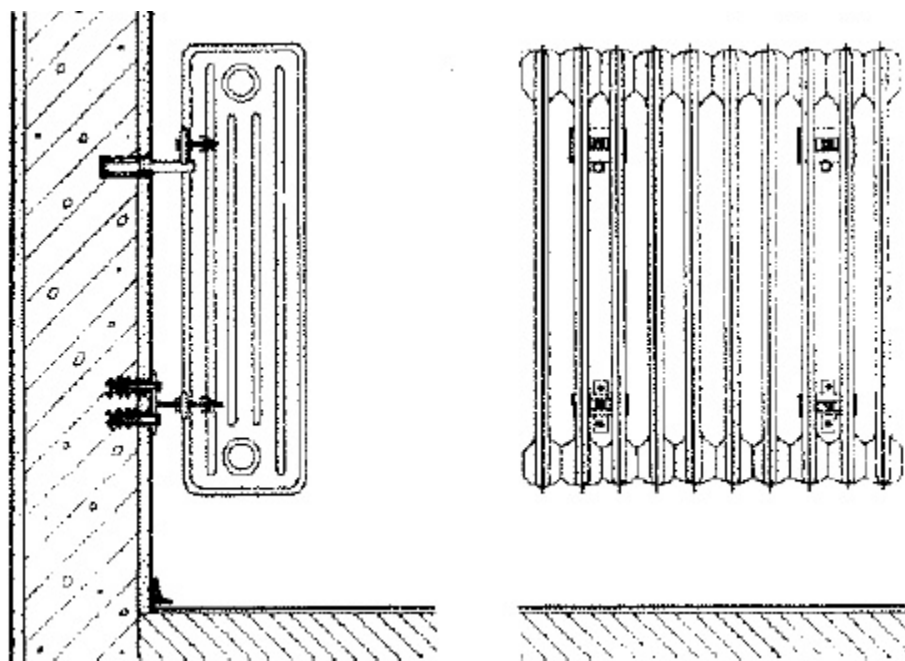
Што означава: радијатор са 24 чланка од 6 ребара висине 604 mm, ширине 194 mm са огревном површином 6,24 m².

Табела 3. Радијатори од челика-дужине 50 mm

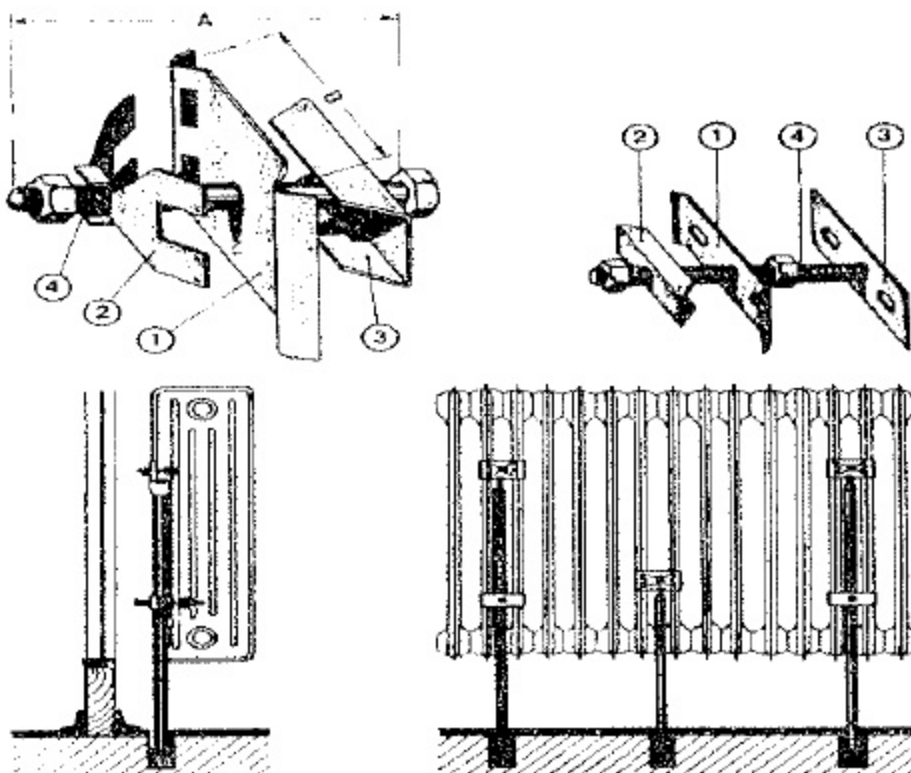
Удаљеност између углављења $h = 1\text{ m}$	Висина $h = 2\text{ m}$		Дубина $C\text{ (mm)}$		
900	1000	110	160	220	—
500	600	110	160	220	—
350	450	—	160	220	—
200	300	—	—	—	250

Међутим, чешћи је начин постављања радијатора путем конзола на зид (слика 4.1.6 и 4.1.7). Ово је много погодније ради монтаже, а и самог приступа ради чишћења. Познато је да се готово све инсталације (електричне, водоводне) па и централног грејања постављају у зграду пре него што је готова. Наиме, чим је зграда, грубо довршена, одмах се почиње са постављањем инсталација. Радијатори се по правилу постављају пре него што је изведен под у просторији. Уколико би употребили радијаторе са ножицама онда се редовно дешава, када под буде завршен, да ножице не одговарају. Висина радијатора је већ утврђена везама за цевну мрежу тако да се може радијатор спуштати или подизати. У том случају се морају ножице скраћивати или испод њих нешто подметати.

Међутим, када су радијатори постављени на зиду такви проблеми не постоје. Употребљавају се и ливени и челични радијатори. Ливени су веће масе од челичних, али су отпорнији против рђе него челични. Зато се ливени употребљавају претежно за парно грејање где су у већој мери изложени рђању.

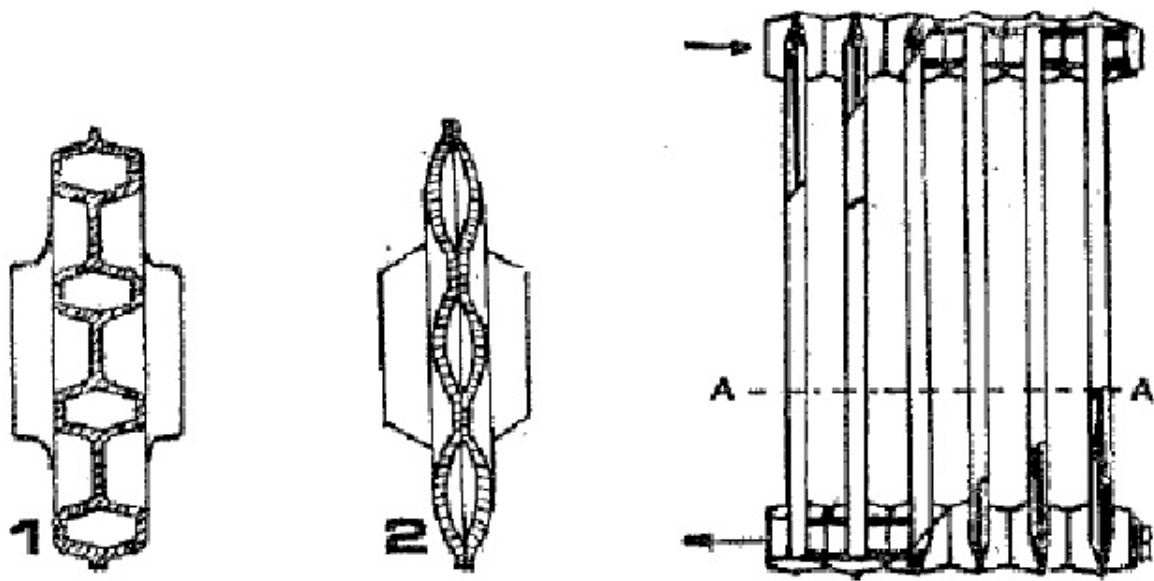


Слика 4.1.6 Постављање радијатора путем конзола на зид



Слика 4.1.7 Постављање радијатора путем конзола на зид

Челични се примењују претежно код воденог грејања, где су прилике у том погледу погодније. На слици 4.1.8 приказан је пресек ливеног четворостубног чланка и пресек једног чланка од челичног лима (тростубног). Ливени радијатори се спајају чарапицама, док се челични обично израђују на тај начин да се неколико чланака споји заваривањем, па се онда такве групе спајају чарапицама.



Слика 4.1.8 Пресек ливеног четворостубног чланка и пресек једног чланка од челичног лима (тростубног)

У последње време се више употребљавају алуминијумски радијатори. Они имају велику површину грејања уз естетски изглед (алуминијум је један од најбољих проводника топлоте) и рационално користе енергију обзиром на конструктивну израду усмеривача топлог ваздуха. Поменути радијатори су веома погодни за индивидуалне зграде, јер се могу монтирати у властитој режији. Веома слични радијаторима су тзв. панелни радијатори. То су шупље плоче, од лима ширине око 2,5 *cm*, висине 11 – 72 *cm*, а дужине око 4 *m* (слика 4.1.9).



Слика 4.1.9 Панелни радијатор

4.2 Прорачун топлотног учинка радијатора

У табелама су наведене вредности нормалног топлотног учинка радијатора који важе за нормалне услове рада:

Температуре воде:

- улазна $t_u = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$,

- излазна $t_i = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$,

- средња,

$$t_s = \frac{t_u + t_i}{2} = \frac{90 + 70}{2} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$$

- температура ваздуха у просторији: $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ако одступа средња температура воде (t_s) и температура ваздуха у просторији од нормалних услова рада, служимо се подесним начином за прорачунавање учинка на друге погонске услове помоћу корекционих фактора (према *JUS M. E. 6.080*).

Топлотни учинак добија се из израза:

$$Q = Q_n \cdot f_1 \cdot f_2$$

где су:

Q_n - топлотни учинак радијатора према наведеним табелама,

f_1 - корекциони фактор је функција односа:

$$\frac{\Delta t_i}{\Delta t_u} = \frac{t_i - t_o}{t_u - t_o}$$

Табела 4. Корекциони фактори f_1

$\Delta t_i / \Delta t_u$	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
f	0,825	0,860	0,890	0,915	0,935	0,950	0,960	0,975	0,980	0,985	0,990	0,995

f_2 - корекциони фактор је функција средње аритметичке температурне разлике:

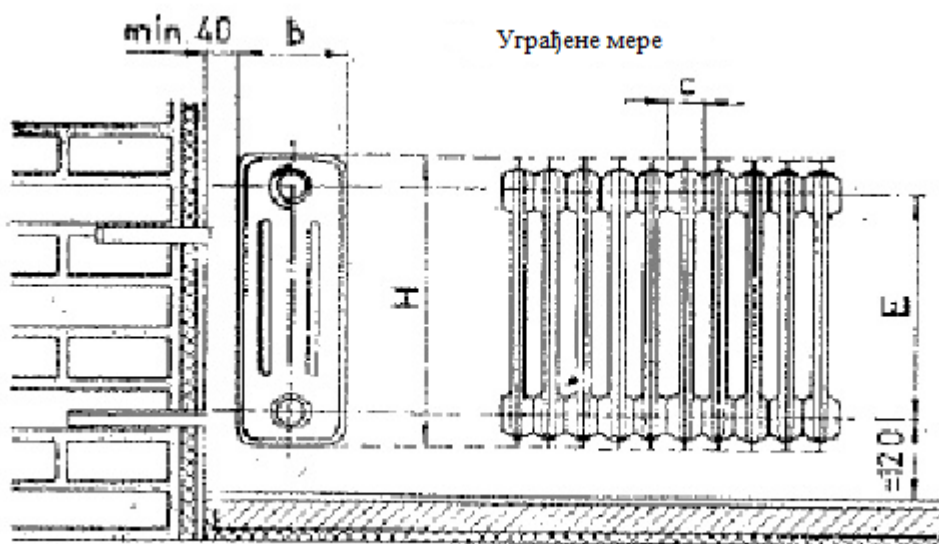
$$\Delta T_{ar} = t_s - t_o = \frac{t_u + t_i}{2} - t_o$$

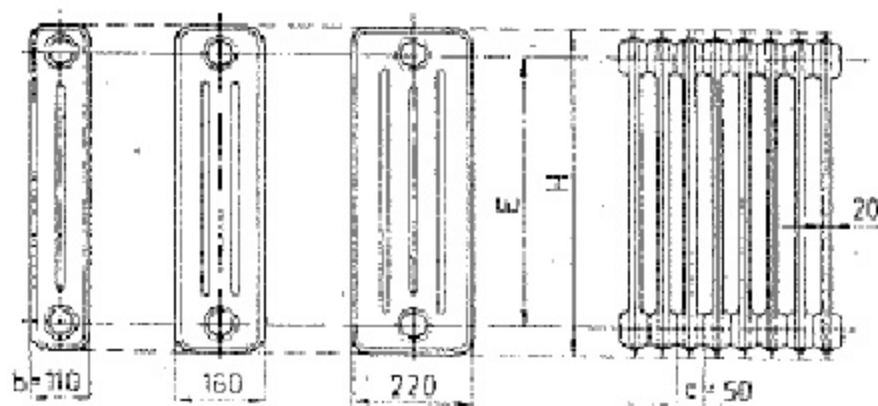
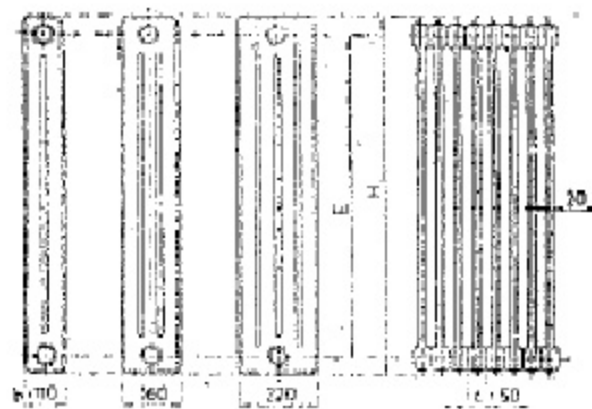
Табела 5. Корекциони фактор f_2

$t_{ar}^{\circ}\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	0,40	0,41	0,43	0,45	0,47	0,49	0,51	0,53	0,55	0,56
40	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76
50	0,70	0,80	0,83	0,85	0,87	0,89	0,91	0,93	0,96	0,98
60	1,00	1,02	1,04	1,07	1,09	1,11	1,13	1,16	1,18	1,20
70	1,23	1,25	1,27	1,30	1,32	1,35	1,37	1,39	1,42	1,44
80	1,47	1,49	1,51	1,54	1,56	1,59	1,61	1,64	1,67	1,69
90	1,71	1,74	1,76	1,79	1,82	1,84	1,87	1,89	1,92	1,95

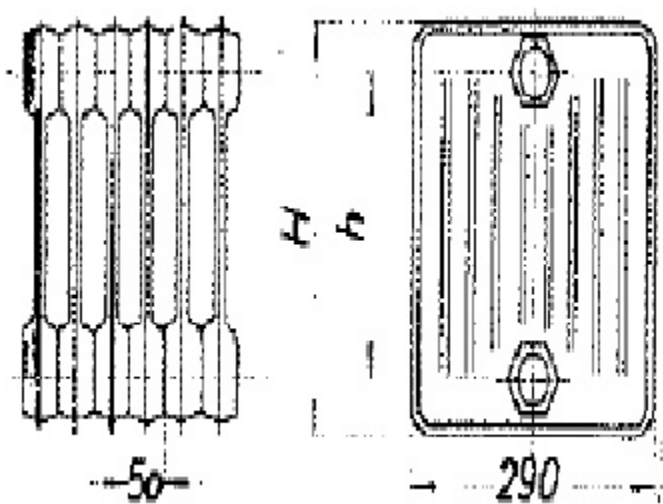
Приликом уградње радијатора у зидна удубљења или при стављању горње покривне плоче, умањено је одавање топлоте за око 4 % код минималних мера за уградњу. Препреке нормалне циркулације ваздуха умањују одавање топлоте и ради тога, а из хигијенских разлога треба избегавати маске и друге препреке. Ако се постављање маски из архитектонских разлога не може избећи, тада треба оставити довољно велике отворе на предњој и горњој страни. Умањење одавања топлоте код стављања маски и других препрека креће се најчешће од 10 – 30 %, тако да за ово умањење треба предвидети и одговарајуће повећање радијатора.

Метални покровни премази (метална бронза) смањују одавање топлоте радијатора од 5 – 10 %. На сликама 4.2.1 и 4.2.2 дате су стандардне ознаке димензија радијатора према којима су направљене табеле.





Слике 4.2.1 и 4.2.2 Умањено одвајање топлоте



Маса чланка	<i>kg</i>	1,80
Садржај воде	<i>l</i>	0,90
Загревна површина	<i>m²</i>	0,180
Дебљина лима	<i>mm²</i>	1,25
Прикључци	десни	31,7 (1 1/4 ")
Мах. радни притисак	<i>bar</i>	8
Фактор локалног отпора		$\xi = 40$

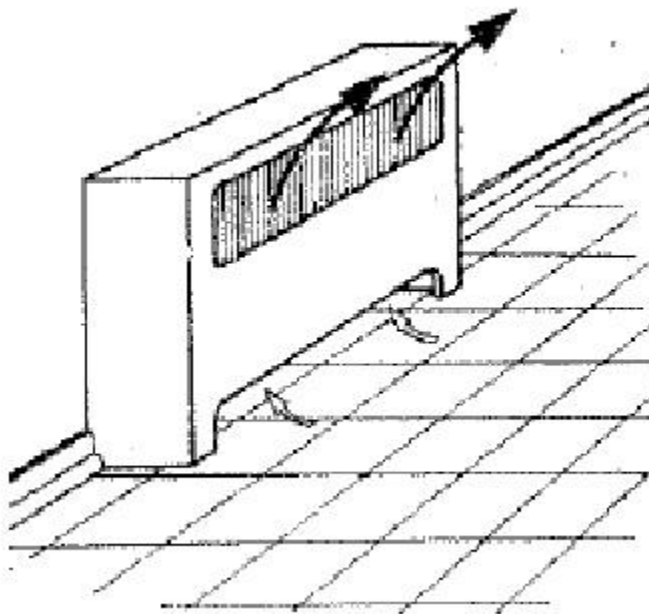
Слика 4.2.3 Одвајање топлоте радијатора

Табела 6. Стандардне ознаке димензија радијатора

Број чланака	Дужина (<i>mm</i>)	Загревна површина (<i>m</i> ²)	ТОПЛОТНИ УЧИНАК (<i>W/h</i>)								Топлотни учинак код темп. просторије (°C)
			5°	10°	12°	15°	18°	20°	22°	24°	
1	50	0,18	121	110	106	100	94	90	86	83	
2	100	0,16	242	221	213	201	189	181	173	166	
3	150	0,54	363	332	320	302	284	272	260	249	
4	200	0,72	485	443	427	402	378	363	347	332	
5	250	0,90	606	554	534	503	473	454	434	415	
6	300	1,08	727	664	640	604	568	544	520	498	
7	350	1,26	849	775	747	704	662	635	607	581	
8	400	1,44	970	886	854	805	757	726	694	664	
9	450	1,62	1091	997	961	906	852	817	781	747	
10	500	1,80	1213	1108	1068	1007	947	98	868	830	
11	550	1,98	1334	1218	1174	1107	1041	998	954	913	
12	600	2,16	1455	1329	1281	1208	1136	1089	1041	996	
13	650	2,34	1576	1440	1388	1309	1231	1180	1128	1079	
14	700	2,52	1698	1551	1495	1409	1325	1271	1215	1162	
15	750	2,70	1819	1662	1602	1510	1420	1362	1302	1245	
16	800	2,88	1940	1772	1708	1611	1515	1452	1388	1328	
17	850	3,06	2062	1883	1815	1711	1609	1543	1475	1411	
18	900	3,24	2183	1994	1922	1812	1704	1634	1562	1449	
19	950	3,42	2304	2105	2029	1913	1799	1725	1649	1577	
20	1000	3,60	2426	2216	2136	2014	1894	1816	1736	1660	
21	1050	3,78	2547	2326	2242	2114	1988	1906	1822	1743	
22	1100	3,96	2668	2473	2349	2215	2083	1997	1909	1826	
23	1150	4,14	2789	2548	2456	2316	2178	2088	1996	1909	
24	1200	4,32	2911	2659	2563	2416	2272	2179	2083	1992	
25	1250	4,50	3032	2770	2670	2517	2367	2270	2170	2075	
26	1300	4,68	3153	2880	2776	2618	2462	2360	2256	2158	
27	1350	4,86	3275	2991	2883	2718	2556	2451	2343	2241	
28	1400	5,04	3396	3102	2990	2819	2746	2542	2430	2324	
29	1450	5,22	3517	3213	3097	2920	2846	2633	2517	2407	
30	1500	5,40	3639	3324	3204	3021	2841	2724	2604	2490	
31	1550	5,58	3760	3434	3310	3121	2935	2814	2690	2573	
32	1600	5,76	3881	3545	3417	3222	3030	2905	2777	2656	
33	1650	5,94	4002	3656	3524	3323	3135	2996	2864	2739	
34	1700	6,12	4124	3767	3631	3423	3219	3087	2951	2822	
35	1750	6,30	4225	3878	3738	3524	3314	3178	3038	2905	
36	1800	6,48	4366	3988	3844	3625	3409	3268	3124	2988	
37	1850	6,66	4488	4099	3951	3725	3503	3359	3211	3071	
38	1900	6,84	4609	4210	4058	3826	3598	3450	3298	3154	
39	1950	7,02	4730	4321	4165	3927	3693	3541	3385	3237	
40	2000	7,20	4852	4432	4272	4028	3788	4632	3472	3320	

4.3 Конвектори

Конвектори су грејна тела која постепено освајају видно место међу размењивачима топлоте. Они се састоје из два дела: елемената грејања ваздуха (ребрастих цеви) и заклона у облику кутија или шахта (слика 4.3.1). Можемо их срести и као појединачни грејни елемент који слободно стоји поред зида.



Слика 4.3.1 Пример конвектора

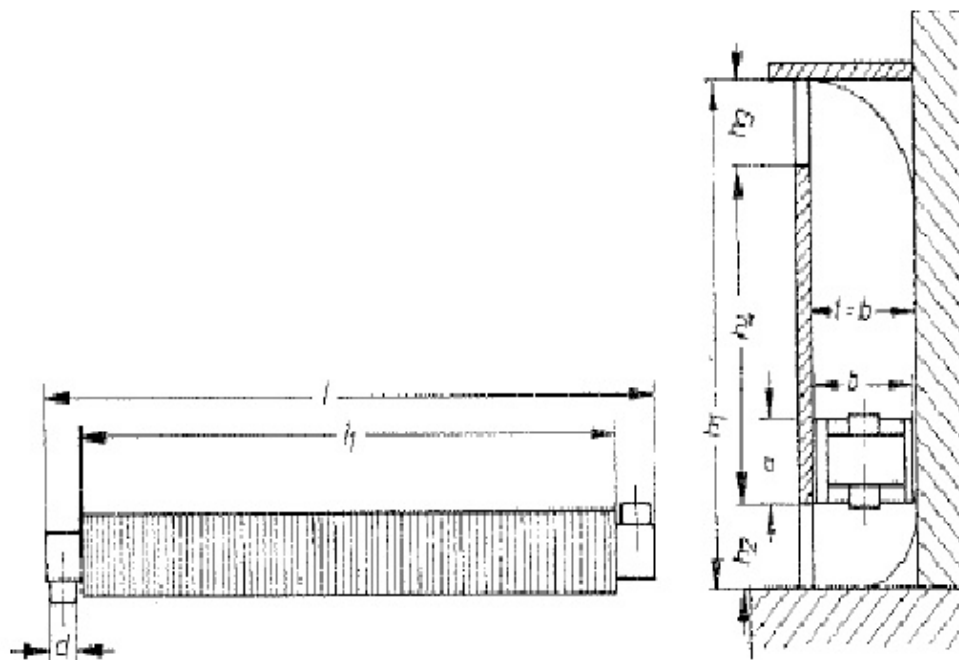
Грејно тело је у облику ламеластог грејача. То су цеви са навученим ламелама од лима - нешто слично ребрастим цевима - али знатно гушће. Шахт служи зато да појача брзину струјања ваздуха. Он делује на принципу димњака - хладнији ваздух потискује загрејани који се пење навише. Због тога је добро да шахт има што већу висину. Ефекат једног конвектора зависи од величине грејне површине, врсте флуида, температурне разлике, конструкције и висине шахта.

Конвектори се састоје од челичних или бакарних цеви у лименом кућишту или узидани у удубљењу са маском испред (слика 4.3.2). Ваздух улази доле у грејно тело (слика 4.3.3), загрева се на грејним површинама и излази горе или напред. Одавање топлоте врши се само конвекцијом. Регулисање грејног учинка, осим вентилима, могуће је такође клапнама на горњем излазу за ваздух.

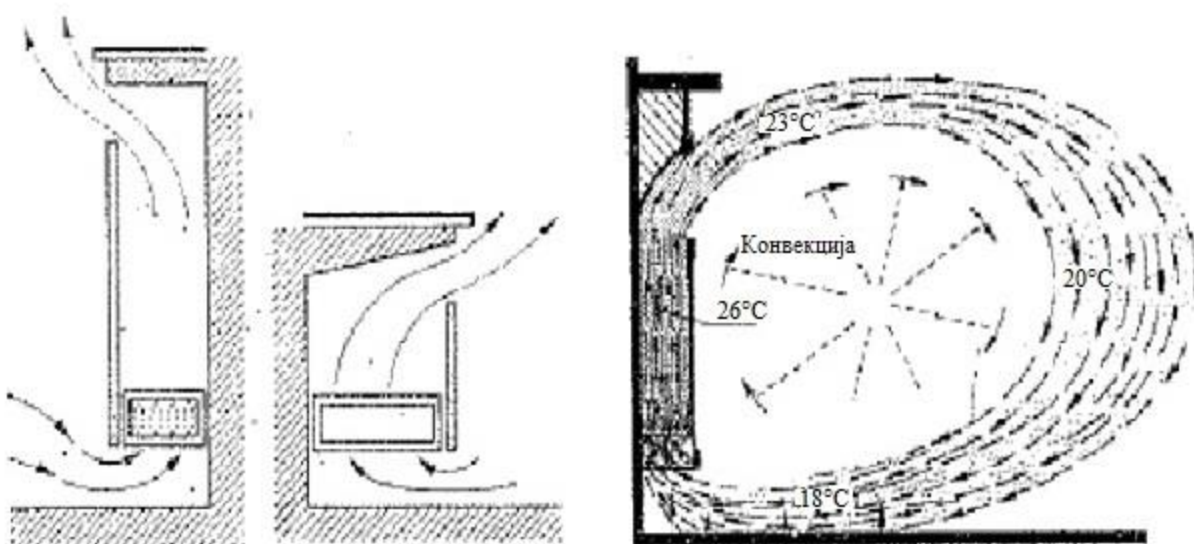
Постављање конвектора као и радијатора могуће је на спољашњим зидовима просторија испод прозора, а такође и на унутрашњим зидовима. У другом случају грејно тело се може поставити директно у зидове између просторија, како би служила за истовремено грејање две или више просторија. На слици 4.3.4 приказан је рад једног конвектора. Предности конвектора у односу на радијаторе су: мале димензије и маса, ниска

цена, мало време загревања, много могућности уграђивања, а недостаци: додатни трошкови за масе, нема одавања топлоте зрачењем, мале могућности чишћења.

Због велике брзине ваздуха и затвореног грејача у кутији од лима, прашина у конвекторима не сагорева и не прља зидове код радијатора.

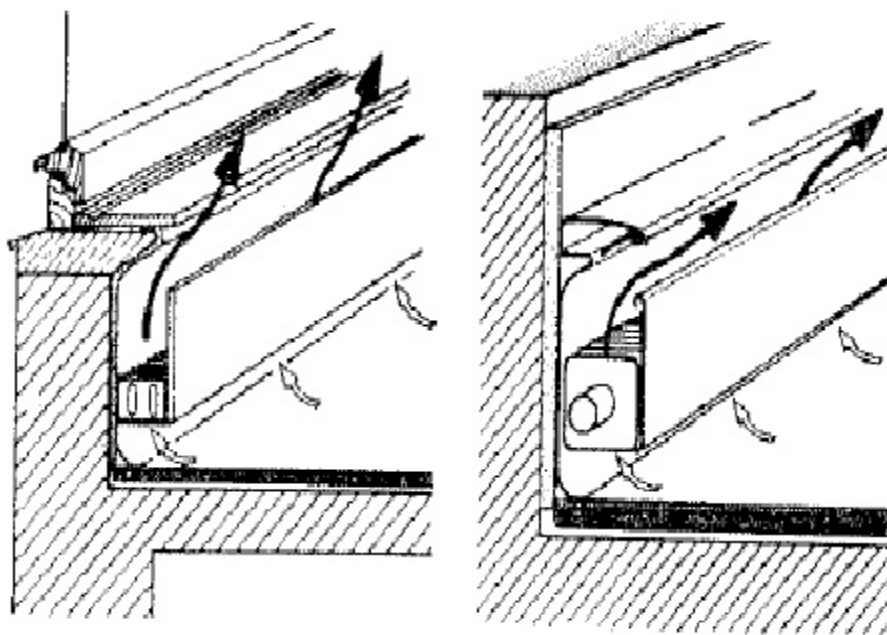


Слика 4.3.2 Конвектори се састоје од челичних или бакарних цеви у лименом кућишту



Слике 4.3.3 и 4.3.4 Пример рада једног конвектора

Многе предности конвектора губе своју вредност за примену у просторијама где се мора водити рачуна о хигијенским условима грејног тела. На слици 4.3.5 приказани су конвектори ребрасте израде какве сусрећемо уграђене у пословним зградама.



Слика 4.3.5 Конвектори ребрасте израде

Један специјалан вид конвектора представљају спирални конвектори који су израђени са две или више цеви и на којима су заварене спиралне жице (слика 4.3.6).



Слика 4.3.6 *Спиралне жице конвектора*

5 ТЕХНИЧКИ ПРОРАЧУН И ИЗБОР РАДИЈАТОРА

5.1 Карактеристике објекта

Стамбено пословни објекат 315 m^2 , пословни простор (локал) је у склопу куће $81,95\text{ m}^2$. Кућа се налази у селу Мајиловац које је на подручју Општине Велико Градиште, у улици Жикице Јовановића Шпанца бр. 103. Објекат је изграђен 1990 године.

Карактеристике пословног простора:

- Површина пода $81,95\text{ m}^2$
- Површина зидова $104,67\text{ m}^2$
- Површина плафона $86,74\text{ m}^2$
- Површина стакала $6,6024\text{ m}^2$
- Квадратура пословног простора $81,95\text{ m}^2$
- Кубатура пословног простора $239,7304\text{ m}^3$



Слика 5.1.1 Приказ објекта

5.2 Прорачун топлотних губитака објекта

Прорачун је рађен помоћу софтвера „Калкулатор топлотних губитака – Microma“.

Uslovi

Minimalna spoljna temperatura °C

Sobna temperatura °C

Razlika u temperaturi °C

Svojstva Objekta

Dimenzije

Dužina m

Ukupna površina zidova m²

Širina m

Ukupna površina prozora m²

Visina etaže m

Ukupna grejna površina m²

Spratnost m

Zidovi

Koeficijent prolaza toplote W/m²K

Gubici na zidovima W

Prozori

Koeficijent prolaza toplote W/m²K

Gubici na prozorima W

Tavanica

Betonska izolovana 10 cm ▼

Koeficijent prolaza toplote 0,35 W/m²K

Gubici na tavanici 1.120,00 W

Podovi

Stiropor 10 cm ▼

Koeficijent prolaza toplote 0,33 W/m²K

Gubici na podovima 396,52 W

Ukupni gubici

Ukupni toplotni gubici 10.770,92 W

Gubici na zidovima 57,58 %

Gubici na prozorima 28,34 %

Gubici na tavanici 10,40 %

Gubici na podu 3,68 %

Instalacija

- ☐ Podno grejanje
☒ Radijatori
☐ Ventilokonvektori

Preporučene toplotne pumpe

[Warmatronic WW 18 SC](#)

[Warmatronic WW 16 IC](#)

Statistika

Cena električne energije

Zelena zona 5,445 Din/kWh

Plava zona 8,166 Din/kWh

Crvena zona 16,331 Din/kWh

Cena električne energije: 16 časova više i 8 časova niže tarife. Cena je sa akcizom i PDV-om

Табела 7. Приказ топлотних губитака

Mesec	Gubici(kWh)	kWh(el)	Zelena	Plava	Crvena	Troškovi za EL energiju
Januar	6.112,41	1.746,40	1.905,75	10.207,50	2.390,89	14.504,14
Februar	4.800,77	1.371,65	1.905,75	8.342,78	0,00	10.248,53
Mart	3.986,35	1.138,96	1.905,75	6.442,63	0,00	8.348,38
April	1.285,92	367,41	1.905,75	142,14	0,00	2.047,89
Maj	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jun	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jul	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Avgust	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Septembar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Oktobar	1.543,10	440,89	1.905,75	742,18	0,00	2.647,93
Novembar	3.857,76	1.102,22	1.905,75	6.142,61	0,00	8.048,36
Decembar	5.315,14	1.518,61	1.905,75	9.542,87	0,00	11.448,62
Ukupno	26.901,45	7.686,13				57.293,84

5.3 Одабир радијатора

На сликама су приказани технички цртежи пресека пословног простора. Цртежи су израђени у програмском пакету Auto CAD 2007.



Слика 5.3.1 Пресек пословног простора

На основу претходног прорачуна топлотних губитака врши се одабир радијатора. Према прорачуну топлотни губици пословног простора износе 10.770,92 W.



Слика 5.3.2 Пресек пословног простора са грејним телима

 AKCIONARSKO DRUŠTVO JUGOTERM Merošina					
1 kcal=1,163 Watt 1 CAL=4,1863 J 1Wh=3,6 KJ		T22			
DUŽINA (mm)	VISINA (mm)	H300	H500	H600	H900
2000	A (m ²)	5,544	9,240	11,09	16,63
	90/70/20°C	2488	3804	4428	6120
	75/65/20°C	1975	3019	3514	4857

Слика 5.3.3 Техничке карактеристике панелног радијатора

Техничке карактеристике:

- Материјал: декапирани челични лим дебљине 1,25 *mm*,
- Површинска обрада: фосфатирање, грундирање, електростатско лакирање, печење на температури од 180°C,
- Боја: бела RAL 9010,
- Радни притисак: 0,6 *MPa* = 6 *bar*,
- Пробни притисак: 0,9 *MPa* = 9 *bar*,
- Максимална радна температура 110°C.
- Димензије:

висине: 300; 500; 600; 900,

дужине: 500 – 3000,

дебљина: 100 *mm*,

прикључци: R 1/2.

Панелни радијатори представљају јединствену целину која одаје топлоту са предње површине у највећем делу зрачењем, а са задње стране која је окренута према зиду конвекцијом. Производе се од челичног лима који је нешто дебљи (1.25 *mm*) из разлога стабилности и издржавања већих притисака. За веће капацитете праве се из две или три панелне плоче са међусобним одстојањима ради формирања канала за струјање ваздуха који се загрева искључиво конвекцијом.

Да би се повећала грејна површина на страни према зиду или у простору између две плоче, заварује се лим у облику који образује вертикалне канале. Висина ових грејних тела су до 300 *mm*, као и 600, 800 *mm* и веће. Дужине могу бити и неколико метара. Панелни радијатори се постављају уз зидове, јер захваљујући дубини од неколико центиметара не заузимају много простора, а одстојање на које се постављају од зида је 50 *mm*.



Слика 5.3.4 Панелни радијатор ЈУГОТЕРМ H-600 тип 22

6 ЗАКЉУЧАК

На основу свега претходно наведеног може се закључити да размењивачи топлоте са ваздухом имају веома широку примену у разним гранама индустрије, због својих предности у односу на друге размењиваче топлоте.

Предности размењивача топлоте са ваздухом су: једноставније одржавање и универзалност, висока ефикасност, лак преглед и чишћење, висок капацитет, ниски трошкови одржавања, уштеда простора, изузетна флексибилност.

Недостаци размењивача топлоте са ваздухом су: велике димензије (велика површина за размену топлоте), додатна опрема у виду вентилатора (принудна конвекција), краћи интервал одржавања у односу на друге размењиваче топлоте.

Размењивачи топлоте се могу унапредити применом материјала новије генерације са побољшаним својствима битним за размену топлоте, специјалним дизајном канала или ребрења кроз које струји ваздух како би се повећала брзина струјања ваздуха.

Специјалним дизајном се може повећати и енергетска ефикасност размењивача топлоте са ваздухом на тај начин што би се нпр. избацили из употребе вентилатори који обезбеђују веће струјање ваздуха.

Подручја примене размењивача топлоте са ваздухом су бројна, а то су: прехранбена и млекарска индустрија, индустрија нафте и гаса, аутоиндустрија, петрохемијска и хемијска индустрија, енергетика, грејање, вентилација и климатизација, производна индустрија, наутика, фармацеутска и хигијенска индустрија.

7 ЛИТЕРАТУРА

- [1] Н. Лукић, Скрипта предавања Пренос топлоте и масе, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2011.
- [2] Ф. Бошњакловић, Наука о топлоти, Техничка књига, Загреб, 1950.
- [3] Д. Чељустика, Парно и водено централно грејање, Индустриска књига, Сарајево, 1948.
- [4] М. Поповић, Грејање и проветравање, Машински приручник „Техничар“, Грађевинска књига, Београд, 1963.
- [5] С. Шамшаловић, Ваздухом хлађени кондензатори у инсталацијама за хлађење, Часопис КГХ, Београд, 1972.
- [6] М. Тодоровић, материјал са предавања, Енергетска ефикасност система грејања и климатизације, Машински факултет универзитета у Београду, Катедра за термотехнику, 2011.
- [7] Каталог произвођача, Челични панелни радијатори „ЈУГОТЕРМ“.