

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



**Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Основне академске студије
Модул: Енергетика и процесна техника
Предмет: Пренос масе и топлоте
Број индекса: 165/2010**

**Марко Р. Здравковић
Панелно грејање-подно грејање
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др. Небојша Лукић

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да објасни шта је подно грејање, принцип рада, уградњу подног грејања, материјале који се користе за уградњу, прорачун подног грејања као његову примену и цену.

Оквирни садржај рада:

1. Увод
2. Начин преноса топлоте
3. Панелно грејање
4. Начин извођења подног грејања
5. Предности и мане панелног грејања
6. Примена
7. Прорачун
8. Цена
9. Закључак
10. Литература

Препоручена литература:

- [1] Б. Тодоровић, Пројектовање постројења за централно грејање, Машински факултет, 2009.
- [2] С. Зрнић, Ж. Ћулум, Грејање и климатизација, 1998. Београд

Крагујевац, Септембар 2014. год.

ментор:

др Небојша Лукић, ред. проф.

Резиме рада

Завршни рад је посвећен упознавању **подног грејања**, као и упознавању са повољностима које оно пружа. То је једна врста **панелног грејања**, постоје још зидно и плафонско. Говори се о њиховој историји, начину преноса топлоте, начину извођења, о материјалима од којих се севи израђују, као и о њиховој **примени**, цени и предностима и манама.

Кључне речи: подно грејање, панелно грејање, примена.

Abstract

The final study is dedicated to introducing the underfloor heating, as well as learning about the advantages that it provides. It is a kind of panel heating, there are wall and ceiling. We talk about their history, how to transfer heat to an embodiment, the material of which will be made, as well as on their application, cost and advantages and disadvantages.

Keywords: underfloor heating, panel heating, application.

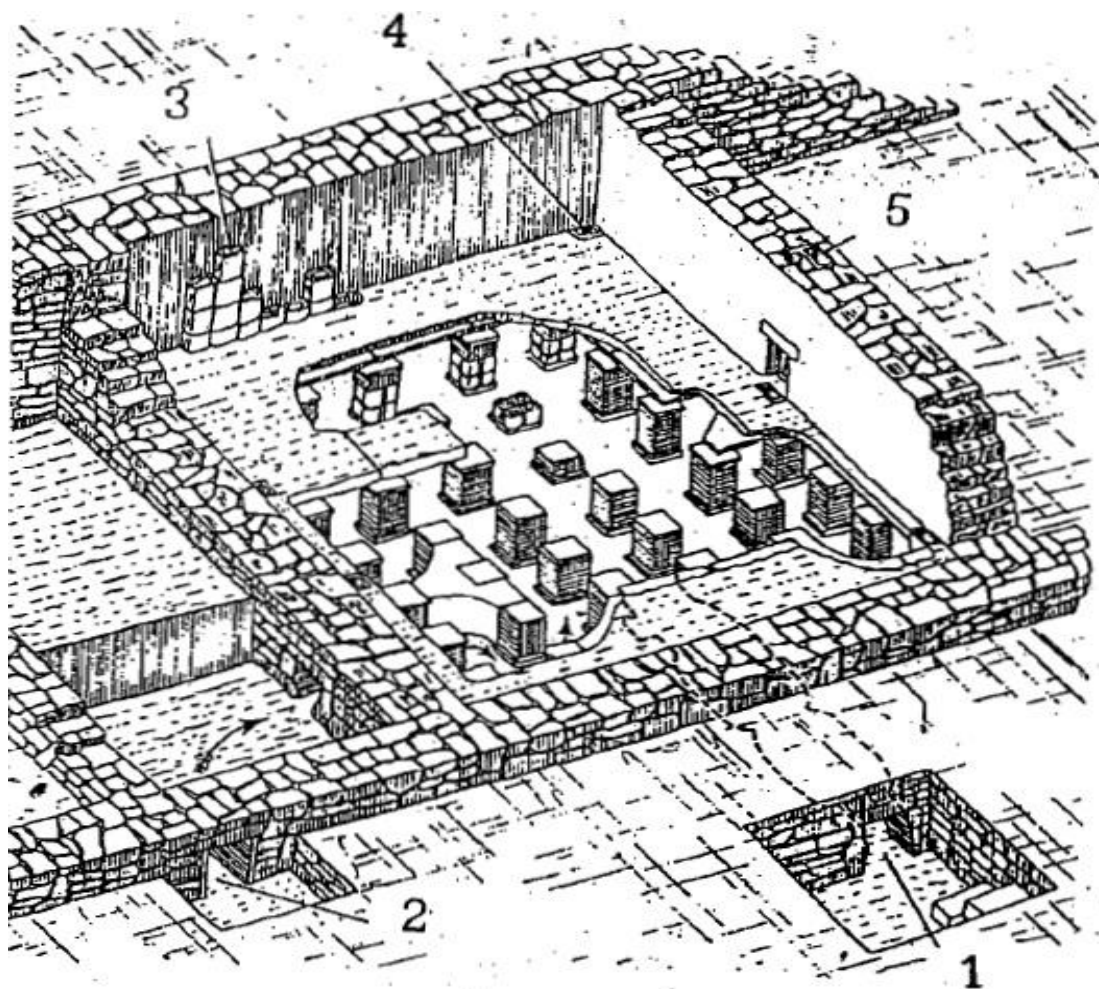
САДРЖАЈ

	Страна
1 Увод	5
2 Начин преноса топлоте	7
2.1 Пренос топлоте зрачењем.....	7
2.2 Размена топлоте зрачењем.....	10
2.2.1 Паралелне равне површине.....	10
2.2.2 Тело обухваћено другим телом.....	11
2.2.3 Произвољно орјентисане равне површине.....	11
3 Панелно грејање	12
3.1 Плафонски панели.....	12
3.2 Подни панели.....	14
3.3 Зидни панели.....	15
4 Начин извођења	17
4.1 Цеви и цевоводи.....	21
5 Предности и мане панелног грејања.....	27
6 Примена.....	28
7 Прорачун.....	29
7.1 Подаци за прорачун.....	29
7.2 Потребна грејна површина пода или плафона (A).....	29
7.3 Упутство за прорачун.....	30
8 Цена.....	33
9 Закључак.....	34
Литература	35

1 УВОД

Под панелним грејањем подразумева се такав систем грејања код кога се одавање топлоте у просторији врши помоћу загрејаних површина, обично интегрисаних у грађевинске елементе саме просторије: таваница, под, односно зидова, због чега се често ова врста грејања назива и „површинским грејањем“ или „грејање интегрисаним грејним површинама“.

Прво у историји познато централно грејање било је панелно – прецизније подно грејање. Користили су га стари Римљани, а познато је под називом „hipocaust“ (грчки: hipo – што значи испод, haust – што значи запаљен). Испод пода који је представљао грејну површину, налазио се простор висине око 1 метар који је служио за струјање продуката сагоревања. Ложиште је било отворено спољној околини а у њему су сагоревани комади дрвета или дрвени угаљ. Врели гасови су струјали испод пода и око стубова на која се ослањао под, крећући се према вертикалним отворима у угловима грејане просторије, слика 1. У одајама намењеним за купатила, продукти сагоревања су пролазили кроз зидове од шупљих опека, одржавајући површине зидова на вишој температури и спречавајући тиме кондезовање паре.



Слика 1. Скица једног хипокауста: 1. Ложиште, 2. Довод свежег ваздуха, 3. Димни гасови, 4. Довод топлог ваздуха, 5. Вентилациони шахт.

Стубови у простору испод пода су се загревали и акумулисали део топлоте врелих гасова, тако да се просторија могла загревати и на тај начин што би се после гашења ватре пуштао спољашни ваздух кроз предходно загрејани међупростор испод пода. Постојала је и варијанта да се тако загрејан ваздух, уместо да пролази кроз отворе за дим, усмерава директно у грејани простор. На тај начин добијала се нека комбинација подног и ваздушног грејања.

Следећи корак у развоју панелног гјања десио се у 19. веку, као једна варијанта новопронађеног парног грејања. По тој варијанти у поду просторије, коју треба грејати, остављени су затворени канали у која су слободно положене челичне цеви, а кроз које је пролазила пара.

Може се сматрати да панелно грејање у данашњем смислу има свој почетак 1907. године када је у Енглеској патентирана инсталација са цевима уграђеним у грађевинске елементе (подове, зидове, плафоне) уз коришћење умерених температура топле воде. Мада су убрзо изграђене прве инсталације ове врсте, и то у Енглеској, до шире примене панелног грејања савременог типа долази тек почетком тридесетих година (прва инсталација у Европи изван Енглеске изграђена је 1929. год у Амстердаму). Прве инсталације панелног грејања и то плафонског у Београду су уграђене 1938 год. У дечијој клиници на Врачару а годину дана касније у анексу хотела „Мажестик“.

2 НАЧИНИ ПРЕНОСА ТОПЛОТЕ

Панелна грејна тела одају топлоту:

- зрачењем на околне површине у просторији (код подног грејања око 55%, док код плафонског грејања може достићи и 90%) и
- конвекцијом на собни ваздух (код подног око 45%, а код плафонског знатно мање)

2.1 Пренос топлоте зрачењем

Пренос енергије зрачењем остварује се електромагнетним таласима различите дужине. При неком зрачењу у принципу може учествовати цео спектар таласних дужина, а емитована енергија разврстаће се, већ према карактеру зрачења, неравномерно на разне таласне дужине, али ће по правилу један дијапазон бити главни преносилац енергије. Све ће то зависити од прилика у којима настаје зрачење као и од каснијих утицаја под којима се зрачење одвија. Читаво поље таласних дужина најчешће се дели у следећа подручја, табела 1.

Područje talasne dužine λ	Tip zračenja
Kraće od $5 \cdot 10^{-9} \mu\text{m}$	Kosmičko zračenje
$5 \cdot 10^{-7}$ do $1 \cdot 10^{-5} \mu\text{m}$	γ -zranci
$1 \cdot 10^{-6}$ do $2 \cdot 10^{-2} \mu\text{m}$	rendgenski zranci
$2 \cdot 10^{-2}$ do $0,4 \mu\text{m}$	ultraljubičasti zranci
0,4 do $0,8 \mu\text{m}$	svetlosni zranci
0,8 do $400 \mu\text{m}$	toplotni (infracrveni) zranci
$400 \mu\text{m}$ do x km	radio talasi, zračenja zvezda i td.

Табела 1. Подела поља таласних дужина

Феномен зрачења (посебно температурног) повезан је искључиво са трансформацијом енергије. То значи да само материја може да емитује и апсорбује зрачење а никако геометријске површине. Међутим, на граници два тела различите густине дешава се да зраци промене смер и интензитет у тако танком слоју да можемо говорити о геометријској површини. На слици 2. су приказане могућности апсорбовања и рефлектовања топлотних зрака од површине различитих својстава, при чему је аналогија са светлосним зрачењем очигледна. Скице на левој страни слике приказују глатке површине које рефлектују зрачење као огледало, док су на десној страни храпаве површине које рефлектују дифузионо. Скице у првом реду (а и б) односе се на техничке површине које један део зрачења апсорбују а један део рефлектују; у другом реду (с и д) су потпуно светле (беле) површине које сву дозрачену енергију рефлектују, а у последњем реду (ф) је површина која одговара црном телу. Пример (е) представља хипотетичку површину.

Од енергије коју носи неко зрачење и која доспева до површине неког чврстог тела, један део ће се одбити од површине, један део ће се апсорбовати при пролазу кроз тело и повећати његову унутрашњу енергију док ће остатак проћи кроз тело. При томе ће бити:

$$r + a + d = 1 \quad (2.1)$$

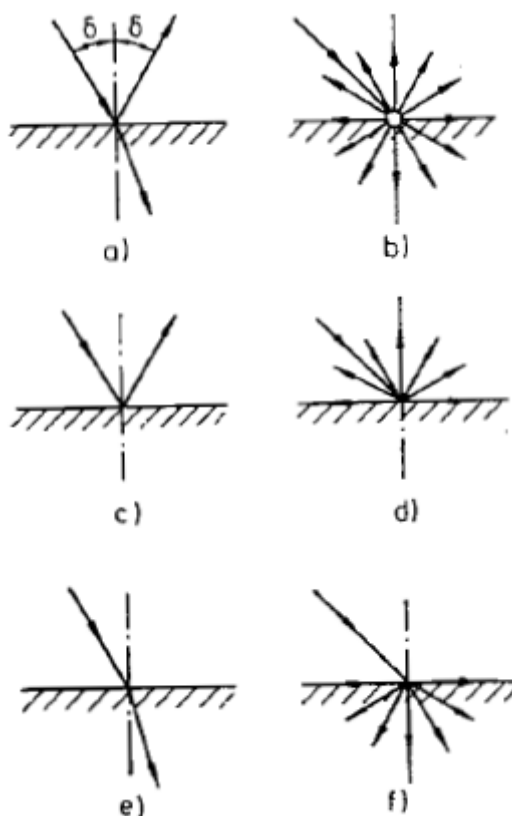
Где је:

r – коефицијент рефлексије

a – коефицијент апсорције

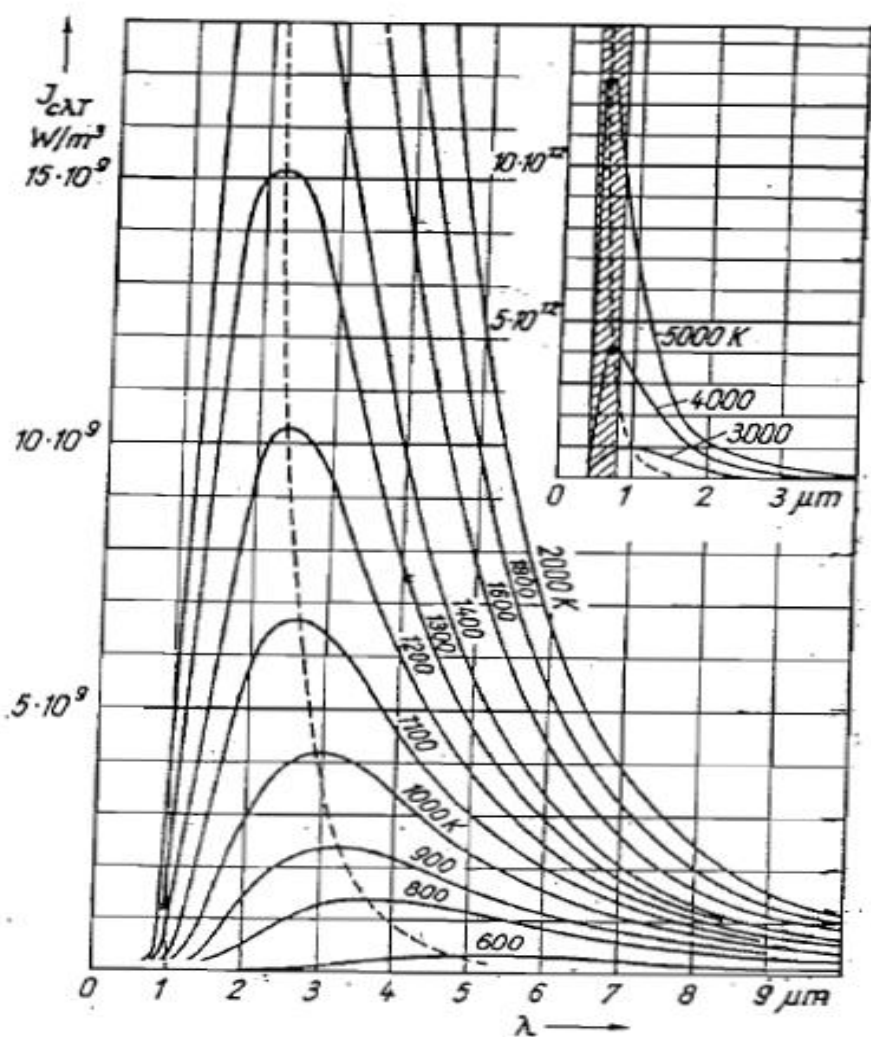
d – коефицијент дијатермије прозачности посматраног тела

Код већине непрозрачних чврстих тела део топлотног зрачења који се није рефлектовао апсорбује се већ у дубини од неколико микрона. У том случају тело је практично непрозрачно и у даљем разматрању ће се сматрати да свака чврста површина у потпуности апсорбује онај део до зрачене топлотне енергије који се није од ње рефлектовао.



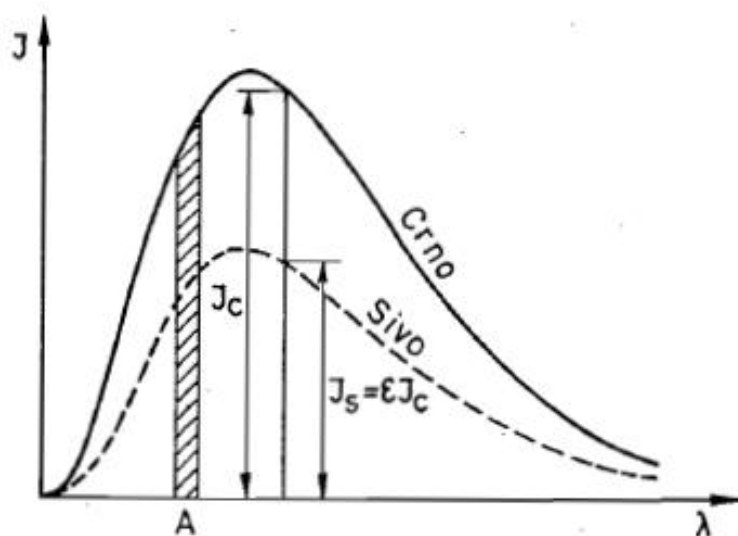
Слика 2. Својство површина с обзиром на зрачење

Температурно зрачење црног тела једнозначно одређено само температуром. На слици 3 се види како је температурско зрачење чврстог тела распоређено по таласним дужинама. $J_{\epsilon \lambda T}$ представља интензитет енергије црног зрачења температуре T и таласне дужине λ , изражен у W/m^3 , а испрекидана линија повезује максимуме интензитета.



Слика 3. Температурско зрачење црног тела

Упоредивање црног и сивог зрачења за одређену температуру дато је на слици 4.



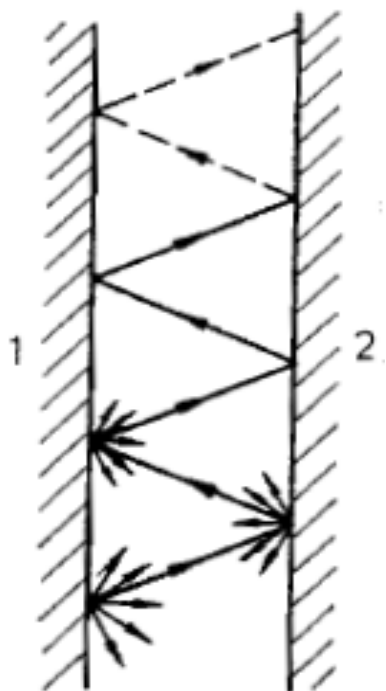
Слика 4. Сиво и црно зрачење; A = једнобојно зрачење

2.2 Размена топлоте зрачењем

Ако два тела различите температуре стоје у неком међусобном односу у простору доћиће до зрачења енергије у оба смера, односно до размене топлоте између та два тела зрачењем. При томе дозрачена енергија од првог тела на друго тело бива једном делом апсорбована, а другим делом рефлектована. Потом део те рефлектоване енергије допире натраг до првог тела где опет долази до делимичне апсорпције, односно рефлексије. Међутим цео овај процес добија стационарни вид, уколико су температуре тела која учествују у зрачењу дефинисане као непроменљиве.

2.2.1 Паралелне равне површине

Два паралелна зида 1 и 2 (слика 5), раздојена су неком дијатермном материјом (на пример сувим ваздухом).



Слика 5. Паралелне равне површине

$$E_1 = \varepsilon_1 C_c \left[\frac{T_1}{100} \right]^4 \quad \text{и} \quad E_2 = \varepsilon_2 C_c \left[\frac{T_2}{100} \right]^4, \quad (2.2.1.1)$$

E_1 – Зрачење тела 1 [W/m^2], E_2 – Зрачење тела 2 [W/m^2],

ε_1 – Коефицијент емисије тела 1 и тела 2,

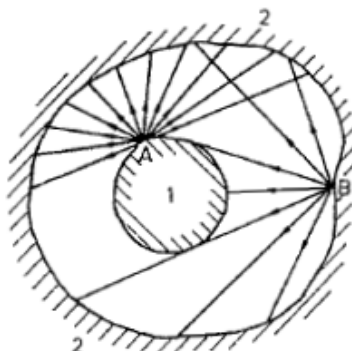
C_c – Константа зрачења апсолутно црног тела [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$],

T_1 – Апсолута температура тела 1 [K],

T_2 – Апсолута температура тела 2 [K].

2.2.2 Тело обухваћено другим телом

На слици 6. приказана си два тела од којих је тело 1 са свих страна обухваћено телом 2.



Слика 6. Тело обухваћено другим телом

$$Q_{1/2} = F_1 \cdot C_{1/2} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (2.2.2.1)$$

$Q_{1/2}$ – Количина топлоте тела 1 и 2

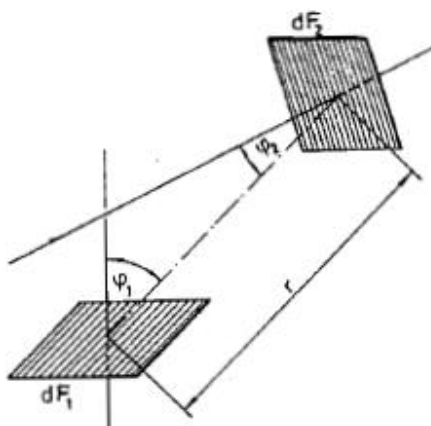
T_1 – Апсолута температура тела 1[K],

T_2 – Апсолута температура тела 2[K],

F_1 – Сила [N].

2.2.3 Произвољно орјентисане равне површине

Посматрамо две елементарне равне површине dF_1 и dF_2 , смештене произвољно у простору, слика 7. Размак њихових тежишта r је коначна величина, а са нормалама на површине заклапа углове φ_1 и φ_2 .



Слика 7. Произвољно орјентисане површине

$$C_{1/2} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot C_c = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_c} \quad (2.2.3.1)$$

3 ПАНЕЛНО ГРЕЈАЊЕ

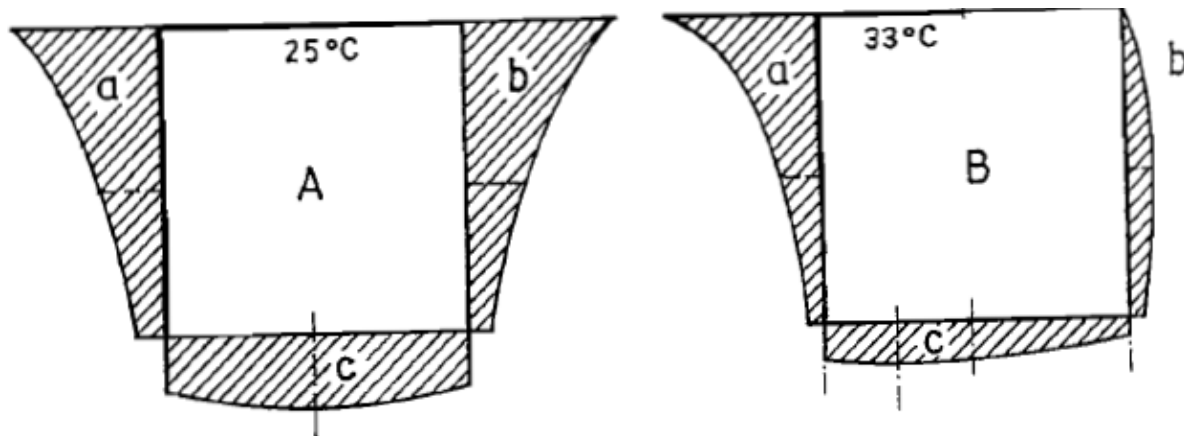
Код панелног грејања грејна тела уграђена су у грађевинске елементе: плафоне, подове или зидове. Плафони, подови, односно зидови просторије доведени су на температуру вишу од околног ваздуха и они одају топлоту на околину конвекцијом и зрачењем. Према томе имамо: плафонско грејање, подно грејање и грејање зидним панелима.

Најчешће примењивана панелна грејања просторије су плафонско и подно грејање. Код плафонског грејања плафон просторије, или један његов део, представља грејно тело. Код овог типа панела 90% топлоте предаје се просторији зрачењем а само око 10% конвекцијом. Код подног грејања најчешће се цео под просторије користи као грејно тело, а учешће зрачења износи око 55%, уколико нема већих комада намештаја који би неадекватним распоредом ометали зрачење. Расподела температуре ваздуха по висини просторије код подног грејања сасвим је приближна такозваној идеалној расподели, док је код плафонског грејања такође веома повољна – повољнија него код других врста грејања.

Једна од значајних карактеристика панелног грејања је да скоро све унутрашње површине у просторији имају вишу температуру од околног ваздуха, односно температуру унутрашњих површина вишу него код других врста грејања, а све то захваљујући знатном учешћу зрачења у размени толите. Ово је највише изражено код плафонског грејања али није занемарљиво ни код подног грејања. То значајно утиче на начин размене топлоте човековог тела са околином, при чему услови термичке угодности у великом степену зависе до удела одвајања топлоте зрачењем. Познато је да на пример хладне површине прозора и спољашних зидова стварају осећај хладноће, упркос повољној температури околног ваздуха. На исти начин, повишена температура околних површина даје осећај угодности и онда када је температура ваздуха нешто нижа. Разлог је познат: са повећаном средњом температуром околних површина смањује се одавање топлоте човека зрачењем, па се према томе може у одговарајућој мери повећавати одавање конвекцијом, а да се укупан осећај угодности не промени. Из тога произилази да се температура ваздуха у просторијама које се греју панелима може снизити, без штете по угодност. Уосталом сматра се да је нижа температура ваздуха физиолошки повољнија за човека.

3.1 Плафонски панели

Ова врста панелног грејања с правом може да носи назив „грејање зрачењем“, пошто зрачење доминира у размени толите са околином. Та чињеница је од значаја пре свега за механизам покривања топлотних губитака, односно обезбеђивања потребне температуре ваздуха у просторији, а такође и за услове угодности. Зрачење плафона на људско тело у просторији грејаној плафонским панелом веома значајно утиче на осећај угодности. Осим тога знатан део топлотне енергије дозрачује се са плафонског панела на зидове и под просторије (слика 8), чија температура због тога расте, што такође има утицаја на услове угодности. На истраживању овог феномена радили су многи истраживачи и при томе се дошло до извесних резултата примењиваних у пракси. Генерално речено „прејако“ зрачење топлоте са плафонског панела делује веома неугодно на особу која се налази у тој просторији, а пре свега на њену главу.



a – леви зид, b – десни зид, c – под

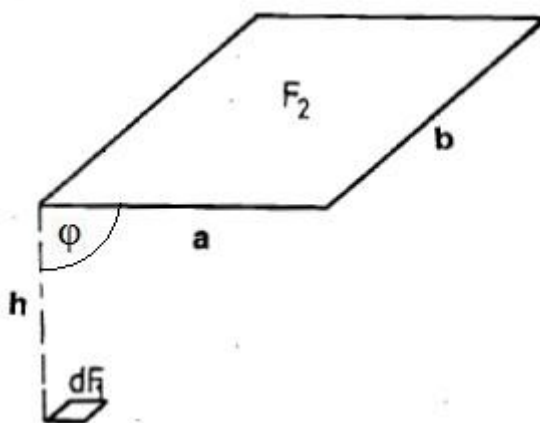
a – леви зид, b – десни зид, c – плафон

Слика 8. Топлотна енергија дозрачена са плафонског панела на зидове и подове. А – панел заузима целу површину плафона, В – Панел заузима половину површине панела

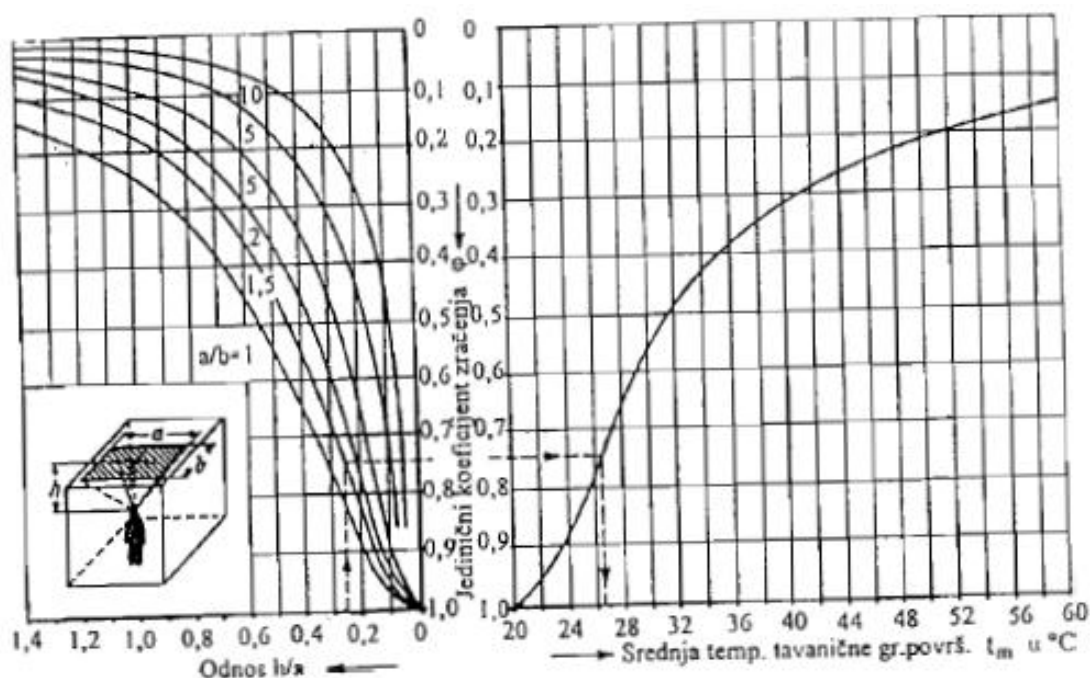
Ако посматрамо међусобни однос једне елементарне површине dF_1 и њој паралелне површине F_2 , слика 9. Просторни угао са теменом у dF_1 који обухвата контуру површине F_2 нека буде ω , а однос овог угла према пуном просторном углу – назовимо „угаони однос“ – нека буде:

$$\phi = \omega/4\pi \quad (3.1)$$

Овај угаони однос представља бездимензионалну величину пространог угла ω (у односу на пун угао). Вредност овог угаоног односа за дати пример дата је једним сложеним изразом. За неке друге положаје елемената dF_1 вреди нека друга релација дата другачијим дијаграмом из кога се опет може прочитати вредност ϕ за остале познате величине. Није тешко уочити да у овом примерима површина F_2 може представљати плафонски панел, а елемент dF_1 главу неке особе која је изложена зрачењу панела. Та зависност дата је графички једном кривом линијом у одговарајућем дијаграму. На слици 10 дата су два дијаграма: леви који даје вредност ϕ за разне димензије и висину плафонског панела и десни са кривом максималне дозвољене средње температуре панела t_m .



Слика 9. Зрачење елемента dF_1 на паралелну површину F_2

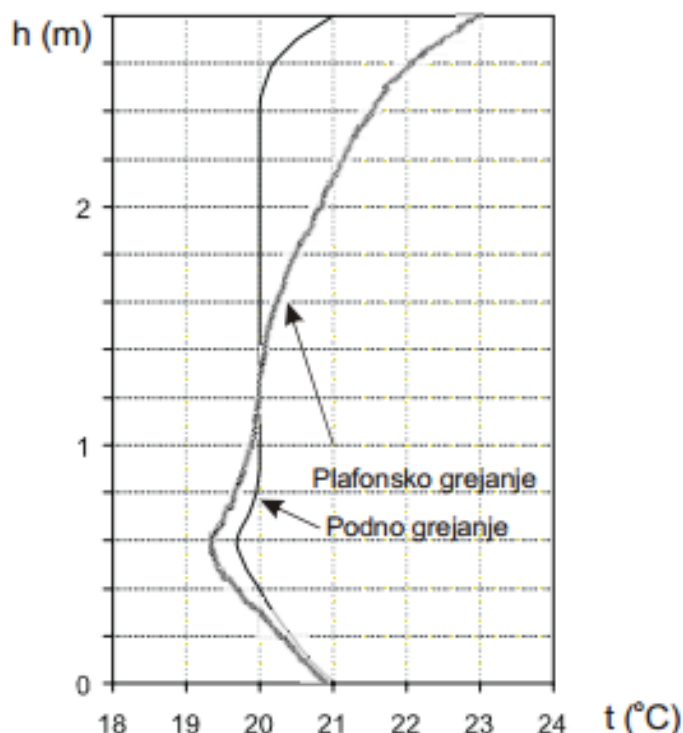


Слика 10. Допштена температура површине плафона при собној температури 20 °C

3.2 Подни панели

Подно грејање спада у ред најпогоднијег врста грејања, када су у питању услови угодности, јер обезбеђује скоро идеалну расподелу температуре ваздуха по висини просторије. Дијаграм расподеле температуре ваздуха по висини приказан је на слици 11. Односи се на просторије уобичајне унутрашње висине до 3m, међутим занимљиво је да је и у просторијама знатно веће унутрашње висине (на пример у црквама) мерењем установљена слична повољна расподела температуре ваздуха код подног грејања. И код подног грејања захваљујући зрачењу подног панела, плафон и околне површине су на нешто вишој температури. Имајући у виду обе чињенице, температура ваздуха у просторији грејаној подним грејањем може бити нешто нижа него у сличној просторији грејаној радијаторима а да осећај угодности не буде нарушен. Температура површине пода диктирана је хигијенским условима, тј. условима заштите ногу од претераног загревања. Наиме установљено је да се појављују одређени здравствени проблеми код особа које после дужег боравка у просторији са високом температуром пода изађу на хладан зимски дан. На основу тих искустава лимитиране су максималне температуре пода за подно грејање и дате како следи:

- 25 °C у радним просторијама у којима се борави дуже време углавном стојећи,
- 28 °C у стамбеним и канцеларијским просторијама,
- 30 °C у изложбеним и сличним халама,
- 32 °C у купатилима и око пливачких базена,
- 35 °C у просторијама у којима се кратко борави, односно кроз које се само пролази.



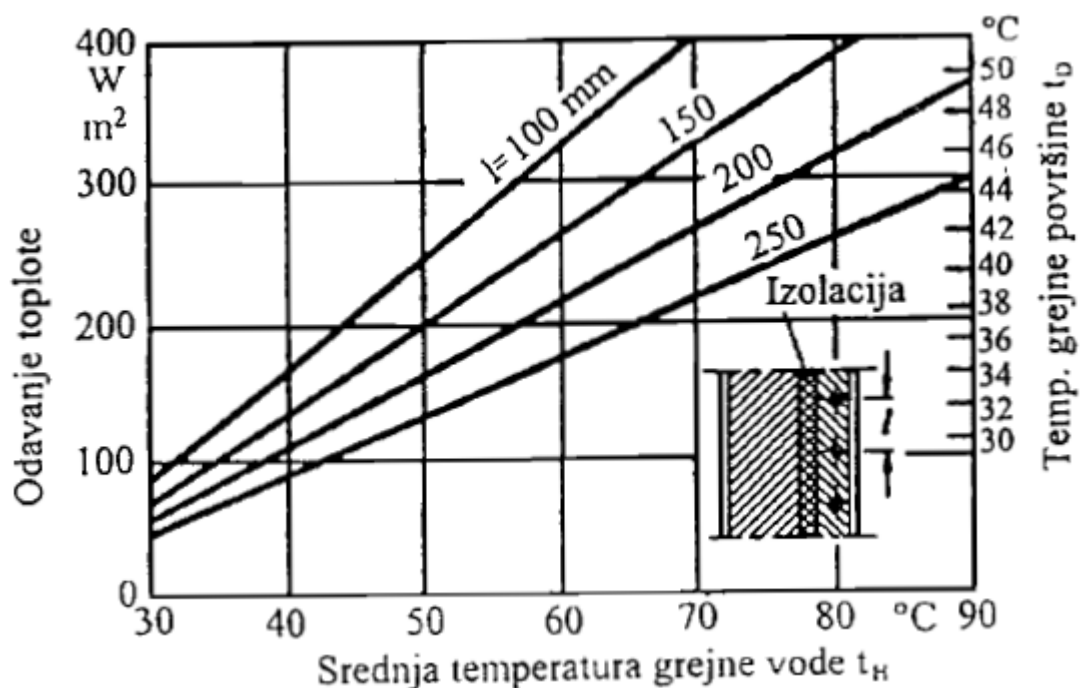
Слика 11. Дијаграм расподеле температуре по висини просторије

Конвекција код подног грејања је знатна. Коефицијент конвективног прелаза топлоте креће се у границама од 3,2 до 4,8 $\text{W/m}^2\text{K}$ код уобичајних конфорних инсталација, док се код истих таквих инсталација коефицијент прелаза топлоте зрачењем налази у границама од 8,5 до 10 $\text{W/m}^2\text{K}$.

Подни панели су најпогоднији за просторије у којима је цео под слободан, без намештаја. Незаменљиви су у просторијама око пливачког базена а веома одговарају музејима, станичким и сличним холовима и црквама. У пословним просторијама и становима, у којима има доста крупног намештаја и тепиха, у принципу је повољније плафонско грејање од подног, због тога што намештај ремети зрачење пода према зидовима и плафону. Разлог лежи у чињеници што је извођење подног грејања једноставније и јефтиније од плафонског, те се многи инвеститори одлучују за јефтинију варијанту.

3.3 Зидни панели

Зидни панели најчешће се користе као замена некој другој врсти грејања (на пример радијаторском грејању) када постоје неки разлози – обично не техничке природе због којих се та друга врста грејања не може применити. Ови панели најчешће заузимају мањи део неког зида (рецимо прозорски парапет), па ни температура њихове површине није строго лимитирана као што је то случај са подним и плафонским панелима, осим ако за то не постоје неки други разлози изван питања комфора. Укратко њихова примена није просистекла из захтева за повећањем удобности, већ из неких других разлога, па је главни захтев да покрију топлотне губитке просторије.



Слика 12. Одавање топлоте зидног панела

На слици 12. Дата је скица једног зидног панела са дијаграмом за одређивање капацитета. Дијаграм се односи на зидни панел од цеви пречника 1/2", ако је спољашња температура -15°C , а унутрашња 20°C , са карактеристикама изолације $\delta/\lambda = 0,75\text{m}^2\text{K/W}$, а зид је од опеке дебљине 36cm.

4 НАЧИН ИЗВОЂЕЊА ПОДНОГ ГРЕЈАЊА

Код подног грејања општи начин уградње подног грејања је уливањем бетоном цеви формианих у облику серпентина. Дебљина бетонског слоја мора да износи најмање од 6 до 8 cm. Испод овог слоја је изолација ако није потребно загревати и доње просторије. Ради заштите од влаге некад је у приземљу потребна и битуменска изолација. Облога пода треба да издржи температурне разлике.

Велика акумулација топлоте у мали распон температуре пода захтева нарочиту пажњу у погледу регулисања температуре воде.

Побољшање равномерности загревања постиже се мањим растојањем и пречницима цеви. Мрежа грејача никада се не комбинује са циркулационим током другог система. Ако је комбинација потребна онда се то постиже размењивачима топлоте.

Затворене вентиле подесити тако да се поједини водови могу раздвајати у циљу регулисања или издвајања појединих токова. Ваздушне одушке и заварене спојеве увек ставити изнад пода.

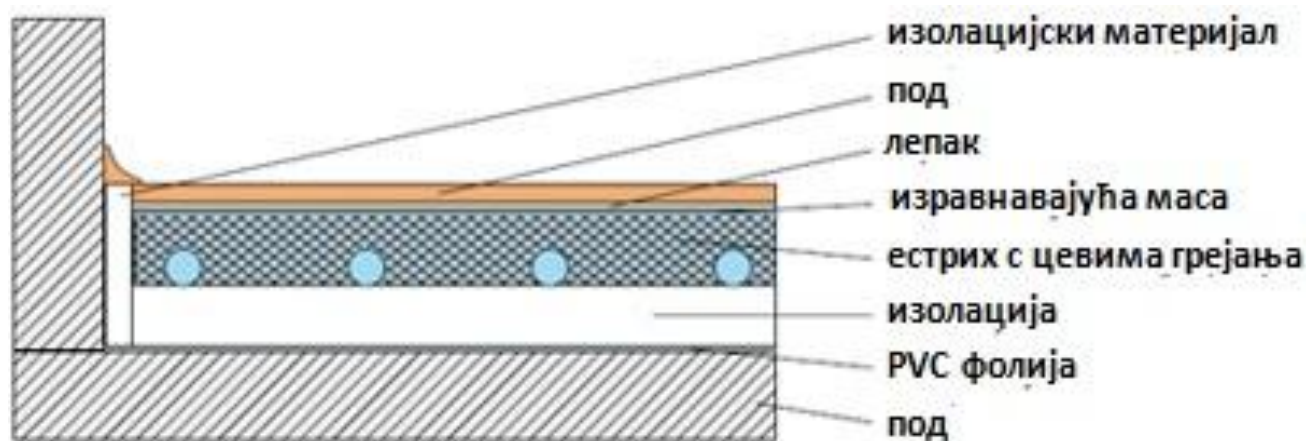
Бетонска кошуљица мора бити стручно израђена у складу са стандардима и упутствима произвођача. Површина мора бити равна, глатка, чиста и чврста, кошуљица компактна, сува и без пукотина. Цеви у којима је топла вода морају бити положене бар 35 mm испод површине кошуљице, уградња тих цеви је приказана на слици 13, да би се топлота равномерно распоредила. У случају да цеви нису на довољној дубини, на дрвеној подној облози може доћи до појава процепа или фуга.

Највиша дозвољена влажност (слика 14) на који се полаже подна облога јесте: за цементни 1,8%, за анхидридни 0,3%.



Слика 13. Уградња цеви

На слици 14. Је приказан попречни пресек начина уградње подног грејања.



Слика 14. Начин уградње подног грејања (попречни пресек)

За мировање и сушење бетонске кошуљице прописан је рок од 21 дана (за анхидридне естрихе 7 дана). Након овог рока почиње се са укључивањем грејног система по доле наведеном поступку, без временског прекида:

- | | |
|-------------------|---|
| 1. дан | 25 °C |
| 2. дан | 30 °C |
| 3. дан | 35 °C |
| 4. дан | 40 °C |
| 5. дан | 45 °C |
| 6. дан | 50 °C |
| 7. дан | 55 °C |
| 8. -20. дан | 55 °C |
| 21. дан | 50 °C |
| 22. дан | 45 °C |
| 23. дан | 40 °C |
| 24. дан | 35 °C |
| 25. дан | 30 °C |
| 26. дан | 25 °C |
| 27. дан | Мерење процента влаге се врши по СМ методи. |

СМ метода - најпоузданија је теренска метода мерења влажности грађевинских материјала. Мерни резултат независан је од врсте материјала.

СМ је физикално - хемијска метода мерења влажности материјала тачна је до 0.05%.

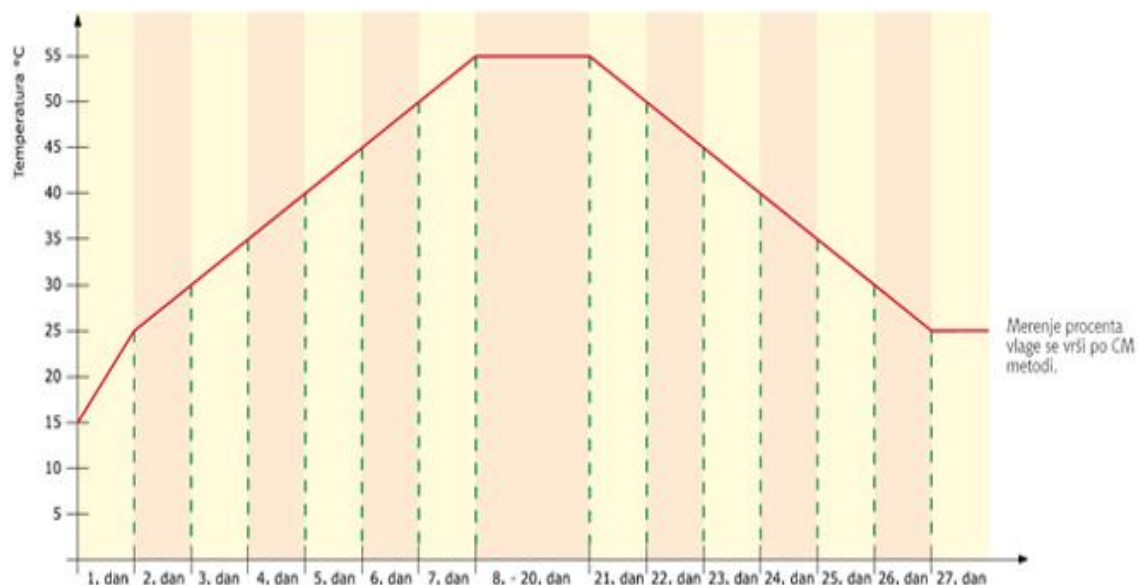
СМ метода мјерења прописана је свим грађевинским стандардима у свијету.

У тренутку када садржај влаге у кошуљици одговара условима за постављање подних облога од дрвета, може се почети са полагањем. У супротном, наставља се с сушењем на 40 °C, све док се не достигну жељени дозвољени параметри. У току сушења неопходно је простор ветрити (без промаје).

Пре постављања подне облоге температура се постепено смањује, 2-3 дана пре почетка полагања систем се угаси, односно у просторији се одржава температура од 18°C. Три дана након постављања подне облоге, подно грејање се поново укључује и температура се постепено подиже до жељеног нивоа.

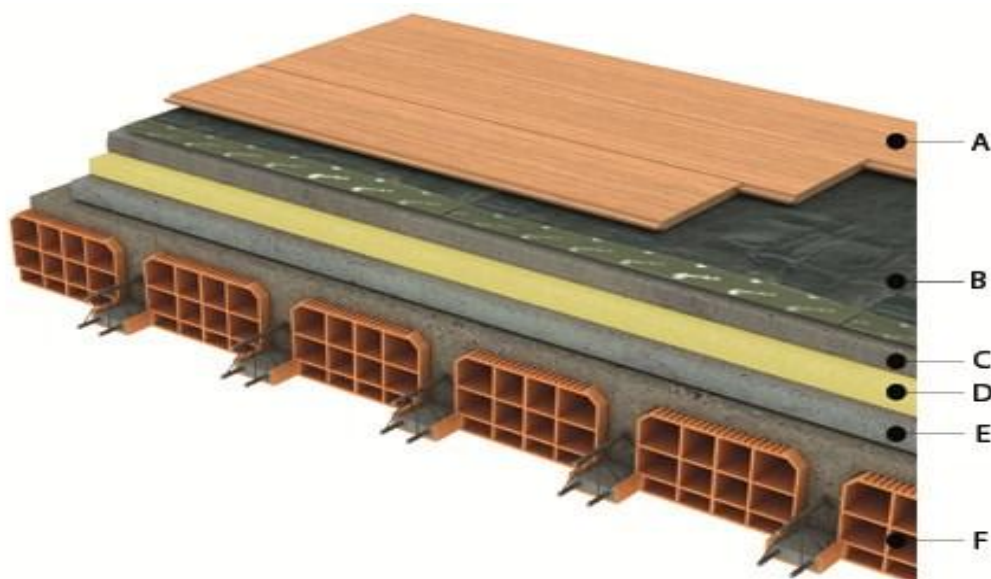
Температура површине естриха на који је положена подна облога не сме прелазити 25 °C. Оптимална влажност ваздуха је од 50 до 60%.

Дијаграм мерења процента влаге је приказан на слици 15.



Слика 15. Дијаграм промене температуре током уходавања система

На сликама 16. и 17. имамо приказана два примера уградње када су различите подлоге у питању. На слици 16. је приказан начин уградње када је на површини коју газимо паркет или ламинат. А на слици 17. имамо приказан начин уградње када је на површини коју газимо постављен керамички или камени под.



Слика 16. Начин уградње када је паркет на површин

A) Ламинат/Паркет

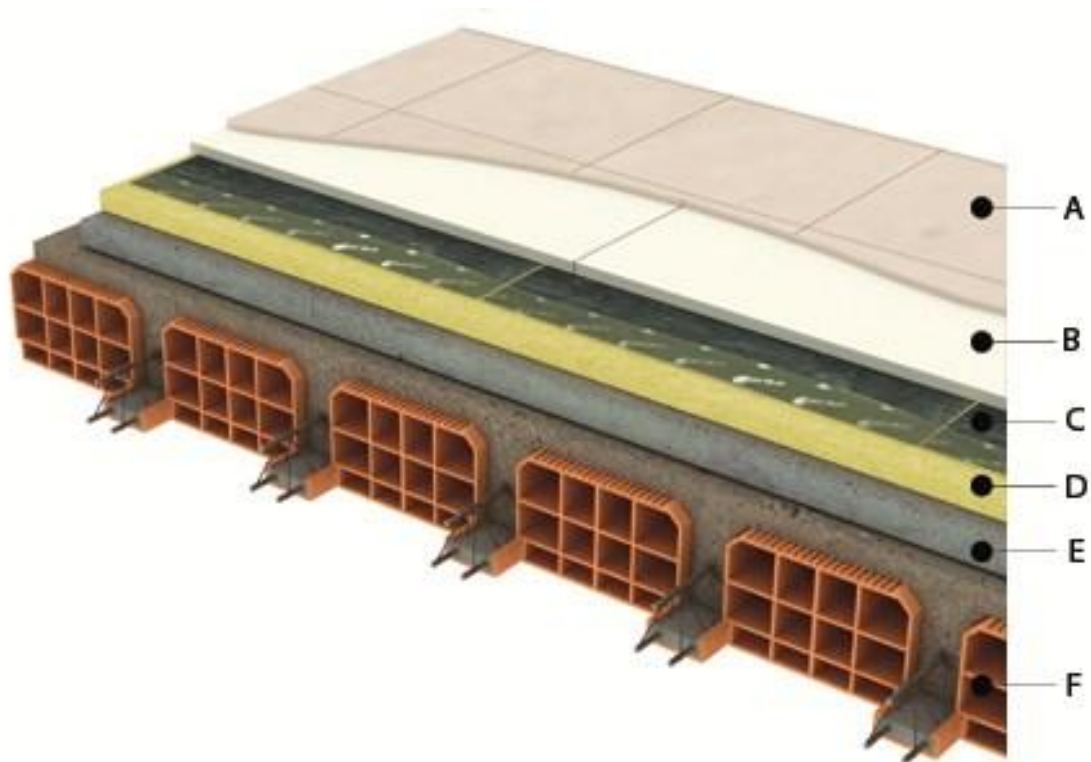
B) Инфра панелни грејач

C) Цементна кошуљица

D) Изолација

E) Бетон

F) Основни зид



Слика 17. Начин уградње када је керамичка подлога на површини

А) Керамички или камени под

Б) Гипсана плоча

Ц) Инфра панелни грејач

Д) Топлотна изолација

Е) Бетон

Ф) Основни зид

4.1 Цеви и цевоводи

Приликом избора цеви за подно грејање мора се задовољити услов да оне треба да буду трајне. Не сме се дозволити да убетонирана цев, чак и после низа година, услед оштећења процури. Штете које таквим случајевима могу да настану су велике а њихово отклањање је компликовано и скупо. Панели израђени од челичних цеви, у колико су извођени коректно по процедури могу да буду дуговечни. Битно је да бетон са спољне стране добро налегне на цев како се не би формирале шупљине уз спољни зид цеви. На местима таквих шупљина временом долази до корозије на спољној страни цеви, што у крајњем случају доводи до појаве процуривања. Корозија са унутрашње стране цеви је искључена, уколико су цеви испуњене водом.

Температурна дилатација челичних цеви је у доброј мери сразмерна дилатацији бетона. Међутим због различите топлоте проводљивости челика и бетона мора се водити рачуна да промене температуре грејне воде не буду нагле – што уосталом важи за све панеле са убетонираним цевима, без обзира на материјал цеви. Посебно се захтева да прво загревање новоуграђеног панела буде поступно.

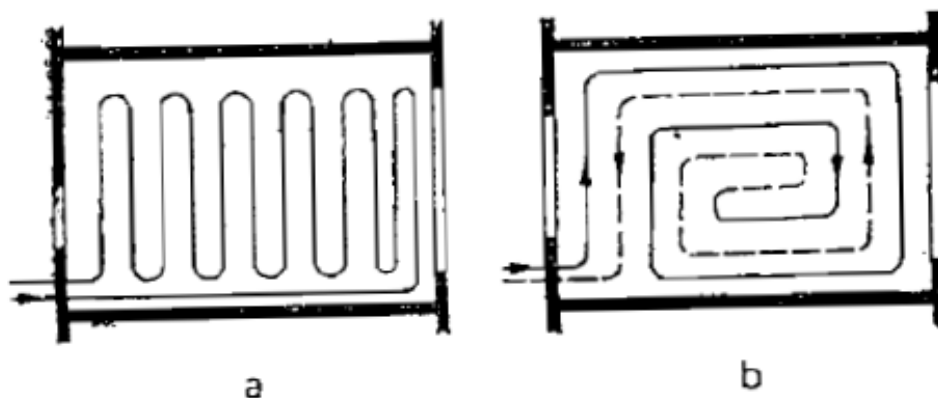
Грејне змије од челичних цеви су довољно круте, тако да не постоји опасност да у току монтаже дође до измене конфигурације, што са бакарним и пластичним цевима није случај. Ова особина челичних цеви чини их врло погодним за израду плафонских панела.

Челичне цеви није могуће савијати на самом градилишту. Из тог разлога цевне змије се на градилишту праве од правих цеви и фабрички израђених цевних лукова одређеног радијуса. То захтева велики број заваривања јер се не сме дозволити да се услед лошег заваривања светли пресек цеви осетно смањи. Због тога је цена монтаже панела од челичне цеви релативно висока и траје дуже, дуже него са бакарним и пластичним цевима.

Бакарне цеви су скупље од челичних, а практично нису подложне корозији па се обично примењују на луксузнијим здањима, где се тражи неограничена трајност. Бакарне цеви се могу без тешкоћа савијати на самом градилишту према потреби и једноставним алатом. Бакарне цеви се могу испоручити намотане на калемове дужине од 50 и више метара, тако да је број настављања цеви у једној грејној змији врло мали. Осим тога бакарне цеви се настављају лемљењем, а за ту операцију постоје пригодни једноставни алати, као и полуприпремљен материјал за лемљење, тако да тај посао може да обави и радник са мањим квалификацијама од оних који су потребне једном заваривачу. Све то чини да се на монтажи може надокнадити оно што се изгубило на скупљем материјалу.

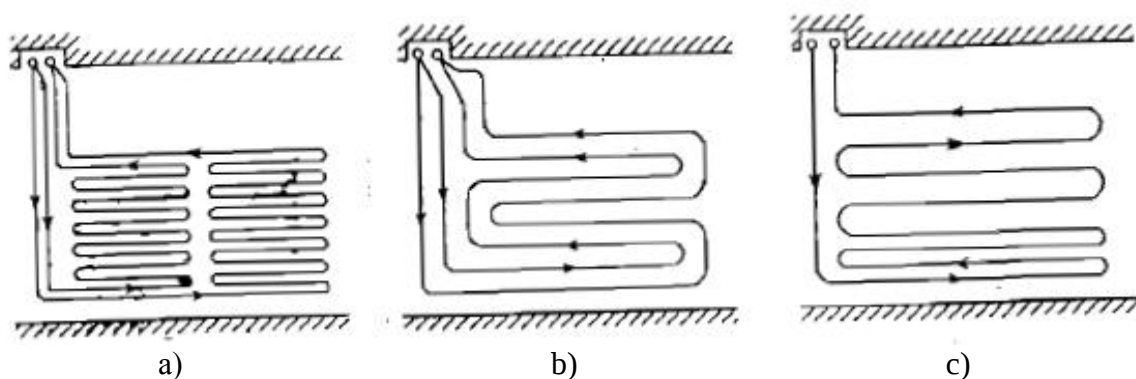
Како је температурно издужење бакарних цеви под истим условима око 1,2 пута веће од челичних, мора се о томе водити рачуна још при пројектовању, односно треба избегавати велике дужине правих цеви у панелној змији. Морају се при монтажи панела везивати за неку рошетку, како је приказано на слици 18. Пошто ови материјали имају особину да им се после неког времена делимично мења структура молекула, остаје да се види да ли те промене имају неког утицаја на издржљивост и трајност панела израђених од тих цеви. За сад се од полиетленских односно полипропиленских цеви раде само подни панели.

Цеви се у једном панелу могу у принципу слагати на два начина: у виду серпентина, слика 18. а или у виду пужа слика 18 б.



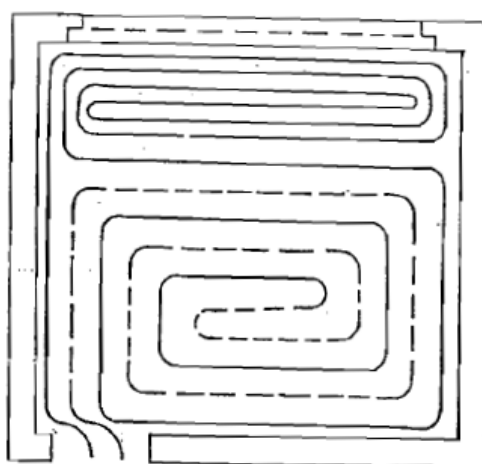
Слика 18. а) слагање цеви у виду серпентина, б) слагање цеви у виду пужа

С обзиром да температура грејне воде при протицању кроз грејну змију опада, ако је панел слаган у виду серпентина, појавиће се извесна разлика у температури грејне површине на једном и другом крају панела. Ова разлика се може искористити уз додатна конструктивна решења (приказано је на слици 19) да се појача грејање рецимо уз спољашни зид или прозор.



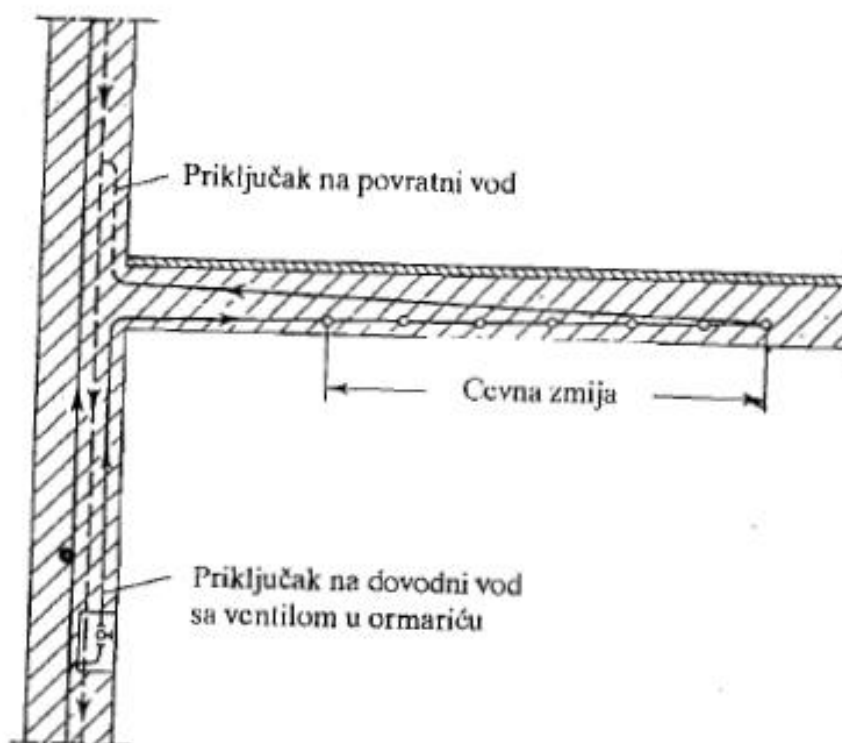
Слика 19. Неке варијанте слагања цеви у виду серпентина

Уколико су цеви сложене у виду пужа, нема осетне разлике у температури грејне површине на једном и другом крају панела јер су увек једна поред друге, хладнија и топлија цев па је температура површине панела мање више уједначена. Међутим и са оваквим паковањем може се обезбедити да панел одаје локално (рецимо поред прозора) већу количину топлоте, приказано је на слици 20.



Слика 20. Слагање цеви у виду пужа

Повезивање панела са разводном и повратном цевном мрежом мора да задовољи потребе уредног одвођења ваздуха из воде. Ако је у питању подни или плафонски панел, цевна змија треба да буде изведена директно у хоризонталној равни, а прикључци морају да омогуће кретање ваздуха према највишој тачки прикључне мреже. На слици 21. приказано је шематски повезивање плафонског панела на мрежу. Уколико се ради о панелу на највишој етажи, повратни прикључак се мора извести аналогно приказано, с тим што се на највишој тачки налази суд за прикупљање ваздуха. Прикључак на доводну цев, заједно са регулационим вентилом, обично је смештен у посебном ормарићу постављеном на погодном месту у зиду.



Слика 21. Шема повезивања плафонског панела на цевну мрежу

Повезивање подних панела са мрежом је мање критично, пошто се прикључци и на доводну и на одводну цев по правилу налазе висински изнад грејне змије. Обично се оба прикључка смештају у заједнички ормарић смештен на погодном месту у зиду. У пракси често се у један ормарић смештају прикључци за више суседних грејних змија, везаних на заједнички раздјелник, односно сабирник. На слици 22. приказан је један комплет разводника и сабирника за више суседних грејних змија од пластичних цеви. Фотографија је направљена у вези монтаже пре бетонирања цеви и пре уградње ормарића.



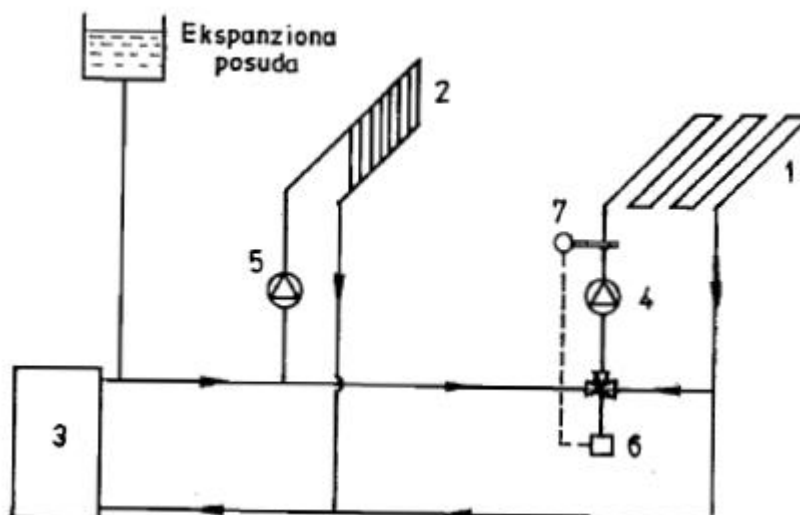
Слика 22. Везивање подних панела са сабирником и разделником

На слици 23. приказани су исти разделник и сабирник у крупнијем плану. На разделнику (на слици горњи елемент) се налази по један регулациони вентил за сваку змију, главни регулациони вентил и аутоматски вентил за испуштање ваздуха. На сабирнику (доњи елемент) се за сваку змију налази по један регулациони навијак и такође и аутоматски вентил за испуштање ваздуха. Ту су такође и славина за пуњење и пражњење, термометри, а требало би да на прикључку сваке грејне змије буде и мерач протока, који би омогућио правилну расподелу грејне воде на све панеле.



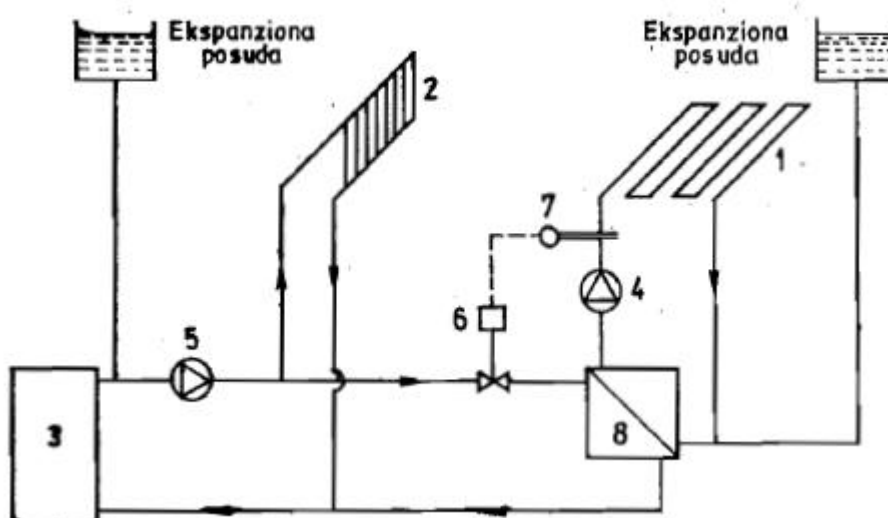
Слика 23. Сабирник и разделник за подне панеле

Ако се у једној згради поред панелног грејања налази и радијаторско или неко друго грејање, разводне мреже једног и другог грејања морају на адекватан начин бити раздвојене. На сликама 24. и 25. дати су примери међусобног повезивања панелног и радијаторског грејања. У оба примера (1) и радијаторско (2) грејање снабдевају се топлотом из истог извора (3), који може бити котло или подстаница даљинског грејања. Подразумева се да тај извор има регулисану температуру на бази система 90/70 °C.



Слика 24. Веза радијаторског и подног грејања

На примеру са слике 24. мреже подног и радијаторског грејања имају одвојене пумпе (4) и (5), с тим што се за радијаторску мрежу користи непосредно грејна вода из топлотног извора, док се за панелно грејање грејна вода добија мешањем у трокраком вентилу (6) воде из топлотног извора и повратне воде из панелног. Потребну температуру воде контролише температурски сензор (7) који управља моторним трокраким вентилом (6).

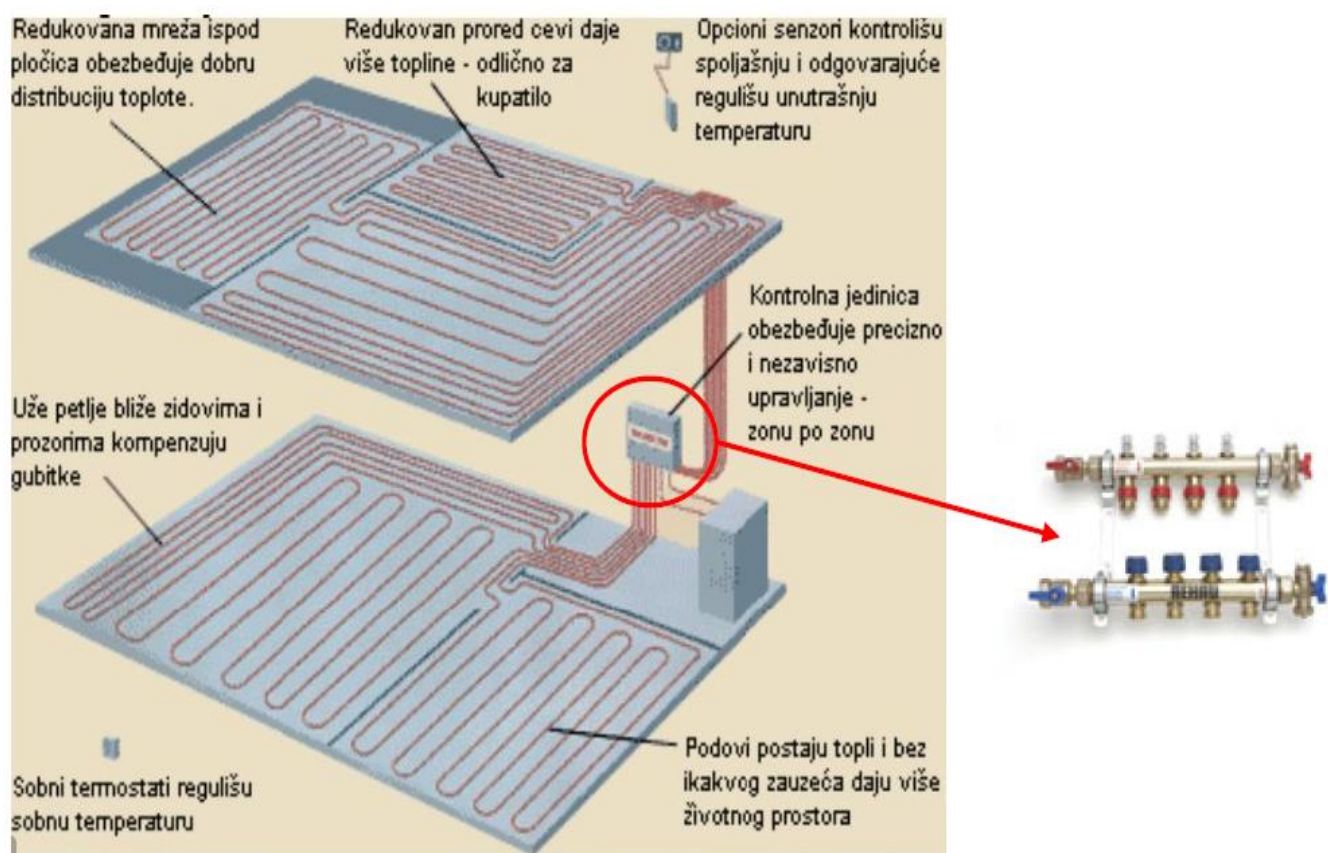


Слика 25. Веза радијаторског и панелног грејања са размењивачем топлоте

На примеру са слике 25. мреже радијаторског и панелног грејања потпуно су раздвојене. Циркулациона пумпа (5) покреће грејну воду из топлотног извора кроз радијаторску мрежу и кроз примарни део размењивача топлоте (8). Мрежа панелног грејања добија грејну воду из секундарног дела размењивача топлоте уз учешће посебне циркулационе пумпе (4). Температурски сензор (7) контролише температуру грејне воде и управља пролазним моторним вентилом (6) на примарном кругу размењивача.

Први пример је (слика 24.) је једноставнији и јефтинији, међутим у оваквом решењу постоји опасност да услед евентуалног кvara на систему регулације у панеле непредвиђено доспе грејна вода недозвољено високе температуре, што би могло да изазове неочекивана напрезања у бетонском делу панела, па и оштећења. Са другим примером то практично не може да се догоди.

На слици 26. је приказан начин повезивања панелног грејања, лево, и изглед сабирника и разделника



Слика 26. Начин повезивања панелног грејања (лево) и изглед сабирника и разделника

5 ПРЕДНОСТИ И МАНЕ ПАНЕЛНОГ ГРЕЈАЊА

У погледу услова угодности код панелног грејања одавање топлоте зрачењем од стране присутних особа је мање, како због зрачења самог панела, тако и због веће просечне температуре околних површина. Због тога је могуће снизити температуру ваздуха у просторији, односно повећати одавање топлоте од људи конвекцијом. Нижа температура ваздуха у просторији сматра се повољнијом у хигијенском погледу, а у сваком случају губици топлоте су нешто мањи, па можемо говорити о извесној уштеди енергије.

Захваљујући ниским температурама грејних површина, на њима нема интензивне конвекције, па нема ни интензивнијег покретања ни кружења прашине по просторији. То значи да је ова врста грејања у хигијенском погледу веома повољна: ваздух за дисање је чистији, одржавање чистоће је лакше.

Како панелно грејање ради са релативно ниским температурама, то је и температура грејне воде нижа него код других врста грејања и најчешће износи око 40-50°C. То пружа могућност коришћења алтернативних извора енергије, као што су топлотне пумпе, соларна, па и геотермална енергија.

Просторије грејане панелним грејањем немају видна грејна тела, што пружа знатну слободу уређења ентеријера: грејна тела не заузимају простор, другим речима „не сметају“. Осим тога ако су панели распоређени по целом плафону, односно поду, могуће је у зградама канцеларијског или сличног типа, уколико се укаже потреба, померати зидне преграде, без потребе да се интервенише на инсталацији грејања.

Кроз цеви уграђене у плафоне, подове, па и зидове може се у летњем периоду пропустити расхлађена вода и тиме омогућити и летње хлађење просторије. Разумљиво да се у таквим случајевима мора пазити да температура површине плафона, пода или зида нигде не сиђе испод тачке росе за услове који владају у просторији.

Главна замерка која се може дати панелном грејању је доста велика топлотна инерција, која смањује могућност регулисања. Прецизније речено, са панелним грејањем није могуће адекватно пратити промене спољашних и унутрашњих услова уколико су те промене брже.

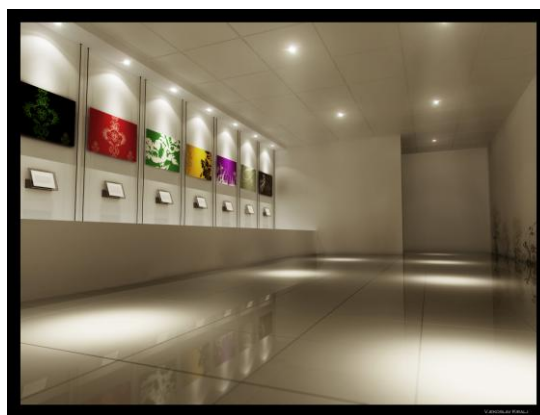
У недостатке панелног грејања убрајамо и чињеницу да се ова инсталација мора често изводити синхронизовано са грађевинским радовима, што у неким случајевима може да поскупи извођење. Иначе су трошкови извођења панелног грејања виши него за друге инсталације (рецимо радијаторског) грејања. Неке нове технологије, као што је примена полиетиленских и полипропиленских цеви у подном грејању, воде ка смањењу укупних трошкова извођења. Такође добрим усклађивањем машинских и архитектонско грађевинских пројеката могу се постоћи знатна појефтињења.

6 ПРИМЕНА

Што се тиче примене, подна грејања имају врло широку примену, али најчешће се уграђују у просторијама са великим површинама, најпогоднији су за просторије у којима је цео под слободан, без намештаја. Незаменљиви су у просторијама око пливачког базена, а веома одговарају музејима, станичким и сличним холовима и црквама, халама (слика 27.). У пословним просторијама и становима, у којима има доста крупног намештаја и тепиха, у принципу је повољније плафонско грејање од подног, због тога што намештај ремети зрачење пода према зидовима и плафону. Разлог лежи у чињеници што је извођење подног грејања једноставније и јефтиније од плафонског, те се многи инвеститори одлучују за јефтинију варијанту.



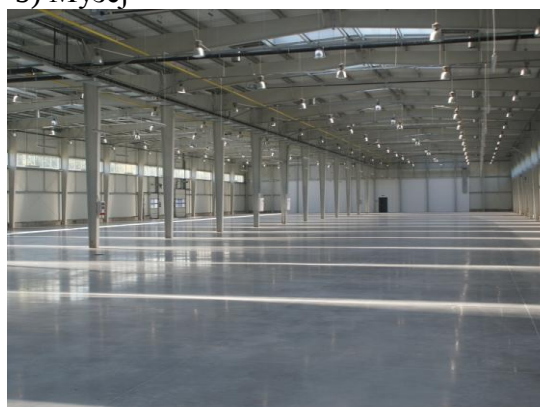
а) Базен



б) Музеј



с) Црква



д) Хала

Слика 27. Примери просторија у којима се уграђује подно грејање: а) Базен, б) Музеј, с) Црква, д) Хала

7 ПРОРАЧУН

7.1 Подаци за прорачун

Губици топлоте рачунају се као и за системе грејања са слободним радијаторима.

Унутрашња температура за стамбене просторије узима се да је 20°C. Извесна одступања се могу појавити само код највишег спрата у коме се, ако је плафонско грејање, не рачуна губитак топлоте кроз површине плафона у којима су грејачи, па је потребно довести мање топлоте него код радијатора. Аналогно је за површине пода најнижег спрата код подног грејања.

Из овога излази, ако се загревање врши преко целог плафона односно пода, онда су топлотни губици једнаки на свим спратовима. Додатак губицима топлоте се врши у случају када се плафон или под загревају или се грејачи не простору преко целих њихових површина. Ови додаци се рачунају као губици топлоте кроз ове незагреване површине.

Отпор пролаза топлоте између равне цеви и горњег (хладнијег) простора износи:

$$\frac{1}{\kappa'_1} = \frac{1}{\kappa_1} + \frac{t_2 - t_1}{q_1} \quad (7.1.1)$$

Из чега се налази потребан коефицијент делимичног пролаза топлоте између равне цеви и горњег простора када се изабере q_1 и одреди κ_1 .

У даљем рачуну узима се у обзир било разлика $(t_2 - t_1)$ било κ'_1 (коефицијент делимичног пролаза топлоте).

7.2 Потребна грејна површина пода или плафона (A)

Ове грејне површине представљају разлику од укупних површина и делова површина које се не загревају.

За потребну количину топлоте Q_h специфична количина топлоте износи:

$$q = Q_h/A \quad [W/m^2] \quad (7.2.1)$$

Ако се са овом количином топлоте не постигну претпостављене вредности температуре онда се мења или изолација спољних зидова или се додају друге допунске грејне површине.

Ово се анализира још пре израде пројекта панелног грејања и на основу резултата се бира систем грејања. Такође је добро применити комбиновано грејање са раздвојеним токовима ради еластичније регулације.

Јефтинији начин је да се у критична места ставе допунски радијатори, само ово квари општу естетику средине.

7.3 Упутство за прорачун панелног грејања

Специфично одавање топлоте панелних грејних површина зависи од више чињеница, од којих треба навести следеће:

t_F = средња температура флуида (вода) [$^{\circ}\text{C}$],

D = спољни пречник цеви [mm],

l_0 = средње растојање цеви [cm],

b = одстојање горње стране цеви од горње (подне) површине [cm],

c = одстојање доње стране цеви од површине таванице [cm],

$A_b = 1/\sum(b/\lambda)$ – средња пропустљивост плафонске плоче изнад цеви [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$],

α = коефицијент прелаза топлоте [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$],

K_1 = Коефицијент прелаза топлоте тела 1 [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$],

K_2 = Коефицијент прелаза топлоте тела 2 [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$],

За уливане цеви у бетонској плочи важиле би следеће релације:

1. Када је температура у просторијама са обе стране подједнака:

Средња температура таванице t_{PL} [$^{\circ}\text{C}$].

$$t_{PL} = t_2 + \frac{\kappa_2}{\alpha_2} (t_F - t_2) \quad (7.3.1)$$

Специфично одавање топлоте q [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$].

$$q = \kappa_2 \cdot \eta (t_F - t_2) \quad (7.3.2)$$

Средња температура између цеви t_1 [$^{\circ}\text{C}$].

$$t_1 = t_2 + \eta (t_F - t_2) \quad (7.3.3)$$

Средња температура пода t_{PD} [$^{\circ}\text{C}$].

$$t_{PD} = t_1 + \frac{\kappa_1}{\alpha_1} (t_F - t_1) \quad (7.3.4)$$

2. Када температура у просторијама са обе стране није подједнака:

$$t_{PL} = t_2 + \frac{\kappa_2}{\alpha_2} [\eta (t_F - t_2) - K_1 (1 - \eta) (t_2 - t_1)] \quad (7.3.5)$$

$$q = \kappa_2 \eta (t_F - t_2) - K_1 (1 - \eta) (t_2 - t_1) \quad (7.3.6)$$

$$t_1 = t_2 + \eta (t_F - t_2) - K_1 (1 - \eta) (t_2 - t_1) \quad (7.3.7)$$

$$t_{PD} = t_1 + \frac{\kappa_1}{\alpha_1} [\eta (t_F - t_1) + K_2 (1 - \eta) (t_2 - t_1)] \quad (7.3.8)$$

У горњим изразима је:

t_1 = температура ваздуха изнад пода [$^{\circ}\text{C}$],

t_2 = температура ваздуха испод таванице [$^{\circ}\text{C}$],

λ = коефицијент проводљивости материјала [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$],

a = одстојање горње стране цеви до доње површине плоче [m],

b = одстојање горње стране цеви од горње површине плоче [m],

c = одстојање доње стране цеви до доње површине плоче [m],

D = спољни пречник цеви [m],

l_0 = растојање цеви [m],

κ = делимични коефицијент прелаза топлоте [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$].

η = ефикасност

тако је:

$$\kappa_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + \frac{c}{\lambda_2}} \quad (7.3.9)$$

$$\eta = \frac{1 + 2\mu}{3} \quad (7.3.10)$$

$$\mu = \frac{1}{\cos \frac{m \cdot l}{2}} \quad (7.3.11)$$

$$m = \sqrt{\frac{\kappa_1 + \kappa_2}{(\pi^2/2) \lambda_b D}} = 0,45 \sqrt{\frac{\kappa_1 + \kappa_2}{\lambda_b D}} \quad (7.3.12)$$

λ_b = коефицијент пролаза за материјал између цеви [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$].

$$K_1 = \frac{\kappa_1}{\kappa_1 + \kappa_2} \quad (7.3.13)$$

$$K_2 = \frac{\kappa_2}{\kappa_1 + \kappa_2} \quad (7.3.14)$$

Чинилац 0,45 у изразу за m (8.3.12) важи за обичне цевне грејаче. Ако су грејачи са ламелама онда треба узети да је овај чинилац = 1.

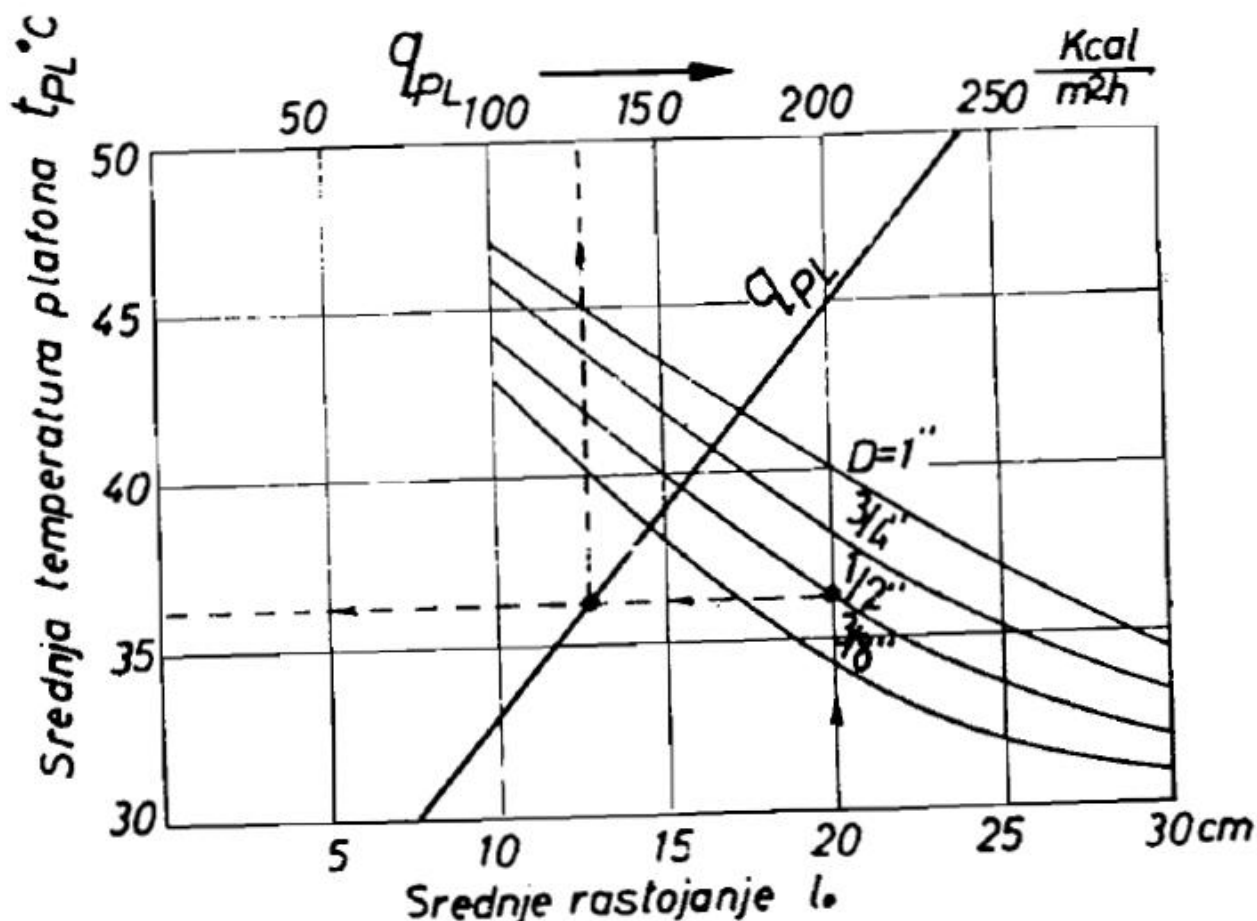
За специфично одавање топлоте q при различитим температурама таванице, односно пода, могу се узети следеће вредности:

За плафонско грејање:

Средња температура плафона $t_{PL} [^{\circ}C]$	$q_{PL} [W/m^2K]$
35	120
40	160
45	200

За подно грејање:

Средња температура пода $t_{PD} [^{\circ}C]$	$q_{PD} [W/m^2K]$
25	60
30	200



Слика 28. Средња температура панела код плафонског и подног грејања у зависности од пречника и растојања цеви за средњу температуру воде од 50° , температуру просторије од 20° и средње одстојање ивице цеви $s = 3cm$

На слици 28. графички су представљени средње одавање топлоте q_{PL} и средња температура плафона t_{PL} за средње одстојање $s = 3cm$. За свако повећање или смањење овог растојања од $1cm$ треба повећати односно смањити температуру плафона за 1° .

При прорачуну грејне површине за плафонско и подно грејање узима се да је специфична количина топлоте која се одаје од грејача према горњој страни - поду – $1/3$ од укупне одаване топлоте грејача. Тако је онда:

$$q_{PD} = 1/3 q \quad (7.3.15)$$

8 ЦЕНА

Овде се свакако ради о најекономичнијем виду грејања с обзиром на комплетан процес одвијања који подразумева оптималне темепературе између 21 и 28 [°C]. Равномерна расподела температуре у целој просторији је управо због велике грејне површине. Чињеница је да се ноге најтеже загревају због периферних судова који су најудаљенији у односу на срце, па је самим тим подно грејање најоптималнији начин загревања за људски организам.

Цена уградње подног грејања је скупља него уградња централног грејања, па се зато мање уграђује.

Један пример цене извођења инсталација подног грејања :

подно грејање са бакарним цевима по m^2 : 20 €,

подно грејање са алупласт цевима по m^2 : 15 €,

подно грејање електро грејним кабловима по m^2 : 10 €.

9 ЗАКЉУЧАК

Подно грејање је облик панелног грејања. Циљ подног грејања је побољшање осећаја комфора. Топлота се обезбеђује циркулацијом топле воде кроз цеви. То је најекономичнији вид грејања, јер се комплетан процес одвија на веома ниској температури.

Подно грејање је практично не приметно и не заузима драгоцени простор на зидовима гломазном и упадљивом грејном опремом. Ово је велика предност, посебно на јавним местима где отворене вруће или оштре површине могу бити опасне и нарушавати пријатност ентеријера.

Научна истраживања су показала да је подно грејање најугоднији систем грејања за човека јер се узима у обзир физиолошко кретање температуре људског тела. Лако се монтира и потпуно је здраво за човека и за његову околину, а уз то и штеди простор унутар стана јер не заузима корисни простор као радијатори, корисницима омогућава потпун комфор. Иако је подно грејање јефтиније извести него радијаторско, и поред тога што је оно знатно комфорније, о неким стварима ипак треба стално водити рачуна: подне прекривке мале топлотне проводљивости могу смањити ефикасност подног грејања до тачке када оно више није исплативо. Исто важи иа за намештај и његов распоред, пау том смислу и подно грејање поставља нека ограничења.

Литература

1. Б. Тодоровић, Пројектовање постројења за централно грејање, Машински факултет, 2009.
2. С. Зрнић, Ж. Ћулум, Грејање и климатизација, Машински факултет, Београд 1998
3. http://hr.wikipedia.org/wiki/Podno_grijanje [02.09.2014.]
4. <http://www.podovi.org/> [08.09.2014.]
5. <http://www.podnogrejanje.net/> [15.09.2014.]
6. <http://www.alpod.rs/tehnicka-uputstva/podno-grejanje/> [29.09.2014.]
7. <http://www.podovi.org/podno-grejanje/povrsinsko-podno-zidno-plafonsko-grejanje-i-hladjenje> [03.10.2014.]