



ОБУКА ЗА ПОЛАГАЊЕ СТРУЧНОГ ИСПИТА ЗА ОБЛАСТ
ЕНЕРГЕТСКЕ ЕФИКАСНОСТИ ЗГРАДА



УСЛОВИ ГРАЂЕВИНСКЕ ФИЗИКЕ

Проф. др Властимир РАДОЊАНИН, дипл.инж.грађ.
(radonv@uns.ac.rs)

Проф. др Мирјана МАЛЕШЕВ, дипл.инж.грађ.
(miram@uns.ac.rs)

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
ДЕПАРТМАН ЗА ГРАЂЕВИНАРСТВО И ГЕОДЕЗИЈУ
НОВИ САД



САДРЖАЈ ПРЕЗЕНТАЦИЈЕ

Топлотна заштита

1. Топлотна заштита зграда
2. Преношење топлоте
3. Провођење топлоте кроз једнослојан раван зид
4. Провођење топлоте кроз вишеслојан раван зид
5. Пролаз топлоте кроз транспарентне грађевинске елементе
6. Топлотна акумулативност



САДРЖАЈ ПРЕЗЕНТАЦИЈЕ

Дифузија водене паре

1. Услови пројектовања
2. Основни појмови и дефиниције
3. Једначине за прорачун дифузије водене паре
4. Дијаграми дифузије водене паре
5. Количина кондензоване влаге
6. Прорачун исушења конструкције



ПРАВИЛНИК О ЕНЕРГЕТСКОЈ ЕФИКАСНОСТИ ЗГРАДА

ПРИЛОГ 3 - Топлотна заштита и дифузија водене паре

У оквиру Прилога 3, Правилника о енергетској ефикасности зграда, дефинисани су следећи основни принципи физике зграде:

- ✓ топлотна заштита,
- ✓ топлотна акумулативност и
- ✓ дифузија водене паре.

Ови принципи су незаобилазни при пројектовању, изградњи и реконструкцији (ревитализацији) зграда или делова зграда.



Топлотна заштита



ТОПЛОТНА ЗАШТИТА ЗГРАДА

Правилником о енергетској ефикасности зграда дефинисана је рачунска провера топлотне заштите зграда на два нивоа:

- ✓ **Први ниво** - Појединачних грађевинских конструкција
- ✓ **Други ниво** - Зграде, као целине.

За појединачне грађевинске конструкције проверавају се следећи параметри:

- ❖ Коефицијент пролаза топлоте "**U**" за карактеристичне грађевинске конструкције у склопу термичког омотача зграде
- ❖ Коефицијент трансмисионих губитака топлоте "**H_T**" (топлотни мостови)
- ❖ Дифузија водене паре кроз каракт. грађевинске конструкције
- ❖ Летња стабилност грађевинске конструкције

ТОПЛОТНА ЗАШТИТА ЗГРАДА

За зграду, као целину, проверавају се следећи параметри:

- ❖ Коефицијент вентилационих губитака " n_v "
- ❖ Специфични трансмисиони губитак топлоте " n'_t "
- ❖ Укупни запремински губитак топлоте " q_v "

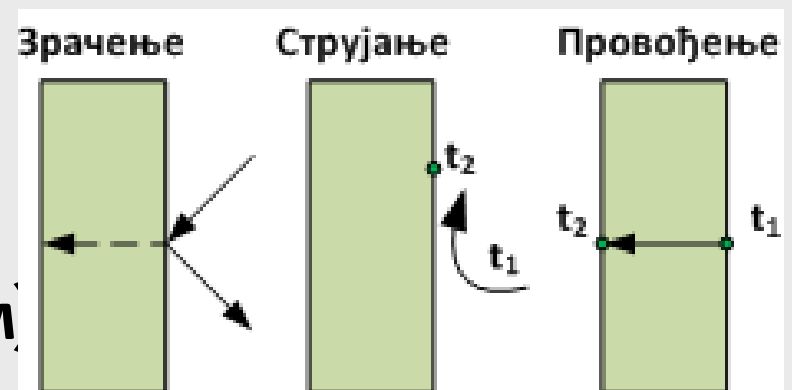
ПРЕНОШЕЊЕ ТОПЛОТЕ

Према другом закону термодинамике, топлота се креће од топлијег тела ка хладнијем телу, односно од више према нижој температури.

На тај начин је одређен смер простирања топлоте.

Преношење топлоте се може одвијати на 3 начина:

- ❖ Зрачењем (радијацијом)
- ❖ Струјањем (конвекцијом)
- ❖ Провођењем (кондукцијом)



Преношење топлоте **зрачењем** (радијацијом)

Извор зрачења: Сунце или било које тело чија је температура виша од температуре околине.

Начин преношења: Топлота извора зрачења преноси се тако што се унутрашња топлотна енергија трансформише у енергију електромагнетског зрачења, пропорционално температури тела.

Ово зрачење се назива **инфрацрвено зрачење**.

Када електромагнетни талас стигне до чврстог тела понаша се као светлосни талас: делимично се апсорбује, а делимично рефлектује - одбија).

Преношење топлоте **зрачењем** (радијацијом)

$$Q_{\text{зрачења}} = Q_{\text{reflektovano}} + Q_{\text{apsorbovano}}$$

Однос одбијене и упијене топлоте зависи:

- од природе зрачења (таласне дужине) и
- од природе површине материјала.

При томе значајну улогу има боја подлоге:

- тамна боја - загревање објеката,
- бела боја - смањење загревања код равних кровова.

Преношење топлоте **зрачењем** (радијацијом)

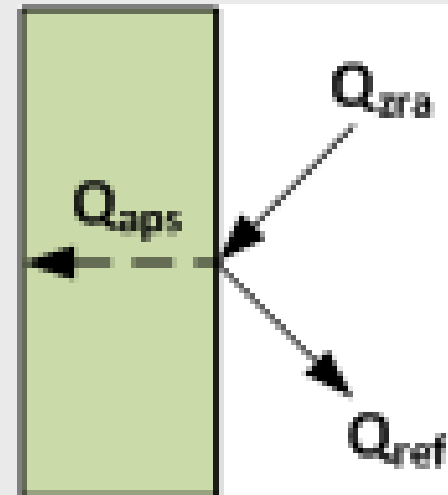
Количине одбијене и упијене топлотне енергије дефинишу се коефицијентима:

рефлексије

$$\alpha_R = 100 \cdot Q_{\text{ref}} / Q_{\text{zra}}$$

апсорбције

$$\alpha_A = 100 \cdot Q_{\text{aps}} / Q_{\text{zra}}$$



Преношење топлоте **струјањем** (конвекцијом)

Овај начин преношења топлоте је карактеристичан за флуиде (гасове и течности).

Начин преношења: Остварује се кретањем молекула, при чему молекули предају своју топлотну енергију другим молекулима.

За грађевинске објекте важан је процес у коме се топлотна енергија преноси са неког флуида на чврсто тело и обратно.

Преношење топлоте **струјањем** (конвекцијом)

Уколико је неки флуид у контакту са чврстим телом и постоји разлика у температури површине чврстог тела и флуида, доћи ће до преношења топлотне енергије са материје која има **ВИШУ** температуру на ону са **НИЖОМ** температуром.

При томе, топлотна енергија треба да савлада **ОТПОР КОЈИ ПРЕЛАЗУ ТОПЛОТЕ** пружа контактна површина између две средине.

Величина којом се карактерише прелаз топлоте са чврстог на флуидни медијум и обратно, назива се **КОЕФИЦИЈЕНТ ПРЕЛАЗА ТОПЛОТЕ**.

Преношење топлоте **струјањем** (конвекцијом)

Дефиниција:

Коефицијент прелаза топлоте је количина топлоте која се у јединици времена (1 sec) размени између јединичне површине чврстог тела и флуида при температурној разлици од 1°C (K).

Означава се са **h**.

У грађевинским конструкцијама се разликују:

- h_i - за унутрашњу страну објекта и
- h_e - за спољашњу страну објекта.

Преношење топлоте **провођењем** (кондукцијом)

Топлота се преноси провођењем или кондукцијом кроз чврста тела.

Овај процес у суштини представља размену кинетичке енергије и може се одвијати на два начина:

- Са молекула на молекул, осциловањем око равнотежног положаја (*карактеристичан за термоизолационе материјале*) и
- Преко слободних електрона који се сударају са атомима и јонима и предају им своју топлотну енергију (*карактеристичан је за метале*).

Температурско поље

Дефиниција: Скуп температура у свим тачкама простора, који постоји у тренутку посматрања, назива се **ТЕМПЕРАТУРСКО ПОЉЕ**.

Температура у било којој тачки простора одређена је:

- Координатама те тачке (x, y, z) и
- Временом " τ ".

Расподела температуре у свим тачкама простора у разним временским тренуцима, дата је општим аналитичким изразом:

$$t = t(x, y, z, \tau)$$

Температурско поље

Температурска поља могу бити:

- Нестационарна и
- Стационарна.

Нестационарно температурско поље:

Ако се температуре у температурском пољу мењају током времена, такво температурско поље се назива нестационарно, а провођење топлоте је неустаљено.

Израз:

$$t = t(x, y, z, \tau)$$

описује температурско поље најопштије врсте, такозвано тродимензионално нестационарно температурско поље.

Температурско поље

Ако се температуре у неком температурском пољу не мењају у току времена, такво поље се назива стационарно температурско поље, а провођење топлоте је устаљено. Аналитички израз за описивање стационарног температурског поља је:

$$t = t(x, y, z), \quad dt/d\tau=0$$

Најједноставнији случај је када је температура функција само једне координате (x), односно онда имамо једнодименз. стационарно температурско поље:

$$t = t(x), \quad dt/dy = dt/dz = dt/d\tau=0$$

Изотермске површине

У неком телу (средини) могуће је издвојити слојеве једнаких температура. Површине које граниче те слојеве називају се **ИЗОТЕРМСКЕ ПОВРШИНЕ**.

Правила:

- ❖ Температура на изот. површинама је константна и мења се само у правцу пресека кроз површине.
- ❖ Две изотремске површине се не могу сећи, јер је физички немогуће да у истој тачки простора постоје истовремено две различите температуре.
- ❖ Највећа промена температура је у правцу нормале на изотермске површине.

Стационарно провођење топлоте

Joseph Fourier (1768-1830) је дефинисао емпиријски израз који описује количину топлоте (Q) која се преноси кондукцијом кроз стационарно једно-димензионално поље за промену температуре у правцу X-осе:

$$dQ = -\lambda \cdot S \frac{dt}{dx} \tau$$

(-) \Rightarrow провођење топлоте одвија се из области више ка области ниже температуре!

- λ - коефицијент топлотне проводљ.
- S - површина кроз коју се одвија провођење топлоте
- dt/dx - промена температуре у правцу X-осе
- τ - време у коме се одвија провођење топлоте

Стационарно провођење топлоте

І Фуријеов закон може да се напише и преко израза за топлотни флуks (Φ), који представља проток количине топлоте у јединици времена:

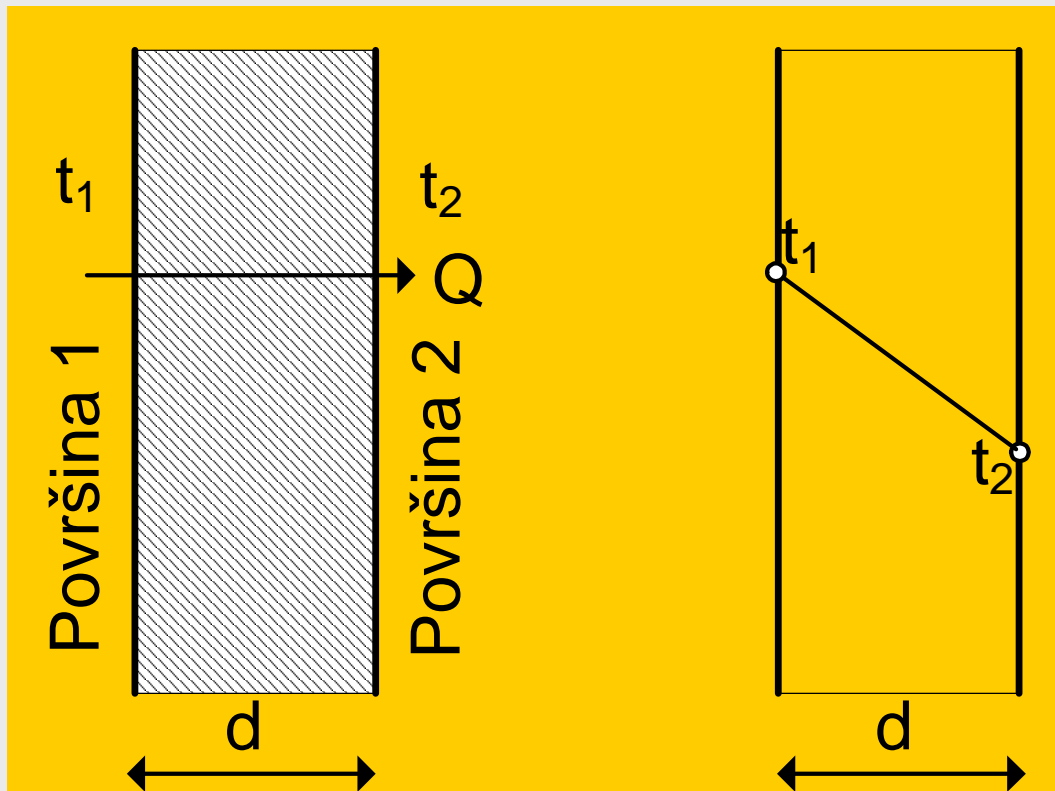
$$\Phi = \frac{dQ}{d\tau} = -\lambda \cdot S \frac{dt}{dx}$$

или преко густине топлотног флуksа (q):

$$q = \frac{d\Phi}{dS} = -\lambda \cdot \frac{dt}{dx}$$

Провођење топлоте кроз једнослојан раван зид

или *провођење топлоте кроз хомогену грађ. конструкцију*



Раван зид

Хомоген материјал,
дебљине d ,

Граничне површине су
изотермске површине
са температурама t_1 и t_2

Током времена се не
мењају (стационарно
поље).

Пошто је $t_1 \neq t_2$, доћи ће до преношења топлоте.

Провођење топлоте кроз једнослојан раван зид

Према Fourier-у, који је први поставио теорију провођења топлоте, може се написати:

$$Q = \frac{S}{d} \lambda (t_1 - t_2) \tau \quad (J) \text{ ili } (Ws)$$

Количина топлоте која се пренесе провођењем кроз раван хомоген зид управо је пропорционална:

- површини преко које се преноси (S),
- коефицијенту топлотне проводљивости (λ),
- температурној разлици ($t_1 - t_2$) и
- времену (τ), а обрнуто пропорционална дебљини зида (d).

Провођење топлоте кроз једнослојан раван зид

Из претходног израза може се одредити вредност коефицијента топлотне проводљивости:

$$\lambda = \frac{Qd}{S(t_1 - t_2)\tau} \quad \left(\frac{W}{mK} \right)$$

Коефицијент топлотне проводљивости представља количину топлоте која се пренесе провођењем:

- ✓ кроз зид дебљине 1m,
- ✓ преко површине од 1m²,
- ✓ при температурној разлици од 1⁰,
- ✓ у временском периоду од 1s.



Провођење топлоте кроз једнослојан раван зид

Вредност коефицијента топлотне проводљивости је експериментално одређена за све врсте грађевинских материјала, а зависи од:

- ❖ врсте и структуре материјала,**
- ❖ запреминске масе материјала (порозности) и**
- ❖ влажности.**

Карактеристике неких грађевинских материјала

Материјал	Мермер	Подне кер. плочице	Обична опека	Шупља опека	Нормални бетон
γ_z (kg/m ³)	2850	2300	1800	1400	2500
λ (W/mK)	3.5	1.28	0.76	0.61	2.33

Материјал	Цем. естрих	Термоиз. малтер	Дрво (храст)	Минер. вуна	Експанд. полистирен
γ_z (kg/m ³)	2200	600	700-800	30-200	15-30
λ (W/mK)	1.40	0.19	0.21	0.041	0.035

Провођење топлоте кроз једнослојан раван зид

Уместо количине топлоте Q једноставније је користити топлотни флуks Φ , који представља количину топлоте у јединици времена.

$$\Phi = \frac{Q}{\tau} = \frac{S}{d} \lambda (t_1 - t_2) \text{ (W)}$$

Овај израз се може поједноставити увођењем специфичног топлотног флуksа q , који представља топлотни флуks на јединицу површине.

$$q = \frac{\Phi}{S} = \frac{\lambda}{d} (t_1 - t_2) = \frac{t_1 - t_2}{\frac{d}{\lambda}} \text{ (W / m}^2\text{)}$$

Провођење топлоте кроз једнослојан раван зид

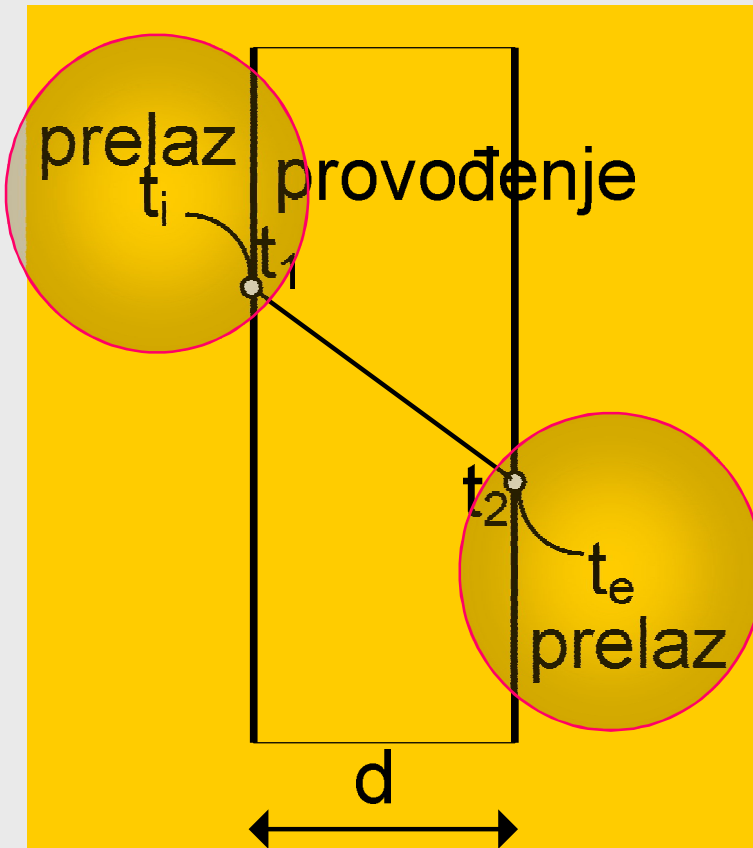
У претходном изразу d/λ представља отпор провођењу топлоте и обележава се са R , па се добија:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{R}$$

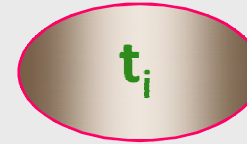
Овај израз односи се на провођење топлоте само кроз зид. Међутим, грађевински објекти и елементи објеката се увек налазе у неком медијуму (ваздух, вода) чија се температура разликује од температура површина зида, па је зато приликом термичког прорачуна потребно узети у обзир и температуре и отпоре на границама између медијума и чврстог тела.

Провођење топлоте кроз једнослојан раван зид

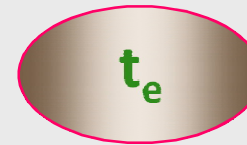
Ако се уведу ознаке:



унутрашња температура ваздуха



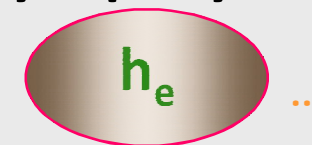
спољашња температура ваздуха



коефицијент прелаза топлоте за унутрашњу страну елемента



коефицијент прелаза топлоте за спољашњу страну елемента



Провођење топлоте кроз једнослојан раван зид

... онда је израз за специфичан топлотни флуks:

$$q = \frac{t_i - t_e}{\frac{1}{h_i} + R + \frac{1}{h_e}} = \frac{t_i - t_e}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{t_i - t_e}{R_u}$$

где је:

R_u – укупан отпор пролазу топлоте

$$R_u = R_{si} + R + R_{se} \text{ (m}^2\text{K/W)}$$



Топлотни проток ка спољњој средини, преко грађевинског елемента одређеног типа	Отпор прелазу топлоте, у $m^2 \cdot K/W$			Фактор корекције температуре, F_{xi}
	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	
Грађевински елементи који се граниче са спољним ваздухом				
Спољни зид				
невентилисан	0,13	0,04	0,17	1,0
вентилисан	0,13	0,13	0,26	1,0
Равни кровови:				
невентилисано	0,10	0,04	0,14	1,0
вентилисано	0,10	0,10	0,20	1,0
Међуспратна конструкција изнад отвореног пролаза:				
невентилисано	0,17	0,04	0,21	1,0
вентилисано	0,17	0,17	0,34	1,0
Коси кровови:				
невентилисани	0,10	0,04	0,14	1,0
вентилисани	0,10	0,10	0,20	1,0



Топлотни проток ка спољњој средини, преко грађевинског елемента одређеног типа	Отпор прелазу топлоте, у $m^2 \cdot K/W$			Фактор корекције температуре, F_{xi}
	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	
Грађевински елементи који се граниче са негрејаним просторима				
Зид ка негрејаном простору	0,13	0,13	0,26	0,5
Међуспратна конструкција ка негрејаном кровном простору	0,10	0,10	0,20	0,8
Међуспратна конструкција изнад негрејаног простора	0,17	0,17	0,34	0,5
Зид ка негрејаној зимској башти (стакленику), са спољним застакљењем зимске баште:	0,13	0,13	0,26	
Једноструко стакло, $U > 2,5 W/(m^2 \cdot K)$				0,7
Изолационо стакло, $U \leq 2,5 W/(m^2 \cdot K)$				0,6
Побољшано стакло, $U \leq 1,6 W/(m^2 \cdot K)$				0,5
Грађевински елементи у контакту са тлом				
Зид у тлу, или делимично укопан	0,13	0,0	0,13	0,6
Под на тлу	0,17	0,0	0,17	0,5
Међуспратна конструкција у тлу	0,10	0,0	0,10	0,6
Грађевински елементи између два грејана простора различите температуре				
Зид између зграда, зид који раздваја просторе различитих корисника, или зид ка грејаном степеништу	0,13	0,08	0,21	0,8
Међуспратна конструкција која раздваја простор између различитих корисника	0,10	0,08	0,18	0,8

Провођење топлоте кроз једнослојан раван зид

Реципрочна вредност укупног отпора R_u представља коефицијент пролаза топлоте U :

$$U = \frac{1}{R_u} \text{ (W / m}^2\text{ K)}$$

Максималне вредности коефицијента (U) дефинисане су Правилником о енергетској ефикасности зграда.



Највеће дозвољене вредности коефицијента пролаза топлоте - U

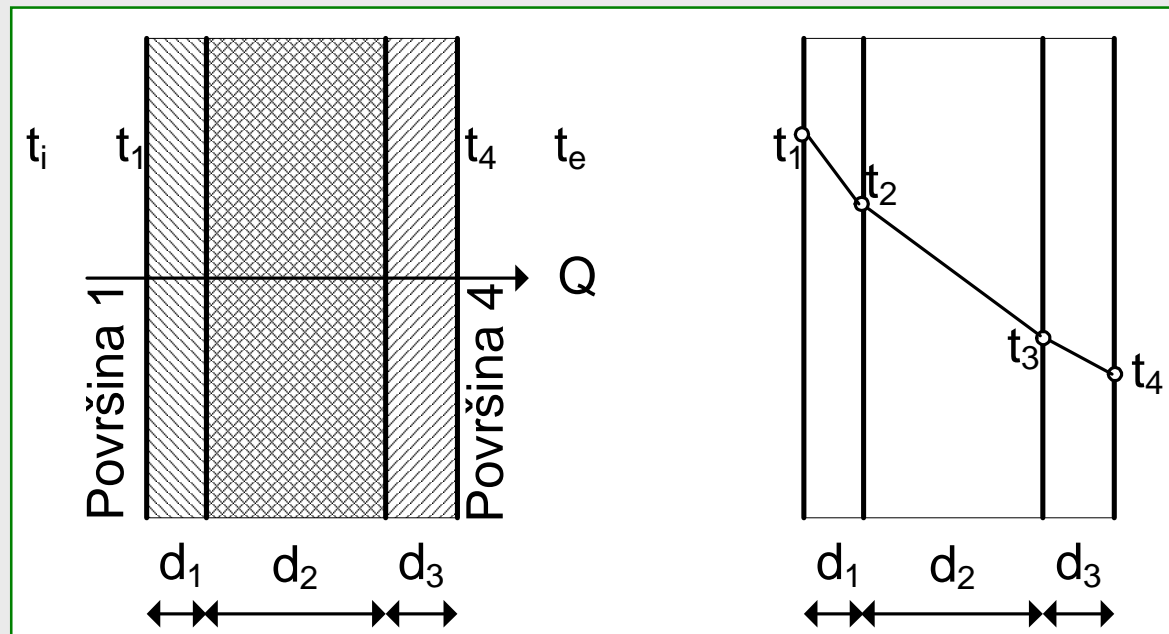
Опис елемента / система	Постојеће зграде	Нове зграде
	U _{max} [W/(m ² ·K)]	U _{max} [W/(m ² ·K)]
<i>Елементи и системи у контакту са спољним ваздухом</i>		
1. Спољни зид	0,40	0,30
2. Зид на дилатацији (између зграда)	0,50	0,35
3. Зидови и међуспратне конструкције између грејаних просторија разл. јединица, раз. корисника или власника	0,90	0,90
4. Раван кров изнад грејаног простора	0,20	0,15
5. Раван кров изнад негрејаног простора	0,40	0,30
6. Коси кров изнад грејаног простора	0,20	0,15
7. Коси кров изнад негрејаног простора	0,40	0,30
8. Међуспратна конструкција изнад отвореног пролаза	0,30	0,20
9. Прозори, балк. врата грејан. простор. и грејане зимске баште	1,50	1,50
10. Стаклени кровови, изузимајући зимске баште, свет. куполе	1,50	1,50
11. Спољна врата	1,60	1,60
12. Излози	1,80	1,80
13. Стаклене призме	1,60	1,60

Највеће дозвољене вредности коефицијента пролаза топлоте - U

Опис елемента / система	Постојеће зграде	Нове зграде
	U _{max} [W/(m ² ·K)]	U _{max} [W/(m ² ·K)]
<i>Унутрашње преградне конструкције</i>		
14. Зид према грејаном степеништу	0,90	0,90
15. Зид према негрејаним просторима	0,55	0,40
16. Међуспратна конструкција испод негрејаног простора	0,40	0,30
17. Међуспратна конструкција изнад негрејаног простора	0,40	0,30
<i>Конструкције у тлу (укопане, или делимично укопане)</i>		
18. Зид у тлу	0,50	0,35
19. Под на тлу	0,40	0,30
20. Укопана међуспратна конструкција	0,50	0,40
<i>Напомена 1:</i> За елементе – системе панелног (подног, зидног, плафонског) грејања морају се применити одговарајући стандарди и технички услови прописани тим стандардима.		
<i>Напомена 2:</i> Вредности наведене за постојеће зграде односе се на највеће допуштене вредности после реновирања, санација, реконструкција.		

Провођење топлоте кроз вишеслојан раван зид

или провођење топлоте кроз грађевинску конструкцију састављену од више хомогених слојева



Раван зид се састоји од 3 слоја.

Све граничне површине представљају изотермске површине са температурама t_1 , t_2 , t_3 и t_4 .

Током времена темп. се не мењају ($q = \text{конст.}$ - стац. поље)

Провођење топлоте кроз једнослојан раван зид

Специфични топлотни флуks за сваки појединачни слој и за конструкцију у целини, је:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{d_1}{\lambda_1}} = \frac{t_2 - t_3}{\frac{d_2}{\lambda_2}} = \frac{t_3 - t_4}{\frac{d_3}{\lambda_3}} = \frac{t_1 - t_4}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3}} \quad (W / m^2)$$

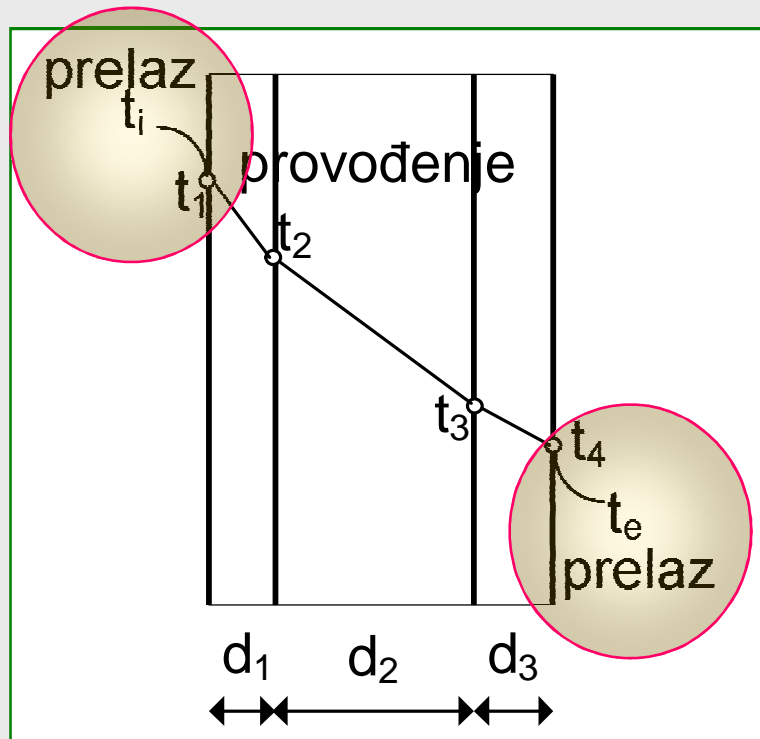
За конструкцију која се састоји од "n" слојева, специфични топлотни флуks је:

$$q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{d_i}{\lambda_i}} = (W / m^2)$$

Провођење топлоте кроз једнослојан раван зид

Када се у обзир узму и температуре ваздуха споља и унутра, добија се:

$$q = \frac{t_i - t_e}{\frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_e}} = \frac{t_i - t_e}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{t_i - t_e}{R_u} \quad (W / m^2)$$



Пролаз топлоте кроз транспарентне грађ. елементе

Коефицијент пролаза топлоте транспарентног грађевинског елемента (спољна грађевинска столарија; спољни прозори и балконска врата; кровни прозори), U_w [$W/(m^2 \cdot K)$], одређује се помоћу израза:

$$U_w = \frac{A_g \times U_g + A_f \times U_f + I_g \times \psi_g}{A_g + A_f}$$

U_g - коефицијент пролаза топлоте за стакло

U_f - коефицијент пролаза топлоте за оквир и

ψ_g - фактор корекције температуре – спој стакло/оквир

Пролаз топлоте кроз транспарентне грађ. елементе

Вредности U_g (стакло) и U_f (оквир) односе се на коефицијент пролаза топлоте без утицаја топлотног моста.

Топлотни мостови у транспарентним грађевинским елементима се додатно обрачунавају и потичу од:

- ✓ споја стакло-стакло у термоизолационом стаклу,
- ✓ споја стакло-оквир и
- ✓ споја оквир-грађевинска конструкција (уградња).

Пролаз топлоте кроз транспарентне грађ. елементе

Вредности коефицијената пролаза топлоте прозора без термоизолационог стакла (стаклопакети) усвајају се са следећим вредностима:

$U_w = 3,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (за прозоре крило на крило);

$U_w = 5,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (за прозоре са једноструким стаклом).

Коефицијент пролаза топлоте транспарентног грађевинског елемента (U_w), осим прорачуном, може се одредити и **експерименталним испитивањем** у складу са важећим стандардима.



Тип стакла	U _g	g
	W/(m ² ·K)	
једноструко, 6 mm	5,8	0,83
2-струко, прозирно, 6-8-6 mm	3,2	0,71
2-струко, прозирно, 4-12-4 mm	3,0	0,71
2-струко, прозирно, 6-12-6 mm	2,9	0,71
2-струко, прозирно, 6-16-6 mm	2,7	0,72
3-струко, прозирно, 6-12-6-12-6 mm	1,9	0,63
2-струко, нискоемисионо, 4-12-4 mm (ваздух)	1,6	0,63
2-струко, нискоемисионо, 4-16-4 mm (ваздух)	1,5	0,61
2-струко, нискоемисионо, 4-15-4 mm (Ar)	1,3	0,61
2-струко, нискоемисионо, 4-12-4 mm (Kr)	1,1	0,62
2-струко, нискоемисионо, 4-12-4 mm (Xe)	0,9	0,62
3-струко, нискоемисионо, 4-8-4-8-4 mm (Kr)	0,7	0,48
3-струко, нискоемисионо, 4-8-4-8-4 mm (Xe)	0,5	0,48
2-струко, рефлектујуће, 6-15-6 mm (Ar)	1,3	0,25 – 0,48
2-струко, рефлектујуће, 6-12-4 mm (Ar)	1,4	0,27 – 0,44

Пролаз топлоте кроз транспарентне грађ. елементе

Коефицијент пролаза топлоте оквира – дрвени оквир

дебљина d_f , mm	U_f $W/(m^2 \cdot K)$	
	меко дрво (500 kg/m ³) $\lambda = 0,13 W/(m \cdot K)$	тврдо дрво (700 kg/m ³) $\lambda = 0,18 W/(m \cdot K)$
30	2,3	2,7
50	2,0	2,4
70	1,8	2,0
90	1,6	1,8
110	1,4	1,6

Пролаз топлоте кроз транспарентне грађ. елементе

Коефицијент пролаза топлоте оквира – PVC-оквир

Материјал	Тип оквира - профил	Uf W/(m ² ·K)
PVC-шупљи профили	2-коморни	2,2
	3-коморни	1,7 - 1,8
	5-коморни	1,3 - 1,5
	6-коморни	1,2 – 1,3

Пролаз топлоте кроз транспарентне грађ. елементе

Коефицијент пролаза топлоте оквира – метални оквир

Врста металног оквира	U_f
	$W/(m^2 \cdot K)$
челични, са термичким прекидом	4,0
челични, без термичког прекида	6,0
алуминијумски, са термичким прекидом	2,8 - 3,5
алуминијумски, побољшани	1,4 – 1,5
специјални системи профила за пасивне куће	0,7 – 0,8

Пролаз топлоте кроз транспарентне грађ. елементе

Коефицијент корекције – фактор корекције температуре за топлотне мостове између оквира и стакла

	Коефицијент корекције, ψ_g	
	2-струко и вишеструко стакло, без слоја за побољшање	2-струко и вишеструко стакло, са слојем за побољшање
Дрвени и PVC – оквири	0,04	0,06
Метални оквири, са прекинутим топлотним мостом	0,06	0,08
Метални оквири, без прекинутог топлотног моста	0,00	0,02

ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ

Провера летње стабилности конструкције обухвата проверу њених могућности у погледу **акумулације топлоте** у току летњег периода.

Правилником о ЕЕЗ, као једна од мера за обезбеђење тоplotног комфора препоручује се коришћење **термичке масе објекта**.

Термичка маса представља делове термичког омотача и структуре зграде од материјала и у дебљини која омогућава акумулацију топлоте.

ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ

Prilikom zagrevanja svako telo prima izvesnu količinu toplote.

Količina toplote ΔQ koju telo primi pri zagrevanju od t_1 do t_2 , pri čemu je $t_2 > t_1$, upravo je proporcionalna:

- masi tela " m ",
- **specifičnoj toploti " c "** i
- **temperaturnoj razlici " Δt ".**

Izraz za količinu toplote je:

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta t$$

ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ

Koeficijent "c" naziva se **specifična toplota** i zavisi od prirode i vrste materijala.

$$c = \frac{\Delta Q}{m\Delta t} \quad (\text{kJ/kg K})$$

Specifična toplota je količina toplote koju izmeni materija jedinične mase sa okolinom, pri jediničnoj promeni temperature te materije.

ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ

Od vrednosti specifične toplote u praksi zavisi brzina zagrevanja ili hlađenja materijala.

Materijali manjih vrednosti specifične toplote brže se zagrevaju i hlade.

Primer: ZAGREVANJE KOPNA I MORA

Voda ima oko pet puta veću specifičnu toplotu od stena (kopna).

Tokom dana se kopno brže zagreva od vode, ali se tokom noći brže i hladi.

Zato danju topliji vazduh struji sa kopna prema moru, a noću sa mora prema kopnu.

ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ

Vrednosti specifične toplote za neke građevinske materijale

Materijal	Granit	Beton	Keramika	Produžni malter
Specifična toplota, (J/kgK)	920	960	920	1050

Materijal	Hrastovina	Блокови од гас бетона	Стиропор	Mineralna vuna
Specifična toplota, (J/kgK)	do 2510	1050	1260	840

ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ

Za praktičnu primenu u građevinskim objektima koristi se i pojam **toplotnog kapaciteta "C"**, koji predstavlja količinu toplote potrebnu da ukupnu masu nekog tela zagreje za 1^o. Određuje se iz izraza:

$$C = c \cdot m = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (\text{J/K})$$

Toplotni kapacitet pokazuje sposobnost akumulacije toplotne energije u nekom elementu konstrukcije i veoma je značajan kod izbora materijala za spoljašnji omotač objekta.

ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ

Pravilnim izborom materijala može se obezbediti zadovoljavajući toplotni komfor.

Primer:

Materijali spoljnog omotača mogu da imaju istu toplotno - izolacionu sposobnost, ali da se razlikuju po toplotnom kapacitetu.

Zid manjeg toplotnog kapaciteta se brže zagreva ali i brže hladi, pa je zato bolje birati materijale sa većim toplotnim kapacitetom, zato što će se po prestanku grejanja iz tih zidova duže oslobađati toplota (prostorija će duže biti topla).



ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ

Топлотни капацитет неког елемента конструкције утиче на пролаз топлоте, али и на временски период када се пролаз топлоте дешава.

Велики топлотни капацитет, односно велика способност акумулације топлоте, утиче на повећање пролаза топлоте, али и на успоравање пролаза топлоте.

Супротно, материјали малог топлотног капацитета, односно мале способности акумулације топлоте, утичу на смањење пролаза топлоте, али не успоравају пролаз топлоте.

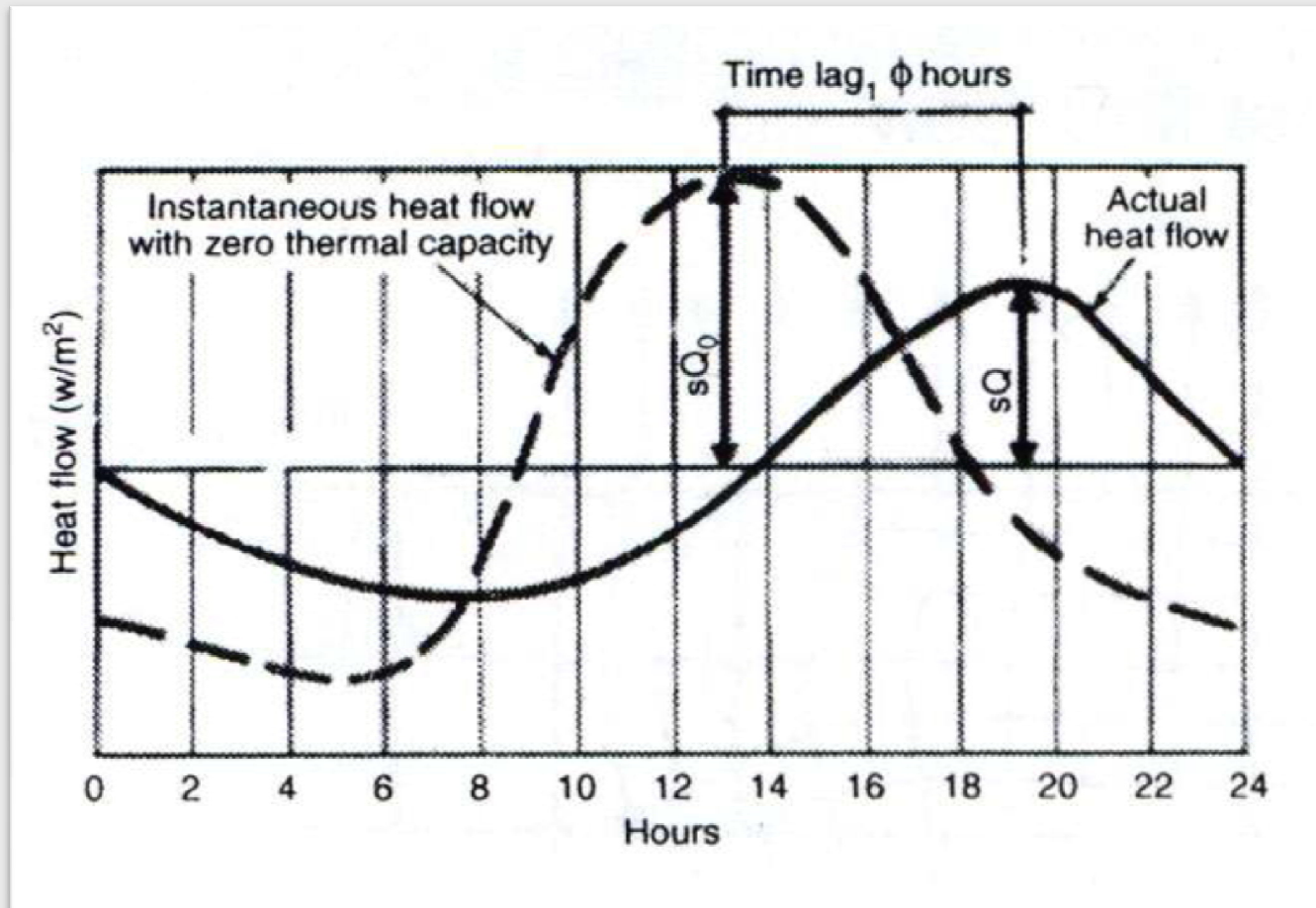
ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ

Код масивних конструкцијских елемената сваки слој материјала ће:

- **Прво апсобовати део топлоте и на тај начин повећати своју температуру.**
- **А затим, касније, пренети топлоту на следећи слој.**

На овај начин акумулирана топлота у конструкцијском елементу ће се емитовати касније, са знатним временским помаком.

ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ





ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ- Прорачун

Прорачун топлотне акумулативности нетранспарентних спољних грађевинских елемената зграда (спољни зидови, кровови) за летњи период врши се у складу са стандардом **SRPS U.J5.530**, одређивањем следећих величина:

- Фактора пригушења амплитуде осцилације температуре, ν [-]; и
- Кашњења осцилације температуре, η [h].

За ове величине су прописане најмање дозвољене вредности.

ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ- прорачун

Табела 3.2.1 – Најмање дозвољене вредности фактора пригушења амплитуде осцилације температуре, v_{min} [-]

Грађевински елемент	v_{min} [-]
Равни кровови	25
Сви спољни зидови, осим оних који су на северној страни	15
Спољни зидови на северној страни	10

ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ- прорачун

Табела 3.2.2 – Најмање дозвољене вредности кашњења осцилације температуре, η_{min} [h]

Грађевински елемент	η_{min} [h]
Равни кровови хладњача	14
Равни кровови, осим равних кровова хладњача	10
Спољни зидови и коси кровови ка западној и југозападној страни	8
Спољни зидови и коси кровови ка јужној и југоисточној страни	7
Спољни зидови и коси кровови на источној, североисточној и северозападној страни	6

ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ- прорачун

Додадна правила

Кровови $v > 45$ \longrightarrow не постављају се захтеви за η [h]

Зидови $v > 35$ \longrightarrow не постављају се захтеви за η [h].

За спољне нетранспарентне вентилисане грађевинске елементе (осим за слабо вентилисане) **не постављају** се захтеви за вредност v [-] у случају да је:

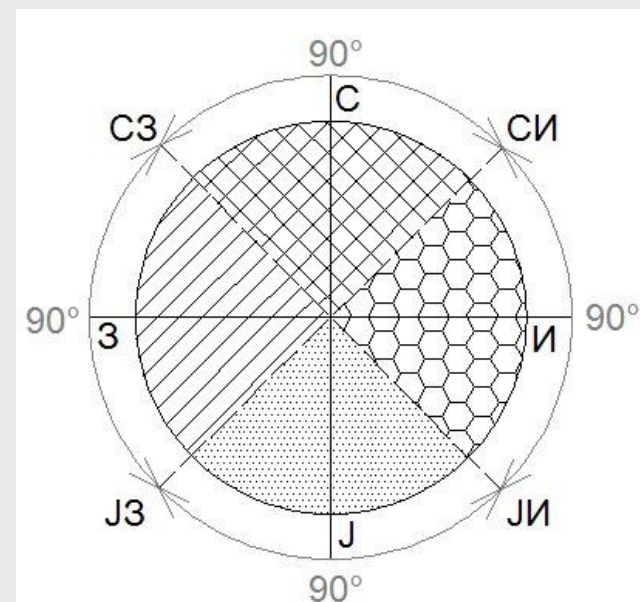
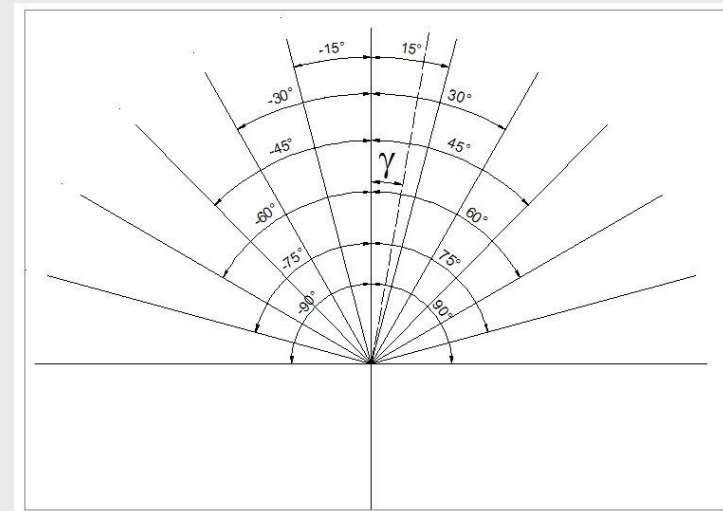
1. Површинска маса елемента без облоге $\geq 100 \text{ kg/m}^2$
Површинска маса елемента без облоге $< 100 \text{ kg/m}^2$
и обавезно $U < 0,35 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$.

ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ- прорачун

Додадна правила

Све транспарентне (и полутранспарентне) површине у боравишним просторијама, осим оне које су на С, СИ и СЗ (при азимуту: 0-45° и 315-360°) морају имати нетранспарентну заштиту од директног Сунчевог зрачења у летњем периоду.

Азимут и нагиб, застакљене површине се, поједностављено, одређују према табели 7.10.



ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ- прорачун

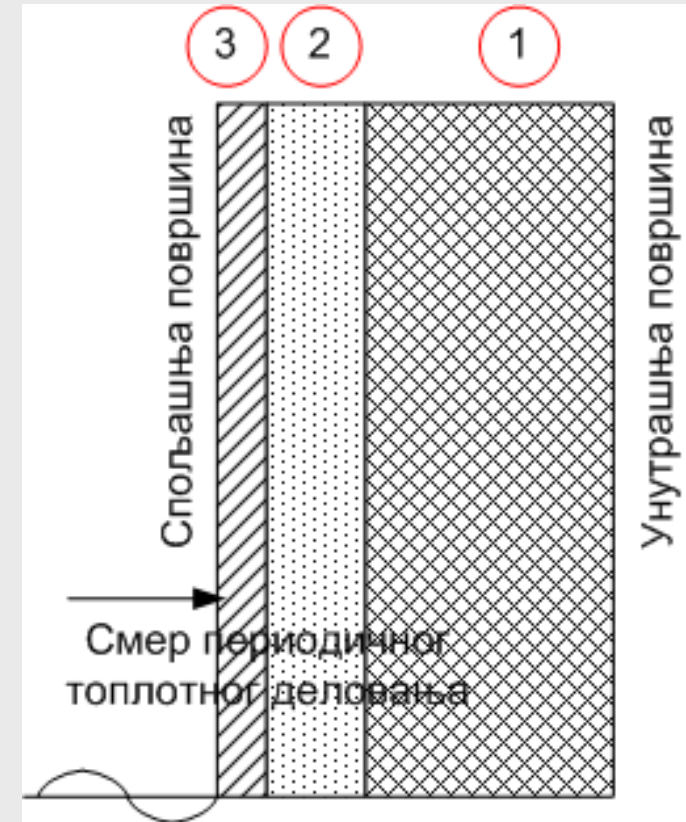
Поступак прорачуна

Слојеви материјала у зиду се нумеришу према приложеној скици (Обрнуто од смера кретања топлоте).

Ради одређивања η [h] и ν [-] потребно је срачунати

1. S_{24} – Коefицијент упијања топлоте од стране материјала посматраног слоја конструкције, спериодом осцилације од 24 сата

$$S_{24,n} = 0,0085 \cdot (\rho_n \cdot c_n \cdot \lambda_n)^{0,5}$$



ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ- прорачун

Поступак прорачуна

2. D_n – Карактеристика топлотне инерције

$$D_n = R_n \cdot S_n$$

3. U_n – Коефицијент упијања топлоте од стране површине слојева конструкције (W/m^2K)

За n -ти слој материјала

Ако је $D > 1$

$$U_n = S_n$$

Ако је $D < 1$

$$U_n = \frac{R_n S_n^2 + U_{n-1}}{1 + R_n U_{n-1}}$$



ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ- прорачун

Поступак прорачуна

- R_n**- Отпор провођења топлоте n-тог слоја (m^2K/W)
- h_i** – коефицијент прелаза топлоте који се односи на граничну површину према простору унутар зграде, $W/(m^2K)$
- h_e** – коефицијент прелаза топлоте који се односи на граничну површину према простору изван зграде, $W/(m^2K)$



ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ- прорачун

Поступак прорачуна

фактор пригушења амплитуде осцилација температуре

При прорачуну фактора пригушења амплитуде осцилација температура спољашњих елемената конструкција , **не узимају** се у прорачун слојеви дебљине мање од 0.02m (на пример малтери, премази, парне бране, хидроизолације итд), осим ако се ради о добрим термоизолационим материјалима за које је $\lambda < 0.1 \text{ W/mK}$,

ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ- прорачун

Поступак прорачуна

фактор пригушења амплитуде осцилација температуре

За једнослојну конструкцију

Ако је $D < 1$

$$\theta = 0.9 \frac{(S + h_i)(h_e + U)}{(S + U)h_e} e^x$$

$$x = \sum D/\sqrt{2}$$

Ако је $D \geq 1$

$$\theta = 0.9 \frac{(S + h_i)(h_e + U)}{2h_e S} e^x$$

ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ- прорачун

Поступак прорачуна

фактор пригушења амплитуде осцилација температуре
за двослојну конструкцију

$$\theta = 0.9 \frac{(S_1 + h_i) (S_2 + U_1) h_e + U_2}{(S_1 + U_1) (S_2 + U_2) h_e} e^{\alpha x}$$

за трослојну конструкцију

$$\theta = 0.9 \frac{(S_1 + h_i) (S_2 + U_1) (S_3 + U_2) h_e + U_3}{(S_1 + U_1) (S_2 + U_2) (S_3 + U_3) h_e} e^{\alpha x}$$

ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ- прорачун

Поступак прорачуна

фактор пригушења амплитуде осцилација температуре
за за четворослојну конструкцију

$$\theta = 0.9 \frac{(S_1 + h_i) (S_2 + U_1) (S_3 + U_2) (S_4 + U_3) h_e + U_4}{(S_1 + U_1) (S_2 + U_2) (S_3 + U_3) (S_4 + U_3) h_e} e^x$$

Коефицијенти h_i и h_e се узимају као

$$h_i = 8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$h_i = 11.5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$



ТОПЛОТНА АКУМУЛАТИВНОСТ- прорачун

Поступак прорачуна

временски помак фазе осцилација температуре

$$\eta = \frac{1}{15} \left(40.5 \sum D - \tan^{-1} \frac{h_i}{h_i + U_i \sqrt{2}} + \tan^{-1} \frac{U_e}{U_e + h_e \sqrt{2}} \right)$$



Дифузија водене паре

УСЛОВИ ПРОЈЕКТОВАЊА

Дифузија водене паре израчунава се за спољне грађевинске конструкције и конструкције које се граниче са негрејаним просторијама, осим за конструкције које се непосредно граниче са тереном (под на тлу, укопани зидови, укопане таванице).

Све грађевинске конструкције зграде морају бити пројектоване и изграђене на начин да се водена пара у пројектним условима на њиховим површинама не кондензује.

УСЛОВИ ПРОЈЕКТОВАЊА

Зграда мора бити пројектована и изграђена на начин да се код наменског коришћења водена пара која због дифузије продире у грађевинску конструкцију, **не кондензује**.

У случају да дође до кондензације водене паре у конструкцији, она се након рачунског периода исушивања **мора сасвим ослободити из грађевинске конструкције**.

Влага која се кондензује у конструкцији не сме довести до **оштећења грађевинских материјала** (на пример корозија, појава буђи).

ОСНОВНИ ПОЈМОВИ И ДЕФИНИЦИЈЕ

Ваздух - гасовита атмосфера, представља смешу азота, кисеоника, угљен диоксида, инертних гасова и **водене паре**.

Присуство водене паре у ваздуху је последица чињенице да је вода свуда око нас и да се испаравање воде обавља на свим температурама, а не само ако је вода загрејана.

Брзина испаравања са водених површина и влажних предмета (материјала) расте са порастом температуре, мада на њу утичу и струјање ваздуха и постојећа количина водене паре у ваздуху.

ОСНОВНИ ПОЈМОВИ И ДЕФИНИЦИЈЕ

Садржај водене паре у ваздуху је променљив како ван просторија тако и унутар просторија:

- ❖ у купатилима и перионицама је највећи,
- ❖ затим у кухињама, а
- ❖ најмањи је у просторијама за боравак.

Ни претерано сув, ни претерано влажан ваздух нису погодни за боравак људи, па се зато грађевинским прописима прецизирају вредности влажности за различите врсте просторија.

Температура ваздуха и влажност ваздуха су у директној вези. За боравак људи оптимална температура је између 20-25⁰С, а релативна влажност 50-60%.

ОСНОВНИ ПОЈМОВИ И ДЕФИНИЦИЈЕ

Количина водене паре у ваздуху може се дефинисати на два начина, као:

- апсолутна влажност ваздуха и
- релативна влажност ваздуха.

Апсолутна влажност се обележава са "m" и представља количину водене паре садржану у 1m^3 ваздуха на одређеној температури.

Релативна влажност представља однос стварне количине водене паре и максималне количине водене паре коју ваздух може да прими на тој температури (M - влажност засићења), а да при томе не дође до кондензације, односно појаве росе.

ОСНОВНИ ПОЈМОВИ И ДЕФИНИЦИЈЕ

Релативна влажност ваздуха обележава се словом " φ " и математички се изражава:

$$\varphi = \frac{m}{M} 100(\%)$$

Код потпуно сувог ваздуха $\varphi = 0\%$, а код потпуно zasiћеног ваздуха $\varphi = 100\%$.

Са порастом температуре ваздуха повећава се и количина воде у облику водене паре коју он може да прими и обрнуто, са снижавањем температуре ваздуха смањује се количина водене паре коју ваздух може да садржи.

ОСНОВНИ ПОЈМОВИ И ДЕФИНИЦИЈЕ

Пример

У једној просторији измерена је:

Температура ваздуха од $t=20^{\circ}\text{C}$ и

Колична водене паре у ваздуху

$$m=13 \text{ g/m}^3$$

Максимална количина влаге у ваздуху за $t=20^{\circ}\text{C}$

$$M=17.32 \text{ g/m}^3$$

па је релативна влажност ваздуха

$$\varphi = (13/17.32)100=75\%$$

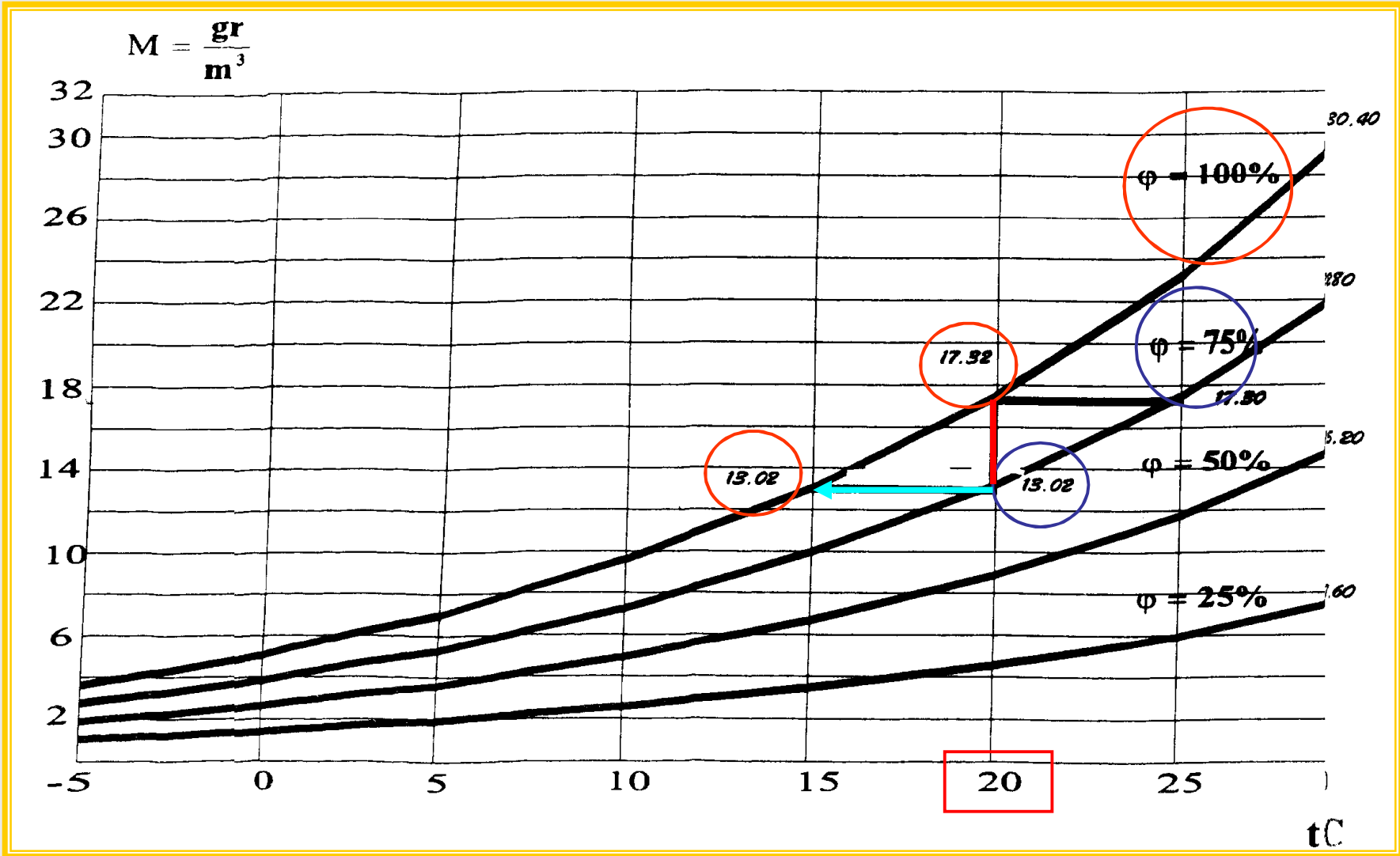
ОСНОВНИ ПОЈМОВИ И ДЕФИНИЦИЈЕ

Да би са садржајем влаге у ваздуху $m=13 \text{ g/m}^3$ дошло до zasiћења ваздуха, тј. да би релативна влажност φ износила 100%, потребно је снизити температуру ваздуха у просторији на $t=15^\circ\text{C}$ ($m=M$).

При даљем снижавању температуре ваздуха у просторији доћи ће до појаве **КОНДЕНЗАЦИЈЕ**.

Дати пример се најбоље може објаснити на дијаграму...

ОСНОВНИ ПОЈМОВИ И ДЕФИНИЦИЈЕ



ОСНОВНИ ПОЈМОВИ И ДЕФИНИЦИЈЕ

КОНДЕНЗАЦИЈА је издвајање (кондензовање) водене паре у облику капљица воде на хладнијим површинама зидова, стаклених предмета, цевима за довод хладне воде итд.

Да би се спречила појава кондензације на површинама предмета или зидова, потребно је да њихова температура буде довољно висока, односно виша од температуре тачке росе.

ОСНОВНИ ПОЈМОВИ И ДЕФИНИЦИЈЕ

ТАЧКА РОСЕ је она температура ваздуха на којој долази до издвајања водених капи из засићеног ваздуха (температура коју има влажан ваздух у тренутку када је хлађењем постао засићен).

Ако су предмети, преграде и зидови направљени од материјала који су добри проводници топлоте, или садрже "топлотне мостове", тада они имају нижу температуру од температуре околине и на њима долази до кондензовања водене паре и појаве влажења на њиховим површинама.

ОСНОВНИ ПОЈМОВИ И ДЕФИНИЦИЈЕ

Пошто је већина грађевинских матерјала мање - више порозна, долази и до влажења у унутрашњости због упијања кондензоване воде.

Повећање влажности грађевинских материјала се даље одражава на промену осталих својства материјала:

- ✓ **топлотна проводљивост,**
- ✓ **механичке карактеристике,**
- ✓ **трајност, итд.**

ОСНОВНИ ПОЈМОВИ И ДЕФИНИЦИЈЕ

Са количном водене паре у ваздуху повезан је и притисак водене паре. Разликују се:

- **Парцијални притисак** водене паре p (Pa или kPa) - је притисак који изазива стварна количина водене паре у јединици запремине ваздуха одређене температуре (одговара апсолутној влажности ваздуха)
- **Притисак засићења** p' (Pa или kPa) - је притисак који изазива максимална количина водене паре у јединици запремине ваздуха одређене температуре (одговара влажности засићења); Овај притисак се повећава са порастом температуре и обрнуто.

ОСНОВНИ ПОЈМОВИ И ДЕФИНИЦИЈЕ

Релативна влажност се може дефинисати и преко односа парцијалног притиска и притиска засићења:

$$\varphi = \frac{p}{p'} 100 (\%)$$

Пошто је притисак засићења константна вредност за одређену температуру ваздуха, а релативна влажност ваздуха се може измерити, овај израз се најчешће користи за одређивање парцијалног притиска:

$$p = \varphi \cdot p' (Pa)$$

Дозвољена температура унутрашње површине

Дозвољена температура унутрашње површине спољне грађевинске конструкције на било ком месту (укључујући и места топлотних мостова) мора да буде већа од температуре тачке росе,

$$\theta_s [^{\circ}\text{C}],$$

за дате пројектне услове (температура и релативна влажност ваздуха у просторији).

Дозвољена температура унутрашње површине

Минимална топлотна отпорност за спречавање орошавања унутрашње површине, R_{\min} [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$], грађевинске конструкције изван зоне топлотног моста (основни део грађевинског елемента) израчунава се за услове периода грејања (зимски период), на следећи начин:

$$R_{\min} \geq R_{si} \cdot \frac{\theta_i - \theta_e}{\theta_i - \theta_s} - (R_{si} - R_{se})$$

при чему је $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$, а вредност R_{si} се, због могућности појаве спреченог струјања ваздуха (намештај, заклони и сл.) усваја са (најмање) $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$. За транспарентне грађевинске елементе примењује се уобичајена вредност: $R_{si} = 0,17 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$.

Дозвољена температура унутрашње површине

На местима **ТОПЛОТНИХ МОСТОВА** за оцену опасности од орошавања меродавна је температуре тачке росе, θ_s [°C], одређена према табели 3.3.1.1 Правилника о енергетској ефикасности зграда.

Тачка росе се очитава из табеле за различите комбинације температуре ваздуха у просторији и релативне влажности ваздуха.

ДИФУЗИЈА ВОДЕНЕ ПАРЕ

Под **дифузијом водене паре** подразумева се појава кретања молекула водене паре са места веће концентрације ка месту ниже концентрације, са тежњом да се успостави равнотежа, односно равномерна концентрација.

Грађевински материјали су мање или више пропустљиви за водену пару и у случајевима када постоји разлика у концентрацији водене паре са две стране неког елемента долази до кретања водене паре кроз елемент конструкције (смер је одређен).



ДИФУЗИЈА ВОДЕНЕ ПАРЕ

Према стандардима у грађевинарству, дифузија водене паре се дефинише као струјање водене паре кроз елементе конструкције, које настаје услед разлике у концентрацији, односно разлике парцијалних притисака водене паре.

ДИФУЗИЈА ВОДЕНЕ ПАРЕ

За прорачун дифузије водене паре, сва места у Србији су подељена у две зоне, за које се узимају следеће рачунске вредности:

Зона А – обухвата места са спољном пројектном температуром (период грејања) до $\theta_{H,e} = -15$ °C, **температура спољњег ваздуха за прорачун кондензације износи $\theta_e = -5$ °C, релативна влажност спољњег ваздуха износи $\varphi_e = 90\%$** , релативна влажност и температура унутрашњег ваздуха усваја се према пројектним условима с обзиром на намену објекта / просторије, или са вредношћу $\varphi_i = 55\%$, трајање периода кондензације износи **60 дана**;

Зона Б – обухвата места са спољном пројектном температуром нижом од $\theta_{H,e} = -15$ °C, **температура спољњег ваздуха износи $\theta_e = -10$ °C, релативна влажност спољњег износи $\varphi_e = 90\%$** , релативна влажност и температура унутрашњег ваздуха усваја се према пројектним условима с обзиром на намену објекта / просторије, или са вредношћу $\varphi_i = 55\%$, трајање периода кондензације износи **60 дана**.

ОСНОВНЕ ЈЕДНАЧИНЕ ЗА ПРОРАЧУН ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

Дифузија водене паре кроз грађевинске елементе може се описати помоћу једначине која је по структури слична једначини пролаза топлоте.

Количина водене паре "Q" која дифузионим током прође кроз једнослојни елемент преко површине од 1m^2 , управо је пропорционална разлици парцијалних притисака "p₁-p₂" и времену трајања дифузије "τ", а обрнуто пропорционална релативном отпору дифузији водене паре "r" који има уграђени материјал.

$$Q = 0.62 \cdot \frac{(p_1 - p_2)}{r} \cdot \tau \text{ (g / m}^2\text{)}$$

ОСНОВНЕ ЈЕДНАЧИНЕ ЗА ПРОРАЧУН ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

Релативни отпор дифузији водене паре посматраног слоја материјала, одређује се помоћу израза:

$$r = d \cdot \mu \quad (\text{m})$$

где је:

d - дебљина слоја у m,

μ - фактор отпора дифузији водене паре.

μ означава за колико пута је већи отпор дифузији водене паре кроз слој неког материјала од отпора слоја ваздуха исте дебљине и под истим условима.



ВРЕДНОСТИ КОЕФИЦИЈЕНАТА ЗА ПРОРАЧУН ТОПЛОТЕ И ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

Građevinski materijal	Zapreminska masa ρ kg/m^3	Toplotna provodljivost λ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	Specifični toplotni kapacitet c_p , $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	Faktor otpora difuziji vodene pare μ , (-)
ZIDOVI (uključujući i malter u spojnicaма)				
puna opeka od gline	1800	0,81	900	5/10
klinker opeka	1700	0,80	800	50/100
puna fasadna opeka od gline	1800	0,83	900	5/10
šuplja fas. opeka od gline	1200	0,55	900	5/10
šuplji blokovi od gline	1100	0,48	900	5/10
puna krečno-silikatna opeka	1800	0,99	900	15/25
prirodni kamen	2000	1,40	1000	50
šuplji blokovi od betona	1400	0,90	1000	20/30
šuplji blok. od lakog betona	900	0,46	1000	5/10



ВРЕДНОСТИ КОЕФИЦИЈЕНАТА ЗА ПРОРАЧУН ТОПЛОТЕ И ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

Građevinski materijal	Zapremin. masa ρ kg/m ³	Toplotna provodljiv. λ W/(m·K)	Specifični toplotni kapacitet c_p , J/(kg·K)	Faktor otpora difuziji vodene pare μ , (-)
BETON I ARMIRANI BETON				
armirani beton	2500	2,60	1000	80/130
beton	2400	2,50	1000	80/130
beton s lakim agregatom	1600	1,00	1000	60/100
ćelijasti beton	800	0,25	1000	6/10
beton s jednozrnim agregatom	1800	1,10	1000	60/100



ВРЕДНОСТИ КОЕФИЦИЈЕНАТА ЗА ПРОРАЧУН ТОПЛОТЕ И ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

Građevinski materijal	Zapremin. masa ρ kg/m³	Toplotna provodljiv. Λ, W/(m·K)	Specifični toplotni kapacitet c_p, J/(kg·K)	Faktor otpora difuziji vodene pare μ. (-)
HIDROIZOLACIONI MATERIJALI, PARNE BRANE				
bitumenska traka s uloškom od staklenog voala, staklene tkanine, poliesterskog filca ili krovnog kartona	1100	0,23	1000	50000
polimerna hidroizolaciona traka na bazi PVC-P	1200	0,14	1000	100000



ВРЕДНОСТИ КОЕФИЦИЈЕНАТА ЗА ПРОРАЧУН ТОПЛОТЕ И ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

Građevinski materijal	Zapremin. masa ρ , kg/m ³	Toplotna provodljivost λ , W/(m·K)	Specifični toplotni kapacitet c_p , J/(kg·K)	Faktor otpora difuziji vod. pare μ , (-)
TOPLINSKO-IZOLACIJSKI MATERIJALI				
mineralna vuna	10 do 200	0,035 do 0,050	1030	1
Ekspand. polistiren (EPS)	15 do 30	0,035 do 0,040	1450	60
ekstrudirani ekspanirani polistiren (EEPS)	≥ 25	0,030 do 0,040	1450	150
tvrda poliuretanska pena	≥ 30	0,020 do 0,040	1400	60
drvena vuna	360 do 460	0,065 do 0,09	1470	3/5
ekspanirani perlit	140 do 240	0,040 do 0,065	900	5
ekspanirana pluta	80 do 500	0,045 do 0,055	1560	5/10

ОСНОВНЕ ЈЕДНАЧИНЕ ЗА ПРОРАЧУН ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

Уместо количине водене паре “ Q ” једноставније је користити густину дифузионог тока “ q_m ” која представља количину водене паре у јединици времена:

$$q_m = \frac{Q}{\tau} = 0.62 \cdot \frac{(p_1 - p_2)}{r} \text{ (g / m}^2\text{h)}$$

ОСНОВНЕ ЈЕДНАЧИНЕ ЗА ПРОРАЧУН ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

Густина дифузионог тока за једнослојни елемент дата је изразом (према стандарду СРПС У.Ј5.520):

$$q_m = 0.62 \cdot \frac{(p_i - p_e)}{r} \text{ (g / m}^2\text{h)}$$

Густина дифузионог тока за вишеслојни елемент дата је изразом:

$$q_m = 0.62 \cdot \frac{(p_i - p_e)}{\sum r_j} \text{ (g / m}^2\text{h)}$$

ОСНОВНЕ ЈЕДНАЧИНЕ ЗА ПРОРАЧУН ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

У овом изразу ознаке су:

p_i - парцијални притисак водене паре ваздуха унутар зграде (кРа)

p_e - парцијални притисак водене паре ваздуха изван зграде (кРа)

Σr_j - сума релативних отпора дифузији водене паре свих слојева конструкције (m)

ОСНОВНЕ ЈЕДНАЧИНЕ ЗА ПРОРАЧУН ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

Вредности **парцијалних притисака** p_i и p_e одређују се на следећи начин:

- ❖ прво се из таблица датих у стандарду СРПС У.Ј5.520, за познате вредности температура ваздуха унутар и изван објекта, читају вредности притисака засићења p_i' и p_e'
- ❖ затим се на основу познатих релативних влажности ваздуха унутар и изван објекта срачунају парцијални притисци:

$$p_i = \varphi_i \cdot p_i' \text{ (кПа)}$$

$$p_e = \varphi_e \cdot p_e' \text{ (кПа)}$$



Вредности притисака засићења, p' у кРа

Температура (°C)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
20	2.337	2.351	2.366	2.381	2.395	2.410	2.426	2.441	2.455	2.471
19	2.196	2.210	2.223	2.238	2.251	2.266	2.279	2.294	2.309	2.323
18	2.063	2.075	2.089	2.102	2.115	2.129	2.142	2.155	2.169	2.182
17	1.937	1.949	1.961	1.974	1.986	1.999	2.013	2.025	2.037	2.050
16	1.817	1.829	1.841	1.853	1.865	1.877	1.889	1.901	1.913	1.925
15	1.704	1.716	1.726	1.738	1.749	1.760	1.772	1.782	1.794	1.806
14	1.598	1.608	1.618	1.629	1.640	1.650	1.661	1.672	1.682	1.696
13	1.497	1.506	1.517	1.526	1.537	1.546	1.557	1.568	1.577	1.588
12	1.402	1.412	1.421	1.430	1.440	1.449	1.458	1.468	1.477	1.488
11	1.312	1.321	1.330	1.338	1.348	1.357	1.365	1.374	1.384	1.393
10	1.227	1.236	1.244	1.252	1.261	1.269	1.277	1.286	1.294	1.304
9	1.147	1.156	1.164	1.172	1.178	1.186	1.194	1.202	1.212	1.220
8	1.072	1.080	1.086	1.094	1.097	1.102	1.117	1.125	1.132	1.140
7	1.001	1.008	1.016	1.022	1.029	1.036	1.044	1.050	1.058	1.065
6	0.935	0.941	0.948	0.954	0.961	0.968	0.974	0.981	0.988	0.994

Вредности притисака засићења, p' у кРа

Температура (°C)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
5	0.872	0.878	0.884	0.890	0.897	0.902	0.909	0.916	0.922	0.928
4	0.813	0.818	0.825	0.830	0.836	0.842	0.848	0.854	0.860	0.866
3	0.758	0.762	0.768	0.774	0.780	0.785	0.790	0.796	0.799	0.808
2	0.705	0.710	0.716	0.721	0.726	0.732	0.736	0.741	0.746	0.752
1	0.657	0.661	0.667	0.670	0.676	0.681	0.685	0.690	0.696	0.701
+0	0.610	0.615	0.620	0.624	0.628	0.633	0.637	0.643	0.647	0.652
-0	0.610	0.605	0.600	0.596	0.591	0.587	0.581	0.576	0.572	0.567
-1	0.561	0.557	0.553	0.548	0.544	0.539	0.535	0.531	0.525	0.521
-2	0.516	0.513	0.508	0.504	0.500	0.496	0.492	0.488	0.484	0.480
-3	0.475	0.472	0.468	0.464	0.460	0.456	0.452	0.448	0.444	0.440
-4	0.436	0.433	0.429	0.425	0.423	0.419	0.415	0.412	0.408	0.404
-5	0.401	0.397	0.395	0.391	0.388	0.384	0.381	0.377	0.375	0.371

ОСНОВНЕ ЈЕДНАЧИНЕ ЗА ПРОРАЧУН ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

Теоријски парцијални притисак водене паре " p_j " на граници између слојева " j " и " $j+1$ " може се аналитички одредити, помоћу израза:

$$p_j = p_i - \frac{p_i - p_e}{\sum_{k=1}^{k=j} r_k} \sum_{k=1}^{k=j} r_k$$

Вредност теоријског парцијалног притиска, срачуната помоћу овог израза, може у неким случајевима бити већа од притиска засићења, што је физички немогуће јер долази до кондензације. Тада се за даљи прорачун усваја да је вредност парцијалног притиска једнака притиску засићења.

ДИЈАГРАМИ ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

На основу срачунатих вредности парцијалних притисака водене паре на границама између појединих слојева конструкције (елемента) и на основу вредности притисака засићења (који се добијају помоћу познатог распореда температура кроз конструкцију), може се нацртати **ДИЈАГРАМ ДИФУЗИЈЕ**.

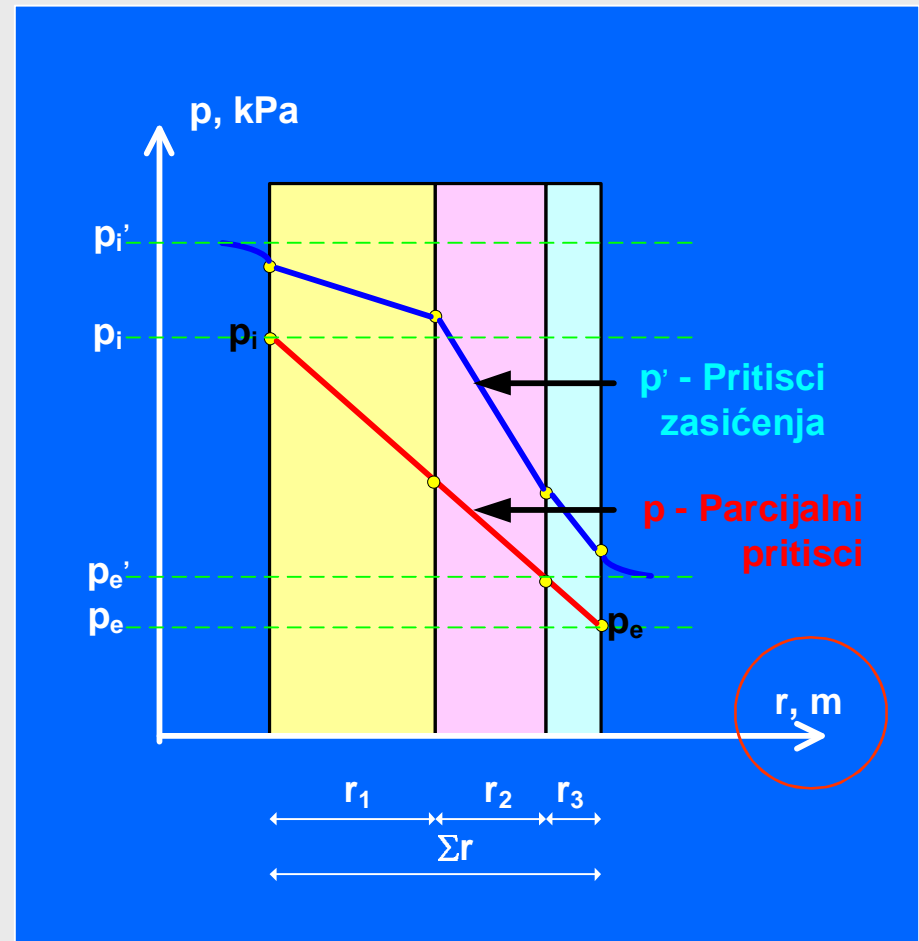
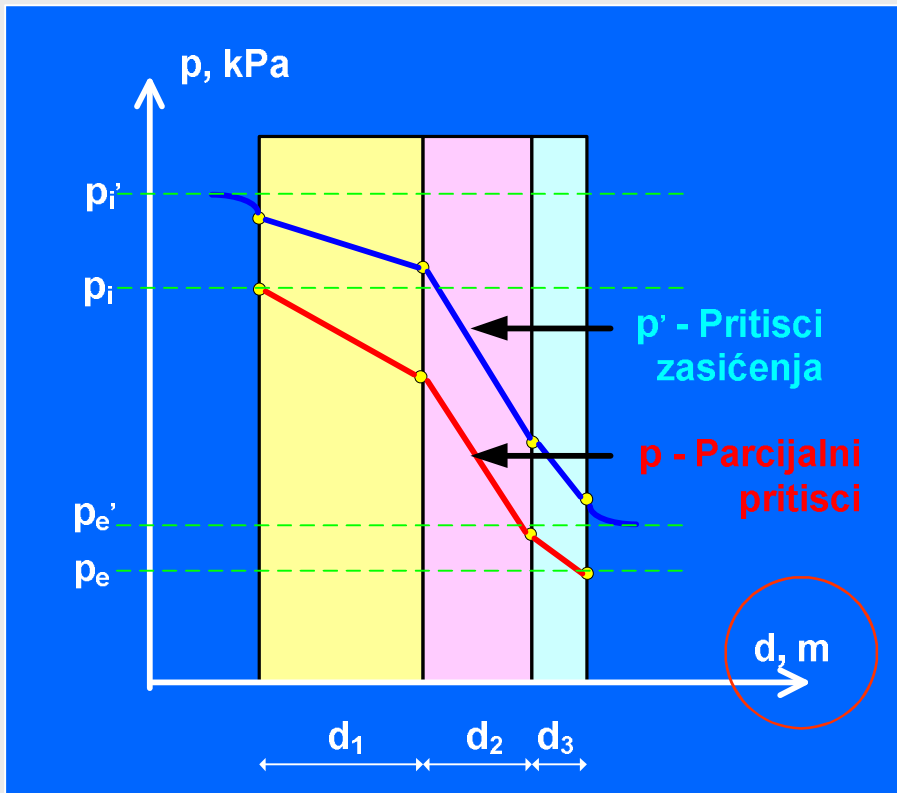
На овом дијаграму цртају се линија притисака засићења и линија парцијалних притисака.

ДИЈАГРАМИ ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

Дијаграм дифузије се најчешће црта у координатном систему у коме се на апсциси наносе релативни отпори дифузији водене паре " r_j " у m, а на ординати вредности притисака у kPa.

У оваквом координатном систему **линија парцијалних притисака водене паре је права линија** кроз цео пресек конструкције.

ДИЈАГРАМИ ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ



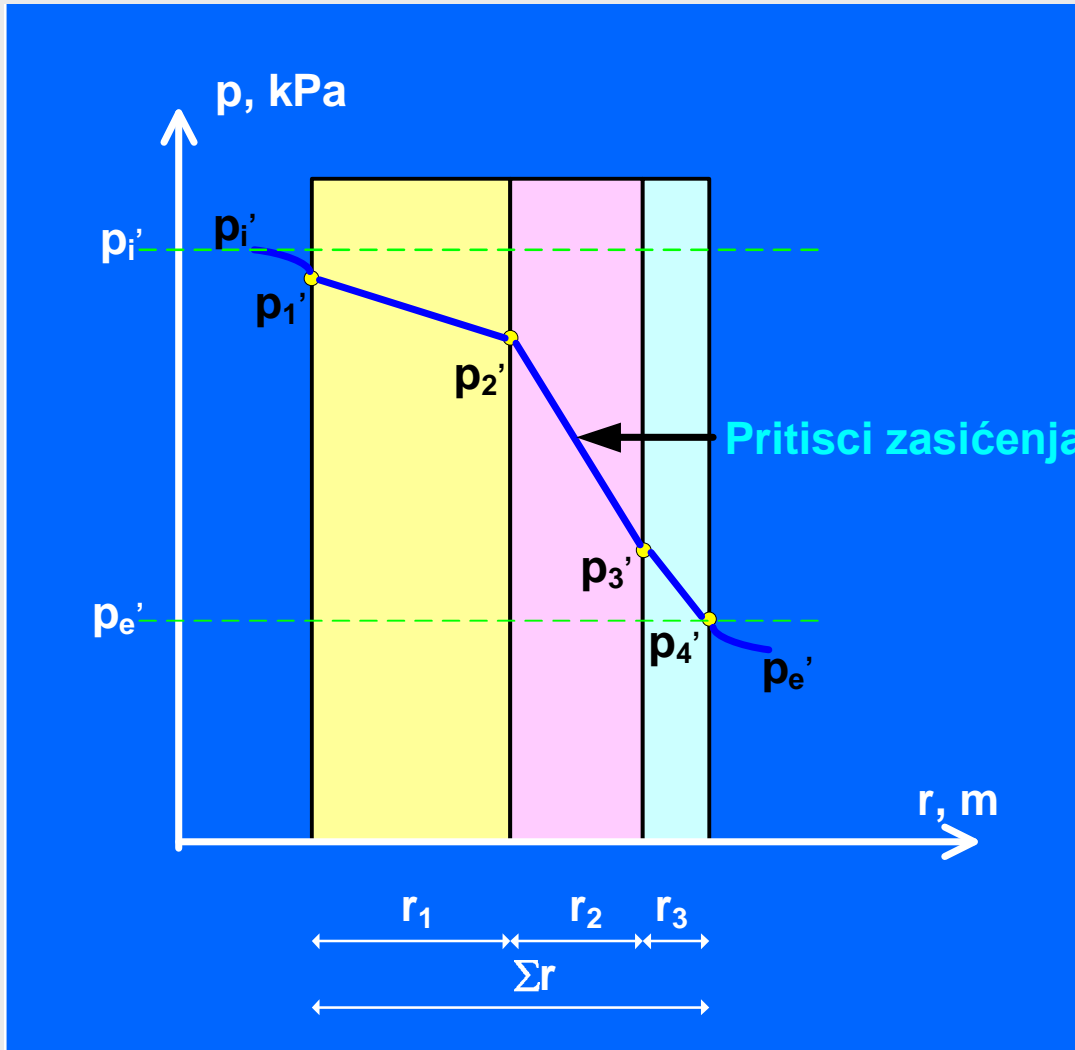
ДИЈАГРАМИ ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

У зависности од положаја ових линија могу наступити три карактеристична случаја дифузије водене паре:

- a) линија притисака засићења и линија парцијалних притисака **се не секу**, што значи да не долази до кондензације водене паре унутар конструкције.
- b) линија притисака засићења и линија парцијалних притисака **се додирују (секу) у једној тачки**, што значи да долази до кондензације у једној равни унутар конструкције, и та раван се зове раван кондензације.
- c) линија притисака засићења и линија парцијалних притисака **се секу у две тачке**, што значи да долази до кондензације у зони унутар конструкције, и та зона се зове зона кондензације.

ДИЈАГРАМИ ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

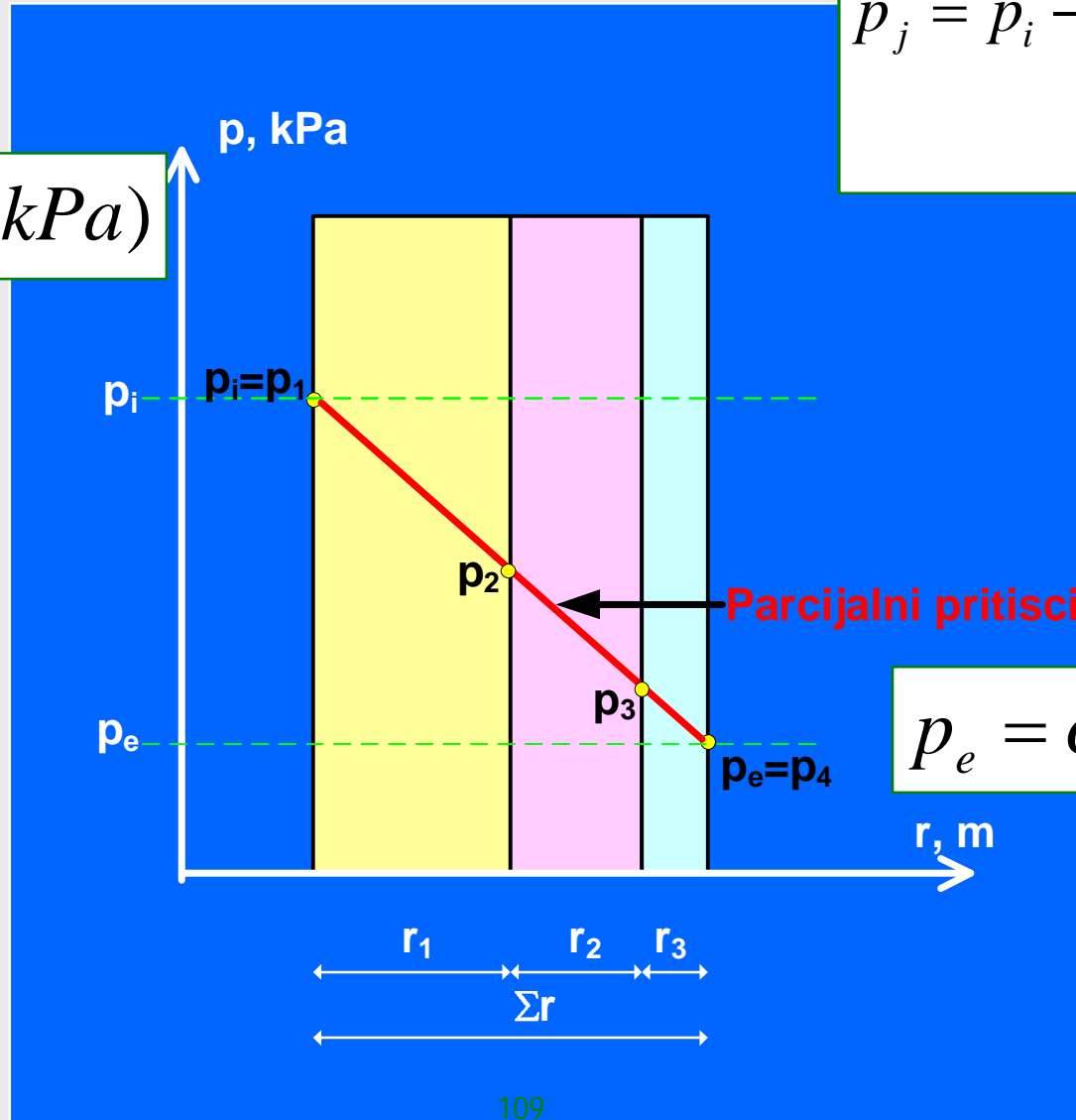
а) нема кондензације



$t_i \Rightarrow p_i'$
 $t_1 \Rightarrow p_1'$
 $t_2 \Rightarrow p_2'$
 $t_3 \Rightarrow p_3'$
 $t_4 \Rightarrow p_4'$
 $t_e \Rightarrow p_e'$

a) нема кондензације

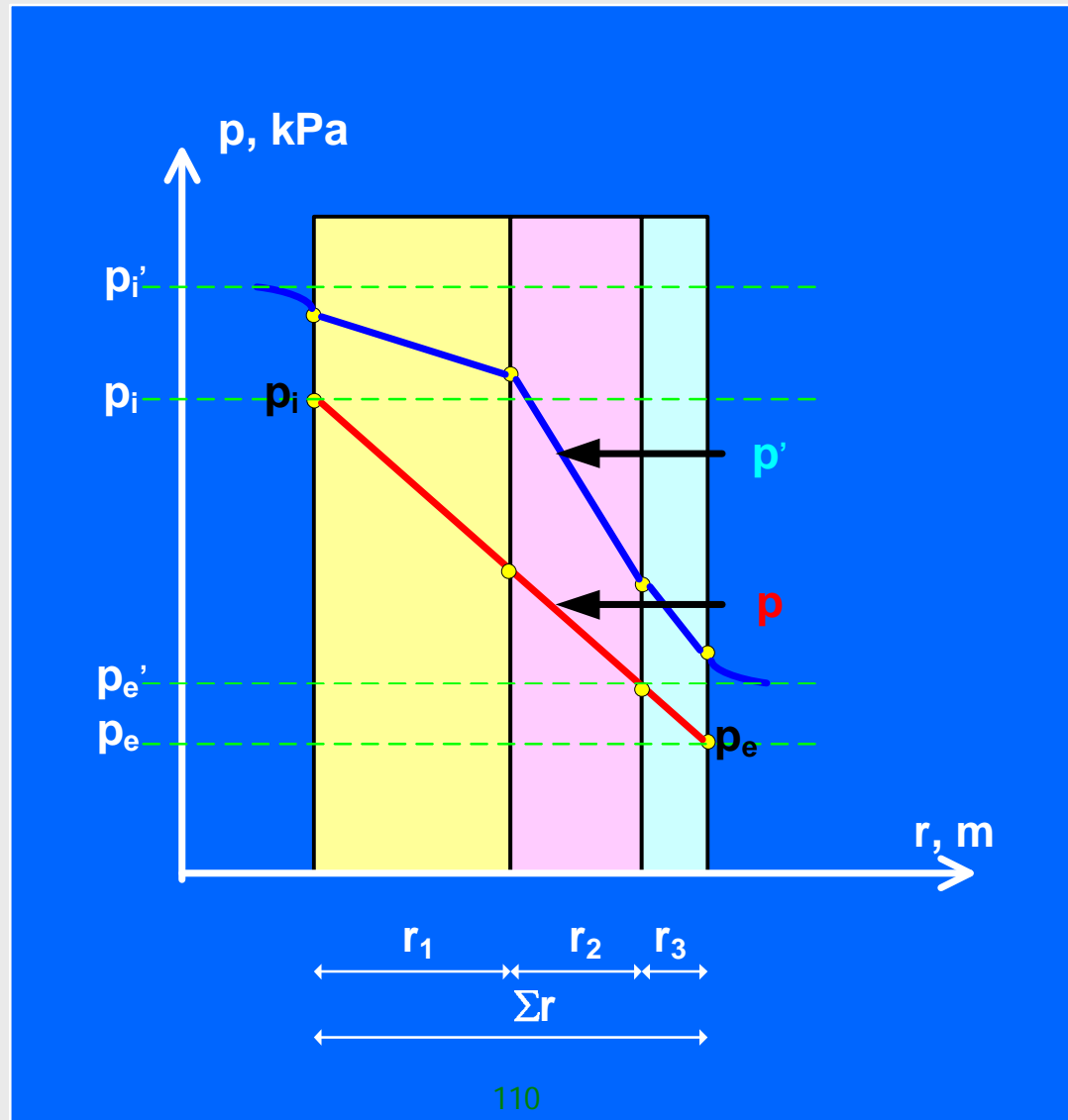
$$p_i = \varphi_i \cdot p'_i \text{ (kPa)}$$



$$p_j = p_i - \frac{p_i - p_e}{\sum_{k=1}^{k=n} r_k} \sum_{k=1}^{k=j} r_k$$

$$p_e = \varphi_e \cdot p'_e \text{ (kPa)}$$

а) нема кондензације



ДИЈАГРАМИ ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

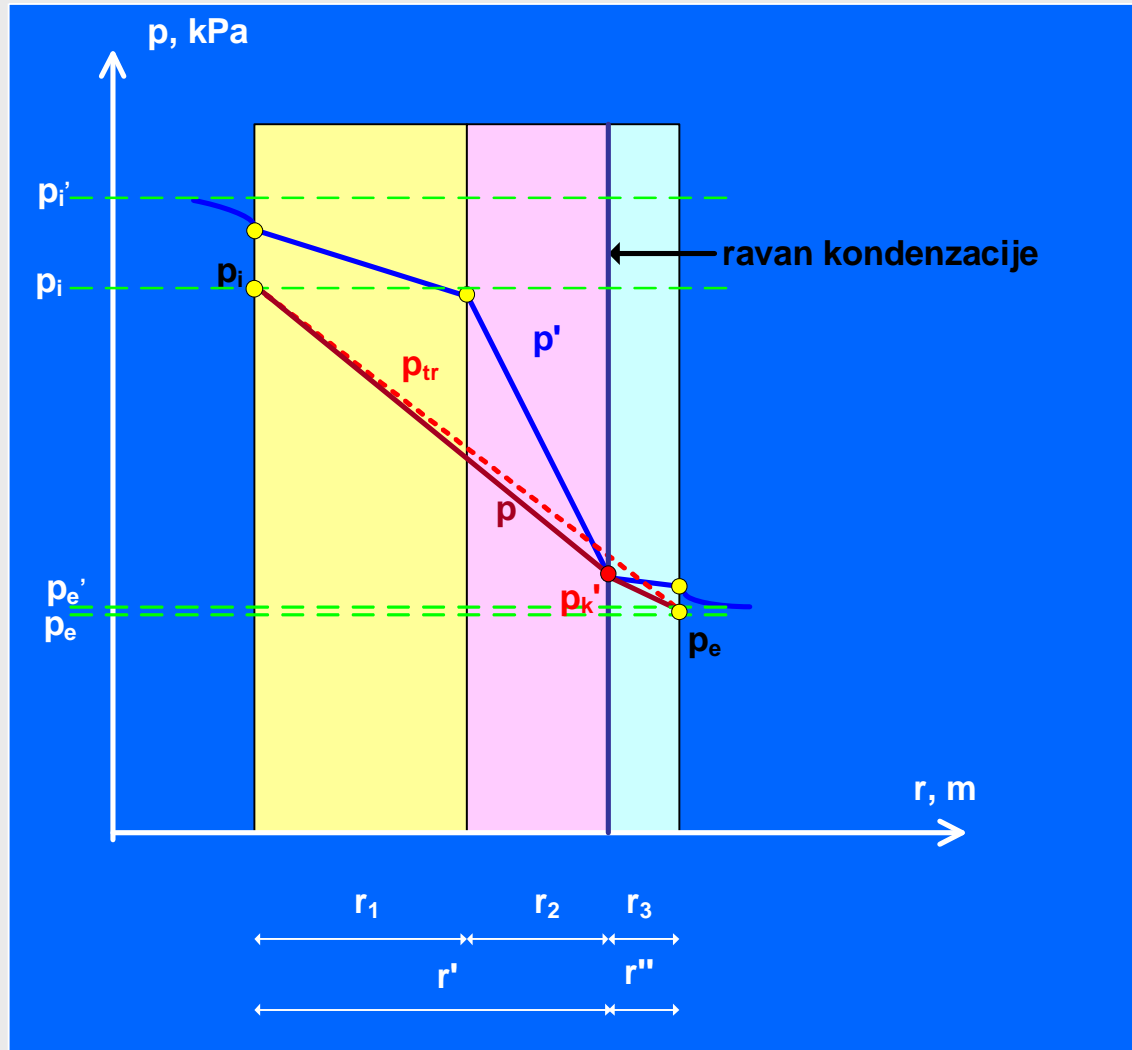
а) нема кондензације

У том случају количина водене паре која улази у конструкцију **једнака је** количини водене паре која излази из конструкције, а одређује се помоћу израза:

$$q_m = 0.62 \cdot \frac{(p_i - p_e)}{\sum r_j} \text{ (g / m}^2\text{h)}$$

ДИЈАГРАМИ ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

b) кондензација у равни



ДИЈАГРАМИ ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

b) кондензација у равни

У том случају количина водене паре која улази у конструкцију (q_{m1}) није једнака количини водене паре која излази из конструкције (q_{m2}), а одређује се помоћу израза:

$$q_{m1} = 0.62 \cdot \frac{(p_i - p'_k)}{r'} \quad (g / m^2 h)$$

где је:

p'_k - притисак засићења водене паре у равни конденз. (кРа)

r' - сума релативних отпора дифузији водене паре слојева конструкције који се налазе између унутрашње површине и равни кондензације

ДИЈАГРАМИ ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

b) кондензација у равни

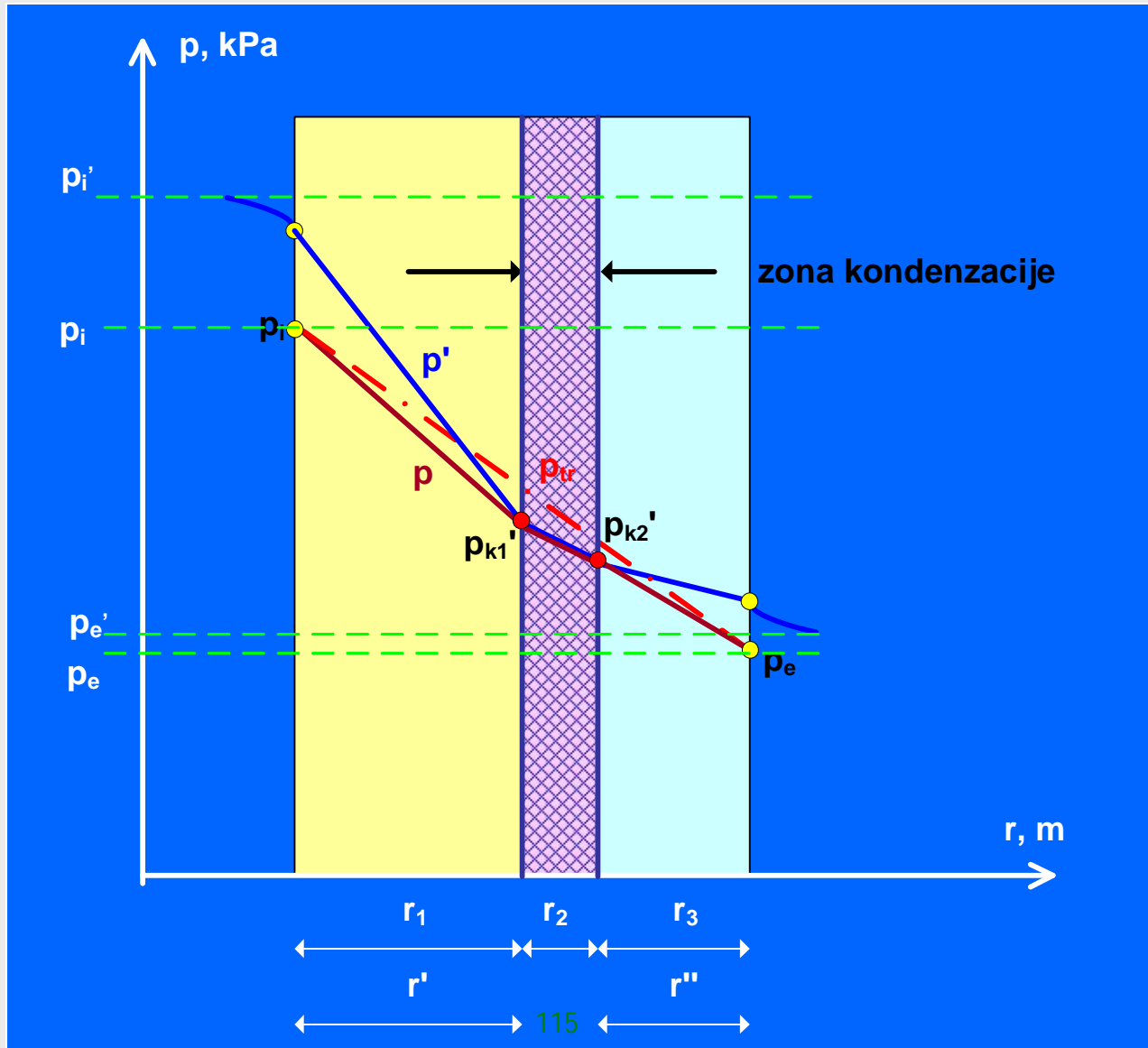
Количина водене паре **која излази из конструкције** (q_{m2}) одређује се помоћу израза:

$$q_{m2} = 0.62 \cdot \frac{(p'_k - p_e)}{r''} \text{ (g / m}^2\text{h)}$$

где је:

r'' - сума релативних отпора дифузији водене паре слојева конструкције који се налазе између равни кондензације и спољашње површине конструкције

с) кондензација у зони (слоју)



ДИЈАГРАМИ ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

с) кондензација у зони (слоју)

У том случају количина водене паре **која улази у конструкцију** није једнака количини водене паре која излази из конструкције, а одређује се помоћу израза:

$$q_{m1} = 0.62 \cdot \frac{(p_i - p'_{k1})}{r'} \quad (g / m^2 h)$$

где је:

p'_{k1} - притисак засићења водене паре у равни која дели унутрашњи суви део конструкције од зоне конденз. (кРа)

r' - сума релативних отпора дифузији водене паре слојева конструкције који се налазе између унутрашње површине и почетка зоне кондензације

ДИЈАГРАМИ ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ

с) кондензација у зони (слоју)

Количина водене паре која **излази из конструкције** одређује се помоћу израза:

$$q_{m2} = 0.62 \cdot \frac{(p'_{k2} - p_e)}{r''} \text{ (g / m}^2\text{h)}$$

где је:

p'_{k2} - притисак засићења водене паре у равни која дели зону кондензације од спољашњег сувог дела констр. (кРа)

r'' - сума релативних отпора дифузији водене паре слојева конструкције који се налазе између завршетка зоне кондензације и спољашње површине конструкције

КОЛИЧИНА КОНДЕНЗАТА

За случајеве када у конструкцији долази до кондензације, количина кондензата која остаје унутар конструкције може се одредити помоћу израза:

$$q_m' = q_{m1} - q_{m2}$$

Укупна количина кондензоване водене паре q_{mz}' у g/m^2 унутар грађевинске конструкције, након завршене дифузије, одређује се према изразу:

$$q_{mz}' = q_m' \cdot 24 \cdot d$$

где је: **d** - трајање кондензације водене паре у данима

ПОВЕЋАЊЕ ВЛАЖНОСТИ СЛОЈА КОНСТРУКЦИЈЕ У КОМЕ СЕ КОНДЕНЗОВАЛА ВОДЕНА ПАРА

У случајевима када долази до кондензације у зони унутар конструкције, може се одредити повећање влажности материјала тог слоја услед кондензоване влаге.

То повећање влажности материјала слоја дато је изразом:

$$X'_{dif} = \frac{q'_{mz} \cdot 100}{d_r \cdot \rho_0} (\%)$$

где је:

- d_r - рачунска дебљина слоја конструкције у коме се кондензовала водена пара (m)
- ρ - запреминска маса сувог материјала слоја констр. (kg/m^3)

ПОВЕЋАЊЕ ВЛАЖНОСТИ СЛОЈА КОНСТРУКЦИЈЕ У КОМЕ СЕ КОНДЕНЗОВАЛА ВОДЕНА ПАРА

Рачунска дебљина, d_r [m], слоја грађевинског елемента у коме се дешава кондензација, **за случај кондензације у равни**, има следеће вредности:

- ✓ за слој ћелијастог бетона или бетона са лаким агрегатом, $d_r = 0,02$ m;
- ✓ за опеку, $d_r = 0,05$ m;
- ✓ за остале материјале усваја се да је $d_r = d$ (d је дебљина слоја), али не веће од 0,07 m.

За случај кондензације у зони, d_r је једнако ширини кондензне зоне.

ПОВЕЋАЊЕ ВЛАЖНОСТИ СЛОЈА КОНСТРУКЦИЈЕ У КОМЕ СЕ КОНДЕНЗОВАЛА ВОДЕНА ПАРА

У случајевима када материјал слоја у коме се кондензовала водена пара има природну влажност (X'_r), онда се укупна влажност материјала слоја одређује:

$$X'_{uk} = X'_r + X'_{dif}$$

X'_r [%] - просечна рачунска влажност материјала, према табели из Правилника

X'_{dif} [%] - масена влажност настала услед кондензације.

ПОВЕЋАЊЕ ВЛАЖНОСТИ СЛОЈА КОНСТРУКЦИЈЕ У КОМЕ СЕ КОНДЕНЗОВАЛА ВОДЕНА ПАРА

Један од услова термичког прорачуна елемената је да укупна влажност материјала буде мања од дозвољне (максималне) за предметни материјал:

$$X'_{uk} < X'_{max}$$

где је највећа дозвољена масена влажност за слој материјала у коме се дешава кондензација:

$$X'_{max} = X'_r + X'_{dif,max}$$

$$X'_{dif,max} = \frac{q_{max} \cdot 100}{d_r \cdot \rho_0}$$

ρ_0 [kg/m³] је запреминска маса материјала, у сувом стању, према табелама из Правилника (3.3.3.1 или 3.4.1.2)

ПОВЕЋАЊЕ ВЛАЖНОСТИ СЛОЈА КОНСТРУКЦИЈЕ У КОМЕ СЕ КОНДЕНЗОВАЛА ВОДЕНА ПАРА

$$X'_{dif,max} = \frac{q_{max} \cdot 100}{d_r \cdot \rho_0}$$

Вредност q_{max} [kg/m²] представља највећу дозвољену количину кондензоване водене паре у грађевинском елементу на завршетку зимског периода, која има следеће вредности:

- ✓ у општем случају, $q_{max} = 1,0 \text{ kg/m}^2$;
- ✓ уколико кондензација настаје на додирним површинама слојева од којих један слој нема могућност преузимања влаге, $q_{max} = 0,5 \text{ kg/m}^2$;
- ✓ за дрвене конструкције, $q_{max} = 0,05 \cdot d_r \cdot \rho_0 \text{ (kg/m}^2)$;
- ✓ за материјале на бази дрвета, $q_{max} = 0,03 \cdot d_r \cdot \rho_0 \text{ (kg/m}^2)$.

ПРОРАЧУН ИСУШЕЊА КОНСТРУКЦИЈЕ

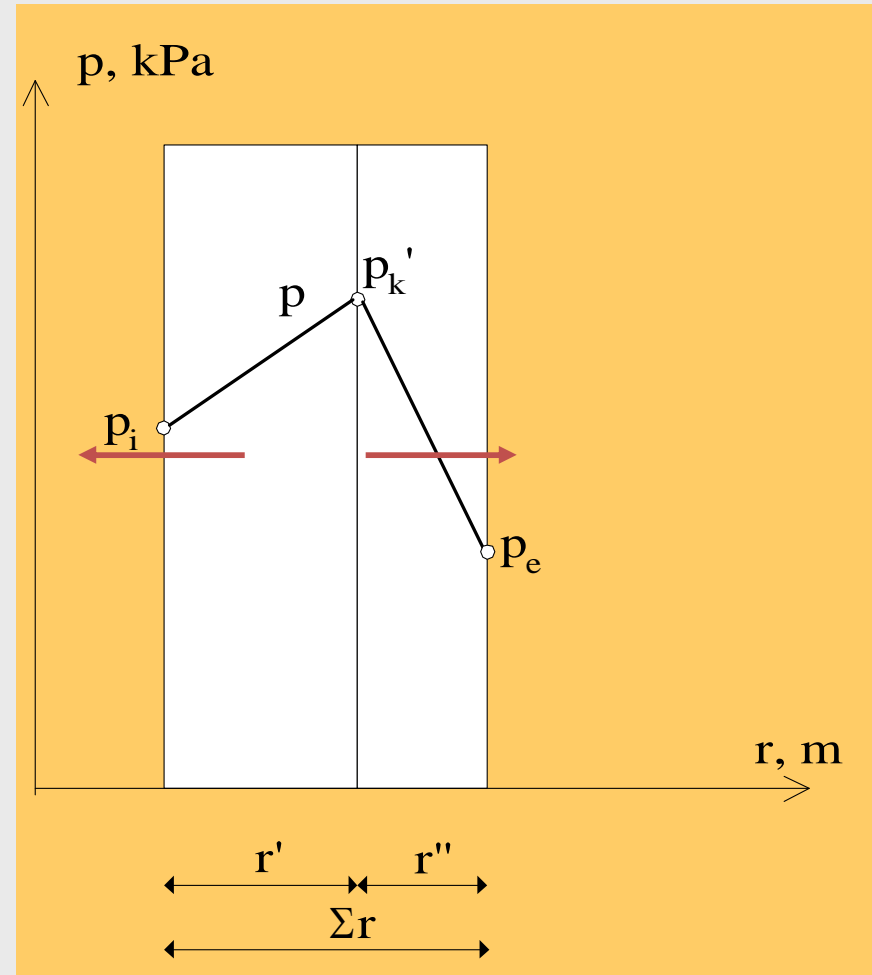
Ако је парцијални притисак ваздуха са обе стране грађевинске конструкције мањи од притиска zasiћења водене паре у равни кондензације, односно на равнима које ограничавају зону кондензације, долази до исушења конструкције.

Ова појава је карактеристична за летњи период.

ПРОРАЧУН ИСУШЕЊА КОНСТРУКЦИЈЕ

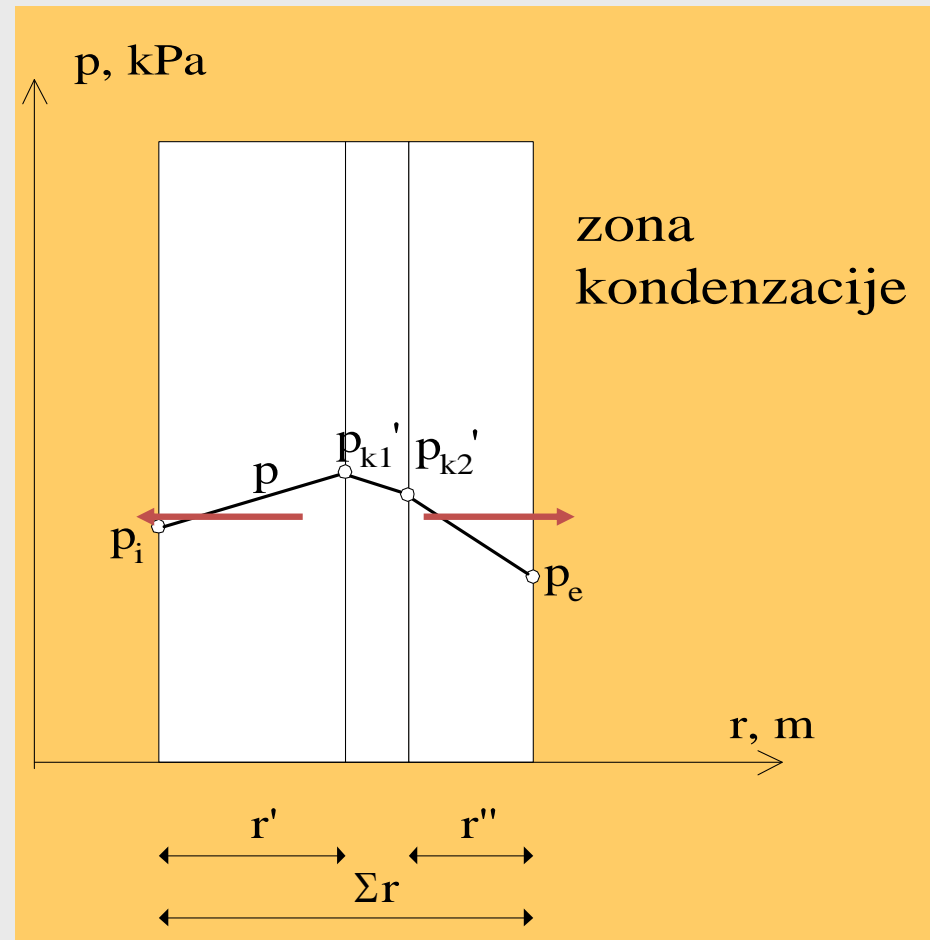
За случај када је претходила кондензација у равни, количина водене паре која излази из конструкције, одређује се помоћу израза:

$$q_m = 0.62 \frac{P_k' - P_i}{r'} + 0.62 \frac{P_k' - P_e}{r''} \quad (g / m^2 h)$$



ПРОРАЧУН ИСУШЕЊА КОНСТРУКЦИЈЕ

За случај када је претходила кондензација у зони, количина водене паре која излази из конструкције, одређује се помоћу израза:



$$q_m = 0.62 \frac{P_{k1}' - P_i}{r'} + 0.62 \frac{P_{k2}' - P_e}{r''} (g / m^2 h)$$

ПРОРАЧУН ВРЕМЕНА ПОТРЕБНОГ ЗА ИСУШЕЊЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

Потребно време (d) за исушење конструкције дато је изразом:

$$d = \frac{1.3 \cdot q'_{mz}}{q_m \cdot 24} \text{ (dani)}$$

Коефицијент 1.3 узима у обзир успоравање исушења услед постепеног смањења протока.

ПРОРАЧУН ВРЕМЕНА ПОТРЕБНОГ ЗА ИСУШЕЊЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

За период исушења се, према Правилнику, узима:

Зона А - дозвољено трајање исушења износи **90 дана**

Зона Б - дозвољено трајање исушења износи **60 дана**.

Температуре и релативне влажности ваздуха, у том периоду се узимају са следећим вредностима:

$$\theta_i = \theta_e = 18 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$\varphi_i = \varphi_e = 65\%.$$