

Дифузија водене паре

- 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.
- 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). 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).

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

- апсолутна влажност ваздуха и
- релативна влажност ваздуха.

Апсолутна влажност се обележава са "х" 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, а да при томе не дође до кондензације, односно појаве росе.

Са количином 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.

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

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

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

Минимална топлотна отпорност за спречавање орошавања унутрашње површине, R_{\min} [$\text{m}^2\text{K/W}$], **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 **$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$** ($\alpha = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$), а вредност R_{si} се, због могућности појаве спреченог струјања ваздуха (намештај, закони и сл.) усваја са (најмање) **$R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$** ($\alpha = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$ – обично $\alpha = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$).

За **транспарентне** грађевинске елементе примењује се уобичајена вредност: **$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$** ($\alpha = 6 \text{ W/m}^2\text{K}$).

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 -15°C , **температура спољњег ваздуха за прорачун кондензације износи -5°C , релативна влажност спољњег ваздуха износи 90%**, релативна влажност и температура унутрашњег ваздуха усваја се према пројектним условима с обзиром на намену објекта / просторије, или са вредношћу **релативне влажности 55%**, а трајање периода кондензације износи **60 дана**;

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

Количина водене паре “Q” која дифузионим током прође кроз једнослојни елемент преко површине од 1m^2 , управо је пропорционална разлици парцијалних притисака “ p_1-p_2 ” и времену трајања дифузије “ τ ”, а обрнуто пропорционална **релативном отпору дифузији водене паре “r”** који има уграђени материјал:

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

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

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

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.

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

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

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

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

Густина дифузионог тока за вишеслојни елемент дата је изразом:

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

Вредности притисака засићења, за одређене температуре и релативне влажности се читавају из таблица. На основу познатих релативних влажности ваздуха унутар објекта и ван њега, израчунавају се вредности парцијалних притисака:

$$p_i = \varphi_i \cdot p'_i \text{ (kPa)} \quad \text{односно} \quad p_e = \varphi_e \cdot p'_e \text{ (kPa)}$$

Парцијални притисак воднене паре на граници између слојева може се и аналитични одредити, помоћу следећег израза:

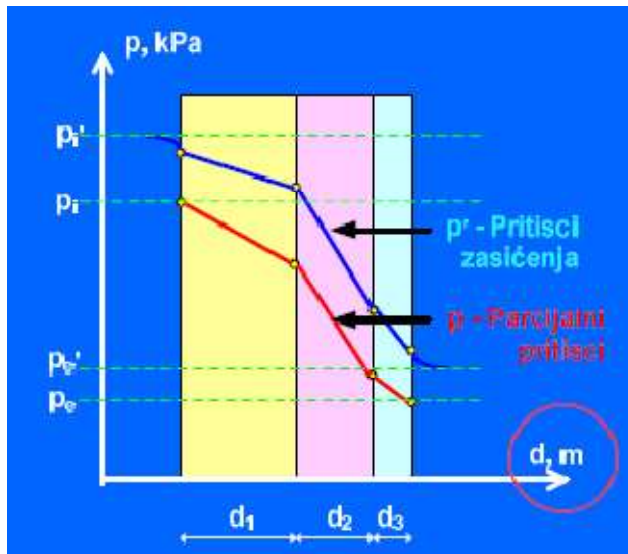
$$p_j = p_i - \frac{p_i - p_e}{\sum_{k=1}^{k=j} r_k} \sum_{k=1}^{k=j} r_k$$

Уколико је вредност парцијалног притиска већа од притиска засићења (што је физички немогуће), онда се за даљи прорачун усваја вредност парцијалног притиска која је једнака притиску засићења.

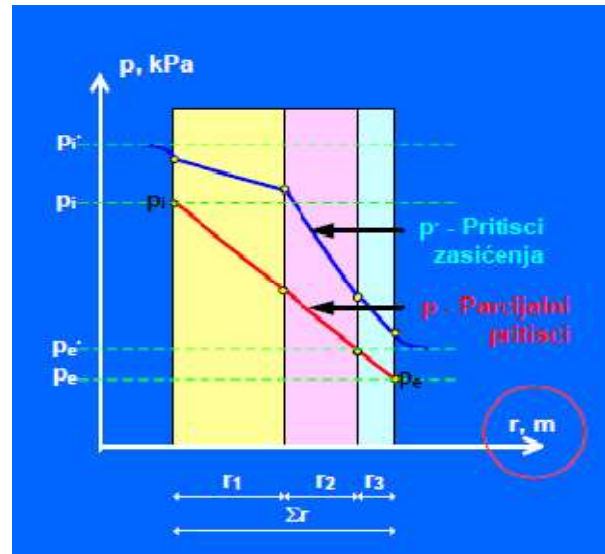
Вредности притисака засићења, p' у кРа

| 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 |
| 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 |

ДИЈАГРАМИ ДИФУЗИЈЕ ВОДЕНЕ ПАРЕ



НЕ

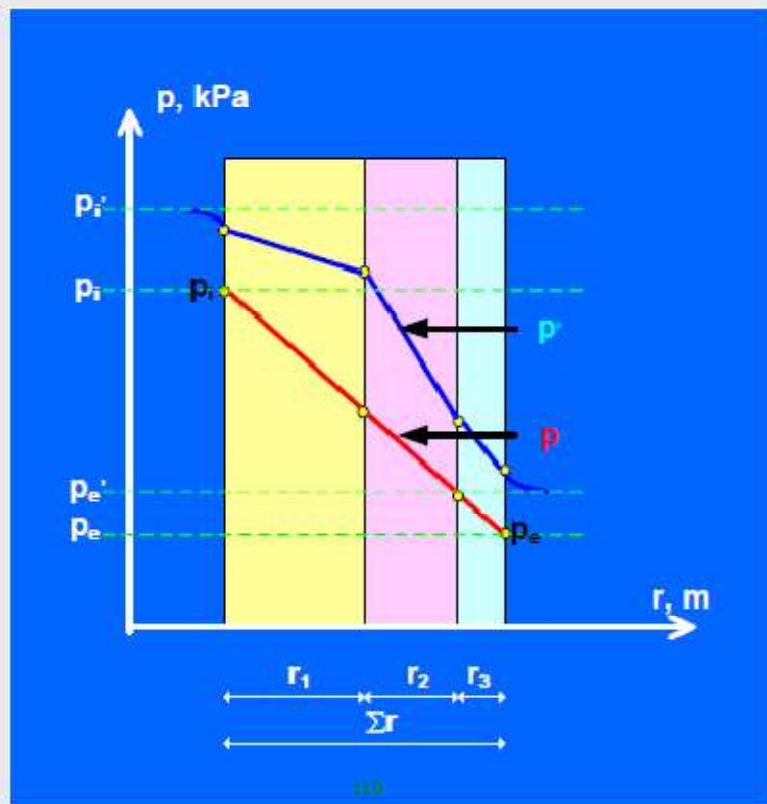


ДА

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

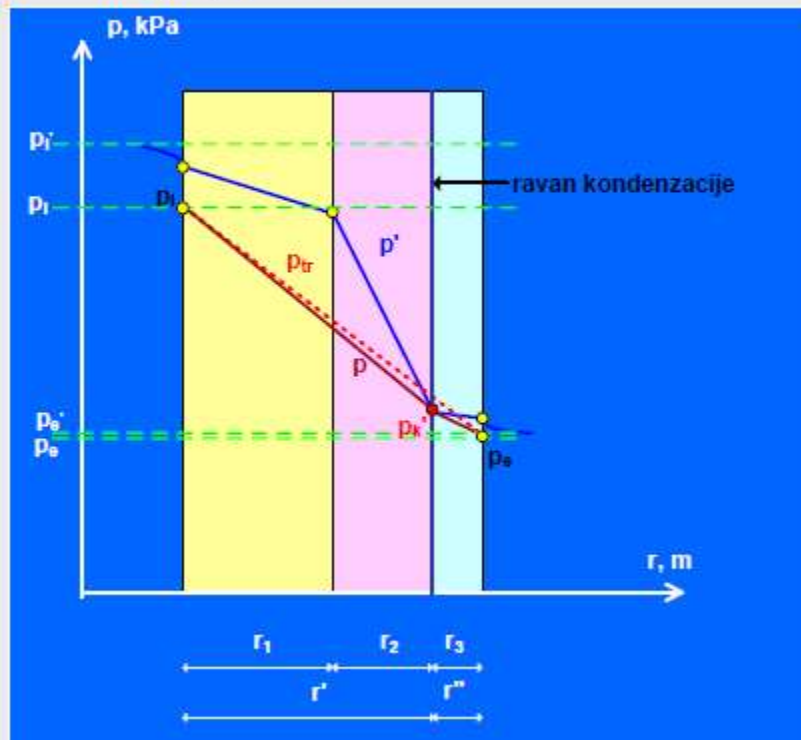
- a) линија притисака засићења и линија парцијалних притисака **се не секу**, што значи да не долази до кондензације водене паре унутар конструкције.
- b) линија притисака засићења и линија парцијалних притисака **се додирују (секу) у једној тачки**, што значи да долази до кондензације у једној равни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

a) нема конденсације



У том случају количина водене паре која улази у конструкцију **једнака је** количини водене паре која излази из конструкције.

b) кондензација у равни



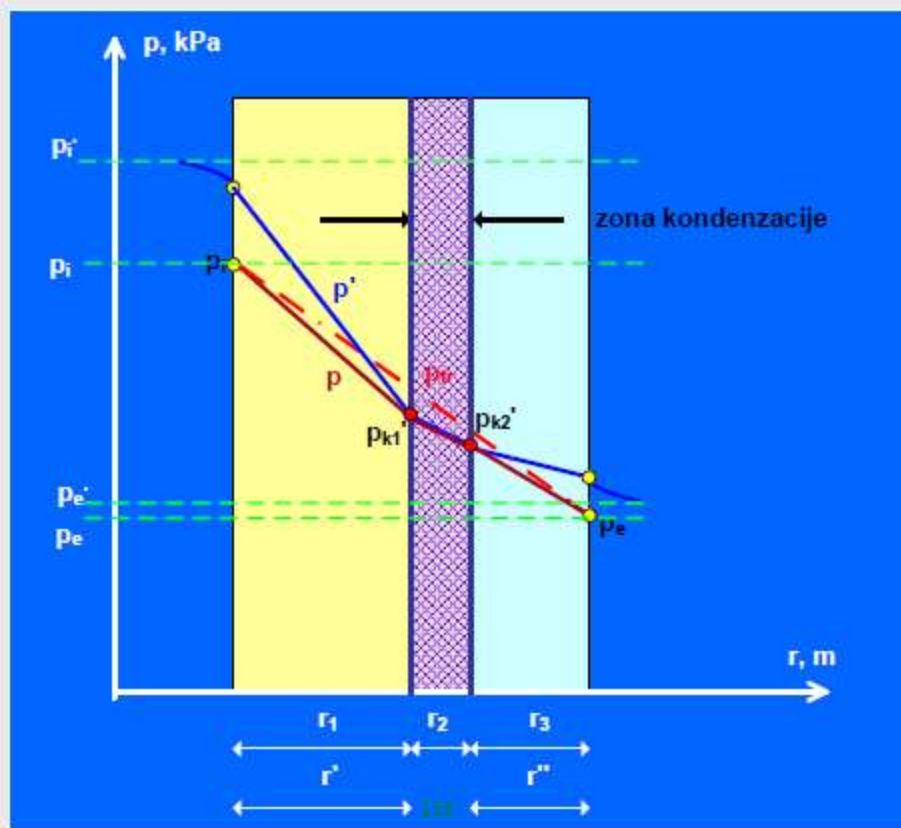
У том случају количина водене паре која улази у конструкцију (q_{m1}) није једнака количини водене паре која излази из конструкције (q_{m2}), а одређује се помоћу израза:

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

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

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

с) кондензација у зони (слоју)



Количина водене паре која улази у конструкцију:

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

Количина водене паре која излази из конструкције:

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

Количина кондензата која остаје у конструкцији је:

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

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

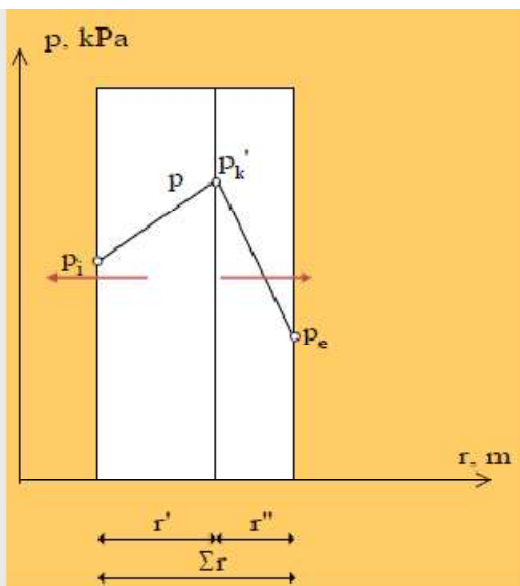
$$q_{mz} = q_{m'} \cdot 24 \cdot d$$

ПРОРАЧУН ИСУШЕЊА КОНСТРУКЦИЈЕ

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

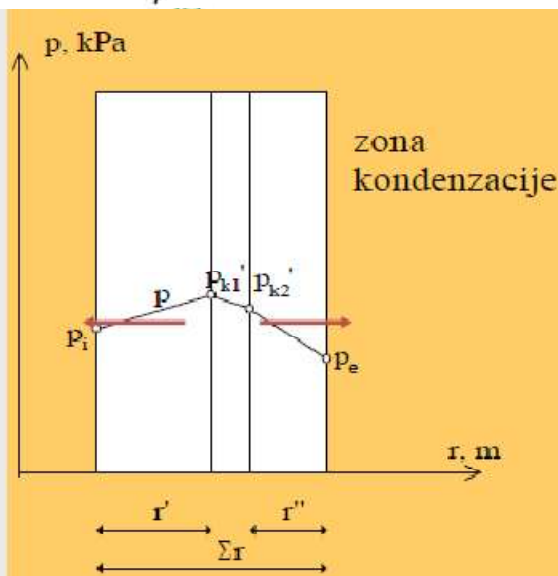
Ова појава је карактеристична за летњи период.

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



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

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



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

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

$$d = \frac{1.3 \cdot q_{mz}}{q_m \cdot 24} (dani)$$

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

Дозвољени период исушења, према Правилнику, износи:

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:

$$\begin{aligned}\theta_i &= \theta_e = 18^{\circ}\text{C}, \\ \varphi_i &= \varphi_e = 65\%.\end{aligned}$$