

Aktivitāte 1.3.
**„Kompozītas ēkas norobežojošās konstrukcijas multifizikāla
modeļa izstrāde, izmantojot iepriekš aprobētus sistēmas
apakšmodeļus atsevišķiem procesiem un zonām un
pārbaudītus dinamiskos kritērijus”
(modelis)**

Ēkas norobežojošās konstrukcijas multifizikālais modelis siltuma mitruma un gaisa apmaiņas izpētei

Izveidotais matemātiskais modelis satur vairākas savstarpēji cieši saistītas daļas, kas apraksta būtiskos siltuma, mitruma un gaisa apmaiņas procesus būvkonstrukcijās. Pieraksta vienkāršošanas dēļ modeļi šajā sadaļā pierakstīti vienas telpas koordinātes gadījumā.

1. Mitruma masas dinamikas aprēķins

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho_V^{m_{a+tv}} = \frac{\partial}{\partial x} \left[j_{konv}^{m_a} + j_{konv}^{m_{tv}} + j_{dif}^{m_{tv}} \right] + \sigma_V^{m_{a+tv}},$$

kur

$\rho_V^{m_{a+tv}}$ - mitruma blīvums kontroltilpumā, kg / m^3

$j_{konv}^{m_a}$ - konvektīvās kapilārās ūdens plūsmas blīvums, $kg / m^2 s$

$j_{konv}^{m_{tv}}$ - konvektīvās ūdens tvaika plūsmas blīvums, $kg / m^2 s$

$j_{dif}^{m_{tv}}$ - tvaiku plūsma, ko nosaka difūzija, $kg / m^2 s$

$\sigma_V^{m_{a+tv}}$ - mitruma avotu/noteču intensitāte kontroltilpumā, $kg / m^3 s$

2. Konvektīvās kapilārās ūdens plūsmas aprēķins

$$j_{konv}^{m_a} = c_k^{m_a} j_{konv}^{m_k},$$

kur

$c_k^{m_a} = 1 - c_k^{m_{GOS}}$ - ūdens masas koncentrācija šķidrā stāvoklī, kg / kg

$c_k^{m_{GOS}}$ - GOS (gaistoši organiskie savienojumi) masas koncentrācija šķidrā stāvoklī, kg / kg

$$j_{konv}^{m_k} = -K_k \left[\frac{\partial p_k}{\partial x} + \rho_k g \right] \quad - \text{konvektīvā plūsma šķidrā stāvoklī, } kg / m^2 s$$

K_k - ūdens kapilārā vadītspēja, s

p_k - ūdens spiediens, Pa

ρ_k - raksturīgais blīvums šķidrā stāvoklī, kg / m^3

g - gravitācijas konstante, m / s^2

Atzīmēsim, ka m_k ir masa šķidrā stāvoklī un m_a ir tīrā masa ūdenim.

Šķidrās fāzes kapilāro vadītspēju aprēķina no tīrā ūdens vadītspējas, sareizinot koncentrāciju ar no temperatūras atkarīgu viskozitātes attiecību:

$$K_k(\theta_k, T, c_k^{m_{GOS}}) = \frac{[\eta_{GOS}(T) - \eta_{\bar{u}}(T)]c_k^{m_{GOS}} + \eta_{\bar{u}}(T)}{\eta_{\bar{u}}(T_{ref})} \cdot K_k(\theta_k, T_{ref}, c_k^{m_{GOS}} = 0)$$

kur

$\eta_{\bar{u}}(T)$ - viskozitāte tīram ūdenim

$\eta_{GOS}(T)$ - GOS viskozitāte

$K_k(\theta_k, T_{ref}, c_k^{m_{GOS}} = 0)$ - izmērīta ūdens vadītspēja pie references nosacījumiem

3. Konvektīvās ūdens tvaika plūsmas aprēķins

$$j_{konv}^{m_{tv}} = c_{g\bar{a}\bar{a}z}^{m_{\bar{a}}} j_{konv}^{m_g}$$

kur

$$c_{g\bar{a}\bar{a}z}^{m_{\bar{a}}} = \frac{p_{tv}}{p_g + p_{tv}} \cdot \frac{R}{R_{tv}} - \text{tvaika masas koncentrācija gāzveida stāvoklī, } kg / kg$$

p_{tv} - ūdens tvaika spiediens gāzes stāvoklī, Pa

p_g - gaisa spiediens gāzes stāvoklī, Pa

R_g - gaisa gāzes konstante, J / kgK

R_{tv} - ūdens tvaika gāzes konstante, J / kgK

$j_{konv}^{m_{g\bar{a}\bar{a}z}}$ - konvektīvā ūdens plūsma gāzveida stāvoklī, kg / m² s

4. Ūdens tvaika difūzijas aprēķins

$$j_{dif}^{m_{tv}} = - \frac{D_{tv,g}(T)}{\mu R_{tv} T} f(\theta_{g\bar{a}\bar{a}z}) \frac{\partial p_{tv}}{\partial x}$$

kur

$D_{tv,g}(T)$ - tvaika difūzija koeficients gaisā, m² / s

μ - tvaika difūzijas pretestības faktors (raksturo uz kanālu līkumainību un difūzijas šķērsgriezuma laukumu samazinājumu), -

$f(\theta_{g\bar{a}\bar{a}z})$ - gāzveida fāzes tilpuma daļas funkcija (daudzos gadījumos

$f(\theta_{g\bar{a}\bar{a}z}) = \theta_{g\bar{a}\bar{a}z}$), -

$\theta_{g\bar{a}\bar{a}z} = \theta_{por} - \theta_k$ - tilpuma daļa gāzes stāvoklī, m³ / m³

θ_{por} - materiāla porozitāte, m³ / m³

θ_k - tilpuma daļa šķidrā stāvoklī, m³ / m³

Mitruma avoti un noteces šeit pagaidām nav iekļauti.

5. Gaisa masas dinamikas aprēķins

Gaisa dinamikas aprakstam izmantoti sekojoši pieņēmumi:

- sauss gaiss sastāv no O_2 ; N_2 un citām mazsvarīgākām sastāvdaļām, izņemot GOS un H_2O (ūdens tvaiku);
- gāzveida fāze satur sausu gaisu, ūdens tvaikus un GOS;
- gāzes stāvoklī konvektīvā plūsma ir jāapskata atsevišķi no siltuma, mitruma un piesārņojuma pārnese, t. i., siltuma, mitruma un piesārņojuma izplatīšanās procesi neietekmē gaisa plūsmu;
- tika apskatīta tikai lamināra gāzes plūsma;
- kustības kinētiskā enerģija ir niecīga;
- sausam gaisam var lietot mitra gaisa gāzes konstanti.

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho_v^m = \frac{\partial}{\partial x} [j_{konv}^m] + \sigma_v^m$$

kur

ρ_v^m - gaisa masas blīvums kontroltilpumā, kg / m^3

j_{konv}^m - konvektīvās gaisa masas plūsmas blīvums, $kg / m^2 s$

σ_v^m - gaisa avotu/noteču intensitāte kontroltilpumā, $kg / m^3 s$

6. Konvektīvās gaisa masas plūsmas aprēķins

$$j_{konv}^m = c_{g\dot{a}\dot{a}z}^m j_{konv}^{g\dot{a}\dot{a}z}$$

kur

$$c_{g\dot{a}\dot{a}z}^m = \frac{p_g}{p_g + p_{tv}} \cdot \frac{R_g}{R_{tv}} - \text{gaisa masas koncentrācija gāzveida stāvoklī, } kg / kg$$

$$j_{konv}^{g\dot{a}\dot{a}z} = -K_{g\dot{a}\dot{a}z} \left[\frac{\partial p_{g\dot{a}\dot{a}z}}{\partial x} + \rho_{g\dot{a}\dot{a}z} g \right] - \text{konvektīvās plūsma gāzveida stāvoklī blīvums, } kg / m^2 s$$

$K_{g\dot{a}\dot{a}z}$ - gāzes caurlaidība materiālam, s

$p_{g\dot{a}\dot{a}z} = p_g + p_{tv}$ - gāzes spiediens, Pa

$$\rho_{g\dot{a}\dot{a}z} = \frac{p_{g\dot{a}\dot{a}z}}{R_g T} - \text{raksturīgais blīvums gāzveida stāvoklī, } kg / kg$$

Gaisa avoti un noteces pagaidām nav implementēti.

7. GOS masas dinamikas aprēķins

GOS dinamikas aprakstam izmantoti šādi pamatpieņēmumi:

- GOS adsorbcija notiek vienlaicīgi ar ūdens adsorbciju - ūdens vienmēr ir klāt, un tiek pieņemts, ka šī GOS adsorbcija ir maisījums, kuru saucim par GOS – ūdens adsorbciju;
- Pastāv termodinamiskais GOS līdzsvars (temperatūra, spiediens, ķīmiskais potenciāls) starp gāzes stāvokli un izšķīdinātu/adsorbētu stāvokli;
- gāzes fāzes GOS difūziju var uzskatīt par difūzijas procesu, ko var aprakstīt ar Fika sakarībām. Tas ietver efūziju (noplūšanu) mikroporās;
- izkļiedējošās GOS masas plūsmas ir niecīgas;
- nenotiek ķīmiskas reakcijas.

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho_v^m \text{GOS}, j+g \ddot{a}z = \frac{\partial}{\partial x} \left[j_{konv}^m \text{GOS}, j + j_{konv}^m \text{GOS}, g \ddot{a}z + j_{dif}^m \text{GOS}, g \ddot{a}z \right] + \sigma_v^m \text{GOS}, j+g \ddot{a}z$$

$\rho_v^m \text{GOS}, j+g \ddot{a}z$	- GOS (ūdens + tvaika) blīvums atskaites tilpumā, kg / m^3
$j_{konv}^m \text{GOS}, j$	- konvektīvās (izšķīdināta/adsorbēta) GOS plūsmas blīvums, $kg / m^2 s$
$j_{konv}^m \text{GOS}, g \ddot{a}z$	- konvektīvās GOS plūsma gāzveida stāvoklī blīvums, $kg / m^2 s$
$j_{dif}^m \text{GOS}, g \ddot{a}z$	- GOS difūzijas plūsmas blīvums, $kg / m^2 s$
$\sigma_v^m \text{GOS}, j+g \ddot{a}z$	- GOS avotu/noteču intensitāte atskaites tilpumā, $kg / m^3 s$

8. Konvektīvās (izšķīdināta/adsorbēta) GOS plūsmas aprēķins

$$j_{konv}^m \text{GOS}, j = c_k^m \text{GOS} j_k^m$$

kur

$$c_k^m \text{GOS} = \frac{\rho_k^m \text{GOS}}{\rho_k} - \text{GOS masas koncentrācija šķidrā stāvoklī, } kg / m^3$$

Vienmēr tiek pieņemts, ka GOS – ūdens maisījums (ar atšķirīgu koncentrāciju) raksturo konvektīvo (izšķīdinātu/adsorbētu) GOS plūsmu. Šķidrā stāvokļa vadītspēja tiek aprēķināta ievērojot viskozitātes atkarību no koncentrācijas un temperatūras.

9. Konvektīvās GOS plūsma gāzveida stāvoklī aprēķins

$$j_{konv}^m \text{GOS}, g \ddot{a}z = c_{g \ddot{a}z}^m \text{GOS} j_{konv}^m g \ddot{a}z$$

kur

$$c_{g \ddot{a}z}^m \text{GOS} = \frac{\rho_{g \ddot{a}z}^m \text{GOS}}{\rho_{g \ddot{a}z}} - \text{GOS masas koncentrācija gāzveida stāvoklī, } kg / m^3$$

10. GOS difūzijas plūsmas bīvuma gāzveida stāvoklī aprēķins

$$j_{dif}^{m_{GOS}, gāz} = - \frac{D_{GOS}^g(T)}{\mu_{GOS} R_{GOS} T} f\left(\theta_{gāz}\right) \frac{\partial p_{GOS}}{\partial x}$$

kur

$D_{GOS}^g(T)$ - GOS difūzijas koeficients gaisā, m^2 / s

$\mu_{GOS} = \mu \cdot k_{GOS}$ - GOS difūzijas pretestība (μ ievēro uz likumainību un difūzijas šķēsgriezuma laukumu samazinājumu), -

k_{GOS} - korekcijas koeficients, kas jānosaka materiāla un GOS kombinācijai

$f\left(\theta_{gāz}\right)$ - tilpuma daļas funkcija gāzveida stāvoklī (vairākos gadījumos

$f\left(\theta_{gāz}\right) = \theta_{gāz}$), -

p_{GOS} - GOS spiediens gāzveida stāvoklī, Pa

GOS avoti un noteces pagaidām nav iekļauti.

11. Enerģijas bilances aprēķins

Tiek pieņemts, ka pastāv temperatūras līdzsvars visos stāvokļos un ka atšķirību starp iekšējo enerģiju U un entalpiju H var neņemt vērā.

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho_V^U = \frac{\partial}{\partial x} \left[j_{dif}^Q + u_k j_{konv}^{m_1} + u_{gāz} j_{konv}^{m_{gāz}} + h_{tv} j_{dif}^{m_{tv}} + h_{GOS, gāz} j_{dif}^{m_{GOS, gāz}} \right] + \sigma_V^U$$

kur

ρ_V^U - iekšējās enerģijas blīvums kontroltilpumā, J / m^3

j_{dif}^Q - siltuma plūsmas blīvums, W / m^2

σ_V^U - enerģijas avotu/noteču jauda kontroltilpumā, W / m^3

12. Siltuma plūsmas blīvuma aprēķins

$$j_{dif}^Q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}$$

kur

λ - materiāla siltuma vadītspēja, W / mK

T - temperatūra, K

13. Kopējās iekšējās enerģijas blīvuma aprēķins

$$\rho_V^U = \rho_s \theta_s u_s + \rho_k \theta_k u_k + \rho_{gāz} \theta_{gāz} u_{gāz}$$

Īpatnējās iekšējās enerģijas izteiksmes cietam materiālam:

$\rho_s \theta_s = \rho_m$ - tīrā materiāla blīvums, kg / m^3

$$u_s(T) = c_{T,m} \cdot (T - T_0) - \text{materiāla īpatnējā iekšējā enerģija, } J / kg$$

$$c_{T,m} - \text{materiāla īpatnējā siltumietilpība, } J / kgK$$

Īpatnējās iekšējās enerģijas izteiksmes šķidram stāvoklim:

$$u_k(T) = c_k^{m_a} u_{\bar{a}}(T) + c_k^{m_{GOS}} u_{GOS,k}(T) - \text{īpatnējā iekšējā enerģija šķidram stāvoklim, } J / kg$$

$$u_{\bar{a}}(T) = c_{T,\bar{a}} \cdot (T - T_0) - \text{īpatnējā iekšējā enerģija ūdenim, } J / kg$$

$$c_{T,\bar{a}} - \text{īpatnējā siltuma ietilpība šķidram stāvoklim, } J / kgK$$

$$u_{GOS,k}(T) = c_{T,GOS,k} \cdot (T - T_0) - GOS \text{ īpatnējā iekšējā enerģija, } J / kg$$

$$c_{T,GOS,k} - GOS \text{ īpatnējā siltuma jauda, } J / kgK$$

Īpatnējās iekšējās enerģijas izteiksmes gāzes stāvoklim:

$$u_{g\bar{a}\bar{z}}(T) = c_{g\bar{a}\bar{z}}^{m_{iv}} h_{iv}(T) + c_{g\bar{a}\bar{z}}^{m_g} u_g(T) + c_{g\bar{a}\bar{z}}^{m_{GOS}} h_{GOS,g\bar{a}\bar{z}}(T) - \text{īpatnējā iekšējā enerģija gāzveida stāvoklim, } J / kg$$

$$h_{iv}(T) = c_{T,iv} \cdot (T - T_0) + h_{iv}^{etv}(T_0) - \text{tvaika īpatnējā entalpija, } J / kg$$

$$c_{T,iv} - \text{ūdens īpatnējā siltuma ietilpība, } J / kgK$$

$$h_{iv}^{etv}(T_0) - \text{ūdens tvaika īpatnējā iztvaikošanas entalpija, } J / kg$$

$$u_g(T) = c_{T,g} \cdot (T - T_0) - \text{sausa gaisa īpatnējā iekšējā enerģija, } J / kg$$

$$c_{T,g} - \text{sausa gaisa īpatnējā siltuma ietilpība, } J / kgK$$

$$h_{GOS,g\bar{a}\bar{z}}(T) = c_{T,GOS,g\bar{a}\bar{z}} \cdot (T - T_0) + h_{GOS,g\bar{a}\bar{z}}^{etv}(T_0) - \text{gāzveida GOS īpatnējā entalpija, } J / kg$$

$$c_{T,GOS,g\bar{a}\bar{z}} - \text{gāzveida GOS īpatnējā siltuma ietilpība, } J / kgK$$