



Épületfizika:

Hő és páratechnikai tervezés alapjai

2020. Április 20.

Dr. Bakonyi Dániel

okl. építésmérnök, tudományos munkatárs
BME Épületszerkezteti Tanszék

A nedves levegő tulajdonságai (ideális gázok)

Állapotjellemzők: T, P, V, m

T – [K] hőmérséklet

P – [Pa] nyomás

V – [m³] térfogat

m – [kg] tömeg

Egyesített gáztörvény: $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$

n – [mol] anyagmennyiség

$$P \cdot V = m \cdot R_s \cdot T$$

R – [J/molK] egyetemes
gázállandó

$$R = 8314 \text{ [J/molK]}$$

R_s – [J/kgK] specifikus
gázállandó

	M [g/mol]	Rs [J/kgK]
Száraz levegő	23.97	287
vízgőz	18.01534	461.5

Levegő sűrűsége: $\frac{m}{V} = \rho = \frac{P}{R_s \cdot T}$

ρ – [kg/m³] sűrűség



A nedves levegő tulajdonságai

Levegő összetevői (épületfizikailag) : száraz levegő + vízgőz + ...

Dalton törvénye

- egymással kémiaiilag nem reagáló gázok úgy töltik ki a teret mintha a többi komponens nem lenne jelen
- az össznyomás a parciális nyomások összege

$$P_{tot} = p_{da} + p_v$$

p_{da} – [Pa] száraz levegő parciális nyomása

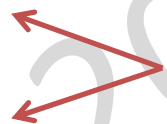
p_v – [Pa] vízgőz parciális nyomása

A víz több halmazállapotban is jelen van az épületeinkben

légnemű (vígőz)

folyékony (víz)

...



Egyensúly az egyes fázisok között



A levegő max. nedvességtartalma korlátozott! $w_{max} = f(P, T)$



A nedves levegő tulajdonságai

Telítési párányomás (közelítő képlet):

$$P_{v,sat} = a \left(b + \frac{\theta}{100^\circ C} \right)$$

$P_{v,sat}$ – [Pa] telítési párányomása

θ – [°C] léghőmérséklet

$0^\circ C < \theta < 30^\circ C$	$-20^\circ C < \theta < 0^\circ C$
$a = 288.68$	$a = 4.689$
$b = 1.098$	$b = 1.486$
$n = 8.02$	$n = 12.3$

Max. nedvességtartalom:

$$\frac{m_{v,max}}{V} = w_{max} = \frac{P_{v,sat}}{R_v \cdot T}$$

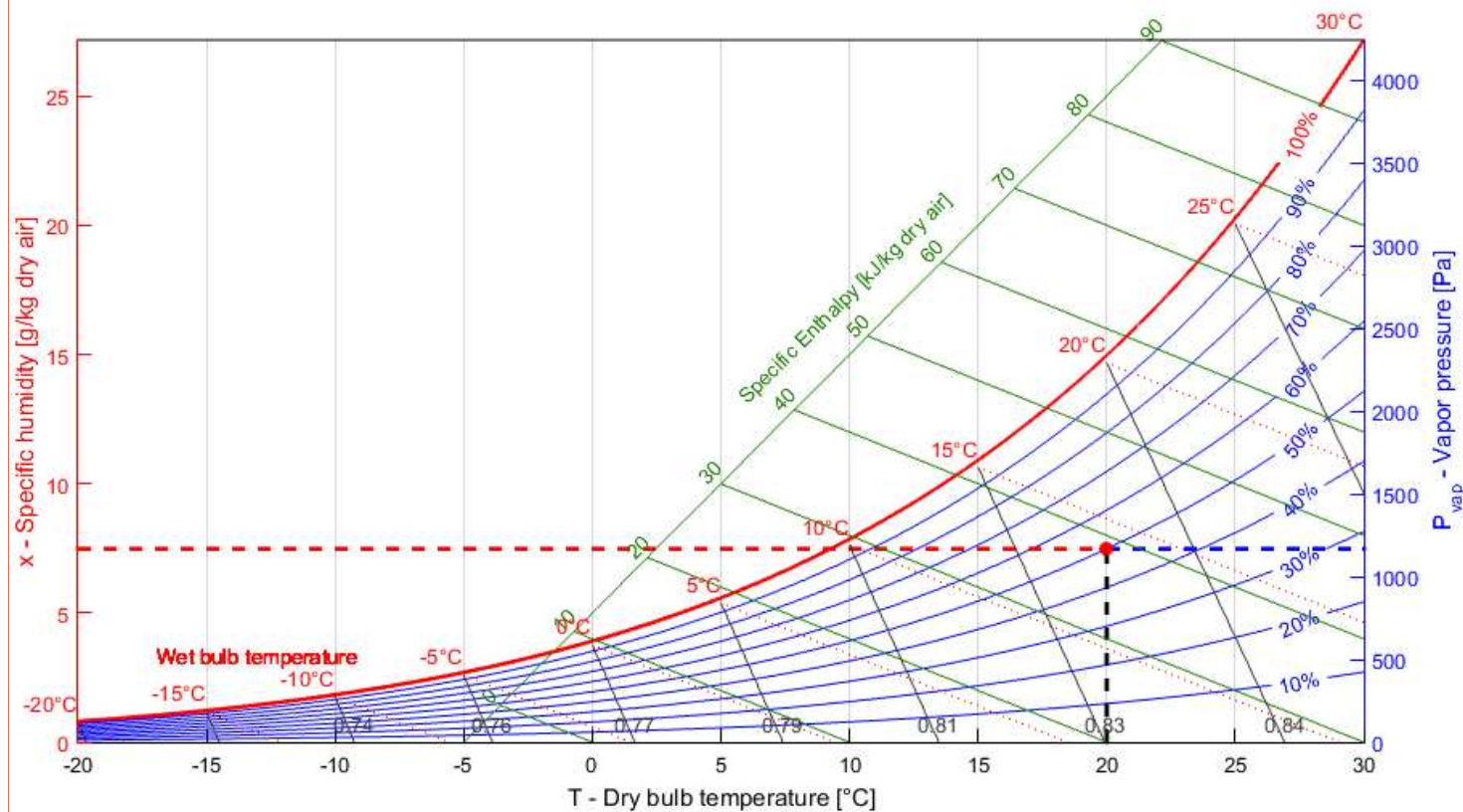
Relatív nedvességtartalom:

$$\varphi = \frac{P_v}{P_{v,sat}} = \frac{w}{w_{max}}$$

Harmatpont (empirikus képlet):

$$\theta_{dp} = \varphi \cdot (112 + 0.9 \cdot \theta) + 0.1 \cdot \theta - 112$$

Mollier diagram



Internal Air	
ϕ [-]	0.5
teta [°C]	20
Update	
psat [Pa]	2336.9511
pvap [Pa]	1168.4756
cv [g/m³]	8.6369
x [g/kg dry air]	7.2566
rho_moist-air [kg/m³]	1.1991
rho_dry-air [kg/m³]	1.2043
enthalpy [kJ/kg]	38.4836
wet bulb temperature [°C]	13.6993
dew point temperature [°C]	9.2105

A páratechnikai tervezés feladatai

Belső felületi állagvédelem (tételhatároló szerkezetek, hőhidak)

Fejlődő nedvesség elszállítása (szellőzés)

Nedvességtranszport a szerkezeteken keresztül (rétegrendek, csomópontok)

Belső felületi állagvédelem

- 1) Fém és üvegfelületeken a lecsapódás (harmatpont) elkerülése
- 2) Porózus szerkezeteken a penészesedés elkerülése

A penészesedés feltételei:

- penészpóra
- tápanyag
- **megfelelő felület (pl. kémhatás)**
- **megfelelő hőmérséklet**
- **megfelelő nedvességtartalom viszonyok**

Legegyszerűbb módszerek:

- saját léptékben vett hőmérséklet határérték:
- maximális relatív páratartalom határérték:
- penészesedés modellek ...

$$f_{Rs,i} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \leq 0.7$$

$$RH < 75\%$$

Egyszerű felületi állagvédelmi ellenőrzés menete

- 1) Adott szerkezeti megoldás
- 2) Adott méretezési állapot meghatározása:

$$\theta_i = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}, \quad \theta_e = -5 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

- 3) Tervezési segédlet vagy hőhídszimuláció -> legalacsonyabb belső felületi hőm.
(segédlet / tutorial a tanszéki honlapon!)
- 4) Telítési páratartalom számítása a leghidegebb ponton (a hőhídon)

$$P_{v,sat, hh} = f(\theta_{min})$$

- 5) Megengedett legnagyobb relatív páratartalom meghatározása (a hőhídon)

$$\varphi_{hh, max} = 0.7 \text{ [-]}$$

- 6) Megengedett legnagyobb parciális párányomás számítása

$$\varphi_{hh, max} = P_{v, max} / P_{v, sat, hh}$$

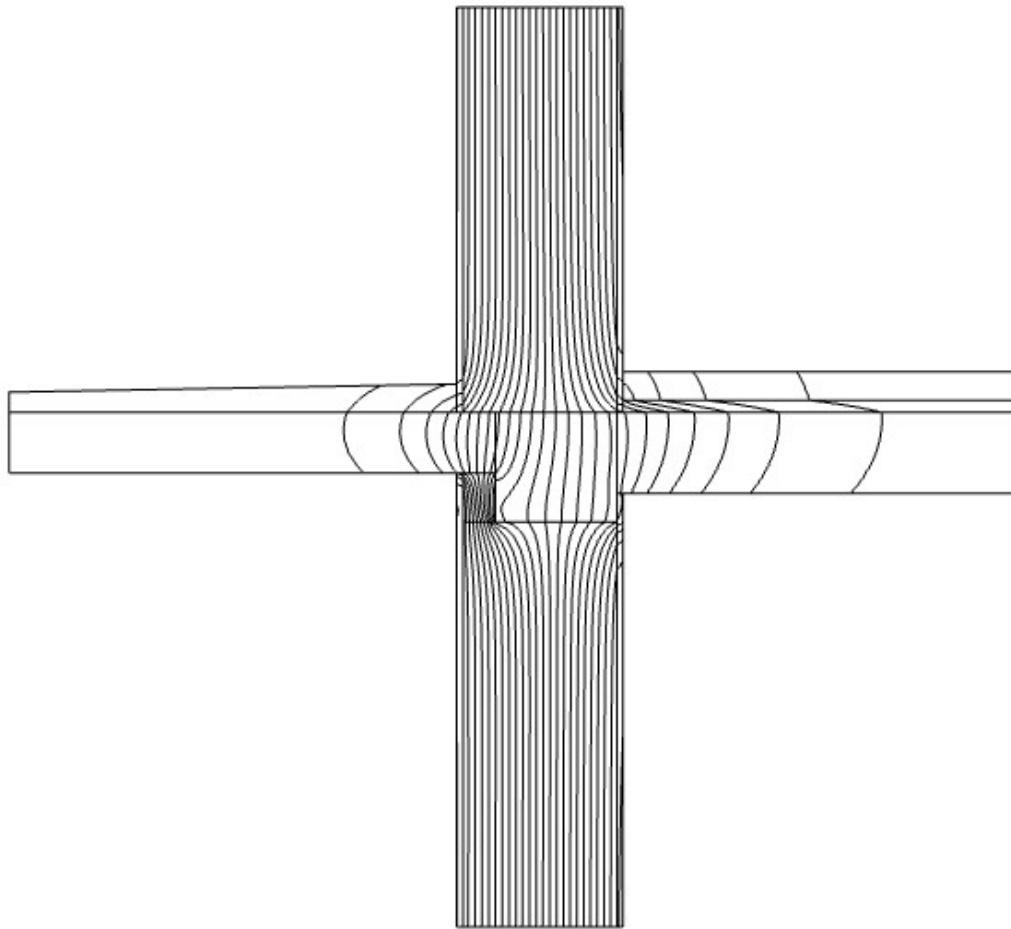
$$P_{v, max} = P_{v, sat, hh} * \varphi_{hh, max}$$

- 7) Maximális relatív páratartalom a levegőben

$$\varphi_{i, max} = P_{v, max} / P_{v, sat}$$



Egyszerű felületi állagvédelmi ellenőrzés menete



$$\theta_i = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\theta_e = -5 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\theta_{min} = 12.1 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$fR_{si} = 0.684 \text{ [-]}$$

A páratechnikai tervezés feladatai

Belső felületi állagvédelem (tételhatároló szerkezetek, hőhidak)

Fejlődő nedvesség elszállítása (szellőzés)

Nedvességtranszport a szerkezeteken keresztül (rétegrendek, csomópontok)



Egyszerű páramérleg számítás

- 1) Alapadatok (80 m²-es lakás, 4 fő, belmagasság 2.7 m)

$$V = 216 [m^3], \quad \theta_i = 20 [^{\circ}C], \quad \phi_i = 0.4 [-], \quad \theta_e = -5 [^{\circ}C], \quad \phi_e = 0.9 [-]$$

- 2) Belső nedvességfejlődés meghatározása:

$$G = 4 * 0.05 + 0.2 + 10 * 0.01 = 0.5 [kg/h] \quad (4 \text{ alvó ember, száradó ruhák, 10 növény})$$

- 3) Külső és belső levegő nedvességtartalmának meghatározása

$$w_{i} = 6.9095 [g/m^3]$$

$$w_{e} = 2.9177 [g/m^3]$$

- 4) Egységnyi térfogatú szellőzési levegővel elszállítható nedvesség:

$$\Delta w = w_{i} - w_{e} [g/m^3]$$

- 5) Szükséges légcsereszám a meghatározott max. rel. nedvességtartalom tartásához

$$G = ACH * V * \Delta w$$

$$[kg/h] \quad [1/h] \quad [m^3] \quad [kg/m^3]$$



Egyszerű páramérleg számítás – számítási adatok

Havi átlag külső léghőmérséklet és páratartalom:

hónap	$\theta_{e,d}$ [°C]	$\varphi_{e,d}$ [-]	p_e [Pa]
január	-1,9	0,820	436
február	0,5	0,772	488
március	5,8	0,648	597
április	11,6	0,595	812
május	18,0	0,634	1310
június	20,0	0,625	1462
július	22,0	0,602	1589
augusztus	21,2	0,608	1532
szeptember	15,8	0,680	1215
október	9,2	0,766	890
november	4,7	0,816	695
december	-0,5	0,829	487



Egyszerű páramérleg számítás – számítási adatok

Nedvességfejlődés:

A forrás megnevezése	A nedvességterhelés
Emberek nedvességleadása, g/h, fő	
kis	50
közepes	150
nagy	250
intenzitású tevékenység mellett	
tus, g/h	2500
cserepes szobanövény, g/h, db	5–15
szabad vízfelszín g/m ² h	40
egy adag (4,5 kg) száradó ruha, g/h	
centrifugálva	50–200
centrifugálás nélkül	100–500

A páratechnikai tervezés feladatai

Belső felületi állagvédelem (térelhatároló szerkezetek, hőhidak)

Fejlődő nedvesség elszállítása (szellőzés)

Nedvességtranszport a szerkezeteken keresztül (rétegrendek, csomópontok)

Nedvességtranszport a szerkezeteken keresztül

Nedvességtranszport mechanizmusai:

Gáz fázis (pára):

- páradiffúzió
- molekuláris diffúzió
- oldódásos diffúzió
- konvekció

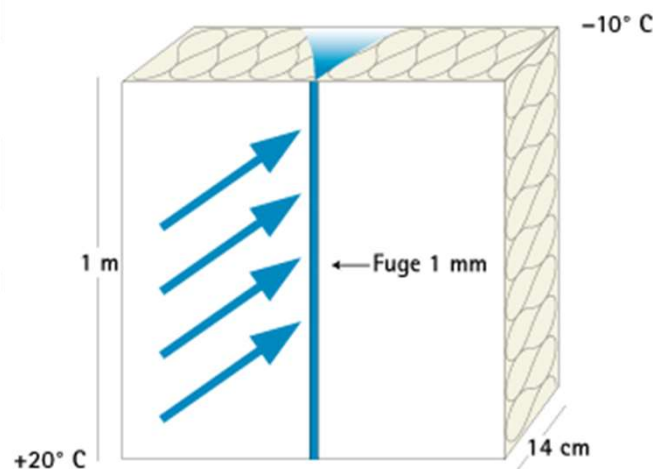
Rétegrendi tervezés

(pl. páravándorlás irányában csökkenő páradiffúziós ellenállás)

Légzáróság!

Folyékony fázis (víz):

- kapilláris nedvességvezetés
- felületi diffúzió
- gravitációs áramlás
- hidraulikus áramlás
- elektrokinézis
- ozmózis

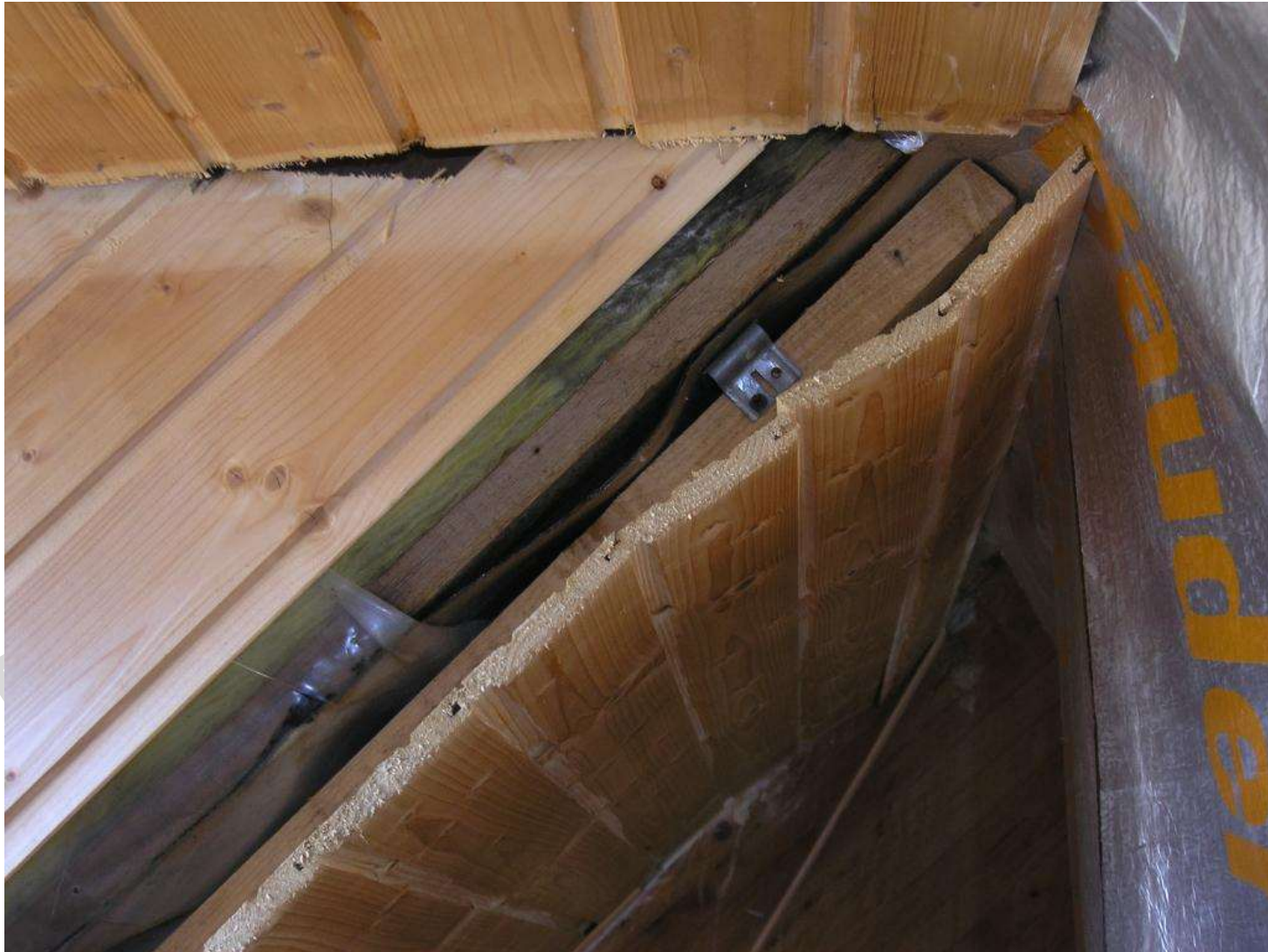


extrém példa (1mm rés, 1m, $dP=20$ [Pa])

páradiffúzió ($s_d=30$ [m]): $0.5 \text{ g/m}^2 \text{ 24h}$

konvektív nedvességáram: $800 \text{ g/m}^2 \text{ 24h}$

Nedvességtranszport a szerkezeteken keresztül



Hűtőházak



Hűtőházak speciális problémái

Igénybevételek:

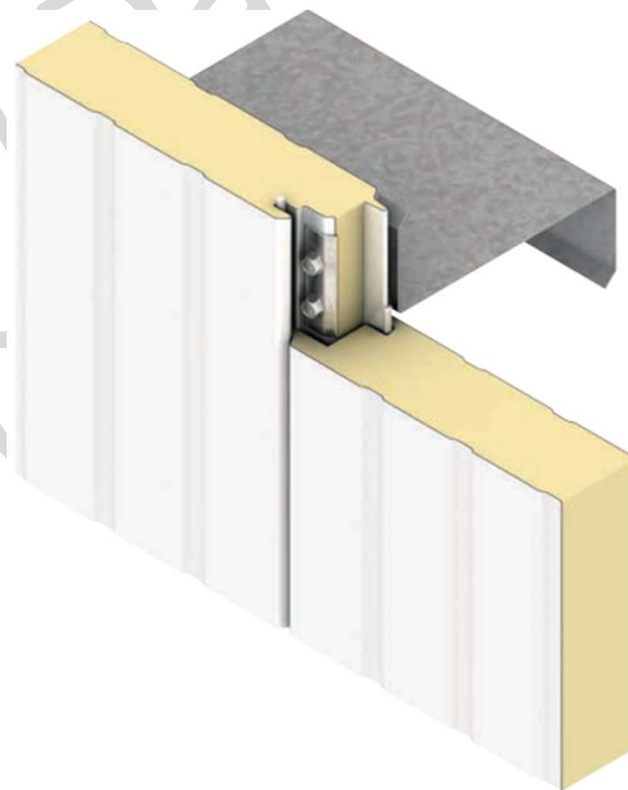
- csapadék
- hőmérsékletváltozás
- szél, hó
- ...
- **belső hideg (vagy fagyhatás)**
- **a szokásostól eltérő irányú páradiffúzió**

Követelmények:

- csapadékbiztonság
- szél- és hóteher állóság
- tartósság
- vagyonvédelem
- ...
- **hővesztesség ill. hőnyereség korlátozása**
- **fokozott légzárás**
- **páratömörség**
- **kondenzáció mentesség**
- **fagykárok elkerülése**

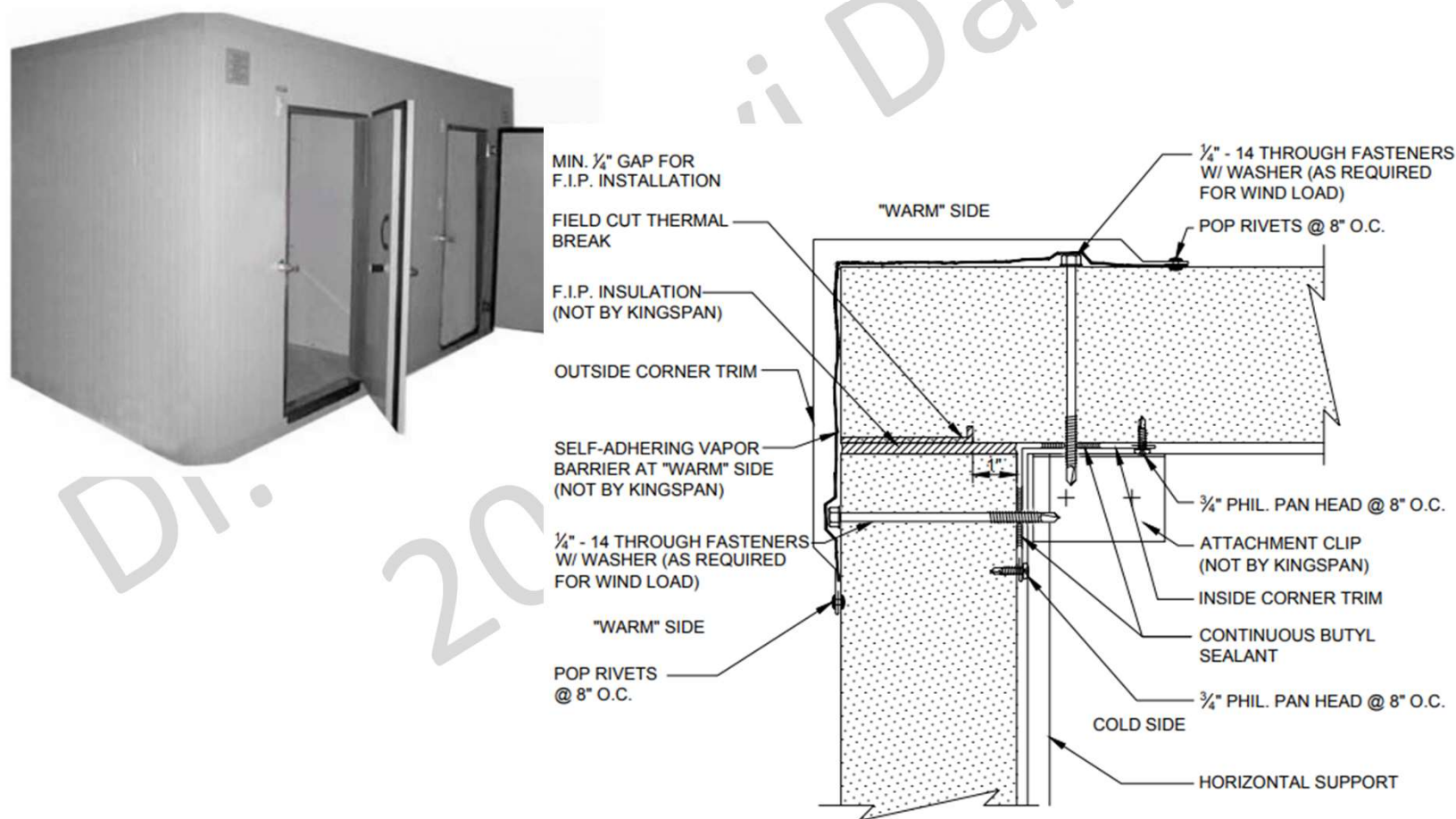


Hűtőházak szerkezeti megoldásai



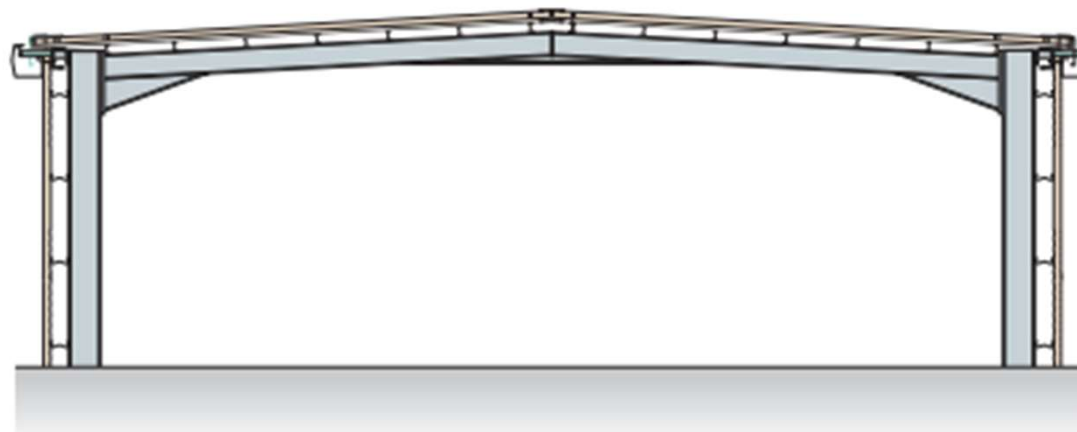
Hűtőházak szerkezeti megoldásai

Nagyobb épületen belüli kisméretű hűtőkamrák



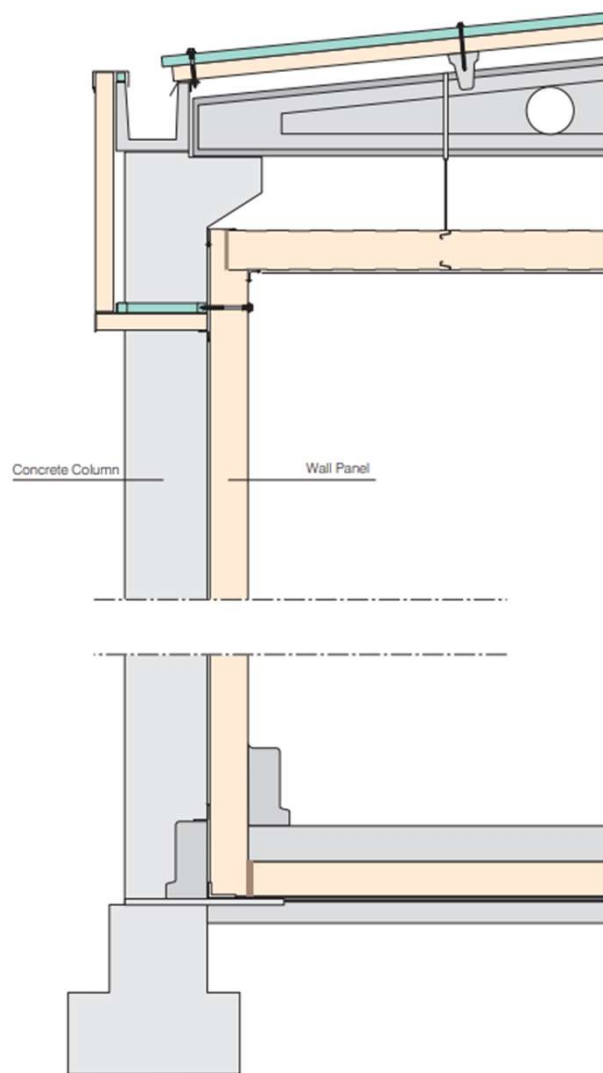
Hűtőházak szerkezeti megoldásai

Egyhéjú szerkezet



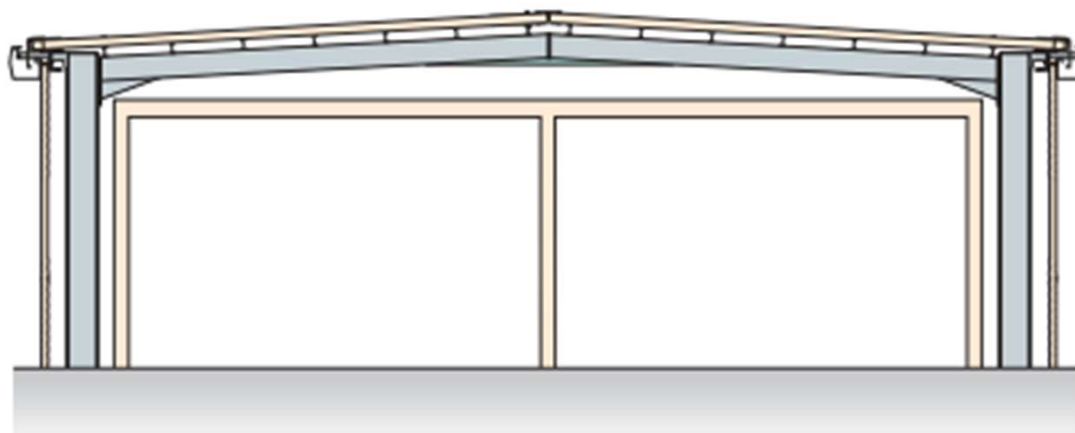
Hűtőházak szerkezeti megoldásai

Külső tartószerkezet



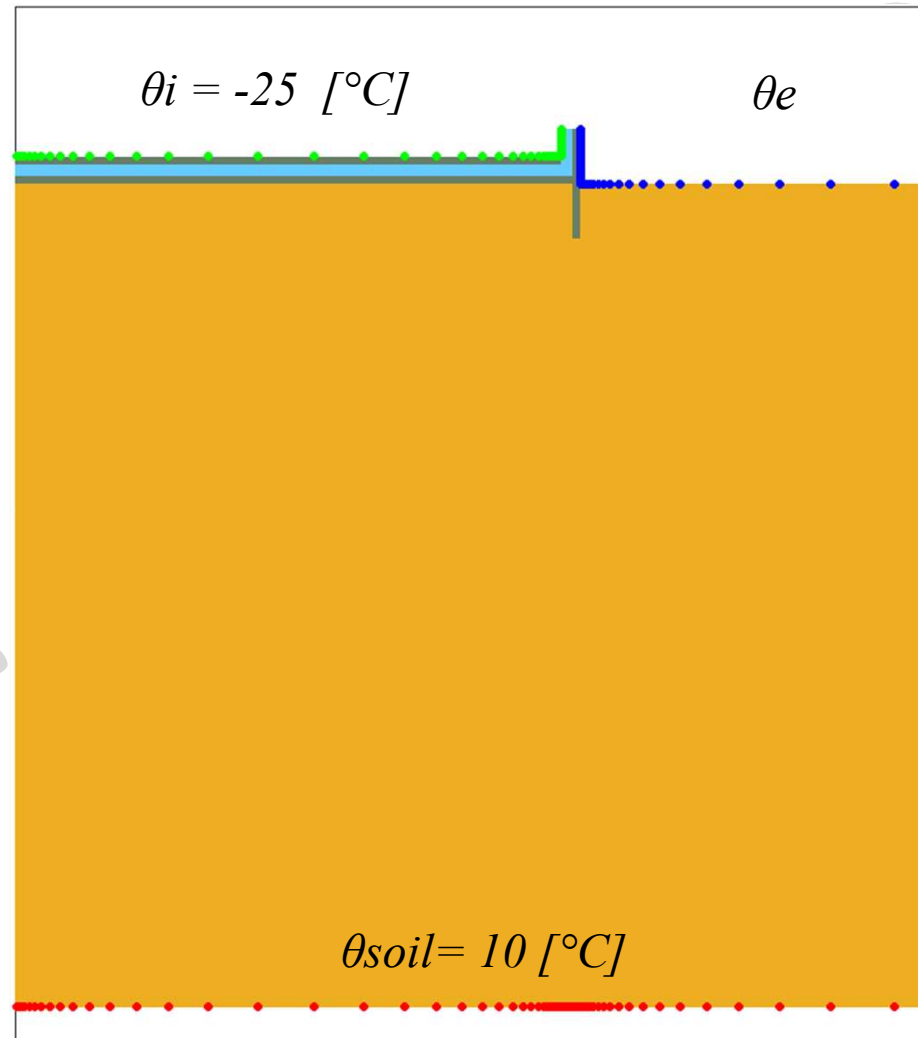
Hűtőházak szerkezeti megoldásai

Teljesen kéthéjús – átszellőztetett fal és tető



Hűtőházak szerkezeti megoldásai

Mélyhűtött ($<0^{\circ}\text{C}$) terek padlószervezete



A páratechnikai tervezés feladatai

Mélyhűtött (<0°C) terek padlószervezete

Fém fegyverzetű hűtőházi szendvicspanel

MANIPULÁCIÓS TÉR

Műgyanta
padlóburkolat

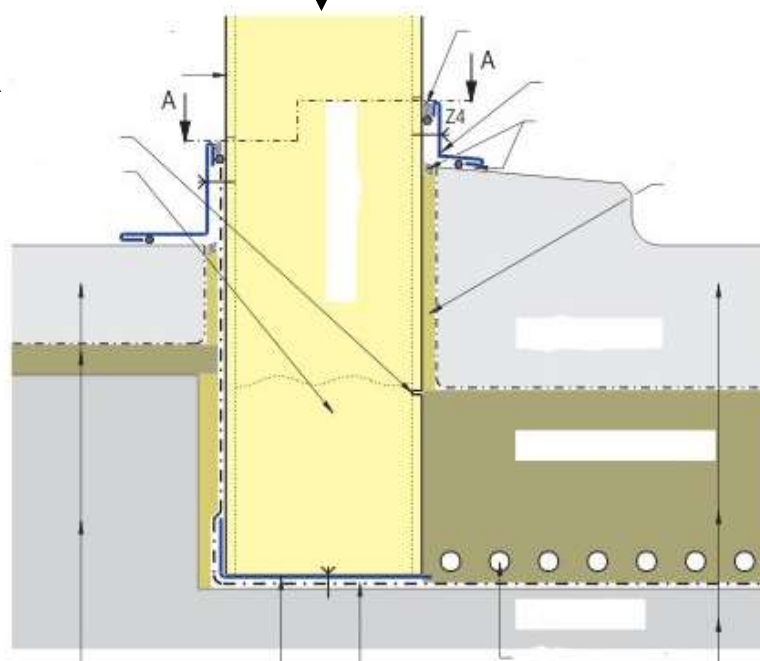
Vasaltbeton
padlólemez

Nagy teherbírású
hőszigetelő hab

Talajpára/ talajnedv.
elleni szigetelés

Aljzatbeton

Zúzottkő alépítmény



FAGYASZTÓ KAMRA

Műgyanta padlóburkolat

Vasaltbeton padlólemez

PE fólia technológiai szigetelés

Nagy teherbírású hőszigetelő hab

Fagymentesítő fűtés

Talajpára/ talajnedvesség elleni
szigetelés

Aljzatbeton

Zúzottkő alépítmény

Épületenergetika – 2020. 04. 20.