

Handa, Péter: Comfort that can be hazardous (Komfort, ami árthat)

COMFORT THAT CAN BE VALUED

Metszet, Vol 12, No 6 (2021), pp 94-99,

<https://doi.org/10.33268/Met.2021.6.13>

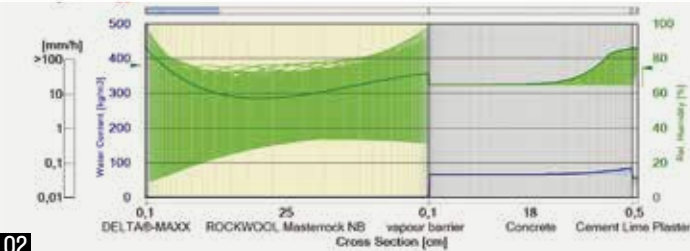
Accepted: 28 October 2021

Published: 23 November 2021

Affiliation: BME Budapest University of Technology

Abstract: Surface cooling of roof structures

In many cases, the detailed examination of the building structure consequences regarding surface cooling systems to the building external structures is not undertaken during the design. However, due to the special stresses resulting from cooling, the conformity of a given structures can only be verified by building physics modelling. The short application time and the little practical experience do not yet allow the formulation of general rules of procedure, but a more detailed modelling of the topic could prevent the formation of building damage due to faulty methods of construction.



02

- 01 Monolit vasbeton szerkezet vizsgálati diagramja június 1-től augusztus 31-ig 72,5 W hűtési teljesítménnyel (WUFI programmal)
- 02 Könnyűszerkezetes tető vizsgálati diagramja június 1-től augusztus 31-ig 72,5 W hűtési teljesítménnyel (WUFI programmal)
- 03 Monolit vasbeton szerkezet vizsgálati diagramja június 1-től augusztus 31-ig 15 W hűtési teljesítménnyel (WUFI programmal)
- 04 Monolit vasbeton szerkezet belső felület idő-hőmérséklet/páratartalom diagramja június 1-től augusztus 31-ig 15 W hűtési teljesítménnyel (WUFI programmal)
- 05 Monolit vasbeton szerkezet belső felületének hőmérséklet-páratartalom diagramja június 1-től augusztus 31-ig 15 W hűtési teljesítménnyel (WUFI programmal)

## KOMFORT, AMI ÁRTHAT

### MAGASTETŐS SZERKEZETEK FELÜLETHŰTÉSÉNEK ÉPÜLETFIZIKAI VIZSGÁLATA

SZERZŐ | AUTHOR  
Handa Péter

#### A FELÜLETHŰTÉS MŰSZAKI SZEREPE

—A nagyobb hatásfokú, ugyanakkor alacsonyabb előre menő fűtési hőmérsékletet előállító korszerű fűtőberendezések esetén a hagyományos fűtőtestek felületénél jóval nagyobb hőleadó felületekre van szükség. Ennek következtében egyre inkább előtérbe kerül a padló-, fali vagy mennyezeti hőleadás alkalmazása a lakóingatlanok esetében. A felületfűtések a nagy hőleadó felületeknek köszönhetően az alacsony fűtési hőfoklépcső kiszolgálásán túl felhasználhatóak a hasonlóan alacsony hőfoklépcsővel dolgozó felülethűtésekhez.

—Hőszivattyúk alkalmazása mellett magától értetődő a felületi hőleadó rendszerek használata felülethűtési feladatokra is. Mivel a padlóhűtés élettanilag kedvezőtlen, rossz hőérzetet biztosít, így jellemzően fal- és mennyezetfűtések,

illetve -hűtések készülnek. A fal-fűtések hátránya, hogy a felületek átalakítását lényegében lehetlenné teszi (az ingatlanok nem lesznek flexibilisen átalakíthatók, falak pozíciói később nem változtathatók könnyen), de még a falszerkezetekhez történő rögzítések is nehezen valósíthatók meg, mivel a fűtési rendszer sérülésének veszélye áll fenn.

—Mindezekből adódóan jelentős teret nyertek a mennyezetfűtési és -hűtési megoldások, amelyek akár a falszerkezetek áthelyezését is lehetővé teszik – bizonyos korlátozásokkal.

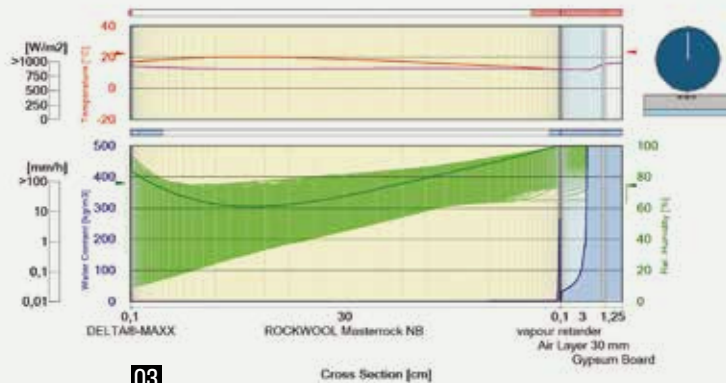
—A mennyezeti hőleadásnak több típusa, rendszere is elterjedt, és mára már megbízhatóan beépíthető. Ugyanakkor a magyar építési sajátosságok (homlokzat-, illetve építménymagasság korlátozása miatti tetőtér-beépítések kialakítások) következtében sok esetben

tetőtéri alkalmazásukra is sor kerül. Ilyenkor azonban nem a lapostető vagy a szintek közötti födém szerkezetbe kerül hűtés, hanem egy olyan ferde szerkezetbe, amely alapvetően nem erre az alkalmazásra lett kifejlesztve, illetve nincs erre az igénybevételre vizsgálva. Az épületgépész tervezők a legritkább esetben foglalkoznak ezen rendszerek épületszerkezetekre gyakorolt hatásaival.

—Jelen tanulmány célja, hogy megvizsgálja, mennyire valóságosak ezek a veszélyek, és milyen körülmények között kell a magastetős szerkezeteket felülethűtés alkalmazása esetén részletesebb vizsgálatnak alávetni.

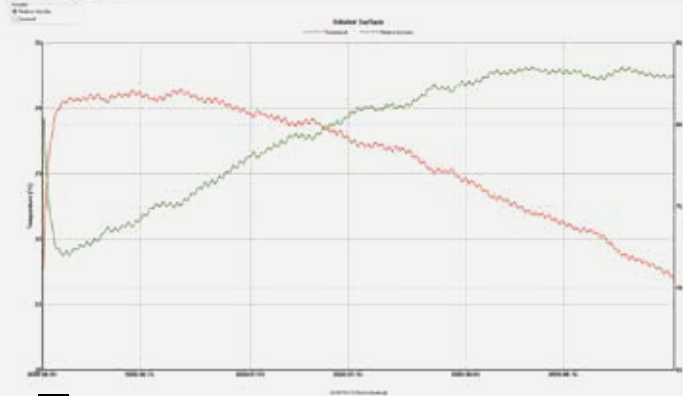
#### ÉPÜLETGÉPÉSZETI HÁTTÉR

—A felülethűtések esetén a magastetős szerkezet belső oldalán elhelyezkedő csőkiyóban áramoltatják a hűtőközeget (hideg vizet). A csöveket el lehet helyezni



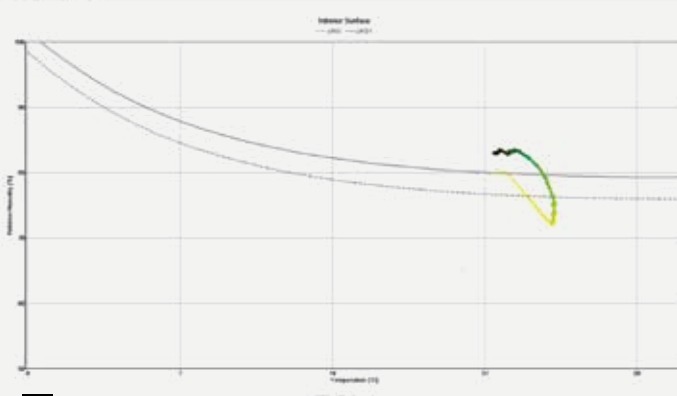
03

Case: Belső oldali páratartalom



04

Case: Belső oldali páratartalom



05

a szerkezetben, illetve a vakolatban (amennyiben vasbeton koporsó-födém készül), vagy könnyűszerkezetes tető esetén a belső oldali építőlemez burkolat külső oldalán kialakított előregyártott panelekben (tálcákban).

### A PROBLÉMA

—Határoló épületszerkezeteket jellemzően a téli légállapotokra, mint mértékadó igénybevételre méreteztük korábban. Ennek megfelelően a szerkezetek kialakítása úgy történt, hogy a párányomás a belső térben magasabb, a párávándorlás iránya a belső térből a külső tér felé történik. A nyári, fordított légállapot a fagyveszély hiányában általában nem volt kritikus. Ennek feleltethető meg a kifelé egyre kisebb páradiffúziós ellenállású anyagok használatának alapelve.

—A magastetős rétegrendek esetén jellemzően ez az elv belső oldalon kialakított párafékezést, illetve -zárást jelent, lehetőség szerint kis páradiffúziós ellenállású hőszigetelés és alacsony páradiffúziós ellenállású alátéthéjazat alkalmazásával.

—A hőszigetelés belső oldalán elhelyezett alacsony hőmérsékletű (a belső levegőnél jelentősen alacsonyabb hőmérsékletű) hűtés miatt

a szerkezetben lényegesen alacsonyabb hőmérséklet alakulhat ki a hűtés közelében, mint a belső felületi hőmérséklet. Ez a hőmérséklet akár a pára lecsapódásához, kondenzációhoz is vezethet a szerkezetben belül, mivel a nyári páradiffúziós vándorlás jellemzően kívülről befelé történik (különösen a belső tér hűtése esetén), a belső oldali párafékezés vagy -zárás pedig a pára feldúsulását is okozhatja a hűtés zónájában, ami az alacsonyabb hőmérséklettel együtt a relatív páratartalom fokozott megemelkedését okozza.

—Ugyanakkor a nyári fordított páradiffúziós vándorlás és a hőszigetelés belső oldalán kialakított párafékezés vagy -zárás miatt a kívülről érkező pára a fólia külső oldalán feldúsulhat. A kondenzáció a szálas, nagyon alacsony páradiffúziós ellenállású tulajdonságokkal rendelkező hőszigetelő anyagok esetében fokozottabban jelentkezhet, mivel szálaik között a pára akadálytalanul tud közlekedni, miközben kívülről befelé haladva a hőmérséklet a belső lég-hőmérséklet alá csökkenhet.

—A gépészeti rendszerek szabályozásával biztosított az, hogy a szerkezet belső felületén kondenzációból adódó probléma ne

jeljen meg, de ezen rendszerek a szerkezetek belsejében lévő állapotokat nem vizsgálják. A helyiség terében elhelyezett páratartalom-érzékelő szabályozza a felületi hűtésbe bejutó hűtőközeg mennyiségét, ezáltal a leadható maximális hűtési teljesítményt, belső hőfokot, így a relatív páratartalmat.

### A FELÜLETHŰTÉS VIZSGÁLATA

1.A felülethűtés gyártói alapadatai

—Az egyik gyártó az alábbiak szerint adja meg rendszerei teljesítményét hűtés esetén (az egyes rendszerek esetén ettől kisebb eltérések lehetnek, de ez elhanyagolható): kiinduló adat a hűtési állapot számításához 17 °C előremenő és 15 °C visszatérő hűtővíz-hőmérséklet, továbbá 26 °C belső helyiség-hőmérséklet mint elérni kívánt cél.

—Ebből adódóan (bármely rendszer esetén) a felülethűtés teljesítménye:

átlagos víz-hőmérséklet:

$(17\text{ °C} + 15\text{ °C})/2 = 16\text{ °C}$ ;

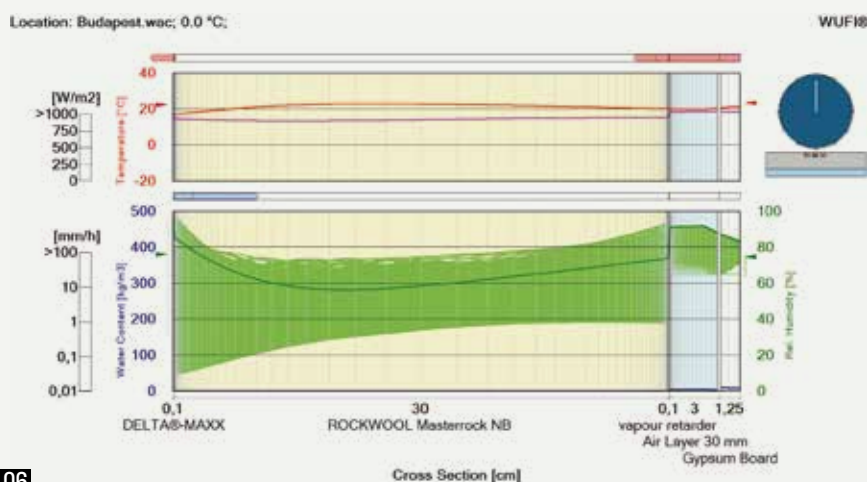
helyiség-hőmérséklet: 26 °C;

hőmérséklet-különbség: 10 °C;

fajlagos teljesítményérték diagramról: 72,5 W/m<sup>2</sup> hűtés.

—A fűtési állapot számításához 35 °C előremenő és 30 °C visszatérő hűtővíz-hőmérséklet, továbbá

- 06 Könnyűszerkezetes tető vizsgálati diagramja június 1-től augusztus 31-ig 72,5 W hűtési teljesítménnyel (WUFI programmal)



06

20 °C belső helyiség-hőmérséklet mint cél a kiinduló adat.

—Ebből adódóan (bármely rendszer esetén) a felületfűtés teljesítménye:

átlagos vízhőmérséklet:

$(35\text{ °C} + 30\text{ °C})/2 = 32,5\text{ °C}$ ;

helyiség-hőmérséklet: 20 °C;

hőmérséklet-különbség: 12,5 °C;

fajlagos teljesítményérték diagramról: 72,5 W/m<sup>2</sup> fűtés.

—A hűtési és fűtési hóforrás monolit vasbeton koporsófödém esetén a szerkezet belső felületétől 3 cm-es távolságra, míg könnyűszerkezetes rétegrend esetén a gipszkarton burkolat külső felületétől 1 cm-es távolságra feltételezett.

## 2. Alkalmazott vizsgálati módszer

—A két helyzetet a WUFI-Pro program 6,5 változatával modelleztem. A program paraméterbeállítása a következő pontban leírtak szerint történt.

## 3. A modellezés alapadatai

—A WUFI Guideline for WUFI Guideline for Hygrothermal Simulation of ventilated pitched roofs with effective transfer parameters irányelvei [1] alapján

a szerkezetet normálisan (közepesen) szellőztetett szerkezetnek tekintve (feltételezve, hogy az irányelveknek [1] megfelelő alsó beszellőzés és felső kiszellőzés a fedés alatti légrétegben biztosított)

- az alátéthéjazat külső síkján felvett külső oldali hóátadási tényező értéke  $\alpha_{k,e}=19\text{ [W/m}^2\text{K]}$ , a rövidhullámú sugárzás elnyelési tényezője  $a_e=0,53\text{ [-]}$  ( $a=0,77\text{ [-]}$ ) közepes hőelnyelési tényezőjű cserépfedés vizsgálata a mérvadó eresz közeli pozícióban:  $a_e=0,77 \times 0,69=0,53\text{ [-]}$ ),  
- a hosszuhullámú sugárzás elnyelési tényezője  $\epsilon=0,84\text{ [-]}$ .

A belső oldali hóátadási tényező  $\alpha_i=8\text{ [W/m}^2\text{K]}$ .

—A vizsgált felület irányultsága északnyugati, dőlésszöge 45°. Csapadékvíz-terhelés az átszellőztetett légréteg miatt nincs.

—A modellezés során a budapesti éves külső meteorológiai adatokat tartalmazó „Budapest.wac” klímafájlt, míg a belső hőmérsékletre (feltételezve a hűtő-fűtő rendszer pontos szabályozását) télen, december 3-án +20 °C és február 16-án 45% relatív belső páratartalom, illetve nyáron, június 3-án +26°C és augusztus 16-án 75% relatív belső

páratartalom között szinuszosan változó görbét alkalmaztam.

—A WUFI program adatbázisában szereplő anyagok adta lehetőségek miatt a vasbeton koporsófödém vizsgált rétegrendje a következő volt:

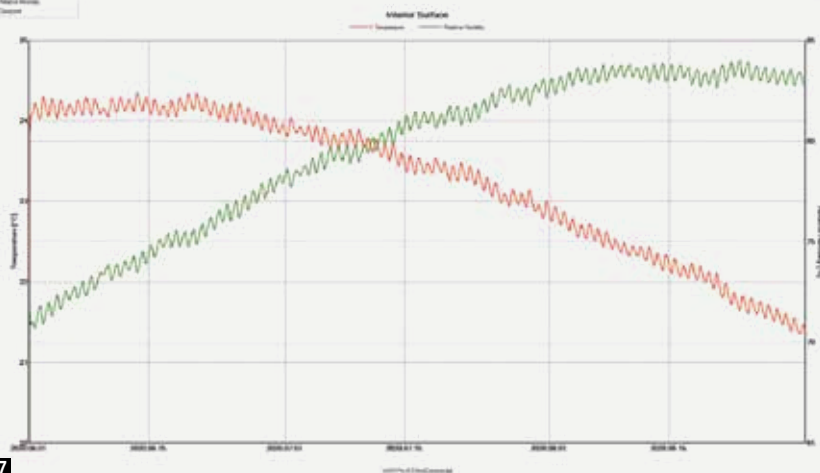
- 1 mm vastag Dörken Delta-Maxx alátéthéjazat
- 25 cm vastag Rockwool Masterrock NB hőszigetelés
- 1 mm vastag párazár ( $S_d=1500\text{m}$ )
- 18 cm vastag C35/45 beton
- 5 mm vastag cement-mész vakolat (A-érték: 1,0 kg/m<sup>2</sup>h<sup>0,5</sup>)

—A könnyűszerkezetes tető vizsgált rétegrendje:

- 1 mm vastag Dörken Delta-Maxx alátéthéjazat
- 30 cm vastag Rockwool Masterrock NB hőszigetelés
- 1 mm vastag párafékező réteg ( $S_d=100\text{m}$ )
- 3 cm vastag légréteg
- 12,5 mm vastag gipszkarton lemez

## 4. Előzetes vizsgálat

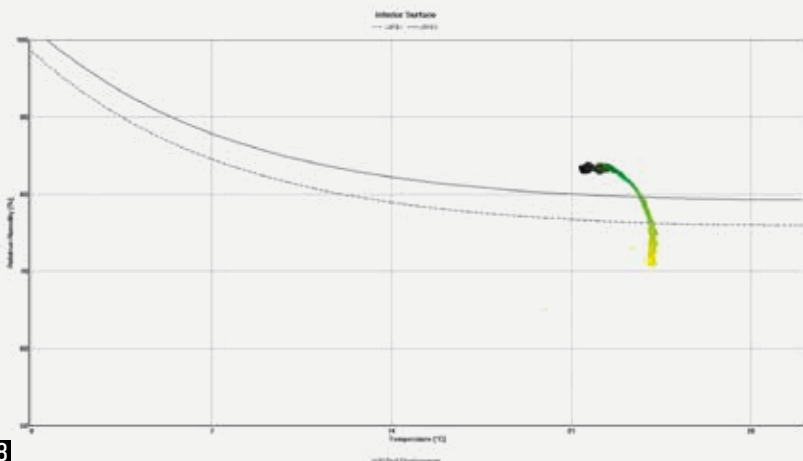
—Alkalmazva a hűtés maximális fajlagos teljesítményét a WUFI rétegtervi modelljeire, látható, hogy ez a belső felületen páralecsapódást okoz.



07

07 Könnyűszerkezetes tető belső felület idő-hőmérséklet/páratartalom diagramja június 1-től augusztus 31-ig 15 W hűtési teljesítménnyel (WUFI programmal)

08 Könnyűszerkezetes tető belső felületének hőmérséklet-páratartalom diagramja június 1-től augusztus 31-ig 15 W hűtési teljesítménnyel (WUFI programmal)



08

—A monolit vasbeton szerkezet vizsgálatánál látszik, hogy a maximális hűtési teljesítmény a párazáró rétegen belüli szerkezetek nedvességgel való telítését okozza, a vasbeton lemez nagyjából másfél hónap után telítődik, a belső felületen a kondenzáció állandó. A szerkezet túlhűl!

—A könnyűszerkezetes rétegrend esetén hasonló problémák látszanak, a belső felületen állandósul a kondenzáció.

—A modellezés során figyelembe kell venni, hogy a leadott hűtési teljesítménnyel nem alakulhat ki olyan állapot a szerkezetben, amikor a belső tér határoló szerkezetének belső oldalán a pára kicsapódhat. A gépészeti rendszerekben ezt páratartalom-mérők alkalmazásával szabályozzák, meghatározott belső páratartalom elérése esetén a felülethűtés automatikusan lekapcsolódik.

—Ennek a szabályozásnak a modellezése elég bonyolult lenne, erre az alkalmazott WUFI-Pro program közvetlenül nem alkalmas. Ugyanakkor a leadott teljesítmény ilyen pontos szabályozásának modellezésére nincs

szükség. Iterációval meghatározva azt a maximális hűtési teljesítményt, amely egy hűtési idény alatt nem okoz a belső felületen páralecsapódást, az idényre (közelítő számításban június 1-től augusztus 31-ig terjedő időszakokra) vonatkozó teljes leadott lehetséges maximális hűtési teljesítményt jól közelíti. Ez az a teljesítmény, amelyet a gépészeti szabályozás megenged.

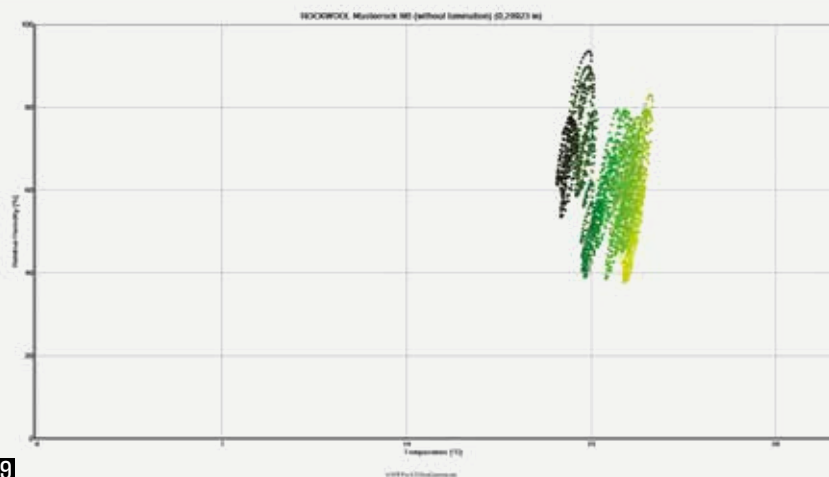
—Elvégezve a számításokat egy adott év június 1-től augusztus 31-ig terjedő időszakára, az iterációt 5 W/m-es értékekkel léptetve, a belső felületi páralecsapódási problémák elkerülésére mind a monolit vasbeton koporsófödém szerkezet, mind a könnyűszerkezetes rétegrend esetén 15 W/m<sup>2</sup> maximális leadható átlagos hűtési teljesítmény adódott.

—A monolit vasbeton koporsófödém szerkezet esetén kapott eredmények alapján látszik, hogy a belső felületi hőmérsékletet a modell szerint elsősorban a bejutatott hűtési energia határozza meg (a folyamatos hűtés a nagy tömegű vasbeton lemezt az idény végére jelentősen lehűtötte), a hőmérséklet folyamatosan csökken, míg a belső levegő hőmérséklete ezt nem követi.

—A belső felület állapota alapján a grafikon egy része a penészesedésnek kedvező feltételeket mutat, mivel az állapotjelzők mind a B I, mind a B II határgörbe feletti értékeket jeleznek. Ezt jelen vizsgálat során el tudjuk hanyagolni, mivel a belső felület idő-hőmérséklet és relatív páratartalom diagramján látszik, hogy a relatív páratartalom időbeni átlaga a B II határérték alatt marad. Ebből pedig az következik, hogy amennyiben a gépészeti vezérlés megfelelően működik, úgy ez a görbe „kisimítható”, a relatív páratartalom alacsonyabb szakaszán nagyobb, míg a relatív páratartalom magasabb szakaszán kisebb teljesítménnyel üzemelhet a felület-hűtés – ugyanakkor a hűtés átlagteljesítménye nagyjából a megadott értéknek megfelelő lesz.

—A hőszigetelés alsó síkján a hűtési időszak alatt könnyen kialakulhat kondenzáció. (Jelen alapadatok mellett kb. 94%-os relatív páratartalom adódott!) Kondenzáció esetén magastetőben a párazáró réteg tetején a kondenzátum lefolyhat, az a kapcsolódó falszerkezetet is nedvesítheti!

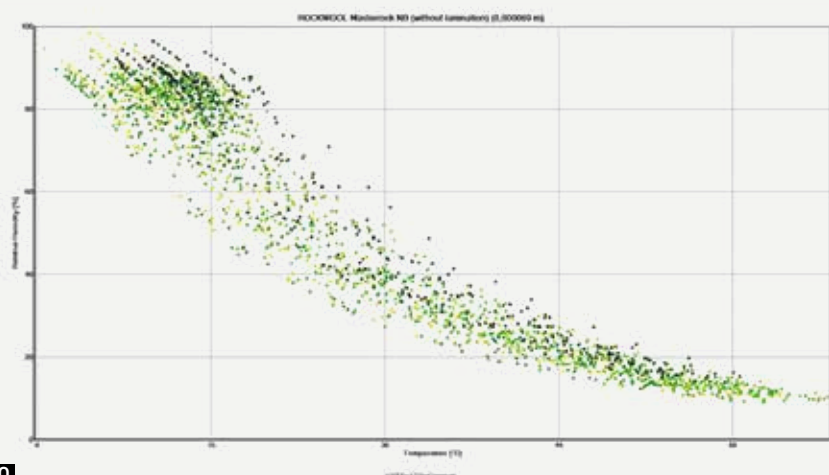
03-05



09

09 Könnyűszerkezetes tető hőszigetelés belső felületének hőmérséklet-páratartalom diagramja június 1-től augusztus 31-ig 15 W hűtési teljesítménnyel (WUFI programmal)

10 Könnyűszerkezetes tető hőszigetelés külső felületének hőmérséklet-páratartalom diagramja június 1-től augusztus 31-ig 15 W hűtési teljesítménnyel (WUFI programmal)



10

—Kőnyűszerkezetes tető esetén hasonló jelenségek figyelhetők meg, mint a monolit vasbeton szerkezetnél. Ugyanakkor nem szabad elfeledkezni arról, hogy ezen szerkezetnél a hőszigetelésben fa tartószerkezeti elemek vannak. A 80% feletti relatív páratartalom esetén a hőszigetelésben lévő faszervezetek gombásodása, korhadása fokozottan jelentkezhet!

#### 5. Ötéves vizsgálat

—A kapott maximális hűtési teljesítménnyel lefuttattam egy-egy ötéves modellszámítást is, amely során a hűtési idényt a nyár három hónapjára, a fűtési idényt a tél három hónapjára vettem fel, nyáron az előzőekben meghatározott maximális hűtési teljesítménnyel, míg télen a gyártó által megadott

maximális fűtési hőmérséklet alkalmazásával. A tavaszi és őszi idényben a hőforrás nem üzemelt.

06-10

—A hosszú távú vizsgálat alapján látható, hogy a monolit vasbeton szerkezet ezen bevitt hőmennyiségek mellett megfelelően működik, a vasbeton szerkezet hosszú távon szárad, a többi szerkezeti elem pedig a terhelésnek megfelelő éves ciklikussággal veszi fel az állapotokat. Az épületfizikailag kritikus nyári hónapokban az előző pontban leírtak érvényesek.

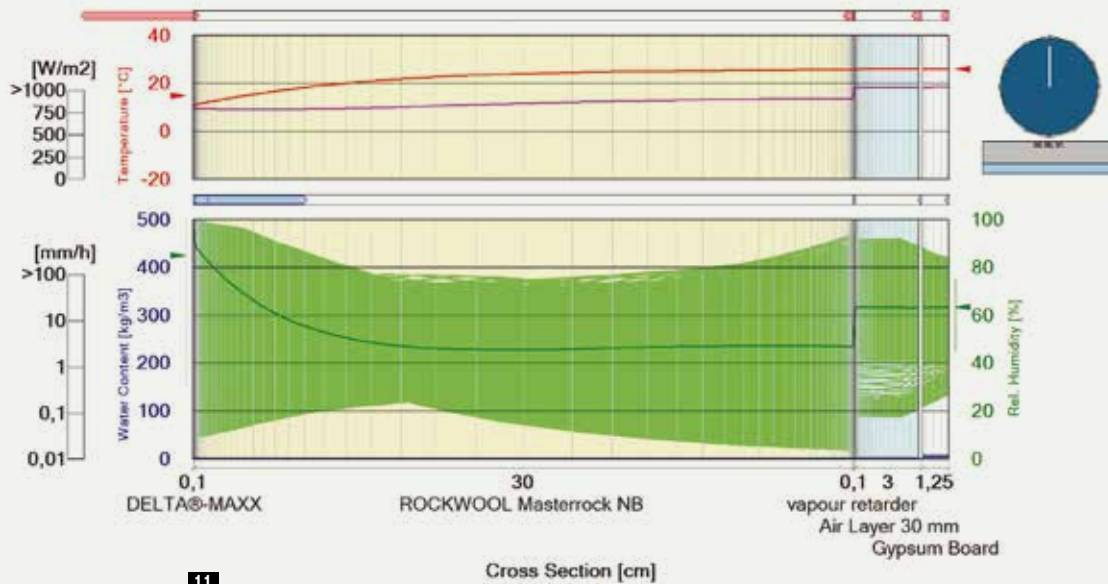
—A könnyűszerkezetes kialakítás esetében már nem annyira kedvező a kép, mint a monolit vasbeton lemezbe helyezett felülethűtésnél. A felülethűtésnek helyet biztosító légrézben a hűtési szezonban olyan légállapotok alakulnak ki, amelyek kedvezőek a különböző gombák

megtelepedésének! Szükséges lenne ezen légréz kiszellőztetése, amit viszont építészeti, épület-szerkezeti, nagyon nehéz megoldani. Ezenfelül jelentős a veszélye a hőszigetelésben lévő faszervezetek korhadásának is az itt lévő pára és hőmérsékleti viszonyok mellett! —Összességében elmondható, hogy a szerkezet kialakítása ezen rétegrenddel nem javasolható!

#### ÖSSZEFOGLALÁS

—Természetesen a kiragadott két példa vizsgálata nem jelenti azt, hogy minden létező helyzetre érvényes következtetéseket lehet levonni, jelen tanulmány keretein belül ez nem is lett volna lehetséges. Ugyanakkor a vizsgálatokból az alábbi következtetések adódnak:

11



11

- 11 Könnyűszerkezetes tető vizsgálati diagramja 5 év időtartam alatt 15 W hűtési teljesítménnyel (WUFI programmal)

## IRODALOM / REFERENCES

- [1] WUFI Guideline for Hygrothermal Simulation of ventilated pitched roofs with effective transfer parameters, hozzáférhető: <[https://wufi.de/literatur/Koelsch-Leitfaden\\_Belueftete\\_Dachkonstruktionen\\_en.pdf](https://wufi.de/literatur/Koelsch-Leitfaden_Belueftete_Dachkonstruktionen_en.pdf)> [utolsó belépés: 2021-10-25].

- A szerkezetek hosszú távon lényegében nem mutatnak más épületszerkezeti problémát azokon felül, mint amelyek a nyári három hónapos vizsgálat alapján megállapíthatók voltak. A kritikus igénybevétel a szerkezetek szempontjából a hűtési szezon alatt elvont hőenergia miatt kialakuló épületfizikai jelenségek adják. A fűtési szezonban a bevitt hőenergia a szerkezeteknek kedvező.

- Nagyon fontos az eredményekből azt látni, hogy mindkét szerkezet esetén a nyári hűtési szezonban a gyártó által megadott maximális teljesítmény nagyjából 20%-át lehetett átlagosan leadni annak érdekében, hogy kondenzációs probléma a felületen ne jelentkezzen.

- Ezenfelül a monolit vasbeton szerkezetenél előfordulhat, hogy

a felülethűtés megfelelő üzemeltetése esetén is a párazáró réteg külső oldalán a pára kondenzálódik. Ebben az esetben a kondenzátumot egyrészt a hőszigetelő anyag tudja felszívni, de ezen kondenzátum a párazáró réteg külső oldalán kontrollálatlanul le is folyhat az eresz felé. Mivel az eresz részletképzésénél nem feladat a párazáró réteg kivezetése az ereszcatornába, így ezen kondenzátum az adott szerkezeti megoldástól függően nem várt módon nedvesíthet különféle szerkezeteket.

- Könnyűszerkezetek esetében a kapott eredmények azt mutatják, hogy a felülethűtés esetén olyan penészesedési, gombásodási problémák keletkezhetnek, amelyek kezelése nehéz. Ráadásul a károsodás nehezen felfedezhető,

mivel nem látható helyeken fog megtörténni.

— Összeségében elmondható, hogy ezeket a rendszereket célszerű volna részletesebb vizsgálatnak alávetni, és azok alapján pontos építész és gépész tervezői iránymutatásokat adni a tervezési hibák, illetve az esetleges szerkezeti károk kialakulásának elkerülése érdekében. A vizsgálatok során a nyári üzemállapotban akár egy helyiség esetén is számolhatók a külső légállapotból adódó hűtési igények, az ahhoz szükséges felületi hőleadás, amivel a jelenségek már pontosabban modellezhetők.