

# Egy mérőállomás felhasználása zöldárnyékolóval takart üvegfelületek mögötti hőkomfort mérésére



Szerzők:

Szalai Dóra

Kis Máté

Konzulensek:

Dr. Dobszay Gergely PhD - Épületszerkeztani Tanszék

Bakonyi Dániel - Épületszerkeztani Tanszék

Pataky Rita - Épületszerkeztani Tanszék

Dr. Magyar Zoltán - Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék

Tanszék: Épületszerkeztani Tanszék

2016.11.01.

## Tartalom

<b>1. JELÖLÉSEK</b> .....	3
<b>2. ÖSSZEFOGLALÁS</b> .....	5
<b>3. BEVEZETÉS</b> .....	8
<b>4. ELMÉLETI HÁTTÉR</b> .....	10
<b>4.1. Hőkomfort - általános elméleti háttér</b> .....	10
<b>4.2 A transzparens szerkezetek mögötti hőkomfort sajátos kérdései</b> .....	16
<b>5. A MÉRÉSTECHNIKAI HÁTTÉR</b> .....	18
<b>5.1. A mérőállomás felépítése</b> .....	18
<b>5.2. Kalibráció</b> .....	21
<b>5.3. Tesztmérések</b> .....	26
<b>6. ZÖLDÁRNYÉKOLÓVAL TAKART ÜVEG HOMLOKZAT MÖGÖTTI HŐ HŐKOMFORT VIZSGÁLATA AZ ODOO-BAN</b> .....	32
<b>6.1 Zöldárnyékolók</b> .....	32
<b>6.2 Kutatási program</b> .....	34
<b>7. EREDMÉNYEK, ÉRTÉKELÉS</b> .....	39
<b>7.1 Kiértékelés menete</b> .....	39
<b>7.2 Eredmények, értékelések hőkomfort szempontjából</b> .....	46
<b>7.2 Energetikai szempontból</b> .....	55
<b>8. TOVÁBBLÉPÉS LEHETŐSÉGEI</b> .....	57
<b>9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS</b> .....	58
<b>10. HIVATKOZÁSOK</b> .....	59
<b>11. MELLÉKLETEK</b> .....	61
<b>A) <math>\varphi</math> érték számítása</b> .....	61
<b>B) Anemométerek kalibrációja</b> .....	62
<b>C) Tantermek kiértékelése</b> .....	69
<b>D) ODOO árnyékolások mérése – diagramok</b> .....	83

# 1. JELÖLÉSEK

Latin betűk:

A – határoló szerkezetek felülete [ $m^2$ ]

$A_g$  – gömb felülete [ $m^2$ ]

AOI - az ODOO üveghomlokzat normálisához képest a nap beesési szöge [ $^\circ$ ]

$A_r/A_d$  – [-]

c – fény sebessége vákuumban [m/s]

$c_p$  – fajhő [-]

$D_g$  – gömb átmérője [cm]

e: Euler szám [-]

$f_{cl}$ : - ruházattal borított és nem borított testfelületek aránya [-]

h – Planck állandó [Js]

$h_c$  – konvektív hőátadási tényező [ $W/m^2K$ ]

I – a vizsgált üvegfelületen átbocsátott direkt globális szoláris sugárzás [ $W/m^2K$ ]

$I_{clo}$  – ruházatok hőszigetelő képessége [ $m^2K/W, clo$ ]

k – Boltzmann állandó [J/K]

M: metabolikus hő [ $W/m^2$ ]

$M/F_{du}$  – munkavégzés intenzitása [ $W/m^2, met$ ]

n – légcsereszám [-]

$P_a$ : vízgőz parciális nyomása belső levegőben [Pa]

PMV – Várható szubjektív hőérzet [-]

PPD – várható elégedetlenségi arány [%]

$p_t$  – légköri nyomás [kPa]

$Q_{belső}$  – Beltérben lévő hőforrások [W]

shade – árnyékolási tényező [-]

$T_{airq}$  – szükséges léghőmérséklet [ $^\circ C$ ]

$T_{cl}$ : a ruházat felületi hőmérséklete [ $^\circ C$ ]

$T_e$  – külső léghőmérséklet [ $^\circ C$ ]

$T_{mrt}$  - közepes sugárzási hőmérsékletet [ $^\circ C$ ]

$T_{mrt_s}$  - szoláris taggal korrigált közepes sugárzási hőmérsékletet [ $^\circ C$ ]

$T_o$  – operatív hőmérséklet [ $^\circ C$ ]

U – határoló szerkezetek hőátbocsátási tényező [ $W/m^2K$ ]

V – Térfogat [ $m^3$ ]

$v$  – légsebesség [m/s]

$W$ : mechanikai munka [ $W/m^2$ ]

zenith - a nap függőlegeshez képest bezárt szöge [ $^\circ$ ]

Görög betűk:

$\alpha$  – szoláris abszorpciós tényezője [-]

$\varepsilon$  - hosszú hullámú emissziós tényező [-]

$\varepsilon$  - hasznosítási tényező [-]

$\theta_{air}$  – Léghőmérséklet [K]

$\theta_{Fi}$  - a környező határoló felületek hőmérséklete [K]

$\theta_{mrt}$  - közepes sugárzási hőmérsékletet [K]

$\theta_{mrts}$  - szoláris taggal korrigált közepes sugárzási hőmérsékletet [K]

$\theta_p$  – Padló felületi hőmérséklete [K]

$\mu$ - hővisszanyerés [-]

$\rho$  – sűrűség 1,3 [ $kg/m^3$ ]

$\sigma$  - Stefan–Boltzmann-állandó  $5.67 \cdot 10^{-8}$  [ $W/m^2K^4$ ]

$\varphi$  - a test súlypontjába helyezett függőleges felületelem és a határoló felületek közti besugárzási tényező [-]

## **2. ÖSSZEFOGLALÁS**

Dolgozatunk fő témája a zöldárnyékolók hőkomfortra gyakorolt hatása. Méréseket végeztünk általunk készített mérőállomással, mely a 2015-ös TDK dolgozatunk fő eredménye volt. Az Odoo épületének üveghomlokzata előtt található kétféle növényárnyékoló (borostyán, vadszőlő) mögötti tér hőkomfortjára gyakorolt hatását vizsgáltuk mérésekkel, majd számításokkal és összevetettük az eredményeket.

### **2.1. A berendezésünk tesztelése a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem K épületében 2,5 hónapon keresztül**

- A tantermek mérése során a mérőállomásunk jól vizsgázott, kijelenthetjük, hogy hosszú távon is megbízhatóan működik.
- A méréseinket tavaszi időszakban végeztük, az eredmények pedig azt mutatják, hogy a tanterekben uralkodó hőkomfort körülmények nem megfelelőek, a vizsgált, tavaszi időszaknak is csak egy szűk tartományában feleltek meg.
- Nincs árnyékolás a legtöbb ablakon, a túlzott meleg elszállítása nem megoldott.
- A mért CO<sub>2</sub> tartalom folyamatosan emelkedtek a méréseink időszakában, ennek csökkentésére jelenleg az ablakon keresztüli szellőztetéssel van lehetőség. Ez csak az év szűk tartományában megoldás, hiszen nyáron túl meleg, télen túl hideg a külső léghőmérséklet. A főépületnek léteznek légtechnikai rendszerei, melyeket javasoljuk korszerűsíteni és újra használatba venni.

### **2.2 Az előző Tudományos Diákköri Konferenciára készített mérőállomás tapasztalatai alapján készítettünk egy új berendezést**

- A két mérőállomás megbízhatóan, hasonló pontossággal működik, mint egy gyári professzionális műszer.
- A két mérőállomással lehetővé vált páros összehasonlító mérések végzése.
- A páros összehasonlítás módszerével könnyebben kiszűrhetőek az esetlegességek a mérésben.

### **2.3. A zöldárnyékolás hatásának vizsgálata belső terek hőkomfortjára gyakorolt hatása**

- Az ODOO-ban nagy üveghomlokzat mögött egy légtérben, azonos mérési körülmények között folytattuk a vizsgálatainkat. Két hónapon keresztül mértünk, a zöldárnyékolókat (borostyán, vadszőlő) összehasonlítottuk az árnyékolatlan, a fix külső textil és a manuálisan mozgatott külső textil árnyékolóval.
- Árnyékmazskok segítségével határoztuk meg, hogy mikor érkezett tisztán a növényeken keresztül a szoláris sugárzás.
- A nyári időszakban jelentős szoláris nyereséggel terhelt helyiségek hőkomfortja nem értékelhető a szokásos módon, mert a direkt sugárzás megzavarja a hőkomfort-mérést, így megállapítottuk, hogy az operatív hőmérséklet számításánál a szoláris korrekciót kell alkalmaznunk.
- Összesességében nem csak az árnyékoló határozta meg, hogy mennyire melegedett fel a helyiség, mivel az árnyékoló felületek kicsik voltak és nem is fedték az üvegfelület teljes egészét, de az árnyékolók hatásának összehasonlítására megfelelőnek bizonyult a méréssorozat.
- Számításokat is végeztünk a különböző árnyékolások mögött kialakuló hőkomfortra, ezt összehasonlítva a méréseinkkel, megállapítottuk, hogy jól meg tudtuk közelíteni a mérések eredményeit.
- Meghatároztuk az egyes hetekre lebontva, hogy mennyi hűtési energiamennyiséget kellett volna befektetni azonos komfortkörülmények tartásához, és ezzel a módszerrel mindenki számára kézzel foghatóvá tettük az árnyékolók jelentette gazdasági előnyöket.
- Bármilyen árnyékolónak a hűtési energiaigényre vonatkozó hatása kettős. Egyrészt csökkenti a bejutó energiát, tehát azonos hőmérséklet tartásához kevesebb hűtési energia szükséges (elsődleges hatás). Másodsorban pedig, ha csökkentett módon érinti az embert a direkt szoláris tag, akkor magasabb léghőmérséklet mellett is biztosítható ugyanaz az eredő hőkomfort (másodlagos hatás)
- A mérések alapján, a hőkomfortérzet és a hűtési energia alapján a legjobbnak a borostyán bizonyult, utána következik, szorosan egymást követve, a textil és a vadszőlő. Utánuk következik a manuálisan vezérelt textil árnyékoló.

- Valószínűsíthető, hogy ha a vadszőlő dúsabb lett volna (előnevelt vagy már kifejlődött növényzet), sokkal jobb eredményeket kaphatunk.

Napjainkban egyre fontosabb szerep jut a megfelelő árnyékolásoknak, erre a zöldárnyékolók hatékony megoldások lehetnek. Az általunk alkalmazott módszerrel az árnyékolók teljesítménye jól szemléltethető, objektív módon számszerűsíthető, ami hozzájárulhat ezen építészeti eszköz szélesebb körben való elterjedéséhez. A megfelelő zöldárnyékoló kiválasztását komplex módon kell vizsgálni, fontos szempont az energetika, a fényáteresztés, a hőkomfort, az éghajlat, a tájolás.

További mérések szükségesek a téli időszakban a zöldárnyékolók hőszigetelő képességeinek, fényáteresztő képességeinek, az éves energiaszükségletre gyakorolt hatásainak, a homlokzattól való távolság ideális helyzetének meghatározására.

### 3. BEVEZETÉS

A 2015. évi Tudományos Diákköri konferenciára készített, „A várható szubjektív hőérzet és egy mérőállomás”<sup>1</sup> című munkánk bemutatta, hogy hogyan lehet megépíteni egy olyan berendezést, ami a belső téri hőkomfortot befolyásoló tényezőket képes mérni. Fontos szempont volt, hogy viszonylag olcsó, érdeklődő építész hallgató számára is elérhető elemekből állítsunk össze egy kellően pontos műszert. A készülékünk pontosságát, professzionális referenciaműszerekkel való összehasonlításával bizonyítottuk. Tavaly a szerkezet méréssorozatban való hasznosítására már nem jutott idő, viszont jelen kutatásunk már a műszer konkrét mérési feladatokban történő alkalmazásával létrejövő adatok feldolgozását mutatja be.

A műszer tesztelése során készített mérésekből adódott egy adatgyűjtemény, melynek kiértékelése részét képezi az idei TDK dolgozatunknak. A tesztelés során begyűjtött értékeken keresztül mutatjuk be a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem kiválasztott tantermeinek hőkomfort-körülményeit.

Legfrissebb kutatásunk célkitűzése az volt, hogy a transzparens szerkezetek árnyékolásáról minél többet megtudjunk és valamilyen módon, kézzel fogható adatok formájában mutathassuk be mindenki számára. Ezt a problémakört a zöldárnyékolóval védett üvegfelületek mögötti hőkomfort méréssel jártuk körbe.

Témaválasztásunk összefügg a beltéri hőkomfort építészetben való jelentőségének a növekedésével. Megfigyelhető, hogy az energetikai szempontok sokkal mélyebben beivódtak az építészek tudatába, mint a hőkomfort szempontjai, pedig az építészet célja mégis az épületet használók jó közérzete és a megfelelő munkakörülmények biztosítása lenne. Az energetika mellett a hőkomfort vizsgálata sajnos nem része az engedélyezési eljárásnak, ezért csak kevesen veszik figyelembe az erre vonatkozó, egyébként létező előírásokat.<sup>2</sup>

Megfigyelhető, hogy a téli fűtési energiaigény sokkal nagyobb hangsúlyt kap az építészeti tervezés során, mint a nyári hűtési energiaigény csökkentése, pedig utóbbi, bizonyos épülettípusok esetében jóval jelentősebb az éves energiaigényben. Nyilvánvaló, hogy a megfelelő belső hőkomfort elérése passzív és aktív eszközökkel is egyaránt elérhető, azonban mindenképpen azt lenne szükséges szem előtt tartani, hogy a passzív eszközökkel minél több nagy energiaigényű gépet tudjunk kiiktatni.

---

<sup>1</sup> Szalai Dóra – Kis Máté (2015)

<sup>2</sup> MSZ CR 1752; MSZ EN 15251; MSZ EN ISO 7730; ASHRE 55



Megfigyelhető továbbá, hogy a tervezés igen gyakran szubjektív előítéletek, becslések alapján történik, a döntéseket nem előzi meg objektív adatgyűjtés, számszerűsítés, szimuláció. Dolgozatunkban mi a lehetséges passzív alternatívákból mutatunk be egy apró szegmenst, melyekről a konkrét mérési eredményeink alapján határozott véleményt tudunk alkotni.

A kutatás első lépéseként, a már meglévő alapján elkészítettünk egy új mérőállomást is, így lehetőség nyílt a páros összehasonlítás módszerét alkalmazni. Ez a módszer azért jó, mert olyan időben változó komplex hatásegüttest kell vizsgálnunk, ahol (laboratóriumi feltételek hiányában) nem állíthatók elő sztenderd körülmények, így nehezen különíthető el a végeredménynek az egyes paramétereiktől való függése. A páros összehasonlító mérésekkel közvetlenül kimutatható az azonos időpontban, azonos körülmények között két eltérő szerkezet teljesítményének különbsége, valamint ugyanazon szerkezet eltérő időpontban, eltérő paraméterek esetén történő viselkedése. E kettő segítségével már mód van konkrét, hiteles következtetések levonására a szerkezet fizikai működését illetően.

Aktuális kutatásunkhoz a 2012-es Solardecathlon Europe nemzetközi versenyre létrehozott ODOO épületében végeztünk méréseket. Kutatásunkkal bekapcsolódtunk Pataky Rita méréssorozatába<sup>3</sup>. Pataky tanárnő folyamatban lévő kutatásából kifolyólag az ODOO jelenleg rendelkezik kettő, különböző típusú növényi árnyékolóval, melyek ideális alanyai voltak méréseinknek. Vizsgálatunk során az egyes árnyékolók hatását elemeztük hőkomfort és energetikai szempontok szerint.

---

<sup>3</sup> Pataky Rita a kutatás még folyamatban, az eredmények publikálása később várható

## 4. ELMÉLETI HÁTTÉR

### 4.1. Hőkomfort - általános elméleti háttér

A hőkomfort tudományterülete nagyon fiatal, mindössze pár évtizedes múltra tekint vissza. Ez a szakterület Povl Ole Fanger (1934-2006), hazánkban pedig Dr. Bánhidi László tevékenységeinek köszönhetően fejlődött nagymértékben. Fanger professzor az International Centre for Indoor Environment and Energy /Denmark/ (Belső Környezet és Energia Nemzetközi Központ /Dánia/) vezető professzora, aki jelentős lépéseket tett a tudományterület szabványosítása érdekében.<sup>4</sup> Bánhidi a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem professzor emeritus-a. Megállapításairól Kajtár Lászlóval közösen írt könyvében olvashatunk.<sup>5</sup> Ez a fejezet a fent említett kutatók gondolatmenetei, valamint Dr. Magyar Zoltán „Termikus műember alkalmazási lehetőségei hőkomfort vizsgálatoknál”<sup>6</sup> című munkájából szerzett tudásunk alapján készült.

A komfortelmélet azzal foglalkozik, hogy az ember jó közérzetére milyen fizikai paraméterek hatnak elsősorban, és ezek milyen értékei között érzi jól magát. A szakirodalom a komfortelméletet négy fő témakörre osztja: hőkomfort, levegőminőség, akusztika, természetes és mesterséges megvilágítás. Mi elsősorban a hőkomforttal foglalkozunk különböző szituációkban. A megfelelő hőkomfort sok más hatás mellett szorosan összefügg az emberi test hőtermelésével, valamint az ember és környezete közötti hőcserével. Testünk a benne fejlődő hőt négy lehetséges módon tudja továbbítani:

- konvekcióval 32-35 %
- sugárzással 42-44 %
- párolgással 21-26 %
- vezetéssel 2-4 %<sup>7</sup>

A konvekció, a sugárzás és a vezetés során történhet hőleadás, illetve hőfelvétel egyaránt, a párolgás viszont csak negatív, azaz hőleadás lehet.

A hőkomfortelmélet az ember és a környezete közti hőcsere egyensúlyát vizsgálja. Mivel az emberek különbözőek, így különböző paraméterek között érzik ideálisan magukat. Ezt szubjektív hőkomfortérzetnek nevezzük. Sok vizsgálat és szubjektív értékelés kimutatta, hogy

---

<sup>4</sup> Wikipedia: Povl Ole Fanger (2016)

<sup>5</sup> Bánhidi László - Kajtár László: (2000)

<sup>6</sup> Dr. Magyar Zoltán (2011)

<sup>7</sup> Dr. Magyar Zoltán (?)

mely tényezők vannak általában döntő hatással a hőérzetre. A számos szubjektív tényezőtől túl vannak mérhető tényezők is, így felállítható olyan mérőszám, amivel meghatározható, hogy az embereknek - statisztikai hibahatáron belül - átlagosan megfelelnek-e a környezet paramétereinek.

A hőérzetet jellemzően a következő hat tényező befolyásolja:

1. A levegő hőmérséklete, annak térbeli és időbeli eloszlása, változása.
2. A környező felületek közepes sugárzási hőmérséklete.
3. A levegő relatív nedvességtartalma, illetve a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása.
4. A levegő sebessége.
5. Az emberi test hőtermelése, hőleadása, hőszabályozása.
6. A ruházat hőszigetelő képessége, párolgást befolyásoló hatása.<sup>8</sup>

Ezeket a tényezőket foglalja magába a Fangeri elvek alapján megalkotott PMV (Predicted Mean Vote = várható hőérzeti érték) képlet is, melyet mi is alkalmazunk kutatásaink során:

$$PMV = (0,303e^{-0,036M} + 0,028)((M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3}(5733 - 6,99(M - W) - Pa) - 0,42((M - W) - 58,15) - 1,7 \cdot 10^{-5}M(5867 - Pa) - 0,0014M(34 - T_{air}) - 0,0014M(34 - T_{air}) - h_r 10^{-8} f_{cl}((T_{cl} + 273,15)^4 - (T_{mrt} + 273,15)^4) - f_{cl} h_{cl}(T_{cl} - T_{air})) \quad (1)$$

ahol:

e: Euler szám (2,718) [-]

f<sub>cl</sub> – ruházattal borított és nem borított testfelületek aránya [-]

M: metabolikus hő 115[W/m<sup>2</sup>]

Pa: vízgőz parciális nyomása belső levegőben [Pa]

T<sub>air</sub>: léghőmérséklet [°C]

T<sub>cl</sub>: a ruházat felületi hőmérséklete [°C]

T<sub>mrt</sub>: közepes sugárzási hőmérséklet [°C]

W: mechanikai munka [W/m<sup>2</sup>]

h<sub>r</sub> – sugárzásos hőátadási tényező [W/m<sup>2</sup>K]

h<sub>c</sub> – konvekciós hőátadási tényező [W/m<sup>2</sup>K]

ruházattal borított és nem borított testfelületek aránya a következő összefüggéssel számítható:

<sup>8</sup> Dr. Magyar Zoltán (???)

$$f_{cl} = 1,0 + 0,2I_{cl} \quad (2)$$

ahol:

$I_{cl}$  – ruházat hőszigetelő képessége, [m<sup>2</sup>K/W]

konvekciós hőátadási tényező a következő összefüggéssel számítható:

$$h_{cl} = 12,1(v)^{1/2} \quad (3)$$

ahol:

v: légsebesség [m/s]

ruházat felületi hőmérséklete a következő összefüggéssel számítható:

$$T_{cl} = 35,7 - 0,0275(M - W) - 3,05(5,73 - 0,007(M - W) - p_a) - 0,42((M - W) - 58,15) - 0,0173M(5,87 - p_a) - 0,0014M(34 - t_{air}) \quad (4)$$

Az egyes tényezők az alábbiakban befolyásolják a hőérzetet:

1. A levegő hőmérséklete egy fizikai alapmennyiség. A levegőt a napsugárzást elnyelő felületek melegítik, így mindig megfigyelhető egy időbeli eltérés a maximális szoláris értékek és az abból eredő hőmérsékletemelkedés között. A léghőmérsékletre általánosan jellemző, hogy a melegebb levegő felfelé száll és emiatt vertikálisan is változik értéke.

2. A közepes sugárzási hőmérséklet egy képzetes szám. A különböző hőmérsékletű határoló felületek különböző mértékben befolyásolják a helyiségben tartózkodók hőkomfortját, ezen kívül az is számít, hogy hol helyezkedünk el a szobában, azaz, hogy mekkora térszög alatt látjuk a különböző felületeket. Minél közelebb állunk az egyik falhoz annál nagyobb térszögben látjuk és annál jobban hat ránk annak a felületnek a hőmérséklete. A közepes sugárzási hőmérséklet figyelembe tudja venni ezeket a befolyásoló tényezőket, az egyszerű léghőmérséklettel szemben.

3. A páratartalom mérésére azért van szükség, mert minél magasabb a nedvességtartalom, annál melegebbnek érezzük a levegőt, hiszen magasabb környezeti páratartalom esetén párolgásos hőleadás útján kevesebbet vagyunk képesek leadni.

4. A beltéri levegő mozgása általában kis tartományban mozog. A légsebesség bizonyos esetekben kedvezően hat a hőkomfortérzetre, mivel növeli a párolgás útján leadható hő mennyiségét. Egy bizonyosnál nagyobb légsebesség viszont már kellemetlen komfortérzetet okoz. Éppen ezért előírások korlátozzák azt, hogy a belső terekben milyen mértékű

légmozgások alakulhatnak ki. A szabvány 2m/s-os légsebességet engedélyez maximálisan, de vannak emberek, akik már ezt is „huzatnak” érzékelik.

5. Az emberi testben égési folyamatok játszódnak le, amiből következik, hogy hőt ad le a környezetének, ezzel befolyásolva azt. Egy nyugalmi állapotban lévő felnőtt ember percenként 0,25l oxigént fogyaszt el és 88W hő szabadul fel testéből. Ha egy adott illető izommunkát végez az oxigénfogyasztása és természetesen a hőleadása is a többszörösére nőhet. Ha a nagyobb hőtermelés nem járhat együtt hőleadással, mert pl. a környezet hőmérséklete is magas, az jelentős diszkomfort érzéssel járhat. A végzett tevékenység tehát önmagában befolyásolja a várható hőkomfortérzetet. Ennek megfelelően a munkákat három nagy csoportba osztották szét, ami az intenzitásuknak megfelelő osztályozás. Létezik könnyű, közepes, illetve nehéz kategória. Ezek számítására táblázatos adatok állnak rendelkezésünkre.  $1\text{met}=58,2\text{ W/m}^2$  (lásd 1. táblázat)

#### Néhány tevékenység metabolikus értéke

Tevékenység	$M/F_{du}$ ( $\text{W/m}^2$ ) met		$V_{rel}$ (m/s)
Alvás	41	0,7	0
Pihenés	47	0,8	0
Nyugodt ülés	58	1,0	0
50 kg-os zsák hordása	232	4,0	0,5
különböző irodai munka	58-70	1,0-1,2	0-0,1
rajzolás	70	1,2	0-0,1

1. táblázat - Az egyes munkavégzéseknek megfelelő met értékek<sup>9</sup>

6. A ruházatnak is kiemelkedő szerepe van, hiszen nem mindegy, hogy egy lenge nyári ruházatot, vagy nagykabátot viselünk nyáron illetve télen. Vannak olyan helyek, ahol a ruhákra is rá vannak írva az értékek, de táblázatok is rendelkezésünkre állnak. (lásd 2. táblázat)

<sup>9</sup> Dr. Magyar Zoltán: (2015)

Néhány viselet  $I_{clo}$  értéke

RUHÁZAT	$I_{clo}$
Mezítelen	0
Rövid nadrág	0,1
Tipikus trópusi ruházat: short, nyitott nyakú ing rövid ujjal, könnyű zokni és szandál	0,3-0,4
Könnyű nyári ruházat: hosszú szárú nadrág könnyű anyagból, nyitott nyakú ing, rövid ujjak	0,5
Könnyű ruha: short, gyapjú zokni, pamut munkaing és munkanadrág	0,6
Tipikus üzletember-ruházat	1,0
Tipikus üzletember-ruházat + pamut kabát	1,5
Nehéz tradicionális európai üzletember-ruházat: pamut alsónemű hosszú ujjakkal és szárral, ing, gyapjú zokni, cipő, öltöny, beleértve nadrágot, kabátot és mellényt	1,5

2. táblázat - Az egyes ruházatok szerinti  $I_{clo}$  értékek<sup>10</sup>

Az ember a hőegyensúlyt széles határok között képes tartani, azonban csak egy szűk intervallumban kellemes a hőérzet. Minél nagyobb alkalmazkodás szükséges, annál negatívabb a hőkomfortérzetünk. P. O. Fanger kidolgozott egy mérőszámot (ez a PMV), mellyel zárt tér adott pontjára, különböző paraméterek ismeretében meg lehet határozni a várható hőérzeti értéket. Ez a szám +/- 3 között értelmezett és +/- 1 érték felel meg a kellemes közérzetnek. ASHRAE (1981) 55-81 szabvány szerint:

*„...A kellemes hőérzet az a tudati állapot, amely a termikus környezettel kapcsolatos elégedettséget fejezi ki...”*

---

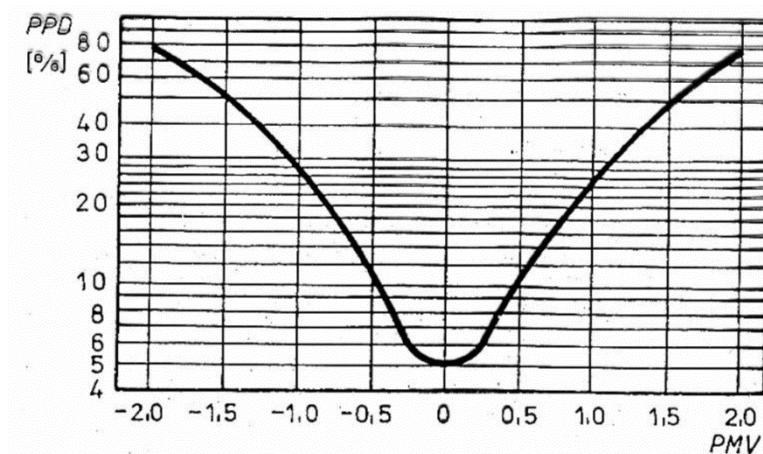
<sup>10</sup> Dr. Magyar Zoltán (2015)

A szubjektív hőérzeti skála:

Forró	+3
Meleg	+2
Kellemesen meleg	+1
Neutrális	0
Kellemesen hűvös	-1
Hűvös	-2
Hideg	-3

A PMV-ből számítható a PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied = kedvezőtlen hőérzet várható százalékos valószínűsége), mely a kedvezőtlen hőérzet várható százalékos valószínűségét adja meg. Az emberek különböző körülmények között érzik jól magukat, ez a képletbe úgy lett beépítve, hogy mikor 0 a PMV értéke akkor is 5% lesz azok száma, akik várhatóan nem érzik jól magukat, tehát maximum olyan körülmények alakíthatók ki, mely a térben tartózkodók 95%-ának lesz megfelelő.

Az alábbi diagram (lásd Ábra 1) tartalmazza az úgynevezett PMV, illetve a PPD értékeket.



Ábra 1: A hőkönyezetükkel várhatóan elégedetlenek százalékos aránya (PPD) a PMV érték függvényében (forrás: Fanger 1982)<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Dr. Magyar Zoltán (2011)

## 4.2 A transzparens szerkezetek mögötti hőkomfort sajátos kérdései

A felületek túlnyomó többségére elmondható, hogy a hőmérsékletük folyamatosan változik. Határoló szerkezeteink hőmérséklete az időjárási viszonyoknak megfelelően ingadozik. Különböző télen-nyáron, valamint az egyes anyagok külső és belső oldali felületi hőmérséklete között is gyakran tapasztalható legalább 1-2°C-os eltérés.

A hőkomfortelmélet által alkalmazott PMV összefüggés csak homogén terek jellemzésére alkalmas, azonban valójában egyik tér sem homogén. Mivel épületeinkben különböző tulajdonságú anyagok vesznek körül, fontos korrigálni ezeket az inhomogén hatásokat.

Az egyik ilyen inhomogén hatás, melynek figyelembevételére mi is nagy gondot fordítottunk az aszimmetrikus sugárzás.<sup>12</sup> A zárt terekben lévő személyek és az őket körülvevő felületek között sugárzásos hőcsere jön létre. Ha a környező felületek különböző felületi hőmérsékletűek, akkor előáll az a helyzet, hogy a sugárzásos hőnyereség és/vagy hőleadás egyszerre és különböző mértékben megy végbe. Ez a jelenség üvegszerkezeteknél még erősebb, mert az ablakoknál a külső és belső felületi hőmérséklet között jóval számottevőbb különbség is előfordulhat, mint az egyéb szerkezeteknél. Ebből következik, hogy az épületeinkben a hőkomfort szempontjából az ablak melletti pozíciók a legmeghatározóbbak.

A vizsgálatokat tehát úgy kell folytatni, hogy figyelembe kell venni, hogy az adott térben hol helyezkedünk el és hogy abban a pontban a minket körülvevő felületek milyen hőmérséklettel, milyen térszög alatt látnak minket. Az értékelés folyamata, hogy először az összes meghatározó felülethez rendelkezniünk kell felületi hőmérséklet adatokkal. Az előző adatok elegendőek a felületek közepes sugárzási hőmérsékletének számításához. Az adatok előállítása lehetséges mérés útján, valamint számíthatók is. Miután a felületi hőmérséklet adatok rendelkezésre állnak azokból előállíthatók a közepes sugárzási hőmérséklet adatok. Abban az esetben, ha jelentős szoláris nyereség van, azt mindenképpen figyelembe kell venni és egy korrigált közepes sugárzási hőmérsékletet kell számolni. A szoláris nyereség korrekciójához szükségünk van bizonyos tényezőkre, melyek az egyes anyagokra jellemző értékek. Ilyenek az emissziós [ $\epsilon$ ] és az abszorpciós [ $\alpha$ ] tényezők. Az emissziós tényező a test hősugárzás-kibocsátás képességének mértékét, az abszorpciós tényező pedig a test hősugárzás-elnyelési képességének értékét mutatja.<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup> Bánhidi László – Kajtár László (2000)

<sup>13</sup> Annon.: Az emisszió, abszorpció, reflexió és transzmisszió közötti összefüggés



Az operatív hőmérséklet aztán, a korrigált közepes sugárzási hőmérséklettel számítható.

*„Az operatív hőmérséklet a levegő hőmérsékletének és a környező felületek átlagos sugárzási hőmérsékletének a hőátadási tényezőkkel súlyozott átlaga.”<sup>14</sup>*

A testek sugárzásának alapösszefüggését Jožef Stefan szlovén fizikus és Ludwig Boltzmann alkotta meg. Stefan volt az, akinek először sikerült megmérnie a fekete test által az összes hullámhosszon kisugárzott energiát. Észrevétele alapján ennek a sugárzásnak a mértéke éppen az abszolút hőmérséklet negyedik hatványával arányos. A felfedezést később Boltzmann tudta elméleti úton bizonyítani, innen nevezték el Stefan–Boltzmann-féle sugárzási törvénynek.<sup>15</sup>

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} = 5,67 * 10^{-8} \quad (5)$$

ahol:

k – Boltzmann állandó [J/K]

h – Planck állandó [Js]

c – fény sebessége vákuumban [m/s]

---

<sup>14</sup> Magyar Zoltán (2011)

<sup>15</sup> Annon.: Stefan-Boltzmann törvény

## 5. A MÉRÉSTECHNIKAI HÁTTÉR

### 5.1. A mérőállomás felépítése

Kezdetektől fogva a terveink közé tartozott, hogy idővel több mérőállomást is tudjunk üzemeltetni egyszerre. A 2016. évi Tudományos Diákköri Konferenciára készített beszámolónk elengedhetetlen része volt, hogy építsünk még egy, a tavalyi műszerünkkel megegyező mérőállomást.

Az, hogy mostanra kettő darab mérőállomás áll a rendelkezésünkre biztosítja azt, hogy azonos időpontban, egyszerre tudunk mérni, akár különböző helyszínen és/vagy különböző paraméterű szerkezeteket. Össze tudjuk hasonlítani azonos feltételek és behatások mellett két különböző szerkezet viselkedését. A legtöbb szerkezet működését nehéz objektívan vizsgálni, mert általában sok tényezőtől függ és azok hatásait nem lehet, vagy nagyon nehéz külön-külön mérni. A páros összehasonlítás módszere azért jó, mert így nem az egyes hatásokra történő működést vizsgáljuk, hanem a két szerkezet teljesítményét hasonlítjuk össze közvetlenül.

Az újonnan épített PMV berendezésünk felépítésének bemutatásához „A várható szubjektív hőérzet és egy mérőállomás”<sup>16</sup> című dolgozatunkat használjuk fel, amelyben részletesebben is lehet olvasni arról, hogy hogyan lehet megépíteni egy ilyen mérőállomást.

A Fanger féle PMV képletben négy olyan fizikai paraméter van, amiket az állomásnak tudnia kell mérni. Ezek: a léghőmérséklet, a sugárzási hőmérséklet, a páratartalom és a légsebesség. Ezekon kívül a PMV függ még kettő, az egyénre jellemző paramétertől, a ruházatától és a metabolikus rátától.

Az első négy paraméter mindig konstans, míg a felhasználótól függő paramétereket a már említett szakirodalomnak<sup>17,18</sup> megfelelően vesszük figyelembe.

---

<sup>16</sup> Szalai Dóra - Kis Máté (2015)

<sup>17</sup> Dr. Magyar Zoltán: (2015)

<sup>18</sup> Bánhidi László - Kajtár László: (2000)

Az alábbi képeken láthatóak a felállított berendezéseink. (1.Kép, 2. Kép) A régebbi műszerre TC1, az újra TC2 jelöléssel hivatkozunk.



1. Kép: TC1-es mérőállomásunk



2. Kép: TC2-es mérőállomásunk

A műszer felépítése a következőképpen alakul:

A léghőmérséklet és a páratartalom mérését egyazon műszerrel, egy SHT75-ös szenzorral végezzük. Mivel ezt a típusú érzékelőt az infravörös tartományú sugárzás képes befolyásolni, ezért azt egy koncentrikusan egymásba rögzített, konzervdoboz palástokból készített sugárzás védő ernyőbe helyeztük el. Ennek módosító hatásáról szintén publikáltunk adatokat a korábbi dolgozatunkban.

A sugárzási hőmérséklet méréséhez egy DS18B20 típusú érzékelőt alkalmazunk, melyet egy matt feketére festett rézgömb közepébe rögzítünk. A rézgömbök alkalmazása azért fontos, mert a gömbök felülete sugárzásos egyensúlyba kerül a környezetükkel, így a bennük lévő hőmérő ezt az egyensúlyi hőmérsékletet tudja mérni.

A légsebességet termo anemométerekkel mérjük, melyek rendelkeznek egy fűtőelemmel. Működésének lényege, hogy a műszer a fűtött elem kifűtéséhez szükséges teljesítménnyel arányos feszültség jelet ad és összefüggések alapján ebből a feszültségből tudunk következtetni a légsebesség nagyságára. Az alkalmazott termo anemométerek a kialakításukból adódóan irányfüggőek. Ezért három darab érzékelőt alkalmazunk 120 fokonként rögzítve és a kapott értékek köbös átlagát használjuk fel. A tavalyi kutatásunk nyomán már kitapasztaltuk, hogy

céljainkhoz az amerikai Modern Device Wind Sensor Rev. P nevezetű szenzor megfelel, ehhez viszont szükség van egy ADC (analog-digital converter) egységre is, mert az anemométerek analóg jellel kommunikálnak.

Az érzékelőinket utp cat 5 kábellel kötjük össze az adatrögzítésért felelő Arduino Mega 2560 típusú mikrokontrollerrel.

Az adatok mentése több módon is megoldható. Az egyik módszer az, ha egy usb kábellel közvetlenül rá vagyunk csatlakozva a berendezésre, így egy soros porton jöhet létre az adatátvitel. A többi megoldást kifejezetten az Arduinokhoz gyártott shieldek biztosítják. Mi egyrészt ethernet shieldet alkalmaztunk, ami állandó rálátást biztosít a mért adatokra interneten keresztül, valamint léteznek olyan shieldek is, amik lehetővé teszik az SD kártyára való mentést. Az összes lehetséges opciót kipróbáltuk, de főképp az SD kártyára való mentést alkalmaztuk, mert számukra ez volt a legkönnyebben kivitelezhető és nemkülönben a legbiztosabb mód.

A mérőállomáshoz szükség van egy RTC-re (real time clock), mert az Arduino önmagában csak arra képes, hogy a bekapcsolástól eltelt időt mérje, viszont az RTC áramellátástól függetlenül képes egy gombelem segítségével szolgáltatni az aktuális időt.

A működtetéshez szükségszerű kettő darab tápegység. Az egyik egy 5 voltos, ami az Arduino szolgálja ki, a másik pedig egy 12 voltos, ami az anemométerek fűtéséért felel.

A készülékre szereltünk továbbá egy kijelzőt, valamint státus és hiba ledeket, melyek folyamatosan visszajelzést biztosítanak az adatok lekéréséről.



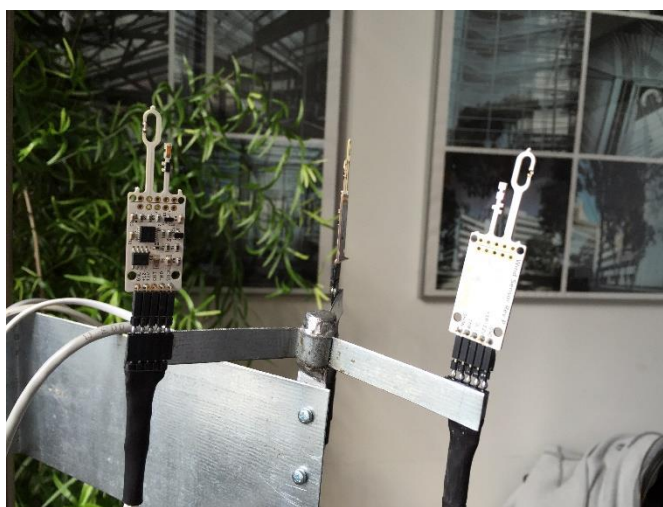
3. kép: A TC2-es mérőállomásunk központi egysége

## 5.2. Kalibráció

A műszerek beszerzése után a kalibráció a következő elengedhetetlen lépés, amely biztosít a használni kívánt adatok megfelelő voltáról.

A hő- és páratartalom mérők kalibrálását az előző dolgozatunkban részletesen leírtuk. Az anemométerek kalibrálása azonban komplexebb, így ezt mutatjuk be részletesen ebben a fejezetben.

Az általunk használt légsebesség mérő műszerek a kalorimetrikus típusúak közé tartoznak. Működésük lényege, hogy el vannak látva egy fűtőelemmel, ami állandósított hőmérsékleten tartja a készüléket és ehhez a hőmérséklethez való szinten tartáshoz szükséges feszültségből tudunk következtetni a számunkra szükséges adatokra. A fűtőelem a körülötte áramló közegnek folyamatosan hőt ad le. Ez annak is a függvénye, hogy a környezet milyen hőmérsékletű ezért a műszer rendelkezik egy saját hőmérővel, aminek a mérései alapján tudja kompenzálni a feszültség változását.<sup>19</sup> A műszer kalibrálásához olyan körülményeket kell tudni teremteni, ahol nagy pontossággal tudjuk szabályozni a légsebességet és tartósan egyenletesen tudjuk azt tartani.



4 kép: A TC1-es berendezés anemométer tartó egysége, rajta az anemométerek 120°-onként elhelyezve.

Az anemométereink számozása a következő:

Régi műszer (TC1) anemométerei	1-es	2-es	3-as
Új műszer (TC2) anemométerei	4-es	5-ös	6-os

3. táblázat - anemométerek számozásának rendje

<sup>19</sup> Endre Ferenc (2010)

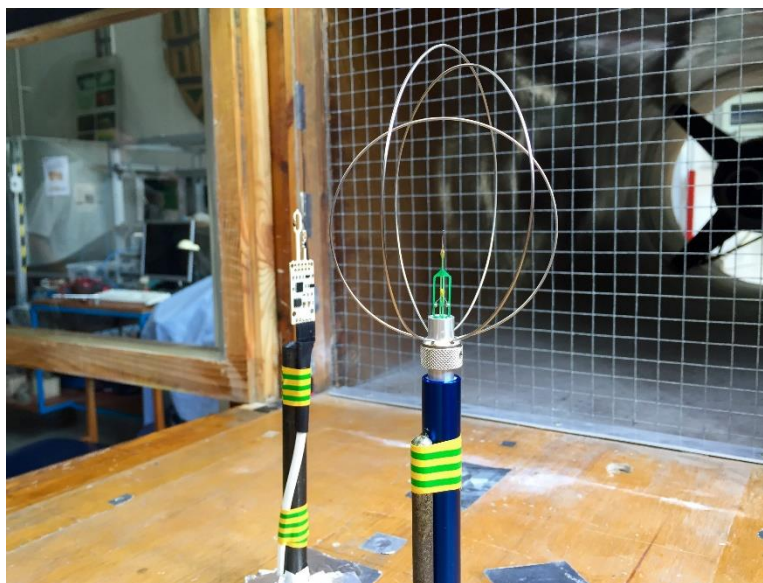
Mivel a légsebességre vonatkozó kritériumokat csak egy szélcsatornával tudunk megfelelően kielégíteni, ezért ismét felkerestük a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Kármán Tódor Szélcsatorna Laboratóriumát.



5 kép: A Kármán Tódor Szélcsatorna Laboratórium NPL típusú szélcsatornája, melyet az anemométerek kalibrálásához használtunk

Ezúton is köszönjük, hogy rendelkezésünkre bocsátották az általunk már ismert NPL típusú szélcsatornájukat, amellyel sikeres kalibrációt hajtottunk végre, valamint lehetőségünk nyílt ellenőrző méréseket is végezni a tavaly már kalibrált műszerünkön.

Az anemométerek kalibrációja úgy zajlott, hogy sorra a mérőtérbe helyeztük valamelyik saját és a referencia műszerünket. A referencia műszer a Hőfizika Labor PMV állomásának anemométere volt. (Alhborn FVA605TA1OU Thermo-anemometer)



6 kép: A saját (bal oldali) és a Hőfizika Labor (jobb oldali) anemométere kalibrációhoz beállítva

A lehető legnagyobb pontosság érdekében a szenzorokat azonos magasságban fixáltuk és ügyeltünk rá, hogy ne befolyásolják egymást. Erre utólag csináltunk ellenőrző méréseket, ami bizonyította, hogy nem gyakoroltak hatást a másik eredményeire.

Az anemométerek rögzítése után a légsebességet egy potméter segítségével beállítottuk egy kívánt értékre és kivártuk, amíg mindkét műszer beáll, majd leolvastuk az értékeket. A leolvasást minden esetben többször is elvégeztük a hibalehetőségek kiküszöbölése érdekében. A mérést az összes érzékelővel legalább 15 lépcsőben 0,07 és 1,5 m/s sebesség között hajtottuk végre.

A kalibrációs mérések eredménye egy pontthalmaz, amely a referencia műszer szerinti légsebességet és a saját érzékelőink által szolgáltatott feszültség értékeket adták. Ezekhez a pontthalmazokhoz szükséges a megfelelő kalibrációs görbe megtalálása. Ezeket a pontthalmazokat és a hozzájuk tartozó függvényeket a „B” jelű melléklet tartalmazza, ahol érzékelőnként ismertetjük a kalibrációs görbéket. Demonstrálásképpen a 4-es anemométerhez tartozó összes diagramot, az 5-ös, 6-os anemométerhez pedig a teljes kalibrációs görbét tartalmazót mutatjuk be itt. (*Diagram1, Diagram2, Diagram3, Diagram4, Diagram5*)

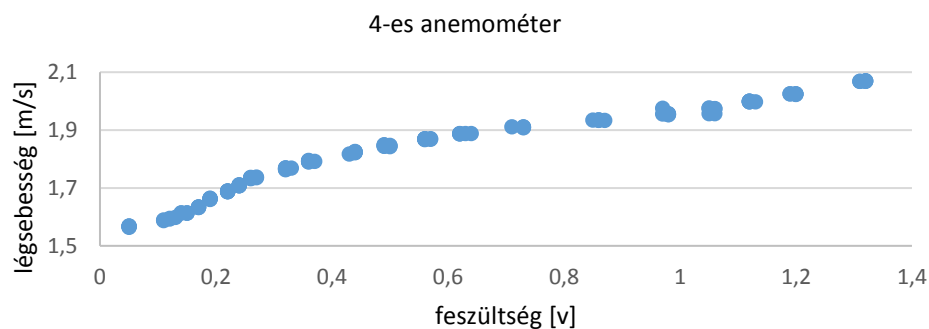


Diagram 1: A 4-es számú termo anemométer adatsora

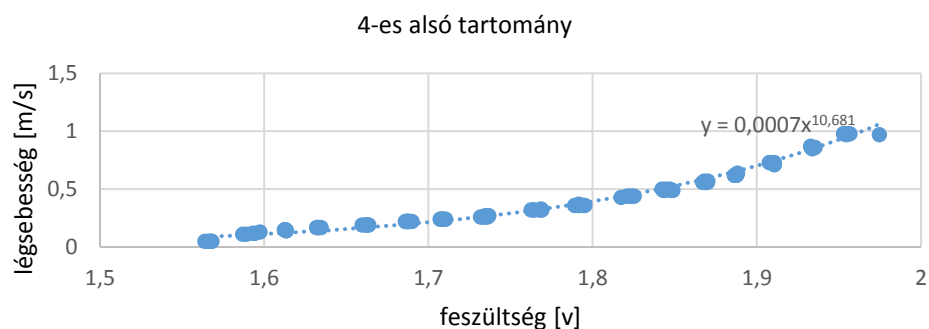


Diagram 2: A 4-es számú termo anemométer alsó tartományának közelítése hatvány függvénnyel

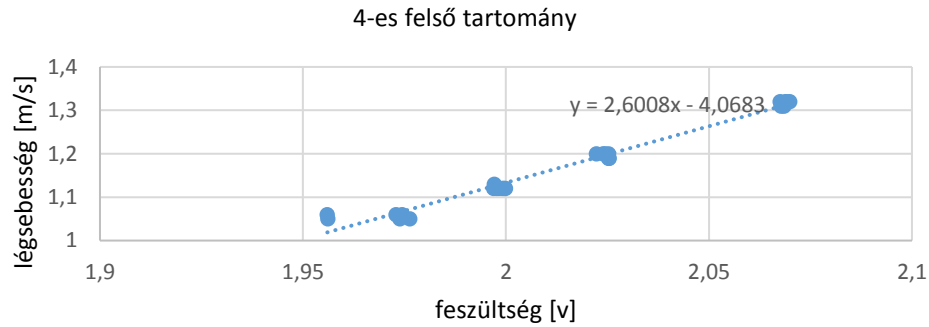


Diagram 3: A 4-es számú termo anemométer felső tartományának közelítése lineáris függvénnyel

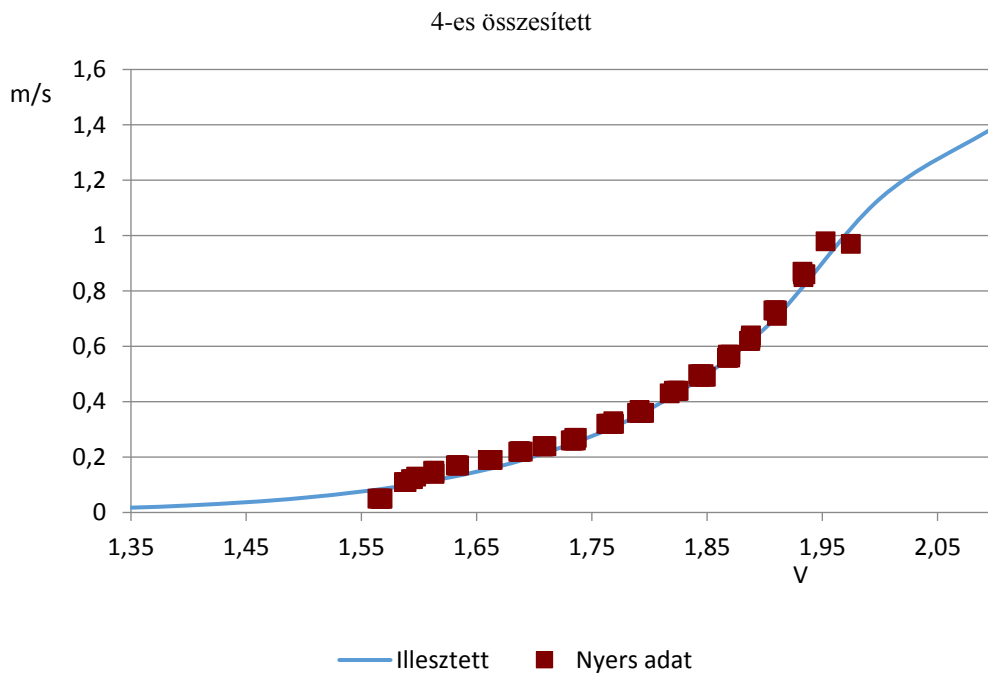


Diagram 4: A 4-es számú termo anemométer nyers adathalmaza és kalibrációs görbéje

A 4-es anemométer kalibrációs görbét az alábbi összefüggés adja:

$$\text{Ha } X < 1,96 \quad 0,0007 \cdot X^{10,681} \quad \text{Ha } X > 1,96 \quad 2,6008 \cdot X - 4,0683$$

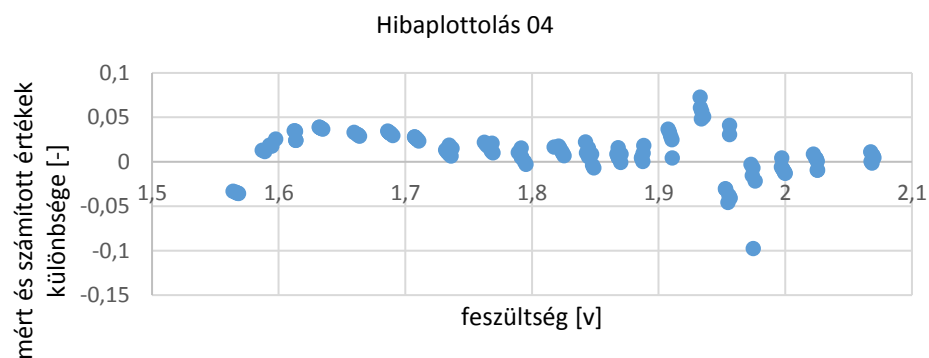


Diagram 5: A 4-es számú termo anemométer hibaplottolása

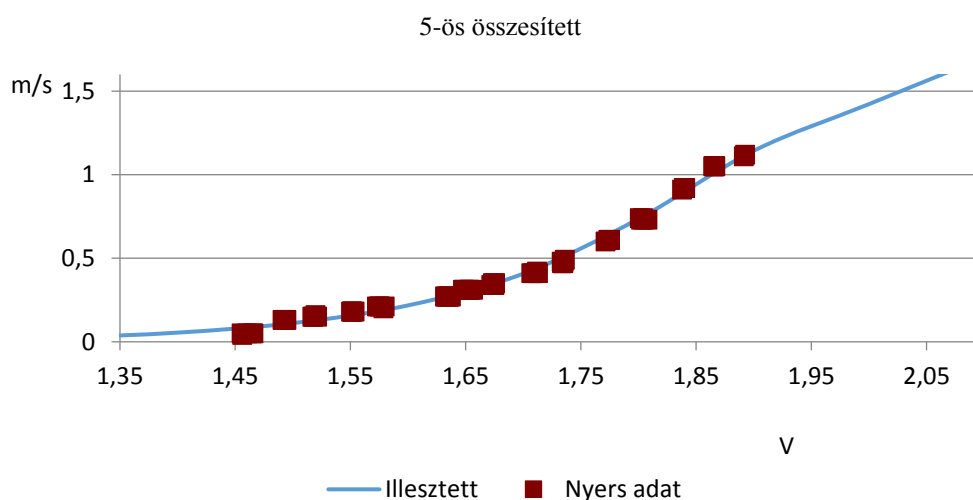


A módszerünk lényege, hogy a mért adatok alapján kirajzolt görbét kettő részre bontjuk és kísérletezéssel megkerestük azt a függvényt, amelyik a legjobban illeszkedik mért pontokra. Az alsó tartományokat hatvány függvényekkel, a felső tartományokat lineáris függvényekkel sikerült fedésbe hozni. Ellenőrzésképpen kiszámoltuk a mért és a feszültségből visszaszámolt értékek közti különbséget, ami alapján megállapítottuk, hogy a függvények segítségével 0,05-os pontossággal számítható az egyes anemométerek által szolgáltatott feszültségadatokból a légsebesség.

A görbék fontos tulajdonsága hogy általuk a kalibráció során mért tartományon kívüli értékek is extrapolálhatóak. Ez azért fontos, mert a szélcsatorna egy bizonyos minimum értéknél kisebb légsebességet nem tud generálni, viszont a hétköznapi méréseinknél gyakran nagyon alacsony tartományban mérünk a berendezéssel.

Kíváncsiságból a már kalibrált anemométereinket (1-es, és 2-es jelű műszerek) szintén tesztelés alá vontuk, és összehasonlítottuk az előző kalibráció által nyújtott adatokkal. A mérési eredmények azt mutatták, hogy a magasabb tartomány teljesen megfelelő, míg az alacsonyabb tartománybeli mérések maximálisan 5/100-os hibahatárral térnek el. Ez a hibahatár eleget tesz a követelményeknek. Sajnos a 3-mas számú szenzorunk ellenőrzésére nem jutott idő, de mivel az első kettőnél bebizonyosodott, hogy megfelelő volt a kalibrálás, valószínűsíthetjük, hogy ez a 3-asnál sincs másképp.

Az 5-ös és 6-os anemométer összevont diagramjai a következők. (*Diagram6, Diagram7*)



*Diagram 6: Az 5-ös számú termo anemométer nyers adatahalmaza és kalibrációs görbéje*

*Az 5-ös anemométer kalibrációs görbét az alábbi összefüggés adja:*

$$Ha X < 1,86 \quad 0,0017 * X^{10,327} \quad Ha X > 1,86 \quad 2,7945 * X - 4,1665$$

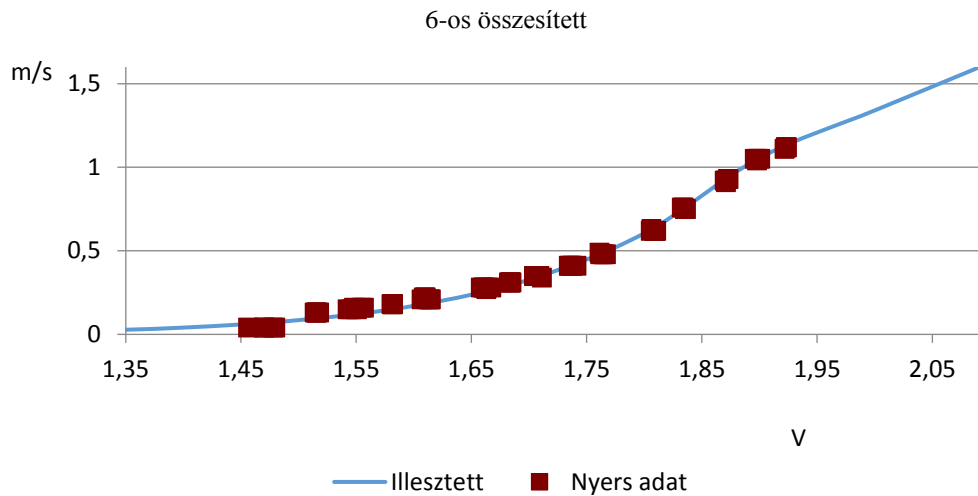


Diagram 7: A 6-os számú termo anemométer nyers adathalmaza és kalibrációs görbéje

A 6-os anemométer kalibrációs görbáját akövetkező összefüggés adja:

$$Ha X < 1,87 \quad 0,0011 * X^{10,736} \quad Ha X > 1,86 \quad 2,8452 * X - 4,3498$$

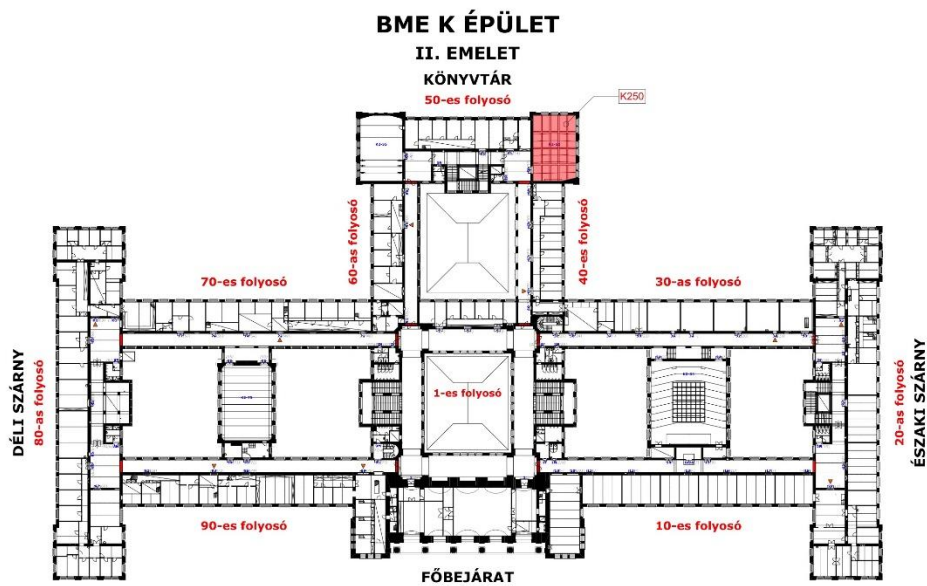
### 5.3. Tesztmérések

Ebben a fejezetben az egyik mérésorozatunk eredményét mutatjuk be, melyet a mérőállomásunk tesztelése során készítettünk.

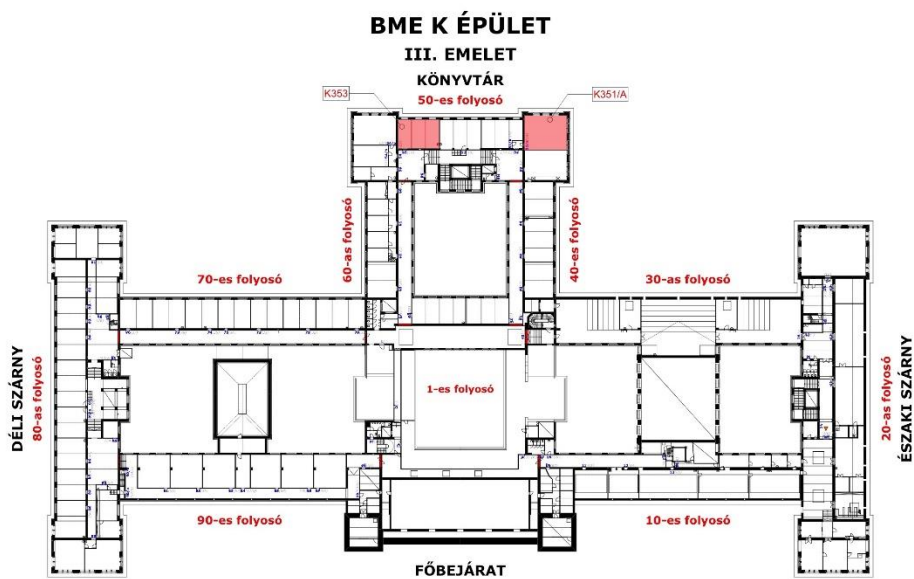
A 2015. évi Tudományos Diákköri Konferencián bemutatott kutatásunkra<sup>20</sup> megépített mérőberendezésünket felhasználva vizsgálatokat végeztünk a BME K épület egyes termeiben. A megválasztásnál igyekeztünk eltérő tulajdonságú helyiségeket meghatározni. Továbbá, több szempontból is előnyben részesítettük azokat a tantermeket, amelyekben mi magunk is hallgattunk tárgyakat. Az előbbieknél megfelelően a termék mérete valamint a befogadó képessége is különbözött.

A kiválasztott termék a K353 (kicsi, gyakorlati terem), a K351/A (közepes, előadó terem) és a K250 (nagy, előadó terem) lettek. (ábra2., ábra3.)

<sup>20</sup> Szalai Dóra – Kis Máté (2015)



Ábra 2: BME K épület második emelet alaprajza, jelölve a vizsgált teremmel



Ábra 3: BME K épület harmadik emelet alaprajza, jelölve a vizsgált termekkel

A termekről készült összes mérés kiértékelése megtalálható a „C” jelű mellékletekben. Az általános tapasztalataink összefoglalása előtt egy mérést részletesen is bemutatunk. A kapott mérési adatsorokat, valamint a számított PMV és PPD értékeket diagramok segítségével (Diagram8, Diagram9, Diagram10) ábrázoljuk.

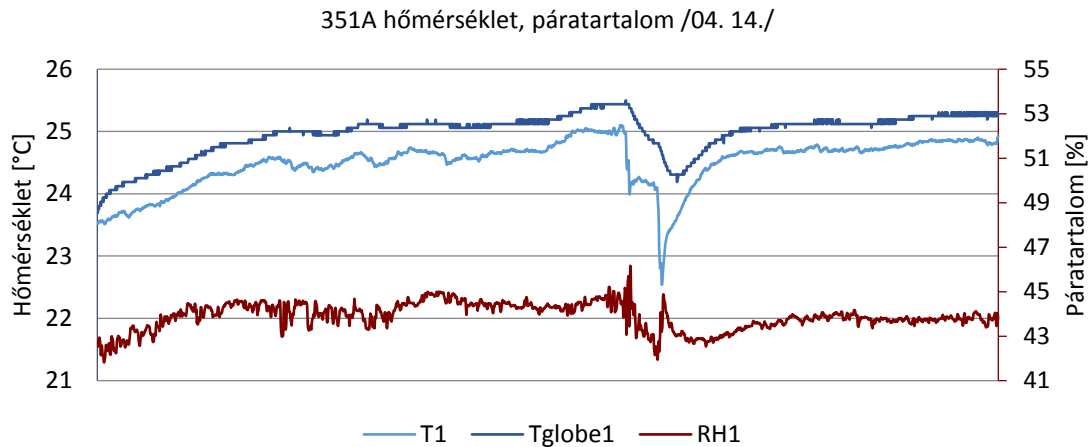


Diagram 8: A K351/A tanterem hőmérséklet és páratartalom adatai 2016. 04. 14-én

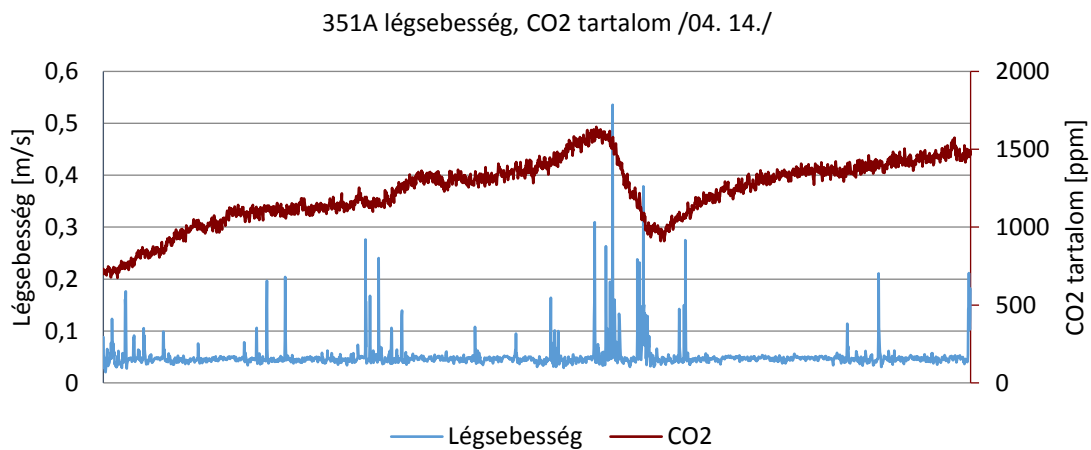


Diagram 9: A K351/A tanterem légsebesség és CO<sub>2</sub> adatai 2016. 04. 14-én

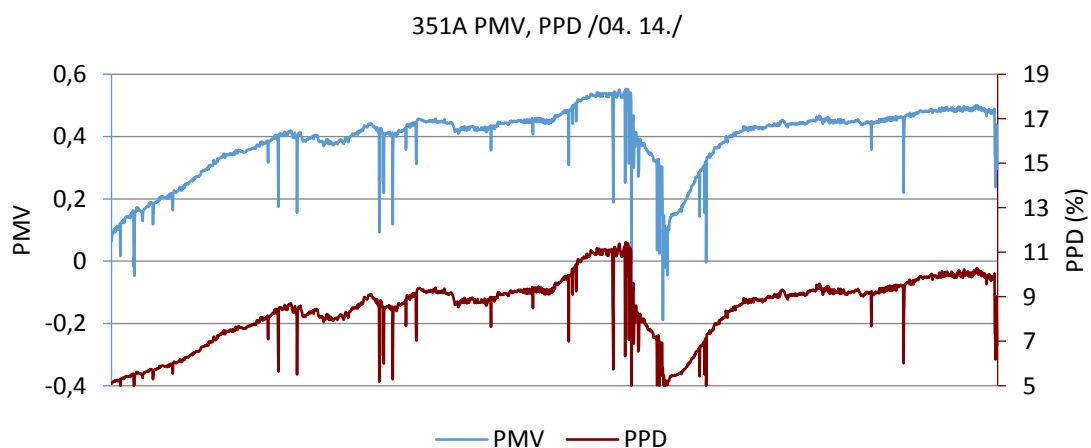


Diagram 10: A K351/A tanterem PMV, PPD diagramja 2016. 04. 14-én

A mérés alatt a külső hőmérséklet 16°C volt. Látható, hogy a hőmérséklet az óra előrehaladtával (kb. 1,5 óra leforgása alatt) 1,5 °C-ot emelkedik, majd egy hirtelen visszaesés figyelhető meg, ami egyértelmű jele az ablaknyitásnak. A szellőztetés hatása az összes mért adaton látható. A

hőmérséklet, a páratartalom és a CO<sub>2</sub> mennyiség értékei csökkennek, a szélsébség adatokon pozitív kiugrások figyelhetők meg. A PMV diagramján látható, hogy a tanóra kezdetekor közel ideálisak voltak a hőkomfortkörülmények, azonban a hallgatók hőleadása miatt felmelegedett a hőmérséklet és a PMV értéke elkezdett távolodni az ideálisnak tekintett értéktől. Ezen az ablakok nyitása segített. Láthatóan a nyitás után néhány perccel a PMV visszaesett a 0 értékhez, az elégedetlenek százalékos aránya pedig 5%-hoz közelített.

A K351/A teremben végzett mérések voltak a legsikeresebbek abból a szempontból, hogy ezeknél a méréseknél az óra népszerűsége miatt, a terem méretéhez képest viszonylag magas létszám mellett tudtunk méréseket folytatni. Ez azért kiemelten fontos, mivel építésként a felhasználóval együtt működő házakat tervezünk, tehát figyelembe kell venni a felhasználók által keltett módosító tényezőket. A K351/A teremben, melynek tájolása ÉNy-i, három mérést végeztünk tavasz elején és közepén. A műszert a teremben elől közepén, illetve belső oldali válaszfal mellett helyeztük el. Ebből kifolyólag feltételezhető, hogy közvetlen szoláris sugárzás csak kis mértékben befolyásolhatta a mérési eredményeket.

Általános megállapításaink A K351/A terem esetén:

- A mérések azt mutatták, hogy az óra alatt kb. 1,5-3°C-al emelkedik a hőmérséklet a hallgatók által leadott hő miatt. Tehát a terem melegszik és a várt módon emelkedik a páratartalom valamint szellőztetés hiányában a CO<sub>2</sub> koncentráció.
- A mérések időszakából és a hallgatók hőleadás miatt viszonylag elfogadható eredményeket kaptunk.
- Figyelembe kell venni, hogy mi az átmeneti időszakban végeztük a méréseket. Az időszak elején még működött a hallgatók által keltett kompenzáció, viszont észrevehető, hogy az időszak végén egyre inkább elkezd túlmelegedni a terem.
- A túlmelegedés mellett az alap légcseres szám sem kielégítő. A CO<sub>2</sub> magas és belátható, hogy ha az időjárást tekintve nem átmeneti időszakban vagyunk, akkor az ablakok nyitása valószínűleg nem elegendő a megfelelő hőkomfort kialakulásához. Télen túlságosan lehűtené, nyáron pedig óra végére nagymértékben túlmelegedne a terem.
- Nyilván valóan a BME nem egy mai épület és nem a mai elvárásoknak megfelelő, korszerű szellőztető rendszerrel van ellátva, de voltak szellőző rendszerei, amiket elépítettek. Ha ezeket a régi megoldásokat újra működésbe hoznánk és odafigyelnénk arra, hogy az általános iskolákban megszokott módon minden szünetben ki legyen szellőztetve, sokat lehetne javítani a saját és társaink hőkomfortérzetén és ezáltal az oktatás hatékonyságán is.

Általános megállapításaink A K353 terem esetén:

- A következő kiválasztott terem a K353-as volt. Az előzőnek szinte szomszédja, viszont valamivel kisebb és az óra gyakorlati volta miatt alacsonyabb létszámmal használt helyiség volt.
- Ez a terem a nyugati homlokzaton helyezkedik el és a másik kettő, épületsarkon lévővel ellentétben ennek csak egy homlokzatra eső oldala van. A mérőállomás itt a homlokzati fallal átellenes oldalon lévő belső oldali válaszfal mellett került elhelyezésre.
- Ennél a mérésnél a felmelegedés miatt már nagyobb hatást lehetett észre venni a PMV ill. PPD grafikonokon.
- Itt a megfelelő hőkomfortérzet szinten tartása csak folyamatosan nyitva tartott ablakok mellett volt lehetséges. Ez azonban időszak függő, ezért valószínűsíthető, hogy létezik olyan külső időjárási körülmény, amikor ez nem jelentene megoldás. Így ennél a teremnél is szükséges lenne megoldást találni a hőkomfortkörülmények minden időszakban való kielégítésére, elsősorban a szellőztetés tekintetében.

Általános megállapításaink A K250 terem esetén:

- A harmadik terem, ami a K250-es előadó volt, sajnos nem mutatott túlzottan változatos eredményeket. A terem méretéhez képest az órát kevesen látogatták, ezért az ott tartózkodók nem igazán befolyásolták a mérési eredményeket.
- Ebben a teremben a mérőállomás elöl, a homlokzati fal mellett került elhelyezésre, úgy hogy két ablak között állt és egy faltest kitakarta a direkt szoláris sugárzást.
- A grafikonokból talán az a legnagyobb tanulság, hogy az egyes órák közötti szünetekben nagy jelentősége van a szellőztetésnek. Több mérésen is látható, ahogy a mérés kezdetekor jelzett CO<sub>2</sub> értékek csökkennek. Ez arra enged következtetni, hogy a teremben lévő korábbi órán jóval magasabb létszámban voltak jelen a hallgatók, majd szellőztetés nélkül következett a soron lévő előadás. A nap végére, még a nagyobb termekben is, olyan mértékben elhasználódik a levegő, hogy annak kedvezőtlen hatása lehet az ott tartózkodókra. Gyakori hatása lehet fáradékonyság, figyelemhiány, amik az oktatás legfőbb ellenségei.
- Ahogy ezt a többi teremnél is említettük, itt is kihangsúlyozzuk, hogy az eredmények azt mutatják, hogy a gépészeti rendszer elégtelen, a meglévő nem gépészeti rendszerek is éppen csak az átmeneti időszakban tudnak javítani a hőkomfortkörülményeken.
- Teljes átgondolás lenne szükséges.

Érdekességképpen a mellékletekben szintén található egy adatsor, amit egy téli vizsgaidőszak keretén belül készítettünk. A K234-es tanteremről egyelőre csak az az egy mérésünk van, viszont kimagaslóan negatív volta miatt szeretnénk felhívni a figyelmet az eredményeire. Az állomásunk a terem hátsó, legmagasabb részén volt elhelyezve. A mérés egy vizsganapon készült. Ennek megfelelően a nagy méretekkel rendelkező teremben sok hallgató foglalt helyet, azonban a számottevő létszám ellenére sem sikerült felmelegíteni a környezetet annyira, hogy azzal elfogadható hőkomfortérzet jöhessen létre. A mérések alapján a teremben  $17^{\circ}\text{C}$  uralkodott, így nem meglepő, hogy a PPD adatok alapján az elégedetlenek százalékos megoszlása 90% körüli értéket mutatott. Mindez annak ellenére volt így, hogy egy vizsgaszituációt vizsgáltunk meg, ahol feltételezhető lett volna, hogy az izgatottság miatt a teremben helyet foglaló hallgatóknak az átlagosnál nagyobb mértékben kellett volna a hőleadással befolyásolni a mérési adatokat.

## 6. ZÖLDÁRNYÉKOLÓVAL TAKART ÜVEG HOMLOKZAT MÖGÖTTI HŐ HŐKOMFORT VIZSGÁLATA AZ ODOO-BAN

### 6.1 Zöldárnyékolók

Habár az építész társadalmat kissé megosztja a növények épületekbe való integrálása, az szinte biztos, hogy mindenki hallott már a növények kedvező épületfizikai hatásáról. A zöldfalak az utóbbi időben egyre népszerűbb a téma, de a mért fizikai paramétereken alapuló publikációk elsősorban energetikai jellegűek és nagyon kevés az olyan cikk, ami zöldárnyékolókkal foglalkozik.<sup>21,22,23,24</sup> Úgy gondoltuk, hogy ezért lenne ideális mérőállomásainkkal kézzel fogható adatokon keresztül betekintést nyerni a növényi árnyékolók témakörébe.

Az árnyékolók fontos tulajdonsága<sup>25</sup>, hogy:

- a lehető legkisebb energiahányadot engedje át;
- a lehető legnagyobb hányadot verje vissza;
- a lehető legkevesebbet nyelje el, mert az elnyelt energia sugárzása a belső tér felé többlet hőterhelést idézhet elő, ezért
- amit elnyel, azt lehetőleg kifelé adja le.

Már az ókorban is telepítettek növényeket falakra, illetve tetőkre. Az ókorinál azonban sokkal kardinálisabb kérdés a mai épületeink védelme, főleg ha figyelembe vesszük azt, hogy kb. egy évszázad leforgása alatt az átlagtagos 15%-os üvegezési arány az 1980-as évek közepére akár 80 % fölé is emelkedhetett és mára már elérheti a 100%-ot is. Ha ehhez még azt is hozzávesszük, hogy ezeknek az épületeken jelentős része városi környezetben található, ahol a városi klíma a hősziget-jelenség miatt 3-5 °C-kal magasabb léghőmérsékletet eredményez a természetes környezetben mért értékeknél, de a nagyvárosokban és így például Budapest egyes területein meghaladhatja akár a 8-12 °C-os különbséget is, akkor érezhetjük igazán a probléma súlyosságát.<sup>26,27,28</sup> Sajnos a városi lét sokszor egyet jelent a növénytől való eltávolodással és az emberek egyre kevesebbet tudnak a növényekről, pedig kár lenne nem kihasználni a növények

---

<sup>21</sup> Ip, Kenneth - Lam, Marta - Miller, Andrew (2010)

<sup>22</sup> Jaafar, Badrulzaman - Said, Ismail - Md Reba, Mohd Nadzri – Rasidi, Mohd Hisyam (2013)

<sup>23</sup> G. Papadakis - P. Tsamis – S. Kyritsis (2001)

<sup>24</sup> Pérez, Gabriel - Rincón, Lidia - Vila, Anna - M. González, Josep - F. Cabeza, Luisa (2011)

<sup>25</sup> Dr. Gábor, László (1979)

<sup>26</sup> Pataky, Rita [DOI: 10.3311/PPar.8913]

<sup>27</sup> Dr. Széll, Mária (2001)

<sup>28</sup> Pataky, Rita (2011)



nyújtotta lehetőségeket.

A teljesség igénye nélkül sorra vesszünk néhányat a növényárnyékolók pozitív tulajdonságáról.<sup>29</sup>

1. A növényi árnyékolók a rájuk eső globális sugárzás 25-60%-nyi hányadát fotoszintézisre, párologtatásra és evapotranszpirációra fordítják. Könnyen belátható, hogy erre egyetlen más árnyékoló sem képes a növényeken kívül.
2. A növények a napfény hatására fotoszintetizálnak: levélkéik automatikus, napérzékelő, mozgó lamellaként a fény felé fordulva megemelkednek. A megemelkedő levelek és az üvegezett szerkezet között kialakulhat a „kéményhatás”, légmozgás indulhat meg - még akkor is, ha az üvegezett felülethez közel kerül az árnyékoló - így létrejöhet a hőelvonás.
3. A levelek többrétegű struktúrát alkotnak, mely úgy képez zárt felületet, hogy közben a fény áthatolhat rajta. A növényzet ezáltal nyáron csökkenti a direkt szoláris sugárzás mértékét.
4. Az eddig végzett kísérletek alapján megállapítható, hogy bár a növények esetén viszonylag magas a szakirodalmi adatok alapján az elnyelt energiahányad, a legmelegebb órákban mégsem melegednek a léghőmérséklet fölé. Bár a szakirodalmi adatok alapján a növények esetén viszonylag magas a globális szoláris sugárzásból elnyelt energiahányad, a legmelegebb órákban sem melegednek a léghőmérséklet fölé.
5. A legmelegebb nyári nappali időszakokban a növényárnyékolóban a relatív páratartalom meghaladja a levegő páratartalmát. A fokozott párologtatás hőt von el környezetétől, így alacsonyabb léghőmérsékletet eredményez.
6. A zöldárnyékoló olyan időszakban is védheti az épületet, amikor egy másfajta árnyékolót fel kellene húzni, hogy a szellőkések le ne tépjék. Ugyan ez csak akkor tud megfelelő lenni, ha a támszerkezet méretezésénél figyelembe vettük a szelet.

---

<sup>29</sup> Pataky, Rita [DOI: 10.3311/PPar.8913]

## 6.2 Kutatási program

A 2012-es "Solardecathlon Europe" versenyen sikeresen szerepelt BME csapat „ODOO” nevű épülete<sup>30</sup> a K épület udvarán áll jelenleg. Az épületen folyó mérések közül az egyik, a „Növényárnyékolók hatásának vizsgálata helyszíni mérésekkel” elnevezésű, Pataky Ritához köthető. A kutatást az Odoo épületének egyirányba néző, nagyságrendileg délre tájolt üvegfala teszi lehetővé. A tolóajtók előtt két növényárnyékolót helyeztek el.<sup>31</sup>

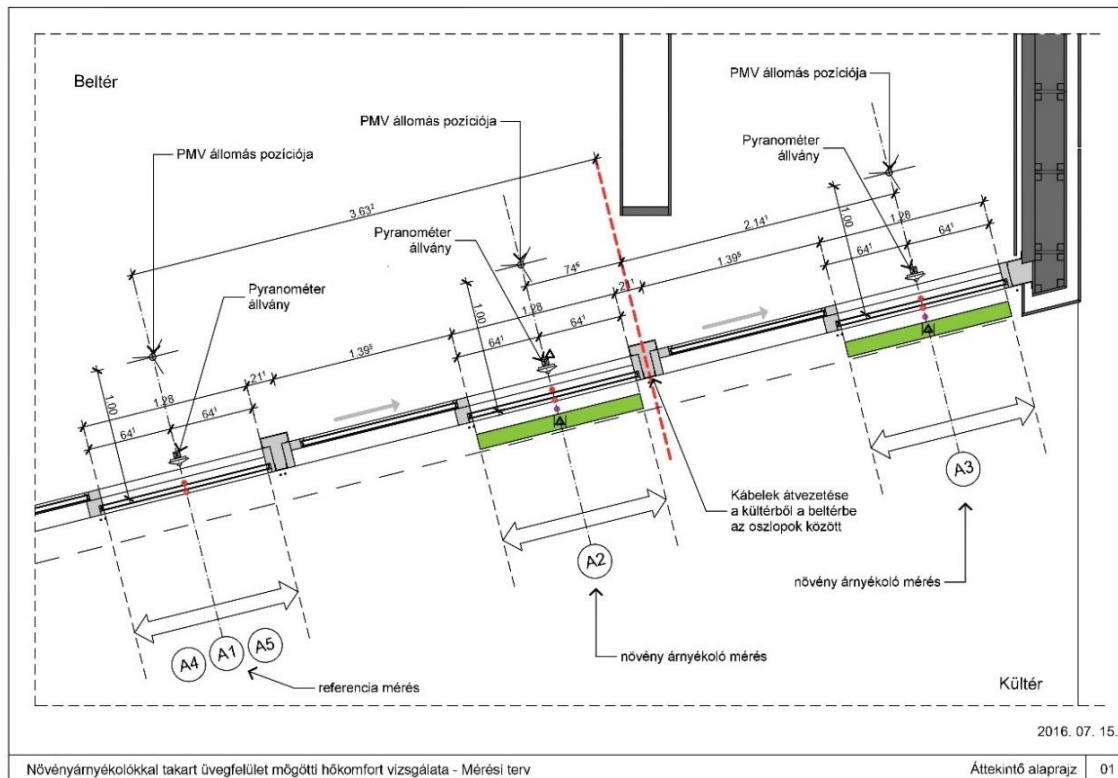
Ehhez a kutatáshoz csatlakozva lehetőségünk nyílt arra, hogy azonos paraméterű üvegszerkezet előtt, azonos mérési körülmények között különböző növényárnyékolók belső térre, annak komfortjára gyakorolt hatását mérjük, illetve összehasonlítsuk árnyékolóval nem rendelkező üvegfelülettel és vászon árnyékoló hatásával. Választ keresünk arra a kérdésre, hogy a belső téri komfort biztosítható-e gépészet (pl. klímagépek, hűtött felületek, gépi szellőztetés, légkondicionálás) nélkül, illetve mennyit lehet megtakarítani azzal, ha mesterséges légkondicionálás helyett zöld, illetve textil árnyékolókat alkalmazunk?

Az Odoo épületének három egyforma üveg tolóajtaja lehetőséget biztosít összehasonlítható mérések elvégzéséhez (lásd: 4 ábra). Az egyes szituációk az alábbiak:

- az első felület maga az árnyékolatlan üvegszerkezet, ami egyben a referenciaméréseket is biztosítja – A1;
- a másik üvegfelület előtt segédszerkezetre futtatott, fiatal hajtásokról nevelt, második éves vegetációs periódusában lévő lombhullató növényből (*Parthenocissus quinquefolia*, *Parthenocissus tricuspidata*, vadszőlő) kialakított növényárnyékoló található, ennek a növénynek a levélsűrűsége alacsony, sok az átfedetlen rés köztük – A2; (7. kép)
- a harmadik üvegfelület előtt segédszerkezetre futtatott mostanra hároméves előnevelt örökzöld növényből (*Hedera helix*, közönséges borostyán) kialakított növényárnyékoló található, ennek a növénynek a levelei sűrűek, dúsak – A3; (6. kép)
- a referencia üveg felülete előtt a beépített, meglévő vászonroló fixen leengedve – A4; (8. kép)
- a referencia üveg felülete előtt a beépített, meglévő vászonroló manuálisan vezérelve – A5.

<sup>30</sup> Pataky – Áts - Leskó – Birtalan (2014)

<sup>31</sup> Pataky [DOI: 10.3311/PPar.8913]



4. ábra: Odoo üvegfala előtt elhelyezett növényárnyékolók és műszerek



7. kép: Borostyán zöldárnyékoló



8. kép: Vadszőlő zöldárnyékoló



9. kép: Külső vászon árnyékoló

Mivel a kutatás során két komfortmérő állomás kialakítására nyílt lehetőség, így a méréseket párosával, heti periódusban tudtuk végezni. Ez összességében négy féle árnyékoló szerkezet, és az etalon üveg összehasonlítását teszi lehetővé.

Nyolc héten keresztül mértünk az alábbi összehasonlításokban. (4 táblázat):

HÉT	Időszak	TC1	TC2
1. hét	2016.07.26 – 2016.08.01	A3	A2
2. hét	2016.08.01 – 2016.08.08	A3	A1
3. hét	2016.08.08 – 2016.08.15	A2	A1
4. hét	2016.08.15 – 2016.08.24	A2	A1
5. hét	2016.08.24 – 2016.08.30	A2	A4
6. hét	2016.08.30 – 2016.09.07	A3	A4
7. hét	2016.09.07 – 2016.09.21	A2	A4
8. hét	2016.09.21 – 2016.09.28	A2	A5

4. táblázat: Mérési hetek és az összehasonlításban mért szerkezetek

A1	A2	A3	A4	A5
árnyékolatlan üveg	vadszőlő árnyékoló	borostyán árnyékoló	külső vászon árnyékoló	manuálisan vezérelt külső vászon árnyékoló

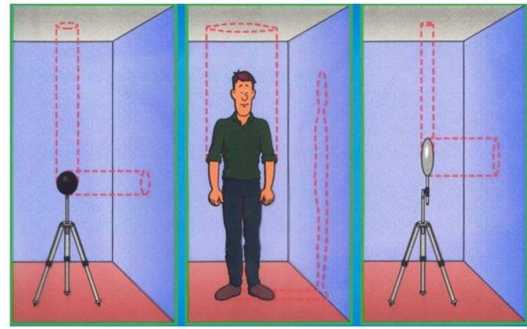
5. táblázat: színek a táblázatok értelmezéséhez

A PMV mérőállomások az aktuális üveg mögé, attól 1,00 m távolságra tettük, a gömbhőmérőket a padlóhoz képest 1,10 m magasra, ami a szabványban meghatározott mérési magasság ülő ember esetében. (lásd: 4. ábra, 5. ábra)

A PMV állomáson lévő gömb színe jellemzően matt fekete, mert így közelíthető legjobban a fekete test. Általános mérések esetén azonban nincs jelentős szoláris hatás a vizsgált környezetben. Mivel mi az üveg mögött közvetlenül kialakuló komfortot vizsgáltuk, így jelentős mértékű, és hosszabb időtartamban érte a berendezést (illetve a szimulált embert) szoláris sugárzás. Emiatt a matt fekete gömb nagyon felmelegedne, és hibás eredményeket mérne. Ezért ilyen esetekben RAL 7001-es, szürke színű gömböt célszerű inkább alkalmazni. Fontos a mérőeszköz formája. Az álló embert legjobban ellipszoid alakú sugárzási hőmérővel lehet szimulálni (10. kép), de mi ülő ember hőkomfortját mértük, így gömb alakú mérőeszközt használtunk. A 5. ábra szemléletesen mutatja be a két forma közötti különbséget.



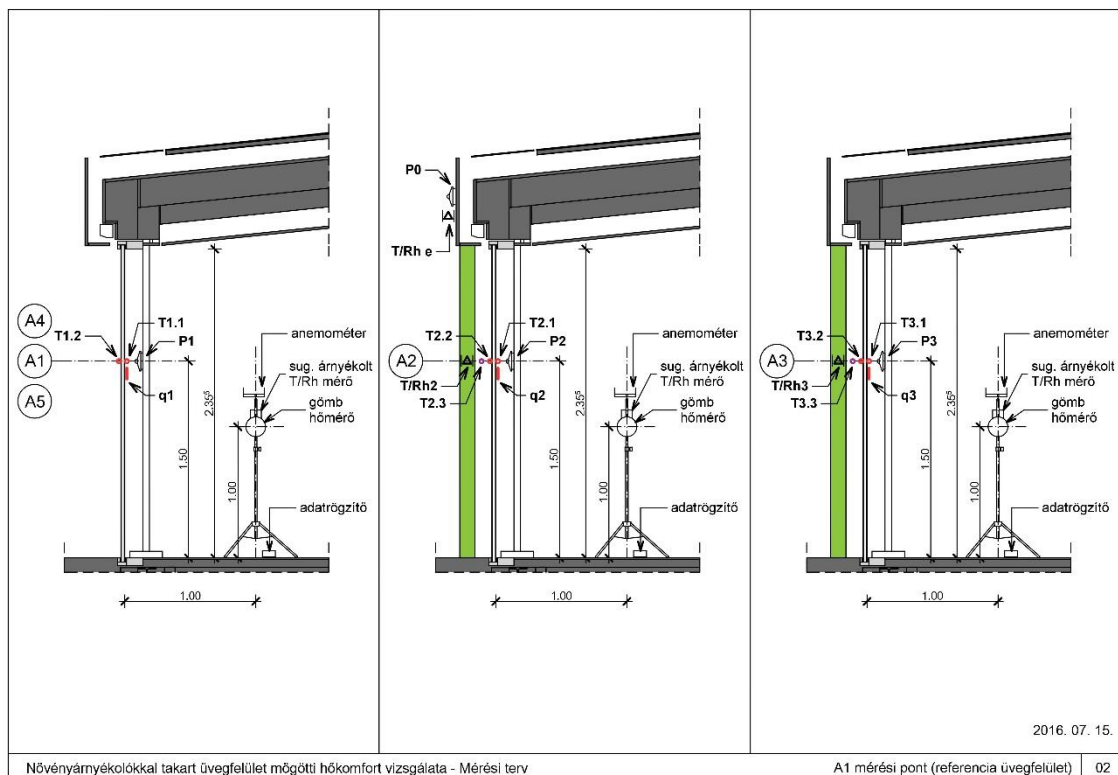
10 kép: Hőkomfort mérő állomás, szürke sugárzáshőmérővel (külföldi példa)<sup>32</sup>



5. ábra: gömb és ellipszoid alakú sugárzási hőmérő magyarázó ábra<sup>33</sup>

A két PMV mérőállomásunkkal a következő adatokat mértük 5 másodperces időközökkel:

- belső léghőmérséklet,
- belső páratartalom,
- a belső téri légsebesség;
- közepes sugárzási hőmérsékletet;
- CO<sub>2</sub> tartalom.



6. ábra: Méréállomások és Pyranométerek pozíciója

<sup>32</sup> Dantec Dynamics (2016)

<sup>33</sup> Hui (2015)

Pataky Rita rendelkezésünkre bocsátotta a kutatásából származó méréseket. Ennek során az alábbi műszerekkel a következő adatok kerülnek rögzítésre 1 perces időközökkel<sup>34</sup>:

- a külső térben egy Pyranométer (mérési tartomány: 0.3-2.8(3) [ $\mu\text{m}$ ], 0-1500 [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]), mellyel az üveg függőleges síkjára érkező globális szoláris sugárzás mérhető;
- az árnyékolókkal vizsgált és referencia ajtószárny mögött, a belső térben, az üveggel párhuzamosan egy-egy Pyranométer (mérési tartomány: 0.3-2.8(3) [ $\mu\text{m}$ ], 0-1500 [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]), mellyel az árnyékolóval társított üvegszerkezet, vagy az üvegszerkezet által át bocsátott szoláris sugárzást (direkt át bocsátás) mérhető;
- a mért üvegtáblák külső és belső felületein egy-egy felületi hőmérő (thermoelem), melyekkel az üvegtáblák üvegközépi külső-belső felületi hőmérséklete mérhető;
- az ablaktáblák belső felületén hőáramsűrűség mérők, melyekkel az üvegközépi hőáramsűrűség mérhető;
- a növényárnyékolók és az üvegfelület között egy sugárzástól védett hőmérővel, illetve páratartalom mérővel a két szerkezet között kialakuló léghőmérséklet és páratartalom mérhető annak érdekében, hogy összehasonlítható legyen a kültérben és a beltérben kialakuló léghőmérséklet;
- a kültéri Pyranométer mellett sugárzástól védetten a külső léghőmérséklet-, illetve páratartalom mérő, mellyel a külső léghőmérséklet és páratartalom mérhető;
- a belső térben elhelyezett páratartalom mérő, illetve hőmérsékletmérő a beltéri léghőmérséklet és páratartalom mérésére.

---

<sup>34</sup> Pataky Rita (DOI: 10.3311/PPar.8913)

## 7. EREDMÉNYEK, ÉRTÉKELÉS

### 7.1 Kiértékelés menete

A célunk a különböző árnyékoló típusok összehasonlítása volt egymással, illetve az árnyékolatlan etalon üveggel, beltéri hőkomfort és hűtési energiaszükséglet szerint.

A mért adataink kiértékelésénél az alábbi lépéseket végeztük el:

1. PMV kiszámítása.
2. Hőkomfort mérőállomás eredményeinek rekonstrukciója számítással az indirekt mérésekből (Pataky Rita mérései) – olyan mérések, amik egy energetikai szimulációnál is rendelkezésre állnának.
3. Operatív hőmérséklet kiszámítása.
4. Mérés és számítás összehasonlítása.
5. Felület párok hőkomfort szerinti teljesítményének összehasonlítása.
6. Megtakarítás számítás.

Az egyes lépések részletesen:

1. PMV kiszámítása

A PMV számításához a (1)-es képletet használtuk, ahol az embertől függő paramétereknél 1 met tevékenységértékkel, és 1 clo ruházattal számolunk. Ezekkel az értékekkel kvázi egy irodaépület üveghomlokzata mögött ülő embert tudunk szimulálni.

2. Hőkomfort mérőállomás eredményeinek rekonstrukciója számítással

Pataky Rita kutatásának méréseit rendelkezésünkre bocsátotta, így meg volt minden szükséges adat, hogy számolni tudjuk az árnyékolók belső téri hőkomfortra gyakorolt hatását.

3. Operatív hőmérséklet kiszámítása

A PMV számítása mellett a másik hőkomfortkifejezésre alkalmas értéket, az operatív hőmérsékletet is kiszámítottuk. Az operatív hőmérsékletet mindig az aktuális pozícióban lévő mérőállomáson elhelyezett gömb helyzetében vizsgáltuk, mert a gömb pozíciója adja az ember pozícióját. Ehhez előtte több számítást is el kellett végezni. Első lépés ezek közül a közepes sugárzási hőmérséklet meghatározása.<sup>35</sup>

---

<sup>35</sup> Dr. Magyar (2016)

$$T_{\text{mrt}} = \sqrt[4]{\sum_{i=0}^n \varphi_{\text{EFI}} * \theta_{\text{Fi}}^4} - 273,15 \quad (6)$$

ahol:

$T_{\text{mrt}}$  - közepes sugárzási hőmérséklet [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\theta_{\text{Fi}}$  - környező határoló felületek hőmérséklete [K]

$\varphi$  - a test súlypontjába helyezett függőleges felületelem és a határoló felületek közti besugárzási tényező [-]

$\varphi$  érték számítása:

$$\varphi = \frac{1}{F_1} \int_{F_1} \frac{1}{\pi} \int_{F_2} \frac{\cos\beta_1 \cos\beta_2}{r^2} \quad (7)$$

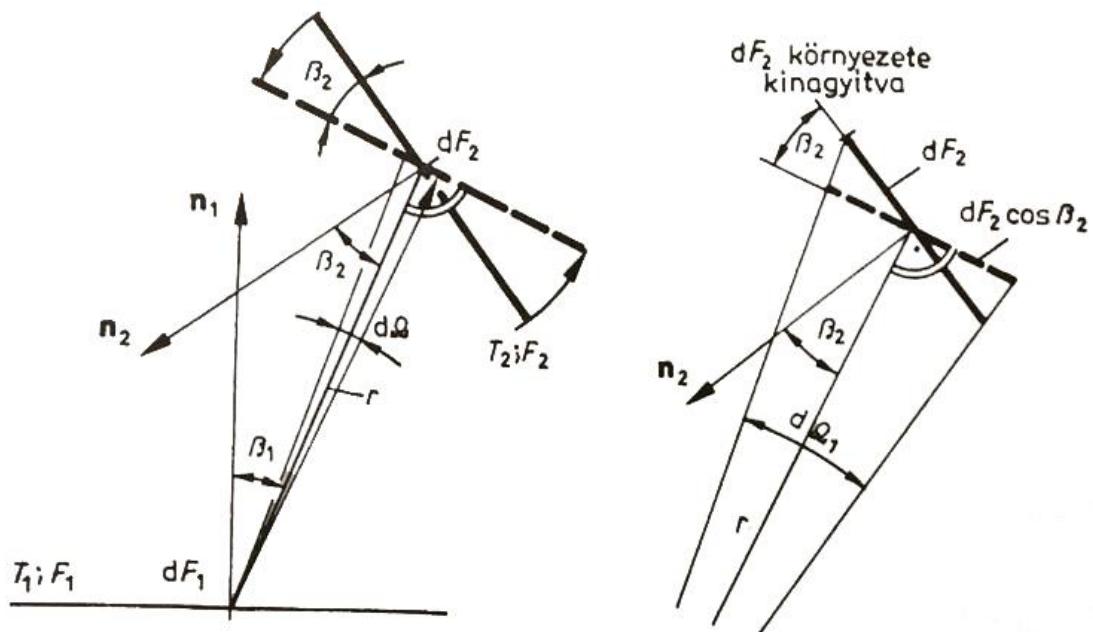
ahol:

$F_1$  - környező felület [ $\text{m}^2$ ]

$F_2$  - vizsgált felület [ $\text{m}^2$ ]

$\beta_1$  és  $\beta_2$  a 6. ábra alapján [ $^{\circ}$ ]

$r$  - a két felület közötti távolság [m]



7.ábra:  $\varphi$  érték számításához magyarázó ábra.<sup>36</sup>

<sup>36</sup> Bánhidi László – Kajtár László: hőkomfortelmélet. Műegyetemi Kiadó, ISBN 963 420 633, (2000)



A „ $\varphi$ ” tényezőt mindhárom pontban (gömb helyzete a különböző üvegfelületek mögött) a határoló szerkezetektől mért távolság és a felületek méretei alapján lehet számolni az előbbi kettős integrálos képlet ((7) képlet) alapján. Mivel ez egy bonyolult számítás, ezért Bánhidi László – Kajtár László által publikált diagramok adatait használtuk, melyekről leolvashatóak a  $\varphi$  értékek<sup>37</sup>. (A melléklet)

Az üveg határoló szerkezet felületi hőmérsékletét mértük. Az előbbin kívüli függőleges térelhatárolók felületi hőmérsékletét, mivel nem érte közvetlen napsugárzás és így nem is hatott rá szoláris nyereség a mindenkori léghőmérséklettel közelítettük, hasonlóan jártunk el a födém esetében is. A padló felületi hőmérsékletét viszont a jelentős szoláris sugárzás érte, és nem voltak mérési adataink, így ezt számításokkal közelítettük.

A padló felületi hőmérsékletét lehetséges lenne szimulációval meghatározni, de ezé túl bonyolult lett volna, így inkább közelítéssel számítottuk. Felírtuk a padló hőegyensúlyát, mely konvekciós hőcserélésből, sugárzásos hőcserélésből és szoláris nyereségből tevődik össze. A padló hőátaroló tömegét elhanyagoltuk, így a következő képletet írtuk fel:

$$0 = -q_{\text{konv}} - q_{\text{kisugár}} + q_{\text{besugárzás}} + q_{\text{szolár}}$$

$$0 = h_c(\theta_{\text{air}} - \theta_p) - \varepsilon_{\text{padló}}\sigma\theta_p^4 + \varepsilon_{\text{padló}}\sigma\theta_{\text{mrtp}}^4 + \alpha_{\text{padló}} * I * \cos(\text{zenith}) \quad (8)$$

Ahol:

$h_c$  – padló konvektív hőátadási tényezője 0,6 [W/m<sup>2</sup>K]

$\theta_{\text{air}}$  – Léghőmérséklet [K]

$\theta_p$  – Padló felületi hőmérséklete

$\varepsilon_{\text{padló}}$  - padló emissziós tényezője, 0,9[-]

$\sigma$  - Stefan–Boltzmann-állandó 5.67\*10<sup>-8</sup> [W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>]

$\theta_{\text{mrtp}}$  – padló helyzetében a közepes sugárzási hőmérséklet [K]

$\alpha_{\text{padló}}$  – padló szoláris abszorpciós tényezője 0,5[-]

$I$  – a vizsgált üvegfelületen átbocsátott direkt globális szoláris sugárzás

zenith - a nap függőlegeshez képest bezárt szöge [°]

A padló felületi hőmérsékletéhez ki kell számolni a közepes sugárzási hőmérsékletet, ahogy az a (2)-es képletben szerepel. A padló teljes felületére kell értelmezni, hogy a többi felületet milyen térszög alatt látja (a gömbök esetében egy pontra volt). Ebben az esetben a „ $\varphi$ ” értéket az egyes felületek többihez viszonyított arányával kell számolni.

<sup>37</sup> Bánhidi – Kajtár (2002)

A közepes sugárzási hőmérséklet kiszámítása után egy szoláris taggal korrigált közepes sugárzási hőmérsékletet számoltunk, mivel a nap szoláris nyeresége nagyban befolyásolja a hőkomfortot, így az operatív hőmérsékletet is.

Bryn – Smidsrød<sup>38</sup> cikke egy ember hőkomfortérzetét vizsgálja az üvegfelület mögött. Szerepel benne egy képlet mely a szoláris nyereség korrekciójáról szól, de miután számoltunk vele, rájöttünk, hogy a mi esetünkre nem teljesen jó, így felírtunk egy hőegyensúlyi képletet a mi esetünknek megfelelően, méghozzá úgy, hogy felírtuk a gömb hőegyensúlyát. Az egyensúly a következő paraméterek szerint áll be: kisugárzás, besugárzás, szoláris nyereség és konvekció:

$$0 = \varepsilon_g \sigma \theta_{mrts}^4 A_g - \theta_{mrt}^4 \varepsilon_g \sigma A_g - (1 - shade) * \cos(AOI) I \alpha_g A_g / 2 + hc A_g (\theta_{mrt} - \theta_{air}) \quad (9)$$

ahol:

$\varepsilon_g$  - gömb emissziós tényezője, 0,9[-]

$\sigma$  - Stefan–Boltzmann-állandó  $5.67 \cdot 10^{-8}$  [W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>]

$\theta_{mrts}$  - szoláris taggal korrigált közepes sugárzási hőmérsékletet [K]

$A_g$  – gömb felülete  $0,15^2 \pi$  [m<sup>2</sup>]

$\theta_{mrt}$  - közepes sugárzási hőmérsékletet [K]

shade – árnyékolási tényező

AOI - az ODOO üveghomlokzat normálisához képest a nap beesési szöge

I – a vizsgált üvegfelületen átbocsátott direkt globális szoláris sugárzás

$\alpha_g$  - gömb hőmérő abszorpciósi tényező 0,9[-]

$\theta_{air}$  – Léghőmérséklet [K]

$hc$  – padló konvektív hőátadási tényezője [W/m<sup>2</sup>K]

hc érték számítása:

$$hc = 1.4 * ((\text{abs}(\theta_{air} - \theta_{mrts}) / D_g)^{0.25} \quad (10)$$

ahol:

$\theta_{air}$  – Léghőmérséklet [K]

$\theta_{mrts}$  - szoláris taggal korrigált közepes sugárzási hőmérsékletet [K]

$D_g$  – gömb átmérője [cm]

---

<sup>38</sup> Bryn – Smidsrød (2012)

A gömb emissziós tényezőjét mivel mi készítettük, és nem termék, ami megadná az értékeit, mi a sajátunkat becsülni tudtuk. A gömb abszorpciós tényezőjével hasonlóan jártunk el, megbecsültük Ida Bryn - Smidsrød<sup>39</sup> cikke alapján.

Ezek után számíthatjuk az operatív hőmérsékletet:

$$T_o = \frac{\alpha_s \theta_{mrts} + \alpha_c \theta_{air}}{\alpha_s + \alpha_c} - 273,15 \quad (11)$$

ahol:

$\alpha_s$  - a sugárzásos hőátadási tényező

$\alpha_c$  - a konvekciós hőátadási tényező

$\theta_{mrts}$  - szoláris taggal korrigált közepes sugárzási hőmérsékletet

$\theta_{air}$  – levegő hőmérséklete

$\alpha_s$  érték számítása:

$$\alpha_s = 4\varepsilon\sigma + \frac{Ar}{Ad} \left[ 273,15 + \frac{T_{cl} + T_{mrts}}{2} \right] \quad (12)$$

ahol:

$\varepsilon_g$  - emissziós tényező, 0,9[-]

$\sigma$  - Stefan–Boltzmann-állandó  $5.67 \cdot 10^{-8}$  [W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>]

$\frac{Ar}{Ad}$  – álló ember esetén ennek értéke 0,70 [-]

$T_{cl}$  – az ember ruházatának hőmérséklete, mely megegyezik a gömb hőmérsékletével [°C]

$T_{mrts}$  - szoláris taggal korrigált közepes sugárzási hőmérsékletet [°C]

$\alpha_c$  érték számítása:

$$\alpha_c = hc \left( \frac{p_t}{101,33} \right)^{0,55} \quad (13)$$

ahol:

$hc$  – álló ember esetén 4,0 [-]

$p_t$  – légköri nyomás [kPa]

#### 4. Mérés és számítás összehasonlítása

A mért és számított adatokat diagramon szemléletesen is bemutatjuk, a D mellékletben minden hetet külön-külön elemeztünk.

---

<sup>39</sup> Bryn – Smidsrød (2012)

### 5. Felületpárok hőkomfort szerinti teljesítményének összehasonlítása

A különböző árnyékoltságú felületek eredményeinek összehasonlítása, melyet később (7.2 fejezet) részletezünk.

### 6. Megtakarítás számítás

Kutatásunk során elemezni kívántuk a zöldárnyékolók hatását, igyekeztünk objektivizálni és számszerűsíteni az árnyékolók hőkomfortra gyakorolt hatása, azok teljesítményét, hogy minél szélesebb körben, akár laikus emberek számára is érthető és egyértelmű legyen.

Ez egy komplex probléma, mert a hatások összetettek, és nehéz "megfogni", szemléltetni.

Arra jutottunk, hogy megvizsgáljuk, hogy ugyanahhoz az operatív hőmérséklet eléréséhez mennyi hűtési energiát kellett volna befektetnünk. Nyári időszakot vizsgálva „t<sub>o</sub>”-t 26 °C-ra vettük.

Először kiszámoltuk az operatív hőmérséklet képletét átrendezve, hogy mekkora léghőmérséklet lett volna szükséges a 26 °C-os operatív hőmérséklet tartásához:

$$T_{airq} = \frac{(\alpha_s + \alpha_c)t_o - \alpha_s T_{mrts}}{\alpha_c} \quad (14)$$

Ezután a hűtési energiaigény számítására olyan képletet írtunk fel, mely a szoláris nyereségből, a felületek hőátbocsátó képességéből, a szellőztetésből és a belső hőnyereségekből tevődnek össze. A hűtési energiaigény egyenlete így:

$$Q = IA_g \varepsilon - \sum_{i=1}^n UA(T_{airq} - T_e) + \frac{(1-\mu)nV\rho}{3600}(T_e - T_{airq}) + Q_{belső} \quad (15)$$

ahol:

I – a vizsgált üvegfelületen át bocsátott direkt globális szoláris sugárzás

A<sub>g</sub> – gömb felülete 0,152π [m<sup>2</sup>]

ε - hasznosítási tényező 0,5 [-]

U – határoló szerkezetek hőátbocsátási tényezője [W/m<sup>2</sup>K]

A – határoló szerkezetek felülete [m<sup>2</sup>]

T<sub>airq</sub> – szükséges léghőmérséklet [°C]

T<sub>e</sub> – külső léghőmérséklet

μ- hővisszanyerés az ODOO-ban

n – légcsereszám az ODOO-ban

V – Térfogat [m<sup>3</sup>]

ρ – levegő sűrűség 1,3 [kg/m<sup>3</sup>]

c<sub>p</sub> – levegő fajhő

Q<sub>belső</sub> – Beltérben lévő hőforrások, jelen esetben egy számítógép és egy emberre számoltunk 250 [W]

A képletekből látszik, hogy kézi számítás ekkora adatmennyiségnél és ilyen bonyolultságú számításoknál már nem lehetséges, és az Excel is kevésnek bizonyult, így a teljes számítást Matlab nevű matematikai programban programoztuk le, illetve a diagramokat is ennek a programnak a segítségével rajzoltattuk ki. A programozást Szalai Dóra végezte.

## 7.2 Eredmények, értékelések hőkomfort szempontjából

A méréseinket nyolc héten át végeztük két mérőállomással, és a mindegyik általunk mért árnyékolótípust összehasonlítottunk. A dolgozatunk D mellékletében mind a nyolc hét eredményeit, diagramjait bemutatjuk és rövid elemzést is készítettünk hozzá. Részletesen egy hetet fogunk értékelni, mely a második hét a 2016.08.01 – 08.08. közötti időszakot öleli fel. Ezen kívül táblázatban összegeztük a méréseink eredményeit, a PMV, PPD és operatív hőmérsékleteket.

Második mérési héten a borostyánnal árnyékolt és az árnyékolatlan üvegfelületet hasonlítottuk össze. A borostyán mögött jelentősen kisebb hőmérsékletadatok adódtak. A padló felületi hőmérsékleténél 7-9 °C-os különbségek is voltak. A felületek közepes sugárzási értékei és a szoláris taggal korrigált közepes sugárzási értékek között is 7-8 °C-os eltérések is kialakultak, az operatív hőmérsékleteknél is jelentős, 3 °C-os eltérés volt.

A PMV és a PPD értékek is jól mutatják a jelentős különbséget a két esetben. Az utóbbi adatok van ahol 60%-os különbséget mutatnak, hiszen az árnyékolatlan üvegfelület mögött előfordult 90%-os elégedetlenségi érték is. A PMV-k mindkét esetben rosszak voltak, de az árnyékolatlan esetben jóval rosszabb. Ez azért van, mert csak kis felületet árnyékoltunk le, a többi üvegen bejutott a szoláris sugárzás és felmelegítette a felületeket, így a léghőmérséklet is magasabb volt, mint, ha mindent leárnyékoltunk volna borostyánnal. A növényárnyékoló esetében töredéke volt szoláris sugárzás mértéke, mint az árnyékolatlan esetben, tehát jól leárnyékol.

Az esték tekintetében mindkét eset megfelelő hőkomfortértékeket mutat. Érdekesség, hogy ebben az időszakban bár nagyon kicsit, de a zöldárnyékoló mögötti PMV és PPD értékek a magasabbak. Ez abból adódik, hogy az árnyékolt mögött az üvegfelület lassabban tud lehűlni, ez télen előnyös lehet.

Összességében a borostyánnal árnyékolt tér mögött jóval jobb hőkomfortértékek adódtak. Azonban egy árnyékoló választáshoz több szempontot is vizsgálni szükséges.

## Diagramok

Mérési hét: 2016.08.01. – 08.08.

Árnyékolók: borostyán zöldárnyékoló és árnyékolás nélküli üveg.

TC1 és TC2 az 5.1 A mérőállomás felépítése című fejezet szerint.

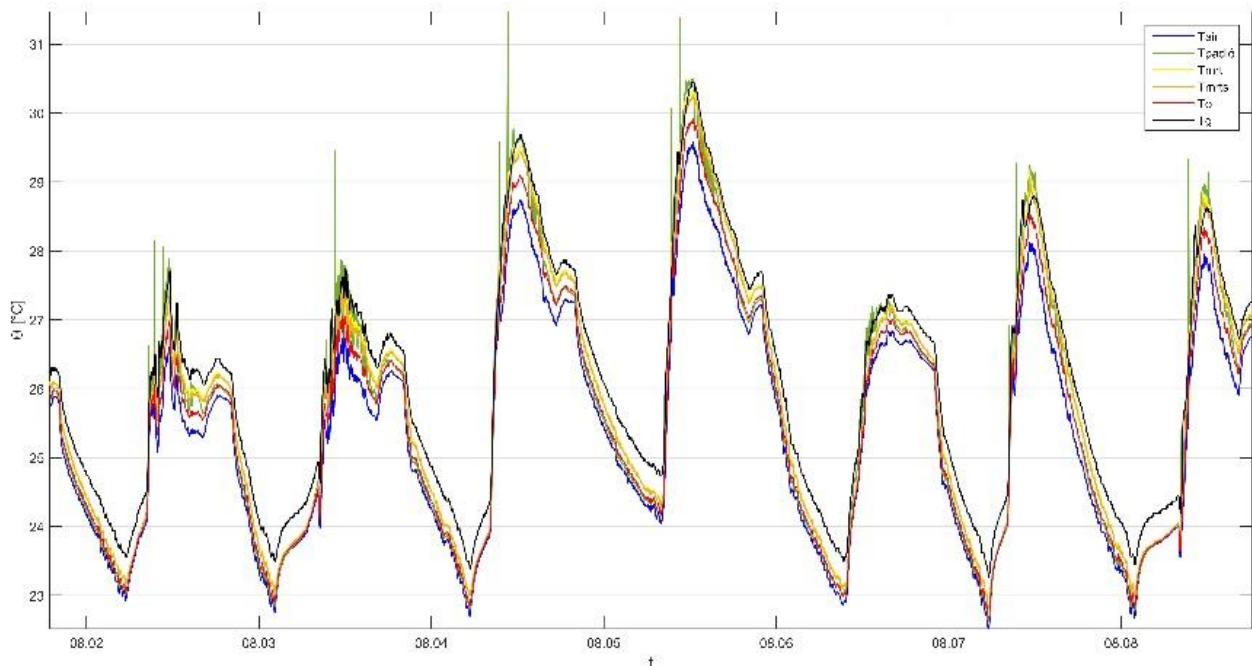


Diagram 11: TC1 mért és számított hőmérséklet adatok

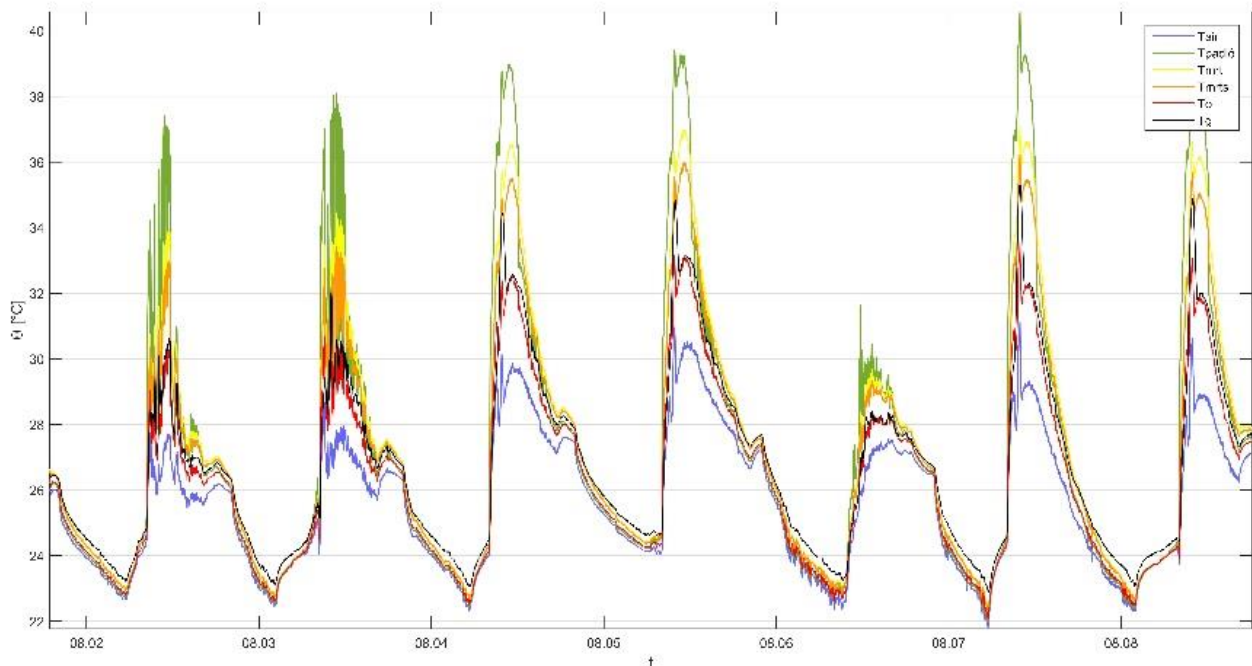


Diagram 12: TC2 mért és számított hőmérséklet adatok

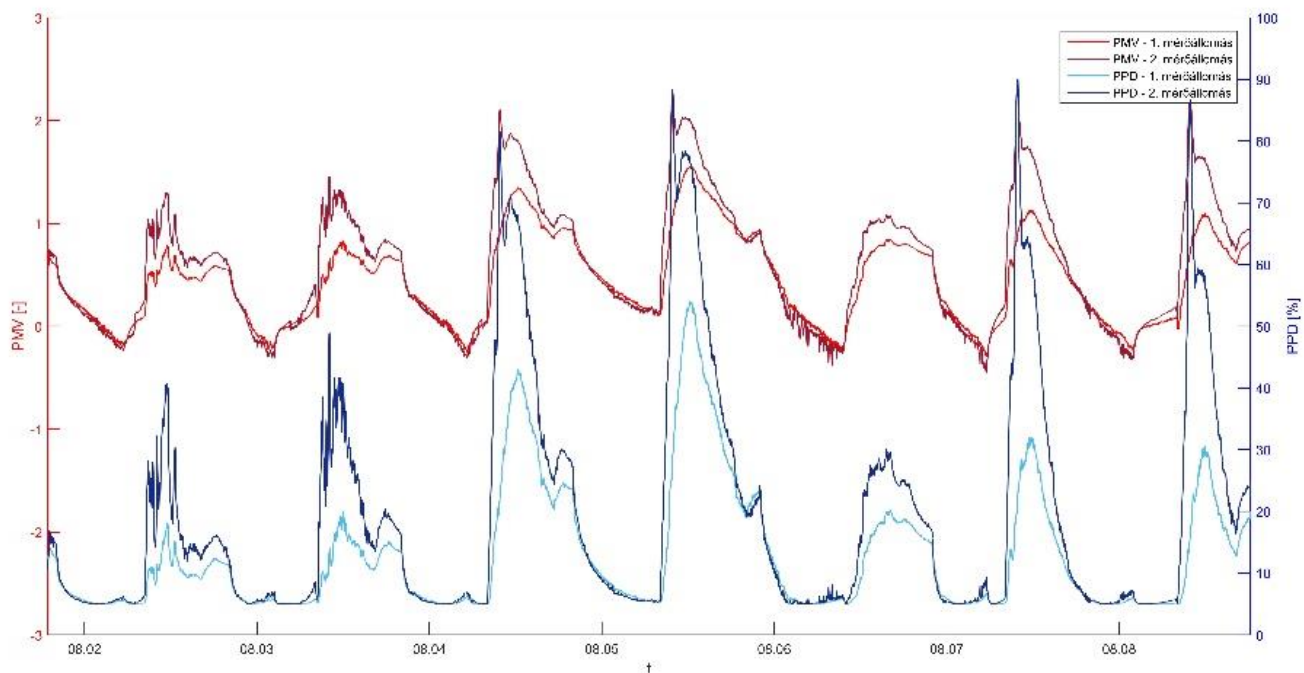


Diagram 13: PMV és PPD összehasonlítása

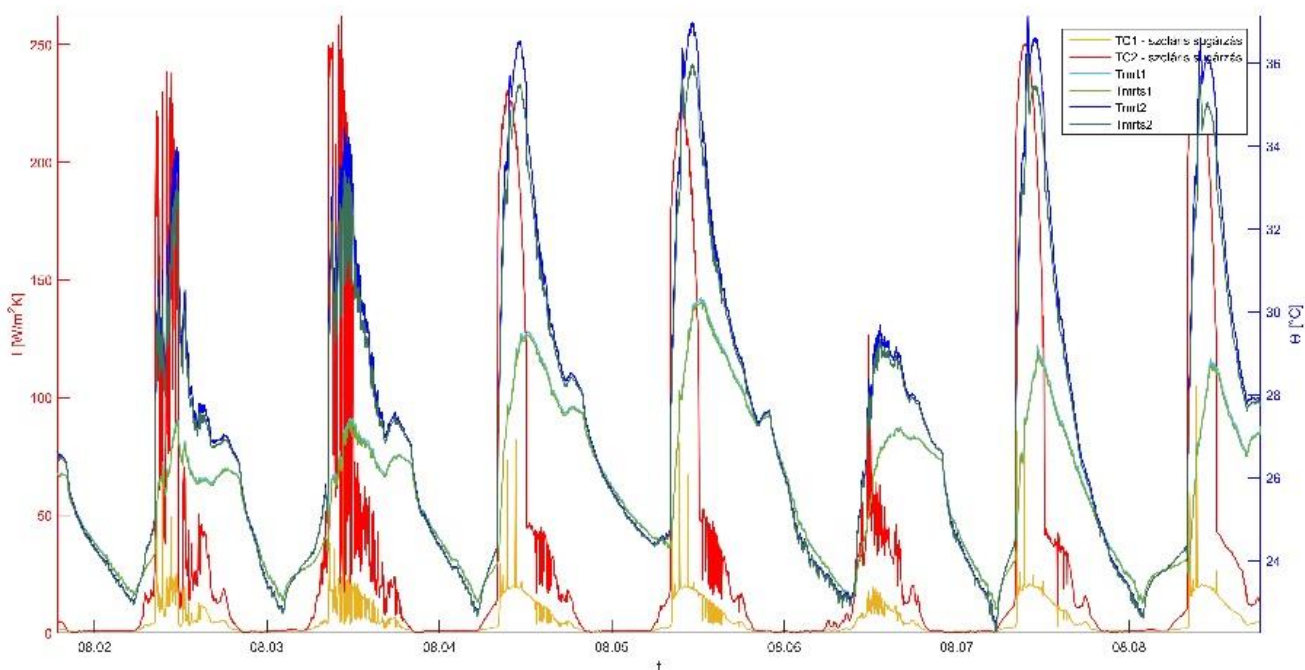
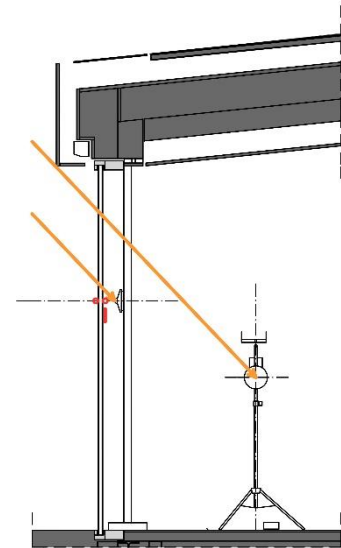


Diagram 14: TC1 és TC2 sugárzási adatok összehasonlítása



Készítettünk egy programot, mely megmutatja, hogy egy adott időpontban mennyi volt a gömb által mért sugárzási hőmérséklet, a léghőmérséklet, a számított közepes sugárzási hőmérséklet, a számított korrigált közepes sugárzási hőmérséklet, a számított operatív hőmérséklet és az átbocsátott direkt globális szoláris sugárzás értéke.

Mivel az üveg felülete és a mérőállomás nem egy síkban van, ezért eltérő az árnyékoltságuk, amit az épület geometriája okoz, például az épület kilógó eresze, ami árnyékolhatja a gömböt akkor, mikor a pyranométereket még éri a napsugárzás, vagy az üvegezés osztóbordái is vethetnek árnyékot a mérőállomásra (7. ábra). Ezért szükséges volt a pyranométerek pozíciójára és a mérőállomások gömbjeinek pozíciójára is árnyékmáskokat készíteni, ezeket Bakonyi Dániel készítette és rendelkezésünkre bocsátotta. A két árnyékmásk az akkori mérés pyranométer, illetve a gömb pozíciójára vannak szerkesztve, így vizuálisan is látszik, hogy mikor voltak árnyékban az eszközök. Számításaink során is figyelembe kellett venni ezt a jelenséget, így a szoláris taggal korrigált közepes sugárzási hőmérséklet számításában egy árnyékoltsági tényezővel korrigáltunk. (lásd: 9. képlet)



8. ábra: A mérőállomásra eső sugárzás utolsó pillanata (jól látható, hogy a pyranométer még messze nincs árnyékban)

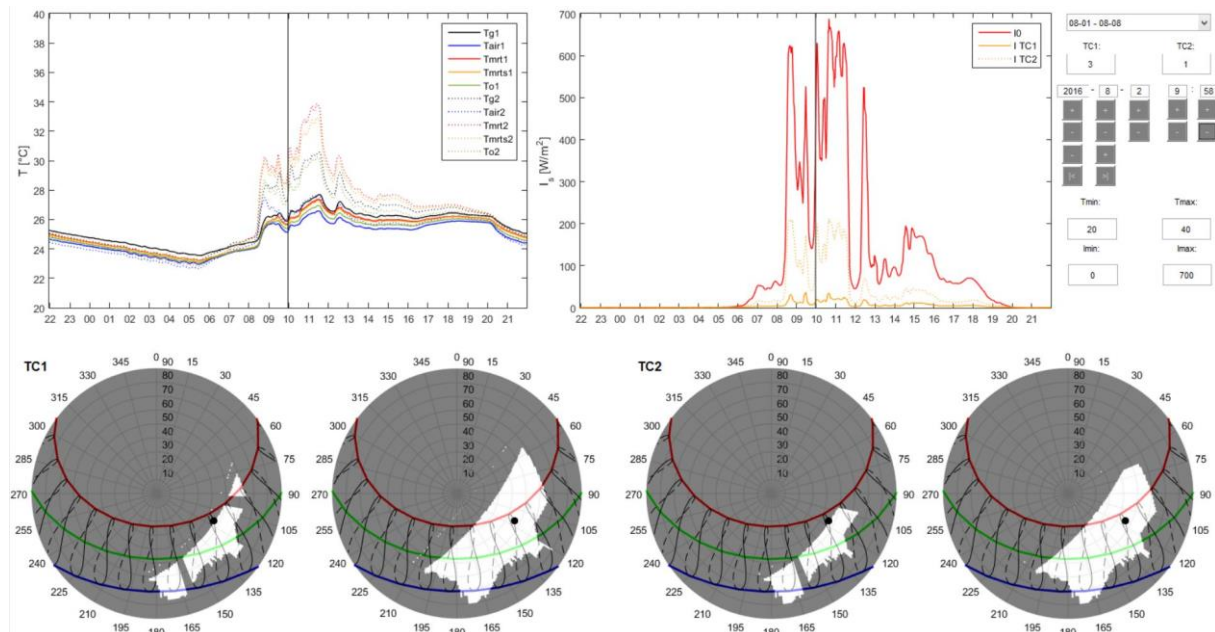
A dolgozatunkban egy konkrét esetet elemzünk, de a program a teljes mérési tartományra ki tudja rajzolni a mérési eredményeket és az árnyékmáskokat az adott időpillanatban. (lásd: 8. ábra)

Az első diagramon az aznapi mért és számított hőmérséklet adatok látszódnak, a másodikon, pedig a szoláris sugárzás nagysága. Az árnyékmáskok az egyes mérőállomás (TC1, mely a borostyán mögött), illetve a kettes mérőállomás (TC2, ami az árnyékolatlan üveg mögött volt elhelyezve), pozíciójára vannak szerkesztve. A mérőállomások árnyékmáskjai közül az első mindig a gömb, a második ábra a pyranométer helyzetében mutatja az árnyékoltságot. A fekete pont az ábrákon a nap helyzete. A piros vonal a nyári napfordulót, a zöld a dátumváltó vonalat és a kék a téli napfordulót jelöli.

A képnél azt a pillanatot választottuk ki, mikor pont olyan helyzetbe kerül a nap, hogy a mérőállomásokat már nem éri sugárzás, de az üveget még igen. A mért és a számított adataink

is jól követik ezt, hiszen mindegyik értékben egyértelmű csökkenés figyelhető meg. A következő órákban persze emelkednek a hőmérsékleteink, de ez már nem a direkt sugárzás hatására, hanem mert nincs a teljes üvegfelület árnyékolva és a többi ablakon bejutó szoláris nyereség következtében a léghőmérséklet emelkedik.

2016.08.02. 9:58 perckor készítettük az alábbi ábrát:



9. ábra: 08.02. 9:58 perckor a számított és mért hőmérsékletadatok, szoláris sugárzás mennyiségek és árnyékmászkok.

A méréseinket és a számított értékeinket összegeztük három táblázatban. Összehasonlítottuk a PMV, a PPD és az operatív hőmérséklet értékeit.

A méréseink leginkább egy üveghomlokzatú irodaház esetére vonatkozathatók, mintha az ember az üveghomlokzattól 1,00 m-re dolgozna. Megvizsgáltuk, hogy munkaidőben 8:00-16:00-ig mennyi az átlag, minimális és maximális PMV, PPD és operatív hőmérséklet az egyes árnyékolók mögött, ugyan ezeket az értékeket vizsgáltuk az esti órákban, estét a mindenkori napnyugtától napkeltéig értelmeztük. (6. 7. 8. táblázat)

Hét	PMV														
	TC1							TC2							
	Poz.	munkaidő			este			Poz.	munkaidő			este			
		átlag	min	max	átlag	min	max		átlag	min	max	átlag	min	max	
1.	A3	0,558	-0,164	1,636	0,242	-0,233	0,982	A2	0,765	-0,092	1,929	0,294	-0,198	1,064	
2.	A3	0,747	-0,229	1,555	0,185	-0,295	0,94	A1	1,124	-0,389	2,360	0,151	-0,453	0,951	
3.	A2	0,799	-0,134	1,692	0,148	-0,333	1,012	A1	0,969	-0,094	2,387	0,129	-0,379	1,069	
4.	A2	0,578	-0,207	1,876	0,117	-0,345	1,035	A1	0,709	-0,225	2,212	0,115	-0,537	1,097	
5.	A2	0,854	-0,184	1,717	0,216	-0,289	1,052	A4	0,850	-0,243	1,852	0,180	-0,413	1,094	
6.	A3	0,406	-0,128	1,109	0,007	-0,246	0,685	A4	0,570	-0,209	1,381	0,011	0,377	0,753	
7.	A2	0,506	-0,102	1,667	-0,054	-0,188	0,259	A4	0,525	-0,039	1,417	-0,002	-0,122	0,382	
8.	A2	0,541	-0,124	2,035	-0,101	-0,208	0,155	A5	0,660	-0,065	2,483	-0,045	-0,166	0,232	

Táblázat 6: Az árnyékolók mögött kialakult PMV értékek mérési hetenként.

Hét	PPD [%]														
	TC1							TC2							
	Poz.	munkaidő			este			Poz.	munkaidő			este			
		átlag	min	max	átlag	min	max		átlag	min	max	átlag	min	max	
1.	A3	14,912	5,000	58,484	7,720	5,000	25,511	A2	21,685	5,000	73,618	8,409	5,000	29,046	
2.	A3	19,935	5,001	54,110	7,378	5,000	23,629	A1	35,538	5,001	90,14	7,424	5,000	24,227	
3.	A2	23,320	5,000	61,550	6,971	5,000	26,778	A1	30,340	5,001	90,844	6,994	5,000	29,276	
4.	A2	16,758	5,000	71,063	6,611	5,000	27,762	A1	21,715	5,000	85,457	6,729	5,000	30,541	
5.	A2	24,237	5,000	62,872	7,705	5,000	28,499	A4	23,977	5,001	64,729	7,687	5,000	30,375	
6.	A3	11,175	5,000	31,118	5,717	5,000	14,948	A4	15,627	5,000	44,713	5,729	5,000	17,026	
7.	A2	13,966	5,000	60,154	5,175	5,000	6,404	A4	13,496	5,000	46,607	5,145	5,000	8,060	
8.	A2	16,606	5,000	78,494	5,344	5,000	5,906	A5	20,039	5,000	93,155	5,209	5,000	6,128	

Táblázat 7: Az árnyékolók mögött kialakult PPD értékek mérési hetenként.

Hét		To [°C]																	
		TC1									TC2								
		Poz.	munkaidő			este			Poz	munkaidő			este						
átlag	min		max	átlag	min	max	átlag	min		max	átlag	min	max						
1.	A3	25,940	23,139	30,156	24,634	22,901	27,475	A2	26,614	23,236	31,651	24,665	22,711	27,649					
2.	A3	26,762	22,975	29,932	24,462	22,672	27,357	A1	28,785	22,605	33,576	24,308	22,021	27,438					
3.	A2	26,830	23,032	30,713	24,163	22,314	27,455	A1	28,054	23,329	33,725	24,124	22,363	27,708					
4.	A2	25,892	22,707	31,468	24,042	22,513	27,651	A1	26,829	22,851	32,909	24,046	21,906	27,904					
5.	A2	27,014	22,946	30,867	24,483	22,603	27,655	A4	27,112	22,819	30,565	24,379	22,204	27,840					
6.	A3	25,237	22,882	28,117	23,584	22,699	26,329	A4	25,899	23,059	29,257	23,627	22,318	26,576					
7.	A2	25,498	22,949	29,718	23,154	22,639	24,655	A4	25,581	23,158	29,248	23,385	22,837	24,934					
8.	A2	25,600	22,843	30,943	22,952	22,465	23,927	A5	26,165	23,070	32,905	23,927	22,662	24,198					

Táblázat 8: Az árnyékolók mögött kialakult operatív hőmérséklet értékek mérési hetenként.

Az ISO 15251 szabvány 4 kategóriát határoz meg a PMV értékekre:

1. kategória +/- 0,2 közötti PMV érték
2. kategória -0,5-től -0,2-ig vagy 0,2-től 0,5-ig
3. kategória -0,7-től -0,5-ig vagy 0,5-től 0,7-ig
4. kategória -0,7 vagy 0,7 felett

Az első a legkiválóbb, a négyes pedig a már nem megfelelő kategória, továbbiak a még megfelelő és az elfogadható kategóriák. Az alábbi táblázatban megadtuk, hogy a különböző kategóriákban mekkora százalékos arányban volt a PMV érték a különböző héten, a különböző árnyékolók mögött.

Hét	PMV kategóriák százalékos megoszlása [%]									
	TC1					TC2				
	poz.	1.	2.	3.	4.	poz.	1.	2.	3.	4.
1	A3	25,72	19,17	19,68	35,42	A2	14,37	15,32	17,66	35,42
2	A3	8,62	14,29	23,39	53,70	A1	2,35	6,61	10,61	53,70
3	A2	16,51	16,01	9,37	58,12	A1	10,11	16,35	9,05	58,12
4	A2	28,08	28,46	9,73	33,73	A1	22,17	23,95	15,51	33,73
5	A2	11,64	5,16	19,48	63,72	A4	10,05	6,97	16,99	63,72
6	A3	38,49	15,19	21,56	24,76	A4	28,86	15,77	16,65	24,76
7	A2	31,69	24,10	13,45	30,76	A4	22,78	28,71	14,55	30,76
8	A2	35,30	22,06	8,42	34,22	A5	26,21	26,81	8,52	34,22

Táblázat 9: PMV kategóriák százalékos megoszlása

A táblázatból egyértelműen kiderül, hogy a PMV sokat szerepelt a 4-es kategóriában, ennek az oka, hogy nem volt a teljes üvegfelület árnyékolva, és az árnyékolatlan felületeken jelentős mennyiségű szoláris nyereség jut a térbe be, így a levegő hőmérséklete felmelegszik, ez pedig nagyban befolyásolja a PMV értéket.

A borostyán minden esetben nagyobb aránnyal szerepel az egyes kategóriában, mint a többi eset, ebből is látszik, hogy a borostyán szerepelt a legjobban.

## 7.2 Energetikai szempontból

A PMV és PPD mérőszámok nem feltétlen egyértelműek mindenki számára, így kiszámoltuk, hogy mekkora hűtési energiát kellett volna befektetni, ahhoz, hogy ugyanazt a hőkomfortot tudjuk biztosítani.

Az energiaigényhez éves adatokra lenne szükség, így tudnák egész éves energiaigényt számolni. Ebben szerepelne hideg téli és meleg nyári időszak is, tehát az éves energiaigény a legalkalmasabb az összehasonlításra.

A méréseinket heti periódusban végeztük, így az energetikai számításainkat is csak erre az időszakra tudtuk számolni. Ezek a számok viszont a relatív összehasonlításra alkalmasak, de ebből is megállapítható, hogy melyik árnyékolási típus a jobb.

Az alábbi táblázatban (10. táblázat) megadtuk hetente a különböző árnyékolók mögötti hűtési energiaigényt:

Hét	TC1			TC2		
	Pozíció	energia [kWh]	arány %	Pozíció	energia [kWh]	arány %
1.	A3	35,8135	55,84	A2	64,1313	100
2.	A3	38,0716	37033	A1	101.9860	100
3.	A2	57.8171	68,95	A1	83.8591	100
4.	A2	66.473	76,63	A1	86.7476	100
5.	A2	64.9657	100	A4	48.5179	74,68
6.	A3	25.9997	58,96	A4	44.0986	100
7.	A2	115.5886	100	A4	82.7543	71,41
8.	A2	38.8370	100	A5	35.9320	92,52

Táblázat 10: A különböző árnyékolók mögött azonos komfort eléréséhez szükséges hűtési energiák.

Kiszámítottuk, hogy az egyes árnyékolók mögött mennyi hűtési energiát kellett volna befektetni ugyan ahhoz a komfort eléréséhez. (lásd: Táblázat 10.) Megvizsgáltuk, hogy az egyes heteken a különböző árnyékolások mögötti hűtési energiaigény hogyan alakul a nagyobb energiaigényű változathoz viszonyítva. Mindig a nagyobb kWh a 100%.

A PMV, PPD, operatív hőmérséklet és a hűtési energiaszükséglet alapján a következőket állapítottuk meg:

1. A mért árnyékoló típusok közül mindegyik jobb, mint ha nem alkalmaznánk árnyékolót.

2. A fixen leengedett külső textil árnyékoló és a vadszőlő közel ugyanolyan jók.
3. A fixen leengedett külső textil árnyékoló és a borostyán közül a borostyán a jobb.
4. A manuálisan vezérelt külső textil árnyékoló és a vadszőlő közül egy kicsivel a vadszőlő a jobb.
5. A borostyán árnyékoló képessége jobb, mint a vadszőlőé.

Meg kell említenünk, hogy a vadszőlő levélsűrűsége elég csekély, így sok ponton bejut a napsugárzás, lehetséges, hogy más eredményt kapnánk sűrűbb levelű vadszőlő árnyékolóval.

A borostyán jó árnyékoló, a szoláris sugárzás kis hányadát engedi át, de ez azt is jelenti, hogy nem csak a hosszú hullámú sugárzást, de a látható fénysugarakat sem engedi át. Az előbbi megállapítás következtében lehet, hogy nyáron ennek ellenére is elegendő fény jut be a térbe, de télen valószínűleg ez már kevés lenne.

A borostyán nyáron jó árnyékoló, de mivel nem lombhullató télen jelentős mértékben csökkenti a bejutó fény mennyiségét, így olyan helyekre javasoljuk használni, ahol elegendő a kevesebb fény, vagy az alárendelt tereknél.

A számításaink során az volt a kérdés, hogy visszaadják-e a mért adatainkat, ami kisebb szoláris sugárzás mennyiségnél jól sikerült, de a nagyon nagy értékeknél csak megközelíteni tudtuk.

Az árnyékolók hatása minden típusnál kettős. Egyrészt az árnyékolással csökkentjük a bejutó szoláris energiamennyiséget, tehát azonos hőmérséklet tartásához kevesebb hűtési energia szükséges. Másodsorban pedig, ha csökkentett módon érinti az embert a direkt szoláris tag, akkor magasabb léghőmérséklet mellett is biztosítható ugyanaz az eredő hőkomfort.

Megvizsgáltuk a borostyán zöldárnyékoló és az árnyékolatlan üveg esetében, hogy ez a két hatás mekkora különbséget is jelent.

- árnyékolatlan változat energiaigénye: 101,986 kWh
- elsődleges hatással: 43,1537 kWh
- másodlagos hatás csökkentett energiaigény: 38,0716 kWh

Az árnyékolatlan üveghez képest, ha csak az elsődleges hatással számolunk, akkor az 57,69 %-al kell kevesebb energiát a hűtésre fordítani, ha a másodlagos hatást is figyelembe vesszük, akkor viszont az eredetihez (árnyékolatlan) képest 62,67 %-al lenne kevesebb. Látszik, hogy az árnyékolóval jelentős energia megtakarítás érhető el.



## 8. TOVÁBBLÉPÉS LEHETŐSÉGEI

A dolgozatunkig bezárólag egyelőre három különböző típusú árnyékolót volt módunk vizsgálni és azokat is csak nyáron. Javasolt lenne vizsgálatokat folytatni más-más időszakokban. Megvizsgálánk például, hogy mennyi szerepük van a téli hővédelemben, valamint a vizsgálttól eltérő időszakon kívüli többi idő is hozhat érdekes, akár nem várt eredményeket.

Az általunk vizsgáltakon kívül természetesen számos más fajta árnyékolási mód és anyag is létezik. Érdemes lenne a vizsgáltaktól eltérő árnyékoló rendszerekhez is méréseket futtatni. Következtetéseket lehetne levonni az egyes típusok előnyeiről, illetve esetleges hátrányairól. Célszerű lenne vizsgálni redőnyöket, zsalugátereket, napelemes üvegeket, további vászon és növényi árnyékolókat egyaránt.

A különféle árnyékolók mellett további kutatási lehetőséget mutatnak a különböző teljesítményű üvegezések vizsgálatai. Vizsgálni lehet, hogy azonos árnyékolás mellett az eltérő üvegek mögött, az ideális komfortkörülmények biztosítása mennyi energiát igényel.

Indokoltnak látszik egy projekt, amely kifejezetten a növények árnyékolóképességét vizsgálná tovább. Vajon két, elméletben egyformán dús, de különböző típusú növényekből készült árnyékoló egyformán tudja-e módosítani a mérési eredményeket (2D vagy 3D hatás)? Az árnyékoló képesség függ-e a növény típusától? Ha igen hogyan, miért? Ezeken felül javasolt vizsgálni, hogy lényeges-e a megkerülő irányok kizárása. Hol van az ésszerű határ a zöldárnyékolók üvegfelülettől való elhúzásában?

Az egyik fő célunk, ami a már a kezdetektől végigkísér, hogy egyszer megalkossunk egy árnyékoló vezérlést, amely a külső és belső paraméterek alapján hozná működésbe az árnyékolókat. Ha ez sikerülne azt követően számszerűen tudnánk bizonyítani annak sejtett előnyeit egy manuális mozdattal szemben.

## 9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnénk köszönetet mondani mindazoknak, akik lehetővé tették TDK dolgozatunk létrejöttét.

Köszönjük témavezetőinknek, akik kitartó támogatásukkal mindvégig segítettek munkánkat.

Köszönettel tartozunk Dr. Dobszay Gergely PhD-nak, aki végig támogatott, biztatott és irányt mutatott számunkra a kutatásunk során.

Szintén köszönettel tartozunk Pataky Ritának, aki számos ismeretet osztott meg velünk az árnyékolókról általában, a zöldárnyékolókról és emellett betekintést engedett a saját, ODOO projekt keretében végzett kutatásába és lehetővé tette, hogy az általa elhelyezett zöldárnyékolók mögötti komfortot mérjük, továbbá minden általa mért nyers adatot a rendelkezésünkre bocsátott.

Szeretnénk megköszönni Dr. Magyar Zoltánnak, a BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék vezetőjének, az iránymutatást és a sok konzultációt, melyek során szintén számos fontos információval lettünk gazdagabbak a hőkomfort tudományterületén.

Szeretnénk kiemelni és megköszönni Bakonyi Dániel munkáját, aki mindvégig irányt mutatott, segítette a kutatás lebonyolítását, a programozáshoz minden szükséges ismeretet rendelkezésünkre bocsátott, a hőcsere-folyamatok elméletét biztosította és mindvégig instrukcióival segítette a kutatás eredményességét, ezen felül köszönjük a türelmét, és hogy biztatott, támogatott minket a munkafolyamatok véghezvitelében.

Külön köszönet -Orbán Tamásnak, a BME Hőfizika Labor munkatársának, aki fontos szerepet vállalt a kalibrálásokban és biztosította számunkra a referencia műszert.

- A Kármán Tódor Szélesatorna Laboratórium munkatársainak, akik idén is lehetővé tették számunkra, hogy az anemométereinket megfelelő körülmények között tudjuk kalibrálni.

## 10. HIVATKOZÁSOK

ASHRE 55 (2013) *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*

Bánhidi László – Kajtár László: Hőkomfortelmélet. Műegyetemi Kiadó, ISBN 963 420 633, (2000)

Bánhidi László, Kajtár László *Komfortelmélet* Műegyetemi Kiadó 2002.

Dantec Dynamics, <http://www.dantecdynamics.com/> [2016.10.31.]

Dr. Gábor, László (1979): *Épületszerkezettan* IV. kötet Tankönyvkiadó Budapest 1979. ISBN 963 17 5970 9 pp216-238

Dr. Magyar Zoltán: *Hőkomfortelmélet*. Egyetemi előadás, Pécs 2015.

Dr. Magyar Zoltán: Termikus műember alkalmazási lehetőségei hőkomfort vizsgálatoknál (2011) [https://szie.hu/file/tti/archivum/Magyar\\_Zoltan\\_tezis.pdf](https://szie.hu/file/tti/archivum/Magyar_Zoltan_tezis.pdf) [2016. 10. 24.]

Dr. Sam C M Hui: Air Conditioning and Refrigeration: Thermal Comfort (2015) <http://slideplayer.com/slide/4490690/> [2016.01.01]

Dr. Széll, Mária (2001): *Transzparens épületszerkezetek* Szerényi és Gázsó Bt. Pécs. 2001. ISBN 963 00 7645 4

Ender Ferenc: *Mikrofluidikai áramlás-szenzor Fuzzy alapú szabályozása* (kézirat, diplomaterv) BME Villamosmérnöki Kar Egészségügyi Mérnöki Szak, Budapest 2010 <http://mahara.eet.bme.hu/artefact/file/download.php?file=3245&view=807> (2016. 10. 25.)

G. Papadakis - P. Tsamis – S. Kyritsis (2001): *An experimental investigation on the effect of shading with plants for solar control of buildings*. Energy and Buildings 33 (2001) pp831-836

Ida Bryn (Ph.d) - Marit Smidsrød (MSc): *Thermal Comfort; Operative Temperature in the Sun* internetes megjelenés: 2012., <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB2448.pdf> [2016.09.06]

Jaafar, Badruzaman - Said, Ismail - Md Reba, Mohd Nadzri – Rasidi, Mohd Hisyam (2013.): *Impact of Vertical Greenery System on Internal Building Corridors in the Tropic*. Procedia – Social and Behavioral Sciences 105 (2013) pp558-568

MSZ CR 1752 (2011) *Zárt terek komfortkövetelményei - méretezési alapok*

MSZ EN 15251 (2007) *Épületek energia-teljesítőképességének tervezésére és becslésére, levegőminőségére, hőmérsékletére, fény- és akusztikai viszonyaira vonatkozó beltéri bemeneti paraméterei*

MSZ EN ISO 7730 (2006) *A hőmérsékleti környezet ergonómiája. A hőkomfort analitikus meghatározása és megadása a PMV- és a PPD-index kiszámításával, valamint a helyi hőkomfort kritériumai*

Országos Meteorológiai Szolgálat: Napijelentés kiadvány internetes megjelenés: [http://www.met.hu/idojaras/aktualis\\_idojaras/napijelentes/index.php?ful=napijelentes\\_szoveg](http://www.met.hu/idojaras/aktualis_idojaras/napijelentes/index.php?ful=napijelentes_szoveg) [2016. 10. 20.]

Pataky Rita (2011): *Zöldhomlokzatok szerkezeti megoldásai* (szakdolgozat, kézirat) BME Épületszigetelő Szakmérnöki Szak 2011

Pataky Rita: *Outline of the Design and Functioning of Green Shading Systems, Compared to Industrial Products* Periodica Polytechnica Architecture DOI: 10.3311/PPar.8913

Pérez, Gabriel - Rincón, Lidia - Vila, Anna - M. González, Josep - F. Cabeza, Luisa (2011): *Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings*. Applied Energy 88 (2011) pp4854–4859

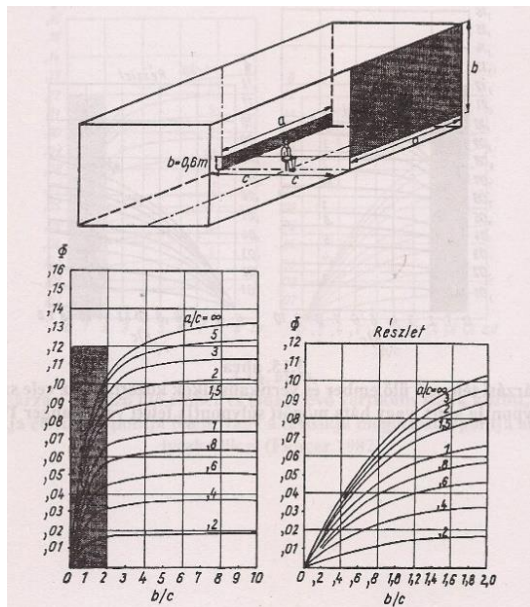
R. Pataky - Á. Áts - Zs. Áts-Leskó - O. Birtalan: *Constructional considerations relating to the mobile Plus-Energy House, Energy and Buildings* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.015>

Szalai Dóra - Kis Máté: *A várható szubjektív hőérzet és egy mérőállomás* 2015. <https://tdk.bme.hu/EPK/DownloadPaper/Varhato-szubjektiv-hoerzet-es-egy-meroallomas1> [2016. 10. 24.]

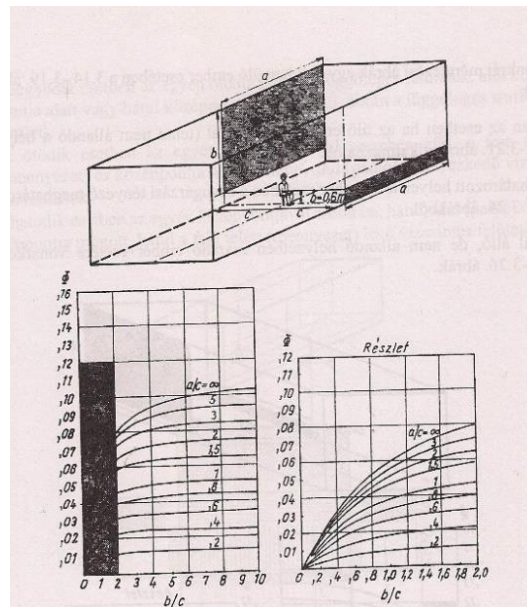
## 11. MELLÉKLETEK

### A) $\phi$ érték számítása

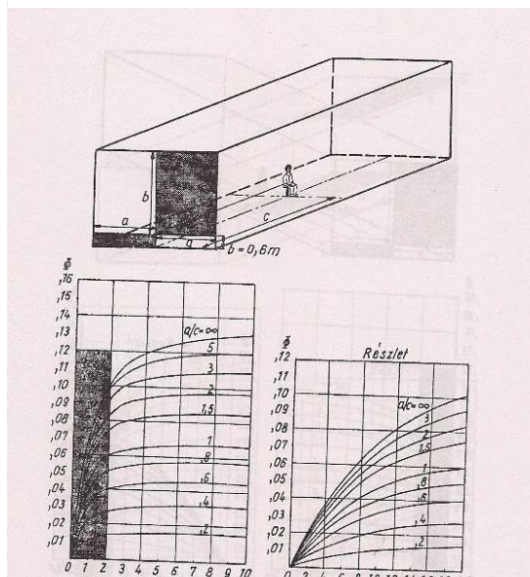
A  $\phi$  érték számításához a Bánhidi László - Kajtár László könyvéből az alábbi diagarmokat használtuk fel:<sup>40</sup>



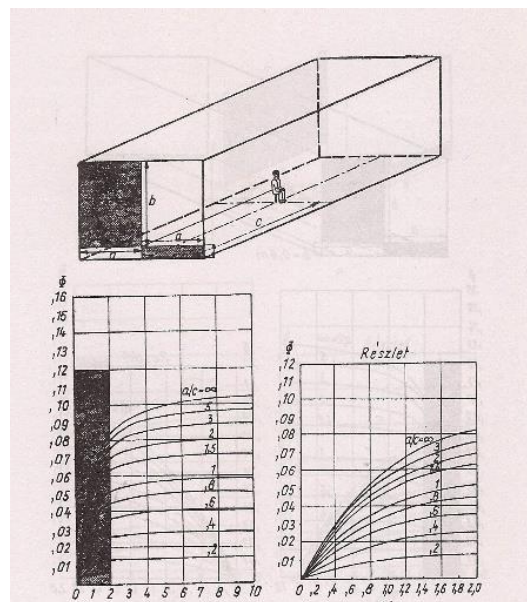
Ábra 10: Besugárzási tényező ülő ember és vertikális síkok között, ha vele szemben súlypontja felett, vagy háta mögött súlypontja alatt van (Fanger 1982)



Ábra 11: Besugárzási tényező ülő ember és vertikális síkok között, ha az vele szemben, súlypontja alatt, vagy háta mögött súlypontja felett van (Fanger 1982)

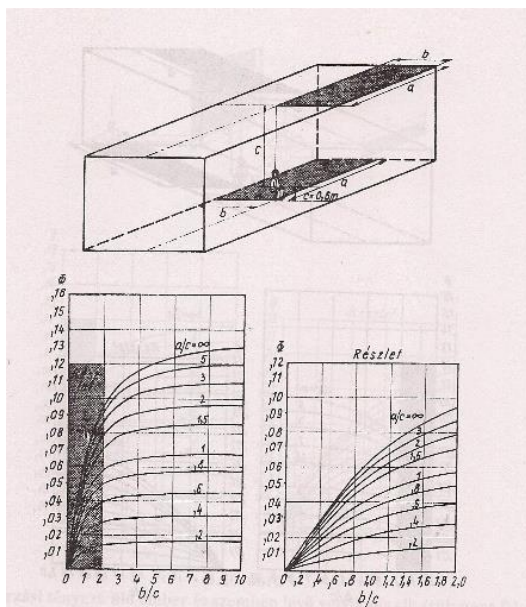


Ábra 12: Besugárzási tényező ülő ember és oldalt lévő vertikális síkok között, ha az testsíkja, súlypontja felett, vagy a testsíkja mögött, súlypontja alatt helyezkedik el (Fanger 1982)

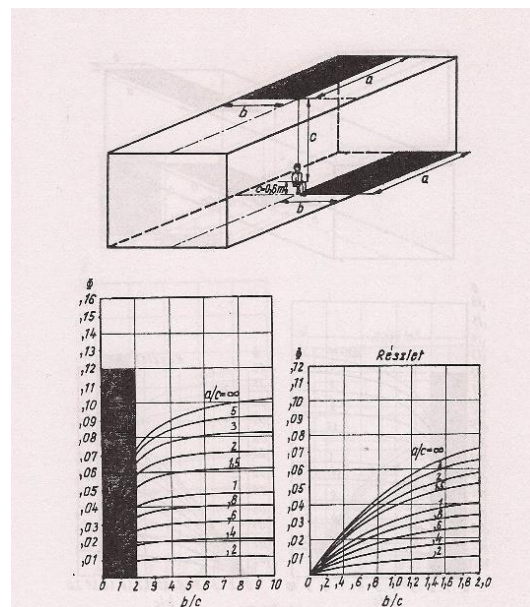


Ábra 13: Besugárzási tényező ülő ember és oldalt lévő vertikális síkok között, ha az testsíkja előtt, súlypontja alatt, vagy testsíkja mögött, súlypontja felett helyezkedik el (Fanger 1982)

<sup>40</sup> Bánhidi László - Kajtár László (2002)



Ábra 14: Besugárzási tényező ülő ember és testsíkja előtti mennyezeti vagy testsíkja mögötti padló felületére (Fanger 1982)



Ábra 15: besugárzási tényező ülő ember és testsíkja előtt padló vagy testsíkja mögött mennyezeti felületre (Fanger 1982)

## B) Anemométerek kalibrációja

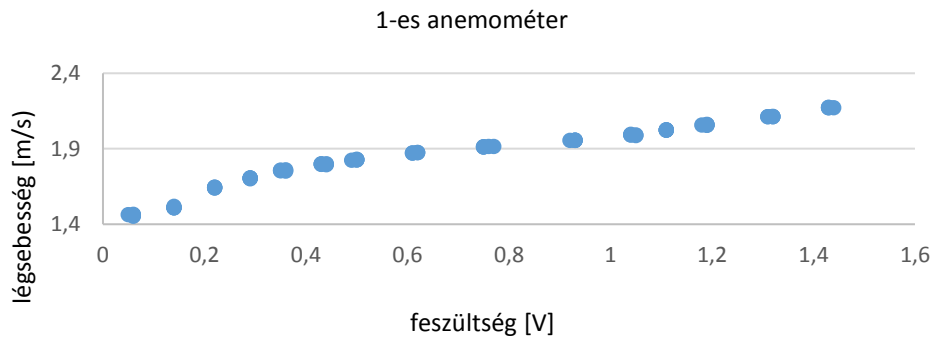


Diagram 15: Az 1-es számú termo anemométer adatsora

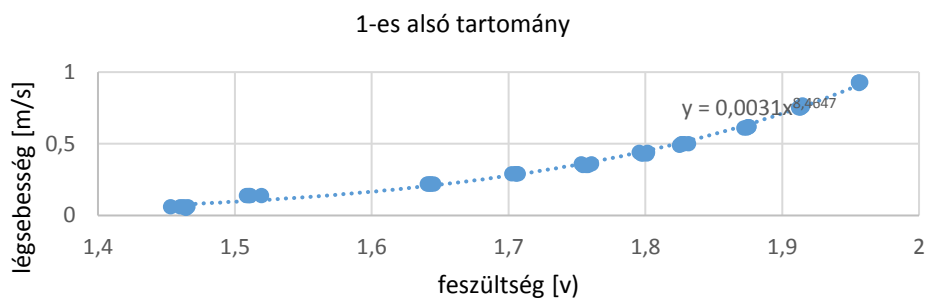


Diagram 16: Az 1-es számú termo anemométer alsó tartományának közelítése hatvány függvénnyel

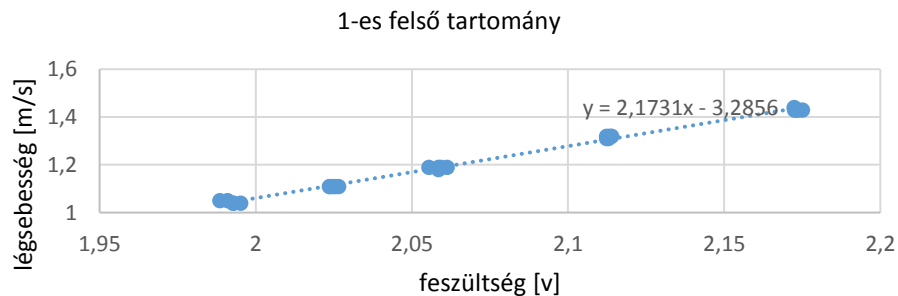


Diagram 17: Az 1-es számú termo anemométer felső tartományának közelítése lineáris függvénnyel

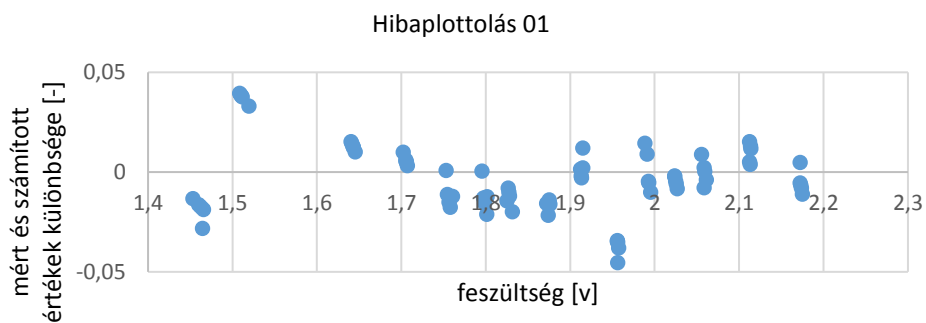


Diagram 18: Az 1-es számú termo anemométer hibaplottolása

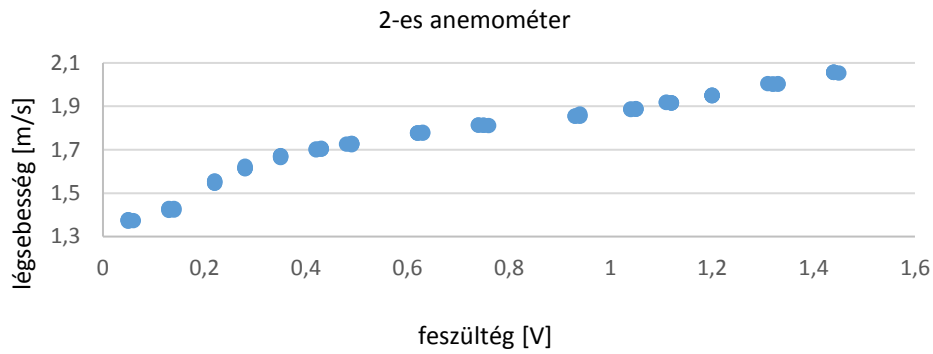


Diagram 19: A 2-es számú termo anemométer adatsora

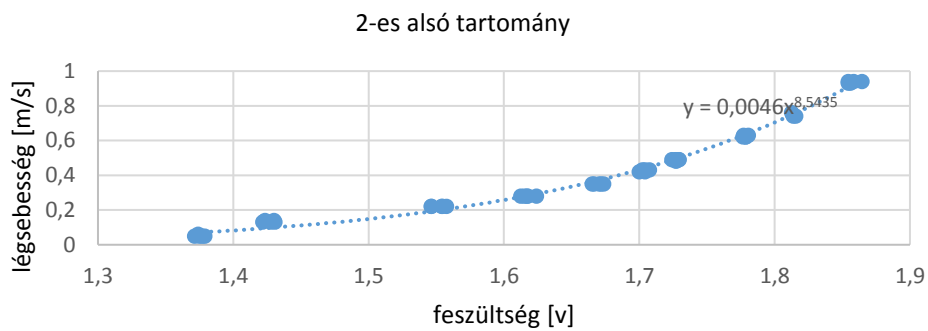


Diagram 20: A 2-es számú termo anemométer alsó tartományának közelítése hatvány függvénnyel

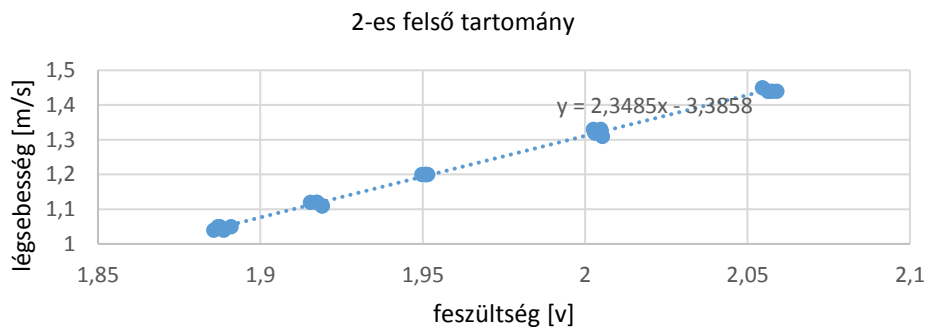


Diagram 21: A 2-es számú termo anemométer felső tartományának közelítése lineáris függvénnyel

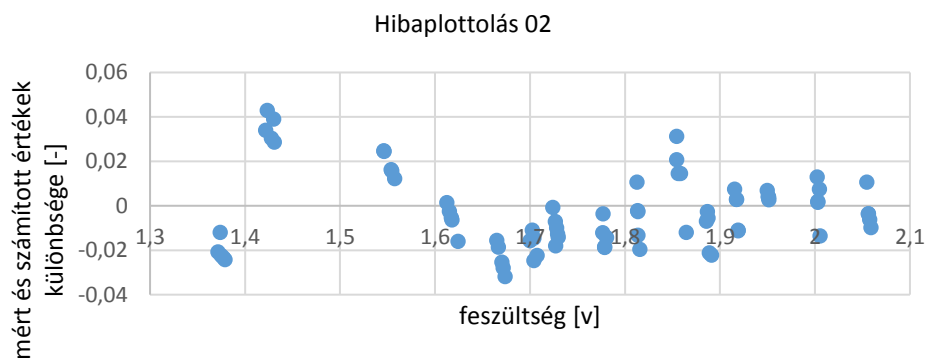


Diagram 22: A 2-es számú termo anemométer hibaplottolása



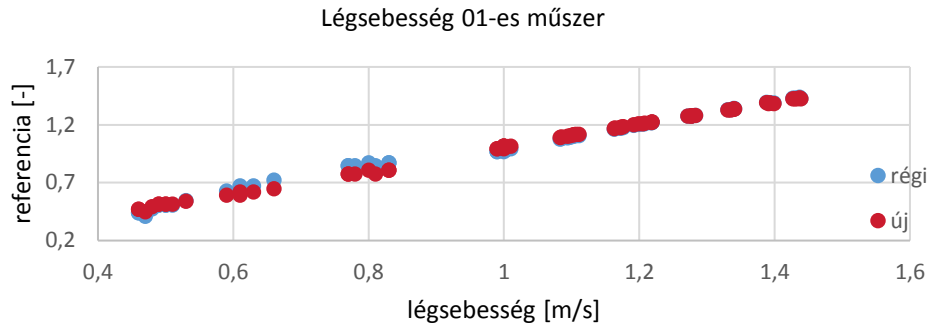


Diagram 23: Az 1-es termo anemométer adatsorainak összehasonlítása

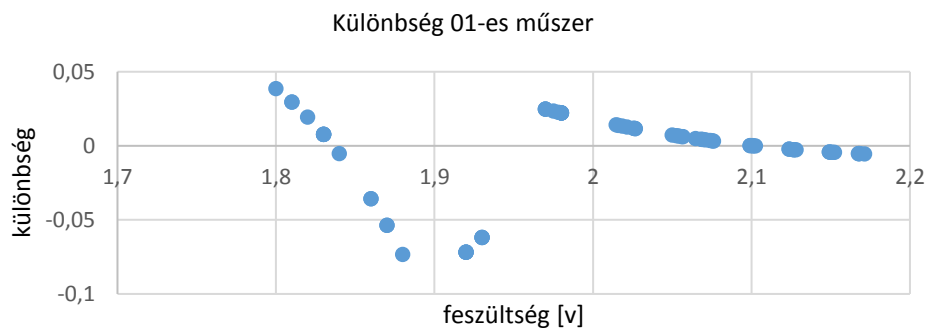


Diagram 24: Az 1-es termo anemométer kalibrációs függvényeinek eredményei közti eltérés

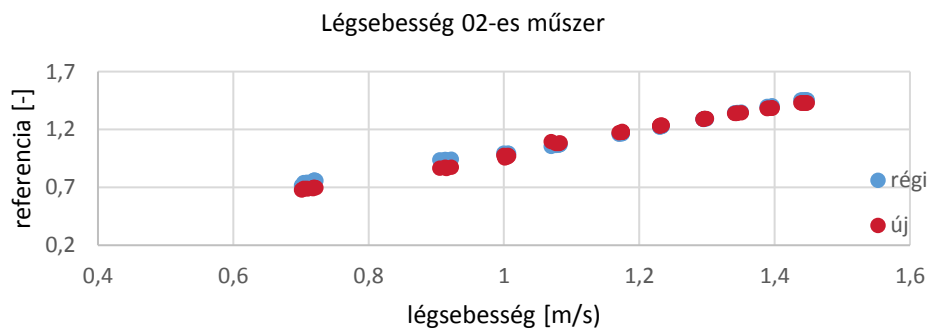


Diagram 25: A 2-es termo anemométer adatsorainak összehasonlítása

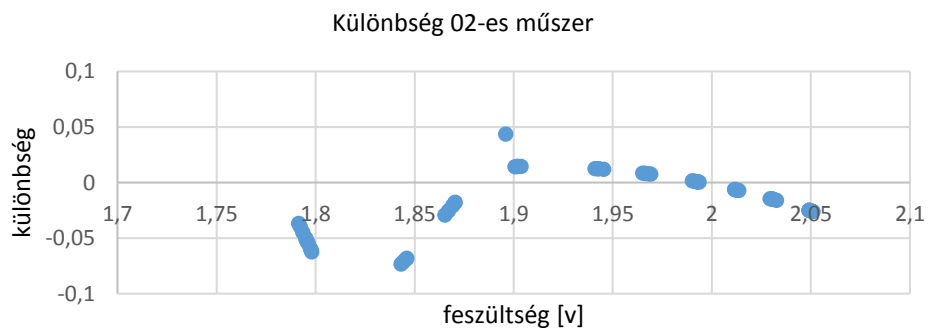


Diagram 26: A 2-es termo anemométer kalibrációs függvényeinek eredményei közti eltérés

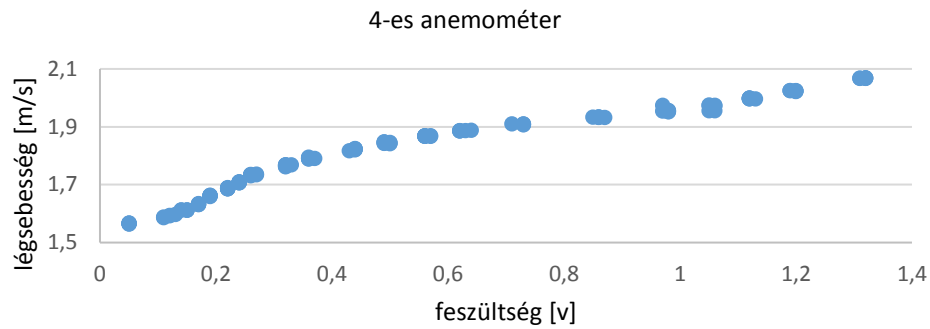


Diagram 27: A 4-es számú termo anemométer adatsora

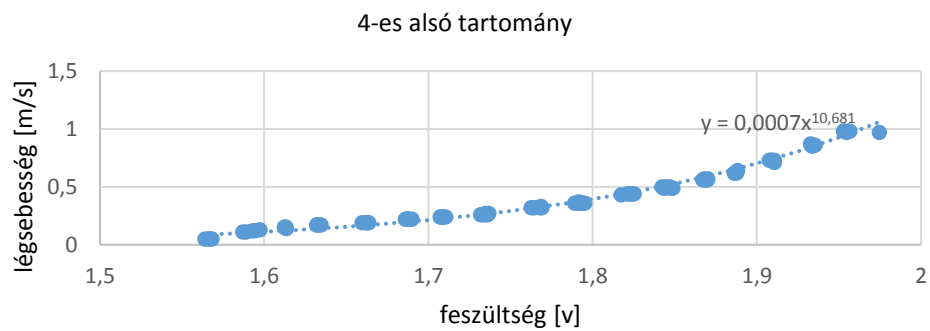


Diagram 28: A 4-es számú termo anemométer alsó tartományának közelítése hatvány függvénnyel

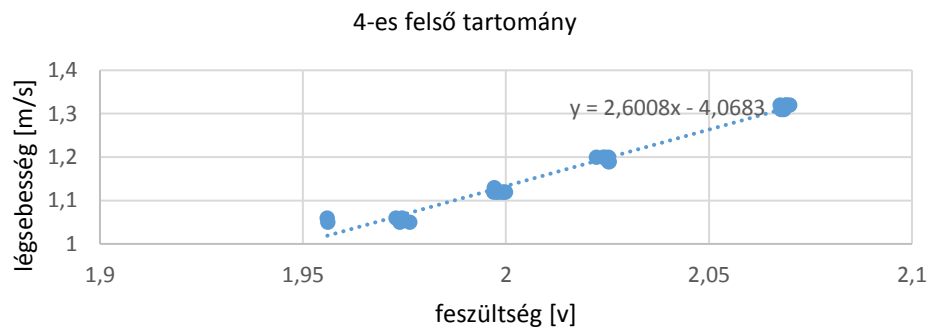


Diagram 29: A 4-es számú termo anemométer felső tartományának közelítése lineáris függvénnyel

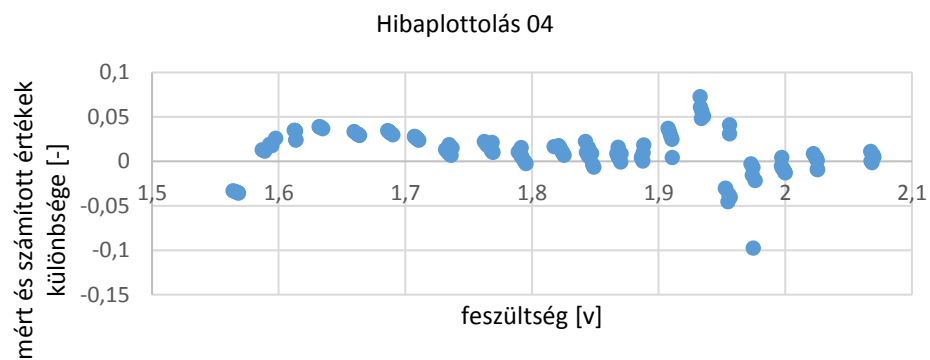


Diagram 30: A 4-es számú termo anemométer hibaplottolása

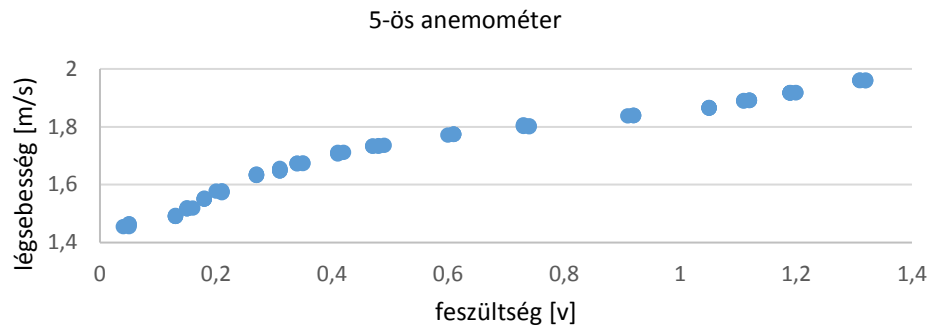


Diagram 31: Az 5-ös számú termo anemométer adatsora

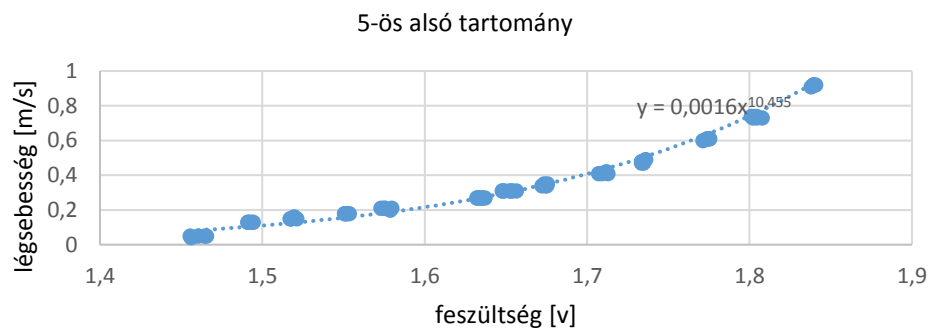


Diagram 32: Az 5-ös számú termo anemométer alsó tartományának közelítése hatvány függvénnyel

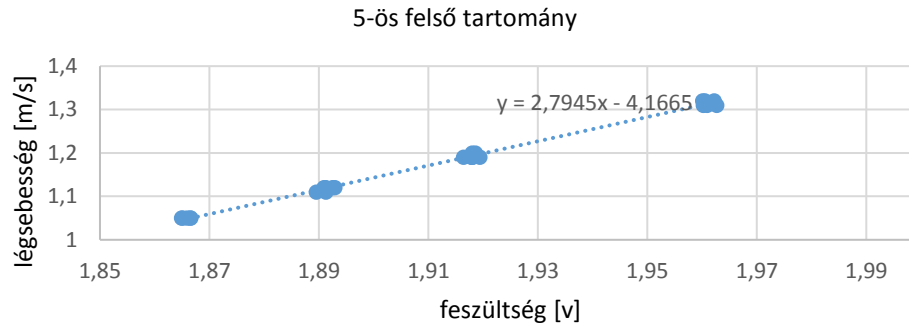


Diagram 33: Az 5-ös számú termo anemométer felső tartományának közelítése lineáris függvénnyel

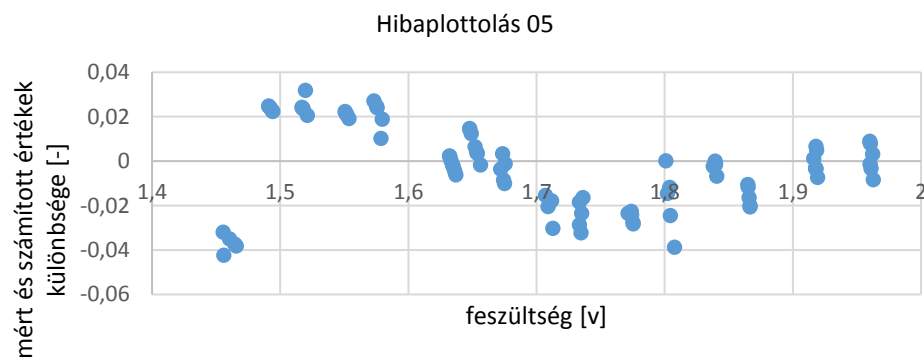


Diagram 34: Az 5-ös számú termo anemométer hibaplottolása

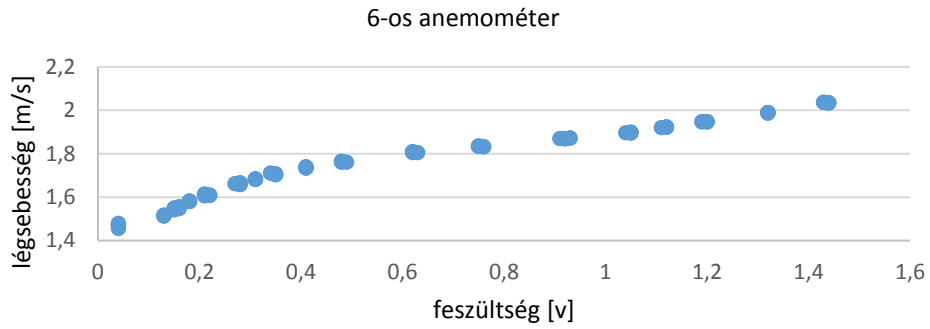


Diagram 35: A 6-os számú termo anemométer adatsora

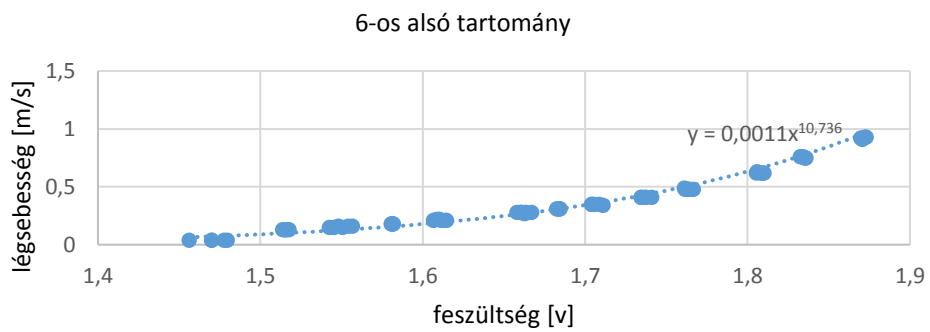


Diagram 36: A 6-os számú termo anemométer alsó tartományának közelítése hatvány függvénnyel

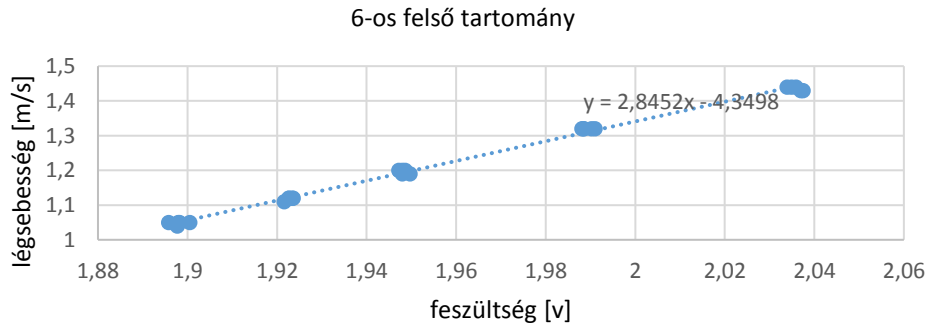


Diagram 37: A 6-os számú termo anemométer felső tartományának közelítése lineáris függvénnyel

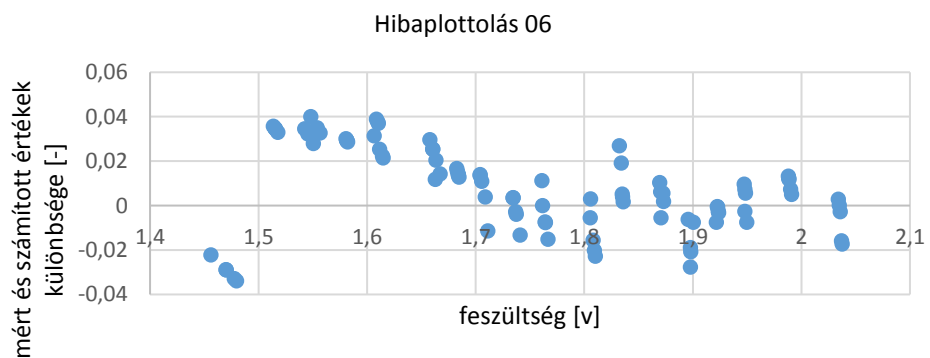


Diagram 38: A 6-os számú termo anemométer hibaplottolása

## C) Tanterem kiértékelése

**Terem:** K351/A      **Mérés ideje:** 2016. 03. 17. (10:00-13:00)      **clo=1**      **met=1**

### Külső meteorológiai adatok:

“Délelőtt országszerte sütött a nap. A hőmérséklet 11 órára 8 és 12 fok közé emelkedett. 12 órakor Budapesten a hőmérséklet 10 fok volt, a tengerszintre átszámított légnyomás 1030 hPa, gyengén süllyed. A változó irányú szél gyenge, mérsékelt maradt. A hőmérséklet csúcserkéke 11 és 14 fok között alakult.”<sup>41</sup>

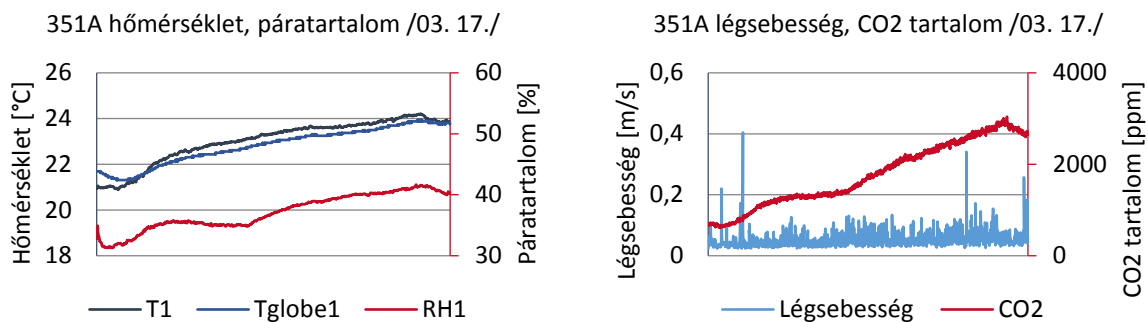


Diagram 39: A K351/A tanterem hőmérséklet és páratartalom adatai 2016. 03. 17-én

Diagram 40: A K351/A tanterem légsebesség és CO<sub>2</sub> adatai 2016. 03. 17-én

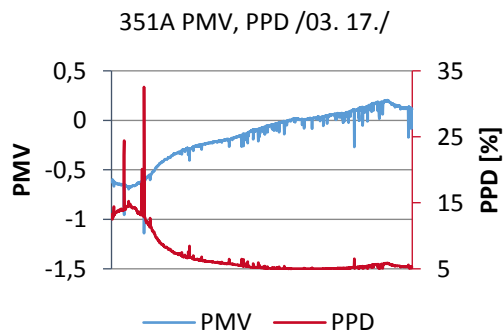


Diagram 41: A K351/A tanterem PMV, PPD diagramja 2016. 03. 17-én

11 kép: A K351/A tanterem

### Leolvasott információ:

Jól látható, ahogy a léghőmérséklet és a sugárzási hőmérséklet szinkronban emelkedik az óra előrehaladtával. A kb. három órás időszak alatt 3°C-al lett melegebb a teremben. A légsebesség nagyjából stabil, a néhány kiugrást a műszer mellett elsétáló emberek okozták. Az idő előrehaladtával a CO<sub>2</sub> koncentráció is meglehetősen felszökött. A PMV és PPD diagramok azt mutatják, hogy szükség volt a terem melegedésére, hiszen kb. a mért időszak felétől mutatnak ideális értéket.

<sup>41</sup> Országos Meteorológiai Szolgálat [2016]

**Terem:** K351/A      **Mérés ideje:** 2016. 04. 14. (10:00-13:00)      **clo=1**      **met=1**

### Külső meteorológiai adatok:

“Csütörtökön a gyakran erősen megnövekvő felhőzet mellett hosszabb-rövidebb időre kisütött a nap. A hőmérséklet csúcsértéke 14 és 23 fok között alakult. A hőmérséklet 11 órára 13 és 17 fok közé emelkedett. 12 órakor Budapesten a hőmérséklet 16 fok volt, a tengerszintre átszámított légnyomás 1005 hPa, gyengén emelkedik.”<sup>42</sup>

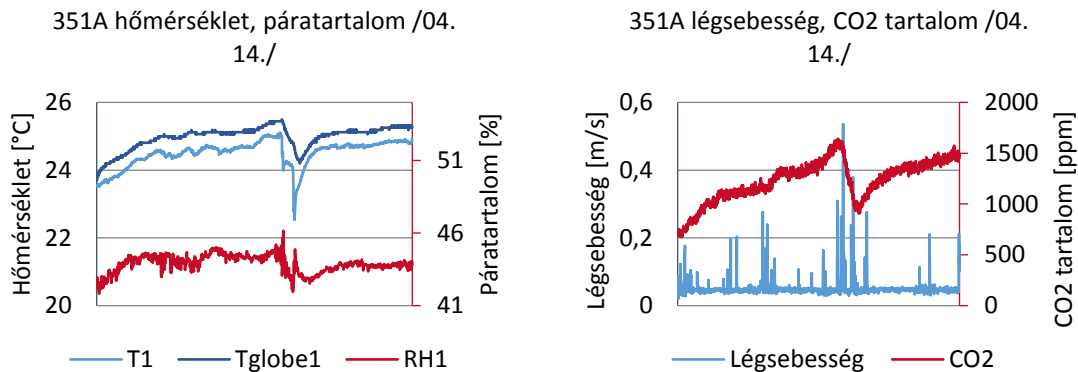


Diagram 42: A K351/A tanterem hőmérséklet és páratartalom adatai 2016. 04. 14-én

Diagram 43: A K351/A tanterem légsebesség és CO<sub>2</sub> adatai 2016. 04. 14-én

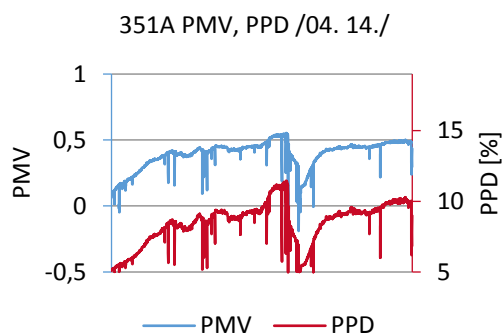


Diagram 44: A K351/A tanterem PMV, PPD diagramja 2016. 04. 14-én 12 kép: : A K351/A tanterem 2016. 04. 14-én

### Leolvasott információ:

Leolvasható, hogy a hőmérséklet adatok lassan, de emelkednek, azonban megfigyelhető egy hirtelen csökkenés. Ez a fordulat, amit egy ablak kinyitása idézett elő, az összes diagramon nyomon követhető. Hirtelen csökkenés tapasztalható a páratartalom és a CO<sub>2</sub> adatokban is és az ablak bezárását követően újabb emelkedő tendencia következik. A PMV és PPD értékek is ez alapján változnak, a legideálisabb értéket a szellőztetett időszakban tudta produkálni a terem.

<sup>42</sup> Országos Meteorológiai Szolgálat [2016]

**Terem:** K351/A **Mérés ideje:** 2016. 04. 21. (10:00-13:00) **clo=1 met=1**

### Külső meteorológiai adatok:

“A hőmérséklet csúcértéke többnyire 17 és 21 fok között alakult. Délelőtt túlnyomóan derült volt az ég. A hőmérséklet 11 órára 14 és 20 fok közé emelkedett. 12 órakor Budapesten a hőmérséklet 16 fok volt, a tengerszintre átszámított légnyomás 1027 hPa, gyengén süllyed.”<sup>43</sup>

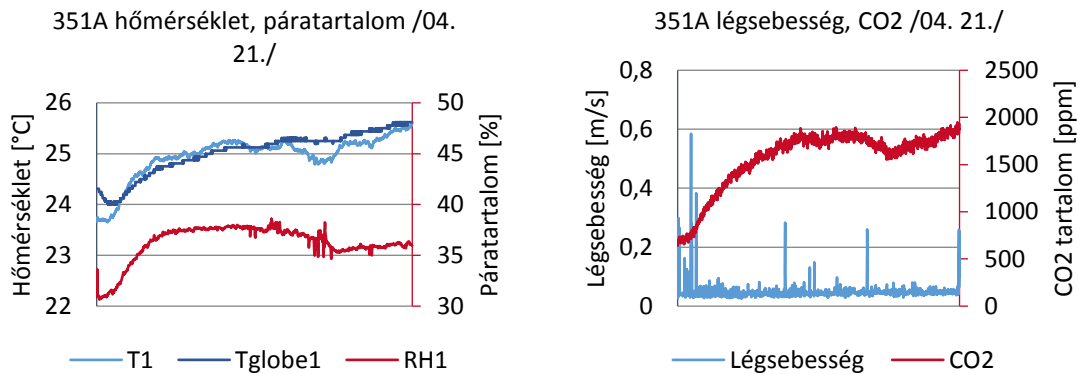


Diagram 45: A K351/A tanterem hőmérséklet és páratartalom adatai 2016. 04. 21-én

Diagram 46: A K351/A tanterem légsebesség és CO<sub>2</sub> adatai 2016. 04. 21-én

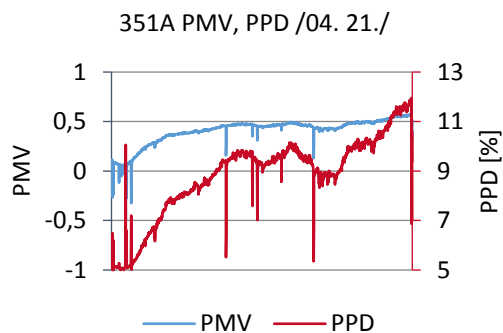


Diagram 47: A K351/A tanterem PMV, PPD diagramja 2016. 04. 21-én

### Leolvasott információ:

Ez az eredmény hasonló a 04. 14-ei méréshez. Itt is megfigyelhető az értékek emelkedése, majd a szellőztetés kezdete. Bár jóval árnyaltabban, de kimutatható, hogy az ablaknyitás jól tesz a PMV és PPD értékeknek. A légsebesség stabil, a néhány kiugrást a mellette elsétáló emberek okozták.

<sup>43</sup> Országos Meteorológiai Szolgálat [2016]

**Terem:** K353 **Mérés ideje:** 2016. 03. 01. (14:00-16:00) **clo=1** **met=1**

### Külső meteorológiai adatok:

“Kedden országszerte borult idő volt. A hőmérséklet csúcértéke 4, 13 fok között alakult. A főváros környékén még reggel, illetve délelőtt állt be a maximum, majd a viharossá fokozódó északnyugati szélben napközben több fokot hűlt a levegő. A hőmérséklet 11 órakor 2 és 10 fok között változott. 12 órakor Budapesten a hőmérséklet 3 fok volt, a tengerszintre átszámított légnyomás 1010 hPa, gyengén emelkedik.”<sup>44</sup>

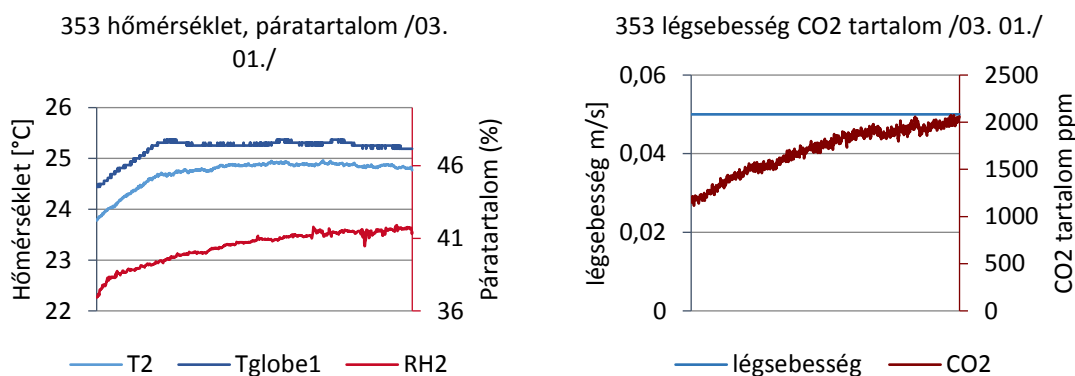


Diagram 48: A K353 tanterem hőmérséklet és páratartalom adatai 2016. 03. 01-én

Diagram 49: A K353 tanterem légsebesség és CO<sub>2</sub> adatai 2016. 03. 01-én

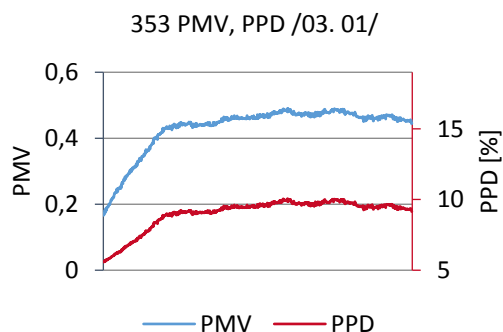


Diagram 50: A K353 tanterem PMV, PPD diagramja 2016. 03. 01-én

### Leolvasott információ:

A diagramokról az olvasható, hogy a hőmérséklet és páratartalom adatok a mérés első szakaszában emelkedtek, majd stagnáltak. Ez a terem mértéből és a jelen lévő létszámból következhet. A CO<sub>2</sub> tartalom folyamatos emelkedést mutat. A légsebesség adatokban ismeretlen hiba lépett fel, ezért azokat ennél a mérésnél nem tudjuk figyelembe venni. A légsebesség görbéjét tapasztalati alapon állítottuk be 0,05 m/s-ra.

<sup>44</sup> Országos Meteorológiai Szolgálat [2016]



**Terem:** K353 **Mérés ideje:** 2016. 03. 22. (14:00-16:00) **clo=1** **met=1**

### Külső meteorológiai adatok:

“Kedden a hőmérséklet csúcértéke 9 és 15 fok között változott. Napközben élénk, északnyugati szél fújt. Délelőtt általában borult volt az ég, csak az északi határ mentén volt a dél előtt első felében szakadozottabb a felhőzet. Délen többfelé esett az eső. A hőmérséklet 11 órára 4 és 9 fok közé emelkedett. 12 órakor Budapesten a hőmérséklet 10 fok volt, a tengerszintre átszámított légnyomás 1010 hPa, gyengén süllyed.”<sup>45</sup>

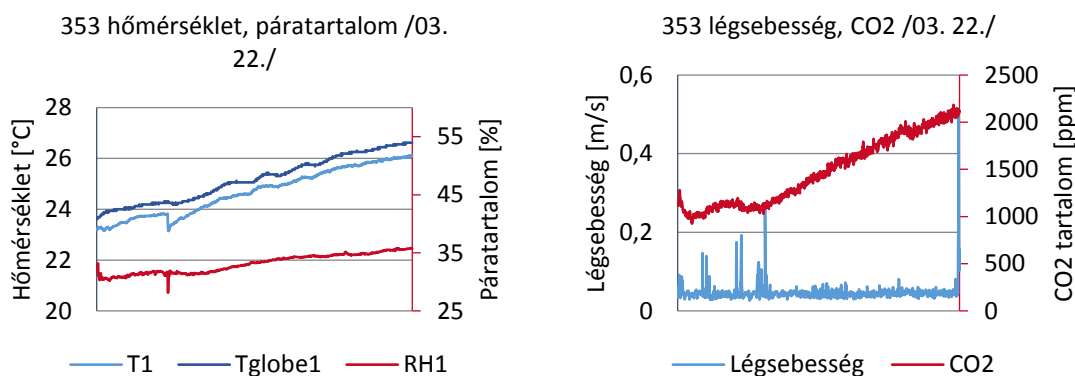


Diagram 51: A K353 tanterem hőmérséklet és páratartalom adatai 2016. 03. 22-én

Diagram 52: A K353 tanterem légsebesség és CO<sub>2</sub> adatai 2016. 03. 22-én

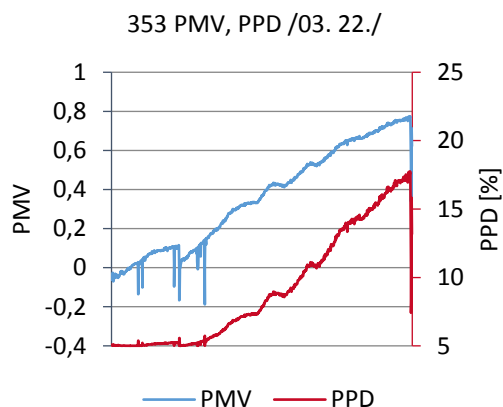


Diagram 53: A K353 tanterem PMV, PPD diagramja 2016. 03. 22-én 15 kép: A K353 tanterem 2016. 03. 22-én

### Leolvasott információ:

Megfigyelhető, hogy az összes mért érték emelkedő tendenciát mutat. A tanteremben kezdetben ideális volt a PMV és PPD grafikonok által közölt érték, azonban ahogy elkezdett megtelni a terem és a jelenlévők felmelegítették, úgy a PMV érték is elkezdett eltérni az ideális, alapértéktől.

<sup>45</sup> Országos Meteorológiai Szolgálat [2016]

**Terem: K353 Mérés ideje:** 2016. 04. 12. (14:00-16:00) **clo=1 met=1**

### Külső meteorológiai adatok:

“Kedden délelőtt sok helyen kisütött a nap. Délutánra az ország északi felében helyenként zápor alakult ki, néhol az ég is megdörrent. A hőmérséklet csúcserőke 16 és 25 fok között alakult. Délelőtt fátyolfelhős, napos idő volt. A hőmérséklet 11 órára többnyire 16 és 21 fok közé emelkedett. 12 órakor Budapesten a hőmérséklet 18 fok volt, a tengerszintre átszámított légnyomás 1012 hPa, gyengén süllyed.”<sup>46</sup>

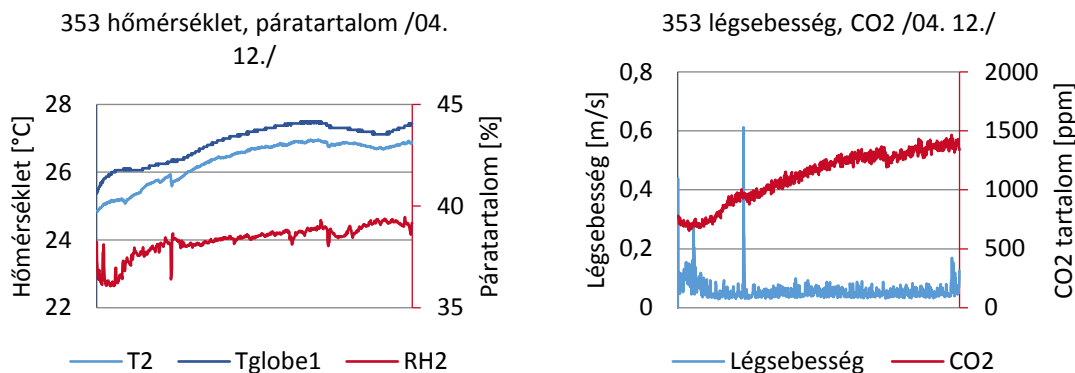


Diagram 54: A K353 tanterem hőmérséklet és páratartalom adatai 2016. 04. 12-én

Diagram 55: A K353 tanterem légsebesség és CO<sub>2</sub> adatai 2016. 04. 12-én

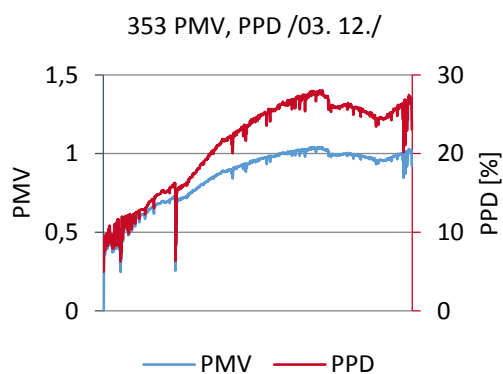


Diagram 56: A K353 tanterem PMV, PPD diagramja 2016. 04. 12-én 16 Kép: A K353 tanterem 2016. 04. 12-én

### Leolvasott információ:

A hőmérséklet diagramok már a kiindulási állapotban is 25°C körül mutattak a teremben, majd az idő előre haladtával ez elérte a 27°C-ot is. Nem véletlen tehát, hogy a PMV és PPD grafikonok szerint a hőkomfortállapotot jellemző értékek eltértek az ideálistól, majd idővel még inkább távolodtak attól.

<sup>46</sup> Országos Meteorológiai Szolgálat [2016]

**Terem:** K353 **Mérés ideje:** 2016. 04. 19. (14:00-16:00) **clo=1** **met=1**

### Külső meteorológiai adatok:

“Kedden az élénk északnyugati szél napközben gyakran megerősödött. A hőmérséklet csúcserőke általában 15 és 21 fok között alakult. A hőmérséklet 11 órára 10 és 16 fok közé emelkedett. 12 órakor Budapesten a hőmérséklet 16 fok volt, a tengerszintre átszámított légnyomás 1020 hPa, gyengén süllyed.”<sup>47</sup>

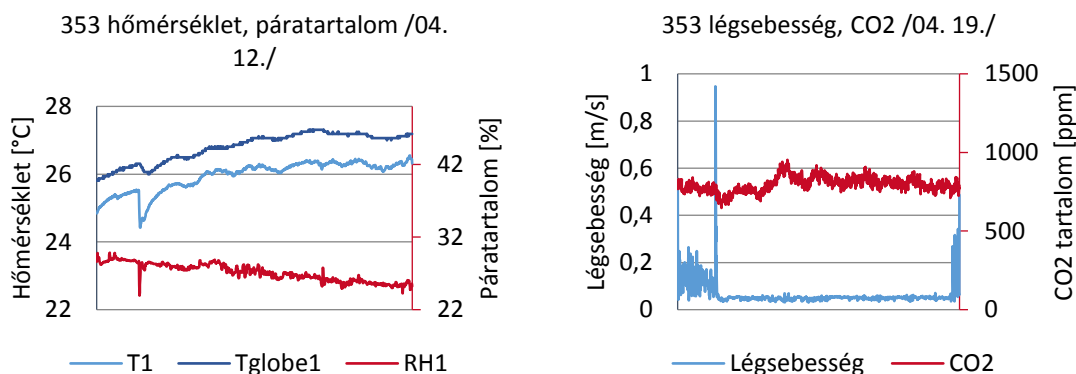


Diagram 57: A K353 tanterem hőmérséklet és páratartalom adatai 2016. 04. 19-én

Diagram 58: A K353 tanterem légsebesség és CO<sub>2</sub> adatai 2016. 04. 19-én

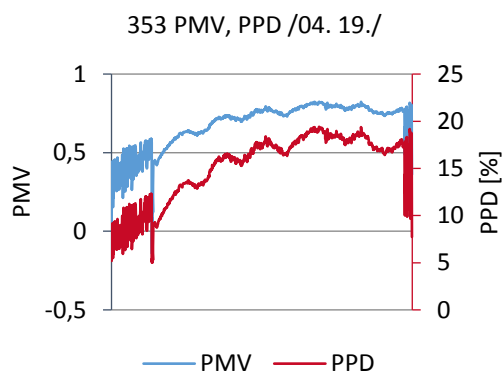


Diagram 59: A K353 tanterem PMV, PPD diagramja 2016. 04. 19-én 17 kép: A K353 tanterem 2016. 04.19-én

### Leolvasott információ:

Ez a mérés abban tér el a többitől, hogy a teljes időtartam alatt volt nyitott ablak a teremben. Ezt jól mutatja a kevésbé emelkedő hőmérséklet görbéje, valamint a csökkenő páratartalom és stagnáló CO<sub>2</sub> érték is. Ezt a mozgást követi le a PMV és PPD diagram is, amiken az látszik, hogy kiinduláskor közel ideális értékeket mutatnak, majd elkezdnek eltérni tőle de egy bizonyos időszak után abbamarad a távolodás.

<sup>47</sup> Országos Meteorológiai Szolgálat [2016]

**Terem:** K353 **Mérés ideje:** 2016. 05. 03. (14:00-16:00) **clo=1** **met=1**

### Külső meteorológiai adatok:

“Kedden a napos időszakok mellett az ország nagyobb részén az erősen felhős ég volt a jellemző. A hőmérséklet 11 órakor 10 és 21 fok között változott. 12 órakor Budapesten a hőmérséklet 18 fok volt, a tengerszintre átszámított légnyomás 1012 hPa, alig változik.”<sup>48</sup>

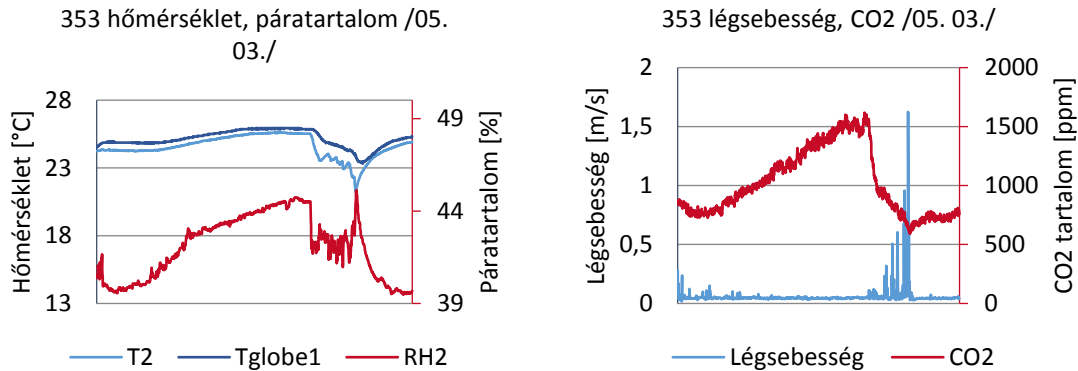


Diagram 60: A K353 tanterem hőmérséklet és páratartalom adatai 2016. 05. 03-án

Diagram 61: A K353 tanterem légsebesség és CO<sub>2</sub> adatai 2016. 05. 03-án

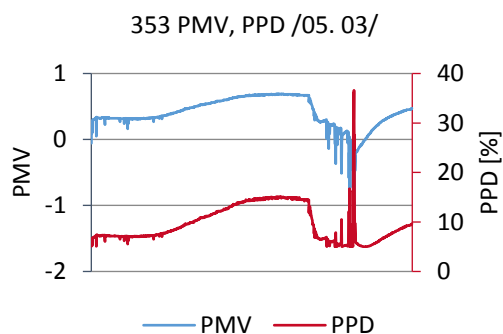


Diagram 62: A K353 tanterem PMV, PPD diagramja 2016. 05. 03-án 18 kép: A K353 tanterem 2016. 05.03-án

### Leolvasott információ:

Mint ahogy ezt már láthattuk néhány előző mérésen, itt is a szellőztetés időszaka hozott látványos változásokat. A hőmérséklet, a páratartalom és a CO<sub>2</sub> tartalom is lassan kúszik felfelé a teremben, egészen addig, amíg kinyitásra nem kerül egy ablak. Ezt követően az előbb felsorolt jellemzők értékei hirtelen zuhanni kezdenek, valamint a légsebesség adatokon jól látszik, ahogy az ablakon beáramló levegő mozgását mutatják az anemométerek. A PMV és PPD diagramok alapján a teremben lévők hőkomfortérzetére ezúttal is jó hatással van a szellőztetés, mivel látszik, hogy abban az időszakban térnek vissza az értékek az ideálisnak tekintett köré.

<sup>48</sup> Országos Meteorológiai Szolgálat [2016]

**Terem:** K250 **Mérés ideje:** 2016. 03. 16. (12:00-14:00) **clo=1** **met=1**

### Külső meteorológiai adatok:

“Szerdán országszerte szakadozott, csökkent a felhőzet, csapadék délutántól már nem fordult elő. A hőmérséklet csúcértéke 7 és 12 fok között alakult. A hőmérséklet 11 órakor 7 és 12 fok között változott. 12 órakor Budapesten a hőmérséklet 9 fok volt, a tengerszintre átszámított légnyomás 1014 hPa, mérsékelten emelkedik.”<sup>49</sup>

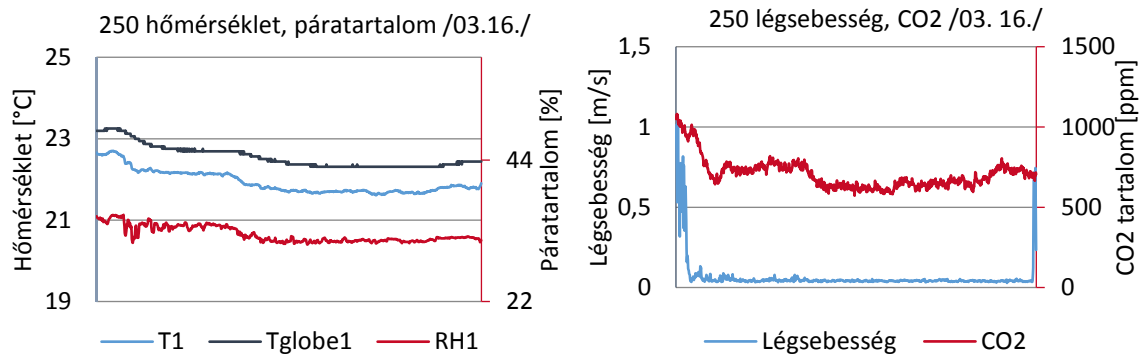


Diagram 63: A K250 tanterem hőmérséklet és páratartalom adatai 2016. 03. 16-án

Diagram 64: A K250 tanterem légsebesség és CO<sub>2</sub> adatai 2016. 03. 16-án

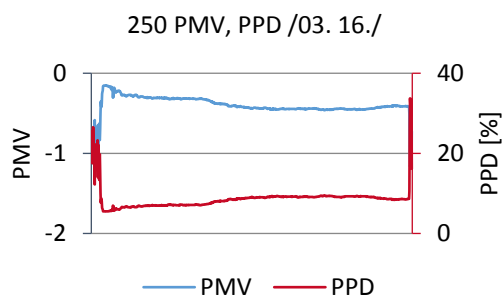


Diagram 65: A K250 tanterem PMV, PPD diagramja 2016. 03. 16-án 19 kép: A K250 tanterem 2016. 03. 16-án

### Leolvasott információ:

A terem méretéből adódóan a méréseken nem látszik jelentős befolyásolás a bent tartózkodók részéről. A mért hőmérséklet, valamint a páratartalom is stagnál, míg a CO<sub>2</sub> tartalom csökken. Ez az eredmény azzal magyarázható, hogy a mérést megelőző órán jóval több személy tartózkodott a teremben, mint a mérés ideje alatt, így a CO<sub>2</sub> érték lassan, de javulásnak indult. A PMV és PPD értékeket nem jellemzi nagy kilengés, szinte végig elfogadható határon belül maradnak az értékek. (Leszámítva a mérés legelejét és legvégét, amikor valószínűleg külső behatás miatt irreálisan kilengtek az értékek.)

<sup>49</sup> Országos Meteorológiai Szolgálat [2016]

**Terem: K250 Mérés ideje:** 2016. 03. 23. (12:00-14:00) **clo=1 met=1**

### Külső meteorológiai adatok:

“Szerdán jobbára borult volt az ég. A hőmérséklet csúcértéke 5 és 12 fok között változott. Dél előtt az ország középső részén gomolyfelhős, napos idő volt, másutt több volt a felhő, helyenként zápor, jégdara zápor is előfordult. A hőmérséklet 11 órára 4 és 11 fok közé emelkedett. 12 órakor Budapesten a hőmérséklet 8 fok volt, a tengerszintre átszámított légnyomás 1005 hPa, mérsékelten süllyed.”<sup>50</sup>

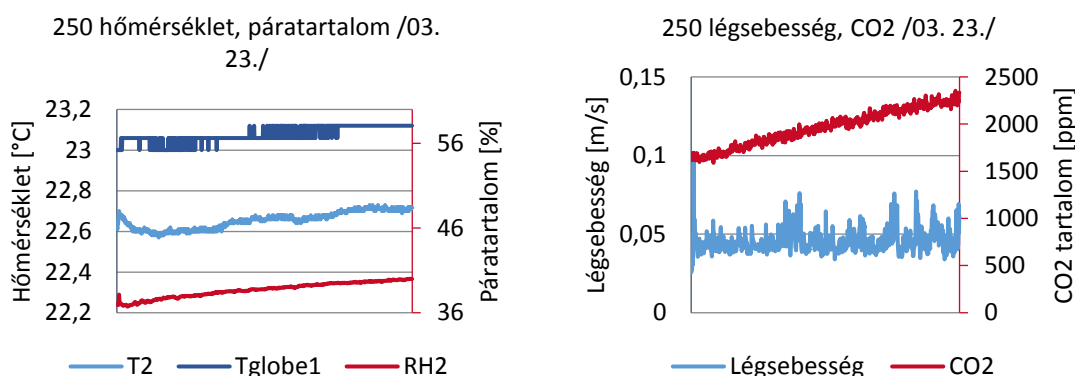


Diagram 66: A K250 tanterem hőmérséklet és páratartalom adatai 2016. 03. 23-án

Diagram 67: A K250 tanterem légsebesség és CO<sub>2</sub> adatai 2016. 03. 23-án

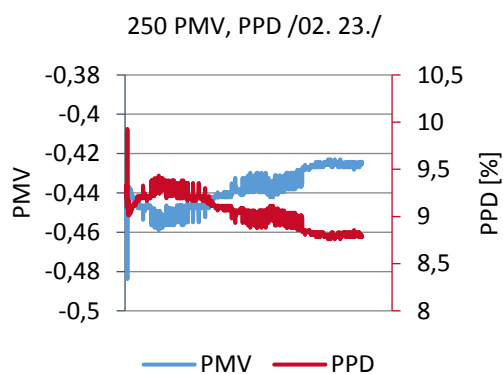


Diagram 68: A K250 tanterem PMV, PPD diagramja 2016. 03. 23-án 20 kép: A K250 tanterem 2016. 03.23-án

### Leolvasott információ:

A diagramok alapján az állapítható meg, hogy a mérés előrehaladtával a PMV és PPD értéke egyre közelebb került az ideális értékhez. A hőmérséklet, a páratartalom és a CO<sub>2</sub> tartalom csak kevéssé és lassan emelkedtek. Ez szintén az alacsony létszámmal magyarázható.

<sup>50</sup> Országos Meteorológiai Szolgálat [2016]

**Terem:** K250 **Mérés ideje:** 2016. 04. 13. (12:00-14:00) **clo=1** **met=1**

### Külső meteorológiai adatok:

“Szerdán délelőtt fátyolfelhős, napos idő volt, majd délután gomolyfelhők képződtek, amelyekből néhol zápor is előfordult. A hőmérséklet csúcértéke 21 és 25 fok között alakult. A hőmérséklet 11 órára 11 és 20 fok közé emelkedett. 12 órakor Budapesten a hőmérséklet 19 fok volt, a tengerszintre átszámított légnyomás 1009 hPa, alig változik.”<sup>51</sup>

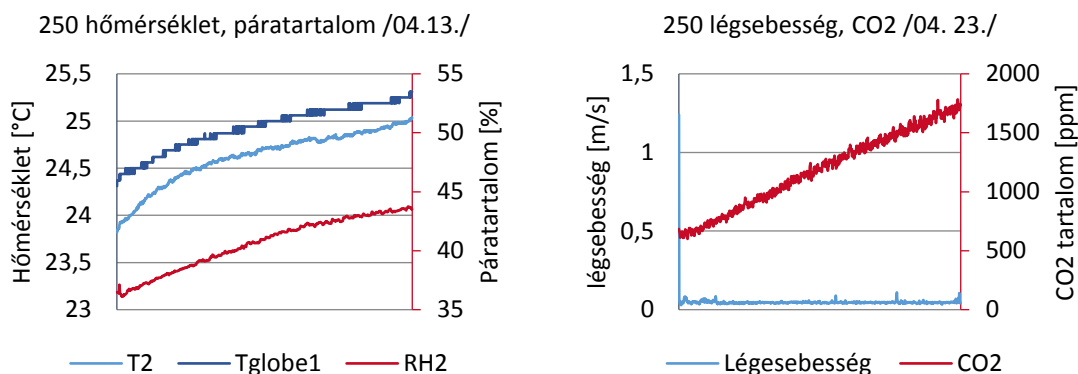


Diagram 69: A K250 tanterem hőmérséklet és páratartalom adatai 2016. 04. 13-án

Diagram 70: A K250 tanterem légsebesség és CO<sub>2</sub> adatai 2016. 03. 13-án

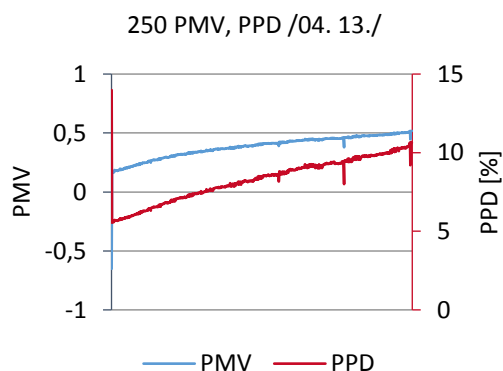


Diagram 71: A K250 tanterem PMV, PPD diagramja 2016. 04. 13-án 21 kép: A K250 tanterem 2016. 04.13-án

### Leolvasott információ:

A személyes jelenlét befolyásoló képessége szempontjából ebben a teremben, ez a mérés sikerült talán a legjobban. A terem méretének ellenére jól látható az emelkedő tendencia mind a hőmérséklet, mind pedig a páratartalom értékekben. A CO<sub>2</sub> értékek jelentős, kb. háromszoros értékre növekedtek a mért időszak alatt. Légmozgás változása nem jellemző, a PMV, PPD értékek lassan távolodnak az ideálistól.

<sup>51</sup> Országos Meteorológiai Szolgálat [2016]

**Terem:** K250 **Mérés ideje:** 2016. 04. 27. (12:00-14:00) **clo=1** **met=1**

### Külső meteorológiai adatok:

“Szerdán egy lassan mozgó, markáns hidegfront vonult át az országon. A hőmérséklet csúcserőteke tág határok között alakult. A ma reggelig lehullott csapadék mennyisége mérőállomásainkon többnyire csapadéknyom és 15 mm között változott. A hőmérséklet 11 órakor 2 és 13 fok között változott. 12 órakor Budapesten a hőmérséklet 10 fok volt, a tengerszintre átszámított légnyomás 1008 hPa, gyengén süllyed.”<sup>52</sup>

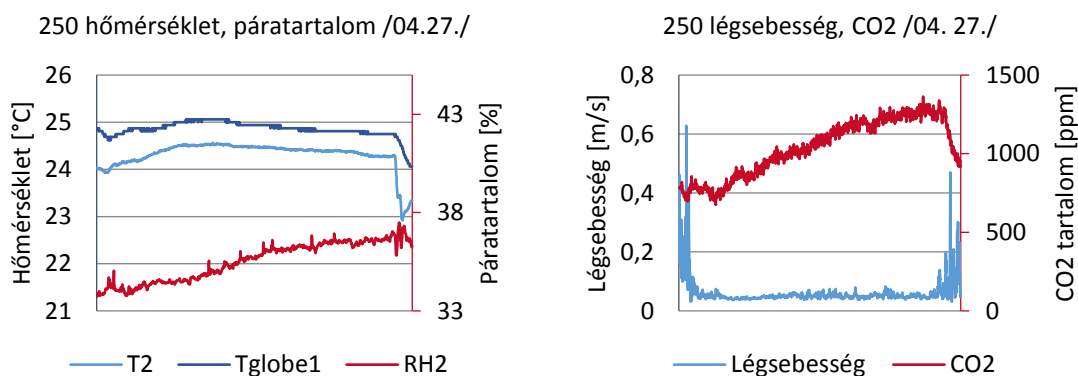


Diagram 72: A K250 tanterem hőmérséklet és páratartalom adatai 2016. 04. 27-én

Diagram 73: A K250 tanterem légsebesség és CO2 adatai 2016. 04. 27-én

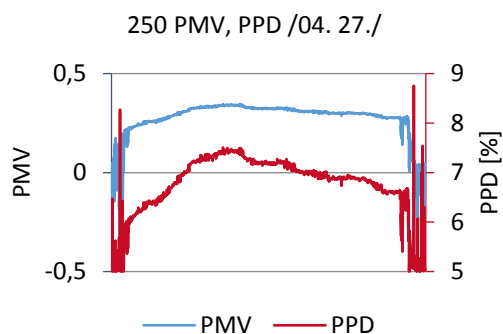


Diagram 74: A K250 tanterem PMV, PPD diagramja 2016. 04. 27-én 22 kép: A K250 tanterem 2016. 04.27-én

### Leolvasott információ:

A diahőmérséklet diagramok érdekesen alakulnak. A lassú emelkedést lassú süllyedés követi, míg a páratartalom és CO<sub>2</sub> szint konzekvensen emelkedik. A PMV érték a mérés kezdetekor ideális értéket mutat, majd idővel emelkedik az érték, azonban nem tér el sokat a megfelelő tartománytól. A PPD értékek hasonlóan alakulnak, az elégedetlenek százalékos aránya viszonylag kicsi, nem éri el a 8%-ot sem.

<sup>52</sup> Országos Meteorológiai Szolgálat [2016]



**Terem:** K234 **Mérés ideje:** 2016. 01. 06. **clo=1** **met=1**

### Külső meteorológiai adatok:

“Szerdán országszerte borult, csapadékos idő volt. A hőmérséklet csúcértéke -2 és +2 fok között változott, de nagyobb területen maradt fagypont alatt a hőmérő higanyszála. A hőmérséklet 11 órakor jellemzően -1 és +4 fok között alakult. 12 órakor Budapesten a hőmérséklet -2 fok volt, a tengerszintre átszámított légnyomás 1006 hPa, gyengén süllyed.”<sup>53</sup>

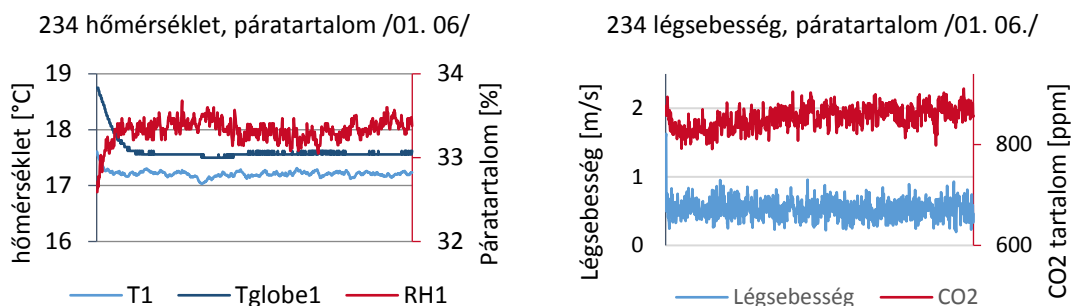


Diagram 75: A K234 tanterem hőmérséklet és páratartalom adatai 2016. 01. 06-án

Diagram 76: A K234 tanterem légsebesség és CO2 adatai 2016. 01. 06-án

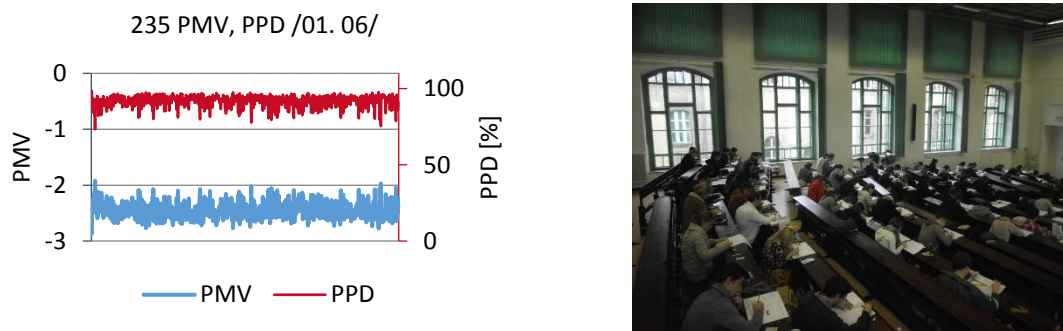


Diagram 77: A K234 tanterem PMV, PPD diagramja 2016. 01. 06-án 23 kép: A K234 tanterem 2016. 01.06-án

### Leolvasott információ:

A hőmérséklet adatokból látszik, hogy a terem meglehetősen hűvös, 17,5°C-os volt. Ez a mérés során nem is emelkedett meg, hiába tartózkodtak a teremben a vizsgaszituációnak megfelelően viszonylag sokan. A mérés kezdetekor látható lefelé ívelő szakasz onnan származik, hogy a mérőállomás a tanszéki szobából került át a mért terembe és idő kellett, amíg átvette az ottani hőmérsékletet. A légsebesség, a CO<sub>2</sub>, valamint a páratartalom adatok jelentős befolyással nem bírtak a hőmérsékletre képest. A PMV és PPD értékek rendkívül negatív hőkomfortérzetre utalnak. Szinte végig 90% körül mozog a lehetséges elégedetlenek százalékos aránya.

<sup>53</sup> Országos Meteorológiai Szolgálat [2016]

**Terem:** K234    **Mérés ideje:** 2016. 01. 06.    **clo=2,2**    **met=1,2**

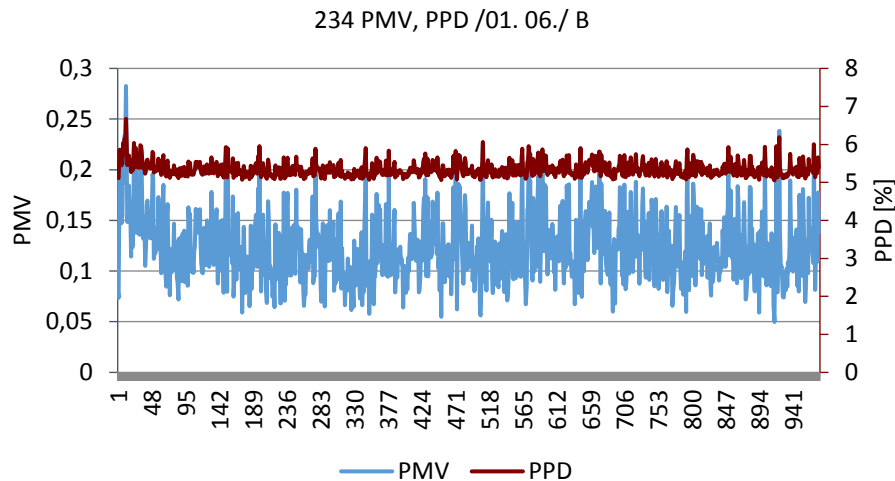


Diagram 78: A K234 tanterem PMV, PPD diagramja 2016. 01. 06-án /B

Kíváncsiságból megvizsgáltuk a szituációt eltérő tevékenység, illetve ruházati értékeket behelyettesítve a PMV és PPD képletekbe. Ha azt feltételezzük, hogy a vizsgát mindenki vastag ruházatba, téli kabátban írja (clo=2,2) és a vizsgaszituációnak megfelelően egy minimális stresszes állapotot feltételezünk (met=1,2) akkor a hőkomfortérzet sokat mozdul az ideálisnak tekintett érték felé.

Esetleg ha a tanszék tudta volna hogy nem lesz fűtés a teremben javíthatott volna a hő hőkomforton azzal ha erre az alkalom egy jóval nehezebb vizsgafeladatot állít össze...

**clo= 1,5**    **met=2**

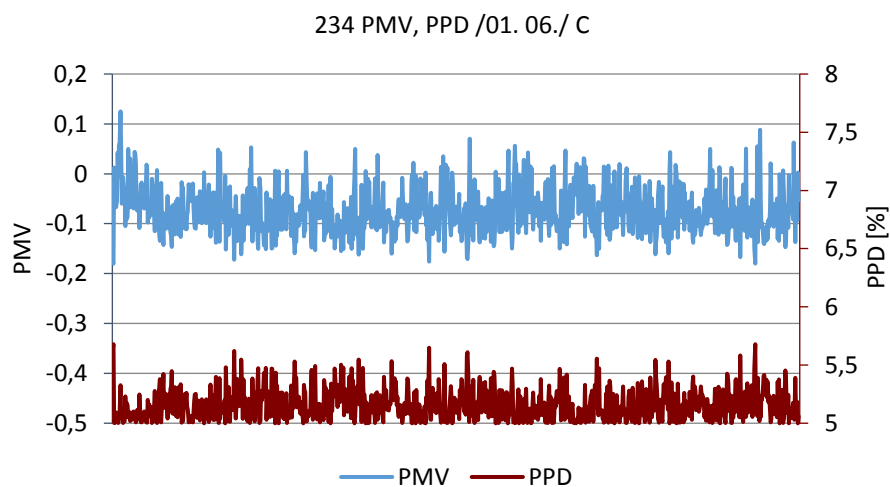


Diagram 79: A K234 tanterem PMV, PPD diagramja 2016. 01. 06-án /C

## D) ODOO árnyékolások mérése – diagramok

2016.07.26-08.01

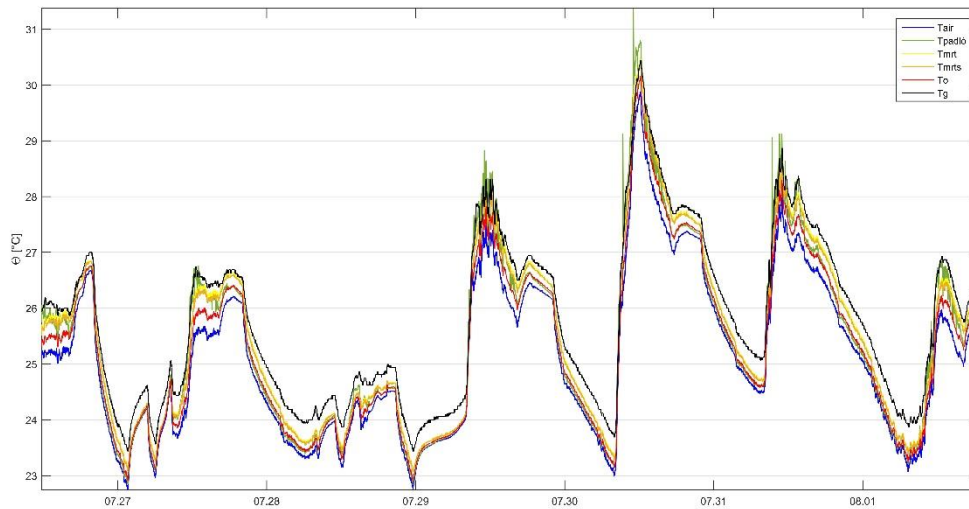


Diagram 80: TC1 mért és számított hőmérséklet adatok

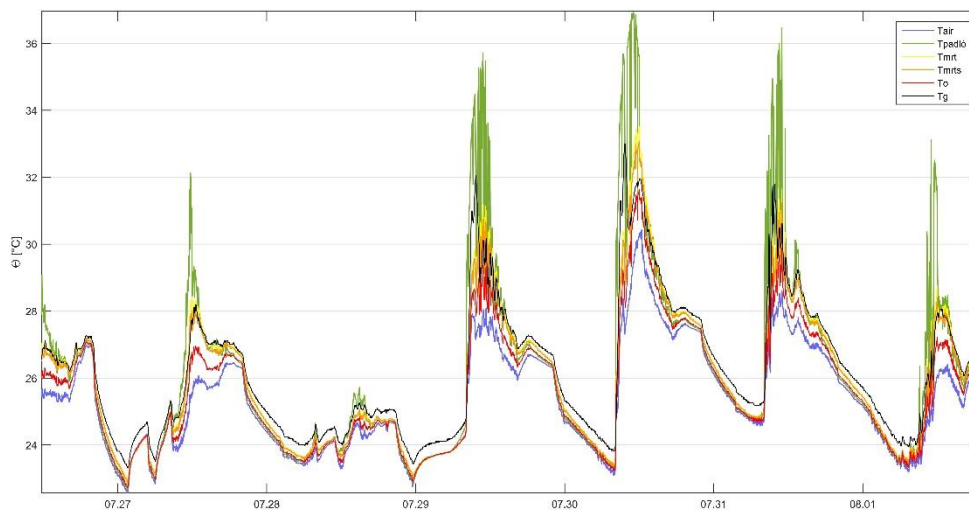


Diagram 81: TC2 mért és számított hőmérséklet adatok

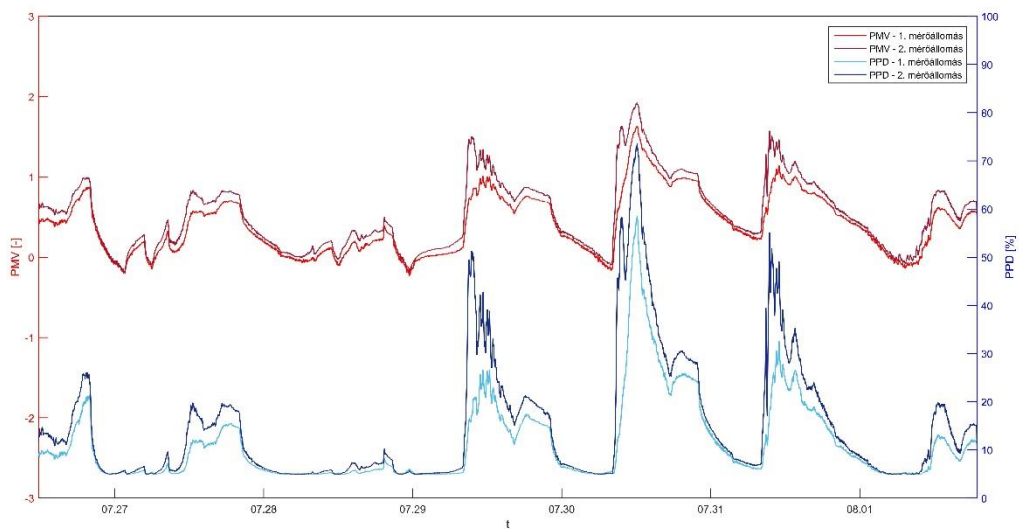


Diagram 82: PMV és PPD összehasonlítása

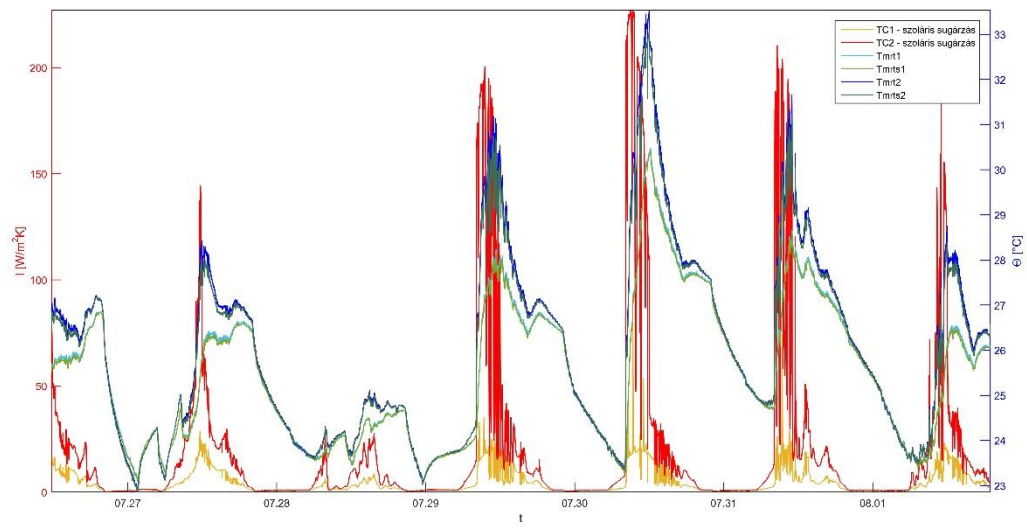


Diagram 83: TC1 és TC2 sugárzási adatok összehasonlítása

2016.07.30 -07.31.

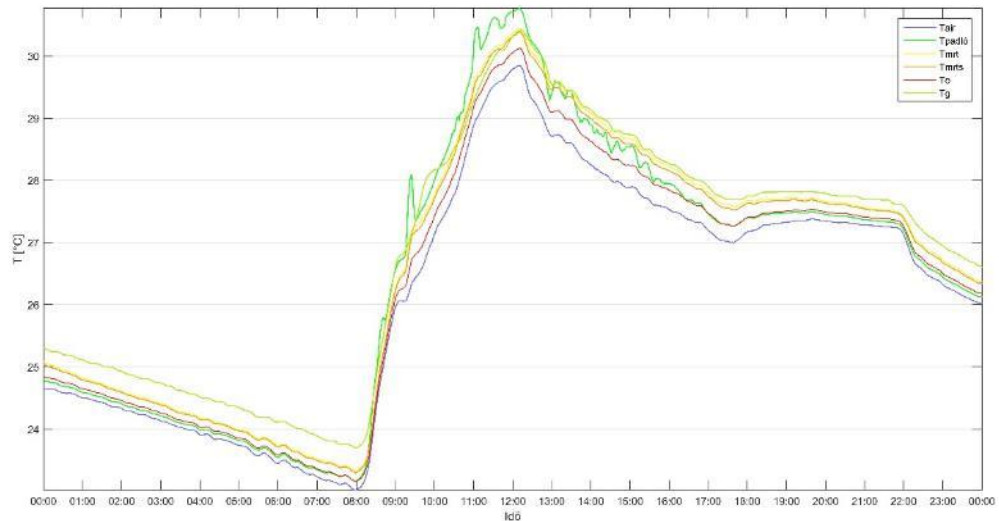


Diagram 84: TC1 mért és számított hőmérséklet adatok

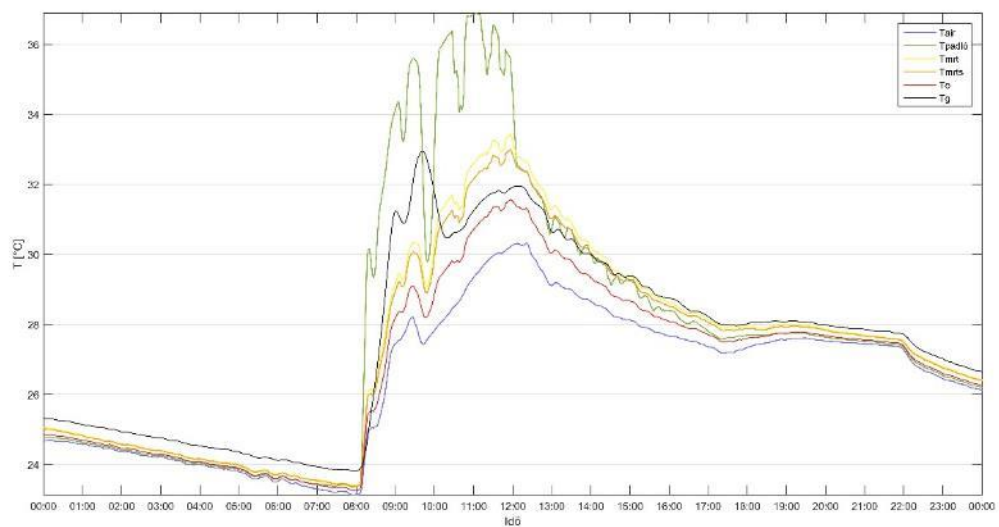


Diagram 85: TC2 mért és számított hőmérséklet adatok

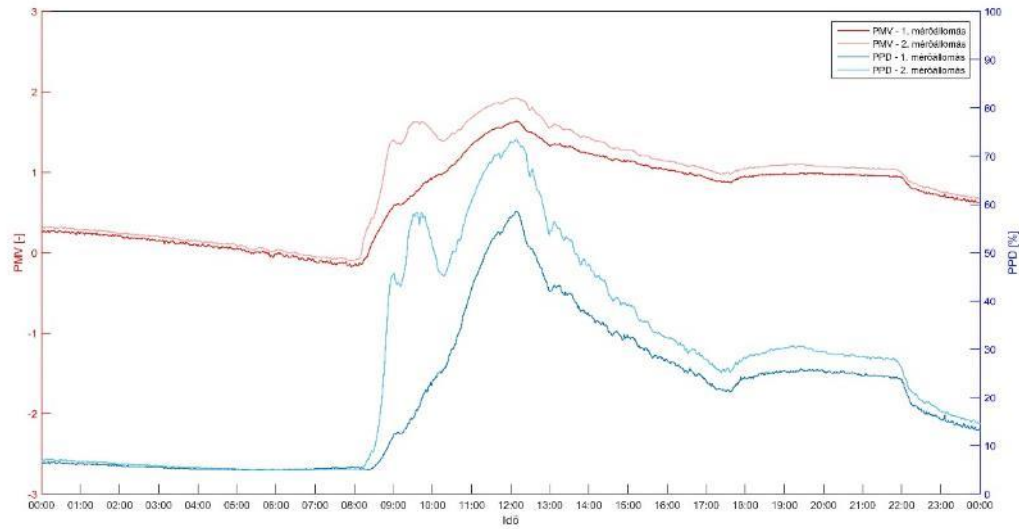


Diagram 86: PMV és PPD összehasonlítása

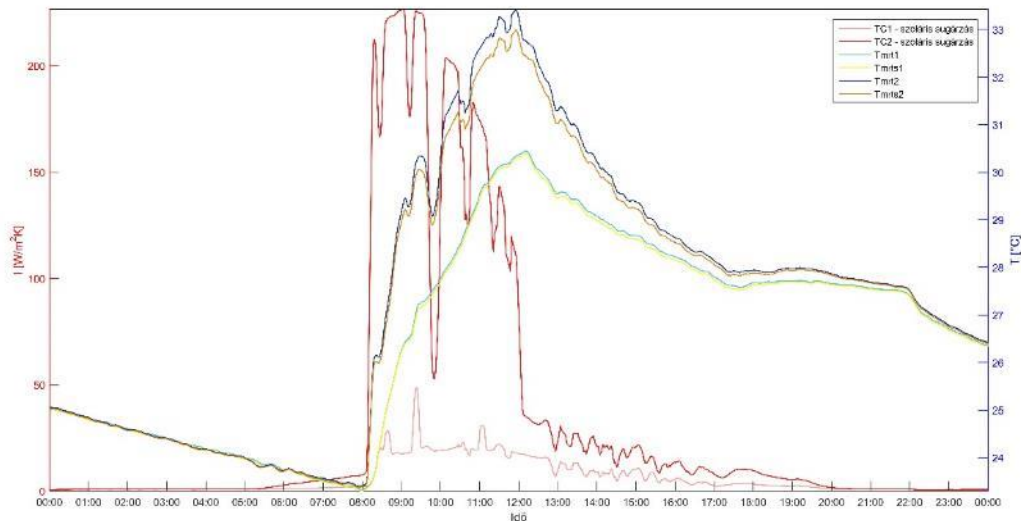


Diagram 87: TC1 és TC2 sugárzási adatok összehasonlítása

Első mérési hét értékelése:

Az első mérési héten (2016. 07.26 - 08.01) a két típusú zöldárnyékolót (borostyán és vadszőlő) vizsgáltuk.

Megfigyelhető a léghőmérsékletek különbsége, a vadszőlő mögött 1-2 °C-al melegebb volt, de előfordult 3°

C-os különbség is. A másik mért adatunk a gömböknél (sugárzási hőmérséklet) is megfigyelhető ez a különbség.

A számított értékeink közül a padló hőmérséklete jelentős kiugrást mutat a vadszőlő esetében, ez a nagy mennyiségű szoláris sugárzás miatt van. A vadszőlő levelezet nem túl sűrű, így ahol

nincs átfedés a sugárzás könnyedén bejut a belső térbe. A szoláris diagramon jól látszik a  $I_s$  különbség a két árnyékoló esetében.

A PMV tekintetében látszik, hogy viszonylag alacsonyabb külső léghőmérséklet mellett mindkét típus hatékony volt, viszont magasabb léghőmérséklet mellett már jelentős különbségeket mutatnak, a PMV tekintetében 1 érték különbség, PPD tekintetében 30% volt.

A napi értékelésnél 07.30-07.31-ét mutatjuk be, az operatív hőmérséklet jó összehasonlítást biztosít, a borostyán esetében ez 30, a vadszőlőnél pedig 31,5 °C, a 1,5 °C-os különbség nem elhanyagolható.

Megfigyelhető, hogy a vadszőlő értékei "cakkosak", jelentős ugrálásokat mutat, ez a levélsűrűségből adódik.

Összességében a borostyán jobban szerepelt.

2016.08.01-08.08.

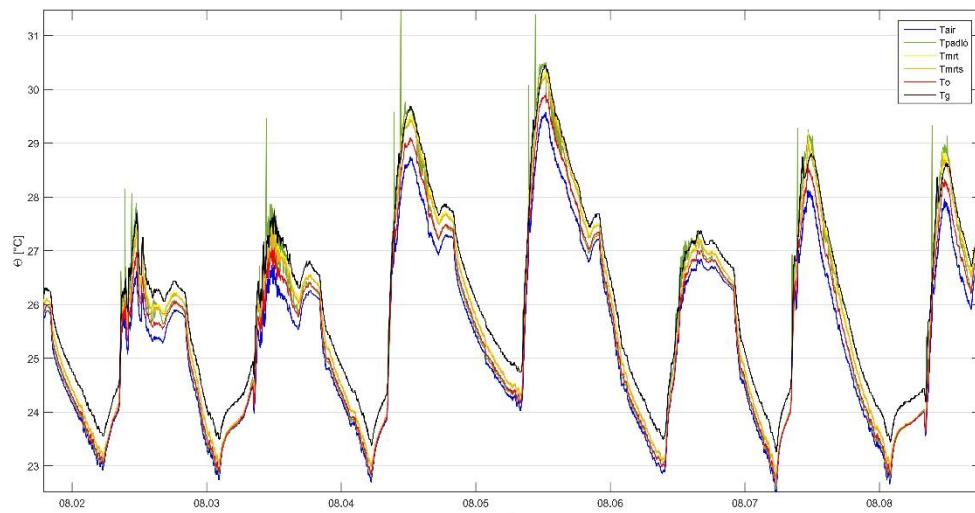


Diagram 88: TCI mért és számított hőmérséklet adatok

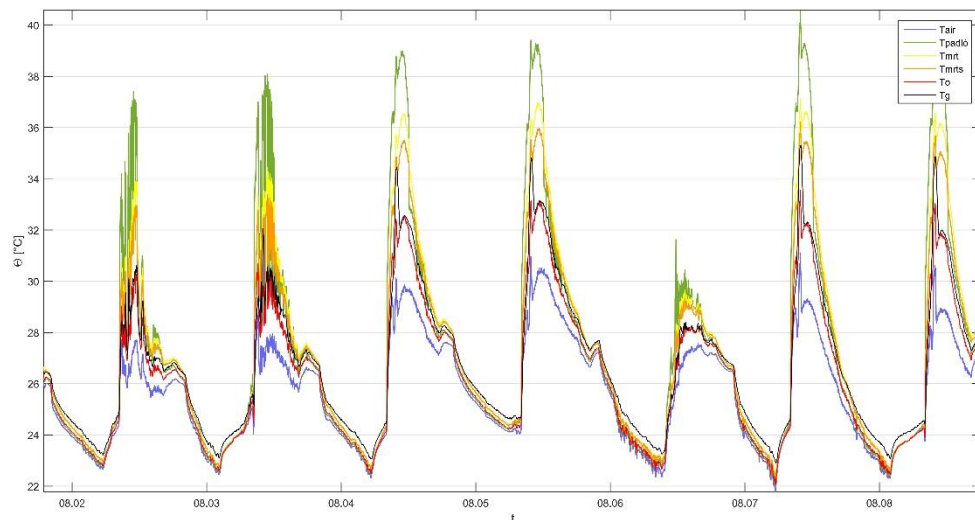


Diagram 89: TC2 mért és számított hőmérséklet adatok

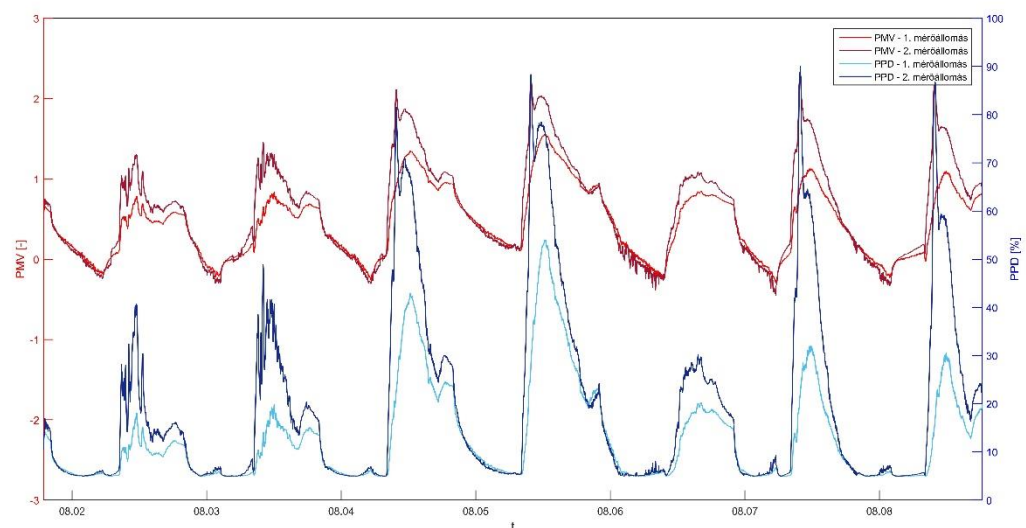


Diagram 90: PMV és PPD összehasonlítása

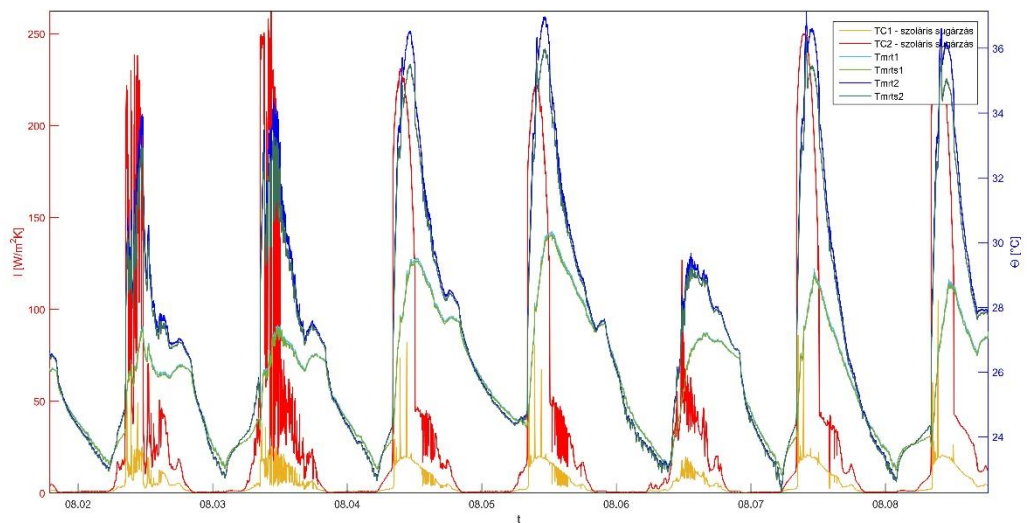


Diagram 91: TC1 és TC2 sugárzási adatok összehasonlítása

2016.08.04 -08.05.

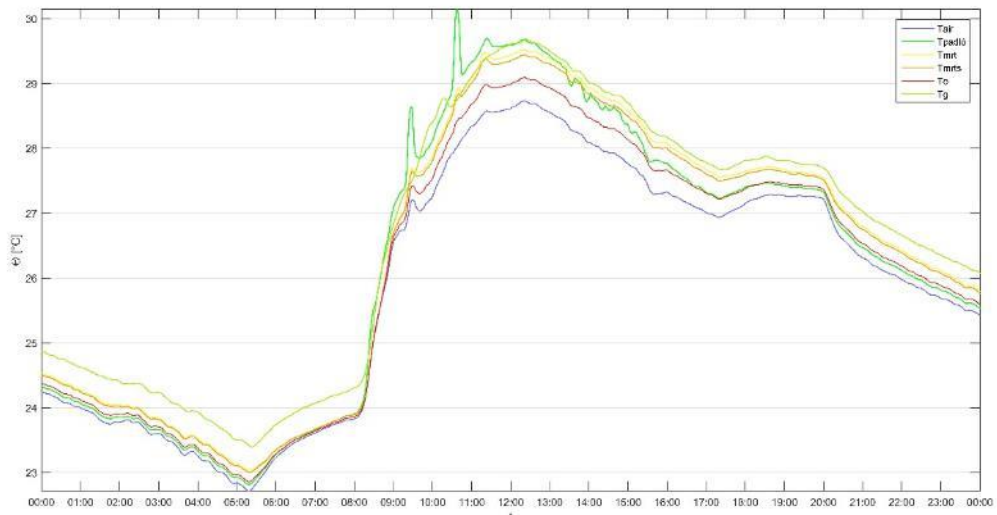


Diagram 92: TC1 mért és számított hőmérséklet adatok

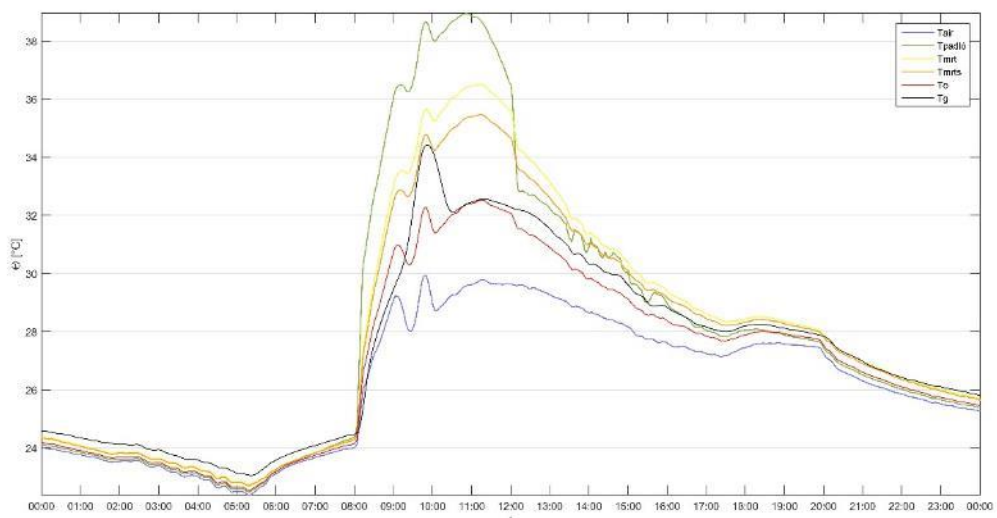


Diagram 93: TC2 mért és számított hőmérséklet adatok



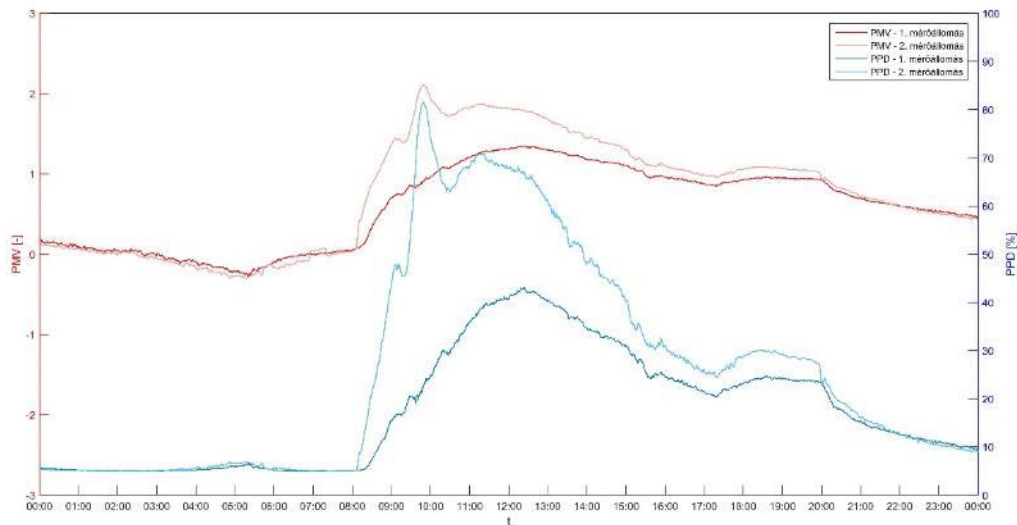


Diagram 94: PMV és PPD összehasonlítása

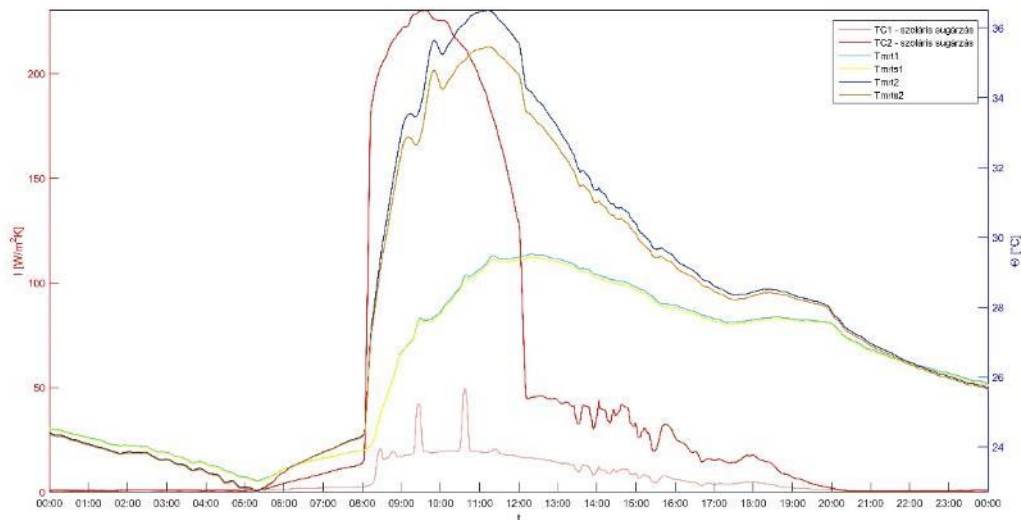


Diagram 95: TC1 és TC2 sugárzási adatok összehasonlítása

Második mérési hét értékelése:

A második mérési héten (2016. 08.01 - 08.08) a borostyán és az árnyékolatlan üveget vizsgáltuk.

A borostyán az előző héthez hasonlóan kis kiugrásokat mutat, a mért is számított értékek kis eltéréseket mutatni. Az árnyékolatlan üveg mögött viszont jelentős eltérések alakultak ki.

A léghőmérsékletet nem mutatnak eltérést, mindkét esetben 27 és 30 °C között alakult a déli órákban. A szoláris sugárzást megnézve viszont láthatjuk, hogy az árnyékolatlan üvegen többszörös sugárzás jutott be, mint a zöldárnyékolón. Ebből adódóan a számított értékünk a padló felületi hőmérsékleti is jelentős eltéréseket mutat.

Az operatív hőmérsékletek között is 3 °C-os eltérés volt, ami jelentős különbség.

A PMV és a PPD értékek is jól mutatják a jelentős különbséget a két esetben. Az utóbbi adatok van ahol 60%-os különbséget mutatnak, hiszen az árnyékolatlan mögött előfordult 90%-os elégedetlenségi érték is.

Az éjszakák viszont mindkét esetben jó eredményeket mutatnak, a kettő között nincs igazán különbség.

A napi értékelésnél 08.04-08.05-ét mutatjuk be. Megfigyelhető, hogy amint megjelenik a nap, és direkt sugárzás éri a szerkezetet, a borostyán esetében lankásabban emelkednek az értékek, míg az árnyékolatlan esetben rögtön érezhető a nap hatása, meredeken emelkednek az értékek.

A borostyánnal árnyékolt üveg mögött jelentősen jobb volt a hőkomfort.

2016.08.08. – 08.15.

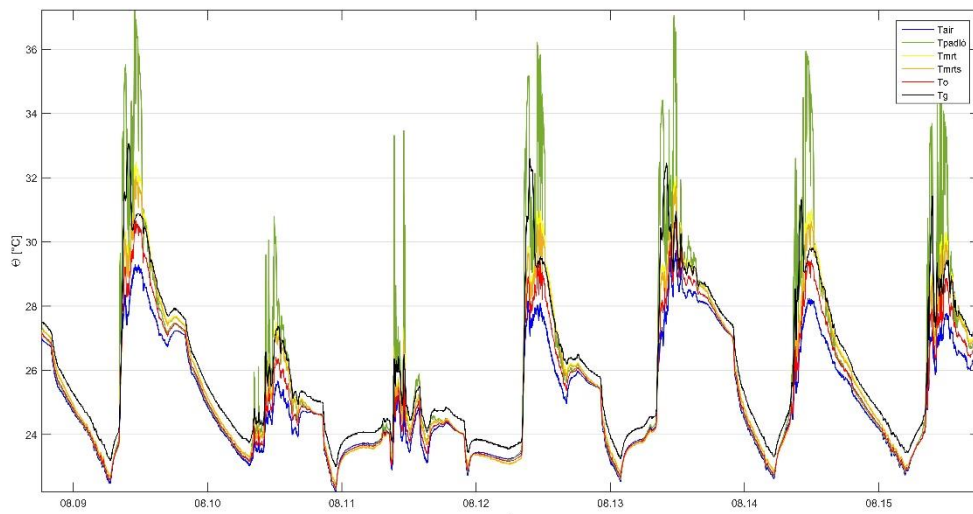


Diagram 96: TC1 mért és számított hőmérséklet adatok

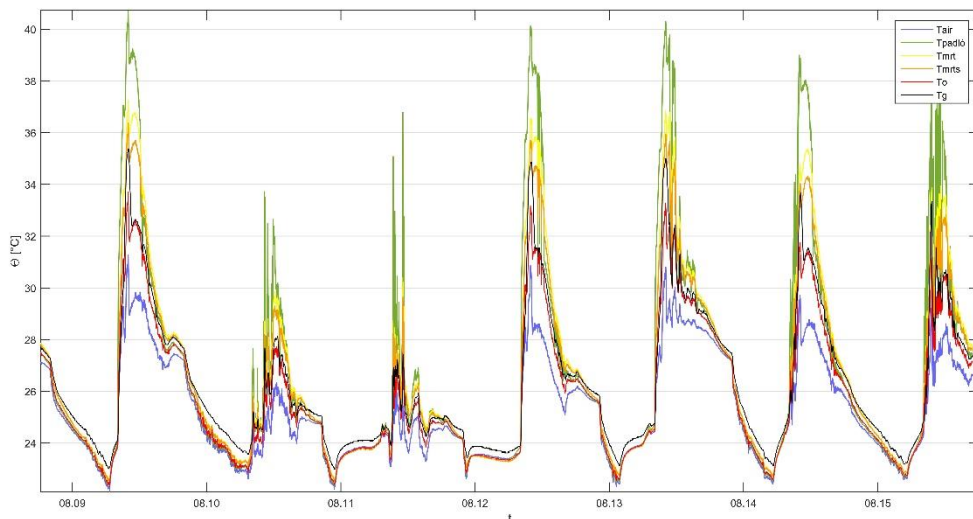


Diagram 97: TC2 mért és számított hőmérséklet adatok

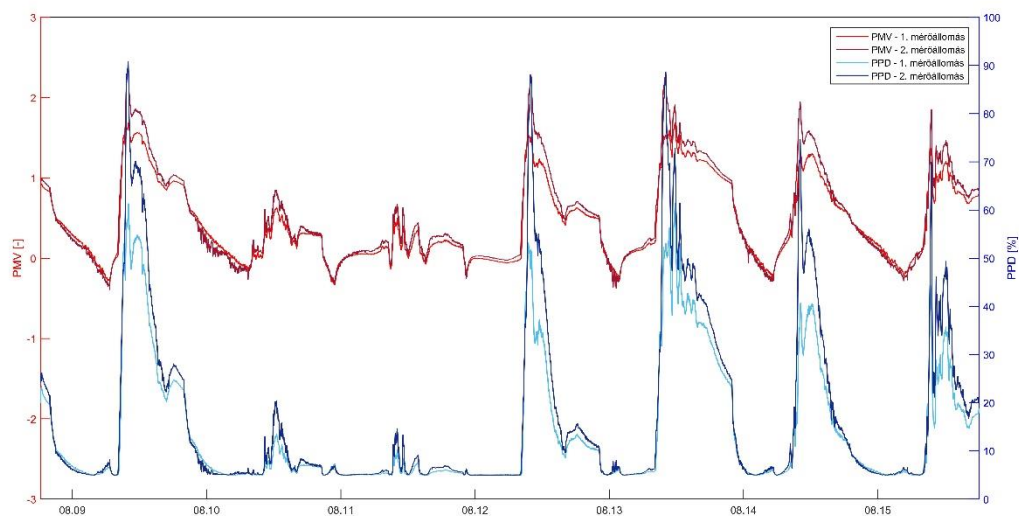


Diagram 98: PMV és PPD összehasonlítása

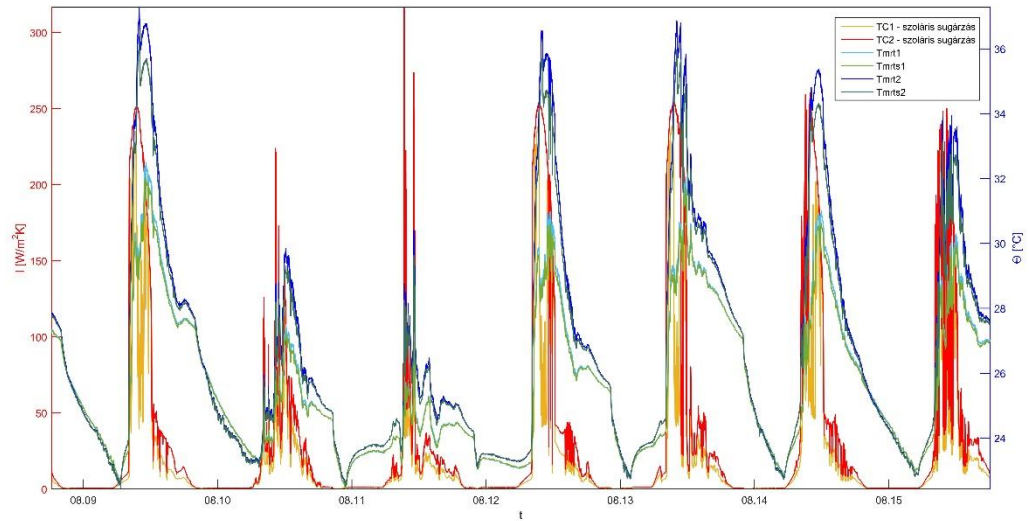


Diagram 99: TC1 és TC2 sugárzási adatok összehasonlítása

2016.08.13 - 08.14.

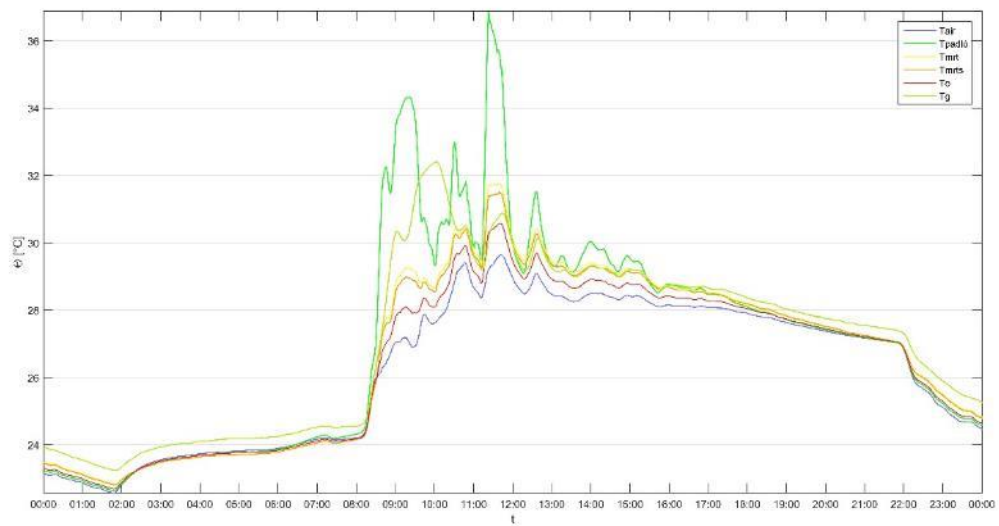


Diagram 100: TC1 mért és számított hőmérséklet adatok

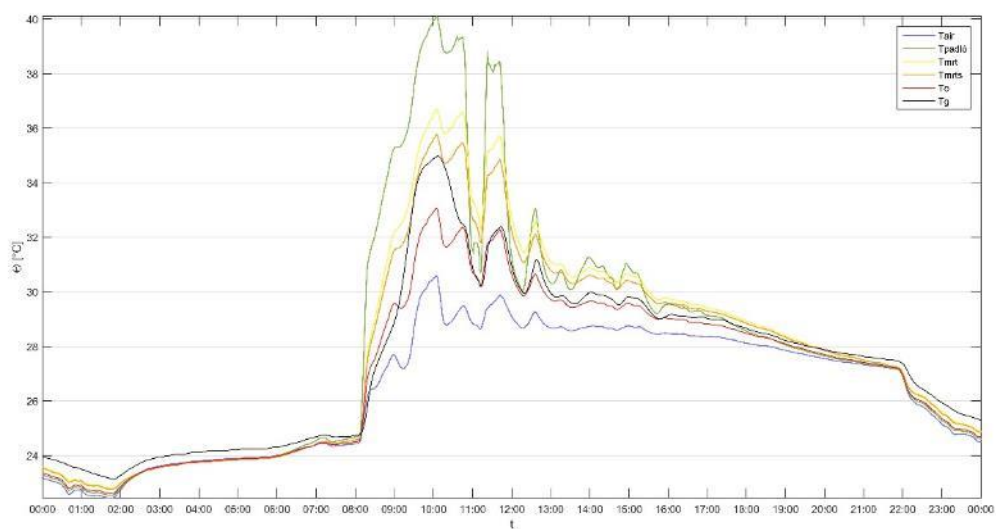


Diagram 101: TC2 mért és számított hőmérséklet adatok

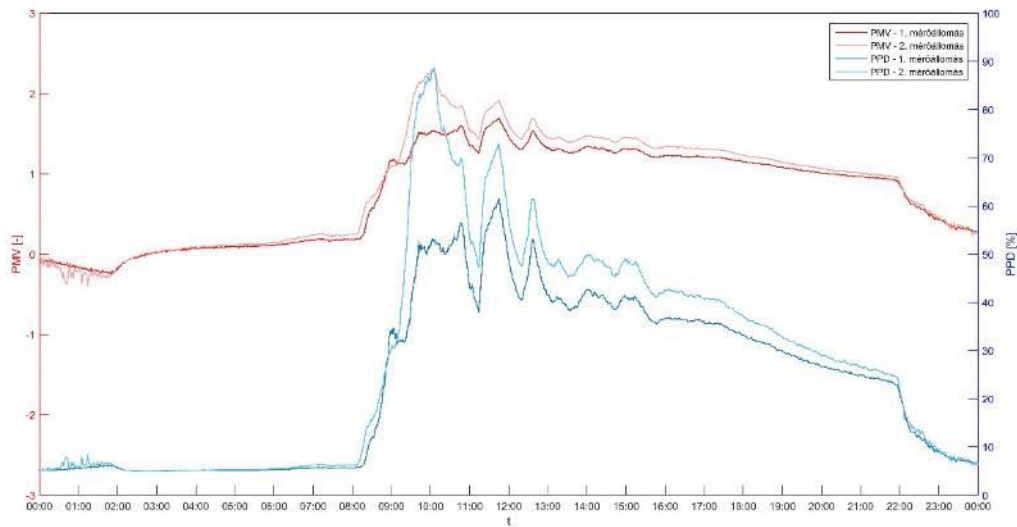


Diagram 102: PMV és PPD összehasonlítása

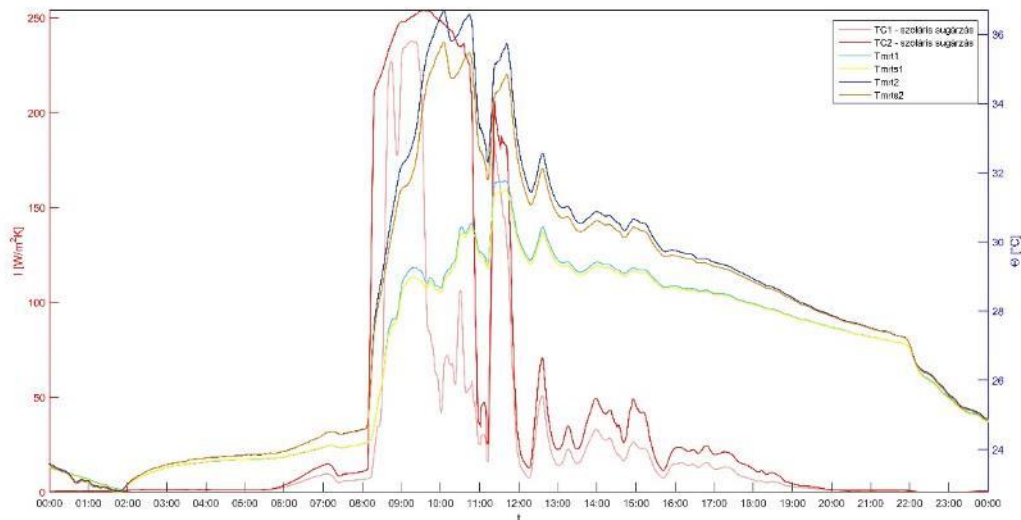


Diagram 103: TC1 és TC2 sugárzási adatok összehasonlítása

Harmadik mérési hét értékelése:

A harmadik mérési héten (2016. 08.08 - 08.15) a vadszőlő és az árnyékolatlan üveget vizsgáltuk.

Ebben az esetben az értékek kisebb különbséget mutatnak, mint az előző heti borostyán és árnyékolatlan üveg esetében, de még mindig jelentős az eltérés. A léghőmérsékletek közel megegyeznek, viszont a szoláris hatás következtében a közepes sugárzási értékek és az operatív hőmérsékletek is igencsak eltérnek.

A padló felületi hőmérsékletes általában 2-4 °C-os különbséget mutatnak. A sugárzási értékek is 4 °C-os eltéréseket mutatnak, és az operatív hőmérséklet is az előzőkhöz hasonlóan több

fokos eltérés figyelhető meg. Ezek az értékek a napsütés órákban alakultak így, az esték értékei megfelelőek, hőkomfortosak mindkét esetben.

A nap i értékelésnél a 08.13 - 08.14 időszakot vizsgáljuk. Megfigyelhető, hogy a TC1 (vadszőlő) esetében a simított görbéken is jelentő ugrálások vannak, ez a levelek nem túl sűrű hatásából adódik, hol árnyékol egy-egy levél, hon nem.

Ebben az esetben nem figyelhető meg a lankásabb hőmérsékletemelkedés, ez az előbb említett levélsűrűségből adódik.

A PMV és PPD-t vizsgálva, két óra volt az az időtartam, amikor jelentős különbség volt a két szerkezet mögötti komfortban, de ekkor is max 35% eltérés adódott a PPD tekintetében, ez a növényesűrűségből adódik.

A vadszőlővel árnyékolt üveg mögött jelentősen jobb volt a hőkomfort.

2016.08.15-08.24.

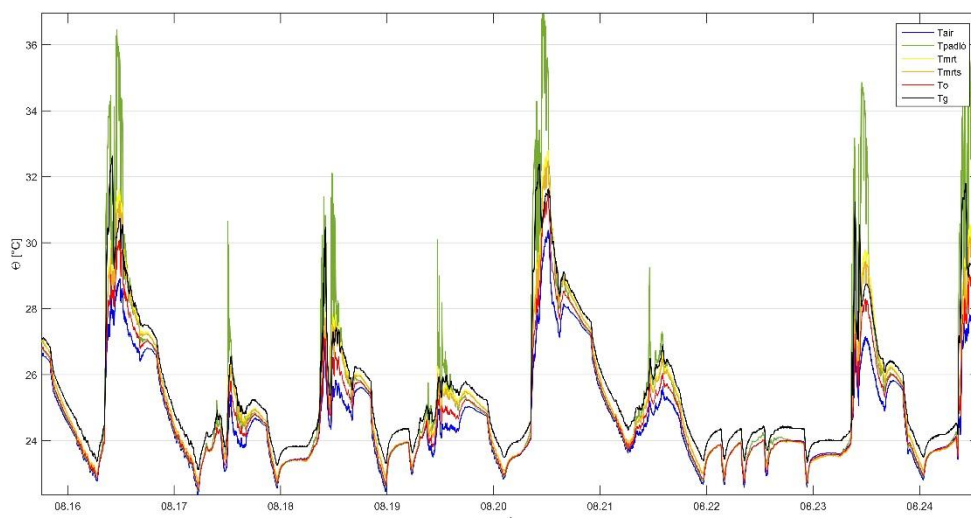


Diagram 104: TCI mért és számított hőmérséklet adatok

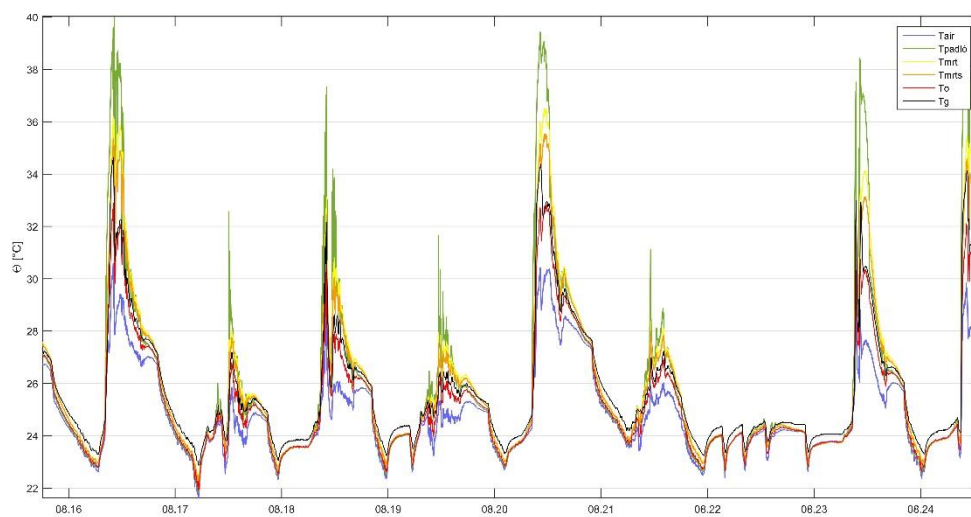


Diagram 105: TC2 mért és számított hőmérséklet adatok

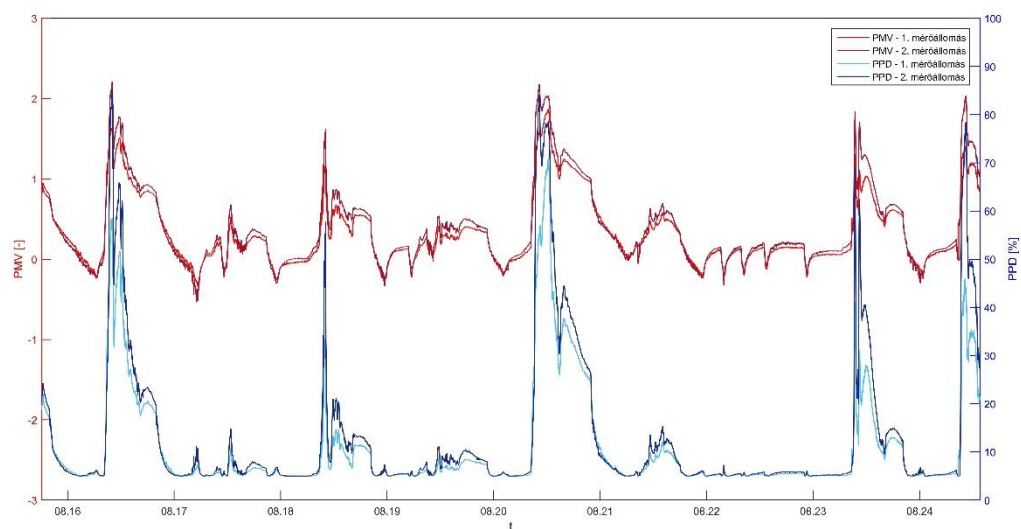


Diagram 106: PMV és PPD összehasonlítása

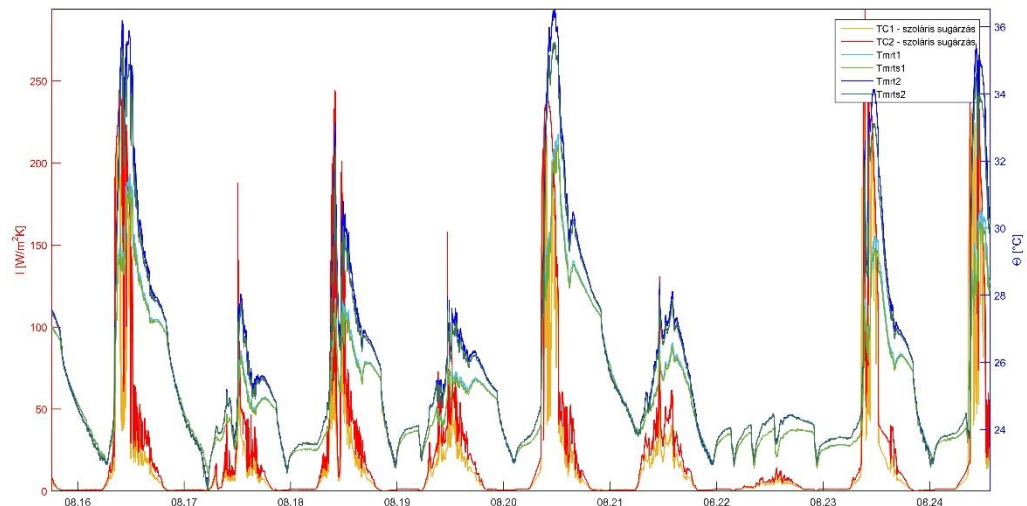


Diagram 107: TC1 és TC2 sugárzási adatok összehasonlítása

2016.08.20 - 08.21.

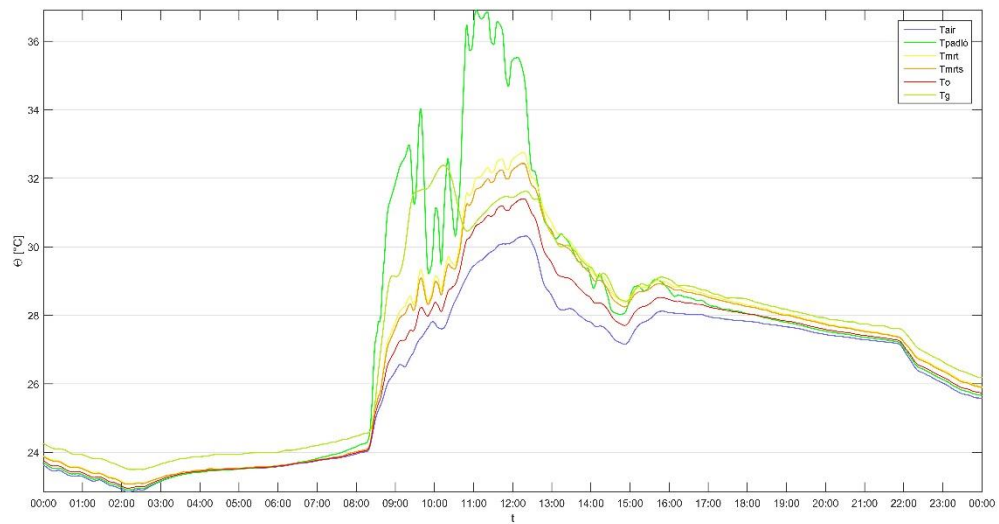


Diagram 108: TC1 mért és számított hőmérséklet adatok

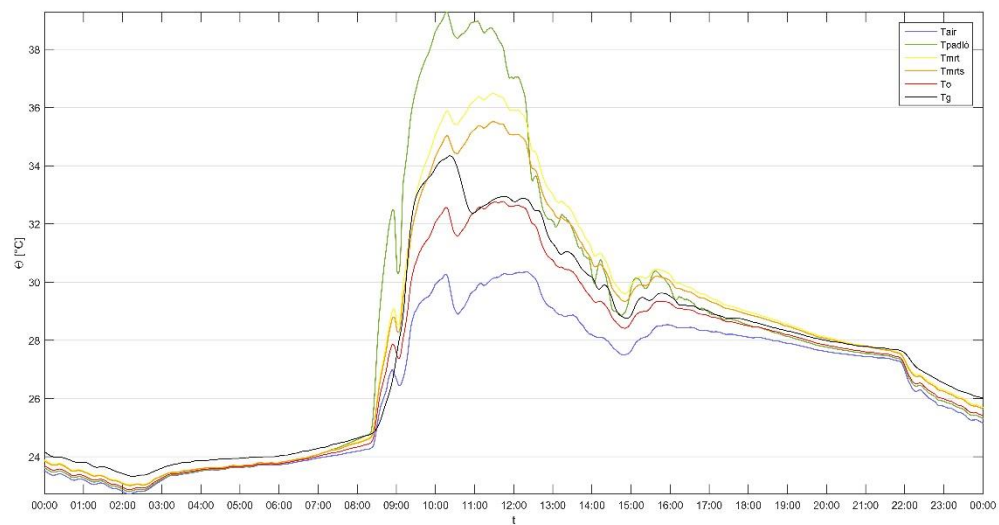


Diagram 109: TC2 mért és számított hőmérséklet adatok



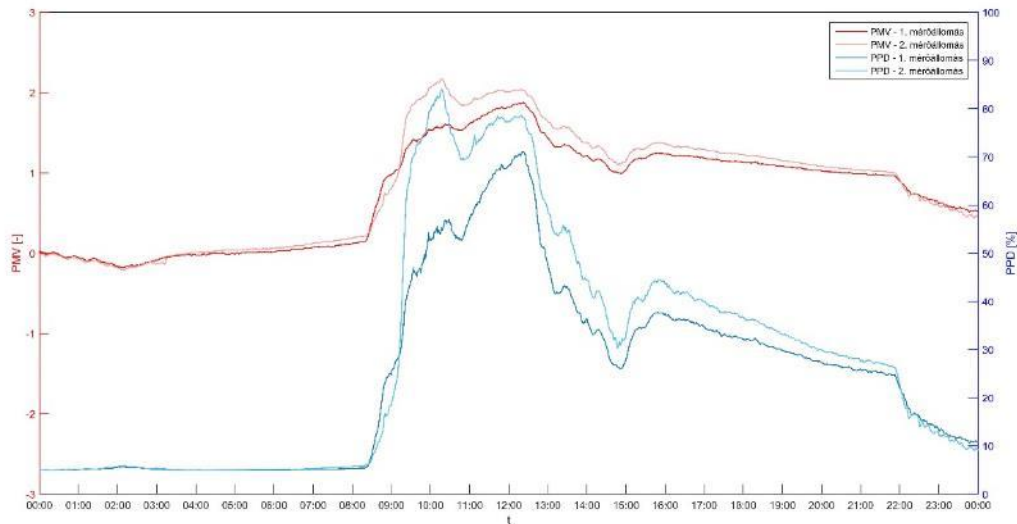


Diagram 110: PMV és PPD összehasonlítása

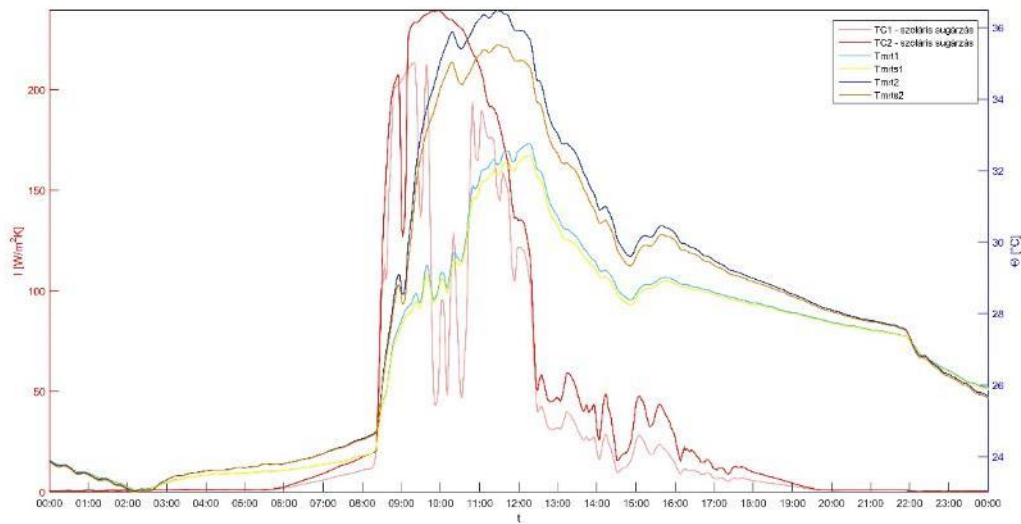


Diagram 111: TC1 és TC2 sugárzási adatok összehasonlítása

Negyedik mérési hét értékelése:

A negyedik mérési héten (2016. 08.15 - 08.24) a vadszőlő és az árnyékolatlan üveget vizsgáltuk, hasonlóan az előző héthez, ez azért alakult így, mert ekkor technikai okok miatt még nem tudtunk az ODOO saját textil árnyékolóját leengedni.

Az eredmények hasonlóak az előző héthez képest.

Ezen a héten a külső léghőmérséklet nem volt olyan magas, így nem tapasztalható olyan markáns különbség a két szerkezet mögött, mint az előző héten.

A sugárzási érték viszont jelentősek volt, a közepes sugárzási hőmérsékletek a léghőmérsékletéhez képest 4-5 °C-al magasabb volt.

A PMV és PPD értékek az alacsonyabb külső léghőmérséklet esetében nagyjából összesimulnak, de mikor kinn melegebb volt az eltérések jelentősek, volt ahol 30-35% PPD különbség is volt.

A nap i értékelésnél a 08.20 - 08.21 időszakot vizsgáljuk. Megfigyelhető, hogy az egyes mérőállomások, a vadszőlő mögött az eredmények lankásabban emelkednek, mint a másik esetben. A léghőmérsékletek kb. ugyan akkora maximumot mutatnak, 30 °C. A sugárzás miatt viszont a sugárzási hőmérsékletek 4 °C-os eltérést mutattak.

A PMV és PPD értékek kb. 10-14 óra között nem nagyon meleg hőkomfortot jeleznek, az üveg mögött 20%-al több elégedetlenségi arány jött ki.

A vadszőlővel árnyékolt üveg mögött jelentősen jobb volt a hőkomfort.

2016.08.24.-08.30.

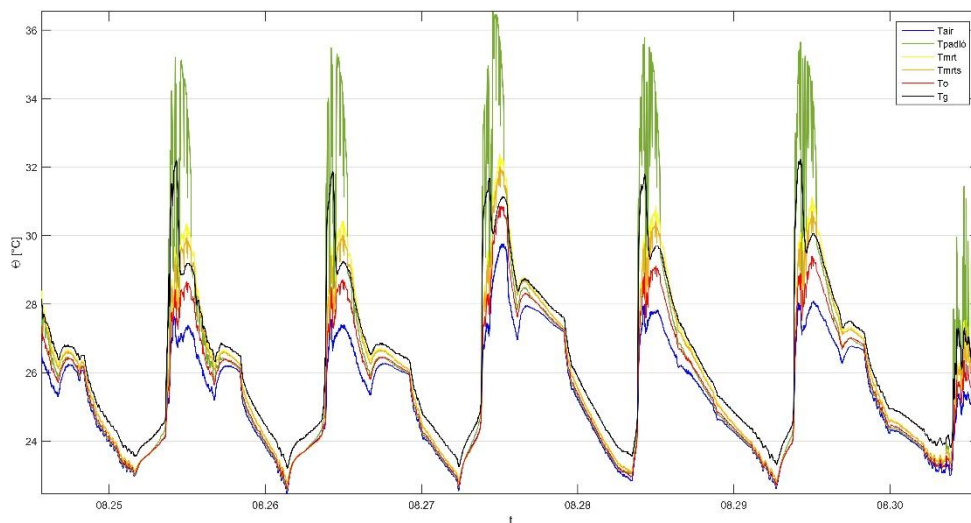


Diagram 112: TC1 mért és számított hőmérséklet adatok

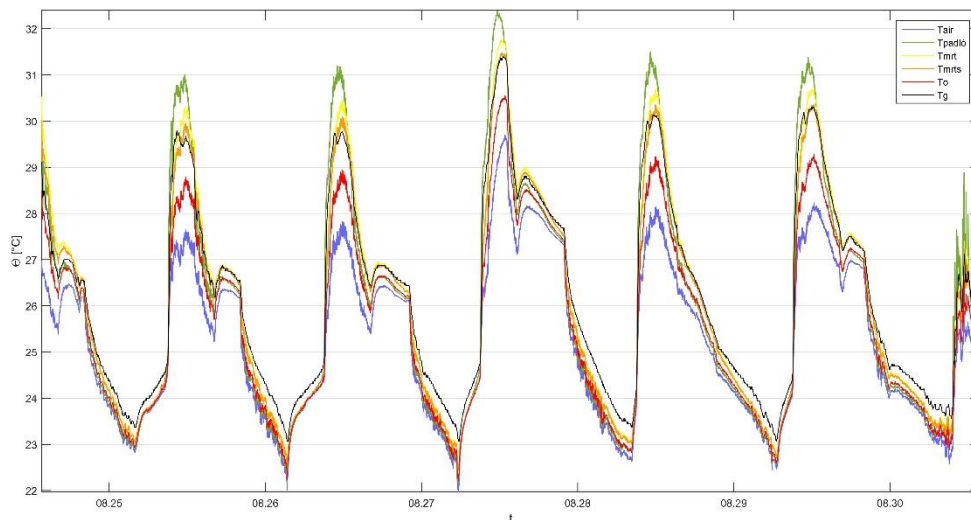


Diagram 113: TC2 mért és számított hőmérséklet adatok

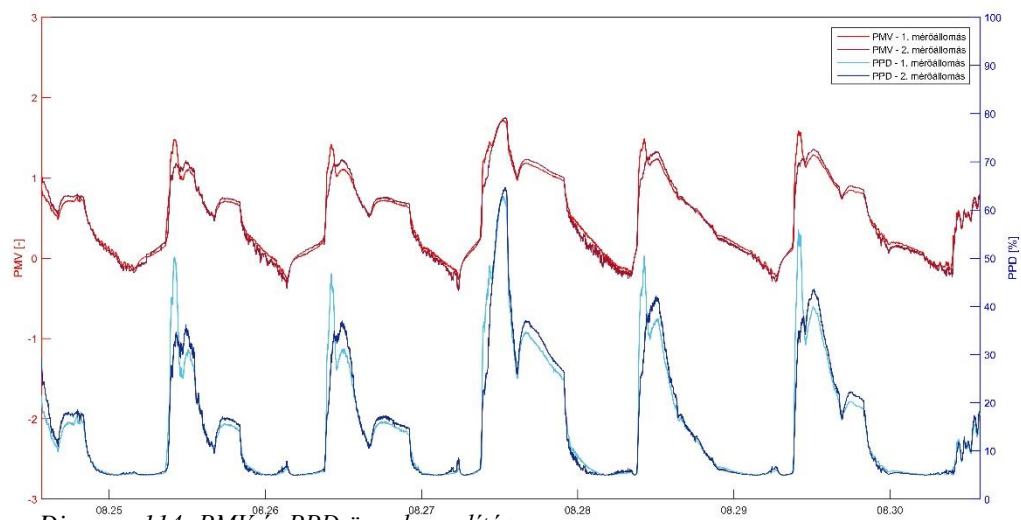


Diagram 114: PMV és PPD összehasonlítása

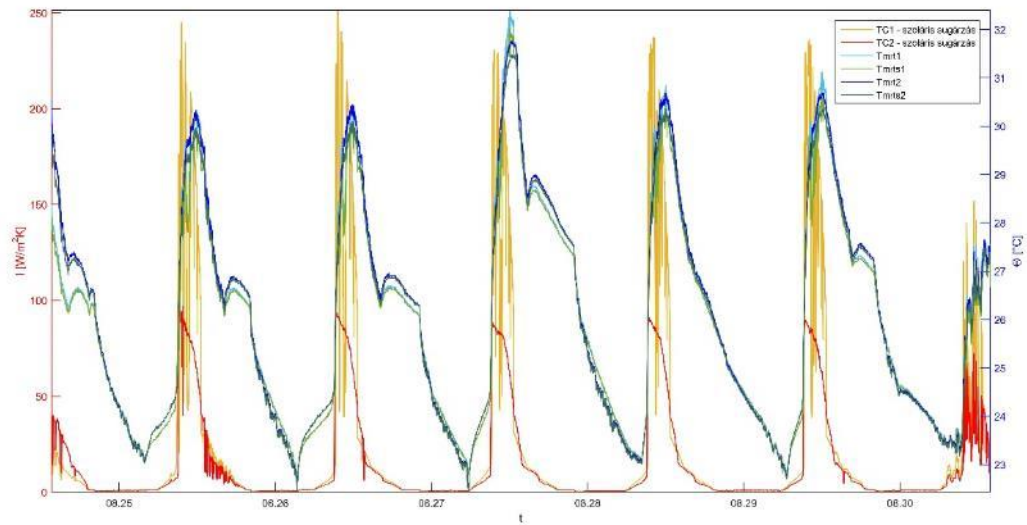


Diagram 115: TC1 és TC2 sugárzási adatok összehasonlítása

2016.08.27 - 08.28.

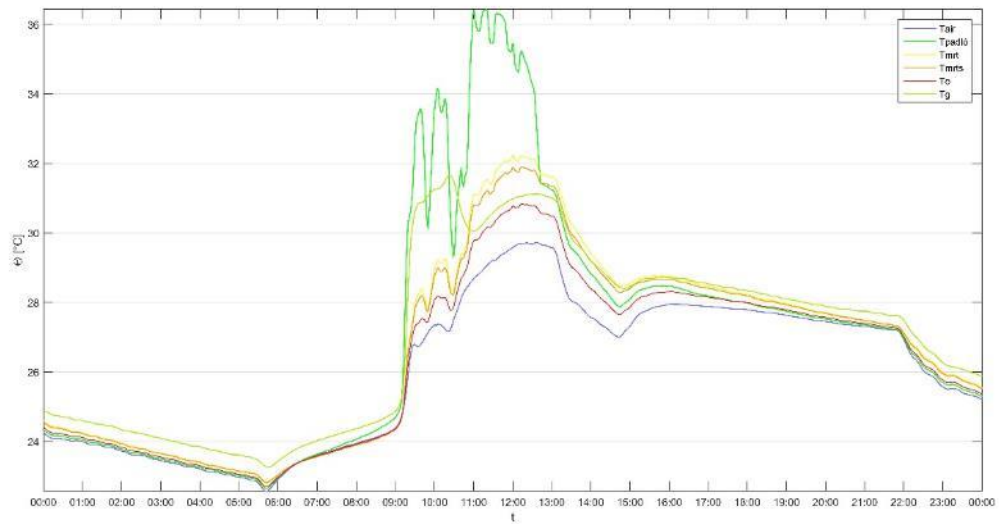


Diagram 116: TC1 mért és számított hőmérséklet adatok

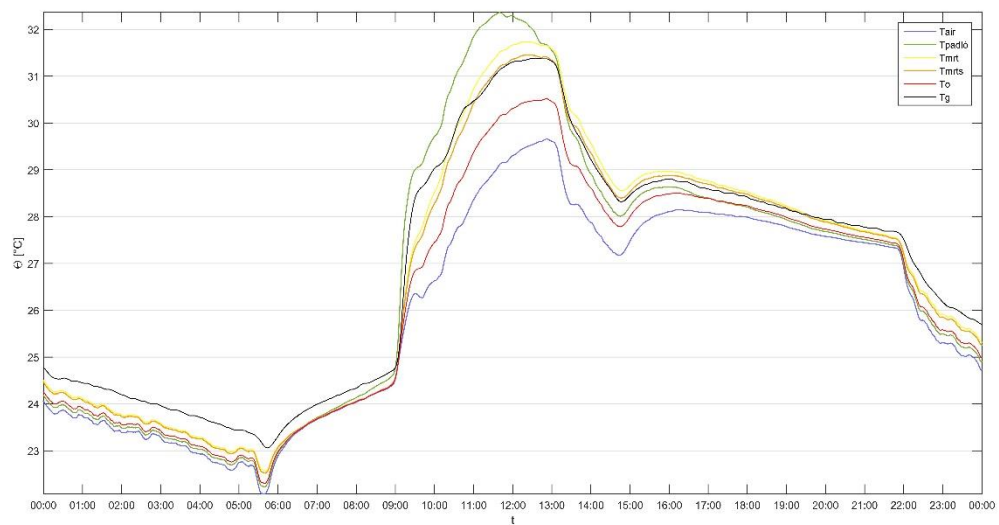


Diagram 117: TC2 mért és számított hőmérséklet adatok

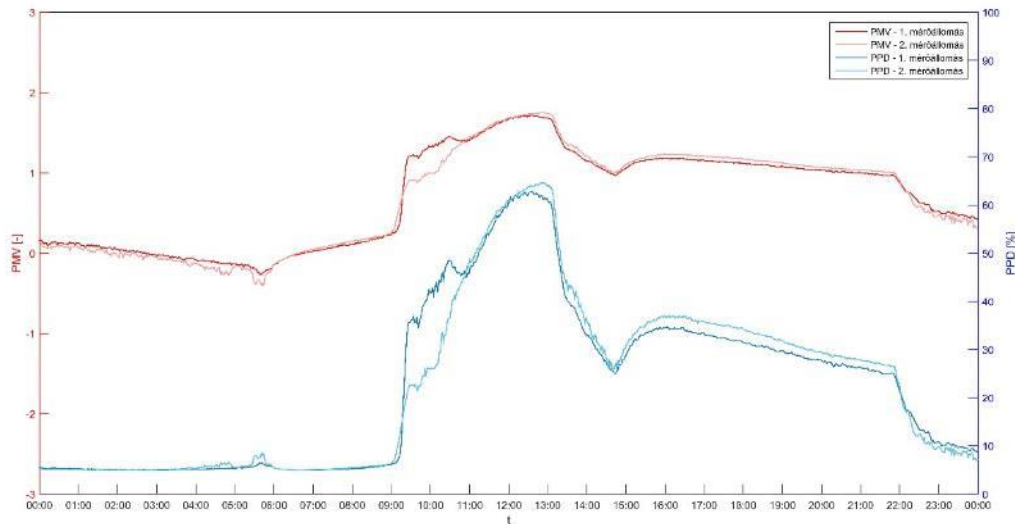


Diagram 118: PMV és PPD összehasonlítása

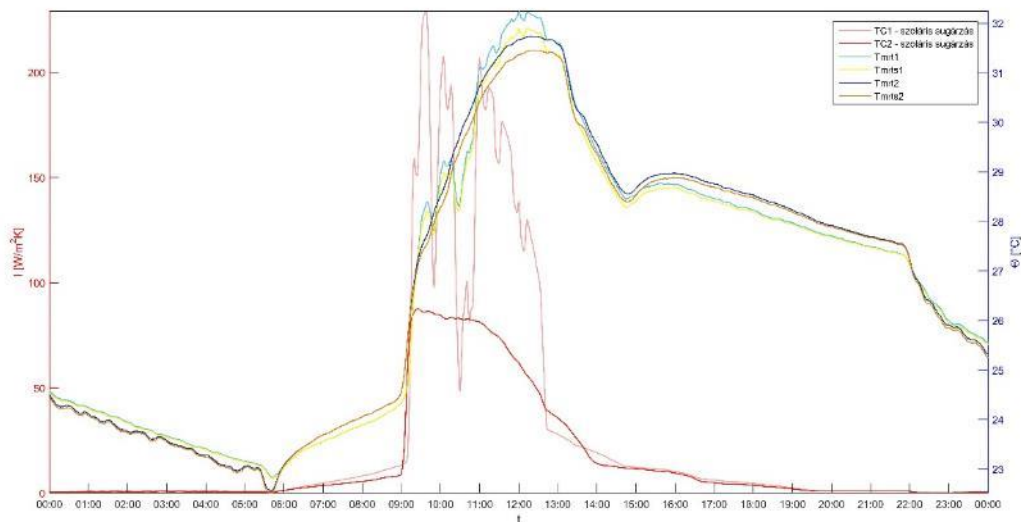


Diagram 119: TC1 és TC2 sugárzási adatok összehasonlítása

Ötödik mérési hét értékelése:

Az ötödik mérési héten (2016. 08.24 - 08.30) a vadszőlő és a fixen lehúzott külső textil árnyékolós üveget vizsgáltuk.

A két árnyékoló típus mögötti hőmérséklet értékek eléggé egybevágnak.

A sugárzási értékek viszont jelentősek voltak, a közepes sugárzási hőmérsékletek a léghőmérséklethez képest 4-5 °C-al magasabb voltak.

Az operatív hőmérsékletek csupán 0,5 °C-os eltérést mutatnak.

A PMV és PPD is eléggé összesimul.

A sugárzási adatok közül a beeső szoláris sugárzás mértéke mutat eltérést; a vadszőlőn keresztül több sugárzás jutott be, azért annak felülete nem folytonos, a levelek között vannak

lyukak, amin direktben át tud haladni a sugárzás. A textil az előzővel ellentétben egyenletes fedettséget biztosít.

A napi értékelésnél a 08.20 - 08.21 időszakot vizsgáljuk.

A PMV és PPD értékek az alacsonyabb külső léghőmérséklet esetében nagyjából összesimulnak. de mikor kint melegebb volt az eltérések jelentősek voltak, volt ahol 30-35% PPD különbség is volt.

A napi értékelésnél a 08.27 - 08.28 időszakot vizsgáljuk. Az operatív hőmérsékletek mindkét esetben 31 °C-ot mutattak. A PMV és PPD értékeknél itt még jobban látszik, hogy mennyire összesimulnak. 9-11 óra között látni csak 15%-os PPD eltérést. A sugárzási diagramon jól látszanak a beeső szoláris mennyiségek ugrálásai, ami a levelek átfedtlenségéből adódnak. A két típus összességében nem mutat nagy különbséget, közel azonos árnyékoló képességet tudnak.

2016.08.30 – 09.07.

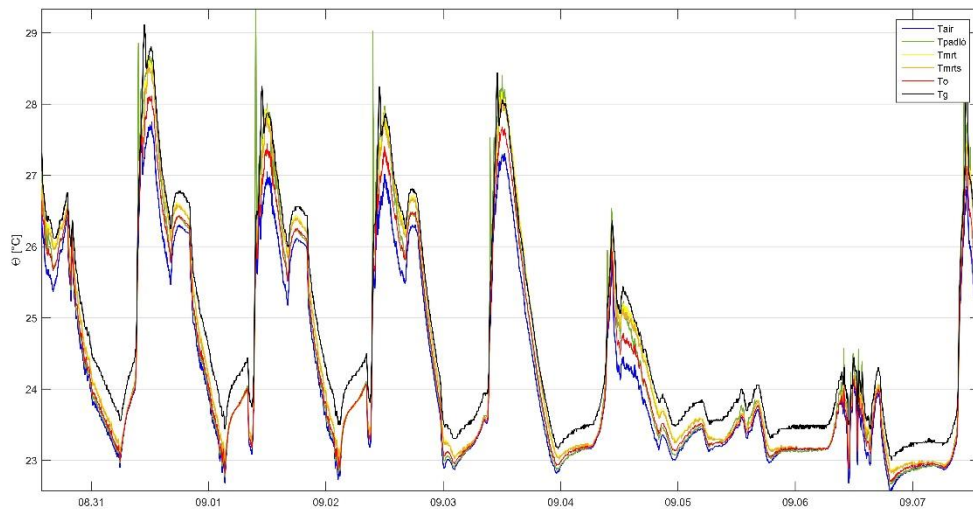


Diagram 120: TC1 mért és számított hőmérséklet adatok

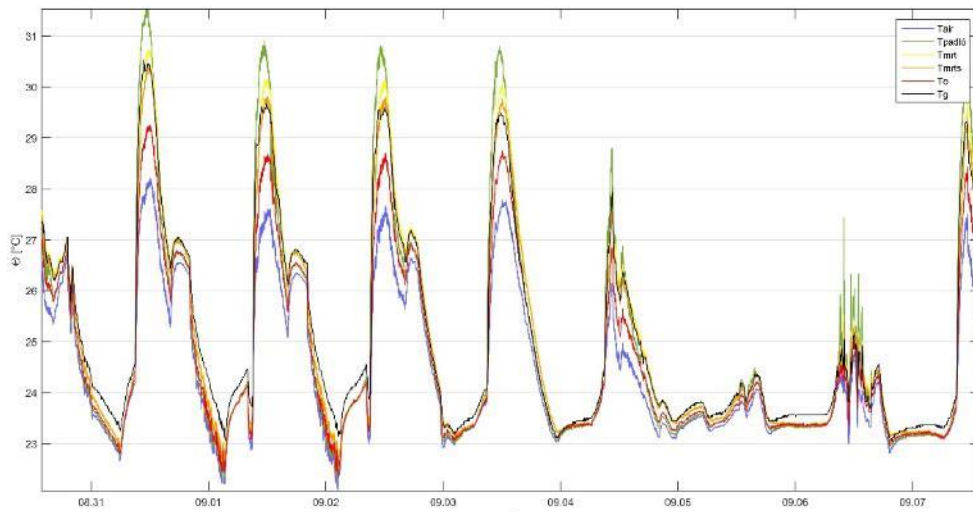


Diagram 121: TC2 mért és számított hőmérséklet adatok

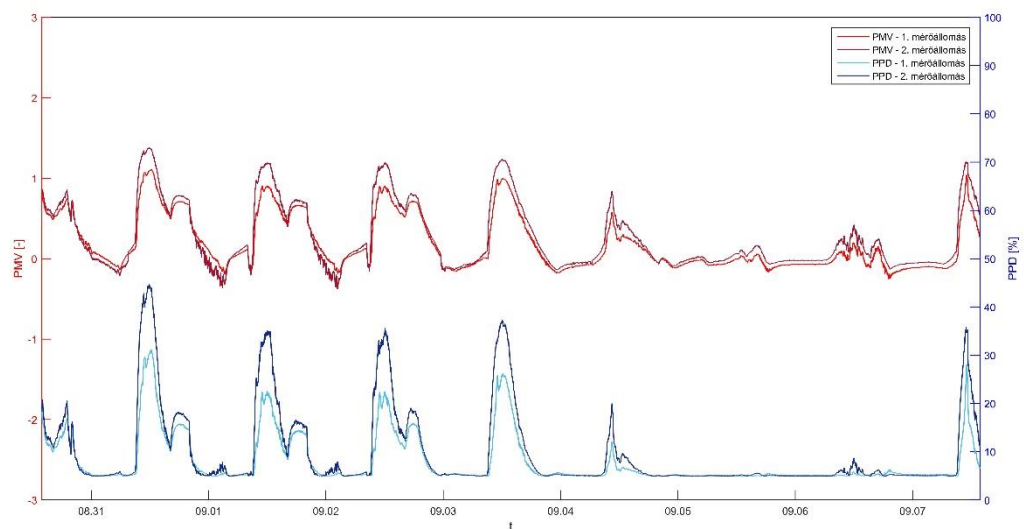


Diagram 122: PMV és PPD összehasonlítása

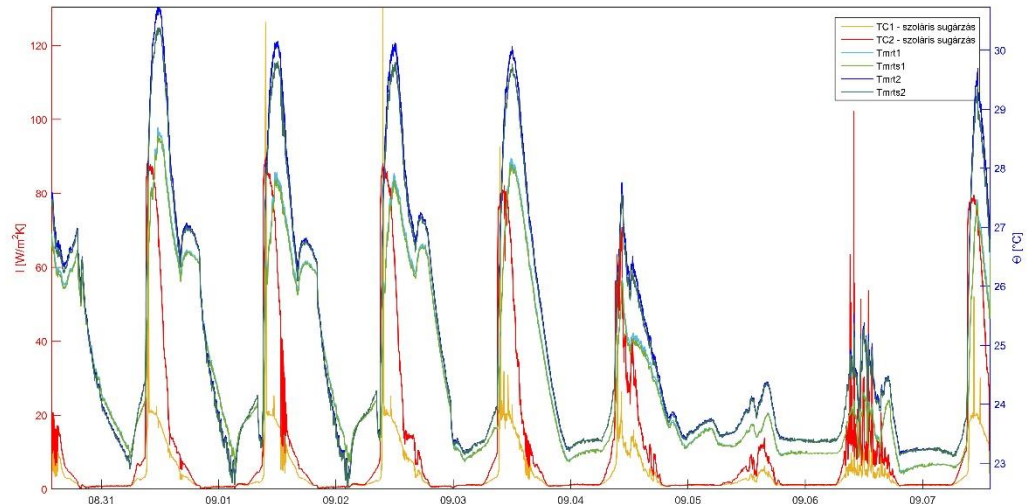


Diagram 123: TC1 és TC2 sugárzási adatok összehasonlítása

2016.08.20 - 08.21.

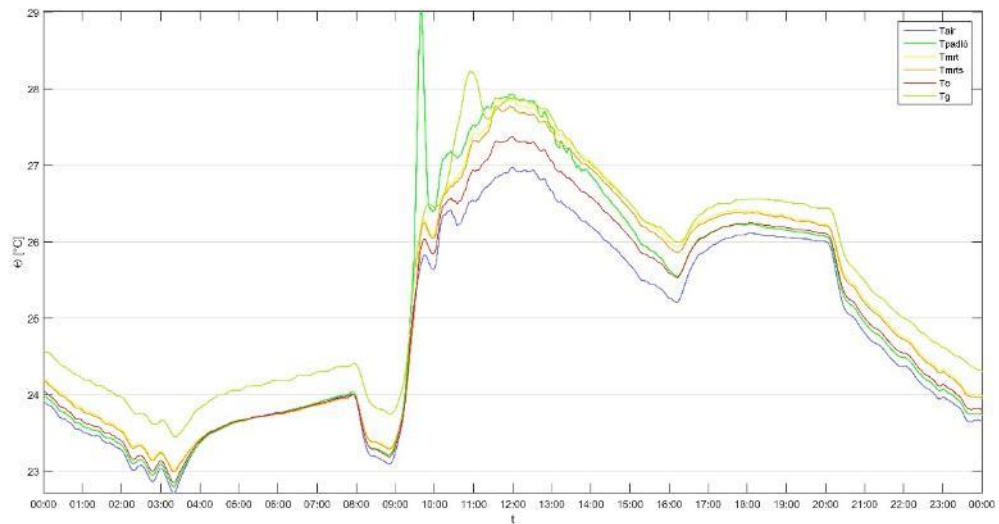


Diagram 124: TC1 mért és számított hőmérséklet

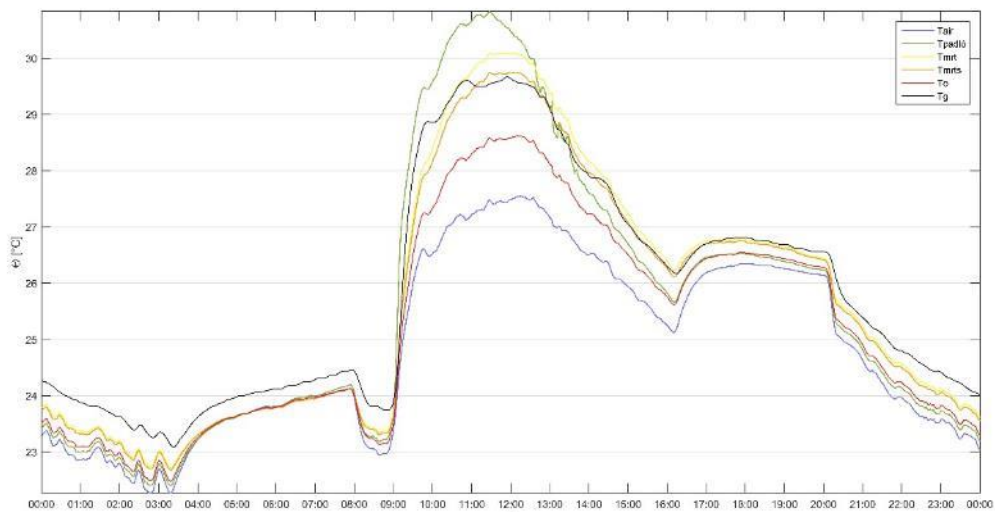


Diagram 125: TC2 mért és számított hőmérséklet adatok



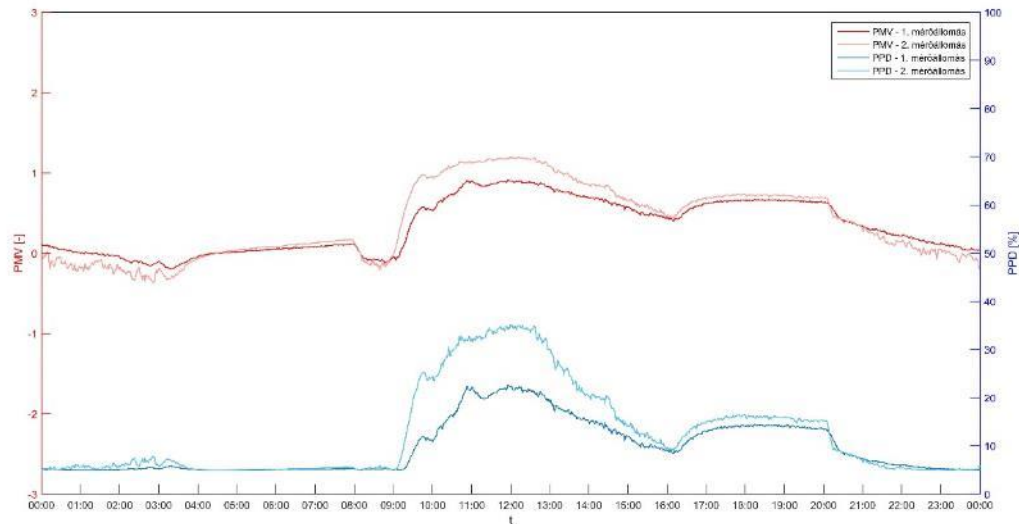


Diagram 126: PMV és PPD összehasonlítása

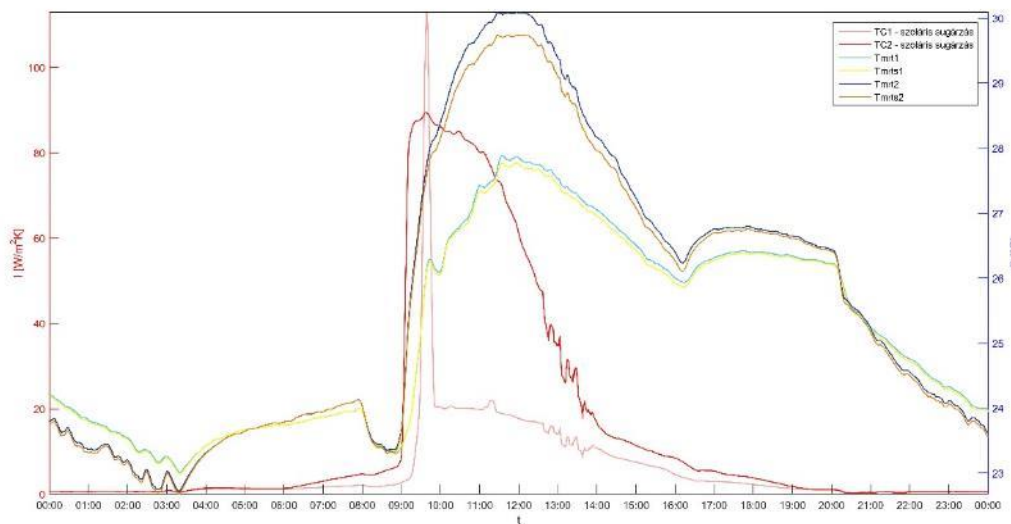


Diagram 127: TC1 és TC2 sugárzási adatok összehasonlítása

Hatodik mérési hét értékelése:

A hatodik mérési héten (2016. 08.30 - 09.07) a borostyán és a fixen lehúzott külső textil árnyékolós üveget vizsgáltuk.

A közepes sugárzási hőmérséklet értékek 1-2 °C-al a textil árnyékoló esetében magasabbak.

Megfigyelhető, hogy a textil esetében a szoláris nyereség miatt a hőmérsékletek nagyobb eltérést mutatnak önmagukhoz képest, mint a borostyán esetében.

Az ábrán jól látszik, hogy a számított szoláris taggal korrigált közepes sugárzási érték és a gömb által mért adatok 0,5 °C-os hibahatáron belül jól megközelítik egymást, tehát a számításaink jók voltak.

A sugárzási adatok a textil árnyékoló esetében magasabbak, kivéve, mikor a borostyán levelei között direkt szoláris sugárzás érkezik a helyiségbe.

A PMV és PPD tekintetében a jól látszik, hogy a borostyán mögötti hőkomfort jobb, de max 0,4 PMV és 15% PPD értékkel.

A napi értékelésnél a 08.20 - 08.21 időszakot vizsgáljuk.

Itt is jól látszik, hogy a gömb és a számított szoláris taggal korrigált közepes sugárzási hőmérséklet jól megközelíti egymást.

A PPD-ben ezen a napon 10 %-os különbség volt.

A sugárzás végig a borostyán esetében kisebb, kivéve a már említett levélfedtlenség esetében, mely egy nagyon rövid időszak volt csak.

A két típus közül a borostyán szerepelt jobban.

2013.09.07. – 09.21.

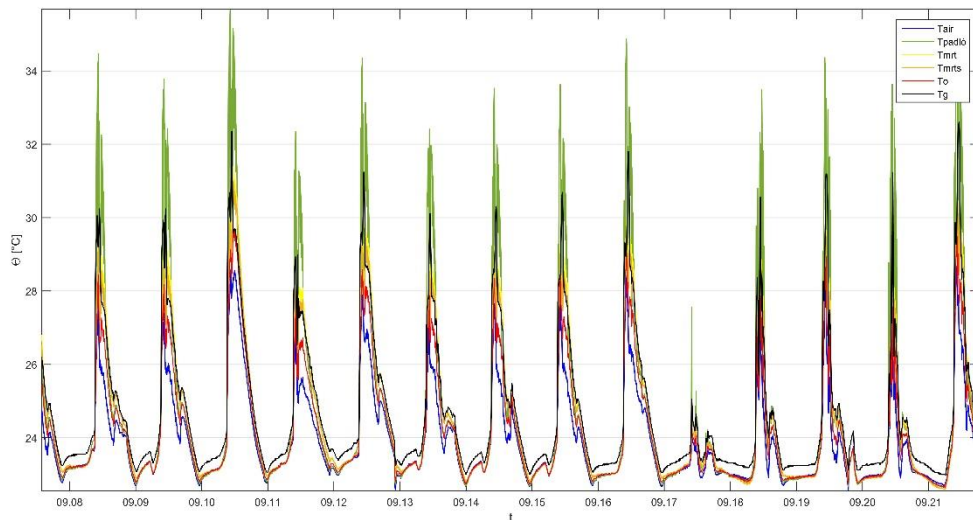


Diagram 128: TC1 mért és számított hőmérséklet adatok

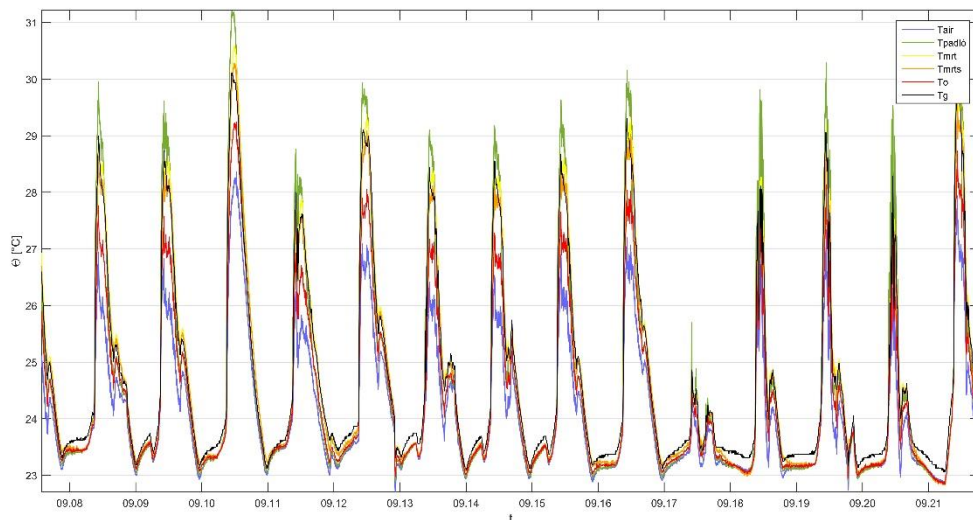


Diagram 129: TC2 mért és számított hőmérséklet adatok

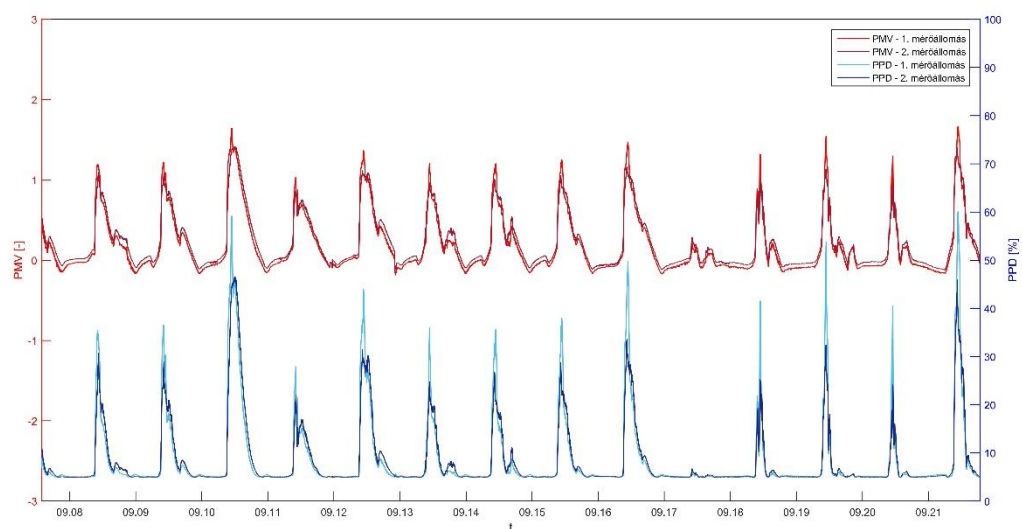


Diagram 130: PMV és PPD összehasonlítása

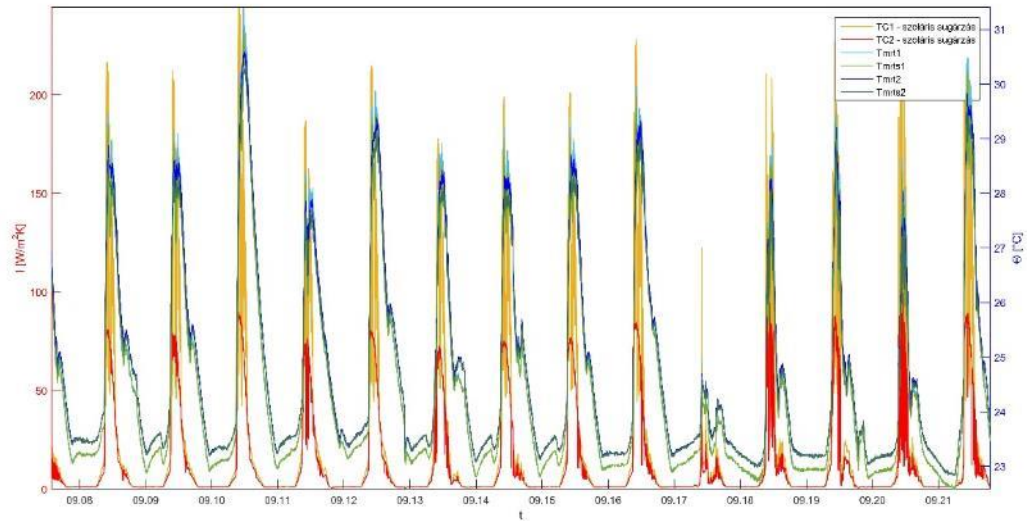


Diagram 131: TC1 és TC2 sugárzási adatok összehasonlítása

2016.08.10 - 08.11.

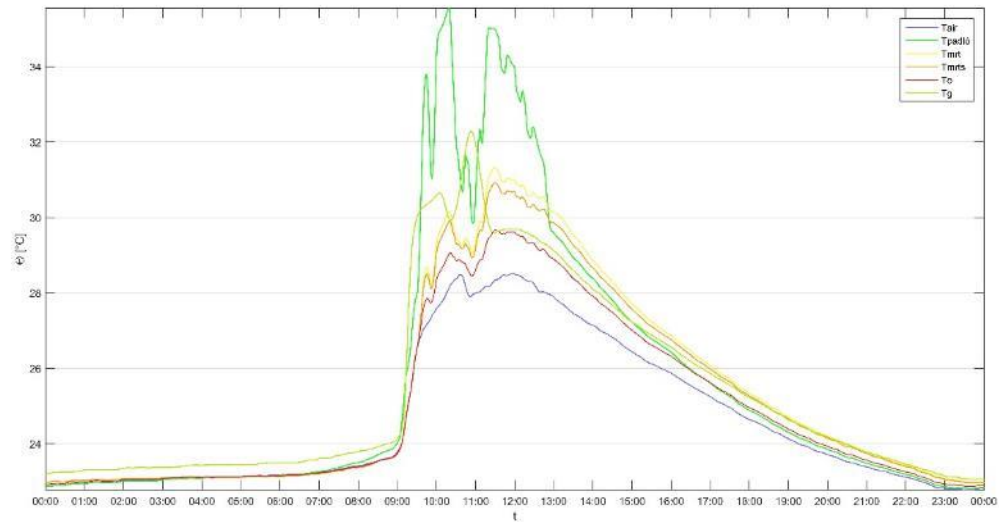


Diagram 132: TC1 mért és számított hőmérséklet adatok

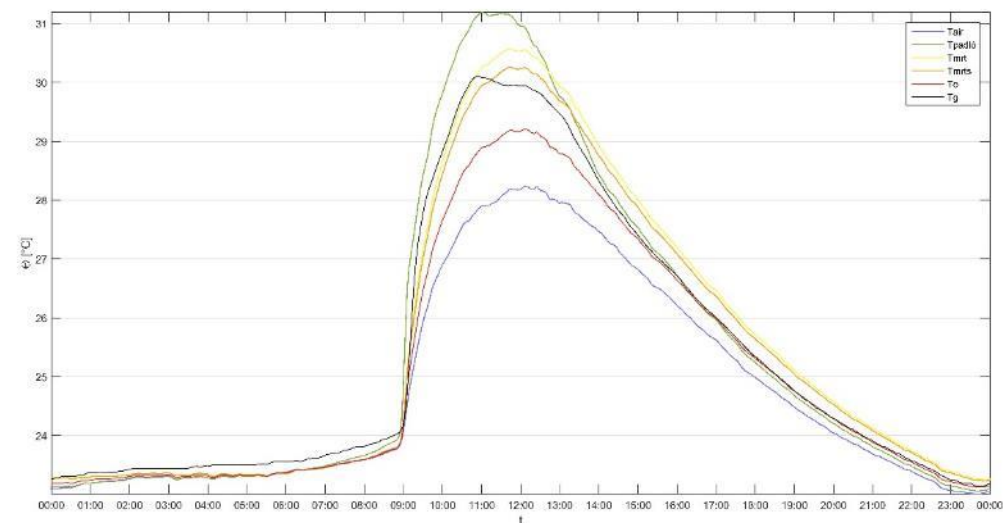


Diagram 133: TC2 mért és számított hőmérséklet adatok

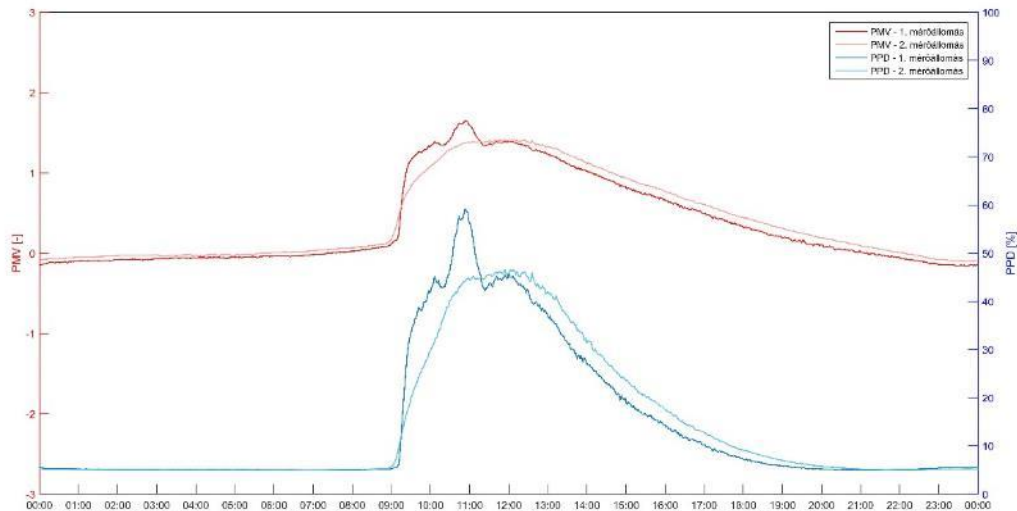


Diagram 134: PMV és PPD összehasonlítása

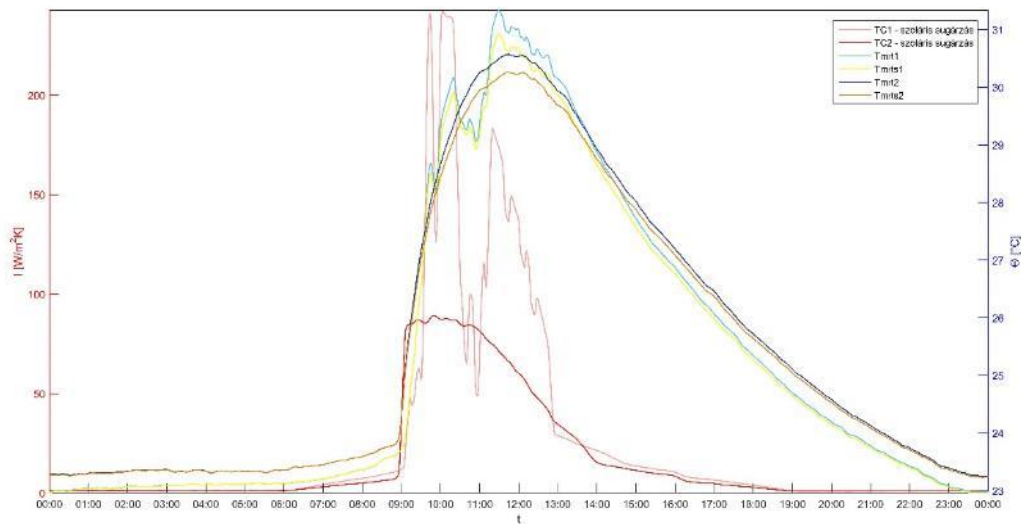


Diagram 135: TC1 és TC2 sugárzási adatok összehasonlítása

Hetedik mérési hét értékelése:

A hatodik mérési héten (2016. 09.07 - 09.21) a vadszőlőt és a fixen lehúzott külső textil árnyékolós üveget vizsgáltuk.

Ez az időszak ősz eleje, mikor már nincsenek kánikulák, de még viszonylag meleg a nappalok.

Az alacsonyabb külső hőmérséklet miatt kisebbek a különbségek már, de nem elhanyagolhatóak.

Az operatív hőmérsékletek 26-30 °C között változnak a TC1 és 27-29 °C között a TC2 esetében.

A PMV és PPD tekintetében nincs jelentős eltérés, leszámítva, mikor a vadszőlő levelei között bejutott a szoláris sugárzás.

A napi értékelésnél a 09.10 - 09.11 időszakot vizsgáljuk.

Ezekon az ábrákon jobban látszik, hogy a TC1 görbéi jóval többet ugrálnak, míg a TC2 esetében a görbe sima, a levelek fedetlensége miatt.

A PMV PPD értékek ebben az esetben elég jól egybesimulnak, valószínűleg kint nem volt túl meleg.

A sugárzási adatoknál is jól látszik a levelek okozta sugárzásugrálások.

A két típus között nem volt jelentős eltérés, nagyjából hasonlóan teljesítettek.

2016.09.21. – 09.28.

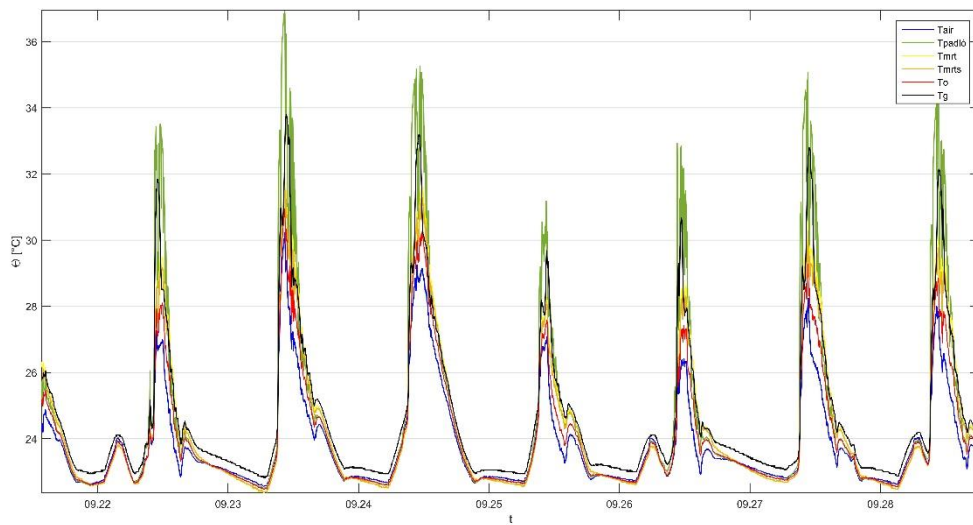


Diagram 136: TC1 mért és számított hőmérséklet adatok

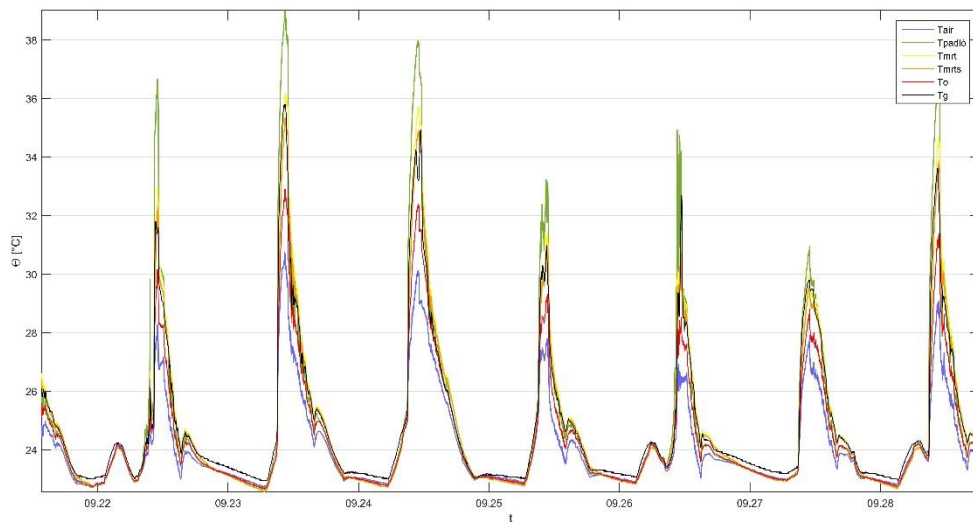


Diagram 137: TC2 mért és számított hőmérséklet adatok

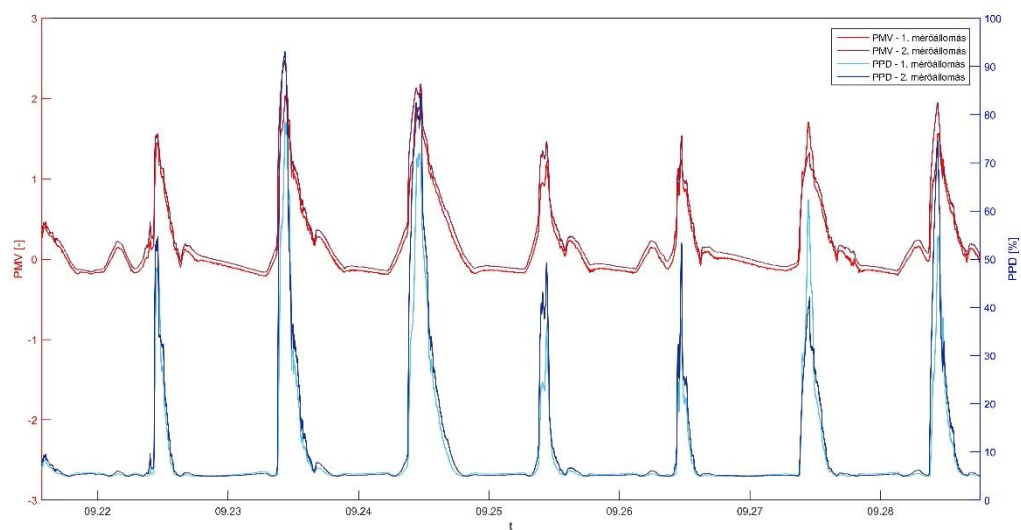


Diagram 138: PMV és PPD összehasonlítása

2016.09.23 - 09.24.

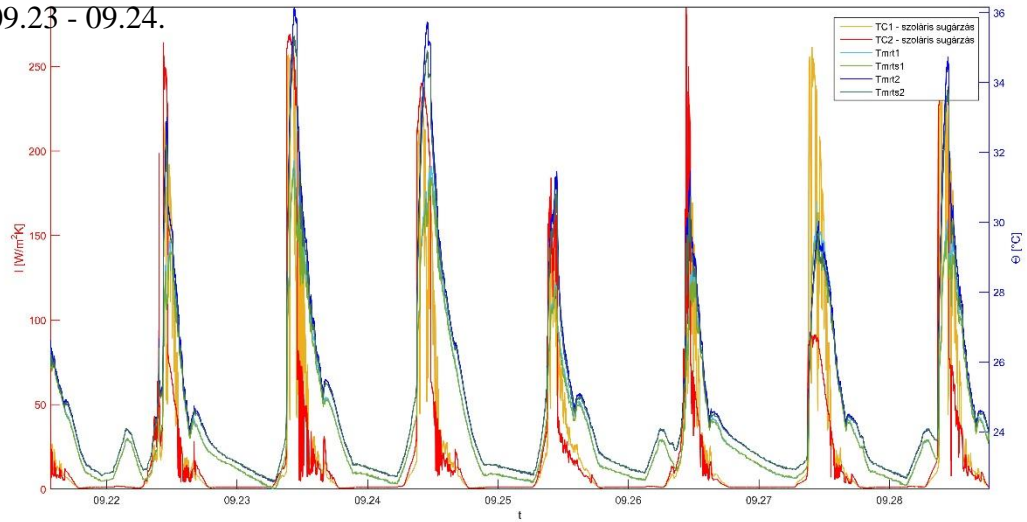


Diagram 139: TC1 és TC2 sugárzási adatok összehasonlítása

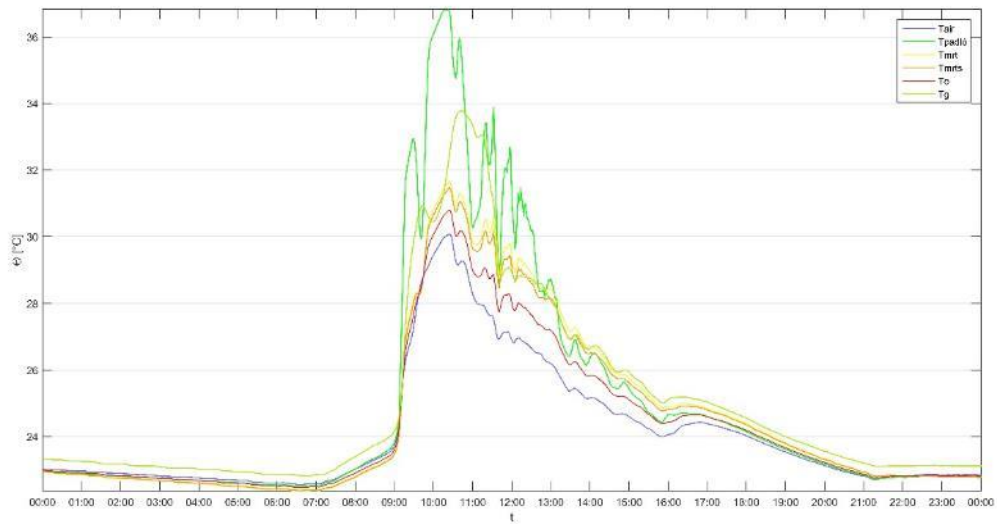


Diagram 140: TC1 mért és számított hőmérséklet adatok

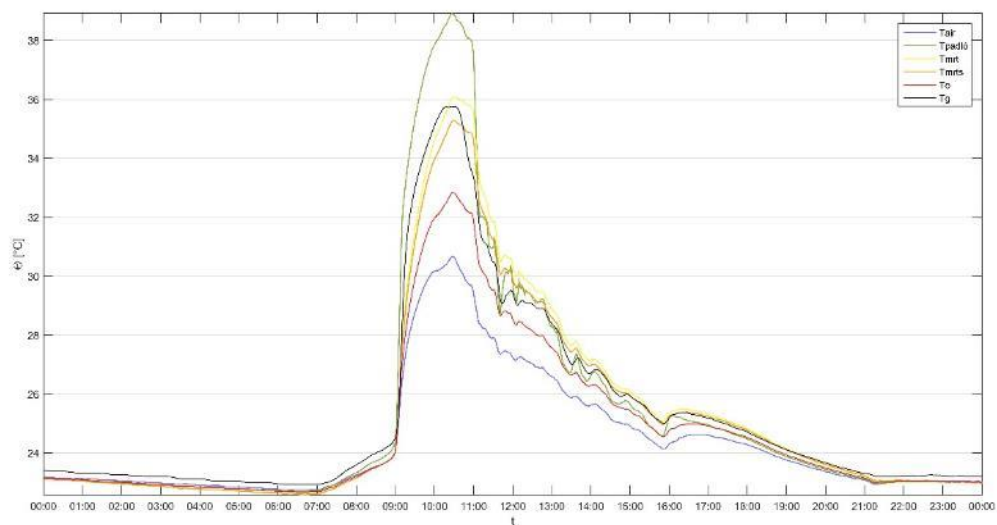


Diagram 141: TC2 mért és számított hőmérséklet adatok



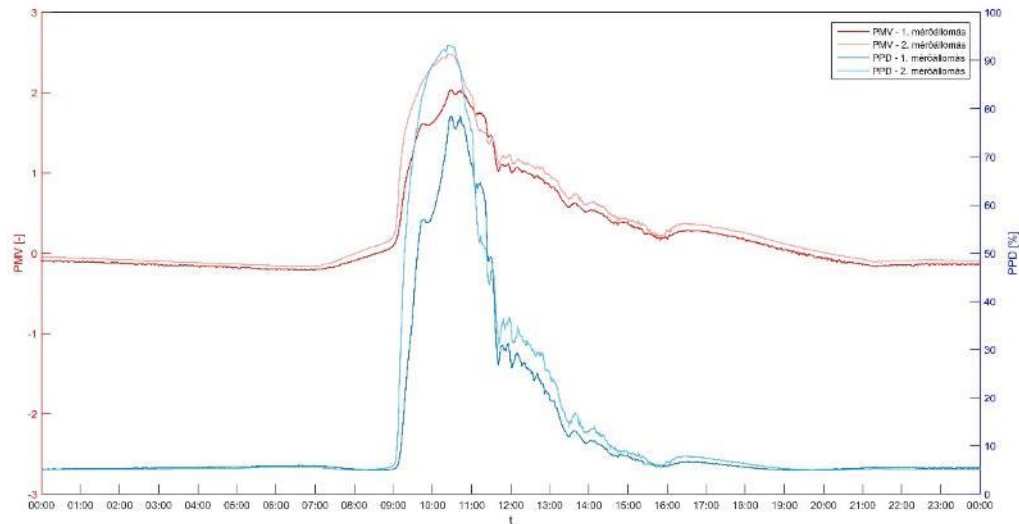


Diagram 142: PMV és PPD összehasonlítása

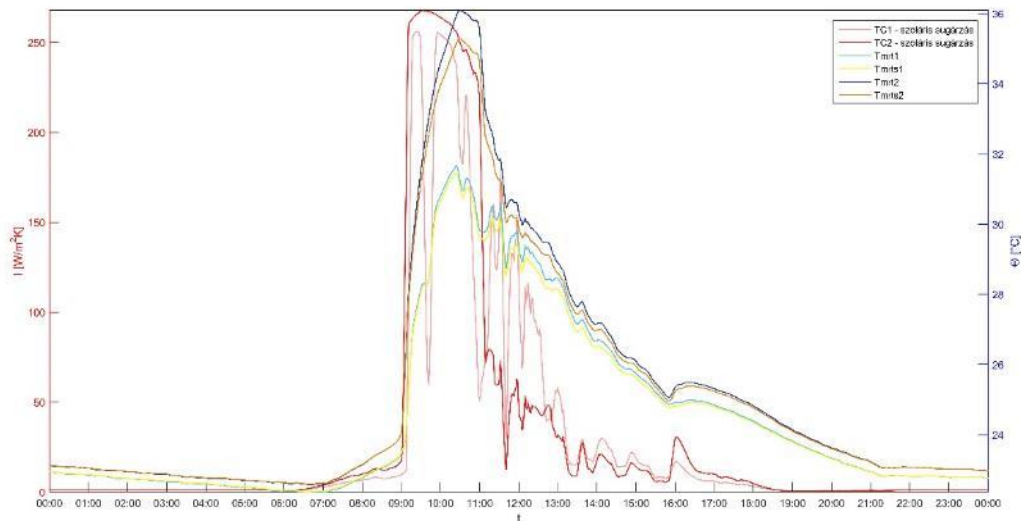


Diagram 143: TC1 és TC2 sugárzási adatok összehasonlítása

Nyolcadik mérési hét értékelése:

A hatodik mérési héten (2016. 09.21 - 09.28) a vadszőlőt és a manuálisan vezérelt külső textil árnyékolós üveget vizsgáltuk.

A manuális vezérlést úgy végeztük, hogy 11 óra körül mindig leengedtük és délután 4 körül pedig fel, tehát a déli csúcspanyban igyekeztünk árnyékolni.

A vadszőlő mögötti értékek ugrálásai itt is megfigyelhetők, itt több is van, mert a vadszőlő jóval ritkább, mint a borostyán.

Az operatív hőmérséklet a vadszőlő mögött végéig 1-2 °C-al alacsonyabb volt.

A PPD a textil esetében volt, hogy 20 %-al is magasabb volt, ami már jelentős eltérés.

A sugárzás értéke a vadszőlő esetében kicsit magasabb, de alapvetően nincs különbség.

A napi értékelésnél a 09.23 - 09.24 időszakot vizsgáljuk.

Mindegyik diagramon jól látszik a vadszőlő mögötti értékek ugrálása.

Megfigyelhető, hogy 11 órakora a TC2 esetében a hőmérséklet értékek növekedésének üteme csökken, lankásabban emelkedik, ekkor engedték le az árnyékolót.

Az előző növekedési sebességcsökkenés figyelhető meg a PMV és PPD diagramokon.

A sugárzás a textil mögött hirtelen visszaesést mutat.

Összességében a vadszőlő szerepelt jobban a manuálisan vezérelt textil árnyékolóhoz képest.