

DIPLOMADOLGOZAT

Enzlinger Dávid Ádám

2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Műszaki Intézet

Létesítménymérnök mesterképzési szak

Kétszintes irodaépület komfortparamétereinek vizsgálata

Belső konzulens: dr. Szabó Márta
habil. egyetemi docens

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Műszaki Intézet/
Épületgépészeti és Energetikai
Tanszék

Külső konzulens: Szegedi Zsolt
Létesítményüzemeltetési ovh.

Készítette: Enzminger Dávid Ádám

**Gödöllő
2025**

MŰSZAKI INTÉZET
LÉTESÍTMÉNYMÉRNÖK MESTERSZAK
Létesítményüzemeltető és –energetika specializáció

DIPLOMADOLGOZAT
feladatlap

Enzlinger Dávid Ádám (N28JN9)

részére

A diplomadolgozat címe:

Kétszintes irodaépület komfortparamétereinek vizsgálata

Feladatkiírás:

A témával kapcsolatos irodalmak áttekintése, különös tekintettel a komfort témakörben. A kétszintes épület bemutatása, gépészeti elemek ismertetése

Az épület tereinek komfortparaméter vizsgálata, mert a felhasználói visszajelzések alapján nem megfelelő

Komfortvizsgálatok és számítások elvégzése

AMV kérdőív feldolgozása a felhasználóktól kapott értékelések alapján

PMV-AMV összevetése értékelése

Vizsgálat értékelése, megoldási javaslat

Közreműködő tanszék: Műszaki Intézet, Épületgépészeti és Energetikai Tanszék

Külső konzulens: Szegedi Zsolt, Richter Gedeon Nyrt.

Belső konzulens: dr. Szabó Márta, habil. egyetemi docens, MATE, Műszaki Intézet

A dolgozat beadási határideje: 2025.11.11

Kelt: Gödöllő, 2025.10.28

Jóváhagyom

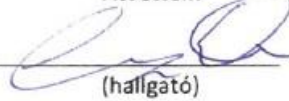


(tanszékvezető)



(szakfelelős)

Átvettem



(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Kelt: Budapest, 2025.10.28.



(külső konzulens)

Tartalomjegyzék

1.	Felhasznált jelölések.....	2
2.	Bevezetés	3
2.1	Célkitűzés.....	5
3.	Irodalom kidolgozás – komfort elmélet.....	6
3.1	Hőérzet.....	6
3.2	Testünk energiaforgalma.....	8
3.3	PVM-PPD modell	14
3.4	Közepes sugárzási hőmérséklet	17
3.5	Termikus diszkomfort tényezők	19
4.	Komfort terek kívánt állapotának biztosítása	22
4.1	Jogszabályok	22
4.2	Szabványok	24
5.	Épület gépészeti rendszereinek bemutatása.....	26
5.1	Frisslevegő ellátó berendezés.....	29
5.2	Hűtési-fűtési rendszer	30
5.2.1	Hőszivattyús rendszer.....	31
5.2.2	VRF rendszer	35
6.	Gyengepontok feltárása	38
6.1	Mérőműszerek bemutatása.....	38
6.2	Mérési eredmények felvétele	41
6.3	PMV-PPD értékek meghatározása.....	50
6.4	Vizsgált paraméterek kiértékelése	52
6.5	Felhasználói komfort kérdőív	58
6.5.1	Kérdőívek eredményei, termikus komfort.....	63
6.5.2	Kérdőívek eredményei, egyéb komforttényezők.....	65
7.	Eredmények	66

8.	javaslattétel	69
9.	Összefoglalás	71
10.	Irodalomjegyzék	73
11.	Ábrajegyzék.....	75
12.	Táblázatjegyzék	77
13.	Mellékletek	78

1. FELHASZNÁLT JELÖLÉSEK

- M az ember metabolikus hőtermelése [W/m^2]
- W mechanikai munkavégzésre fordított energia [W/m^2]
- p_a vízgőz parciális nyomása [Pa]
- t_a levegő hőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$]
- t_r közepes sugárzási hőmérséklet [K]
- t_{cl} ruházat külső felületi hőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$]
- σ Stefan-Boltzmann állandó $5,67 \cdot 10^{-8}$ [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$]
- T_g glóbusz hőmérséklet [K]
- v légsebesség [m/s]
- h_c levegővel érintkező ruhafelület hőátadása [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
- h_{cg} gömb konvekciós hőátadási tényező [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
- f_{cl} testfelület és ruhafelület aránya [-]
- R_{cl} ruházat hővezetési ellenállása [$\text{m}^2\text{k}/\text{W}$]
- t_{cla} ruházat közepes felületi hőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$]
- H_r sugárzással történő hőleadás [W]
- H_c áramlásos hőleadás [W]
- H_l látens hőveszteség [W]
- H_{sw} izzadási hőveszteség [W]
- H_{rl} kilégzés látens hővesztesége [W]
- H_{rs} kilégzés szenzibilis hővesztesége [W]

2. BEVEZETÉS

Napjainkban az emberek a teendőiknek nagy részét valamilyen épületben végzik, legyen az munkahelyi tevékenység vagy otthoni pihenés. Természetesen a köztes időkben is sokszor találkozunk zárt terekkel, szupermarketekben, bevásárló központokban, akár az autóban ülve. Külterületekkel csak szabadidős tevékenységek üzésekor vagy két létesítmény közötti közlekedéskor találkozunk. Újabb tanulmányok szerint az emberek az életük 89-90%-át töltik épületen belüli tartózkodással, legyen az munkavégzés, szabadidős tevékenység vagy pihenés. Munkavégzéskor a feladatok típusa határozzák meg, hogy milyen körülmények szükségesek a munkavégzéshez. Más esetben a munkavállalónak megfelelő környezetét, a munkáltatónak kell kialakítani, hogy a feladataikat leghatékonyabban tudják végezni.

Az épületek energiafelhasználása és a beltéri környezet minősége olyan egységet alkot, melyben az épületszerkezetek, a gépészeti rendszerek és az emberi komfortigények kölcsönösen hatnak egymásra. Ez az energia-épület-komfort rendszer dinamikusan változó és a tervezés, üzemeltetés, valamint a felhasználói visszajelzések alapján folyamatos értékelést igényel. Az Európai Unió energiahatékonysági irányelvei és a hazai szabályozások egyre szigorúbb hőtechnikai követelményeket határoznak meg az épületekkel szemben. A szabályozások jelentős mértékben hozzájárulnak a fűtési hőigények csökkenéséhez és a hűtési igények növekvő hangsúlyához a korszerű épületekben.

Az alacsony hőveszteséggel rendelkező, jól szigetelt épületekben a felülettemperáláson alapuló hőleadó rendszerek alkalmazása egyre elterjedtebb. Ezekre remek megoldás a padló-, fal- vagy mennyezetfűtés és hűtés. Energiamegtakarítási előnyük, az alacsony előremenő hőmérséklet, melyet korszerű hőszivattyús rendszerek, kondenzációs kazánok és egyéb magas hatásfokú hőtermelők látnak el. Másrészt a nagy felületű hőleadás egyenletes sugárzási hőmérsékletet képes kialakítani, amely kedvezőbb hőérzetet biztosíthat. Hatásosabbnak bizonyul, mint a kis felületű konvekciós hőleadás. Nem véletlen, hogy a felülettemperálás mára lakóépületekben és középületekben egyaránt megtalálható. (Bánhidi L., Kajtár L.,2000)

A sugárzó rendszerek alkalmazása azonban az előnyei mellett, új komforttechnikai kérdéseket is felvet. Fűtési üzemben a mennyezeti felület magas hőmérséklete okozhat nem kívánt hőmérséklet aszimmetriát, ami a fej és felsőtest túlzott hőterheléséhez vezethet. Hűtési üzemben ezzel szemben a hideg mennyezeti felület és a melegebb környező felületek közötti hőmérsékletkülönbség diszkomfortot válthat ki. Így megállapítható, hogy a felületfűtési és hűtési rendszerek közvetlenül befolyásolják a tér hőmérsékleti viszonyait, ami a termikus komfort egyik legérzékenyebb paramétere.

A fűtés-hűtési rendszerekkel párhuzamosan a légtechnikai rendszerek alapvető feladata a megfelelő mennyiségű és minőségű frisslevegő ellátás biztosítása. Ennek funkciója az egészséges beltéri levegő biztosítására irányul. Ezzel egyetemben a légtechnikai rendszernek, a fűtési és hűtési időszakban, egyaránt számításba kell vennie a befűjt levegő sebességéből adódó lehetséges huzathatást. Ez a paraméter már kis mértékben is jelentős diszkomfortot okozhat. A huzatérzet mértéke függ a befűjt levegő hőmérsékletétől, tömegáramától és irányától.

A komfortérzet alakulása, zárt téren belül, láthatóan egy komplex jelenség, amelyet Fanger (1970) modellje kvantitatívan megragadott egy PMV–PPD-re keresztelt modellel. Erre a modellre mára nemzetközi szabványok is épülnek. A modell elsősorban az ember átfogó hőérzetet írja le. Gyakorlatban a helyi diszkomfort tényezők (fej vagy lábmagasságnál) érzékelhető hőmérsékletkülönbségeket okozhat. Úgy, mint, huzat vagy hideg-meleg felületek. Ezek a tényezők döntőek lehetnek az épületet használók elégedettségi szempontjából. (Kalmár F., 2013)

Különösen hiányosak azok a vizsgálatok, amelyek egyszerre elemzik a felülettemperálásból származó hőmérsékletváltozást és a légtechnikai rendszer együttes hatását. Számos modern irodaépületben ez a két rendszer együtt, egymásra hatva üzemel, a felhasználói komfort értelmezése és biztosítása kiemelten fontos.

2.1 Célkitűzés

Dolgozatomban, egy vállalat telephelyén lévő, kétszintes irodaépület dolgozóit érő komfortparamétereket fogom vizsgálni, értékelni. Bemutatom az épület fűtési-hűtési rendszerét, friss levegő ellátó rendszerét. Feladatnak tűztem ki a gépészeti rendszerek hibáinak feltárását, az épületben mért, számított és a felhasználók véleményének, hőérzetének összevetése alapján. Célom, hogy az épületben dolgozó emberek hőérzetét kivizsgálva és a hőérzetet befolyásoló gépészetet összehangoltan lehessen üzemeltetni.

3. IRODALOM KIDOLGOZÁS – KOMFORT ELMÉLET

A naprendszerünk központi csillaga, a Nap, magfúziója által rengeteg energiát szabadít fel, melyet minden irányba, így a Föld felé is sugároz. Ez az energia a légkörünk felső részén, átlagosan 1370 Wm^2 , melyet napenergia állandóként nevezünk. A felszín elérve a sugárzás intenzitása tovább csökken 1000 Wm^2 -ra, a légköri gázoknak szűrésének köszönhetően. Ezen hőenergia nélkül, emberi élet és más organizmusok sem léteznének a Földön. Az energia átalakul mind a növényekben, állatokban, emberekben. Az emberi test ezzel az energiával lép kölcsönhatásba és reagál annak változására. Folyamatosan próbálja fenntartani a belső hőegyensúlyát, amit az élettani folyamatok, úgy mint, az izzadás, a vérkeringés szabályozása és az izomremegés segítenek. Az ember reakcióját a természetre nagymértékben módosítja a napsugárzáson kívül, a levegő mozgása, a páratartalom és a hordott ruháknak a szigetelése, szellőzése. (Parsons, 2003)

3.1 Hőérzet

Az embereket munkájuk ellátásakor megszakítás nélkül számtalan környezeti hatás éri mely, minden személyben egyedileg határoz meg egy adott lelkiállapotot. Azt a kényelmi elmeállapotot hívjuk megfelelő közérzetnek, mely kifejezi az elégedettséget a környezettel. Az emberi test állapotának egyik fontos mutatója a test hőmérséklete. Jól tudjuk, hogy nincs két azonos ember, így mind fiziológiai, mind pszichológiai szempontból nehéz minden egyedi személyt kielégíteni egyazon helyiségben. Ugyanakkor, az közös az emberekben, hogy molekuláris szinten a testünk törekszik a belső hőmérsékletet 37°C körül tartani. Ennek tartós 2-3 fokos eltérése súlyos következményekkel járhat. A termodinamika törvénye szerint, az energia mindig a magasabb hőmérsékletű testről áramlik az alacsonyabb hőmérsékletű test felé. A test hőmérsékletét nagymértékben befolyásolja a körülötte lévő levegő, folyadékok és szilárd testek hőmérséklete. Irodai munkateret vizsgálva a test és a levegő közötti hőátadás mértékét a levegő hőmérséklete fogja adni. (Parsons, 2003)

Az emberi hőérzet és komfortját, Ole Fanger professzor vizsgálta. Laboratóriumi mérések alapján felállította elméletét, miszerint az ember hőérzetét hat tényező befolyásolja, ezzel alapozva meg a komfortelméletet. *A zárt tér levegőjének hőmérséklete és annak térbeli eloszlása és a felületek közepes sugárzási hőmérséklete* alapvetően meghatározzák a bent

tartózkodók hőérzetét. Ehhez szorosan kapcsolódik a *levegőben lévő vízgőz parciális nyomása* és a *relatív nedvességtartalom*, továbbá a *levegő relatív sebessége* is. A komfortérzetet emellett befolyásolja az emberi test *metabolikus hőtermelése, hőleadása és hőszabályozása*, illetve a viselt *ruházat hőszigetelő képessége*. A hat paramétert a 1. ábrán szemléltetem. (Fanger, 1970)

1. ábra Hőérzetet befolyásoló paraméterek
(forrás: saját szerkesztés)



A két jobb oldali paraméter az emberi test alkalmazkodásaként jelenik meg, míg a bal oldali öt változó fizikai paraméterként. Az ember hőtermelésének, hőfelvételének és hőleadásának egyensúlyt kell tartani a belső maghőmérséklet, közel állandó szinten tartásához. Fanger (1970) szeretne volna megbecsülni a zárt térben tartózkodó emberek várható hőérzetét. Megalkotta a PMV-PPD modellt, mely alkalmas a szubjektív érzetek számszerűsítésére és az emberek várható elégedettségét leírni az adott helyiség adott pontján. A PMV-PDD modellt a 3.3 fejezetben fogom ismertetni.

Fanger elmélete óta számos olyan tanulmány készült, melyekben a fizikai állapotok kölcsönhatásban vannak fiziológiás hőérzeti reakciókkal. Olyan modelleket próbáltak felállítani, mely előre jelezheti egyes embercsoportok hőérzetének alakulását. Fanger módszerét a világ számos területén vizsgálták kutatásokkal és mérésekkel, melyeket nemzetközi szabványokba és műszaki leírásokba vezették. (Fanger, 1970) Ezek az alábbiak:

Ezeket a modelleket a tervezők és a mérnökök széles körben használják a kényelmes környezet és megfelelő munkavállalói visszajelzés biztosítása érdekében.

3.2 Testünk energiaforgalma

Szervezetünkben metabolikus folyamat zajlik, a táplálékból származó kémiai reakciók következtében a tápanyag részben hő formájában szabadul fel, részben pedig mechanikai munkává alakul. Ez biztosítja izmaink működését. A folyamathoz elengedhetetlen a testünk oxigén felvétele, mely mértéke közvetlenül befolyásolja az izommunka intenzitását. Az energiaátalakulás hatékonysága függ továbbá a tevékenység hosszától. Nyugalmi állapotban lévő ember átlagos alapanyagcseréjének oxigénfogyasztása 0,25 liter percnként. Ezzel a felhasznált mennyiséggel 88W hőt termelünk. Ha nyugalmi állapottól eltérünk, rendszeresen munkát végzünk, nagyobb lesz az oxigénszükségletünk. Három csoportba sorolva könnyű, közepes és nehéz munkákra oszthatjuk az emberek munka intenzitását. Az 1.táblázatban mutatom az oxigénfogyasztást és az energiát. (Bálint P., 1981)

1. táblázat: Munka intenzitása szerinti osztályzás
(Forrás: Bánhidi L., Kajtár L. 2000)

Munka típusa	Oxigén-fogyasztás [l/min]	Oxigén-fogyasztás [m ³ /s]	Teljes energia-fogyasztás [W]	Munka [W]	
Könnyű munka	≤ 0,5	≤ 0,85 × 10 ⁻⁶	< 175	–	Ülő foglalkozások
Közepes nehézségű munka	0,5 – 1,0	8,5 – 17 × 10 ⁻⁶	175 – 350	kb. 88	Nem gépesített házimunka, kézműipari tevékenységek
Nehéz munka	1,0 – 2,0	17 – 34 × 10 ⁻⁶	350 – 700	264 – 615	Nehézipari és mezőgazdasági munkák többsége

A munka oszlopban lévő értékek, a már az alapanyagcsere által termelt hő levonásával került meghatározásra, így csak munkához termelt izommunka van feltüntetve.

Nemzetközi gyakorlatban a hőmérték egyenlet meghatározásához használatos a met egység, mely az ember metabolikus hőtermelését jelöli. A 2. táblázat táblázatban szemléltetem, hogy milyen tevékenységhez milyen egységnyi testfelületre vonatkoztatott hőtermelési érték tartozik. Fontos még, hogy ehhez milyen légsebesség párosul a tevékenységhez. A légsebesség a tevékenység közben az álló levegőhöz képesti elmozdulás. 1 met értéke 58 W/m². (Bánhidi L., Kajtár L., 2000)

2. táblázat Tevékenységek metabolikus értékei
(forrás: Bánhidi L., Kajtár L., 2000)

Tevékenység	met	levegő relatív sebessége [m/s]
Alvás	0,7	0
Pihenés	0,8	0
Nyugodt ülés	1	0
Számítógépen végzett irodai munka	1,0-1,2	0
Egyéb irodai munka	1,0-1,2	0-0,1
Sétálás sík terepen 3,2 km/h	2	0,9
Sétálás sík terepen 4,0 km/h	2,4	1,1
Sétálás sík terepen 4,8 km/h	2,6	1,3

Jelen táblázat kiterjed nehéz és közepes fizikai munkára is, esetemben majd az irodai és az azt érinthető tevékenységeket tüntettem fel, melyen látható, hogy 1-1,2 met értékkel számolhatunk.

A testünk hőszabályozása egy önműködő folyamat, mely az agyunk hipotalamuszában történik. Az itt jelen lévő termoreceptorok érzékelik az emberi test maghőmérsékletének változásait, mely a bőr felszínének hőmérsékletéből és a gerincvelő termoreceptoraitól kap információt. A szabályozó szerv ezek alapján dönti el, hogy az előre meghatározott maghőmérséklet eléréséhez, mely az embereknél átlagosan 37°C, emelni vagy csökkenteni szükséges azt. Magasabb környezeti hőmérsékletnél, tartós fizikai megterhelésnél vagy túl sok ruha viselésekor emelkedik a bőr és a test vérmennyiség szállítása. A hő szállítása a testmagból kifelé irányba történik. Alacsonyabb hőmérséklet esetén a testünkben lévő erek összeszűkülnek és az élet fenntartásához legszükségesebb szervekre összpontosítva végzi a hőszállítást. A testünk remegéssel próbál további hőt generálni a szervezet védelmében. (Bálint P., 1981)

A szervezet a maghőmérséklet homeosztatikus szabályozását több hőátadási mechanizmuson keresztül biztosítja, mely lehet a hősugárzás (radiáció), hővezetés (kondukción), hőáramlás (konvekció) és párologtatás (evaporáció). A hővezetésekor a test közvetlenül érintkező, alacsonyabb hőmérsékletű felületek vagy közeg felé adja le hőjét. Ez megvalósul levegőn vagy egy szilárd tárgyon keresztül. A folyamat intenzitását elsősorban a környező anyagok hővezető tulajdonságai határozzák meg. Továbbá a test és a külső közeg hőmérsékletének különbsége. A hőáramlás esetén a bőr felületéről a mozgó levegő elszállítja a hőt, miközben a keringés az anyagcsere által keletkezett energiát a mélyebb rétegekből a hűvösebb bőrfelszín felé továbbítja. A hőleadás mértéke itt a véráramlástól és a szövetek közötti hőmérsékletkülönbségtől függ. Egy átlagos ember felülete 3500 cm² ami különösen alkalmassá teszi a testet a hőleadásra. A sugárzás útján a felmelegedett bőr és a zsírszövet infravörös hullámok formájában bocsát ki hőt, amennyiben a környezet hidegebb, mint a testfelszín. A párologás hőleadás részben a bőrön keresztül, izzadás formájában, részben pedig a légutakon keresztül történő hőveszteség révén valósul meg. (Kajtár L., Bánhidi L., 2018)

Nyugalmi állapotban ezek a folyamatok egyensúlyt tartanak fenn a hőtermelés és a hőleadás között. Fizikai terhelés hatására azonban az anyagcsere intenzitása fokozódik és a hőtermelés többszörösére nőhet a nyugalmi állapothoz képest. Amennyiben a környezet hőmérséklete meghaladja a 36°C-ot és a relatív páratartalom 50% alá csökken, a szervezet számára a hőleadás kizárólag a párologtatás útján biztosítható. A folyamat főként izzadással valósul meg, mellyel a bőrfelületről elpárolgó vízzel jelentős mennyiségű hőt von el a szervezettől. Ugyanakkor a párologtatás hatékonysága erősen függ a környezeti tényezőktől: magas páratartalom esetén a hőleadás akadályozott, ami a testhőmérséklet emelkedéséhez, hőstresszhez, szélsőséges esetben pedig hőkimerüléshez vagy hőségütáshoz vezethet. (Kajtár L., Bánhidi L., 2018)

Az emberi test hőháztartását leíró hőmérleg egyenletet, azaz a kellemes hőérzetet, többféleképpen fel lehet írni. Ugyanakkor minden egyenlet ugyanarra az alapelvre épül és három fő tagot tartalmaz. A testben történő hőtermelést, a hőátadást és a hőtárolást. Fanger (1970) elmélete szerint a hőmérleg a következőképpen alakul.

$$Q_w = M - W - E \pm S \pm C \quad (1)$$

A szervezet tehát (M) hőenergiát termel, amelynek egy része mechanikai munkavégzésre (W) fordítódik, a fennmaradó rész pedig hőleadással szabadul fel. A hőleadás történhet hőszugárzással (S), áramlással (C) vagy párolgással (E). Ezek együttese határozzák meg a hőtárolás mértékét (Q_w). Ahhoz, hogy a szervezet hőegyensúlyban legyen, állandó hőmérsékleten, a hőtárolásnak nulla értéket kell felvennie. Amikor hőfelvétel történik, akkor a hőtárolás pozitív, a testhőmérséklet emelkedik. Ellenben hőleadáskor a hőtárolás negatív értéket vesz fel, a testhőmérséklet csökken. Az egyenlet egy kibővített változata vált közismerté, mely hosszabb ideig változatlan környezetben tartózkodásra és munkavégzésre írható fel. (Kajtár L., 2011)

$$H - E_d - E_{sw} - E_{re} - L = K = S + C \quad (2)$$

A test belső hőtermelése (H) mérséklődik a bőrön keresztül kialakuló hőveszteség (E_d), az izzadás során fellépő párolgásos hőleadás (E_{sw}) és a kilégzéshez kapcsolódó nedves (E_{re}), illetve száraz (L) hőveszteségek hatására. Ezek különbsége adja azt a hőmennyiséget, amely a bőrfelületről a ruházaton keresztül átjut a külső felületre (K). Másik oldalról egyensúlyt tart a ruházattal borított test külső felületéről, hőleadás révén megvalósuló sugárzás (S) és konvekció (C) összegének. (Kajtár L., 2011)

A bőrfelületről a ruházaton keresztül átjutott hőmennyiség függ a ruházat hőszigetelő ellenállásán. A ruházati anyagok száraz hőszigetelő képessége alapvető jelentőségű tényező, amelyet a szakirodalomban kiterjedten vizsgáltak. Egy egyszerű hőtechnikai modellként úgy szemléltetik ezt a folyamatot, hogy a testet egy fűtött testként ábrázolja, amelyet egy szigetelőréteg vesz körül. A test hőegyensúlyának fenntartásához szükséges, hogy a hőáram először a bőrfelszínig jusson el a testből. Ez határozza meg a bőr hőmérsékletét. A hőáram a szigetelőrétegen keresztül a ruházat külső felszínéig jut, amely így meghatározza a ruházat hőmérsékletét, végül pedig a külső környezet felé adódik át. (Bálint P., 1981)

Halál esetén a test nem termelne folyamatosan hőt, a hőenergia folyamatosan kiáramlana a testből egészen addig, amíg be nem áll az egyensúlyi állapot. Ebben az állapotban a test belső hőmérséklete, a bőr hőmérséklete és a ruházat hőmérséklete azonos lenne a környezet hőmérsékletével. Ezzel szemben egy élő, folyamatosan fűtött szervezet esetében egyensúly alakul ki. A test hőmérséklete általában magasabb, mint a bőrfelszín hőmérséklete. A

bőrfelszín hőmérséklete magasabb, mint a ruházat külső felszínének hőmérséklete és a ruházat hőmérséklete pedig magasabb, mint a környezet hőmérséklete. (Fáy Á., 2020)

Az, hogy a ruházat hőmérséklete meghaladja a környezet hőmérsékletét, egyértelműen rámutat arra, hogy a környezet is bizonyos mértékű szigetelést biztosít. Ezt a szigetelő hatást a ruházat és a környezet közötti határréteg, vagyis a levegőréteg hozza létre. Ezen réteg tulajdonságai nagymértékben befolyásolják a hőcsere folyamatát és közvetlenül függenek a külső környezeti feltételektől. A modell alapján azonban ruha szigetelési értéke függetlennek tekinthető a külső környezet változásaitól. A ruházat hőszigetelő képességét clo értékben adják meg, ami így a bőrfelület és a ruházat külső felülete között húzódó hőszigetelés. (Parsons, 2003)

$$1 \text{ clo} = 0,155 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \quad (3)$$

Ez az egység biztosítja, hogy egy nyugalomban lévő ember semlegesén érezze magát 21°C hőmérsékletű, 50% relatív páratartalmú helyiségben, ahol a légmozgás alacsony, 0,1 m/s. Az alábbi, 3. táblázatban jelöltem az irodai viseletek szigetelő értékeit (I_{clo}).

3. táblázat Öltözet szigetelő értékei
(forrás:)

Öltözöttség	I_{clo}
Meztelen test	0
Alsónadrág	0,1
Alsónadrág, nyitott nyakú ing rövid ujjal, könnyű zokni és szandál	0,3-0,4
Hosszú szárú nadrág könnyű anyagból, rövidujjú nyitott nyakú ing	0,5
Alsónadrág, gyapjúzokni, pamut munkaing és munkanadrág	0,6
Hosszúszárú nadrág és ing, cipő, zokni	1
Hosszúszárú nadrág és ing, cipő, zokni + pamutkabát	1,5
Nehéz üzletember-ruházat: pamut alsónemű, hosszú szárral, ing, gyapjúzokni, cipő, öltöny (nadrág-zakóval)	1,5
Pamuting, nadrág, zokni, cipő és szimpla orkáncabát	0,9

A clo érték szorzata fogja megadni a ruházat hővezetési ellenállását, az alábbi képlet alapján.

$$R_{cl} = 0,155 * I_{cl} [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (4)$$

A ruházat felülete nem egyezik meg pontosan a testfelülettel ezért be kell vezetni a ruházati tényezőt (f_{cl}), amely a ruházat vastagságát és testtől való elállását írja le. Irodai viseletnél az R_{cl} nem lesz kisebb mint 0,078, így az alábbi képlettel számolható majd a ruházati tényező (f_{cl}).

$$f_{cl} = 1 + 1,29 * R_{cl} [-] \quad (5)$$

A ruházat közepes felületi hőmérsékletének (t_{cla}) meghatározása iterációs eljárással történik, amelyhez először egy kezdeti közelítő értéket szükséges számítani. A kiindulási hőmérséklet a levegő hőmérsékletéből és a test, illetve a ruházat hőátadási viszonyait leíró tényezőkből adódik. Az alábbi összefüggéssel határozható meg, mely a PMV számításhoz feltétlen szükséges.

$$t_{cla} = t_a + (35,5 - t_a) / (6,45 * R_{cl} + 0,1) \quad [^{\circ}C] \quad (6)$$

A további lépésekben az iterációban, a pontosabb értékek meghatározására olyan együtthatókra van szükség, amelyek a ruházat hőellenállását és a testfelület ruházattal borított részének tényezőjét veszik figyelembe. Ezek az együtthatók az alábbi módon számolhatók.

$$\begin{aligned} P1 &= R_{cl} * f_{cl}, \\ P2 &= 3,96 * P1, \\ P3 &= 100 * P1, \\ P4 &= P1 * t_a, \\ P5 &= 308,7 - 0,028 * (M - W) + P2 * x * \left(\frac{t_r}{100}\right)^4 \end{aligned} \quad (7)$$

Ezek az együtthatók a hőátadás sugárzási és konvektív részeit foglalják össze, lehetővé téve a ruházat felületi hőmérsékletének fokozatos pontosítását az iteráció alatt. Az eljárás lényege, hogy a kezdeti becslésből kiindulva addig módosítjuk a t_{cl} értékét, amíg az egyensúlyi hőmérleg feltételei teljesülnek. (Cakó B.,2022)

3.3 PVM-PPD modell

A korai komfortvizsgálatokkor empirikus diagramokat készítettek, amelyekből az effektív hőmérséklet leolvasható volt a levegőhőmérséklet és a relatív páratartalom ismeretében. Ezek a mutatók azonban nem voltak képesek kezelni a bonyolult összefüggéseket, amelyek az emberi szervezet, a ruházat és a környezeti tényezők között fennállnak. Viszont ez a módszer alapozta meg a későbbi, termodinamikai alapokon nyugvó PMV–PPD modellt.

Az 1960–70-es években Fanger nagyszámú laboratóriumi vizsgálatot végzett. Különböző környezeti feltételek mellett elemezte a kísérleti alanyok hőérzetét. Ezekből a vizsgálatokból született meg a Predicted Mean Vote, vagyis PMV, modell, amelynek célja, hogy előre jelezzen egy adott környezetet, amit egy embercsoport átlagosan hogyan fog értékelni hőérzet szempontjából. A PMV alapja az emberi hőmérleg modellje. A PMV érték a hőérzetet a –3 és +3 közötti skálán fejezi ki. A nulla jelenti a semleges állapotot, a szélső értékek pedig a szélsőségesen hideg vagy meleg érzést. A PMV modell összetett matematikai összefüggéseken alapul, de lényege egyszerűen megragadható. Ha a szervezet hőmérlege kiegyensúlyozott, akkor a PMV érték a semleges tartományba esik. Amikor azonban a szervezet hőleadása elmarad a szükségéstől, a felhalmozódó hő miatt a PMV pozitív irányba tolódik, ami melegérzetet jelent. Ezzel szemben, ha a hőleadás nagyobb a hőtermelésnél, akkor a PMV negatív értékű lesz, ami hidegérzetnek felel meg. A PMV értékeket és ezek jelentését a 4. táblázatban összegeztem. (Fanger, 1970)

4. táblázat PMV értékek

(forrás: Fanger, P.O. 1982: *Thermal Comfort*)

PMV érték	Szubjektív hőérzet	Jelentés
-3	Hideg	Fázik, hőkomfort teljes hiánya
-2	Hűvös	Jelentős hidegérzet, diszkomfort jelentkezik
-1	Kissé hűvös	Enyhe hidegérzet, elviselhető
0	Semleges	Optimális hőkomfort, elégedettség
1	Kissé meleg	Enyhén meleg érzet, elviselhető
2	Meleg	Kellemetlen melegérzet, diszkomfort jelentkezik
3	Forró	Túlmelegedett állapot, a hőkomfort teljes hiánya

Az ember szubjektív hőérzetét meghatározza a külső terhelés mértéke, melyet matematikai módszerével, az alábbi függvénykapcsolatot írta fel.

$$Y = f\left(\frac{M}{F_{Du}}, L\right) \quad [-] \quad (8)$$

A PMV-t a függvényben Fanger (1970) Y-al jelölte, míg a M/F_{Du} hányados az 1 m² testfelületre ható hőterhelés, L pedig a teljes szervezetre ható hőterhelés.

A teljes hőveszteség, sugárzással, konvekcióval, látens hőátadással, izzadással, illetve a légzés során leadott szenzibilis és látens hő részhatásainak összegeként írható le. (Cakó B.,2022)

$$L = H_r + H_c + H_l + H_{sw} + H_{rl} + H_{rs} \quad [W] \quad (9)$$

A sugárzással történő hőleadás (H_r) a bőrfelület és a környező felületek közötti hőmérsékletkülönbségből adódik, amelyet a ruházat felületi hőmérséklete és a közepes sugárzási hőmérséklet különbsége határoz meg.

$$H_r = f_{cl} * 3,96 * 10^{-8} (t_{cl}^4 - t_r^4) \quad [W] \quad (10)$$

Az áramlásos hőleadás (H_c) az alábbi képlettel írható fel.

$$H_c = f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a) \quad [W] \quad (11)$$

Meg kell határozni a látens hőveszteséget (H_l), ami bőrön keresztül, párolgás útján történik.

$$H_l = 3,05 * [5,733 - 0,00699 * (M - W) - p_a/1000] \quad [W] \quad (12)$$

Amikor a párolgás izzadással növekszik, a hőveszteség kiegészítő tagja.

$$H_{sw} = 0,42 * [(M - W) - 58,15] \quad [W] \quad (13)$$

A légzéssel történő hőleadás két részből áll. A kilélegzett levegő páratartalma által okozott látens (H_{rl}), valamint a kilélegzett levegő hőmérséklete által okozott szenzibilis hőveszteség. (H_{rs})

$$H_{rl} = 0,0173 * M * (5,867 - p_a/1000) \quad [W] \quad (14)$$

$$H_{rs} = 0,0014 * M * (34 - t_a) \quad [W] \quad (15)$$

A fenti összefüggések együtt adják meg az ember és a környezet közötti hőcsere részletes modelljét, amely a PMV-PPD modell alapját képezi.(Cakó B.,2022) A PMV=0 értékhez az a hőkönyezeti állapot tartozik, amelyet a legkevesebb vizsgálati alany ítélt kellemetlennek. (Fanger, 1982)

A (8) egyenletbe visszahelyettesítve, az alábbi számítást kapjuk a várható hőérzet meghatározására.

$$Y = (0,303e^{-0,036M} + 0,028) [(M - W) - 3,05 * 10^{-3} * (5733 - 6,99 * (M - W) - p_a) - 0,42 * [(M - W) - 58,15] - 1,7 * 10^{-5} M * (5867 - p_a) - 0,0014 * M * (34 - t_a) - h_r * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)] \quad (16)$$

A teljes kifejezés első szorzótagja egy empirikus súlyfaktor, amely Fanger (1982) kísérletei alapján kapcsolja össze a hőmérlegből számolt hőveszteséget a hőérzettel.

Dolgozatomban a PMV meghatározáshoz szükséges számítást a MSZ EN ISO 7730 szabvány szerint végzem majd. A szabvány előírja a peremfeltételeket, ami mellett megfelelően alkalmazható a számítás. A modell alkalmazása a -2 és +2 közötti PMV tartományban ajánlott, ahol a hőérzet még nem lép át a szélsőséges hideg vagy meleg érzet tartományába. A személyek ruházatának hőszigetelő képessége nem lépheti át a 2 clo értéket és a metabolikus hőtermelésnek 0,8 és 4 met között kell lennie. A levegőhőmérsékletnek jellemzően 10 és 30 °C között kell alakulnia. A közepes sugárzási hőmérsékletnek hasonló módon a 10–40 °C tartományon belül kell maradnia és a légsebesség nem haladhatja meg az 1 m/s értéket. A relatív páratartalomnak 30–70% közötti sávban kell mozognia. A vízgőz parciális nyomása legfeljebb 2700 Pa lehet. Amennyiben ezek a feltételek nem teljesülnek, a PMV index értelmezése bizonytalanává válik és a modell nem ad megbízható képet a valós hőérzetről.

Annak érdekében, hogy az elégedetlenek százalékos arányát (PPD) meghatározzuk az alábbi összefüggés alapján szükséges először a PMV meghatározása.

$$\begin{aligned} PMV &= [0,303 * e^{-0,036 * 58,15 * M} + 0,028] * L && [-] \\ PPD &= 100 - 95 * e^{-(0,03353 PMV^4 + 0,2179 PMV^2)} && [%] \end{aligned} \quad (17)$$

3.4 Közepes sugárzási hőmérséklet

A választott épületem PMV számításához a legszükségesebb és mérhető komfort paramétereket fogom vizsgálni. Ezzel egyetemben a minél pontosabb becslés érdekében, a helységekben lévő felületek hőmérsékletét is lesz alkalmam mérni, így a közepes sugárzási hőmérséklet (MRT) értékét pontosabban tudom majd megbecsülni. Napjainkban a PMV meghatározására már többféle korszerű mérőberendezés áll rendelkezésre, az MRT vizsgálatára általában glóbuszhőmérőt alkalmaznak, melyet a (Cakó B.,2022)

2. ábra mutat be. A vizsgálatot általában egy 150 mm átmérőjű, matt fekete felületű réz vagy acélgömbbel végezzük, aminek a közepébe egy hőmérséklet érzékelőt építenek. A fekete felület magas emissziós tényezője ($\epsilon_g = 0,95$) biztosítja, hogy a gömb szinte teljes mértékben elnyelje a hősugárzást. A mért hőmérséklet lesz a glóbusz hőmérséklet, amiből tovább számítható az MRT. A mért gömbhőmérséklet nem csak a levegő hőmérsékletétől, hanem a környező felületek hőmérsékletétől és a légsebességtől is függ. (Cakó B.,2022)

2. ábra Glóbusz hőmérő
(forrás: www.testo.com)



A gömbhőmérsékletből a közepes sugárzási hőmérséklet az alábbi összefüggéssel határozható meg az MSZ ISO 7726:2003 szabvány szerint.

$$t_r = \sqrt[4]{t_g^4 + \frac{h_{cg}}{\epsilon_g \cdot \sigma} * (T_g - T_a)} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (18)$$

Sok helyszíni mérésen nem áll rendelkezésre gömbhőmérő vagy annak alkalmazása nehézkes. Ilyen esetekben a közepes sugárzási hőmérsékletet indirekt módon, a környező felületek hőmérsékletének ismeretében becsülhetjük meg. A közepes sugárzási hőmérséklet számítása az alábbi összefüggéssel történhet a legegyszerűbben. Az A értékek a határoló felületek területe a t pedig, ezen felületek hőmérséklete.

$$t_r = \frac{A_1 t_1 + A_2 t_2 + \dots + A_n t_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (19)$$

Még egyszerűsített esetben, ha a felületek hőmérséklete közel azonos, az MRT a felülethőmérsékletek egyszerű számtani átlaga alapján is közelíthető.

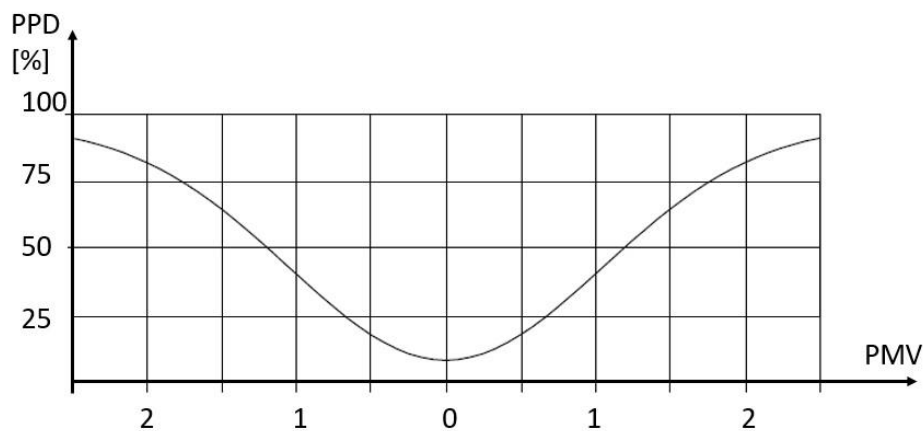
$$t_r = \frac{t_{falak} + t_{ablakok} + t_{padlók} + t_{mennyezet}}{4} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (20)$$

Kajtár (2016) szerint zárt irodai térben, ha nem áll rendelkezésre gömbhőmérő, valamint a légsebesség közel azonos és alacsony, akkor az MRT az operatív hőmérsékletből (t_o) és a léghőmérsékletből becsülhető.

$$t_o = \frac{t_a + t_r}{2} \rightarrow t_r = 2 * t_o - t_a \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (21)$$

A PMV modell önmagában még nem ad teljes képet a komfortérzetről, hiszen az emberek szubjektív érzékelése eltérő. Ezt hivatott kiegészíteni a PPD, vagyis a Predicted Percentage of Dissatisfied, amely százalékos formában fejezi ki, hogy adott környezetben várhatóan hány ember lesz elégedetlen a hőérzettel. A PPD modell fontos jellemzője, hogy soha nem éri el a nullát. Fanger nagyszámú mérései alapján készített, 3. ábrán is jól látható, hogy a legoptimálisabb, semleges PMV érték mellett is nagyjából öt százaléknyi elégedetlenség lesz tapasztalható. Ennek megfejtése, hogy az emberek hőérzete mindig bizonyos szórással bír, amelyet a fizikai és pszichológiai különbségek egyaránt meghatároznak. A PPD görbéje jól mutatja, hogy a hőérzet bármelyirányú eltolódása az elégedetlenség ugrásszerű növekedéséhez vezet. Tapasztalatok szerint már viszonylag kismértékű eltérés esetén is az elégedetlenség aránya elérheti a 10–20 százalékot. (Fanger, 1970)

3. ábra PMV-PPD diagram
(forrás: Fanger, 1970)



Ezek az eredmények lehetőséget adtak a Fanger-féle modell helyi alkalmazására, a PMV–PPD összefüggés pontosítására különböző klimatikus viszonyok között. Eredeti formájában a modell jól használható mesterségesen szabályozott épületekben, ahol a hőkomfortot befolyásoló paraméterek viszonylag állandó értékek között mozognak.

A magyarországi éghajlat a kontinentális jellegből adódóan tág hőmérsékleti és páratartalom ingadozásokat mutat. Ez a nyári időszakban gyakori, magas relatív páratartalommal párosuló meleg és a téli, száraz, hideg levegő miatt kihívást jelent a PMV-modell érvényesítésében. Kutatások rámutatnak, hogy a magyarországi irodákban, oktatási és közintézményekben végzett helyszíni mérések során a tényleges hőérzet (Actual Mean Vote) gyakran eltér a PMV-ből számított értéktől. Ez elsősorban az egyenetlen sugárzási hőmérséklet eloszlásból, a légmozgásokból, illetve a különböző hőleadó rendszerek helyi hatásaiból adódik. A megfigyelések szerint a modellel számított semleges hőérzethez tartozó PPD érték hazai környezetben jellemzően 10–15 %-kal magasabb, mint a Fanger görbéje alapján várható. (Kajtár, 2016)

Ennek alapján elmondható, hogy a PMV–PPD modell Magyarországon elsősorban relatív összehasonlításokra alkalmas. Jól használható különböző terek vagy üzemállapotok hőkomfort értékelésére, de az elégedettségi arány becslésére csak korlátozottan.

3.5 Termikus diszkomfort tényezők

A hőkomfortot befolyásoló környezeti tényezők nem csupán a hőmérséklet, a páratartalom, és a sugárzási viszonyok összességéből állnak, hanem számos olyan lokális és dinamikus jelenségből is, amelyek az ember hőérzetét negatívan módosítják. Ezeket a hatásokat hívjuk diszkomfort tényezőknek. Az ASHRAE 55 szabvány külön fejezetet szentel ezen tényezők leírásának, mivel a tapasztalatok szerint egy épület termikus környezete gyakran a lokális diszkomfort hatások miatt válik kellemetlenné, nem pedig a globális hőmérsékleti viszonyok hibájából. A diszkomfort tényezők közé tartozik például a helyiségen belüli levegő hőmérsékletének egyenetlen eloszlása, a sugárzási aszimmetria, a függőleges hőmérséklet eloszlás. Továbbá a huzathatás, a túlmelegedés vagy lehűlés érzete a helyi testfelületeken. Ezek a jelenségek az emberi test hőmérsékleti egyensúlyát lokálisan bontják meg. Ez kellemetlen fiziológiai és pszichológiai reakciókat vált ki, anélkül, hogy a teljes hőmérleg jelentősen eltérne az egyensúlytól. (ASHRAE, 2020)

A sugárzási aszimmetria szintén gyakori diszkomfort forrás. Ez akkor alakul ki, amikor a környező felületek – például ablakok, mennyezet vagy radiátorok – hőmérséklete jelentősen eltér egymástól, és a test egyik oldala lényegesen több vagy kevesebb hőszugárzást kap, mint a másik. Az ASHRAE 55 szabvány a sugárzási aszimmetria megengedett mértékét is meghatározza. A mennyezetirányú meleg sugárzás esetén legfeljebb 5 °C, hideg függőleges felületek esetén pedig körülbelül 10 °C különbség tekinthető elfogadhatónak. Az ennél nagyobb eltérések kellemetlenséget, fejfájást vagy a test egyik oldalán jelentkező hőérzeti diszharmóniát okozhatnak. (ASHRAE, 2020)

A függőleges hőmérséklet-gradiens szintén fontos diszkomfort tényező, különösen magas belmagasságú terekben. Az emberi test alsó és felső része közötti levegőhőmérséklet-különbség növekedésével az egyensúly megbomlik. Ha a fejünk környezetében a levegő melegebb, mint a lábunk szintjén, a test hőérzete torzulhat és fáradtságérzet alakulhat ki. A szabvány szerint a fej és a boka magasságában mért hőmérsékletek különbsége nem haladhatja meg a 3 °C-ot. Az ennél nagyobb gradiens már érzékelhetően csökkenti a komfortérzetet. (Olesen,2004)

Az emberi szervezet különösen érzékeny a bőr hőmérsékletének hirtelen változásaira. A huzat a bőrfelületen kialakuló gyors, konvektív hőleadás miatt vált ki hidegérzetet, amely már 0,15 m/s feletti légsebességnél is észlelhető, különösen alacsony hőmérséklet és vékony ruházat mellett. A huzathatás a leggyakrabban észlelt lokális diszkomfort, amelyet a levegő sebességének, irányának és hőmérsékletének együttese vált ki. A probléma különösen irodai környezetben gyakori, ahol a klímaberendezések kifúvónyílásai vagy az ablaknyitásból eredő helyi áramlások közvetlenül a dolgozókra irányulnak. A huzatérzetet befolyásolja a tevékenység intenzitása, a ruházat vastagsága és a levegő turbulenciája is. Az ASHRAE 55 ennek értékelésére a DR (Draft Rate) indexet használja, amely százalékos formában adja meg azok számát, akik huzathatást tapasztalhatnak az adott környezetben. A cél, hogy a DR értéke 20% alatt maradjon, vagyis a helyiségben tartózkodók legfeljebb ötöde érezze huzatosnak a környezetet. (Fanger, 1970), (ASHRAE, 2020)

A padlófelület hőmérséklete szintén lényeges a termikus komfort szempontjából. A túl hideg padló a talpon keresztüli hőelvonás miatt hidegérzetet okoz, míg a túl meleg padló kellemetlen melegérzetet idézhet elő. A szabvány szerint az optimális padlóhőmérséklet

19–29 °C között van, attól függően, hogy a helyiség fűtött vagy hűtött padlóval rendelkezik-e. A túl nagy hőmérsékleti eltérés a test alsó részében hőkomfort zavart okoz, ami akár az általános PMV–PPD értékek romlásához is vezethet. (Wang Z., 2013)

A diszkomfort tényezők nemcsak fiziológiai hatásokon keresztül csökkentik a komfortérzetet, hanem pszichológiai úton is. A dolgozók érzékenyen reagálnak a környezet egyenlőtlenségeire, különösen akkor, ha azok, kiszámíthatatlanok vagy rövid idő alatt változnak. (Barna E., 2012) A hirtelen hőmérsékletváltozások, a klímaberendezések által keltett zajjal kombinált légáramok, illetve a napsugárzás okozta felületi felmelegedések mind hozzájárulhatnak a komfortérzet romlásához. A modern épületgépészeti rendszerek célja ezért nem csupán az átlagos hőmérsékleti paraméterek biztosítása, hanem a lokális diszkomfort tényezők minimalizálása is.

4. KOMFORT TEREK KÍVÁNT ÁLLAPOTÁNAK BIZTOSÍTÁSA

A modern épített környezet egyik alapvető követelménye, hogy a terek megfelelő komfortot biztosítsanak a bennük tartózkodók számára. A komfortérzet kialakulásában számos tényező játszik szerepet, melyet a korábbi fejezetekben részletesen bemutattam. Tervezéskor, kivitelezéskor és az épület üzemeltetésekor ezeknek a tényezőknek a folyamatos biztosítása jogszabályi és szakmai keretek között kell történnie.

4.1 Jogszabályok

A komfortos belső terek kialakítása nem pusztán műszaki kérdés, erős jogi keretek között zajlik. Magyarországon ez a szabályozás több szinten illeszkedik egymáshoz úgy, mint építésjogi, energetikai, munkavédelmi/egészségügyi, épületüzemeltetési és tűzvédelmi jogszabályok. Az alábbiakban áttekintem a legfontosabb szabályozást és azok kapcsolódását a komfort követelményekhez.

Az épített környezet szabályozásának alapját ma a *2023. évi C. törvény a magyar építészetéről* képezi, amely az épületek tervezésének, megvalósításának és használatának átfogó jogi keretét határozza meg. A törvény céljai között szerepel, egy olyan átlátható, korszerű és egységes építészeti szabályozás megteremtése, amely előmozdítja a polgári jó ízlést és az életminőség javulását, valamint ösztönözi az akadálymentes és esélyegyenlő hozzáférést. A *1993. évi XCIII. törvény* előírásai szerint az építmények csak olyan módon működhetnek, hogy azok megfeleljenek rendeltetésüknek, biztonságos használatot tegyenek lehetővé. Ne jelentsenek kockázatot az emberi egészségre és működésükkel ne terheljék a környezetet. Ennek része a megfelelő belső környezeti feltételek biztosítása úgy, mint a hőkomfort, a levegőminőség, a zajterhelés és a megvilágítás, amelyek a használati érték és az energiahatékonyság szempontjából egyaránt alapvetők.

Az egészségügyi és munkavédelmi előírások határozzák meg a munkahelyi környezet minimális paramétereit. A *1993. évi XCIII. törvény* előírja, hogy a munkáltatónak biztosítani kell a dolgozók számára az egészséget nem veszélyeztető, biztonságos munkavégzést. Ezen belül a végrehajtási rendeletek, különösen a *3/2002. (II. 8.) SzCsM–EüM együttes rendelet* rögzíti a munkáltató felelősségeit a munkavállalók felé. Biztosítani kell a megfelelő munkakörnyezetet és annak mikroklímáját (hőmérséklet, páratartalom,

légsebesség, világítás és zajterhelés határértékeit), munkához szükséges eszközök és berendezések karbantartását. A mikroklíma-értékek betartása közvetlenül befolyásolja a dolgozók komfortérzetét és teljesítményét, így a munkavédelmi előírások a komforttervezés egyik sarokpontjának tekinthetők

Ha az egészségre káros hiba lépett fel, akkor a lehetőségekhez képest a leghamarabb meg kell kezdeni a javító intézkedést.

Az energetikai követelmények és az épületgépészeti rendszerek integrált működtetése a *9/2023. (V. 25.) ÉKM rendelet* alapján szabályozott. Ez a rendelet váltotta fel a korábbi, már hatályát veszített *7/2006. (V. 24.) TNM rendeletet*. Az új rendelet nagyobb hangsúlyt fektet az épületgépészeti rendszerek összehangolására, aktualizálja a fajlagos hővesztéstényezőre és primerenergia-igényre vonatkozó határértékeket, igazodva az új anyagtechnológiákhoz és épületgépészeti megoldásokhoz. Az új értékek célja, hogy az épületek üzemeltetésével a belső hőmérséklet stabilitása javuljon, a hőkomfort pedig az éves ciklus alkalmával egyenletesen fenntartható legyen. A korszerű hőszigetelések és alacsony hőátbocsátási tényezőjű nyílászárók alkalmazása így nemcsak energetikai, hanem komfortnövelő tényezők is. A nyári túlmelegedés elleni védelem kiemelt szerepet kap az új szabályozásban. A rendelet előírja, hogy az épület nyári belső hőmérséklete, természetes vagy gépi szellőzéssel, ne haladja meg a komfortos tartományt. Ez a rendelkezés az épület fizikai terhelhetőségét és a belső komfortzónát egyaránt védi, különösen a klímaváltozás okozta szélsőséges hőhullámok idején. A gyakorlatban a *9/2023. ÉKM rendelet* alkalmazása a tervező számára azt jelenti, hogy a komfortparaméterek (PMV, PPD, operatív hőmérséklet, sugárzási aszimmetria, levegősebesség) értékelését a hőtechnikai számításokkal együtt kell dokumentálnia. Ez biztosítja, hogy az energetikai tanúsítás ne csupán az energiafelhasználásról, hanem a tényleges használati komfortszintről is képet adjon.

A tűzvédelmi szabályozás elsődlegesen a biztonságot szolgálja, ugyanakkor a komfort szempontjait is közvetetten érinti. Az *54/2014. (XII. 5.) BM rendelet* határozza meg a tűzállósági osztályokat, a menekülési útvonalak paramétereit. A légtechnikai és füstmentesítési rendszerek kialakítására vonatkozó előírásokat. A hő- és füstelvezetésre szolgáló rendszerek tervezése alatt figyelembe kell venni, hogy azok ne rontsák a helyiségek komfortját, a túlzott légárammal vagy zajjal. A tűzgátló szerkezetek elhelyezése

szintén befolyásolja a szellőzési útvonalakat, ami a komfortterek tervezésénél mérnöki kompromisszumokat igényelhet.

Összességében elmondható, hogy a hatályos magyar jogszabályok, élükön a *2023. évi C. törvénnyel és a 9/2023. ÉKM rendelettel* komplex, integrált megközelítést alkalmaznak a komfort, az energiahatékonyság és a környezetvédelem összefüggéseinek szabályozására.

4.2 Szabványok

A termikus komfort vizsgálatára és értékelésére a nemzetközileg legelterjedtebb és legátfogóbb alapját az ANSI/ASHRAE Standard 55 adja. Ez a szabvány az épületek belső hőmérsékleti környezetének meghatározásához nyújt komplex, emberközpontú keretrendszert, amely a fizikai paraméterek (levegőhőmérséklet, sugárzási hőmérséklet, páratartalom, légsebesség) együttes hatásán keresztül értékeli a hőérzetet. Az ASHRAE 55 a PMV–PPD modellt és az adaptív komfortelméletet egyaránt alkalmazza, így a különböző éghajlati és üzemeltetési körülmények között is megbízhatóan képes meghatározni a komfortos tartományokat. (ASHRAE, 2020)

Magyarországon ezen nemzetközi elvekkel összhangban több, az ISO és az MSZ ISO szabványrendszerhez tartozó dokumentum szabályozza a hőkomfort vizsgálatát és értékelését.

Az MSZ ISO 13731:2002 a hőmérsékleti környezetek ergonómiájával foglalkozik és célja a hőkomforttal összefüggő alapfogalmak, jelölések és mértékegységek egységesítése. A szabvány részletes definíciókat tartalmaz a hőmérséklet sugárzási és konvektív hőcsere folyamatainak leírására. Ajánlott szimbólumrendszert ad a nemzetközi szabványokkal összhangban történő alkalmazáshoz, amivel biztosítja, hogy a különböző hőkomfort-vizsgálatok, összehasonlíthatóak legyenek. Így a számítások közös terminológia szerint érvényesüljön.

A mérési módszerek és eszközök részletes ismertetését az MSZ ISO 7726:2003 tartalmazza, amely a fizikai mennyiségek meghatározásához szükséges eljárásokat és mérési feltételeket írja elő. Ez a szabvány az épületfizikai és ergonómiai vizsgálatok alapját képezi. Részletes útmutatást ad többek között a léghőmérséklet, a közepes és síkfelületek

közötti sugárzási hőmérséklet, az abszolút nedvességtartalom, a légsebesség, a felületi hőmérséklet és az operatív hőmérséklet mérésére. Mindezek mellett meghatározza a szükséges mérőeszközök pontossági követelményeit és a mérési peremfeltételeket is, ezáltal biztosítva a vizsgálatok megbízhatóságát és reprodukálhatóságát.

A hőkomfort analitikus értékelésének alapját az MSZ ISO 7730:2006 szabvány adja, amely meghatározza a PMV és a PPD indexek számításának módját. A dokumentum bemutatja továbbá a huzathatás (DR) miatti elégedetlenség százalékos arányának meghatározását, és tartalmazza a PMV–PPD modell számítási algoritmusát is, amely basic nyelvű programkódként illusztrálja a számítási folyamatot. A szabvány lehetőséget nyújt a komfortértékek táblázatos meghatározására, ajánlásokat ad a különböző épülettípusokra vonatkozó hőkomfort követelmények tekintetében. (Olesen és Parsons, 2002)

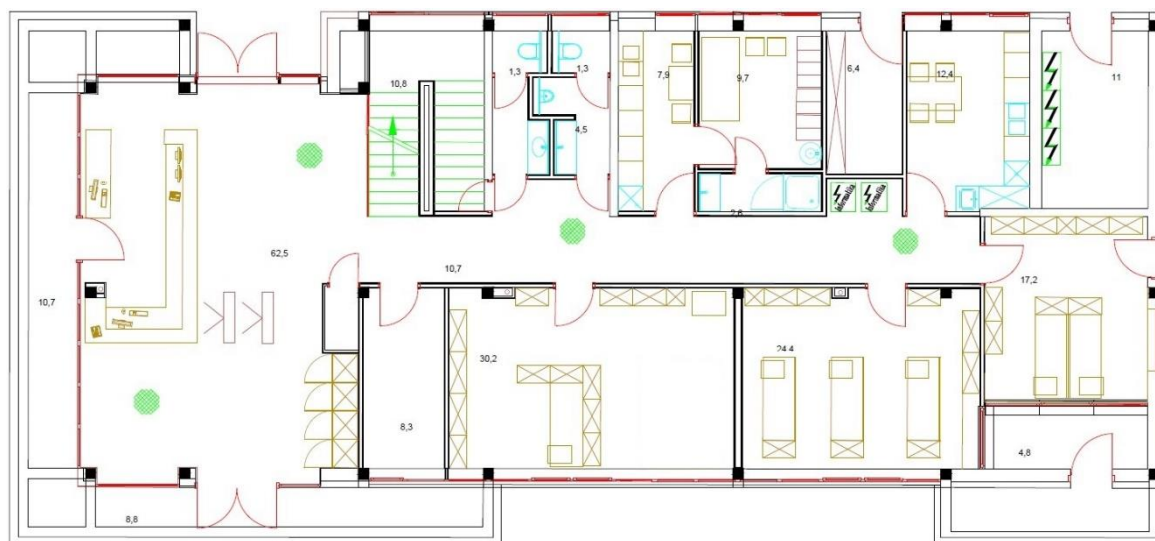
A fizikai környezetek ergonómiájával foglalkozó MSZ ISO 10551:2020 szabvány részletes útmutatást ad a szubjektív hőérzet vizsgálatának kérdőíves módszertanához. Leírja, hogyan kell kialakítani a vizsgálatokban alkalmazott értékelőskálákat, amelyek segítségével a résztvevők hőérzeti benyomásai egységes formában rögzíthetők. A dokumentum iránymutatást ad a kérdések megfogalmazására, a válaszok skálák felépítésére és a kérdőíves felmérések kiértékelésének menetére. Bemutat példákat és mintakérdőíveket, meghatározza az AMV (Actual Mean Vote) kiszámításának eljárását, amely lehetővé teszi a szubjektív eredmények összevetését a számított hőkomfort-indexekkel.

5. ÉPÜLET GÉPÉSZETI RENDSZEREINEK BEMUTATÁSA

A vizsgálatom helyszínéül szolgáló épület Budapest X. kerületében található. Az ingatlan kétszintes, vasbeton szerkezetű irodaépület, amely rendészeti porta, irodai szellemi munkavégzés és raktárfunkció együttes ellátására szolgál. Az épület fűtött alapterülete 882 m², megközelítőleg azonos megoszlásban a két szint között.

A választott épületem funkcionális elrendezése egyszerű, logikus rendszert követ. Az épület hosszanti homlokzatai Dél–Nyugat és Észak–Kelet irányba tájoltak. Ezen homlokzatok mentén helyezkednek el az irodák, amelyek természetes megvilágítást és kilátást biztosítanak. A földszinten csak Délnyugati oldalra kerültek irodák, míg az Északkeleti oldalon a vizesblokkok és étkező és rendészeti pihenő helyek kaptak helyet. A két homlokzati traktust középen futó folyósó választja el mindkét szinten, amely biztosítja a közlekedést és a menekülési útvonalakat. Ez a térszervezés, véleményem szerint, jól elkülöníti az irodai és kiszolgáló funkciókat, miközben átlátható alaprajzi rendszert eredményez. A földszinti alaprajzot a 4. ábra alapján mutatom be.

4. ábra Épület földszinti alaprajza
(forrás: saját ábra)

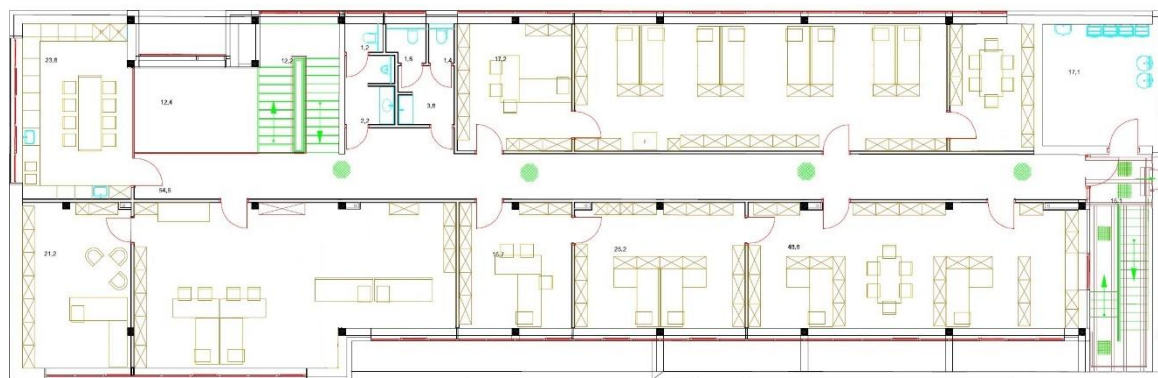


A külső falazat Porotherm 30 N+F téglából készült, 15 cm vastag hőszigeteléssel fedve. A födémek monolit vasbeton szerkezetűek. A vasbeton födém jó hőtároló képességgel rendelkezik, ami lassítja a hőmérsékletingadozásokat, kiegyenlíti a rövid távú

hőterheléseket. Ez a tulajdonság különösen fontos a hőkomfort vizsgálatoknál, mivel a szerkezet hőválasza befolyásolja a belső tér operatív hőmérsékletét. A belső válaszfalak és a fix álmennyezet jellemzően gipszkartonból épültek, valamint vasbeton merevítőfalakkal. Előbbi felett helyezkedik el a felülethűtést és -fűtést megvalósító csőhálózat, amelyet hőszivattyúk látnak el energiával. A helyiségek belmagassága egységesen 2,6 méter, ami a rögzített álmennyezettel együtt megfelelő térérzetet és légteret biztosít irodai funkció esetén. A padlóburkolat az irodákban PVC, a közlekedő és szociális terekben kerámiaburkolatok, amelyek kedvező karbantartási és higiéniai szempontokat szolgálnak. Az épület emeleti alaprajzait az 5. ábra szemlélteti.

5. ábra Épület emeleti alaprajza

(forrás: saját ábra)



Az épület nyílászárói korszerű, hőhidmentes aluprofilba épített háromrétegű üveglakok, amelyek biztosítják a természetes szellőzést és a fénybejutást a terekbe. A Délnyugati homlokzaton a nyári időszakban árnyékolásra is szükség van. Ezt a meglévő külső szerkezetek részben biztosítják, részben pedig külső zsaluzia csökkenti a napsugárzásból eredő hőterhelést. A zsaluzia fény és szélérzékelővel van ellátva, így automatikusan engedi le erős napsütésben az árnyékolót, míg szelesebb időben felhúzza, hogy elkerülje a zsaluzia sérülését. Ezek kiegészítésére a belső terekben szalagfüggöny is elérhető a teljesen egyéni beállításra.

Az épület világítása döntően mesterséges, LED-alapú rendszer, amely kiegészíti a természetes fényt, különösen az északi oldali helyiségekben. Az irodatermek kialakítása a szabványos 500 lux körüli megvilágítási szintet biztosítja.

Az épület összességében kompakt, jól szervezett irodai épület, amely szerkezeti és gépészeti szempontból is megfelel a korszerű irodatermek követelményeinek. Mindezek alapján alkalmas arra, hogy a diplomamunka keretében végzett hőkomfortmérési és értékelési vizsgálatok helyszínéül szolgáljon. A vizsgálatra választott épületet célzottan, a dolgozói tapasztalatok alapján választottam. Az itt dolgozó munkatársaktól több alkalommal érkeztek negatív visszajelzések az épületben alkalmazott felülethűtés és fűtési rendszer működésével kapcsolatban. A visszajelzésekben nyári és őszi időszakokban jelentkező hőkomfort problémákat említettek. Különös tekintettel a magas páratartalomra és a hűtési teljesítmény időszakos hiányára nyáron, de ugyanakkor a téli időszakra történő, fűtés kezdetén is jelentettek diszkomfort érzetet. Túl meleg érzet, friss levegő hiányát jelezték a felhasználók.

Az irodák alapterületeit az 5. táblázatban foglaltam össze. Rögzítettem, hogy az adott irodákban hány fő dolgozik. A helyiségek belmagassága egységesen 2,6 méter.

5. táblázat Épület helyiségei

(forrás: saját táblázat)

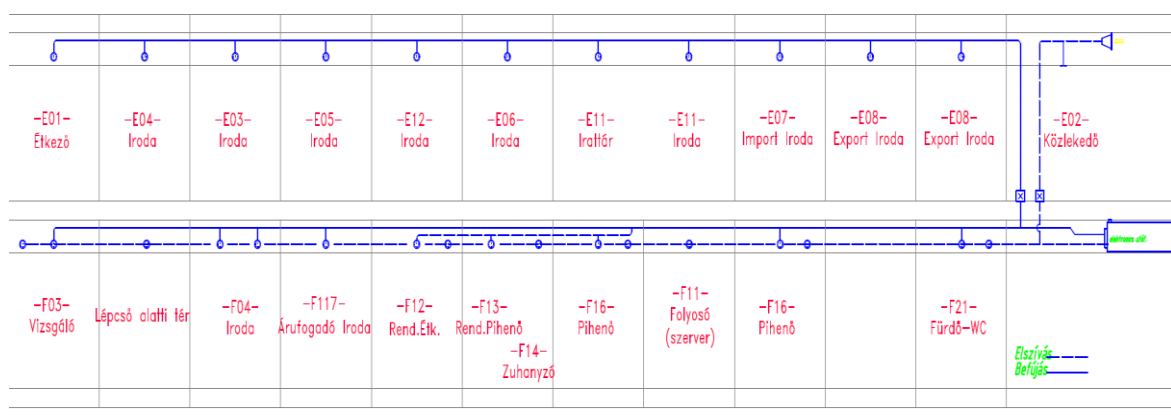
Helyiség funkciója	Alapterület [m ²]	Dolgozók száma	Helyiség funkciója	Alapterület [m ²]	Dolgozók száma
Földszint			Emelet		
Porta előtér	62,5	2	Étkező	23,8	-
Rendészeti vizsgáló	8,08	1	E03 Iroda	21,2	1
Iroda + irattár	29,4	1	E02 Iroda	57,3	4
Iroda	17,2	2	E05 Iroda	16,73	1
Oktató	24,4	2	E06 Iroda	12,67	2
Előtér	5,19	-	E07 Iroda	17,28	3
Teakonyha	12,4	-	E10 Iroda	17,2	1
Étkező	12,4	2	E09 Iroda	69,4	8
Pihenő + zuhany	1,8	1	Gépészeti tér	17,1	-
Férfi, női mosdó	8.84	-	Férfi, női mosdó	11,8	-
Folyosó	10,7	-	Folyosó	54,5	-
			Folyosó	54,5	-

5.1 Frisslevegő ellátó berendezés

Az épület légtechnikai rendszerének kialakításánál alapvető cél volt, hogy a belső terek légcseréje energiatakarékosan, ugyanakkor a komfortparaméterek hosszú távú biztosításával történjen. Ennek érdekében a friss levegő ellátását központi, forgódobos hővisszanyerős szellőztető berendezésre alapozták. A berendezés típusa Systemair TOPVEX FR08 HWH-R-CAV, amely korszerű megoldást nyújt a szellőztetés alatt keletkező hőenergia visszanyerésére és az felhasználására. A forgódobos hőcserélő a távozó és a beáramló levegő közötti hőmérsékletkülönbséget hatékonyan, állandó térfogatáram mellett hasznosítja, ezáltal jelentősen csökkentve a fűtési és hűtési hőigényt.

A központi szellőzőrendszer elsősorban a száraz funkciójú, állandó tartózkodásra szolgáló helyiségek, irodák, étkezők és pihenők ellátására szolgál. Ezekben a terekben a frisslevegő ellátás és a használt levegő elszívása egyaránt anemosztátokon valósul meg. A szellőzőberendezés melegvízes hőcserélővel szerelt. A befűjt levegő utófűtését nem elektromos fűtőbetét, hanem a fűtési rendszerből származó melegvíz végzi, egy levegő-víz hőcserélőn keresztül, miután a levegő áthaladt a forgódobos hőcserélőn. A kialakítás előnye, hogy az épület hőtermelő rendszerével közvetlenül integrálható, energiatakarékos megoldást biztosít a befűjt levegő hőmérsékletének szabályozására. A szellőzőgépet az épület földszintjén kialakított targoncatároló helyiségben helyezték el. A rögzítését rezgécscillapított mennyezeti függesztéssel, amely biztosítja a zaj és rezgésmentes üzemelést. A kiépített rendszerrel ellátott helyiségek sematikus ábráját a 6. ábra szemlélteti.

6. ábra Földszint és emelete befűväs/ elszívás

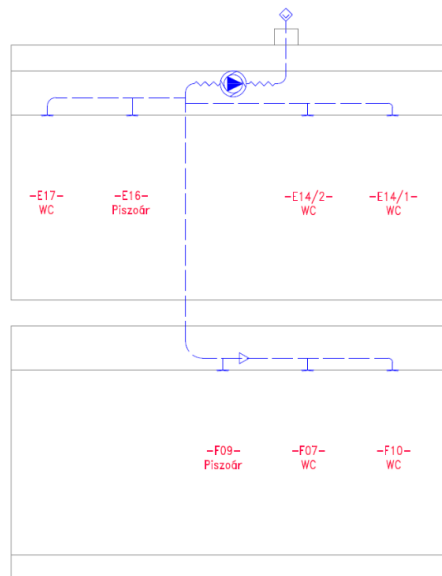


A rendszer légtechnikai besabályozása tányérszelepekkel történik, melyek precízen beállíthatók a kívánt légmennyiség biztosítása érdekében. Ezzel optimalizálható a rendszer működése. A szellőzőrendszer névleges befűvási térfogatárama 2360 m³/h, míg az elszívás

1940 m³/h. A befűvott és elszívott légmennyiségek közötti különbség tervezetten enyhe túlnyomást hoz létre az épületben, amely elősegíti a külső, nem szűrt levegő beáramlásának megelőzését, ezáltal hozzájárul a belső terek levegőminőségének fenntartásához.

A nedves üzemű helyiségek, mint a mosdók és zuhanyzók, nem kapcsolódnak közvetlenül a központi légkezelő rendszerhez. Ezen terek légcseréjét önálló működésű elszívó ventilátor biztosítja, amely a választott épületben egy Systemair K 160 XL SILEO típusú készülék. A berendezés elszívott levegőjét a tetősík fölé vezetik ki, ahol a kifűvás betétkúpos légtechnikai elemen keresztül történik. A nedves környezetű helyiségek elszívásának sematikus ábráját a 7. ábra mutatja be. Az elszívó egység fokozatkapcsolással és időprogramozható vezérléssel rendelkezik, ami lehetővé teszi az üzemidő és a teljesítmény rugalmas szabályozását a helyiséghasználat függvényében.

7. ábra Nedves helyiségek elszívása



5.2 Hűtési-fűtési rendszer

A gépészeti rendszerek kialakításakor kiemelt szempont volt a környezeti terhelés minimalizálása és az energiahatékonyság növelése. A tervezés alapelve a fenntartható üzemeltetés megvalósítása volt, amely a korszerű technológiák alkalmazásával és az energiafelhasználás optimalizálásával valósul meg. A rendszer célja, hogy az épület energiaigényeit a lehető legkisebb primerenergia felhasználással, mégis stabil komfortfeltételek mellett biztosítsa. Az épület fűtési és hűtési energiaellátását levegős hőszivattyúk látják el. A hőszivattyúk központi egységeit az emeleti, nem fűtött gépészeti

térben helyezték el, amely kedvező hozzáférést biztosít a karbantartási munkákhoz és minimalizálja a belső terek hőveszteségét. A kültéri egységek az épület lapostetején kaptak helyet, így a légáramlás zavartalan, és a zajterhelés sem befolyásolja az épület felhasználóinak komfortját.

A hőtermelést négy darab, egyenként 16 kW teljesítményű levegős hőszivattyú biztosítja. Az egységek évszakos teljesítmény alapján váltakozó üzemben működnek, így automatikusan igazodnak a pillanatnyi igényekhez. Ez a rendszerlehetőség lehetővé teszi, hogy ugyanazon hidraulikai körön keresztül valósuljon meg mind a fűtés, mind a hűtés, attól függően, hogy melyik üzemmódra kapcsoljuk.

Az épületben felülethűtési–fűtési rendszer került kialakításra, amely alacsony előremenő hőmérsékletek mellett is képes kellemes hőérzetet biztosítani. A technológia előnye, hogy a hőeloszlás egyenletes, a légmozgás pedig minimális, ezáltal növeli a komfortérzetet és csökkenti a huzathatást. A rendszer a hőszivattyúk magas hatásfokát is támogatja, mivel a hőleadó felületek nagy mérete miatt alacsonyabb hőmérsékletszint is elegendő a megfelelő teljesítményhez.

A gerinchálózatot az égtáji tájolás szerint alakították ki, Északkelet–Délnyugat irányban. Ez a kialakítás lehetővé teszi, hogy az északkeleti és a délnyugati oldalak fűtési vagy hűtési üzemmódja egymástól függetlenül szabályozható legyen, így az épület különböző homlokzataira, eltérő hőmérsékleti igény esetén is hatékonyan reagálhat a rendszer.

A helyiségekben gipszkarton álmennyezet fölé épített csőpaneles hőleadó felületeket telepítettek. A csővezetékeken keresztül áramló közeg fűtési üzem esetén hőt ad le a helyiség felé, míg hűtési üzem esetén a helyiséglevegőből vonja el a hőt. A zónák, esetemben irodák, egyedi hőmérséklet-szabályozása helyiségenkénti termosztátok segítségével történik, ami lehetővé teszi a személyre szabott komfortbeállítást.

5.2.1 Hőszivattyús rendszer

A hűtési–fűtési hálózat változó térfogatáramú, így a rendszer az aktuális hőigényhez igazodva, energiahatékonyan képes üzemelni. A mérőcsonkos szabályozószelepek biztosítják a hidraulikai beszabályozást, egyben lehetőséget nyújtanak a diagnosztikai és

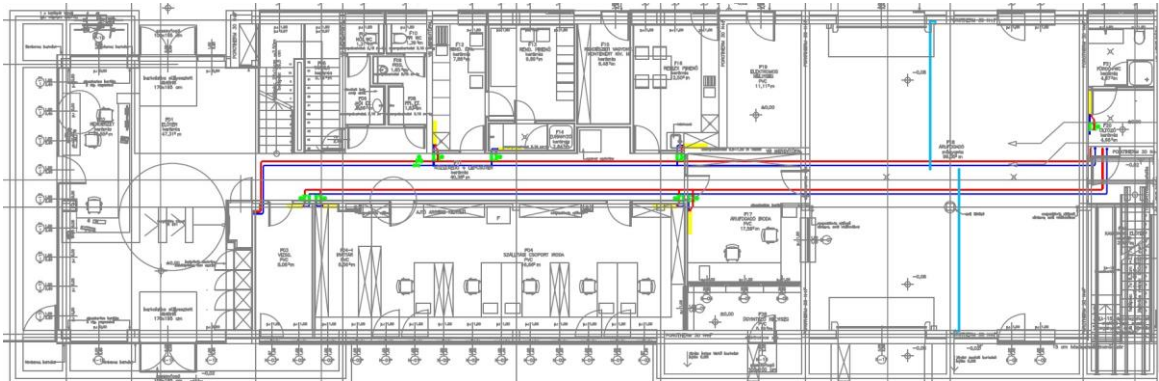
üzemellenőrzési funkciók ellátására is. Ezáltal a hálózat minden üzemállapotban stabil és optimalizált térfogatárammal működhet.

A hőszivattyúk működését DDC (Direct Digital Control) rendszer vezérli, amely automatikusan irányítja a hőmérséklet-, nyomás- és áramlásfüggő folyamatokat. A kommunikációképes vezérlőegység a primer oldali háromjáratú szelepekkel együttműködve biztosítja, hogy minden hőszivattyú a fűtési vagy hűtési puffertartályra dolgozzon, az aktuális üzemmódnak megfelelően.

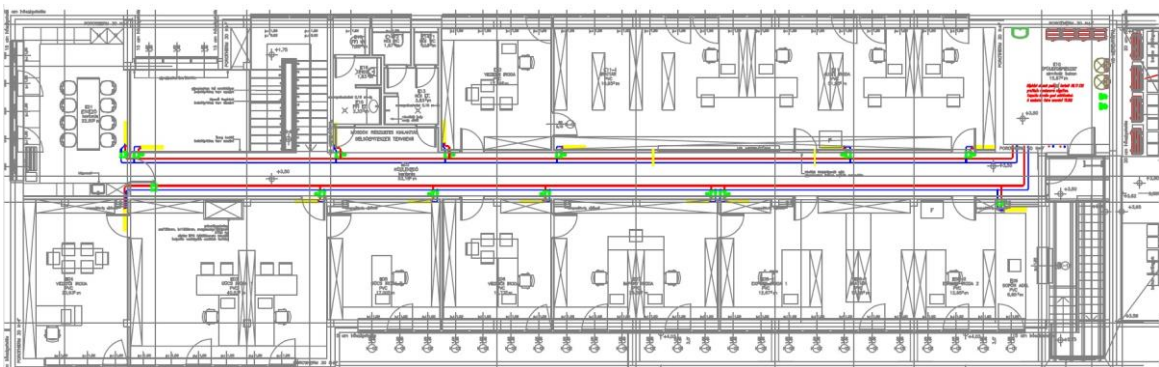
A rendszerhez két darab, 300 literes függőleges puffertároló tartozik, amelyek a hőenergia egyenletes elosztását szolgálják. A tartályokat párazáró szigeteléssel látták el és hőmérséklet érzékelőkkel szerelték. A DDC a mért értékeket a beállított referenciahőmérsékletekkel hasonlítja össze, ennek alapján lépteti be vagy ki az egyes hőszivattyúkat. Emellett a vezérlés kiegyenlíti az üzemórákat, megelőzve a szivattyúk egyenetlen terhelését, növelve a berendezések élettartamát és a rendszer üzembiztonságot.

A gépészeti hálózat égtáj szerinti szekunder körökre tagolódik, alkalmazkodva az eltérő napsugárzási és hőterhelési viszonyokhoz. A földszinti és emeleti köröket a 8. ábra mutatja be. Az emeleti ábrán a jobb felső sarokban helyezkedik el a gépészter. Mindkét zóna kör saját keringető szivattyúval működik és a központi puffertartályról háromjáratú szelepen keresztül kapja az előremenő közeget. Így mindig az aktuális hőmérsékletszintű forrásról történik az ellátás. A keverőszelepek biztosítják a primer és szekunder körök közötti hőmérséklet-különbséget, valamint hűtési üzemben korlátozzák az előremenő hőmérsékletet. A korlátozás azért szükséges, hogy ez a hőmérséklet ne süllyedjen a harmatpont alá. Így akadályozza meg a rendszer a párakicsapódást, ami különösen a mennyezeti hűtőfelületeknél kritikus. Az előremenő víz hőmérséklet értéke hűtésnél előírányozottan 16 °C.

8. ábra Földszinti gerinchálózat



9. ábra Emeleti gerinchálózat



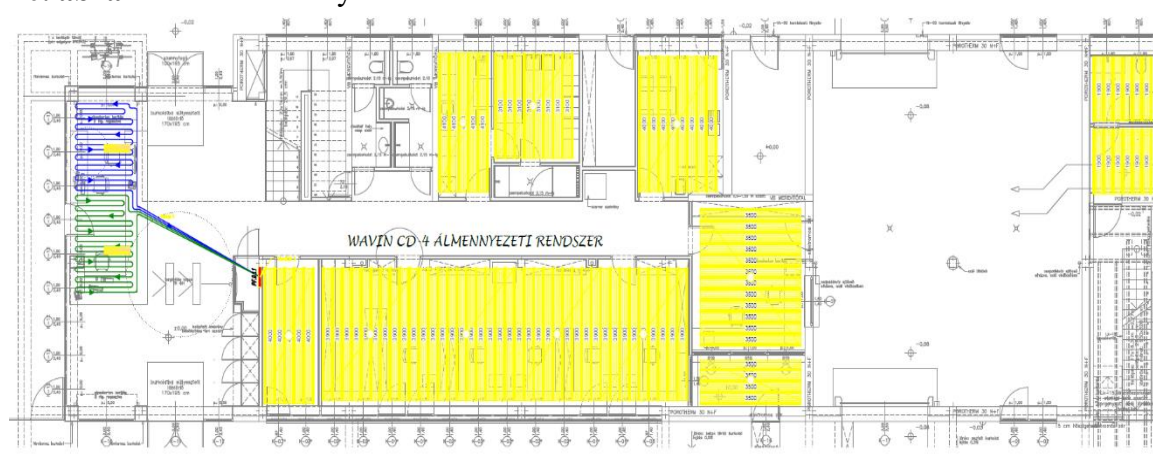
A mennyezeti panelekhez harmatponti érzékelőket telepítettek, amelyek párakicsapódás veszély esetén automatikusan lezárják az adott hűtési kört a motoros szelep segítségével. Ez megóvjaa a mennyezeti szerkezeteket a kondenzációs károsodástól.

Fűtési üzemben a keverőszelepek kizárólag a szükséges hőlépcsőt biztosítják a helyiségek komfortos hőmérsékletének fenntartásához. A rendszer hatékonyságát az előremenő hőmérséklet optimalizálása növeli. Hűtésnél a lehető legmagasabb, fűtésnél pedig a legalacsonyabb primer hőmérséklet alkalmazása javasolt. Mivel a hőszivattyúk hatásfoka (COP) közvetlenül függ az előremenő hőmérséklettől, ezzel az üzemeltetési elvvel érhető el a legkedvezőbb energiafelhasználás.

A primer előremenő hőmérséklet beállítása a hőszivattyúk vezérlőfelületén történik, a külső hőmérséklet és az aktuális üzemállapot figyelembevételével. A pontos értékeket üzemi tapasztalatok alapján célszerű meghatározni, hogy a rendszer dinamikája és a felhasználói komfortigények egyensúlyban maradjanak.

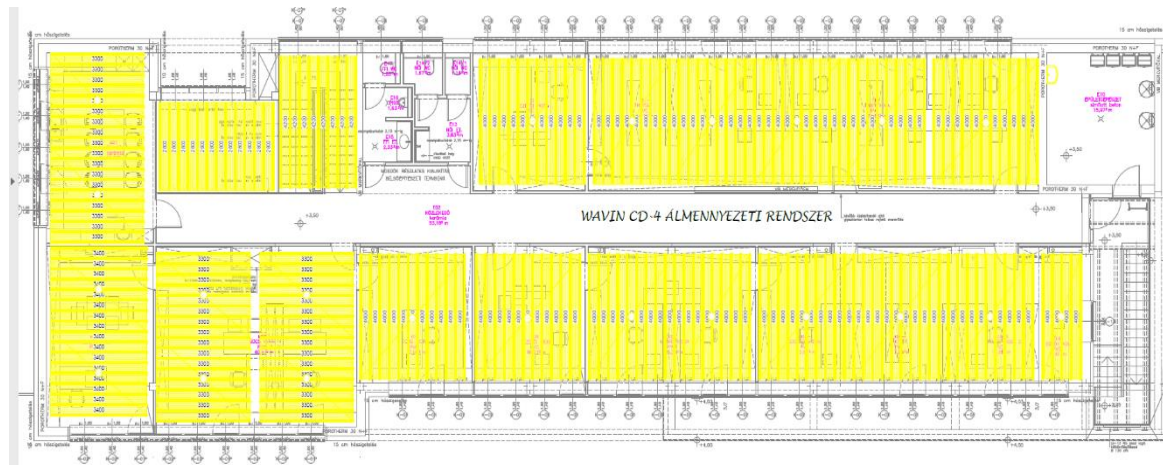
A földszinti helyiségek hőkomfortját elsősorban mennyezeti hőleadók biztosítják, amelyek a hőszivattyús rendszerhez kapcsolódnak. Elrendezésüket a 10. ábra szemléltetem. A mennyezeti felületek egyenletes hőeloszlást tesznek lehetővé, ezáltal csökkentve a huzathatást és növelve a komfortérzetet. Kivételt képez a rendészeti porta területe, ahol a gyakori közlekedés és az ajtónyitások miatt padlófűtési rendszer került kialakításra. Ez a megoldás gyorsabb hőleadást és kellemesebb hőérzetet biztosít az ott tartózkodók számára, akik általában keveset mozognak, szinte csak ülő munkát végeznek. A vizesblokkokban sem alkalmaztak mennyezeti hőleadókat, mivel ezekben a terekben a magas páratartalom és az esetleges kondenzáció veszélye miatt ez nem célszerű. Ezekben a helyiségekben a hőleadás lapradiátorokon keresztül valósul meg, amelyek a hőszivattyús rendszer előremenő köréhez csatlakoznak. Az alaprajz jobb szélén lévő raktárban nem volt cél mennyezeti hőleadók szerelése, tekintve, hogy a garázskapuk nyitásával, hamar változna a belső komfort. E térnek a hőmérsékletét VR rendszerű oldalfali klímával állítják be. Raktárak tekintetében ahol nem mennyezeti hőleadókkal valósul meg

10. ábra Földszinti mennyezeti hőleadók



Az emeleti szinten hasonló kialakítás figyelhető meg, mint a földszinten. Az irodák és közösségi terek mindegyike mennyezeti hőleadóval van szerelve. Az étkezőhelyiségben a mennyezeti rendszer szintén biztosítja a szükséges hőkomfortot. A hőszivattyús rendszerrel érintett területeket az 11. ábra jelöltem

11. ábra Emeleti hőleadó felületek

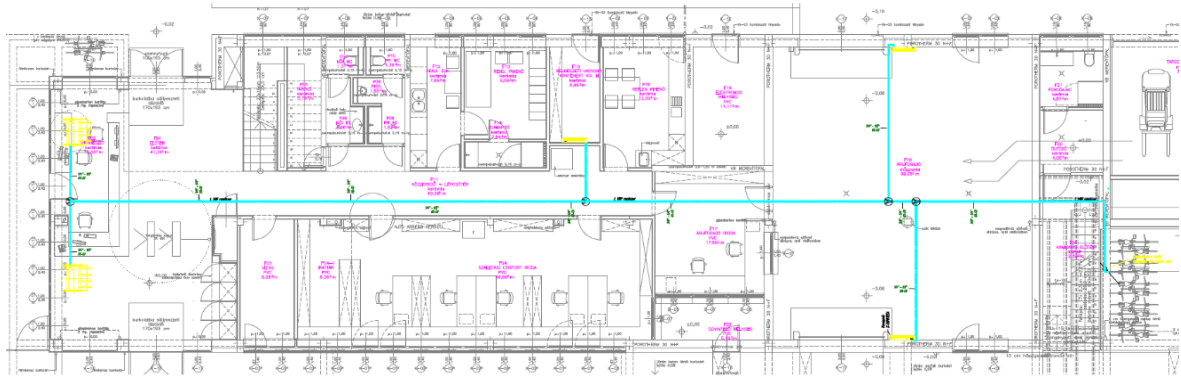


5.2.2 VRF rendszer

Az épület gépészeti rendszerét építéskor egy VRF (Variable Refrigerant Flow) rendszerrel egészítették ki, amely elsősorban a felülethűtéssel vagy fűtéssel nem lefedett helyiségek hőkomfortjának javítására szolgál. A VRF működésének lényege, a dual és multi készülékektől eltérően, hogy a beltéri egységek kétsőves KS-CU gerincvezetékéről kapják a hűtőközeget. A gerincvezeték, hasonlóan a hőszivattyús rendszerhez a folyón lévő álmennyezet fölé szerelt. A beltériknél lévő leágazások elzáró szelepekkel vannak ellátva, ami lehetővé teszi az egyes egységek független szabályozhatóságát vagy kizárhatók egyes karbantartási műveletekhez. A kültéri egység figyeli a beltéri egységek hőigényét, ennek megfelelően szabályozza a kompresszor teljesítményét, így precíz hőmérséklet-szabályozást és energiatakarékos üzemet tesz lehetővé.

A rendszer kialakításánál (12.ábra) a földszinti raktárban két oldalfali beltéri egység, a portaszolgálat fölött két álmennyezetbe rejtett kazettás egység és a rendészeti pihenőben egy oldalfali egység került elhelyezésre. A raktár és portai egységek hűtőtelijsítménye egyenként 5,6 kW, míg a rendészeti pihenő egységé 2 kW. A maximum 22 kW hűtőtelijsítmény igényel terhelhető kültéri egység a targoncatároló fölötti lapostetőre került, biztosítva a zavartalan légáramlást és a rendszer optimális, hangtalan működését.

12. ábra. Földszinti VRF rendszer

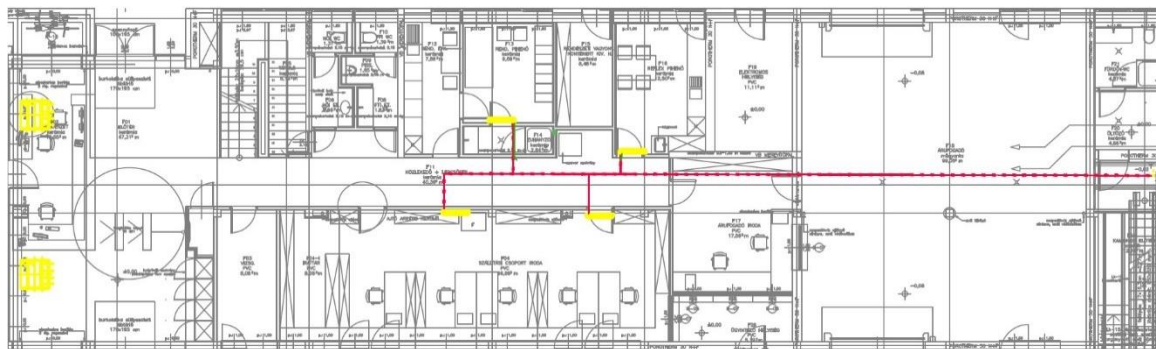


Az épület üzembe helyezését követő nyarakon, üzemeltetési tapasztalatok alapján több alkalommal is előfordult, hogy a nyári hónapokban a hőszivattyús, felülethűtést alkalmazó rendszer a harmatponti lecsapódás veszélye miatt leállt. A mennyezeti hűtőfelületek hőmérséklete időszakosan elérte vagy megközelítette a belső levegő harmatpontját, amely az automatika biztonsági beavatkozását váltotta ki, így a hűtési üzem megszűnt. Szinte minden irodában. Ennek következtében a helyiségek levegőhőmérséklete és páratartalma rövid időn belül kedvezőtlen irányba tolódott el, a komfortérzet jelentősen romlott.

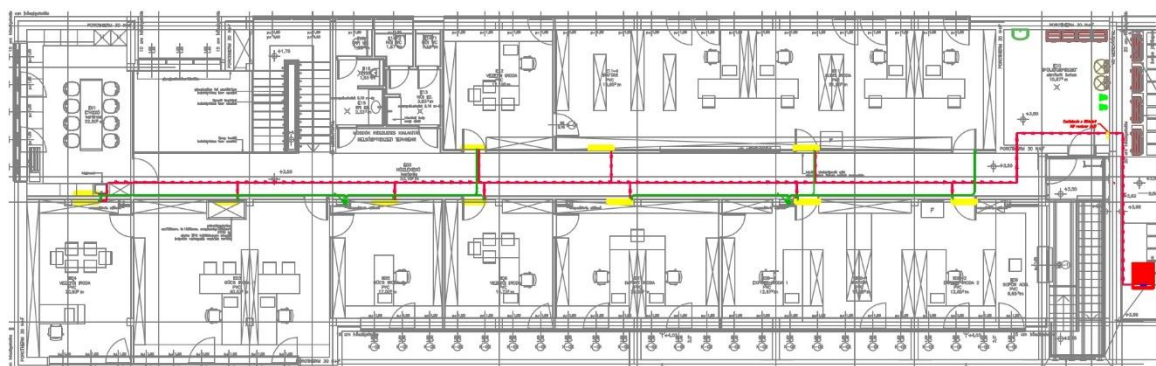
A probléma hátterében részben az épület légtechnikai rendszerének korlátozott szabályozhatósága állt, mivel a frisslevegő-ellátás nem rendelkezett páratlanítási funkcióval. A rendszer így a külső légállapotokat közvetlenül adta át a belső tereknek, ami különösen a magas páratartalmú nyári napokon okozott gondot. A légtechnikai gépek utólagos átalakítása jelentős költséggel és építészeti beavatkozással járt volna, ezért az épület üzemeltetése költséghatékonyabb és gyorsabban kivitelezhető megoldást választott. Egy új, kiegészítő VRF rendszert telepített mind a földszinti, mind az emelet helyiségeibe.

Az új rendszer telepítésével a két szintet egymástól független zónákra osztották, külön rendszert alkotva, külön kültéri egységre kötve. A VRF rendszer célzottan azokat az irodákat és helyiségeket látja el, amelyek korábban nem rendelkeztek aktív hűtéssel. A rendszer célja nem hűtési feladatot ellátni, hanem a szélsőséges nyári napokon szárítani a belső levegőt, hogy a hőszivattyús felülethűtés költséghatékonyan működhessen. A rendszer nyomvonalát és a beltéri elhelyezkedését a 13. ábra és 14. ábrán rajzoltam be.

13. ábra Földszinti VR rendszer nyomvonala
(forrás: saját ábra)



14. ábra Emeleti VR rendszer
(forrás: saját ábra)



6. GYENGEPOINTOK FELTÁRÁSA

6.1 Mérőműszerek bemutatása

A választott épületben tavasszal, március hónapban és ősszel, október hónapban volt lehetőségem komfort vizsgálatokat végezni. Tavaszi méréseimet egy Testo 480 típusú nagypontosságú hőmérséklet érzékelővel volt lehetőségem mérni. A készülék egy digitális mérőeszköz, amely különböző érzékelőfejekkel bővíthető. A méréseket egy hőmérséklet- és páratartalomérzékelő fejjel volt lehetőségem vizsgálni, mely ezen paraméterek egyidejű mérését tette lehetővé. A készülék levegőhőmérséklet mérés tartománya 0 és +50 °C közötti, valamint a pontossága $\pm 0,3$ °C. Ezen értékek a komfortvizsgálathoz megfelelőek. A műszer relatív páratartalom mérési tartománya 0 és 100% közötti, pontossága $\pm 2\%$.

Az őszi vizsgálatomkor az irodatermek komfortparamétereinek méréseit egy *Testo 440* klimatechnikai és belső levegőminőség mérőműszerrel végeztem. (15. ábra) Az alap műszerhez bluetooth-os vagy vezetékes markolaton keresztül, számos kiegészítő mérőfej csatlakoztatható. A vezeték nélküli vizsgálatlehetőség nagymértékben megkönnyíti a mérési pontok kezelését.

15. ábra Testo 440 CO₂ szonda és alapkészülék
(forrás: saját ábra)



A *Testo 440* készülékhez csatlakoztatható hődrótos, szárnykerek és hógömbös szondák melyek segítségével szellőzőcsatornák légáramlás és térfogatáram mérésére alkalmas, hőmérséklet érzékelővel kiegészítve. Csatlakoztatható szárnykerek huzatszonda, páratartalom és hőmérsékletmérő szonda, CO₂ vagy fényérzékelő, lux szonda is. Nem

utolsósorban glóbuszérzékelő is csatlakoztatható sugárzó hő mérésére. Komfortérzet szettben állvánnyal is választható, mely az ASHREA 55 és ISO7730 szabványok szerinti PMV és PPD mérésekre és elemzésre is alkalmassá válik.

A méréseimet egy CO₂ mérésre is alkalmas hőmérséklet és páratartalomérzékelővel végeztem. A műszer 0 és 10.000 ppm (parts per million) közötti szén-dioxid koncentráció, 5-95% közötti relatív levegőpáratartalom és 0-50 °C hőmérséklet tartományon belül működik és mér értékeket. Légnyomásmérésre a mérési tartomány 700-1100 hPa között, a tengerszinttől mért körülbelül 3000m-ig lefedi. A műszaki jellemzőket a 6. táblázatban összegzem. A készülék felbontása minden jellemzőn 0,1 érték.

6. táblázat A Testo 440 CO₂ komfortérzet szett műszaki jellemzői
(forrás: Testo 440 CO₂ Comfort Set – műszaki adatlap)

Mért jellemző	Mérési tartomány	Mérési bizonytalanság	Megjegyzés
Szén-dioxid koncentráció [ppm]	0- 10 000	± (50 ppm + a mért érték 3%-a) (0- 5000 ppm)	A CO ₂ -tartalom ppm-ben (parts per million) kerül meghatározásra.
		± (100 ppm + a mért érték 5%-a) (5001- 10 000 ppm)	
Relatív páratartalom [%RH]	5- 95	±3 (10- 35)	A pontosság a páratartalom tartományától függően változik.
		±2 (35- 65)	
		±3 (65- 90)	
		±5 (a teljes tartományon)	
Levegő hőmérséklet [°C]	0- +50	±0,5	A hőmérsékletérzékelő a komfortérzet számításához használt alapadatot szolgáltatja.
Légnyomás [hPa]	700- 1100	±3	A szenzor a környezeti nyomást méri, amely befolyásolja a hőérzet számítását.

Az őszi méréseimet lehetőségem volt, a Testo-s mérőeszközökön felül, egy Bosch GTC 600 C típusú infravörös hőkamerát is használnom. A készülék elsősorban felületi hőmérsékletek meghatározására és a hőeloszlás térbeli megjelenítésére szolgál, lehetővé téve a vizsgált helyiségek határoló szerkezetein jelentkező hőhidak, hőmérsékletkülönbségek, illetve esetleges anomáliák feltárására. Ilyen például hideg foltok megtalálása, sugárzási aszimmetriák azonosítása.

A mérés alapja az infravörös sugárzás mérése, amelyet a kamera a felület hőszugárzás alapján alakít hőmérsékleti értéké. A készülék a felületről visszaverődő infravörös (IR) sugárzást érzékeli, majd a beállított emissziós tényező figyelembevételével számítja ki az adott pont hőmérsékletét. A helyes emissziós érték megadása ezért kulcsfontosságú, különösen eltérő felületanyagok esetén. A mérések elején az irodai környezetnek megfelelően 0,94-es emissziós tényezőt állítottam be a készüléken. Ez jól közelíti a vakolt, festett falfelületek jellemző értékét.

A Bosch GTC 600 C (16. ábra) hőmérséklet mérési tartománya $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$ közé esik, amely elegendő mind épületfizikai, mind gépészeti rendszerek vizsgálatához. A gyártó által megadott mérési pontosság $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ vagy $\pm 2\text{ }%$, ami beltéri, kis hőmérsékletkülönbségeket vizsgáló komfortmérésekhez megfelelő pontosságot biztosít. A termikus érzékenysége 0,08 Kelvin, így kis hőmérsékletkülönbségek is jól kirajzolódnak a felvételeken. A kamera 256x192 pixeles IR-szenzorral dolgozik, amelyhez látható fényű kamera is társul. A két képet a készülékkel egyidejűleg tudtam rögzíteni, ezáltal a hőképek könnyen azonosíthatók és helyhez köthetők. Igény esetén a képekhez lehetőség van pár másodperces hangfelvétel rögzítésére, mely további segítség a vizsgálatok feldolgozásakor. Az eszközről a felvételeket belső memóriába menti, ahonnan adatkábelrel tudtam számítógépre másolni és kiértékelni.

16. ábra Bosch GTC 600c hőkamera
(forrás: saját ábra)



A hőképek elemzésének hangsúlya a felületek közötti eltérések és a hőeloszlás mintázatával szolgált információval. Ezzel a módszerrel a hőkomfort szempontjából

releváns felületi különbségek, úgy, mint a hideg mennyezeti sávok, üvegfelületek hűvösebb zónái vagy padló-fal csatlakozások hőmérsékleti aszimmetriái kimutathatók voltak.

A Bosch GTC 600 C alkalmazása lehetővé tette, hogy a mérések során rögzített fizikai paramétereket a felületi hőmérsékletviszonyokkal is összekapcsoljam. Ez alapot adott a közepes sugárzási hőmérséklet (MRT) pontosabb becsléséhez, a PMV–PPD értékek pontosabb számításához.

6.2 Mérési eredmények felvétele

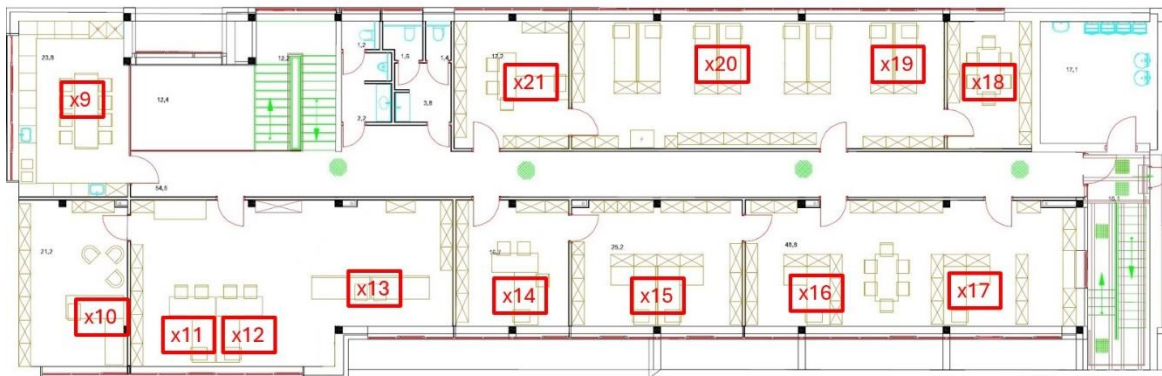
Az első vizsgálataimat 2025 márciusában végeztem a választott, kétszintes irodaépületben. A mérés célja az volt, hogy a helyiségek belső mikroklímáját jellemző alapvető paramétereket felmérjem és ezek alapján ítélem meg a terek hőkomfort állapotát. A mérésekre a tavaszi átmeneti időszakban került sor, amikor a fűtési rendszer még üzemelt, ugyanakkor a külső hőmérséklet már a nappali órákban 14 °C körül alakult. Ez az időszak különösen alkalmas volt a belső hőérzeti viszonyok vizsgálatára. Az épület felülethűtés-fűtési rendszere ekkor tipikusan részterhelésen működik.

A méréseket Testo 480 típusú digitális mérőműszerrel végeztem. A vizsgálatom alatt a készüléket három paraméter (léghőmérséklet, relatív páratartalom és légsebesség) rögzítésére használtam, mivel ezek szolgálnak alapadatként a későbbi PMV–PPD elemzésekhez. A méréseket két egymást követő munkanapon végeztem, azonos napszakban, hogy az eredmények időjárási és üzemviteli hatásoktól mentesen összehasonlíthatók legyenek. Összesen 21 mérési pontot alakítottam ki (*17.-18. ábrák*), amelyeket előzetesen az épület funkcionális elrendezése alapján választottam ki. A mérési pontokat igyekeztem a helyiségek közepén, a dolgozók tartózkodási zónájában elhelyezni. A március havi mérési magasság 1,1 méteres magasságban végeztem, amely az MSZ ISO 7726:2003 szabvány szerint az ülő testhelyzetre jellemző léghőmérsékleti mérési magasság.

17. ábra Mérési pontok jelölése (földszint)
(forrás: saját ábra)



18. ábra Mérési pontok kiválasztása (emelet)
(forrás: saját ábra)

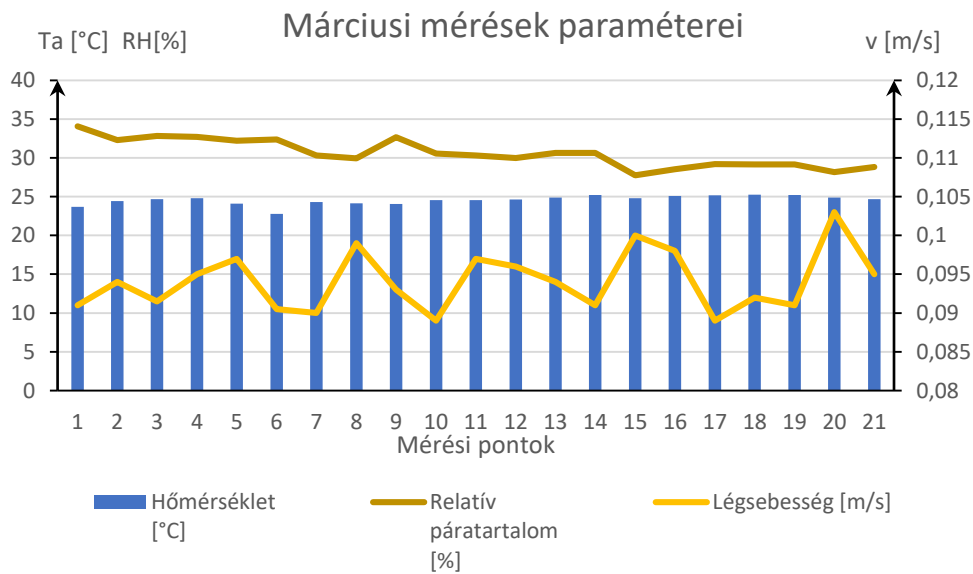


A mérések előtt a készüléknek hagytam időt stabilizálódni, utána minden ponton egy perces adatgyűjtésre használtam, tíz másodperces mintavételi idővel. Ezzel biztosítottam, hogy az átlagértékek jellemző képet adjanak az adott tér állapotáról. A mérések alatt a légtechnikai rendszer és a fűtés rendszere normál üzemben működött, azaz nem végeztem beavatkozást sem a beállított hőmérséklet, sem a légmennyiségek szabályozása terén. Az ablakok csukott állapotban voltak és a VR rendszer beltéri egységei egyik helyiségben sem üzemeltek. A cél az volt, hogy az üzemszerű használattal kialakuló tényleges mikroklímát rögzítsem, amelyet a dolgozók mindennapi munkavégzés közben tapasztalnak.

A külső meteorológiai körülményeket a mérési időpontokban szintén rögzítettem, mivel azok befolyásolhatják a belső páratartalom és hőmérséklet alakulását. Mérésem napjain

éjszaka a leghidegebb hőmérséklet 3,5 °C, nappal a legmelegebb 11,9 °C hőmérséklet volt. A relatív páratartalom pedig jellemzően 45–60 % között alakult. Az épületben a fűtésrendszer ekkor még aktív volt, ugyanakkor a belső terhelések miatt bizonyos irodákban a hőmérséklet meghaladta a komfortosnak tekinthető 24 °C értéket. A mérési eredményeim megtalálhatók az *M1 mellékletben*.

19. ábra Márciusi mérések paraméterei
(forrás: saját ábra)



A mérési adatokat a készülékről exportáltam, majd Excel formátumban feldolgoztam. A mérési eredményeim megtalálhatók az *M1 mellékletben*.

19. ábra a vizsgált irodaépület belső környezeti paramétereinek alakulását szemlélteti, a 21 mérési ponton rögzített adatok alapján. A páratartalom és a hőmérséklet oszlopdigramm formában, a légsebesség pedig vonaldiagramként ábrázolva jelenítettem meg, hogy áttekinthetően összehasonlíthatók legyenek.

Az eredmények alapján a helyiségek levegőhőmérséklete jellemzően 22–25 °C közötti tartományban mozgott. Az MSZ ISO 7730:2006 szabvány szerint megfelelő ami téli időszakban javasolt 21–24°C-os hőmérséklet. A mért adatok mérsékelt, egyenletes hőmérsékleteloszlást mutatnak, ami arra utal, hogy a mennyezetfűtési rendszer egyenletes hőleadást biztosít a terekben. A görbe lapossága azt is jelzi, hogy a hőmérsékletingadozás

az egyes mérési pontok között legfeljebb 1–2 °C, tehát nincs lokális túlmelegedés vagy hűvös zóna, ami kedvezőtlen vagy diszkomfort hőérzetet valószínűsítene.

A relatív páratartalom a mérések alatt 30–35% között alakultak. Ez a tartomány kissé az optimális komfortzóna alsó határán van, ami fűtési időszakban természetes. A viszonylag alacsony páratartalom csökkenti a levegő relatív nedvességtartalmát, ami enyhe száraz levegőérzetet okozhat. Ugyanakkor a PMV-PPD modell szerint a komfortérzetre gyakorolt hatása csekély, ha a hőmérséklet egyenletes és a légsebesség alacsony marad.

A légsebesség értékei 0,09–0,10 m/s közé esnek, ami megfelel a komfortos légmozgási tartománynak. Az alacsony, de folyamatos légmozgás biztosítja a friss levegő utánpótlását, ugyanakkor nem eredményez huzatérzetet. A diagram légsebesség értékei minimális kilengéseket mutat, az irodatermek légelosztása egyenletes, a szellőzőrendszer nem hoz létre helyi diszkomfortérzetet. Meghatároztam a kétnapi mérések átlagértékét, szórásukat, a mért maximális, illetve minimális értékeket. A ház mérési eredményeinek statisztikai kiértékelését az 7. táblázat tartalmazza:

7. táblázat Márciusban mért paraméterek elemzése
(forrás: saját táblázat)

	Hőmérséklet [°C]	Páratartalom [%]
Átlag	24,57	30,58
Szórás	1,27	1,85
Maximum	26,59	36,24
Minimum	22,20	27,72

Az épületben végzett tevékenység döntően ülő irodai munka volt, a dolgozók számítógépes és adminisztratív feladatokat láttak el, minimális fizikai mozgással. A mérési eredményeken látható, hogy a beltéri hőmérséklet stabilan 22–25 °C között alakult. A hőérzeti értékeléshez a vizsgált helység funkcióját és a megfigyelt tevékenységek jellegét figyelembe véve választottam ki az aktivitási és ruházati paramétereket.

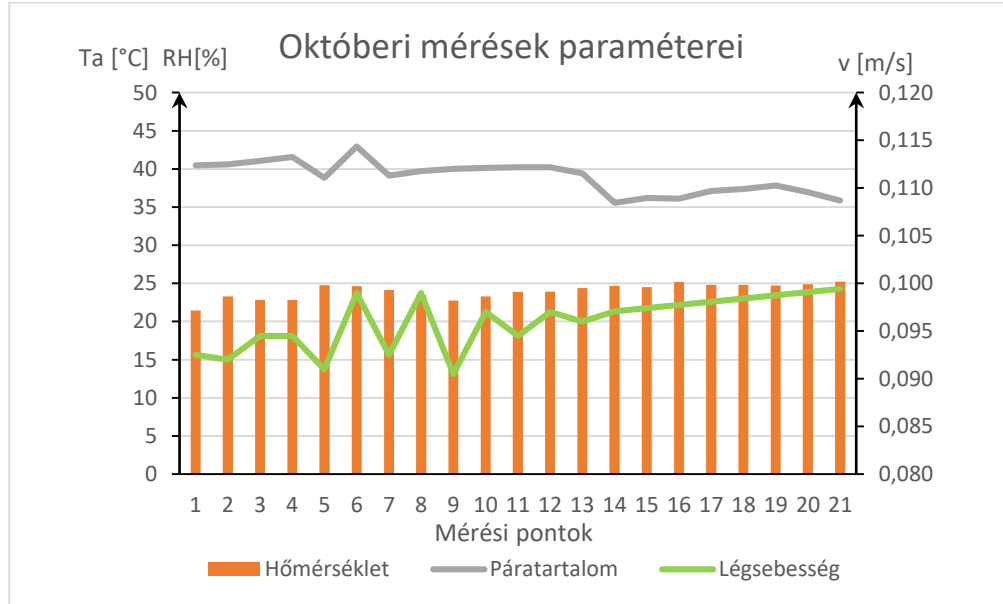
A márciusi mérések alkalmával, a közepes sugárzási hőmérsékletet (T_r) közvetlenül nem mértem, ezért a PMV-PPD számításakor az MSZ ISO 7730:2006 irányelvei alapján a

lég hőmérséklettel (T_a) azonosnak tekintetem. A helyiségben nem voltak jelentős hideg vagy meleg sugárzó felületek, a légsebesség pedig nagyon alacsony volt.

A komfortparaméterek mérését 2025 októberében szintén, két egymást követő munkanapon végeztem el az irodaépületben. A méréseket ez alkalommal egy Testo 440 CO₂ műszerrel vizsgáltam. A vizsgálat mérési pontjait ugyanazon 21 pozíción vettem fel, mint tavasszal, viszont a méréseimet kiegészítettem hőkamerás felülethőmérséklet meghatározással, a pontosabb PMV becsléshez. Az értékek meghatározásához ez alkalommal több mérést csatoltam. Bokamagasságban, 20 cm-re a padlótól és asztalmagasságban rögzítettem az adatokat. A mért paraméterek rögzítésekor a légtechnikai rendszer üzemelt, az épület belső ajtajai zárt állapotban voltak, az ablakokat nem nyitották. A beltéri aktivitás továbbra is alacsony volt, a légállapot stabilnak tekinthető.

Mérési eredményeimet a 20. ábra összegezi és az M2 melléklet tartalmazza.

20. ábra Októberi mérések eredményei
(forrás: saját ábra)



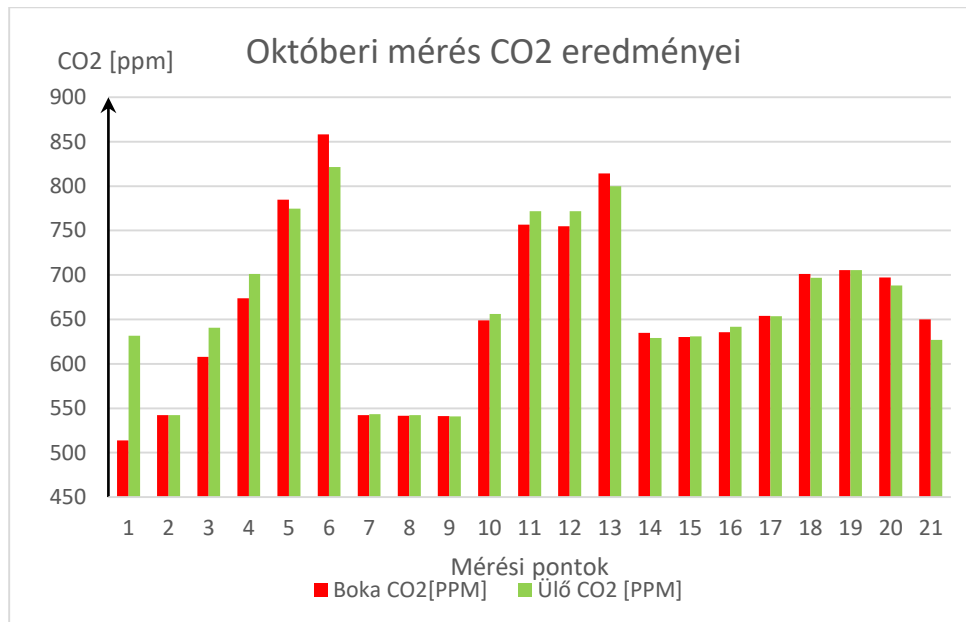
A relatív páratartalom 35–44% közötti tartományban változott. Az értékek az őszi átmeneti időszakban megfelelőnek tekinthetők. A páratartalom alacsonyabb szintje érzésre nem okoz komfortproblémát, de hosszú távon enyhe légúti szárazságot, fáradékonyságot eredményezhet.

A hőmérséklet boka- és ülőmagasságban 19,8–25,22 °C között alakult. A mérések alapján a helyiségek átlagos levegőhőmérséklete 24,01 °C volt. A boka és ülőmagasság közötti legmagasabb hőmérséklet különbség átlagosan 1,13 °C. Hideg lábérzet nem várható.

A légsebesség a legtöbb mérési ponton 0,09–0,10 m/s között volt, huzatérzet az AMV vizsgálaton nem várható. Az alacsony áramlási sebességek egyben arra is utalhatnak, hogy a friss levegő befűvés valószínűleg nem elégséges.

A CO₂ koncentráció eredményeit a 21. ábra mutatja.

21. ábra Októberi mérés CO₂ eredményei
(forrás: saját ábra)



A CO₂ koncentráció 513–858 ppm között alakult, több mérési ponton (x5, x6, x11, x13) 700 ppm feletti értékek is előfordultak. Bár ezek az értékek még a 800 ppm határérték alatt vannak, ugyanakkor az irodák egy részében a tartósan 750–850 ppm közötti CO₂-értékek arra utalnak, hogy a frisslevegő-ellátás nem egyenletes. A CO₂-szint helyenkénti emelkedése arra utal, hogy a befűvott levegő mennyisége a tényleges személyterheléshez képest alulméretezett lehet vagy a befűvési zónában nem megfelelő a keveredés mértéke.

Az októberi mérések eredményeinek statisztikai kiértékelését a 8. táblázat tartalmazza.

8. táblázat Októberi mért adatok elemzése
(forrás: saját táblázat)

	Hőmérséklet [°C]	Páratartalom [%]
Átlag (ülő)	24,17	38,86
Átlag (boka)	23,85	38,98
Átlag	24,01	38,92
Szórás	1,04	2,09
Maximum	25,30	44,20
Minimum	22,55	35,49

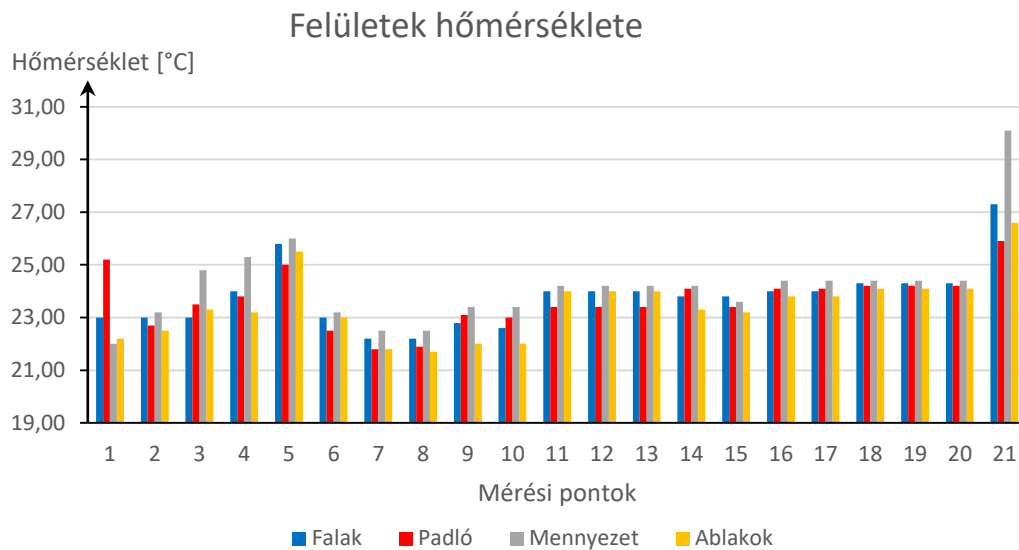
A méréseket egy percre végeztem, mialatt az adatrögzítő tíz mért értéket rögzített. A mérés bemutatása a 22. ábra látható. A mérőműszer közelében a mérés ideje alatt ember nem tartózkodott, a mérést a bluetooth kapcsolat segítségével távolabbról tudtam indítani. A mért értékeket excel táblában összesítettem és így kerültek feldolgozásra. A táblázatban közölt értékek az adott pontokra jellemző, időben kiegyenlített adatokat mutatják.

22. ábra Mérés bemutatása ülő magasságban
(forrás: saját ábra)



A kiegészítő hőkamerás vizsgálatom a belső felületek hőmérsékletének meghatározására irányult. A falak, padlók, mennyezetek és ablakfelületek hőmérsékleti értékeit az alábbi diagram szemlélteti.

23. ábra Felületek hőmérséklete
(forrás: saját ábra)



Az irodaépületben végzett felületméréseim alapján a falak hőmérséklete 22,5–24,0 °C, a padlóé 23,0–24,0 °C, a mennyezeté 24,0–24,4 °C, míg az ablakfelületeké 23,0–24,0 °C tartományokban alakultak. A mért értékekből kiolvasható, hogy a helyiségekben a felületek hőmérsékletei közel azonosak, a sugárzási viszonyok egyenletesek. Az egyes felületek között legfeljebb 2 °C eltérés tapasztalható, ami csekély hőmérsékletkülönbségnek számít, a mérés során személyes érzetemen nem okozott helyi diszkomfortot.

A 23. ábra lévő diagramon jól látható, hogy az 1-es mérési pontban a padlófűtés aktívan működik, az itt dolgozó kollégák többször nyitják az ajtót, ellenőrizni az áthaladó forgalmat a területre. Az 5-ös mérőpontban is magasabb értékeket mértem, itt egy hölgy dolgozott. A termosztát a többi helyiségtől eltérően kicsit melegebbre, 25,5 °C célértékre volt állítva. A 21-es pontban mért értékek is kirívók. Ebben az irodahelyiség a hőkamerás felvételek alapján a falak hőmérséklete 26,8–27,5 °C, az ablakfelület pedig 26,6 °C volt, eközben a fali termosztáton beállított célérték hőmérséklet 24 °C. A mérés és a helyszíni vizsgálat alapján megállapítottam, hogy az adott zónát ellátó szelep zárt állapotban is átereszt, ezért a fűtési kör folyamatosan melegítette a zónát. A felületfűtési aktivitás a hőkamera felvételén is látható volt. Ez a lokális túlfűtés egyértelműen érzékelhető volt a mérés ideje alatt. A fűtött közeg áramlása a kameraképen (24. ábra) is szépen kirajzolódik a csőhálózaton.

24. ábra 21. mérési pont hőkamerás mérése
(Forrás: saját kép)



A 25. ábra látható az érintett iroda munkaasztala és környezete. A felület hőmérséklete $26,7^\circ\text{C}$, magasnak mondható.

25. ábra 21 mérési pont hőkamerás vizsgálata
(forrás: saját)



6.3 PMV-PPD értékek meghatározása

A helyszínen mért paraméterek statisztikai vizsgálatát követően a dolgozók várható hőkomfortjának értékeléséhez a PMV és PPD értékek meghatározását saját számítási eljárással végeztem el. A számítás alapját a MSZ EN ISO 7730:2006 szabvány adta, azonban a gyakorlatban a szabvány szerinti PMV meghatározása több egymást követő, egymásra épülő lépésből áll. Ezek kézi számítással vagy hagyományos táblázatkezelő programokkal csak jelentős egyszerűsítésekkel lennének elvégezhetőek. A helyszíni mérések elemszáma miatt szükségesnek láttam olyan automatikus számítási eszközt, amely a bemenő adatok megadásával minden egyes mérési pontra egységes módon képes meghatározni a PMV és PPD értékeket.

A számítási folyamat elvégzésére felkértem az MI alapú ChatGPT-t (GPT-5) egy Python nyelvű script elkészítésére. A feladat meghatározásánál megadtam azokat a változókat, amelyeket a méréseim alatt rögzítettem. Ezek lesznek a modell számításának bemeneti paraméterei. Léghőmérséklet (t_a), közepes sugárzási hőmérséklet (t_r), relatív páratartalom (RH), légsebesség (v), ruházati hőszigetelés (clo) és metabolikus aktivitás (met). Parancsba adtam, hogy a számításnak tartalmaznia kell az értékek átváltását és a t_{cl} (ruházat külső felületi hőmérséklete) iteratív meghatározását, mivel ez a modell legérzékenyebb közbenső eredménye. Ezt közvetlenül nem tudom megadni bemenő adatként. A scriptet az MI úgy építette föl, hogy a bevitt paraméterek alapján automatikusan lefuttassa az iterációt a konvekciós és sugárzásos hőátadási tényezőkhöz. Ezt követően tér rá a PMV és PPD végső értékeinek meghatározásához. Kértem továbbá az MI-t, hogy a bemeneti paraméterek könnyebb megadása érdekében, valamint a kimeneti paraméterek utókezelése érdekében, ezeket egy Microsoft Excel fájlból olvassa be és egy másik fülön rögzítse az eredményeket. A kódsor általam is értelmezhető részét a 26. ábra mutatja.

26. ábra Python script értelmezése (forrás: saját ábra)

```
def pmv_ppd_from_met_clo(Ta, Tr, v, RH, M_met, Icl_clo):
    M_Wm2 = float(M_met) * 58.15
    Icl_m2K_W = float(Icl_clo) * 0.155
    W_Wm2 = 0.0
    pa = (float(RH) / 100.0) * saturation_vapor_pressure_Pa(float(Ta))
    fcl = compute_fcl_from_Icl_m2K_W(Icl_m2K_W)
    tc1 = iterate_tc1(float(Ta), float(Tr), float(v), M_Wm2, W_Wm2, Icl_m2K_W, fcl)
    hc = compute_hc(tc1, float(Ta), float(v))
    hr_factor = 3.96
    term1 = (M_Wm2 - W_Wm2)
    term2 = 3.05e-3 * (5733 - 6.99 * (M_Wm2 - W_Wm2) - pa)
    term3 = 0.42 * ((M_Wm2 - W_Wm2) - 58.15)
    term4 = 1.7e-5 * M_Wm2 * (5867 - pa)
    term5 = 0.0014 * M_Wm2 * (34 - float(Ta))
    term6 = hr_factor * 1e-8 * fcl * (((tc1 + 273.0) ** 4) - ((float(Tr) + 273.0) ** 4))
    term7 = fcl * hc * (tc1 - float(Ta))
    L = term1 - term2 - term3 - term4 - term5 - term6 - term7
    PMV = (0.303 * math.exp(-0.036 * M_Wm2) + 0.028) * L
    PPD = 100.0 - 95.0 * math.exp(-0.03353 * (PMV ** 4) - 0.2179 * (PMV ** 2))
    return PMV, PPD, tc1, hc, fcl, pa, M_Wm2, Icl_m2K_W
```

Met értékről fajlagos hőtermelésre (W/m²) történő átszámítása.
Ruházat hőszigetelésének átszámítása clo → m²K/W egységre
Mechanikai munka irodai tevékenységénél általában 0 érték
levegő parciális vízgőznyomásának kiszámítása a relatív páratartalom és telített gőznyomás alapján

test teljes hőmérlegének eredője
PMV számolása
PPD számítása

A kód elkészítése után a kódsort ellenőriztem, hogy a megfelelő képletek alapján számolja majd az értékeket. Először ismert és szabványos példaszámítást futtattam, ahol a bemeneti paramétereket a szakirodalomban dokumentált értékekkel adtam meg. A script eredményei ebben a lépésben megegyeztek a szakirodalmi táblázatokban szereplő kimenetekkel. Ezt követően valós mérési adatokkal is elvégeztem az összehasonlítást. A számított eredményeket a Berkeley University által feltöltött weboldalon (HTTP2) alkalmazott PMV-PPD kalkulátorral vettem össze. A bemenő paramétereket minden esetben azonosan adtam meg, így a két módszer közvetlenül összehasonlítható volt. Az ellenőrzésem alátámasztotta, hogy az MI segítségével használt Python script eredményei közel megegyezik az egyetem felületén használható kalkulátor PMV és PPD eredményeivel. A számítás helyességét így, független és nemzetközileg elfogadott módszerrel igazolni tudom, melyet a 27. ábra bizonyít.

27. ábra PMV-PPD számítás ellenőrzése

(forrás: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>)

A	B	C	D	E	F	I	J
Ta [°C]	Tr [°C]	v [m/s]	RH [%]	M_met	lcl_clo	PMV	PPD [%]
19,79091	19,79091	0,091	42,08182	1,2	1	-0,43763	8,994972
23,11818	23,11818	0,094	38,86364	1,2	1	0,254785	6,347552

Inputs	
Select method:	PMV method
Operative temperature	19,79 °C
Air speed	0.091 m/s
Relative humidity	42,08 %
Metabolic rate	1,2 met
Clothing level	1 clo

PMV = -0.46 PPD = 10 %
Relative air speed = 0.15 m/s

Relative humidity

Seated, quiet: 1.0

Trousers, long-sleeve shir

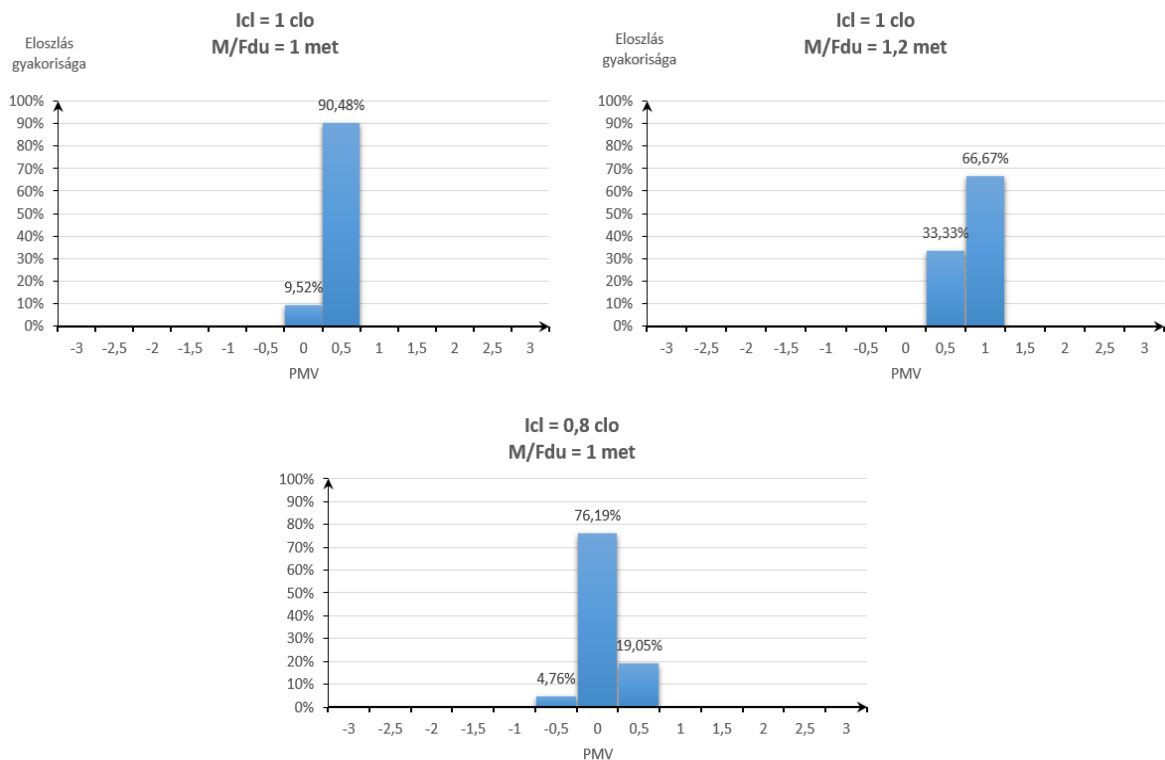
Dolgozatomban PMV és PPD értéket ezzel a scripttel határoztam meg. A számítás automatizálása átlátható és reprodukálható. A további fejezetekben bemutatott hisztogramok, diagramok már közvetlenül a fenti módszerrel számított eredményeken alapulnak.

6.4 Vizsgált paraméterek kiértékelése

A márciusi mérések alkalmával a dolgozók vékony hosszú ujjú felsőt vagy hosszújjú inget hordtak hosszúszerű nadrággal, esetenként könnyű pulóvert, blézert.

A műszerrel mért értékekkel, különböző esetben vizsgáltam a PMV és PPD várható eredményét. Három eltérő ruházati és aktivitási kombináció vizsgálatára vonatkozóan számítottam ki a PMV értékeket. Érdekelt, hogy az előre preferált munkavégzés intenzitása és különböző, de mégis irodai öltözetek, hogy befolyásolják a PMV-t. Az eredményeket az alábbi 28. ábra hisztogramjaiban összegeztem az átláthatóság kedvéért.

28. ábra Becsült PMV értékek eloszlása (tavasz)
(forrás: saját ábra)

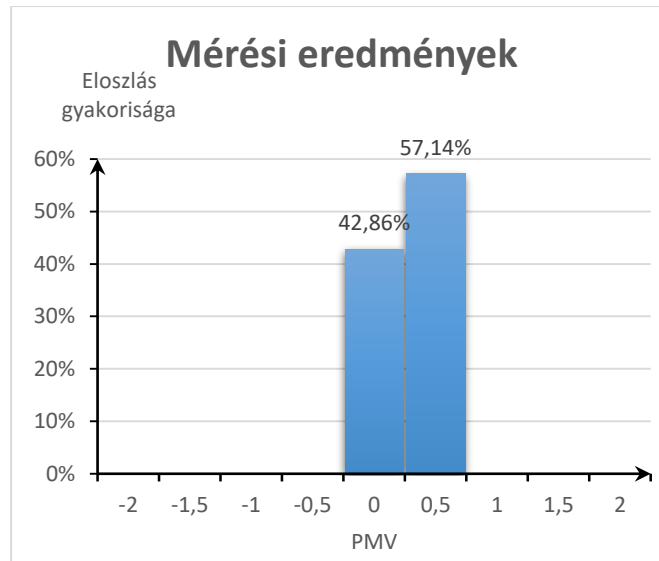


A hisztogramok a PMV értékek várható eloszlását mutatja. Amikor a ruházat 1,0 clo és az aktivitás 1 met, a mérési pontok túlnyomó része 0,5 körüli PMV értéket vesz fel. A komfort *enyhén meleg* irányba billen. Ugyanezen ruházat mellett, de magasabb 1,2 met aktivitási szinttel, a hőérzet tovább tolódik. Az eredmények nagyobb hányada már 1 körüli PMV-t mutat, ami egyértelmű melegebb hőérzetet jelent.

A ruházat szigetelése 0,8 clo esetén mérsékli ezt a hatást, az eloszlás visszább húzódik és a mérési adatok nagy része a *semleges* tartományban koncentrálódik. Jól látható a három hisztogramon, hogy a hőérzet döntően *enyhén meleg* tartományba tolódik. Látható, hogy a hőérzet érzékenyen reagál az öltözék szigetelésére és az aktivitás intenzitására. Kis változtatások is képesek elmozdítani a felhasználók hőérzeti állapotát.

A vizsgálaton a valós ruházati szigetelés értékeket is felvettem a dolgozók öltözködésének megfelelően. Átlagosan 0,89 clo értéket kaptam. Az aktivitás szintet minden mérési pontnál 1,2 met értékre határoztam meg, számítógépen irodai munkára. A hisztogram az alábbi módon változott.

29. ábra Tavaszi vizsgálat PMV eloszlása
(forrás: saját diagram)



A 29. ábra hisztogramja mutatja, hogy a számított PMV értékek eloszlása 57%-a *enyhén meleg* és *semleges* tartományok közé esik. A maradék 43% semleges érzetnek felel meg. *Enyhén hideg* és *enyhén meleg* irányú hőérzet, a számolt értékek alapján nem várható.

Ezt követően mindhárom esetre meghatároztam a PMV értékeket. A PMV és PPD értékek minimum és maximum értékeit a 9. táblázatban mutatom be.

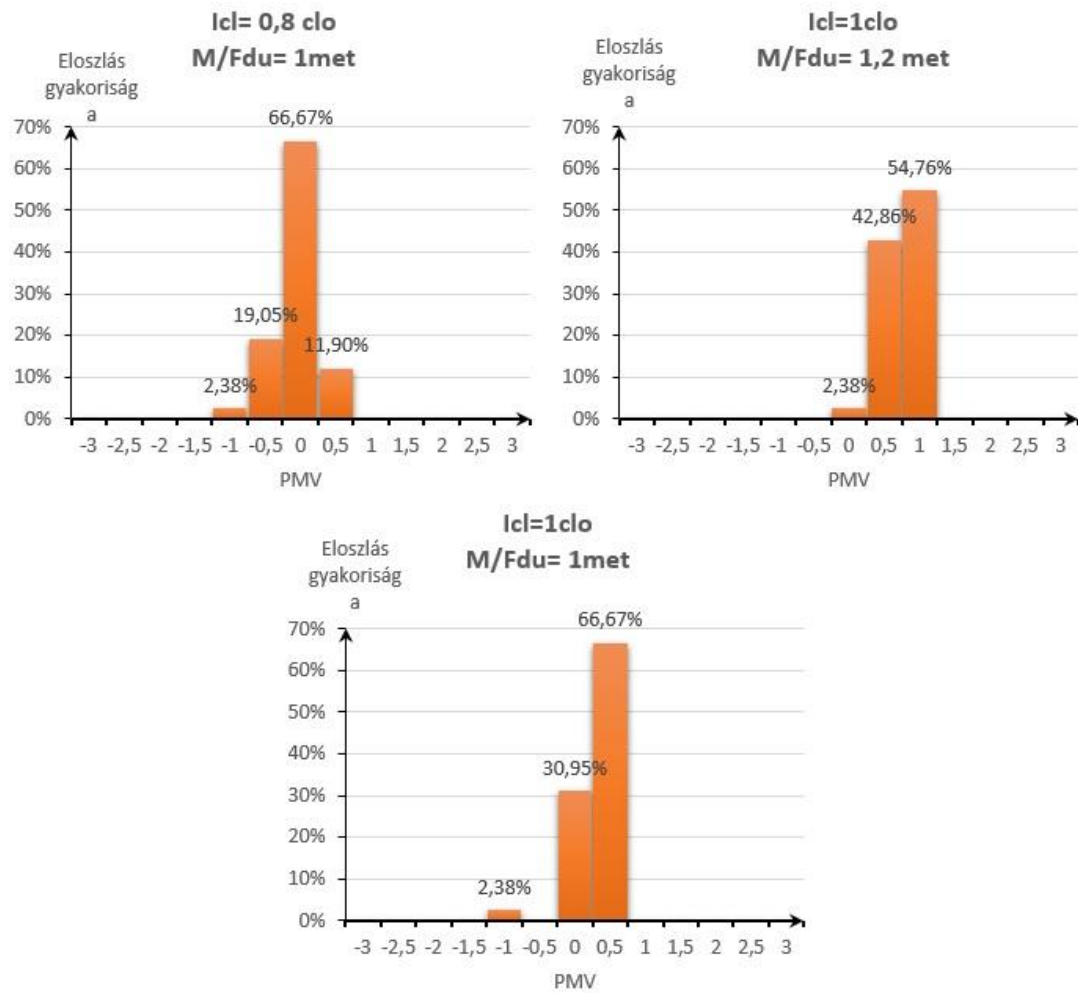
9. táblázat Márciusi mérések PMV-PPD értékei
(forrás: saját táblázat)

		0,8clo/1met	1clo / 1 met	1clo/ 1,2 met	Vizsgált
PMV [-]	min	-0,65	-0,27	0,15	-0,28
	max	0,06	0,36	0,66	0,26
PPD [%]	min	5,00	5,01	5,47	5,00
	max	13,88	7,63	14,16	6,58

A vizsgált kombinációkhoz mérten, a mérés alatt viselt öltözékek és aktivitás mellett a várható elégedetlenség maximuma 6,58%-a várható. Ez nagyon jó aránynak mutatkozik.

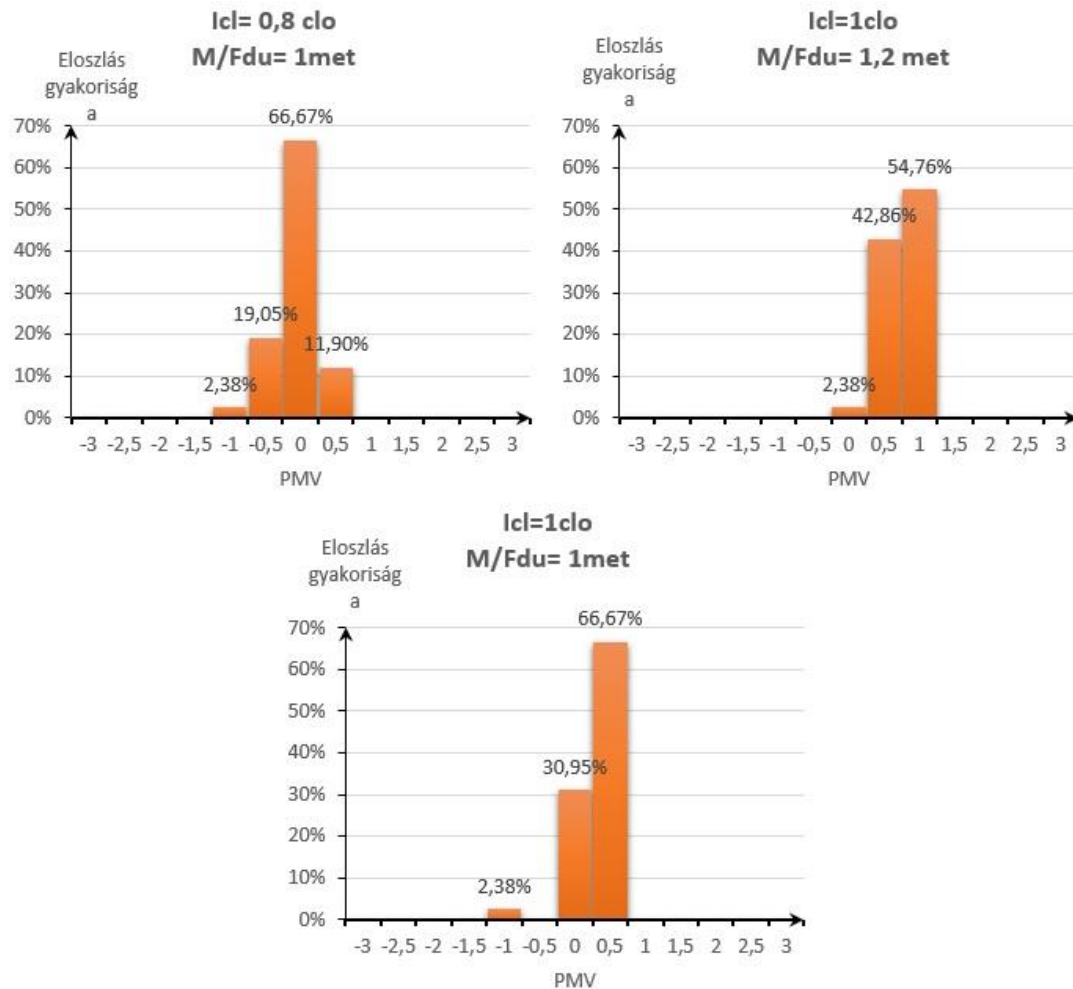
Az októberi méréseim eredményét, melyet az ugyancsak statisztikai módszerekkel dolgoztam fel. A korábbi méréseimhez hasonlóan, itt is megvizsgáltam a különböző tevékenységek és öltözet kombinációkra várható PMV értékeket. Az őszi mérés alatt a dolgozókon tapasztalt ruházat egységes 1 clo értéket vettem fel, míg az aktivitás szintje továbbra is 1,2 met. Az adatokból készített hisztogramokat a

30. ábra Őszi mérés eloszlása különböző 1 clo és 1,2 met értékekkel
(forrás: saját ábra)



ismertetem.

30. ábra Őszi mérés eloszlása különböző 1 clo és 1,2 met értékekkel
(forrás: saját ábra)



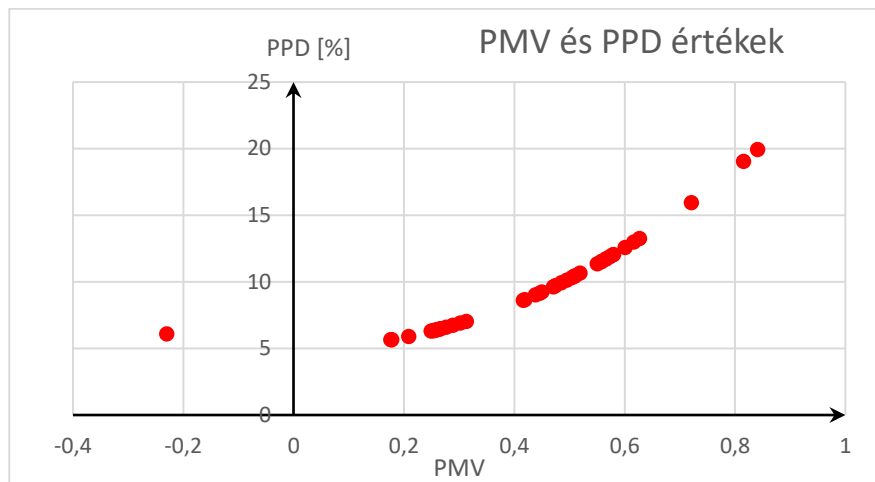
A hisztogramról leolvasható, hogy az általam meghatározott értékekkel a hisztogram gyakorisága 0,5 és +1 PMV körül alakul. *Kissé meleg* érzés felé tolódik a PMV. A semleges zónát egy mérési pont adta, ez a földszinten lévő 1. mérési pont, a portán. Itt a léghőmérséklet bokánál 19,8 °C átlagértéket vett föl, de az ülőmagasságnál már normalizálódott 23,11 °C-ra. A hisztogram elkészítését követően megvizsgáltam, hogy a levegőhőmérsékletnek megfelelően közepes sugárzási hőmérséklet, hogyan viszonyul a hőkamerával mért és számított közepes sugárzási hőmérsékletéhez. Milyen mértékben módosítja majd a PMV és PPD értékeket. Októberi mérésem során meghatároztam a felületek átlagos hőmérsékletét. Mivel nagy eltérés nem mutatkozott a felületek hőmérséklete között, így az egyszerűsített képlettel határoztam meg a t_r értékét.

$$t_r = \frac{t_{falak} + t_{ablakok} + t_{padlók} + t_{mennyezet}}{4}$$

A számított t_r értékeket a levegő hőmérsékletével összevetve a legnagyobb eltérés, ugyancsak az 1-es mérési ponton, 3,31 °C, volt. Ezen területen a külső ajtó sűrű nyitása, hamar lehűti hőmérsékletet bokamagasságban, mivel itt a pult, lábnál lezárt részénél hamar kicserélődik a levegő.

Meghatároztam minden mérési eredménynél a MRT-t és a Python scripttel újra számoltam a PMV-PPD eredményeit. Az eredményeket a 31. ábra diagramja mutatja.

31. ábra Őszi mérések PMV-PPD eredményei
(forrás: saját ábra)



Az eredményeim alapján a PMV értékek döntő többsége 0,2 és 0,6 közötti tartományba esik. A várható hőérzeti értékek a semleges tartományban koncentrálnak. A PPD értékek ennek megfelelően többnyire 6–12% között alakulnak. Várható előrejelzés szerint dolgozók többsége nem tapasztal számottevő diszkomfortot. A diagram jól mutatja a PMV és PPD közötti növekvő összefüggését. Ahogy a PMV a semleges 0 értéktől pozitív irányba tolódik a PPD érték is folyamatosan emelkedik.

A diagramon látható, hogy egy PMV érték a mínusz tartományba került. Ez az 1-es mérési pont a rendészeti portáján mért eredmény. A boka magasságában átlagos 19,8 °C hőmérséklet diszkomfortot eredményezhet. Kiugró érték még a 21 mérési pont eredményei, ahol a kissé meleg tartományban van a PMV. A dolgozók 20%-ának elégedetlensége várható. A mérési zónában a közepes sugárzási hőmérséklet 27,48 °C.

Az eredményeim összsképe azt mutatja, hogy a vizsgált térben a hőérzet alapvetően a kissé melegebb oldalra billen, de nem szélsőségesen. A dolgozók körülbelül 9–12%-a várhatóan

nem teljesen elégedett, ami valós, hétköznapi üzemelés mellett elfogadható szint. Ugyanakkor a 0,6–0,8 közötti PMV tartományba eső pontok már arra utalnak, hogy vannak olyan irodák, ahol melegebb mikroklíma alakulhat ki.

A PMV vizsgálatot követően megvizsgáltam, hogy a korábban számított, léghőmérsékletnek megfelelően közepes sugárzási hőmérséklettel, milyen értékelődést tapasztalok. Az összehasonlító értékeket a 10. táblázat mutatja be.

10. táblázat MRT bevonásával számított PMV-PPD eltérések
(forrás: saját táblázat)

	diff PMV [-]	diff PPD [%]
Maximum	0,15	4,72
Minimum	0,00	0,02
Szórás	0,04	1,06
Átlag	0,06	1,09

A kiegészítő hőkamerás vizsgálat mutatja, hogy a várható hőérzeti értéken ugyan nem változtatott nagymértékben a számítás eredményén, viszont az elégedetlenek százalékos arányát 4-5 %-al eltolta. Esetemben minden mérési pontnál pozitív irányba.

6.5 Felhasználói komfort kérdőív

Az októberi vizsgálataim adatrögzítése alatt a helyiségekben tartózkodó dolgozókkal egy AMV kérdőívet is kitöltöttem. Az AMV a vizsgált személyek szubjektív hőérzetének vizsgálata. Felhasználási célja, hogy az emberi érzékelésen alapuló visszajelzések számszerűsíthetők legyenek. Ezáltal összevethető lesz a fizikai paraméterekből számított, előre jelzett hőérzettel. Az AMV vizsgálatot az *MSZ EN ISO 10551:2020 szabvány* szerint végeztem, amely a környezet ergonómiájával és a szubjektív megítélési skálák alkalmazását írja le.

A kérdőívet kiegészítettem pár egyéb, nem csak termokomfort alapú kérdéssel is, így teljes képet kaphattam a dolgozók mérés ideje alatti állapotáról. amelyben a résztvevők egy meghatározott pillanatban értékelik a környezetüket. A kérdőív első öt pontját a 32. ábra mutatja be.

32. ábra Komfort kérdőív 1. rész (Forrás: saját)

1. Demográfia / munka

Kor: ____ év

Nem: F N Egyéb / nem kívánja megadni

Munkakör: _____

Munkahelyen tartózkodás átlagos ideje naponta: ____ óra

2. Ruha és aktivitás

Mit visel jelenleg (felső + nadrág v. szoknya+blézer v. pulóver): _____

Jelenlegi tevékenység (válasszon): ülő irodai munka telefon álló munka fizikai egyéb: _____

Becsülés aktivitásra: ____ met (jellemzően 1.0 = ülve, 1.2 = enyhe, stb.)

3. Hőérzet (ASHRAE 7-pontos skála)

Jelenlegi hőérzetem:

- 2 Hideg
- 1 Kicsit hideg
- 0 Semleges
- +1 Kicsit meleg
- +2 Meleg
- +3 Nagyon meleg

4. Hőpreferencia

Szeretném, hogy a hőmérséklet: Hűvösebb Maradjon így Melegebb

5. Elfogadhatóság

A jelenlegi környezet hőmérséklete számomra: Elfogadható Nem elfogadható

A kérdőív első része egymásra épülő blokkokból áll, amelyek külön-külön egy hőkomfortot befolyásoló tényezőt érintenek. Az első pont, a Demográfia és munka, látszólag csak alapszintű információk gyűjtésére szolgál, azonban a háttérváltozók meghatározásának fontos eleme. A kor befolyásolhatja az egyén hőérzeti reakcióit, mivel az anyagcsere, a hőleadási mechanizmusok és az élettani komforttartomány idővel módosulhat. A személy neme szintén mérvado változó, a feldolgozásban statisztikai adatként felhasználható. A munkakör és az épületben töltött idő a megszokási tényezők feltérképezéséhez szükséges. Aki napi 8 órát tölt ugyanabban az irodában, az nagyobb valószínűséggel rendelkezik stabilabb hőérzeti visszajelzéssel, mint az, aki ritkábban tartózkodik ott. Ez a rész tehát az összefüggések értelmezésében kulcsszerepet játszhat.

A második pont, már közvetlenül kapcsolódik a PMV modell változóihoz. A ruházat típusa alapján becsülhető a testet körülvevő hőszigetelés mértéke. A ruházat példáinak

megfogalmazásában szándékosan egyszerű példákat hoztam fel, hogy elkerüljem a túlzott pontosságot igénylő megnevezéseket. Ugyankor egyértelmű kapaszkodót ad az érték meghatározásához. Az aktivitási szint megjelölése hasonló módon vezet a metabolikus egység becsléséhez. A kérdőívem külön feltünteti a jellemző irodai helyzeteket, úgy mint ülő munka vagy telefonálás, hiszen már minimális aktivitásváltozás is jelentősen módosíthatja a hőérzetet. Ez a rész biztosítja, hogy a helyiségek mért paraméterei a személy tényleges hőtermelésével együtt értelmezhetőek legyenek.

A harmadik rész a hőérzet, az AMV egyik alapvető mérési módszere. A skála középpontja a semleges hőérzet (0), amely azt jelzi, hogy a személy nem érzékeli sem túl melegnek, sem túl hidegnek a környezetet. A negatív irányba a hideg érzet, a pozitív irányba a meleg érzet felé mozdul el. A skála használata lehetővé teszi a válaszok összevetését az AMV és a PMV modell eredményeivel. Ha a kitöltők többsége +1 vagy +2 értéket jelöl, miközben a PMV érték 0 körüli, akkor ez alkalmazkodásképesség vagy pszichológiai okokra utalhat. A modell és a valós hőérzet eltérésére.

A negyedik részben, tulajdonképpen a hőmérséklet szabályozás iránti igényt mérem fel. A kérdés nem azt vizsgálja, hogy a személy jelenleg mit érez, hanem hogy milyen irányú változást tartana komfortosabbnak. Ez különösen fontos olyan terekben, ahol lassú dinamikájú rendszerek üzemelnek, mert a beavatkozási igény korai felismerése segíthet elkerülni a túlszabályozást.

Az ötödik pontban már nem a komfort fokát mérem, hanem, hogy gyakorlatban mennyire elfogadható a környezet. Egy munkakörnyezet ugyanis lehet kissé melegebb vagy hidegebb az optimálisnál, de ha az ott dolgozók számára ez még elfogadható, akkor a helyzet nem tekinthető kérdésesnek. Ha azonban jelentős arányban jelenik meg a *nem elfogadható* válasz, az már egyértelmű beavatkozási igényt jelez. Függetlenül attól, hogy a PMV modell numerikusan milyen tartományt mutat.

A kérdőív további kérdéseit a 33. *ábra* mutatja.

33. ábra Komfort kérdőív 2. rész (Forrás: saját)

6. Légmozgás érzete

Érzékelem a huzatot / légmozgást: Egyáltalán nem Kis mértékben Közepesen Erősen

7. Légminőség / levegő frissessége

A levegőt a helyiségben: Nagyon friss Elég friss Kicsit dohos Duhos / rossz

8. Zaj / világítás

Zavar-e a zaj? Igen Nem

Megfelelő-e a világítás? Igen Nem

9. Produktivitás önértékelés

A mai munkateljesítményemet saját magam szerint:

Sokkal gyengébb

Kicsit gyengébb

Változatlan

Kicsit jobb

Sokkal jobb

10. Egészség / tünetek (opcionális)

Az elmúlt 24 órában tapasztalt panaszok a munkahelyen:

Fejfájás Fáradtság Szemirritáció Orrdugulás Bőrviszketés

11. Megjegyzés / szabad szöveg

(Írja le, ha van konkrét észrevétele a komforttal kapcsolatban.)

Míg a kérdőívem az első részében elsősorban a hőérzetet befolyásoló fiziológiai jellemzőkre koncentrált, ebben a részben már a kiegészítő komforttényezőkre. Ezek a légmozgás, levegőminőség, akusztikai és vizuális környezet, illetve a pszichés és egészségi hatások. Ezek a tényezők az épület használhatóságát és a benne végzett munka minőségét közvetlenül befolyásolják. Gyakran magyarázatot adhatnak olyan eltérésekre, ahol a PMV modell alapján a tér komfortos, mégis elégedetlenség jelentkezik.

A 6. pont a huzatérzetet vizsgálja. A légáramlás szubjektív megítélése az egyik legérzékenyebb helyi komfortparaméter. Akkor is, ha a légsebesség mérési értéke a szabványban megadott tartományon belül van. A huzatérzet gyakran az egyik első panaszforrás. Ennek oka, hogy a huzat közvetlenül érinti a bőr hőleadását, így erősen befolyásolja a hőérzetet. A válaszlehetőségeket skáláztam.

Itt nem csak a gépészeti befűvésből származó légmozgásról van szó. az ablakok, ajtómozgások, ventilátorok vagy akár a tér elrendezése is hatással lehet rá.

A 7. pont a beltéri levegőminőséget értékeli. A válaszok közvetett információt adhatnak a CO₂-szint, a légtechnikai rendszer friss levegő utánpótlás hatékonysága felől. Az állott levegő, dohosságérzet gyakran előbb jelentkezik, mint a CO₂ koncentráció magas értéke. Ezen pont válaszai jól kapcsolhatók majd az őszi mérés során kapott magasabb CO₂ értékekhez, amelyek a frisslevegő ellátás finomhangolását indokolják.

A 8. pont a zaj és világítás témaköre. A kérdőívem elsősorban hőkomfort vizsgálatára szolgál, de a zajterhelés és a megvilágítás is jelentősen befolyásolhatja az általános közérzetet. Egy túl világos térben diszkomfort miatt a melegérzet fokozódhat. Ezeket csak eldöntendő kérdésekként fogalmaztam meg, mértéket nem ad, de jelzik, ha munkakörnyezet körül rontó tényezők vannak.

A 9. pontban az önértékelés, kulcsfontosságú. Itt már a hőkomfort hatásának következménye jelenik meg. Érdekes kérdés, hogy a dolgozó hogyan érzékeli a saját teljesítményét a környezet tükrében. Mivel a produktivitás csökkenése már 1–2 °C eltérés esetén kimutatható lehet, ez a kérdés közvetlenül összeköti a komfortot a gazdasági hatékonysággal. A skála ismét lehetővé teszi annak felismerését, ha az irodai környezet komforthelyezete nem csupán „kellemetlen”, hanem a munkavégzés minőségére is tényleges hatást gyakorol.

A 10. pont egy érzékeny, de rendkívül hasznos visszajelzéseket adó kérdés. Fejfájás, fáradtság vagy szemszárazság gyakran a légtechnikai rendszer hibáira, nem megfelelő páratartalomra vagy a frisslevegő hiányára utal. Ezek a tünetek rendszerint hosszútávon jelentkeznek, tartós térhasználat következményei. A tüneti adatok összevethetők a CO₂, páratartalom vagy légsebesség értékeivel, így erős bizonyítékként szolgálhatnak a rendszer finomhangolásának szükségességére.

Végül a 11. pont, lehetőséget ad arra, hogy a válaszadó saját szavaival fogalmazzon meg észrevételeket, akár olyat is, amit a kérdőív nem tartalmaz. Ez különösen értékes, mert a komfortélmény mindig részben szubjektív. Gyakran ezekből a megjegyzésekből derül ki apró, lényeges tényező.

A kérdőív összesített eredményeit az *M6 mellékletben* összesítettem.

A szabvány hangsúlyozza, hogy az AMV vizsgálatot valós körülmények között célszerű elvégezni, így a válaszok tükrözik majd a tényleges hőérzeti és egyéb tapasztalatokat. Az adatok értelmezését mindig a környezeti mérésekkel együtt kell végezni.

Az AMV eredmények összevetése a PMV modellel lehetővé teszi a hőkomfort modellek validálását. Kimutatható, hogy a PMV-ben számolt értékek hogyan viszonyulnak az AMV értékekhez. Amennyiben az AMV és PMV között eltérés tapasztalható, az rámutat az adott tér sajátos hőérzeti tényezőire.

6.5.1 Kérdőívek eredményei, termikus komfort

A kérdőívet összesen 31 dolgozó töltötte ki, akik a 21 darab mérési pontom környékén vagy éppen ott dolgozik. Az irodatermekben a válaszadók majdnem 30%-a nő nemű. Munkaköre mindenkinek irodai dolgozó, a bent töltött idő átlagosan 8 óra. Az íróasztalnál töltött időt a kérdőív nem tartalmazta, de 15 perces reggeli, kávé idővel és 20 perces ebéddel számolva ez az érték 7 óra körüli. A dolgozók ruha viselete nemként eltérő volt. Minden férfi hosszú nadrágot viselt, rövidujjú póló vagy inggel, esetenként hosszúujjú ing, pulóver. A nők változatosabban, hosszú farmer nadrág, egész alakos ruha, de minden esetben a karjuk csuklóiig takarva.

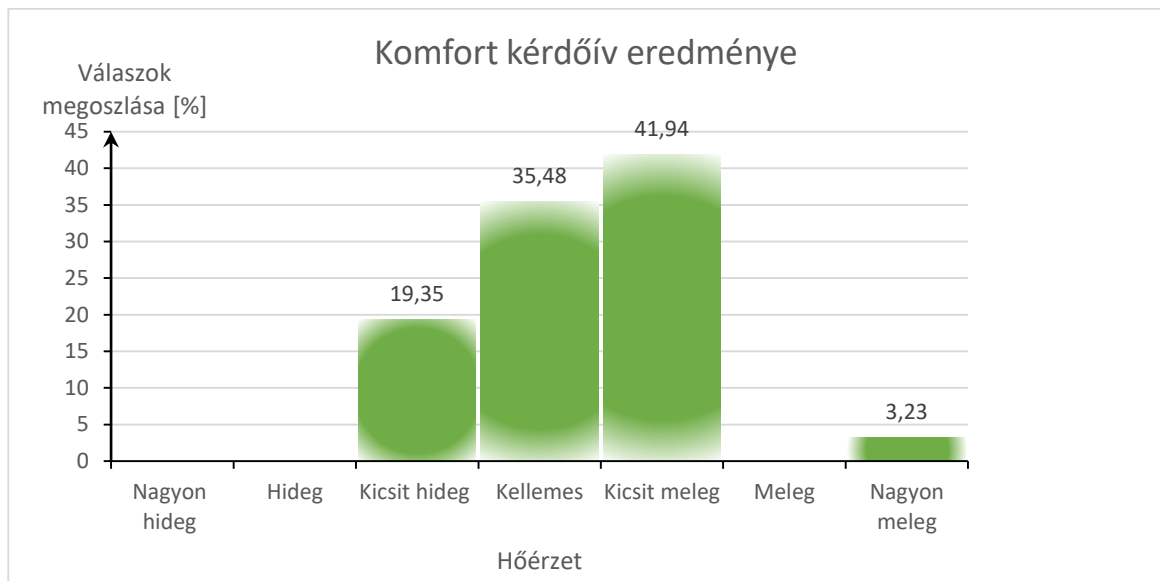
Az épületben dolgozók létszáma alacsony, annak érdekében, hogy minden helyiségből kapjak visszajelzést, személyesen kérdeztem végig a kérdőíven szereplő pontokat. A hőérzeti eredményeket a 11. táblázatban nemek szerint soroltam, a teljes létszám hőérzetét pedig a 34. ábra mutatja.

11. táblázat Komfort kérdőív, hőkomfort válaszok
(forrás: saját táblázat)

Hőkomfort	Skála	Nők	Férfiak
Nagyon hideg	-3	0	0
Hideg	-2	0	0
Kicsit hideg	-1	0	6
Kellemes	0	3	8
Kicsit meleg	1	6	7
Meleg	2	0	0
Nagyon meleg	3	0	0

Az AMV kérdőív eredményein látható, hogy a hőérzet döntően a semleges, kellemes tartomány köré rendeződik, de a válaszok eloszlása kissé meleg irányába tolódik. A kérdőívet kitöltők több mint kétharmada a *kellemes* és *kicsit meleg* kategóriába sorolta az iroda hőérzetét, nagyjából azonos arányban. Érdekes mód női oldalról nem érkezett hűvös érzet, inkább a kicsit meleg oldalra szavaztak. Az eredményekből megállapítottam, hogy a legtöbben összességében komfortosnak, enyhén melegnek érzékelték a munkakörnyezetüket.

34. ábra Komfort kérdőív eredmények
(forrás: saját ábra)



A *kicsit hideg* válaszok aránya még így is számottevő, ami arra utalhat, hogy bizonyos munkaállomásoknál helyenként enyhe hidegérzet is előfordult. Ezek a válaszok jó része a földszinti területekről érkezett.

A földszint portai rendszer munkatársai visszajelzése alapján sűrűn enyhe huzatérzetük van a munkapozíciókon, amire magyarázatként szolgálhat, hogy a dolgozók az épületen áthaladáskor két ajtót is nyitnak. Egyéb esetben, zárt ajtóknál nem jelentkezik hideg érzet, lábuknál lévő padlófűtés hamar kompenzálja a burkolatot kellemes hőérzetre. Hideg padlóérzetük nincs.

Az emeleti E10-es irodában, az utolsó mérési pontnál látható, hogy a dolgozó válaszadásakor már egy ideje diszkomfortot érzett, így a hőkomfortos kérdéseimnél a

legsúlyosabb értékeléseket adta. Érezhető a válaszádon, hogy a tartós diszkomfort érzet elhúzódása akár léphet egy vagy két szintet a skálán.

6.5.2 Kérdőívek eredményei, egyéb komforttényezők

A válaszádon során az elfogadhatósági válaszok, egy kivétellel elfogadhatót adtak meg a dolgozók. Ebben pozitív, hogy a szélsőséges esetek a hőérzet kapcsán nem jelentkeznek.

A légmozgás megítélése a válaszádok többségénél kedvező volt. Huzatérzetet nem észleltek, kivéve a földszinti portát, ahol a jelenség okai egyértelműen az épületforgalomához köthetők. A levegő frissességének megítélése azonban már megosztottabb képet mutatott. A válaszádok 39%-a levegőhiányos vagy kissé elhasznált levegőjűnek értékelte irodáját. Egyértelmű jelzése annak, hogy bizonyos helyiségekben a frisslevegőellátás nem elegendő. Az eredmény alátámasztja a korábban műszeresen tapasztalt megemelt CO₂ értékeket, különösen az emeleti zónákban.

A zaj és fényviszonyok megítélése pozitív volt, ezek nem járultak hozzá komfortromláshoz, a dolgozók nemleges választ adtak. A produktivitási önértékelésben a „változatlan” válasz dominált. Ez arra utalhat, hogy a dolgozók jellemzően nem kötik össze közvetlenül hőérzetüket munkateljesítményükkel, de egyes megjegyzések arra utalnak, hogy a teljesítményértékelésnél óvatosan fogalmaztak. Az egészségi tünetek közül a fáradtság és fejfájás egyes emeleti irodákban jelentkezett, ami szintén összhangban van a levegőminőségi visszajelzésekkel.

7. EREDMÉNYEK

A tavasszal végzett műszeres vizsgálataim PMV elemzésére három ruházati és aktivitási kombinációra készítettem. A hisztogramok alapján a hőérzet túlnyomórészt a *semleges* és az *enyhén meleg* tartományba esett. Az aktivitás növelése jól érzékelhetően tolt a PMV-t a melegebb tartomány felé. A ruházat szigetelésének csökkentése pedig mérsékelte ezt a hatást. A valós öltözeti adatokkal számolt PMV értékek 57%-a az *enyhén meleg* és a *semleges zóna* között koncentrálódott, 43% a *semleges* tartományban. A várható elégedetlenség pedig legfeljebb 6–7% volt, ami kedvező hőérzetet jelzett.

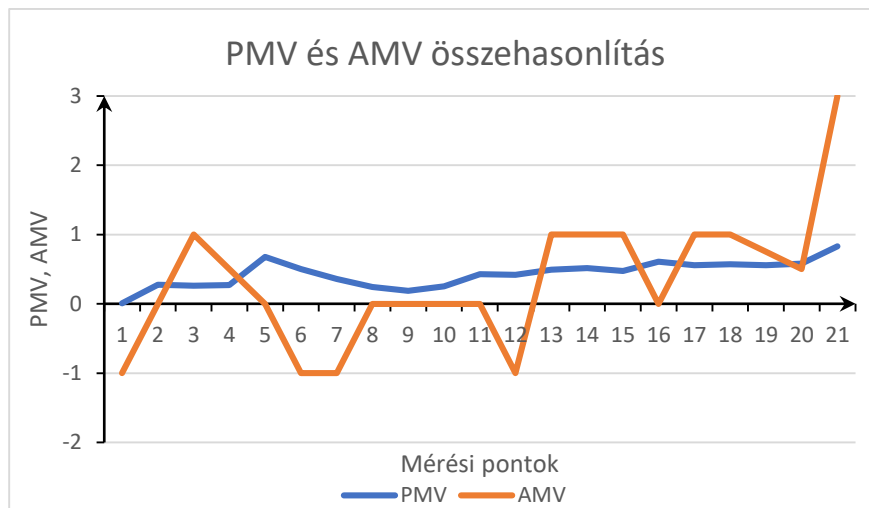
Az őszi méréseimet követően az irodaterek légállapot és felületi hőmérséklet paramétereit értékeltem részletesen. A CO₂-koncentráció 513 és 858 ppm között változott. Több mérési ponton tartósan 750–850 ppm közeli értékeket regisztráltam. Ezek a szintek még nem érik el káros értékhatárt, azonban arra utalnak, hogy az egyes irodák szellőzési intenzitása eltérő. A helyenként magasabb CO₂ értékek arra engednek következtetni, hogy adott helyiségekben a befűjt levegő mennyisége a tényleges dolgozó létszámhoz viszonyítva alacsonyabb lehet.

A mért és számított PMV értékekből készített hisztogramok azt mutatták, hogy a PMV értékek többsége 0,5 és +1 között alakultak a mérés alatt. A hőérzet *enyhén meleg* irányba tolódott. Egyedül a földszinti 1. mérési pontnál jelent meg *semleges* hőérzet. Itt a bokamagasságban mért 19,8 °C-os levegő gyorsan normalizálódott ülőmagasságban 23,11 °C-ra. A hőkamerás vizsgálattal meghatározott sugárzási középhőmérsékletet összevetve, a levegőhőmérséklettel kapott PMV becsléssel kiderült, hogy a felületek között nem alakult ki jelentős sugárzási aszimmetria. PPD értéknél maximum 4%-os eltérés mutatkozott.

A tavaszi vizsgálati eredményekhez képest, a levegő hőmérséklete továbbra is a komfortos tartomány közelében maradt, a közepes sugárzási hőmérséklet eltolódása miatt a számított PMV értékek már inkább a *kicsit meleg* tartomány felé húzódtak. A PPD értékek ennek megfelelően 8–12% között alakultak, egyes mérési pontokon elérte a 15–20 % várható elégedetlenséget is.

Az októberi mérés során elvégzett kérdőíves felmérés értékes összehasonlítást adott számított várható hőérzeti eredményeimre. Az épületben 31 felhasználó véleményét tudtam kiértékelni. Az eredményeimet a 35. ábra összegzem.

35. ábra PMV-AMV összevetése
(forrás: saját forrás)



A PMV mért értékei többségében a *semleges* tartomány közelében helyezkedtek el, ennek ellenére az AMV válaszok jóval nagyobb szórást mutatnak. Több ponton válaszoltak a dolgozók *kicsit hideg* érzetre, ugyanakkor más helyeken *semleges* és *kicsit meleg* érzetet éreznek.

A PMV és AMV közötti eltérés valós, emberi alkalmazkodóképességet mutat. Amíg numerikus modell a hőmérséklet alapján ítéli meg a komfortot, addig a kérdőíves eredmények megmutatják, hogy a dolgozók nem érzik diszkomfortnak ha *kissé melegebb* a hőérzetük. Több válaszadónak megfelelő volt a *kissé meleg* érzet. A komfortérzet megítélése így nem kizárólag fizikai paraméterek hanem személyes komfort elvárások. A PMV inkább irányt mutat, míg az AMV megmutatta a tényleges emberi reakciót. A két eredmény együtt ad valós képet a tér hőkomfortjáról.

A komfortkérdőív eredményei alapján elmondható, hogy az irodatermek hőkomfortja összességében elfogadható a dolgozók számára. Az elfogadhatósági kérdésre adott válaszok szinte teljes egészében pozitívak voltak, ami arra utal, hogy a terekben nincsenek szélsőséges, zavaró hőérzeti problémák. A légmozgás megítélése túlnyomórészt kedvező

volt, huzatérzet csak a földszinti portán jelentkezett, ami egyértelműen az ajtónyitásokkal összefüggő légmozgásra vezethető vissza, nem pedig a rendszer működésére.

A levegőminőséget a válaszadók közel 40%-a enyhén elhasznált, levegőhiányos környezetnek jelölte meg. Ez a visszajelzés hasonul a műszeres CO₂ mérések eredményeivel és elsősorban az emeleti irodákra jellemző. Ezen irodák frisslevegőellátásának felülvizsgálata indokolt.

A zaj és fényviszonyokról a dolgozók nem jelentettek problémát. A produktivitási önértékelésben a legtöbben *változatlan* teljesítményt jelöltek. Ez utalhat arra, hogy dolgozók nem érzik, hogy a környezeti paraméterek érdemben befolyásolnák teljesítményüket. Ugyanakkor feltűnt, hogy a visszafogott válaszadásból óvatosság is kiolvasható.

Az egészségi tünetek, úgy, mint fáradtság vagy egyes esetekben fejfájás, elsősorban az emeleti munkavállalók körében jelentkeztek. Ez ismét megerősíti a levegőminőséggel kapcsolatos visszajelzések eredményét. Összességében a vizsgálat rámutatott arra, hogy a hőkomfort alapvetően kellemes és kielégítő. A szellőzési és frisslevegő ellátás finomhangolása viszont szükséges, hogy hosszú távon is kiegyensúlyozott beltéri környezet biztosítson.

8. JAVASLATTÉTEL

A CO₂ magasabb értékeinek vizsgálatával megállapítom, hogy a frisslevegő ellátás légtechnikai rendszere beszabályozásra szorul. Különös képpen az emeleti irodákban, ahol az értékek 800ppm közeli értéket mutattak. Az AMV kérdőívből is több ízben érkezett nem megfelelő frisslevegő érzet. Szükségesnek látom az összes mérési ponton lévő irodában a légmennyiségek mérését, különösképp az emeleti DNY-i irodákban. Ezekben az irodákban, ha fokozódik a napsugárzás kialakulhat nem megfelelő légcserezszám. Ellenőrizni kell a zsalukat, csappantyúkat, a ventilátor maximális fordulatszámát. Térfogatáramot szükséges mérni, majd a beszabályozó szelepekkel az irodai dolgozók számához és a légköbméterhez finomhangolni.

A felületfűtési körök szelepjeinek ellenőrzése is javasolt, mivel az emeleti irodában lévő termosztáton adott parancs ellenére a fűtési szelep nyitott állapotban maradt. Előfordulhatott dugulás a szelepnél, mivel azt megmozgatva és több napot vizsgálva, megfelelően nyitotta és zárta a szelepet.

A felülethűtési rendszer működésének egyik alapvető korlátja a harmatponti kondenzáció jelensége. Hűtési üzemmódban a mennyezetben keringő hűtővíz hőmérséklete nem csökkenthető tetszőleges értékre. Ha a hűtőfelület hőmérséklete a helyiség levegőjének aktuális harmatponti hőmérséklete alá csökken, a levegő nedvességtartalma kicsapódhat a hűtött felületen. Ez a kondenzáció nemcsak ázásfoltok megjelenését okozza, hanem egészségügyi problémát is okozhat, valamint a hűtési energia kimaradását. Ez a nyári időszakban többször is előfordult az épületben, így a vizsgálat feltétlen szükséges lesz ezen időszakban is.

További vizsgálatok szempontjából érdemes lenne teljes körű AMV és PMV vizsgálatot megismételni a nyári, hűtési időszakban is. A felülethűtés érzékeny a páratartalomra és a harmatpont helyzetére, ezért a dolgozók hőérzete nagyobb eltérést mutathat, mint télen. Nyáron a dolgozók bizonyára a gyors irodahűtés kedvéért bekapcsolnák a VR rendszer klímáit is, így a légsebesség és huzathatás értékek változnának.

Bár nehezen megvalósítható, de javasolnám az épület féléves vagy éves hőkomfort auditját. Ezekkel az intézkedésekkel az épület képes lenne hosszú távon stabil hőkomfortot biztosítani.

Nem termikus komfortvizsgálat eredményei nem mutattak beavatkozáshoz szükséges eredményeket. A megvilágítás a terekben megfelelő és egyenletes. Zajterhelés az épületben nem tapasztalható.

9. ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatomban célul tűztem ki, hogy egy választott kétszintes irodaházban dolgozó emberek hőérzetét, komfortparamétereit műszeres méréssel és komfort kérdőívvel fogom vizsgálni, kiértékelni. Az épület belső hőmérsékletéről sugárzó felülethűtés és felületfűtés gondoskodik, kiegészítő klimatizálásként az irodákban split klímákkal. A frisslevegő ellátásról hővisszanyerős légtechnikai rendszer gondoskodik.

Az épület üzemeltetése során felmerült a kérdés, hogy, a rendszer képes-e a kívánt komfortállapotot biztosítani. Ez a komfortállapot műszeres mérésekkel megbecsülhető, a dolgozók visszajelzései alapján pedig meghatározható. Dolgozatom alatt ezen értékek feltárására mérési vizsgálatokat, hőérzeti értékelést és elemzést végeztem. Az eredményeket összevettem az ott dolgozók szubjektív érzetével.

A méréseimet két időszakban végeztem. Tavaszi és őszi, átmeneti időszakban. A mérések alkalmával levegőhőmérsékletet, relatív páratartalmat, légsebességet, CO₂-koncentrációt mértem, illetve hőkamera segítségével felületi hőmérsékleteket rögzítettem. A mérési pontokat a tényleges munkahelyeken, ülő- és bokamagasságban jelöltem ki. A hőérzeti értékeléshez a dolgozók ruházati szigetelését és aktivitási szintjét személyes megfigyelés és a szabványokban meghatározott értékek alapján határoztam meg. A végeredményként számított PMV értékeket a helyszínen felvett komfort kérdőív válaszainak eredményeivel vettem össze és értékeltem.

A tavaszi mérések eredményei alapján az irodaterekben a levegőhőmérséklet jellemzően 22–25 °C között alakult. Az épületben a hőmérséklet eloszlása egyenletes volt. Legfeljebb 1–2 °C eltérés mutatkozott az egyes mérési pontok között. A relatív páratartalom 30–35% között mozgott. A légsebesség 0,10 m/s körüli értékeket vett fel. A várható hőérzeti értékek meghatározását követően a kiértékelést az ASHREA szabványban meghatározott hét pontos skálára helyeztem. A PMV eredmények a skála *kicsit meleg* irányába tolódott a semleges értéktől. Az értékek 0,2–0,6 között maradtak. Ezen eredményekhez a PPD értékek is igazodtak. Az eredmények alapján a dolgozók várható elégedetlenségi mutatója 6-12%.

Az őszi méréseim végzésekor a korábban meghatározott mérési pontoknál CO₂-koncentráció vizsgálatot is végeztem. Az eredmények 513–858 ppm között változtak. Az épület levegőhőmérséklete ebben az időszakban átlagosan 24,01 °C volt, a boka- és ülőmagasság közötti különbség maximuma mindössze 1,13 °C. Megállapítottam, hogy hideg lábérzet nem volt várható. A légsebesség értékei továbbra is alacsony, 0,1 m/s értéket mutattak.

Egy hőkamerával volt lehetőségem megállapítani, hogy a felületi hőmérsékletek minden mérési pont környezetében. Vizsgáltam, hogy a hőmérsékletek az irodákban egységeseke-e. Az eszköz segített a közepes sugárzási hőmérséklet meghatározásában is. A PMV értékek ezek módosításával pontosabban becsülhetők. A közepes sugárzási hőmérséklet jelentősen nem tért el a levegő hőmérséklettől. PPD eltérés maximuma 4,72%-os eredményt adott a léghőmérséklettel számolt értékekhez képest. Kivételt képzett egy rendészeti helyiség és az emeleten egy iroda, ahol az átlagtól eltérő értéket mértem.

A földszinti portán dolgozókat a sűrűbb ajtónyitások okán a bokánál mérhető hőmérséklet alacsonyabb volt. A közepes sugárzási hőmérséklet értékét nem mozdította ki nagyon, mivel a területen padlófűtés üzemelt. Az emeleti irodában a közepes sugárzási hőmérséklet 27,48°C értéket adott. A helyiségben a mennyezet 30°C-os mértéket adott, a munkaasztal felelületén is 26,7°C értéket mértem. A portai PPD érték 6,09 %-os elégedetlenségi százalékot adott, míg az emeleti iroda közel 20%-ot.

A mérési pontok regisztrálása alatt felvettem a dolgozóktól a kérdőívet, melyet a *MSZ EN ISO 10551:2020 szabvány* szerint végeztem. A PMV és AMV értékek összevetésével rámutattam arra, hogy bár a modell jól követi a hőérzet irányát, a dolgozók egyéni hőérzete szélesebb tartományban van jelen. Ezt részben a személyes komfortelvárások adhatják. A modell esetében a környezet objektív értékelésére alkalmas volt, de a tényleges emberi reakciók megértéséhez a szubjektív felmérés elengedhetetlen volt.

A dolgozatom következtetése, hogy az épület számított hőérzete a kicsit melegebb tartományba esik, de a felhasználóknak válasza alapján lehetne melegebb. Ezen eredmény alól kivétel az emeleti kérdéses iroda, ahol az AMV-t a felhasználó nagyon melegre értékelte. Látható, hogy a tartós diszkomfort és elégedetlenség miként befolyásolja a hőérzetet.

10. IRODALOMJEGYZÉK

1. ASHRAE Standard 55. 2020 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, GA, USAISO 7730:2005 – Ergonomics of the Thermal Environment.
2. Bálint P. 1981: Orvosi Élettan. Budapest: Medicina Könyvkiadó
3. Bánhidi L. 1976: Zárt terek hőérzeti méretezése. Budapest: Műszaki Könyvkiadó
4. Bánhidi L., Kajtár L. 2000: Komfortelmélet. Budapest: Műegyetemi Kiadó
5. Barna E. 2012: A sugárzási hőmérséklet aszimmetria és a meleg padló együttes hatása a hőérzetre. Budapest: Műegyetem
6. Cakó Á. (2022): A komfortérzet javításának eszköze épített környezetben. [PhD értekezés] Pécs: Breuer Marcell Doktori Iskola.
7. Dr. Fáy Á. 2020: Bevezetés a hősugárzás elméletébe. Miskolc: Miskolci Egyetem
8. Dr. Kalmár F. 2013: Belső környezet minősége, Budapest: Terc Kiadó
9. HTTP1: Testo (Magyarország) Kereskedelmi Kft. honlapja. Letöltés dátuma: 10.31. forrás: <https://www.testo.com/hu-HU/globusz-erzekelo-o-150mm-k-tip-hoelem-sugarzo-ho-meresere/p/0602-0743>
10. HTTP2: CBE Thermal Comfort Tool honlapja. letöltés 10.10. forrás: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>
11. K.C. Parsons, 2003: Human Thermal Environments. Taylor & Francis Group
12. Kajtár L. (2011): A hőkomfort elemzése télen, irodai környezetben. *Magyar Épületgépészet*: (12),3-7.
13. Kajtár L., Bánhidi L. 2018: Válogatott fejezetek a komfortelmélet témaköréből. Budapest: Akadémiai Kiadó
14. Kajtár L., Nyers J., Szabo J., Ketskeméty L. (2016): Objective and Subjective Thermal Comfort Evaluation in Hungary. *Thermal Science*: 21(3)
15. Olesen, B.W. (2004): International standards for the indoor environment.
16. P.O. Fanger, 1970: Thermal Comfort. Analysis and applications in environmental engineering. Koppenhága
17. Bjarne W. Olesen és K. C. Parsons, 2002: Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730

18. Wang, Z.; He, Y.; Hou, J.; Jiang, L., (2013) Human skin temperature and thermal response in asymmetrical cold radiation environments. *Building and Environments*, 217–223.
19. 1993. évi XCIII. törvény, a munkavédelemről
20. 2023. évi C. törvény a magyar építészetről
21. 3/2002. (II. 8.) SzCsM–EüM együttes rendelet a munkahelyek munkavédelmi követelményeinek minimális szintjéről
22. 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról
23. 9/2023. (V. 25.) ÉKM az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról
24. MSZ EN ISO 7730:2006 szabvány
25. MSZ EN ISO 10551:2020 szabvány
26. MSZ ISO 7726:2003
27. MSZ ISO 13731:2002

11. ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra	Hőérzetet befolyásoló paraméterek	7
2. ábra	Glóbusz hőmérő.....	17
3. ábra	PMV-PPD diagram.....	18
4. ábra	Épület földszinti alaprajza	26
5. ábra	Épület emeleti alaprajza.....	27
6. ábra	Földszint és emelete befűvés/ elszívás	29
7. ábra	Nedves helyiségek elszívása.....	30
8. ábra	Földszinti gerinchálózat.....	33
9. ábra	Emeleti gerinchálózat	33
10. ábra	Földszinti mennyezeti hőleadók	34
11. ábra	Emeleti hőleadó felületek	35
12. ábra.	Földszinti VRF rendszer	36
13. ábra	Földszinti VR rendszer nyomvonala	37
14. ábra	Emeleti VR rendszer.....	37
15. ábra	Testo 440 CO2 szonda és alapkészülék.....	38
16. ábra	Bosch GTC 600c hőkamera.....	40
17. ábra	Mérési pontok jelölése (földszint)	42
18. ábra	Mérési pontok kiválasztása (emelet)	42
19. ábra	Márciusi mérések paraméterei.....	43
20. ábra	Októberi mérések eredményei	45
21. ábra	Októberi mérés CO2 eredményei	46
22. ábra	Mérés bemutatása ülő magasságban.....	47
23. ábra	Felületek hőmérséklete	48
24. ábra	21. mérési pont hőkamerás mérése	49
25. ábra	21 mérési pont hőkamerás vizsgálata	49
26. ábra	Python script értelmezése	51
27. ábra	PMV-PPD számítás ellenőrzése	52
28. ábra	Becsült PMV értékek eloszlása (tavasz).....	53
29. ábra	Tavaszi vizsgálat PMV eloszlása.....	54
30. ábra	Őszi mérés eloszlása különböző 1 clo és 1,2 met értékekkel	56
31. ábra	Őszi mérések PMV-PPD eredményei.....	57
32. ábra	Komfort kérdőív 1. rész.....	59

33. ábra Komfort kérdőív 2. rész.....	61
35. ábra Komfort kérdőív eredmények.....	64
36. ábra PMV-AMV összevetése	67

12. TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat: Munka intenzitása szerinti osztályzás.....	8
2. táblázat Tevékenységek metabolikus értékei	9
3. táblázat Öltözet szigetelő értékei.....	12
4. táblázat PMV értékek	14
5. táblázat Épület helyiségei.....	28
6. táblázat A Testo 440 CO ₂ komfortérzet szett műszaki jellemzői.....	39
7. táblázat Márciusban mért paraméterek elemzése.....	44
8. táblázat Októberi mért adatok elemzése.....	47
9. táblázat Márciusi mérések PMV-PPD értékei.....	54
10. táblázat MRT bevonásával számított PMV-PPD eltérések.....	58
11. táblázat Komfort kérdőív, hőkomfort válaszok.....	63

13. MELLÉKLETEK

M1- tavaszi mérési adatok átlagai

	Relatív páratartalom [%]	Hőmérséklet [°C]	Légsebesség [m/s]
x1	34,055	23,68	0,091
x2	32,27	24,435	0,094
x3	32,805	24,67	0,0915
x4	32,69	24,8	0,095
x5	32,215	24,11	0,097
x6	32,36	22,785	0,0905
x7	30,295	24,29	0,09
x8	29,95	24,14	0,099
x9	32,66	24,065	0,093
x10	30,55	24,555	0,089
x11	30,31	24,555	0,097
x12	29,995	24,62	0,096
x13	30,64	24,895	0,094
x14	30,645	25,21	0,091
x15	27,755	24,81	0,1
x16	28,535	25,1	0,098
x17	29,205	25,19	0,089
x18	29,155	25,265	0,092
x19	29,16	25,215	0,091
x20	28,165	24,875	0,103
x21	28,825	24,685	0,095

M2 – őszi mérés átlagai

		Mérési magasság	CO2 [ppm]	Páratartalom [%]	Hőmérséklet [°C]	Légsebesség [m/s]
	x1	boka	513,64	42,08	19,79	0,09
		ülő	631,73	38,86	23,12	0,09
	x2	boka	542,09	40,59	23,31	0,09
		ülő	542,09	40,59	23,31	0,10
	x3	boka	607,86	40,97	22,93	0,10
		ülő	640,75	41,16	22,74	0,09
	x4	boka	673,64	41,35	22,55	0,09
		ülő	701,09	41,75	23,06	0,10
	x5	boka	784,55	39,13	24,47	0,09
		ülő	774,64	38,55	25,05	0,09
	x6	boka	858,18	44,20	24,66	0,10
		ülő	821,36	41,66	24,57	0,10
	x7	boka	542,09	38,53	23,58	0,09
		ülő	543,32	39,76	24,71	0,09
	x8	boka	541,68	39,36	23,09	0,10
		ülő	542,41	40,09	23,82	0,10
	x9	boka	541,27	40,20	22,60	0,09
		ülő	540,73	39,81	22,87	0,09
	x10	boka	648,86	40,16	23,20	0,09
		ülő	656,18	40,09	23,40	0,10
E02	x11	boka	756,45	40,12	23,80	0,10
		ülő	771,64	40,36	23,92	0,09
	x12	boka	754,75	40,12	23,92	0,09
		ülő	771,67	40,36	23,92	0,10
	x13	boka	814,27	39,42	24,31	0,09
		ülő	799,73	39,40	24,44	0,10
x14	boka	635,00	35,49	24,70	0,10	
	ülő	629,09	35,63	24,63	0,10	
x15	boka	630,18	36,16	24,53	0,10	
	ülő	630,82	36,24	24,50	0,10	
E07	x16	boka	635,45	35,86	25,22	0,10
		ülő	641,64	36,36	25,10	0,10
	x17	boka	653,91	37,04	24,80	0,10
		ülő	653,64	37,22	24,79	0,10
x18	boka	701,27	37,17	24,78	0,10	
	ülő	696,77	37,58	24,80	0,10	
E09	x19	boka	705,27	37,57	24,66	0,10
		ülő	705,27	38,06	24,75	0,10
	x20	boka	697,27	36,77	24,89	0,10
		ülő	688,27	37,10	24,86	0,10
x21	boka	649,82	36,23	25,10	0,10	
	ülő	626,91	35,49	25,30	0,10	

M3 melléklet – Őszi PMV-PPD adatai

	Valós MRT-vel AZ ÁTLAG		Ta=Tr	
	PMV	PPD(%)	PMV	PPD(%)
1	0,005600259	5,000649229	-0,09682	5,194124
2	0,276482531	6,587598045	0,30491	6,932138
3	0,263439236	6,440921941	0,2118	5,930431
4	0,271229955	6,527669064	0,192984	5,77221
5	0,678378417	14,67232286	0,624523	13,18419
6	0,501993733	10,26711251	0,607109	12,72989
7	0,357347179	7,657457017	0,487805	9,971324
8	0,241724653	6,21261658	0,325468	7,202599
9	0,188836247	5,73932036	0,183261	5,696245
10	0,250529286	6,302798187	0,283255	6,666588
11	0,428313546	8,82560079	0,425722	8,779145
12	0,418756806	8,65573587	0,420063	8,678713
13	0,494332376	10,10631838	0,523633	10,73498
14	0,513859092	10,52114596	0,564748	11,67979
15	0,472614018	9,664274591	0,535608	11,00259
16	0,608550605	12,76700835	0,676434	14,61642
17	0,557805544	11,51510736	0,602795	12,61941
18	0,569137564	11,78498387	0,602934	12,62295
19	0,557982999	11,5192906	0,586331	12,20509
20	0,578656742	12,01599173	0,617737	13,00558
21	0,828132986	19,46675604	0,680806	14,74237

M4 melléklet – Tavaszi PMV-PPD

Mérési hely	Ruházat	PMV	PPD(%)
1	1,2	0,254427533	6,343766719
2	1	0,154184687	5,492629773
3	1	0,227600212	6,07474639
4	0,8	0,061210706	5,077572637
5	1	0,059232654	5,072639281
6	1	0,274826428	6,568577299
7	1	0,109691227	5,249205559
8	1	0,04442471	5,04085719
9	0,8	0,275960583	6,581590863
10	0,8	0,133452116	5,368956865
11	0,8	0,160465491	5,533628354
12	1	0,180452294	5,675038873
13	1	0,264074511	6,447899809
14	0,8	0,056890158	5,067006686
15	0,8	0,113602058	5,267302563
16	0,8	-0,01415964	5,004150393
17	0,8	0,044712104	5,041387578
18	0,8	0,057829585	5,069238253
19	0,8	0,04583809	5,043498553
20	0,8	0,099143991	5,20356556
21	0,8	0,127515843	5,336839755

M5 melléklet – Felületek hőmérséklete- október

	Átlagos hőmérséklet [C°]				MRT
	Falak	Padlók	Mennyezetek	Ablakok	
1	23,00	25,20	23,00	22,20	23,35
2	23,00	22,70	23,20	22,50	22,85
3	23,00	23,50	24,80	23,30	23,65
4	24,00	23,80	25,30	23,20	24,08
5	25,80	25,00	26,00	25,50	25,58
6	23,00	22,50	23,20	23,00	22,93
7	22,20	21,80	22,50	21,80	22,08
8	22,20	21,90	22,50	21,70	22,08
9	22,80	23,10	23,40	22,00	22,83
10	22,60	23,00	23,40	22,00	22,75
11	24,00	23,40	24,20	24,00	23,90
12	24,00	23,40	24,20	24,00	23,90
13	24,00	23,40	24,20	24,00	23,90
14	23,80	24,10	24,20	23,30	23,85
15	23,80	23,40	23,60	23,20	23,50
16	24,00	24,10	24,40	23,80	24,08
17	24,00	24,10	24,40	23,80	24,08
18	24,30	24,20	24,40	24,10	24,25
19	24,30	24,20	24,40	24,10	24,25
20	24,30	24,20	24,40	24,10	24,25
21	27,30	25,90	30,10	26,60	27,48

M6 melléklet – AMV kérdőív válaszai

Mérési pont	Levegő hőmérséklete jelenleg						Levegő páratartalma				Friss levegő érzete			Diszkomfort		
	Nagyon hideg	Hideg	Kicsit hideg	Kellemes	Kicsit meleg	Meleg	Nagyon meleg	Száraz	Megfelelő	Párás	Levegőtány	Megfelelő	Kellemes	Huzatérzet	Féjfájás	Szemszárazság
1			x						x							
2			x	x					x					x		
3					x					x						
4											x					
5											x					
6			x									x				
7			x										x			
8													x			
9													x			
10													x			
11													x			
12			x					x								
13											x					
14												x				
15													x			
16													x			
17																
18																
19																
19																
19																
19																
20																
20																
20																
20																
20																
21																
darab	0	0	6	11	13	0	1	2	28	0	12	16	1	1	3	1

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függeléke: A MATE egységes szakdolgozat / diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről (módosítva: 2025. október 16.)

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Enzminger Dávid Ádám Ádám
A Hallgató Neptun kódja: N28JN9
A dolgozat címe: Kétszintes irodaépület komfortparamétereinek vizsgálata
A megjelenés éve: 2025
A konzulens intézetének neve: Műszaki Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Épületgépészeti és Energetikai Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: Budapest, 2025.10.31.


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Enzminger Dávid Ádám (név) (hallgató Neptun azonosítója: N28JN9) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: 2025 év 10 hó _____ nap


belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendó.

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

7. sz. melléklete: Műszaki Intézet külső konzulensi nyilatkozat

KÜLSŐ KONZULENSI NYILATKOZAT

ENEMINGER PÁVÓ ÁDÁM (név) (hallgató Neptun azonosítója: 11283N9)

külső konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon rendszeresen megjelent.

Kelt: 2025. év 11. hó 07. nap



külső konzulens

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Enzminger Dávid Ádám
Neptun-kódja:	N28JN9
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input type="checkbox"/> BSc/BA <input checked="" type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	Diplomamunka
A munka címe:	Kétszintes irodaház komfortparamétereinek vizsgálata

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
fordítás idegen cikkekből	ChatGPT, GPT-5	irodalom kutatáshoz

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI- eszköz neve, verziója, elérhetősége	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma
Programkód írás számításhoz	ChatGPT, GPT-5, https://chat.openai.com	6.3 fejezet	1

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....

.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Budapest, 2025. 10.31


Hallgató aláírása


Konzulens/Témavezető aláírása

Mesterséges intelligencia (MI) prompt-napló kutatók, hallgatók, doktoranduszok részére

Útmutató: Ez a melléklet a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Mesterséges Intelligencia használatáról szóló Szabályzata 2. és 3. számú függeléke szerinti nyilatkozat II. táblázatában jelölt, jelentős tartalmi hozzájárulást jelentő MI-interakciókat dokumentálja.

Az itt szereplő sorszámoknak meg kell egyezniük a nyilatkozat II. táblázatának „A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma” oszlopában megadott számokkal.

NAPLÓBEJEGYZÉS SORSZÁMA: 1

(Kérjük, válasszon az A vagy B opció közül!)

A) Részletes dokumentáció

A megadott prompt: Készíts egy Python scriptet, amely mért környezeti paraméterekből (Ta, Tr, RH, légsebesség), valamint a met és clo értékekből automatikusan kiszámolja a PMV és PPD értékeket. Irodai ülőmunkát végző személyekre. Bemeneti és kimeneti adatok excel formátumban.

Az MI által adott nyers válasz: Rendben. Itt a kész, futtatható Python-script, ami Excelből beolvassa a Ta, Tr, v, RH, M_met, Icl_clo oszlopokat, kiszámolja a PMV és PPD értékeket (irodai ülőmunkára alkalmas beállításokkal), majd Excelbe visszaírja. A ruhafelületi hőmérsékletet (t_cl) iterációval határozom meg, utána a Fanger-féle hőmérlegből jön a PMV/PPD. Másold el például pmv_ppd_excel.py néven, és a mappába tegyél egy adatok.xlsx fájlt a megadott fejlécoszlopokkal.

B) Hivatkozás megosztott beszélgetésre:

Nyilvánosan elérhető beszélgetés linkje (URL):

(A további bejegyzésekhez másolja ezt a sablont a megfelelő új sorszámmal.)