

IRODAÉPÜLETEK HŐ- ÉS LEVEGŐMINŐSÉGI KOMFORTJÁNAK ELEMZÉSE

A Magyar Tudományos Akadémia doktora cím
elnyerésére benyújtott értekezés

Dr. Kajtár László

Budapest, 2019

Tartalomjegyzék

Ábrajegyzék	4
Táblázatjegyzék.....	6
Jelölésjegyzék.....	7
1. Bevezetés.....	9
1.1 Hőkomfort	11
1.2 Belsőlevegő-minőség komfort.....	14
2. A szakirodalom áttekintése	15
2.1 A hőkomfort méretezésének szakirodalma.....	15
2.1.1 A hőérzékelés	15
2.1.2 A hőkomfort elemzése	19
2.1.3 A PMV modell	20
2.1.4 Hősemlegesség – kellemes hőkörnyezet.....	21
2.1.5 A PMV modell alkalmazásának tapasztalatai	23
2.1.6 Adaptív komfort	24
2.2 A levegőminőség méretezésének szakirodalma.....	26
2.2.1 A szagérzékelés, olfaktometria.....	26
2.2.2 A belsőlevegő-minőség tématerület fejlődése.....	32
2.2.3 Fanger-skála.....	33
2.2.4 Hedonic-skála.....	34
2.3 A szakirodalom értékelése.....	35
3. Kutatási cél	36
4. Módszer	37
4.1 Hőkomfort	37
4.1.1 Hőkomfort mérése és kérdőíves elemzése	37
4.1.2 Az épületszerkezetek hőtechnikai tulajdonságainak hatása a hőkomfortra	39
4.2 Belsőlevegő-minőség komfort.....	40
4.2.1 Laboratóriumi mérések helyszíne, berendezések	40
4.2.2 A mérőalanyok szagérzékelésének mérése	46
4.2.3 A szagimisszió mérés menete.....	46
5. Mérési eredmények	49
5.1 Hőkomfort	49
5.1.1 Belsőlevegő hőmérséklet és nedvességtartalom.....	49
5.1.2 PMV és PPD mérés eredményei.....	49
5.1.3 A hőkomfort élőalanyos vizsgálatának eredményei	50
5.2 Belsőlevegő-minőség	51
6. Mérési eredmények értékelése	52
6.1 Hőkomfort	52
6.1.1 Homogenitás vizsgálatok	52
6.1.2 Valószínűségi változók összehasonlítása	55
6.1.3 Valószínűségi változók átváltása.....	57
6.1.4 Összefoglalás, értékelés.....	58
6.1.5 Az épületszerkezetek hőtechnikai követelményeinek hatása a hőkomfortra	58

6.2	Belsőlevegő-minőség	62
6.2.1	A mérőalanyok szagérzékelésének értékelése.....	62
6.2.2	A Hedonic- és a Fanger-skála szerinti szagintenzitás mérési eredmények összehasonlítása matematikai statisztikai módszerekkel	64
6.2.3	A két változó gyakoriságának és kapcsolatának valószínűségelméleti vizsgálata	65
6.2.4	H és F közötti korreláció erejének vizsgálata különböző módon.....	68
6.2.5	Alakfelismerés modell	70
6.2.6	Az F változó egyszeres osztályozási vizsgálata (one-way ANOVA).....	74
6.2.7	Az F változó normalitásának ellenőrzése	78
6.2.8	A feltételes eloszlások vizsgálata az egyesített adatokon	82
6.2.9	Összefoglalás, értékelés.....	85
7.	Az új tudományos eredmények megfogalmazása tézisekben	87
8.	Publikációk	91
8.1	Felhasznált szakirodalom	91
8.2	A disszertáció témaköréhez kapcsolódó saját publikációk a kandidátusi (PhD)-fokozat megszerzése után	99
8.2.1	Szakkikkek idegen nyelven.....	99
8.2.2	Lektorált szakkikkek magyar nyelven	100
8.2.3	Konferencia kiadványokban megjelent idegen nyelvű lektorált publikációk	101
8.2.4	Konferencia kiadványokban megjelent magyar nyelvű lektorált publikációk	103
Mellékeltek.....		104
M1.	Melléklet – Hőérzeti mérések a 3. emeleten	104
M2.	Melléklet – Hőérzeti kérdőív.....	105
M3.	Melléklet – 3. emelet mért légállapot adatai	106
M4.	Melléklet – 3. emelet hőérzeti mérés adatai	107
M5.	Melléklet – A levegőminőség laboratóriumi mérés eredményei.....	108
M6.	Melléklet – Statisztikai kiértékelések (IBM SPSS Statistics eredménylapok).....	110

Ábrajegyzék

1.1 ábra	Fanger komfortdiagramja az ambiens hőmérséklet és a nedves hőmérséklet koordináta rendszerben (könnyű öltözetű emberre [$I_{cl}=0,5$ clo], közepes aktivitásra [$M/F_{Du}=116$ W/m ²]) [6].....	11
1.2 ábra	Fanger komfortdiagramja az ambiens hőmérséklet és a légsebesség koordináta rendszerben (könnyű öltözetű emberre [$I_{cl}=0,5$ clo]) [6].....	11
1.3 ábra	Fanger komfortdiagramja a levegőhőmérséklet és a közepes sugárzási hőmérséklet koordináta rendszerben (könnyű öltözetű emberre [$I_{cl}=0,5$ clo], nyugalmi állapotra [$M/F_{Du}=58$ W/m ²]) [6].....	12
1.4 ábra	A hőkönyezettel várhatóan elégedetlenek százalékos aránya (PPD) a PMV függvényében [10]	13
2.1 ábra	A bőr szerkezete [45], [135]	16
2.2 ábra	A hőmérséklet-receptorok érzékenysége [45], [136].....	18
2.3 ábra	Az agy hőszabályozó mechanizmusa [45], [137].....	18
2.4 ábra	Az ASHRAE-55 2010 elfogadhatósági kényelmi zónák (80% és 90%)	24
2.5 ábra	Az orr szerkezete [5]	26
2.6 ábra	Elektroolfactogramm [10].....	27
2.7 ábra	Az érzetintenzitás csökkenése az adaptáció miatt különböző anyagoknál [32]	28
2.8 ábra	Propanol szagérzékelése adaptáció során [16]	28
2.9 ábra	Az érzetintenzitás az ingererősség függvényében Stevens szerint [95].....	30
2.10 ábra	Szabványosított szagintenzitás skála a butanol koncentráció alapján [2]	31
2.11 ábra	Dravnieks olfaktométer [2]	32
2.12 ábra	Különböző anyagok szagintenzitása Dravnieks olfaktométer alapján [2]	32
2.13 ábra	Fanger-skála [26].....	34
2.14 ábra	Hedonic-skála az emberekkel történő szag vizsgálathoz [2].....	34
4.1 ábra	Thermal Comfort Meter (típus: Brüel & Kjær 1212)	39
4.2 ábra	Belsőlevegő-minőség laboratórium alaprajzi elrendezése	40
4.3 ábra	Belsőlevegő-minőség vizsgálókamra oldalnézete és a mennyezetkiosztás	41
4.4 ábra	A mérőállás elvi vázlata [134]	43
4.5 ábra	Mérőállás a belsőépítészeti anyagok szennyezőanyag emissziójának meghatározásához [134]	43
4.6 ábra	Sartorius BA210S laboratóriumi mérleg	44
4.7 ábra	Olf-boksz [134]	44
4.8 ábra	Levegőminőségi etalon [9]	45
4.9 ábra	Acetonforrás [9]	45
4.10 ábra	A megkövetelt mérési pontosság tréningelt személyek esetében [129].....	46
4.11 ábra	Belsőépítészeti anyagok érzékelhető szennyezőemissziójának meghatározása élőalanyok segítségével [134].....	47
4.12 ábra	A mérőcsoport által vizsgált anyagminták [134].....	48
5.1 ábra	A PMV mérési eredmények hisztogramjai (3. emelet).....	50
5.2 ábra	A hőkomfort kérdőívek eredményei.....	51
6.1 ábra	PMV eredmények az ablak hőátbocsátási tényezője függvényében [S16]	61
6.2 ábra	PPD eredmények az ablak hőátbocsátási tényezője függvényében [S16]	61
6.3 ábra	A VII. mérőcsoport (45 fő) mérési eredményeinek átlaga [134]	63
6.4 ábra	A VII. mérőcsoport legrosszabb alany mérési eredményei [134]	63
6.5 ábra	A VII. mérőcsoport legjobb alany mérési eredményei [134].....	64
6.6 ábra	A H változó összesített oszlopdiagramja	67
6.7 ábra	Az F változó oszlopdiagramja az átlag- és szórásértékekkel	67
6.8 ábra	Az F_I változó eloszlása és P-P diagramja.....	79

6.9 ábra Az F_2 változó eloszlása és P-P diagramja.....	80
6.10 ábra Az F_3 változó eloszlása és P-P diagramja.....	80
6.11 ábra Az F_4 változó eloszlása és P-P diagramja.....	80
6.12 ábra Az F_5 változó eloszlása és P-P diagramja.....	81
6.13 ábra Az F_6 változó eloszlása és P-P diagramja.....	81
6.14 ábra Az F_7 változó eloszlása és P-P diagramja.....	81
6.15 ábra Az F_8 változó eloszlása és P-P diagramja.....	82
6.16 ábra Az F változó $H=1$ feltételes eloszlása és P-P diagramja.....	83
6.17 ábra Az F változó $H=2$ feltételes eloszlása és P-P diagramja.....	83
6.18 ábra Az F változó $H=3$ feltételes eloszlása és P-P diagramja.....	83
6.19 ábra Az F változó $H=4$ feltételes eloszlása és P-P diagramja.....	84
6.20 ábra Az F változó $H=5$ feltételes eloszlása és P-P diagramja.....	84

Táblázatjegyzék

2.1 táblázat	Az irodai munka metabolikus értékei	26
2.2 táblázat	Vegyületek érzékelési küszöbértékei [2].....	29
4.1 táblázat	Az előállított érzékelhető levegőminőségi etalonok	45
5.1 táblázat	A levegő hőmérséklet és nedvességtartalom mérési eredményei (3. emelet).....	49
5.2 táblázat	A hőkomfort mérés eredményei (3. emelet).....	50
5.3 táblázat	Komfort kérdőív válaszok	51
6.1 táblázat	A kérdőíves válaszok homogenitásának ellenőrzése χ^2 -próbával a 3. emelet és a többi helyiség (komplementer szintek) között	54
6.2 táblázat	A PMV mérési helyek és a többi helyiség (komplementer rész) hőmérsékleti és páratartalom adatainak statisztikái a 3. emeleten.....	54
6.3 táblázat	A PMV mérési helyek és a többi helyiség (komplementer rész) hőmérsékletének (t) és páratartalmának (φ) összehasonlítása Mann-Whitney U, Wilcoxon W és kétmintás Kolmogorov-Smirnov próbával a 3. emeleten	55
6.4 táblázat	Várható értékek és szórás eredmények	57
6.5 táblázat	PMV-PPD ablak közelében („a” eset)	60
6.6 táblázat	PMV-PPD ablak közelében („b” eset)	60
6.7 táblázat	PMV-PPD ablak közelében („c” eset)	61
6.8 táblázat	Anyagminták móduszai, legnagyobb gyakoriságú értékei a Hedonic-skálán	66
6.9 táblázat	A nyolc anyagminta és összesített eredménye a Hedonic-skálán.....	66
6.10 táblázat	A Fanger-skála Hedonic-skála szerinti csoportosítása	67
6.11 táblázat	Korrelációs számítás összefoglaló táblázata	69
6.12 táblázat	A H_1 anyagminta NN-osztályozási táblázata.....	70
6.13 táblázat	A H_2 anyagminta NN-osztályozási táblázata.....	71
6.14 táblázat	A H_3 anyagminta NN-osztályozási táblázata.....	71
6.15 táblázat	A H_4 anyagminta NN-osztályozási táblázata.....	72
6.16 táblázat	A H_5 anyagminta NN-osztályozási táblázata.....	72
6.17 táblázat	A H_6 anyagminta NN-osztályozási táblázata.....	72
6.18 táblázat	A H_7 anyagminta NN-osztályozási táblázata.....	73
6.19 táblázat	A H_8 anyagminta NN-osztályozási táblázata.....	73
6.20 táblázat	Az összesített NN-osztályozás, azaz a H -ra becsült érték osztályozási táblázata	74
6.21 táblázat	Az összesített NN-osztályozás tananyag táblázata	74
6.22 táblázat	Anyagminták szerinti Fanger-skála értékek leíró statisztikák	76
6.23 táblázat	Homoszkedasztikus vizsgálat Levene-próbával	76
6.24 táblázat	Átlagok egyenlőségének vizsgálata robusztus Welch-próbával	76
6.25 táblázat	Fanger anyagminta csoportpárok összehasonlítása Tamhane-teszttel	77
6.26 táblázat	Anyagminták szerinti Fanger értékek normalitás vizsgálata egymintás Kolmogorov-Szmirnov egzakt próbával.....	79
6.27 táblázat	$H=1$ (kellemes) feltételes Fanger értékek egymintás Kolmogorov-Szmirnov egzakt próbája	82
6.28 táblázat	Hedonic szerinti feltételes Fanger értékek normalitás vizsgálata egymintás Kolmogorov-Szmirnov egzakt próbával.....	85
6.29 táblázat	Korrelációs számítás összefoglaló táblázata	85

Jelölésjegyzék

a	szavazatok átlagértéke a Fanger-skálán [-]
AMV	“Actual Mean Vote”, hőérzeti szavazati érték [-]
b_i	hőmérséklet átszámítási tényező [-]
clo	“clothing”, ruházat termikus ellenállása [1 clo = 0.155 m ² K/W]
c	levegőminőség [dp]
C	konvekciós hőveszteség a ruházattal borított test külső felületéről [W]
C_i	kölcsönös sugárzási együttható [-]
d	szórás [-]
d_i	rangok közti differencia [-]
E	várható érték [-]
E	teljes párolgásos hőleadás [W]
E_d	bőrön keresztül páradiffúziós hőveszteség [W]
E_{sw}	bőr felszínéről az izzadás következtében párolgásos hőveszteség [W]
E_{re}	kilégzés rejtett hője okozta hőveszteség [W]
f_{cl}	a mezítelen és ruházattal borított testfelület aránya [-]
F	Fanger-skála érték [-]
\bar{F}	Fanger értékek átlaga [-]
F_E	az ember testfelülete [m ²]
F_{Du}	az emberi test Du Bois felülete [m ²]
F_s	termikus érzékenységkülönbség [-]
G	érezhető szennyezőanyag terhelés [olf]
H	Hedonic-skála érték [-]
\bar{H}	Hedonic értékek átlaga [-]
I_{cl}	ruházat termikus ellenállása [clo]
k	falszerkezet hőátbocsátási tényezője [W/m ² K]
K	hővezetés a ruházaton keresztül [W]
L	száraz hőveszteség kilégzéssel [W]
m	átlag [-]
met	“metabolic rate of human body”, emberi test hőtermelése [1 met = 58,2 W/m ²]
M	metabolikus hőtermelés [W]
M/F_{Du}	aktivitási szint, [met]
n	összes adatpárok száma [-]
n_c	megfelelő adatpárok száma [-]
n_d	eltérő adatpárok száma [-]
N	adatok száma [-]
p_i	valószínűség [-]
p_{vg}	levegőben a vízgőz parciális nyomása [Pa]
P	valószínűségi függvény [-]
PMV	“Predicted Mean Vote”, várható hőérzeti érték [-]
PD	“Percentage of Dissatisfied”, várható elégedetlenségi szint [%]
PPD	“Predicted Percentage of Dissatisfied”, hőérzettel várható elégedetlenségi szint [%]
\dot{Q}	hőáram [W]
r	Pearson-féle korrelációs mérőszám [-]

R_x	X értékkészlete [-]
S	sugárzásos hővesztés a ruházattal borított test külső felületéről [W]
t	hőmérséklet [°C]
t_{cl}	ruházat felületi hőmérséklete [°C]
t_{Fi}	határoló felületek hőmérséklete [°C]
t_{ks}	közepes sugárzási hőmérséklet [°C]
t_{lb}	belsőlevegő hőmérséklet [°C]
\tilde{X}	diszkrét valószínűségi változó [-]
\tilde{X}	transzformált diszkrét valószínűségi változó [-]
Y	folytonos valószínűségi változó [-]
v	relatív légsebesség [m/s]
W	mechanikai munka [W]
$WBGT$	“Wet-Bulb Globe Temperature”, nedves gömb hőmérséklet [°C]

Görög jelölések

α	konstans [-]
β	konstans [-]
η	mechanikai munka hatásfoka [%]
φ	relatív nedvességtartalom [%]
φ_{EFi}	az emberi testnek az egyes felületekre vonatkoztatott besugárzási tényezője (felület és felület közötti sugárzásos hőcsere) [-]
ρ	Spearman-féle rangkorrelációs mérőszám [-]
σ	standard szórás [-]
σ_F	Fanger értékek szórása [-]
σ_H	Hedonic értékek szórása [-]
τ	Kendall-féle rangkorrelációs mérőszám [-]
μ	standard várható érték [-]

1. Bevezetés

A komfortterekben biztosítani kell a kellemes komfortot. Ez magába foglalja a hő- és levegőminőségi, akusztikai, vizuális komfortot, valamint a rezgések hatását. Kutatómunkámban a hő- és levegőminőségi komforttal foglalkozom. Az ezredfordulót megelőző évtizedtől hazánkban, különösen Budapesten új irodaépületeket létesítettek. A komfortigények miatt a klimatizálás és a központi kezelt frisslevegő ellátás nélkülözhetetlen volt. A nyári időszak hőkomfortját csak így lehetett biztosítani. A kellemes komfort nemcsak közérzeti, hanem gazdasági tényező is. A hatékony szellemi munkavégzés igényelte a klimatizálást az irodaépületekben.

Ezen belül elsősorban az irodák hő- és levegőminőségi komfortjával foglalkoztam. A komfort igények szempontjából kiemelt jelentőségük van az irodáknak. Az itt dolgozó emberek fokozott koncentrációt igénylő szellemi munkát végeznek. Emiatt a komfort biztosítása irodákban fontosabb, mint más terekben, pl. étterem, színház, mozi stb. esetében. Az utóbbi terekben az emberek szórakoznak, kikapcsolódnak, pihennek. Természetesen itt is szigorú követelményeket kell teljesíteni, azonban ezekben a terekben a személyek a munkaidőnél rövidebb időtartamot töltenek.

A műszaki – tudományos problémát maga az „élet” vetette fel. Budapesten sok bér irodaház épült az elmúlt húsz évben. Létesítésük és üzemeltetésük során jól elkülönültek a tulajdonosi, építői, üzemeltetői és bérlői szempontok, probléma megközelítések. Természetesen abban közös az érdekeltségük, hogy az irodai dolgozók kellemes komfort mellett, jó irodai környezetben végezhesenek hatékony munkát. Több projektnél a már elkészült épületben az irodai komfort objektív értékelésére, fejlesztési javaslat kidolgozására vonatkozóan kaptam felkérést. Volt példa, amikor a létesítés munkáiba is bekapcsolódtam. Az elméleti alapok kidolgozását, általános érvényű következtetések levonását segítették a témakörben elnyert OTKA pályázatok és nagyobb volumenű K+F megbízások teljesítése.

A kutatómunkába eredményesen vontam be PhD doktoranduszokat, TDK-zó hallgatókat. Vezetésemmel sikeresen védték meg PhD disszertációjukat Herczeg Levente (2009), Hrustinszky Tamás (2013), Kassai Miklós (2011), Szabó János (2018) és Bokor Balázs (2019).

Az uralkodó építészeti stílusnak megfelelően az irodaépületek üvegfelületei nagyok, az üvegezési arány jellemzően 45-55% közötti, esetenként ezt is meghaladja. Ma már gyakran találkozunk a padlótól a mennyezetig terjedő üvegfelületekkel is. Az épületek határoló szerkezetei szükségszerűen megfelelnek az építés, még inkább a tervezés idején hatályos vonatkozó hővédelmi követelményeknek, melyek az elmúlt években szigorodtak.

A másik jellegzetesség az épületgépészeti rendszerre vonatkozik. A nagy üvegfelületek miatt megnövekszik a nyári instacioner hőterhelés, mely hagyományos módon szellőző levegővel már nem szállítható el gazdaságosan a komfortparaméterek biztosítása mellett. A tervezők gyakran szükségszerűen egymást kiegészítő két rendszert alkalmaznak. A hőterhelés döntő részét közvetlen elpárologtatós beltéri egységekkel, fan-coil készülékekkel, klímagerendákkal, vagy hűtőmennyezettel kompenzálják. A központi légtechnikai rendszer feladata pedig a frisslevegő ellátás. Az energiamegtakarítás napjaink egyik kiemelt tématerülete. Kihatása azonban az emberre, komfortérzetére, valamint munkavégző képességére változó, gyakran kedvezőtlen. Az energiamegtakarítási beavatkozások esetén is biztosítani kell a kellemes hő- és levegőminőségi komfortot.

Az 1990-es években, kezdetben elsősorban télen, hőérzeti panaszokkal találkoztunk irodaházakban. Az irodai dolgozók télen hidegérzetre panaszkodtak az akkori vonatkozó hazai előírásoknak megfelelő ablakok közelében. A panaszok másik köre a belsőlevegő-minőségre vonatkozott. A dolgozók a frisslevegő hiányt említették gyakran. A magasabb belsőlevegő hőmérséklet és frisslevegő térfogatáram megvalósítása nagyobb beruházási és üzemeltetési költséget jelentenek. Jellemzően az irodaházak tulajdonosai, üzemeltetői és használói (bérleti) mind más-más jogi személyek. Ezért a belsőlevegő hőmérséklet és frisslevegő térfogatáram növelése nem csupán elhatározás kérdése, hiszen a tulajdonos és a bérlő ebben ellenérdekű fél. Ugyanakkor a bérlő a kifizetett bérleti díjért elvárja a megfelelő szolgáltatást, a megfelelő hő- és levegőminőségi komfortot.

Az EU 2002/91EK direktívához kapcsolódó hazai előírások a külső határoló szerkezetek hőtechnikai tulajdonságainak jelentős javulását eredményezték. A falak esetében a hőátbocsátási tényező $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ értékről (követelményérték 1986-tól) a TNM rendeletben (2006) lecsökkent $0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$ -re. Az új EU 2010/31/EU irányelv a határoló szerkezetek hőtechnikai tulajdonságainak további javítását írta elő. A TNM rendelet módosítása szerint 2018.01.01-től a hőátbocsátási tényező értéke $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$. Hőtechnikai és hőérzeti szempontból még nagyobb szerepe van a külső üvegfelületek hőátbocsátási tényező értékében bekövetkezett változásnak. A korábban (2000 előtt) alkalmazott ablakok, üvegeportálok hőátbocsátási tényezője jellemzően $2,5 - 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ volt (követelményérték $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ 1986-tól). A TNM rendelet 2006-ban ezt csökkentette fa illetve műanyag keretű nyílászáróknál $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ -re. Az új érték 2018.01.01-től $1,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Az üvegfelület esetében a követelmény $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.

A falaknál csak $4 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$ -kal hidegebb üvegfelületek esetében már kevesebb hidegérzeti (aszimmetrikus sugárzás) panasz jelentkezik. **Ennek ellenére újra és újra megfogalmazódik az a kérdés, hogy milyen belső hőkomfortjellemzők esetén kellemes az irodai dolgozók hőérzete.**

A hőkomfort kutatások mellett levegőminőségi kutatásokat is végeztünk. A komforttér levegőjében lévő különböző levegőszennyező anyagok bármelyike műszerrel mérhető. Együttes hatásuk értékeléséhez nem áll rendelkezésre mérőműszer. Ez a feladat élőalanyok alkalmazásával oldható meg. A szakterületen a nemzetközi gyakorlatban alkalmazhatók a nem tréningelt személyek (naiv panel), valamint a tréningelt személyek (olf tester). Az előbbi esetben nagyobb létszámú (minimum 32 fő), az utóbbi esetben kisebb létszámú (6 fő) mérőcsoporttal oldható meg a feladat. A nemzetközi gyakorlatban Fanger kutatási eredményeit, módszereit alkalmazzák, mely a nem tréningelt mérőcsoporttal kapcsolatos. A hazai kutatók közül Hrustinszky foglalkozott a témakörrel [41].

A komfort vizsgálatoknál különböző tudományos kérdőíveket alkalmaznak. A hőkomfort vizsgálatoknál használatos az ASHRAE diszkrét értékeket tartalmazó skála. A hőkomfort minősítésénél két értéket alkalmaznak, mely a szakirodalmi terminológia szerint [9], [115], [121]:

PMV: predicted mean vote (várható hőérzeti érték)

A Fanger-féle PMV modell szerint számítható, illetve műszerrel is közvetlen mérhető.

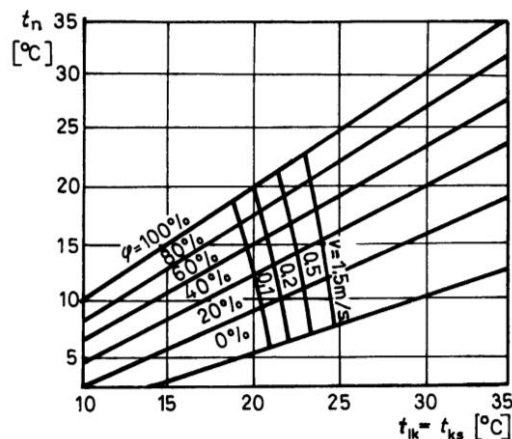
AMV: actual mean vote (aktuális hőérzeti érték)

A személyek diszkrét értékeket tartalmazó hőérzeti skálán leadott szavazata alapján határozható meg.

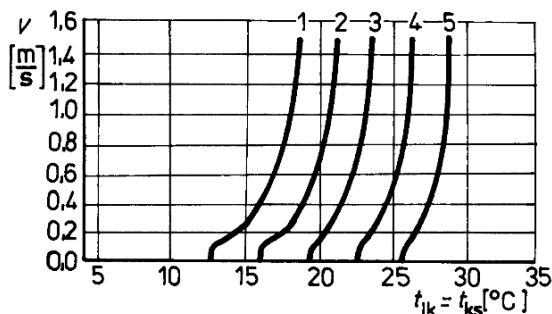
A belsőlevegő-minőség értékelhető a Fanger fokozatmentes skálán, valamint a Hedonic ordinális diszkrét értékeket tartalmazó skálán.

1.1 Hőkomfort

Az irodalmi összefoglaló keretében először a lényegesebb méretezési és értékelési módszereket mutatom be. Fanger az ember hőegyensúlyi egyenletéből kiindulva dolgozta ki a komfort-diagramokat [24], melyeket az ASHRAE kiadványban publikálta. A komfortdiagramok nyugalomban lévő emberre és az úgynevezett méretezési alapdiagram a komfortzónák előzetes meghatározására, téli és nyári állapotra vonatkoznak. Ezek három tevékenységi szintet és négy ruházatot vesznek alapul. A diagramok a kellemes hőkomfortot derékszögű koordináta rendszerben mindig két paraméter függvényében fejezik ki, a többi jellemző állandóként szerepel. A diagramok száma 28, mely három csoportba sorolható. Ebből két diagram csoport esetében (összesen 16 diagram) a levegő hőmérséklet a felületek közepes sugárzási hőmérsékletével azonos (1.1 és 1.2 ábra). Szakterületünkön a harmadik diagram csoport (12 diagram) használható legáltalánosabban (1.3 ábra). Ezeknél a közepes sugárzási hőmérsékletet ábrázolják a levegőhőmérséklet függvényében. Alkalmazhatóságuknak az szab határt, hogy a levegő relatív nedvességtartalma mindig 50%. Fanger további 15 segéd diagramot dolgozott ki, hogy az állandónak tekintett jellemzők változását is figyelembe vehessük. A komfort diagramok közös jellemzője, hogy 5%-os elégedetlenségi szintet vesznek figyelembe.

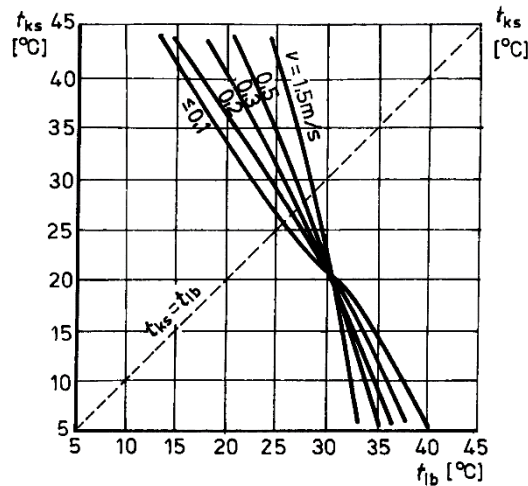


1.1 ábra Fanger komfortdiagramja az ambiens hőmérséklet és a nedves hőmérséklet koordináta rendszerben (könnyű öltözetű emberre [$I_{cl}=0,5$ clo], közepes aktivitásra [$M/F_{Du}=116$ W/m²]) [6]



1. $M/F_{Du}=174$ W/m² (nagy aktivitás),
2. $M/F_{Du}=145$ W/m²,
3. $M/F_{Du}=116$ W/m² (közepes aktivitás),
4. $M/F_{Du}=87$ W/m²,
5. $M/F_{Du}=58$ W/m² (nyugalmi állapot)

1.2 ábra Fanger komfortdiagramja az ambiens hőmérséklet és a légsebesség koordináta rendszerben (könnyű öltözetű emberre [$I_{cl}=0,5$ clo]) [6]



1.3 ábra Fanger komfortdiagramja a levegőhőmérséklet és a közepes sugárzási hőmérséklet koordináta rendszerben (könnyű öltözötű emberre [$I_{cl}=0,5$ clo], nyugalmi állapotra [$M/F_{Du}=58$ W/m²]) [6]

A hőérzeti értékelésre felhasználhatók a különböző mutatószámok is. Ezek általában a levegő és a környező felületek sugárzó hőmérsékletét veszik figyelembe matematikai összefüggés, vagy diagram formájában [6]:

- Raber és Hutchinson úgynevezett kényelmi száma,
- Missenard-féle eredő hőmérséklet,
- Rietschel és Raiss kellemes hőérzet diagram,
- Bedford-Liese kellemes hőérzet diagram,
- Macskásy hőérzeti diagram.

A levegő hőmérsékletét, a környező felületek hőmérsékletét és a levegő sebességét veszik figyelembe a mutatószámok következő csoportja. Közülük megemlítendő a gömbhőmérséklet (Vernon és Missenard) és a munkavédelmi vonatkozásban alkalmazott WBGT index [6], [24].

A levegő hőmérsékletét, relatív nedvességtartalmát és sebességét figyelembe véve dolgozta ki Leusden - Freymark kellemes hőérzeti diagramjait, Frank kényelmi diagramját [6].

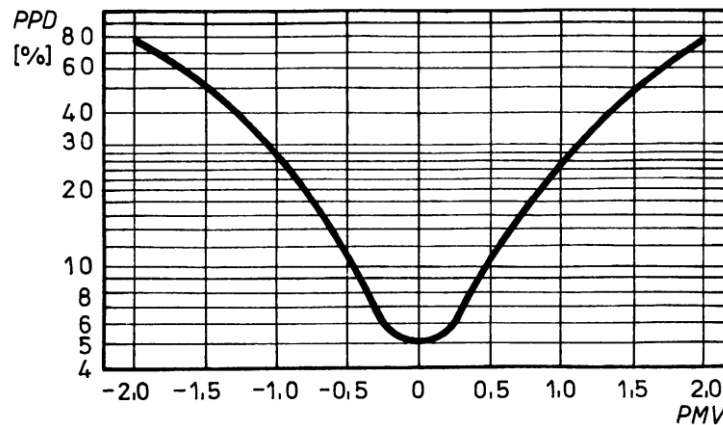
A mutatószámok közül a levegő hőmérsékletét, a környezeti felületek hőmérsékletét, a levegő sebességét és relatív nedvességtartalmát egyaránt figyelembe veszi az effektív hőmérséklet. Normál ruházat és fedetlen felsőtestű emberre dolgozta ki Houghton és Yaglou, Yaglou és Miller [10].

Bradtke, Rietschel és Raiss [6] alkalmazta a száraz, nedves és ezüstözött Kata-hőmérőt a hőérzeti értékeléshez, mellyel figyelembe vehető a levegő hőmérséklet, levegő sebesség, levegő nedvességtartalom és a környező felületek sugárzási hőmérséklete. A Kata-hőmérőt napjainkban már csak nagyon ritkán alkalmazzák a mérés körülményessége és a műszer pontatlansága miatt. Ma már csak munkaeğészségügyi vizsgálatoknál szerepel.

A komfortdiagramok továbbfejlesztéseként Fanger kidolgozta a zárt tér tetszőleges pontjára vonatkozóan a „várható hőérzeti érték” (PMV) és a „kedvezőtlen hőérzet százalékos valószínűsége”

(PPD) meghatározásának összefüggéseit [25]. A PMV elmélet kidolgozásakor a hőegyensúlyi alapegyenletből és az ASHRAE-féle pszichofiziológiai szubjektív hőérzeti skálából indult ki. Továbbá felhasználta saját, valamint Nevins és McNall laboratóriumi és helyszíni mérési eredményeit.

A nemzetközi és a hazai gyakorlatban a hőkomfort méretezésére és értékelésére alkalmazott PMV és PPD elmélet már negyven éves múlttal rendelkezik (1.4 ábra). A PMV az ember hőérzetét legkomplexebb módon fejezi ki, hat paraméter alapján határozható meg. A komplexitása abból adódik, hogy a paraméterek közül három a levegő állapotát írja le (hőmérséklet, nedvességtartalom, légsebesség), egy paraméter a környező felületek sugárzó hatását (közepes sugárzási hőmérséklet) veszi figyelembe, további két jellemző pedig az emberhez kapcsolódik (ruházat, tevékenységi szint).



1.4 ábra A hőkönyezettel várhatóan elégedetlenek százalékos aránya (PPD) a PMV függvényében [10]

Az ISO 7730 szabvány (1984) – melyet 14 ország, köztük Magyarország is elfogadott – javasol komfort követelmény értékeket. Megadja a kellemes hőérzetet ($PMV = 0$) biztosító operatív hőmérsékletet a tevékenységi szint és a ruházat hőszigetelő képessége függvényében.

Hazánkban a korszerűsített MSZ 04 140/3 tartalmazott módszert a hőérzeti méretezésre. Az üvegezett felületek hatását hőérzeti növekménnyel kompenzálja. Jelentős hátránya, hogy nem veszi figyelembe a tevékenységi szintet, a ruházatot és a felületi közepes hőmérsékletet is közelíti. A hazai gyakorlatban e szabvány szerint történt a méretezés.

A PMV-PPD elméleti alapjait mind figyelembe veszik az MSZ CR 1752:2000, valamint az MSZ EN 15251:2007 honosított EU szabványokban is rögzített eljárások. Így alkalmazásuk lehetővé teszi hazánkban is az elméleti alapokat legjobban felhasználó komfortértékelést. A kiegészítő diszkomfort tényezők is ismertek [121], [122].

A PMV-PPD elmélet és módszer alkalmazásával kapcsolatban bőséges – elsősorban nemzetközi – szakirodalom áll rendelkezésre. Ugyanakkor megállapítható, hogy a hazai gyakorlatban a PMV modell szerinti méretezés és értékelés rövid múlttal rendelkezik. Továbbá nem állnak rendelkezésre hazai, valós terekben végzett hőkomfort mérések alapján a PMV-AMV kapcsolatra vonatkozó eredmények.

1.2 Belsőlevegő-minőség komfort

A belsőlevegő-minőség rövidebb múlttal rendelkezik, mint a hőkomfort. Fanger dolgozta ki a témakör elméleti alapjait. Első publikációi az 1980-as évek végén jelentek meg [26], [27]. Egy új szakterületről van szó. Ebben az esetben is az objektív műszaki paraméterek és az emberben jelentkező szubjektív érzet kapcsolatát kell ismerni. A belsőlevegő-minőség esetében az a valóság, hogy a levegőben szinte bármely szennyezőanyag koncentrációja szelektív módon műszerrel mérhető, hatásuk is ismert. Ennek ellenére az emberre gyakorolt együttes hatásuk méréséhez még nincs általánosan elfogadott műszer, nevezzük „műorr”-nak. A szaghatások vizsgálatokor különböző levegőminőség kérdőíveket, skálákat alkalmaznak. A belsőlevegő-minőség témakörben általában két skála használatos:

- Hedonic-skála, mely diszkrét ordinális skála,
- Fanger-skála, mely fokozatmentes skála (folytonos, arányos).

A belsőlevegő-minőség első kutatója Max von Pettenkofer 1958-ban egy müncheni orvosi lapban ismertette kutatási eredményeit. A CO₂ emberre gyakorolt hatását vizsgálta. Megállapította, hogy 1 000 ppm CO₂ koncentráció alatt jó az emberek közérzete. Ezt a határértéket Pettenkofer-számmak nevezi a szakirodalom [85].

A belsőlevegő-minőség meghatározó kutatója Fanger, munkásságának eredménye az elméleti alapok, méretezési módszerek, követelményértékek kidolgozása [26], [27]. Új fogalmakat vezetett be, a levegőminőség egysége a decipol, a szennyezőanyag forráserősség egysége az olf. A szakterület az elmúlt két-három évtizedben sokat fejlődött további kutatók munkájának eredményeként: Bluysen, P.M. [12], Cain, W.S. [16], Finke, U. [28], Fitzner, K. [29], Gunnarsen, L. [32], Knudsen, H. N. [53], Melikov, A. K. [72], Seppanen, O. [89]. A hazai kutatók közül Bánhidí [10], Kajtár [10], Kalmár [46], Herczeg [39] és Hrustinszky [41] kutatási eredményeit lehet kiemelni.

A belsőlevegő-minőség biztosítása elegendő mennyiségű és elegendő tisztaságú levegő bejuttatását igényli a komforttérbe. Így lehet kompenzálni a különböző levegőszennyező anyagok hatását. A levegőszennyező anyagok a külsőtérből, a belsőtérből, a klímatechnikai rendszerből, valamint az embertől kerülhetnek a komforttér levegőjébe. A belsőlevegő-minőség méretezésének, mérésének elméleti alapjait, módszereit Fanger dolgozta ki. Ma már elmondható, hogy további kutatók munkájának eredményeként tovább bővült a szakirodalom. Öröndetes, hogy ebben a témakörben jegyzik hazai kutatók eredményeit is.

2. A szakirodalom áttekintése

A hazai és nemzetközi szakirodalom áttanulmányozása alapján elmondható, hogy a hazai szakirodalomnál lényegesen bőségesebb a nemzetközi. A hőkomfort és a belsőlevegő-minőségi komfort irodalmát összevetve, mivel a belsőlevegő-minőség kisebb kutatási múlttal rendelkezik, ennek megfelelően a szakirodalma is kisebb.

A hazai és különböző külföldi hő- és levegőminőségi komfort méretezési módszereket értékelve további lényeges különbségek tapasztalhatók. A nemzetközi gyakorlatban a hőkomfort vizsgálatánál ma már általános az ember tevékenységi szintjét és ruházatát is figyelembe vevő méretezési módszerek alkalmazása. Ugyanakkor a hazai méretezési gyakorlatban ezt nem minden esetben alkalmazzák. A vonatkozó fontosabb komfort szabványokat (MSZ CR 1752:2000, MSZ EN 15251:2007) honosítottuk.

Meg kell említeni, hogy a hazai és a nemzetközi szakmai gyakorlatban a hő- és levegőminőségi komfort biztosításánál a méretezés adott elégedetlenségi szintre (a komforttal elégedetlenek várható százalékos aránya) történik. Ennek megfelelően különböző kategóriájú komfortterek biztosíthatók, értelemszerűen ennek megfelelően drágább és olcsóbb rendszerekkel, alkalmazása a szakmai gyakorlatban nálunk még nem tekinthető általánosnak.

A belsőlevegő-minőség Magyarországon rövid szakmai múlttal rendelkezik. A kutatómunka során ki kellett dolgozni a szakterület fogalom rendszerét magyar nyelven. A témakörhöz kapcsolódó magyar nyelvű irodalom döntő többségének szerzője, illetve társszerzője voltam. Legátfogóbban a Bánhidi – Kajtár: Komfortelmélet c. egyetemi tankönyv dolgozza fel a belsőlevegő-minőség (BLM) elméleti alapjait (Műegyetemi Kiadó, 2000), valamint a Bánhidi – Kajtár: Válogatott fejezetek a komfortelmélet témaköréből (Akadémiai Kiadó, 2017).

A nemzetközi gyakorlatban alkalmazott hő- és levegőminőségi komfort méretezési módszerek általában nem tesznek különbséget az etnikai sajátosságok, a nem és a kor, valamint az éghajlati környezet tekintetében. Ugyanakkor sok kutató van azon a véleményen, hogy az értékelés, illetve a méretezési alapadatok nem függetleníthetők a fenti tényezőktől. Kutatómunkám egyik fontos célja az volt, hogy a hazai környezetben vizsgáljam a hő- és levegőminőségi komfortot. Az alkalmazott alanyok is a hazai életmód, szokás, öltözködési és munkakultúrát reprezentálták.

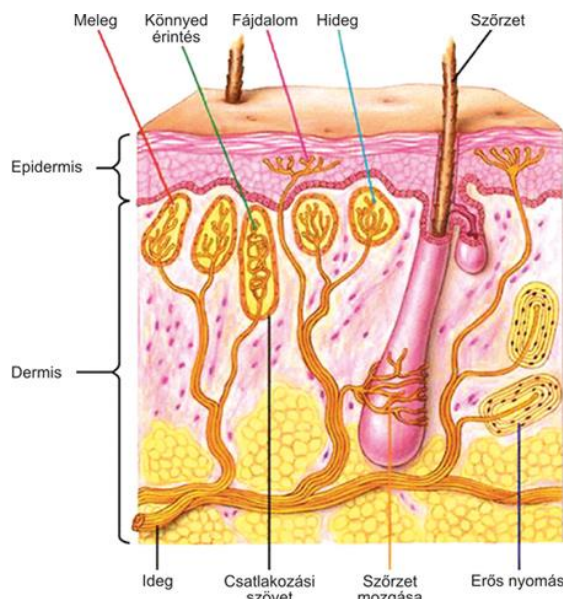
2.1 A hőkomfort méretezésének szakirodalma

A fejezetben összefoglalom a szakterület jelenlegi állását, alapokat, értékelési, vizsgálati és méretezési módszereket. Kitérek az aktuális problémákra, kérdésekre. Ez alapján jelölöm ki a kutatás területét, a megválaszolandó kérdéseket.

2.1.1 A hőérzékelés

A bőrben lévő idegvégződésekkel érzékeli az ember a hőt, a fájdalmat, a nyomást és a tapintást. A tapintás érzékelő receptorok a bőr felszín közelében találhatók, kisebb méretűek és már kisebb mechanikai hatásra reagálnak. A nyomásérzékelő receptorok a bőrfelszín alatt mélyebben találhatók és

erősebb ingerre reagálnak. A hőérzékelő receptorok között megkülönböztetjük a hidegreceptorokat és a melegreceptorokat. A bőr szerkezetét, a bőrben található receptorokkal a 2.1 ábra szemlélteti.



2.1 ábra A bőr szerkezete [45], [135]

A receptorok ektodermális eredetű, módosult idegsejtek. A receptorok fogadják az érkező ingereket, melyek lehetnek külső, vagy belső ingerek. A érkező hő, fény, mechanikai ingerek energiát tartalmaznak, melyek a receptorban bioelektromos jelenséggé alakulnak át. Amennyiben az inger meghaladja az ingerküszöböt, akkor a receptor érzékeli. A receptorban az inger hatására bioelektromos folyamat indul. A thermoreceptorok a kialakult bőrhőmérséklet közvetítésével érzékelik a környezet hőmérsékletét. A hidegreceptorok optimális érzékenysége 28 °C, a hőt 13 – 30 °C között érzékelik. A melegreceptorok esetében az optimális érzékenység 38 °C és 35 – 48 °C között érzékenyek.

A bőrben az alábbi thermoreceptorok találhatóak:

- TRPV4 – meleg (~27 – 34 °C);
- TRPV3 – melegebb (~34 – 39 °C);
- TRPV1 – forró (≥ 43 °C). Ezt a receptort a kapszaicin, a kámfor és különböző savak is aktiválják.
- TRPV2 – fájdalmasan forró (>52 °C);
Megjegyzés: TRPV – Transient Receptor Potential Vanilloid
- TRPM8 – hűvös (<28 °C). Ezt a receptort a menthol és a mentholtartalmú anyagok is aktiválják.
Megjegyzés: TRPM – Transient Receptor Potential Melastin
- TRPA1 – hideg (<18 °C).
Megjegyzés: TRPA – Transient Receptor Potential Ankyrin

Hőmérséklet érzékelés esetén megtapintjuk a testet és a hatást érzékelve értékeljük a testet hidegnek, melegnek vagy forrónak. A hőérzékelő receptorok ioncsatornákkal és áteresztő membránnal rendelkeznek. A plazma membrán a kalcium és a nátrium ionok számára permeábilis. A „hideg” receptorok száma a bőrben jóval nagyobb, mint a „meleg” receptorok száma, ugyanakkor ez az agyban fordítva van. Ott a melegreceptorok jóval nagyobb számban fordulnak elő, mint a hidegreceptorok. Az ember hidegnek érzékeli azt a testet, amelynek a hőmérséklete a bőr hőmérsékleténél kisebb. Meleg az a test, amelynek a hőmérséklete a bőrhőmérsékletnél nagyobb. A bőr hőmérséklete a viszonyítási szint,

„nulla fok”, amelyhez viszonyítva valamely testet hidegnek vagy melegnek érzünk. Ez a viszonyítási „nulla fok” a bőrfelület különböző helyein eltérő és ugyanazon helyen is változik, időben más és más lehet. A bőr hőmérséklete egészséges ember esetében („nulla fok”) normál körülmények között, 27 és 33 °C között változik. Ha kezünket 20 °C-os vízbe mártjuk, a vizet hidegnek érezzük. Ellentét az érzetünk, ha előzőleg kezünket hosszabb ideig 10 °C-os vízben tartottuk. Ekkor a 20 °C-os vizet melegnek érezzük. Egy idő után ez az érzet is megváltozik. A meleg véráram hőt szállít, kezünk felmelegszik. Ha kezünk hőmérséklete meghaladja a víz hőmérsékletét, akkor a 20 °C-os vizet újra hidegnek érzékeljük. A testek hőmérsékletének megítélésénél további szempont, hogy hőt von el, vagy hőt ad át testünknek. Hőelvonás esetén hidegnek, hőátadás esetén melegnek értékeljük az adott test hőmérsékletét. A folyamatot, a hőérzékelést befolyásolja, a test hőmérsékletvezetési tényezője. Két érintett test hőmérsékletét csak akkor ítélni meg helyesen, ha a hőmérsékletvezetési tényezőjük ($\lambda/\rho \cdot c$) azonos értékű. Így, amikor a kezünkkel azonos hőmérsékletű, de különböző hőmérsékletvezetési tényezőjű testeket fogunk meg eltérő érzetünk lesz. Télen a szabadban azonos körülmények esetén a fémkorlátot mindig hidegebbnek érezzük a műanyag bevonatú korlátnál. A hőérzet nem azonos a bőr különböző részein. A hőmérsékletváltozások iránt érzékenyebb az ujjak és kéz hátoldala a tenyérenél. Az ember képes 0,5 °C – 0,3 °C, sőt 0,2 °C hőfokkülönbséget is érzékelni. Az érzékelési hőmérséklet különbség eltérő az egyes testrészeken: az arcon 0,4 °C – 0,2 °C, a halántékon 0,4 °C – 0,3 °C, a mellén 0,6 °C, a hát közepén 1,2 °C hőfokkülönbséget ismerünk fel a szakirodalom szerint. A hőérzékenységi küszöb különbségeit a felhámréteg vastagsága okozza, mely rossz hővezető. A vékonyabb felhámréteggel fedett kézhátak a hőérző képessége finomabb, mint a vastagabb felhámréteggel fedett tenyérnek. A vékonyabb felhámréteggel borított testrészeknél a hő könnyebben jut az idegvégződésekhöz [45], [52].

A receptorok mennyisége is befolyásolja a hőérzékelést. A tenyér oldalán sokkal több receptor található, mint a kézháton. Ha mind a két kezünket 2 – 3 °C-os vízbe mártjuk, és nem érintkeznek egymással, akkor a két kézfejen sokkal erősebben érezzük a hideget, mint a tenyér oldalán; de néhány másodperc múlva az érzés a tenyéren sokkal élénkebbé válik és élénkebb is marad. A vastag felhámréteg késleltette a hőérzet kifejlődését a kéztényéren, de amint a hideg hatása az irtháig eljutott, az érzet is a tenyéren lett erősebb, mivel az idegvégződések száma itt nagyobb. Mindezen túl a hőhatásnak kitett bőrfelület nagysága is befolyásolja a hőérzetet. Ez tapasztalható, ha a vízbe az ujjunkat, vagy a kezünket mártjuk. Sokszor tapasztaljuk, hogy a kezünkkel kellemes hőmérsékletű vízben megmártózva, nem ugyan az az érzetünk.

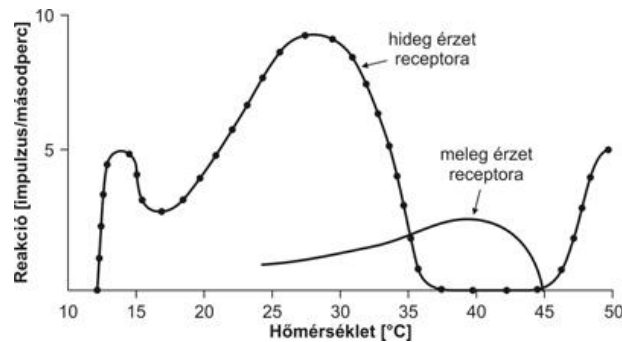
A tudományos vizsgálatok eredményei szerint a bőr felületén nem egyenletes a hideg és a meleg érzékelő pontok eloszlása, az érzékelő pontoknak az átmérője néhány milliméter. Jóval több hideg érzékelő pont van a testen, mint meleg érzékelő pont. Így például az alkaron minden 100 mm²-en 7 hideg érzékelő pont és 0,24 meleg érzékelő pont található.

Beszélnünk kell még a hőmérsékletváltozás érzékeléséről is. Az ember hőmérsékletérzékelő rendszere nagyon érzékeny a kis hőmérsékletváltozásokra is. A hüvelykujj alapjánál például két hideg impulzus között 0,02 – 0,07 °C hőfokkülönbséget is érzékelnek az emberek, meleg impulzusok esetében 0,03 – 0,09 °C ez az érték. Az érzékenységi függ a testrész hőmérsékletétől is. Amennyiben a hüvelykujj alapjánál a bőrhőmérséklet 33 °C, akkor a hőmérséklet-növekményt csak 0,2 °C-nál nagyobb értéknél érzékeljük, míg a hőfokcsökkenést 0,11 °C-tól érzékeljük. A hőmérsékletváltozás mértéke (a változás gyorsasága) szintén befolyásolja az észlelés sebességét. Amennyiben a környezeti hőmérséklet nagyon lassan változik (<0,5 °C/perc) akkor az ember 4 – 5 °C környezeti hőmérsékletváltozást nem is érzékel, ha a bőrhőmérséklet a 30 – 36 °C tartományban marad. Amennyiben a hőmérséklet gyorsan változik (legalább 0,1 °C/s), akkor a kis bőrhőmérséklet-változásokat is érzékeljük. A hőmérsékletváltozás

észlelésének küszöbértéke viszont nem csökken tovább a környezeti hőmérsékletváltozás sebességének további növelésekor [45], [65].

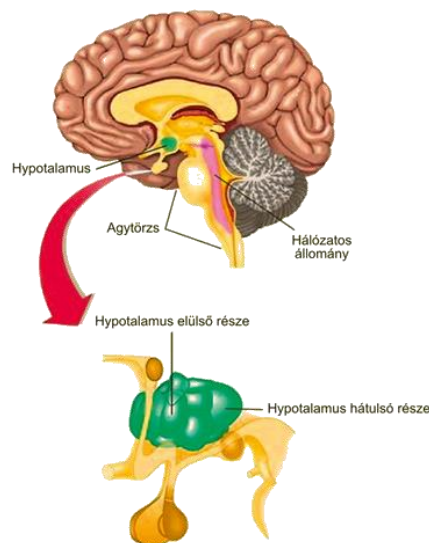
Az egészséges embereknél maximum 1°C hőmérsékleteltérés lehet az egyes testrészek valós és a kívánt hőmérsékletértékétől, ugyanakkor az egyes testrészek hőmérsékletei között 12°C különbség is lehet [65], [82].

A hideg- és melegérzékelő receptorok reakciójának sebességét szemlélteti a 2.2 ábra. külső hőmérséklet inger esetén. Látható, hogy a hidegreceptorok 25 – 30 °C közötti hőmérsékletek esetén a legaktívabbak, vagyis e hőmérsékletek esetén reagálnak a legintenzívebben a hőmérsékletcsökkenésre. A melegreceptorok 40 °C hőmérséklet esetén a legaktívabbak, de érzékenységük jóval kisebb a hideg receptorok érzékenységénél.



2.2 ábra A hőmérséklet-receptorok érzékenysége [45], [136]

A hidegreceptorok reakciója újra megnövekszik 45 °C-nál nagyobb hőmérsékletek esetén, de ez a jelenség általában láz mellett fordul elő (hidegrázás). Ekkor a magas bőrhőmérsékletünk hidegnek érzékeli a környezetünket, fázunk (a receptor károsodása miatt). A szervezetünk reagál a kialakult helyzetre, reszketünk, ami további hőtermelést idéz elő. Ez a folyamat szélsőséges esetben a hipotalamusban lévő hőérzékelő mechanizmus károsodásához, azaz agykárosodáshoz is vezethet (2.3 ábra) [19].



2.3 ábra Az agy hőszabályozó mechanizmusa [45], [137]

A hőmérséklet érzékelésnél is megfigyelhető az adaptáció. Ekkor az inger időben nem változik, a hőmérséklet állandó. Az adaptációs idő ± 1 °C hőmérsékletváltozás esetén 60 s. Nagyobb hőmérsékletváltozás esetén az adaptációs idő is megnövekszik. A receptoroktól érkező információk alapján az agy a bőrvéráramot változtatja annak érdekében, hogy megfelelő értékre álljon be a hőcsere a környezettel.

2.1.2 A hőkomfort elemzése

A hőkomfort elméleti méretezése során az ember hőforgalmából kell kiindulni. A metabolikus hő Fanger elmélete szerint a külső mechanikai munkából (W) és a belső hőszükségletből (H) tevődik össze:

$$M = H + W \quad (2.1)$$

A mechanikai munka hatásfoka is kifejezhető:

$$\eta = \frac{W}{M} \quad (2.2)$$

A termelődő hőt az ember négy különböző módon tudja leadni. Az ember hőmérlegét fejezi ki az alábbi egyenlet:

$$\dot{Q}_w = M - W - E \pm S \pm C \quad (2.3)$$

ahol:

- \dot{Q}_w - az emberi testben tárolt hő időbeli változása [W],
- M - a metabolikus hő [W],
- W - a mechanikai munka [W],
- E - a teljes párolgásos hőleadás [W],
- S - a sugárzásos hőleadás [W],
- C - a konvekciós hőleadás [W].

Hőegyensúly esetén $\dot{Q}_w = 0$. Kellemes hőérzetet akkor tapasztal az ember, ha a termelt többlet hőt kellemes bőrfelületi hőmérséklet mellett tudja leadni. A kellemes hőérzet esetére az ember hőegyensúlyát leíró (2.3) egyenlet egyes tagjai a hőátzármaztatás fizikai modelljei alapján behelyettesíthetők, a hőegyensúly hat paraméter függvénye:

$$f\left(\frac{H}{F_{Du}}, I_{cl}, t_{tb}, t_{ks}, p_{vg}, v\right) = 0 \quad (2.4)$$

ahol:

- $\frac{H}{F_{Du}}$ - az ember testfelület-egységre jutó belső hőtermelése [met],
- I_{cl} - a ruházat termikus ellenállása [clo],
- t_{tb} - a belsőlevegő hőmérséklet [°C],
- t_{ks} - a közepes sugárzási hőmérséklet [°C],
- p_{vg} - a nyugvó levegőben a vízgőz parciális nyomása [Pa],
- v - a relatív légsebesség [m/s].

Ezen tényezők alapján írható fel az állandó hőkörnyezetben huzamosabb ideig tartózkodó, adott tevékenységet folytató egyén hőegyensúlyi egyenlete. Így a (2.3) egyenlet továbbfejlesztett változata:

$$H - E_d - E_{sw} - E_{re} - L = K = S + C \quad (2.5)$$

ahol:

- H - az emberi test belső hőtermelése [W],
- E_d - a bőrön keresztül páradiffúziós hőveszteség [W],
- E_{sw} - a bőr felszínéről az izzadás következtében párolgásos hőveszteség [W],
- E_{re} - a kilégzés rejtett hője okozta hőveszteség [W],
- L - a kilégzés úgynevezett száraz hőveszteség [W],
- K - a hőátvitel a bőr felületéről a felöltözött emberi test ruházatának külső felületére (hővezetés a ruházaton keresztül) [W],
- S - a sugárzásos hőveszteség a ruházattal borított test külső felületéről [W],
- C - a konvekciós hőveszteség a ruházattal borított test külső felületéről [W].

Fanger az előzőekben bemutatott elméletét továbbfejlesztve kidolgozott egy módszert, mely alapján a zárt tér adott pontjára a hőérzeti értékelés elvégezhető. Meghatározható a PMV (a várható hőérzeti érték) és a PPD (kedvezőtlen hőérzet várható százalékos valószínűsége) értékek.

2.1.3 A PMV modell

Fanger [24], [25] úgy definiálta a PMV-t, mint egy mutató szám, mely megmutatja, hogy az emberek nagy csoportja, illetve egy fiktív átlagos ember várhatóan hogyan érzi magát adott hőkörnyezetben, adott ruházat és tevékenységi szint mellett. A PMV Fanger komfortegyenletén alapul. A komfort egyenlet teljesülése esetén biztosított az emberi test hőegyensúlya. Kellemes hőkomfortról akkor beszélhetünk, ha több feltétel teljesül. Az állandósult kellemes hőkomfort feltételei:

- a test hőegyensúlyban legyen,
- az átlagos bőrhőmérsékletnek és az izzadási hőleadásnak bizonyos határokon belül kell lenni,
- ne legyen helyi diszkomfort.

Fanger a hőkomfort egyenletet laboratóriumi feltételek mellett dolgozta ki. A laboratóriumi mérések jellemzői:

- klímakamrában, állandósult állapotban történtek,
- egyetemista hallgatók voltak az alanyok,
- a mérések időtartama 3 óra,
- a méréseket télen végezték mérsékelt égövi környezetben,
- tengerszint magasságban történt (1 013 hPa),
- standard ruházat mellett (0,6 clo, „KSU clothing combination”),
- standard tevékenységi szint (irodai munka).

A gyakorlati alkalmazáshoz a komfortegyenletet ki kellett terjeszteni a hősemlegességen kívüli környezetre. Ehhez felhasználta különböző tanulmányok adatait (n=1 396 fő). Így alkotta meg a PMV egyenletet, mely már nem csak a hősemlegesség, hanem a hideg és meleg környezetre is használható. A PMV eredményeket társította az ASHRAE hét pontos hőérzeti skálájával, azon értelmezte. A skála

értékei: hideg, hűvös, kellemesen hűvös, semleges, kellemesen meleg, meleg, forró, melyek -3 és $+3$ közötti számokkal vannak jellemezve. Fanger véleménye szerint, mivel a mérések laboratóriumi körülmények között történtek, a PMV -2 és $+2$ között alkalmazható teljes bizonyossággal, azon kívül csak különös gondossággal. A nemzetközi szakirodalomban általánosan elfogadott, hogy akkor értékeli a személyek megfelelőnek a hőkönyezetet, ha a hétpontos skála középső három kategóriája áll elő: kellemesen hideg, semleges, kellemesen meleg. Más megközelítésben a PMV értéknek $-0,5$ és $+0,5$ között kell lenni.

2.1.4 Hősemlegesség – kellemes hőkönyezet

A PMV-PPD modell alapján $PMV = 0$ esetén beszélhetünk hősemlegességről. Fanger és más kutatók is foglalkoztak a PMV modell megalkotása után azzal, hogy a kellemes hőérzet valóban a hősemlegesség ($PMV=0$) esetén biztosított-e, vagy az emberek jobban érzik magukat kicsit hidegebb, vagy melegebb környezetben [15], [17]. Araújo V.M.D. & Araújo E.H.S. Brazíliában [3], valamint Yoon Koreában [115] kapott kutatási eredményei alapján az emberek előnyben részesítik a hűvösebb környezetet. Mayer Németországban végzett kutatásainak eredményei szerint a meleg környezet eredményez kellemes hőkomfortot [40], [69].

Több kutató foglalkozott ezzel a kérdéssel, ezek közül mutatok be néhányat a szakirodalom alapján. Howell és Kennedy azt tapasztalták méréseik alapján, hogy a kellemes hőérzet nem a középső skála egység, hanem eltolódik a hidegtartomány fele. Parson kutatásai szerint az eltérés $0,5$ skála egység lehet és a hidegebb hőkönyezetet érzékelik kellemesnek [40].

Wyon kutatásai alapján megállapította, hogy hőérzet szempontjából normál eloszlású populáció esetében a semleges komfortot értékelők 95% -a a négyszeres szórás tartományon belül van és ez $6,4$ K értéknek felel meg [112].

Williams helyszíni mérései alapján megállapította, hogy az emberek a hűvösebb hőkönyezetet jobban preferálják. Ez az eltérés $2,5$ K is lehet a semleges környezettől [108].

Pountain megismételt vizsgálatokat végzett ugyanazon, illetve különböző csoportokkal változatlan hőkönyezetben. Megállapította, hogy ugyanazon személyek ugyanazt a hőkönyezetet más alkalommal eltérően értékelhetik (intra-individual variance). Továbbá különböző csoportok is eltérően értékelhetik ugyanazt a hőkönyezete (inter-individual variance) [40].

Humphreys és Nicol az ASHRAE RP-884 adatbázisa alapján azt állapította meg, hogy a PMV egy nagyon jó index. A kiértékelései alapján a PMV és AMV közötti eltérés $0,11 \pm 0,01$ skála egység [40].

A PMV modell hat bemeneti paramétere közül négy az adott helyszínen műszerrel pontosan mérhető (levegő hőmérséklete, nedvessége, sebessége és az eredő sugárzási hőmérséklet). A ruházattal, illetve a tevékenységi szinttel kapcsolatos műszaki jellemzők mérési eredmények alapján táblázatokban állnak rendelkezésre, vagy számolhatók. A PMV-PPD közvetlen mérésére alkalmas műszereken ezen utóbbi értékek skálán állíthatók be. Termikus műembert alkalmazva a ruházat hatásának vizsgálata során Olesen és Nilsen arra a következtetésre jutott, hogy a levegő sebességének nagyon behatárolt szerepe van a ruházat hőszigetelésére [80].

Kutatók vizsgálták az egyes nemek eltérő hőkomfort érzékenységét is [36], [56]. Karjalainen a tanulmányában kvantitatívan vizsgálta a nemek közötti különbséget a termikus komfort szempontjából interjúfelméréssel (n = 3 094) és ellenőrzött kísérletekkel. A nők kevésbé voltak elégedettek a szobahőmérséklettel, előnyben részesítették a magasabb szobahőmérsékletet, és a nők mind a hideg, mind a meleg környezetet gyakrabban találták nem komfortosnak, mint a férfiak [48].

Több kutató vizsgálta élő alanyokkal a PMV – PPD kapcsolatot a saját országuk, éghajlati, öltözködési és munkakultúra adottságai mellett. A hőérzeti értékelést elvégezték műszeres méréssel, valamint hőérzeti skálán felméréssel. A PMV mérés eredményeivel párhuzamosan meghatározható volt az aktuális hőérzeti érték (AMV, „actual mean vote”) is [40].

Araújo & Araújo (1999)

Brazíliában középiskolai és egyetemi oktatási épületekben végzett helyszíni vizsgálatokat 1866 fő részvételével, az átlagos ruházat 0,6 clo, az épületeknek természetes szellőzéssel rendelkeztek. PMV = 0 esetén az elégedetlenek aránya 47,5 % volt, a függvény szimmetrikus. Eredményei alapján:

$$PPD = 100 - 52,5 \cdot \exp[-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)] \quad (2.6)$$

Yoon (1999)

Koreában, klímakamrában végezte a vizsgálatokat 40 hallgató részvételével nyáron, az átlag ruházat 0,4 clo, a tevékenységi szint 1,2 met volt. Azt állapította meg, hogy a minimális PPD érték 18 %, PMV = -0,8 esetén. A vizsgálati alanyok előnyben részesítették a hűvösebb környezetet. A leíró egyenlet:

$$PPD = 11,37 \cdot PMV^2 + 18,34 \cdot PMV + 24,42 \quad (2.7)$$

Mayer (1997)

Németországban 100 fő részvételével végezte a kutatómunkát. Eredményei alapján PMV = 0,5 esetén minimális a PPD, értéke 16 %. A hideg oldalon az elégedetlenek aránya magasabb, a meleg oldalon közel azonos. A leíró egyenlet:

$$PPD = 100 - 84,3 \cdot \exp[0,01 \cdot (PMV - 0,4)^4 + 0,5479 \cdot (PMV - 0,4)^2] \quad (2.8)$$

De Paula Xavier & Roberto (2000)

A helyszíni vizsgálatokat Brazíliában, iskolában végezte 1200 fő részvételével. A PMV-nek megfelelő hőérzeti index (S) meghatározásához az alábbi egyenletet dolgozta ki:

$$S = 0,219 \cdot t_o + 0,012 \cdot RH - 0,547 \cdot v_a - 5,83 \quad (2.9)$$

Az egyenletben szereplő jelölések a levegő hőmérséklete (t_o), nedvességtartalma (RH) és a sebessége (v_a). A PPD - nek megfelelő elégedetlenségi ráta (I) minimuma 25,4 % semleges hőérzet esetén (S = 0):

$$I = 18,94 \cdot S^2 - 0,24 \cdot S + 25,41 \quad (2.10)$$

A kutatók értékelése alapján Fanger egyenletétől és diagramjától az eltérés elsődleges indokai az alábbiak:

- a méréseket helyszíni körülmények között végezték,
- természetes szellőzés volt a helyiségekben,
- nem mérsékelt égövi környezetben történt a kutatás.

2.1.5 A PMV modell alkalmazásának tapasztalatai

Földrajzi és éghajlati eltérések

Különböző tanulmányok azt bizonyították, hogy a semleges és kellemes hőkörnyezet magasabb hőmérséklet mellett teljesül, mint a PMV modell szerint adódó érték: Ausztrália [20], [51], Brazília [84], [86], [91], Nigéria [101], Harbin [103], [104], [113], Kína [116].

Épülettípus hatása

Fanger kutatásait klimatizált klímakamrában végezte. Kutatók természetes szellőzésű épületben azt tapasztalták, hogy a kellemes belső hőmérséklet meleg égövi környezetben magasabb, hideg égövi környezetben alacsonyabb, mint a PMV egyenletből adódó érték. A hőkomfortot befolyásolja az alkalmazott fűtési mód, a konvektív és sugárzásos hőleadás mértéke [37], [58], [66], [77], [100], [114], [117], [120]. Szabó J. Magyarországon vizsgálta irodatermek hőkomfortját különböző épületgépészeti rendszermegoldások esetében [98].

Individual komfort

Az utóbbi időben különös hangsúlyt kapott az egyéni igényeket figyelembe vevő komfort – individual komfort. A központi klímatechnikai rendszernek kell biztosítani a PMV modell szerinti hőkörnyezetet. Helyi szabályozással kell lehetővé tenni az egyéni igényeknek megfelelő után állítást [112].

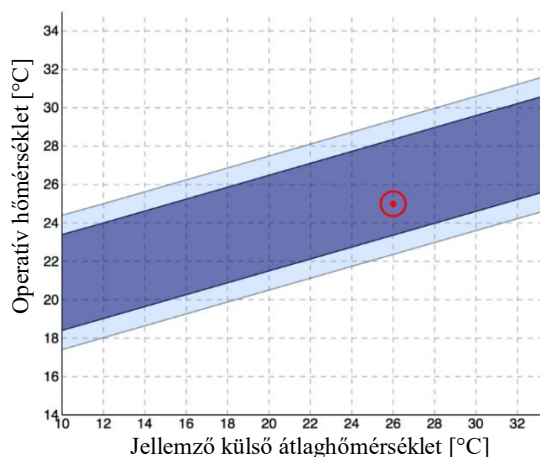
Ezen gondolatokat valósítják meg a személyi komfort rendszerek, Personal Comfort Systems (PCS). Több publikáció található a témakörben [64], [87], [89], [118]. Meg kell említeni Kalmár hazai kutatási eredményeit, melyek személyi szellőztető rendszerre vonatkoznak [46], [47].

Összegzés

Fanger a módszer megalkotásakor is jelezte, hogy a PMV modell klimatizált épületekben, nem szélsőséges hőkörnyezetben ($-2 < PMV < +2$) és mérsékelt égövön használható nagy pontossággal. A kiterjesztése további kutatásokat igényel. A modell megalkotása óta eltelt öt évtized igazolta eredményes alkalmazhatóságát. Különböző kutatók eredményei is ezt igazolták, illetve a modell kiterjesztését próbálták megoldani. Ebben igazi változás a szabványok felülvizsgálata során sem történt, ezt tartalmazza az ISO 7730:2005. Az ASHRAE Standard 55-ben a PMV modell használatát kiterjesztették minden komfort épület típusra, amennyiben a termikus környezetet leíró fizikai jellemzők a modell értelmezési tartománya szerint megfelelőek (MSZ EN ISO 7730:2006).

2.1.6 Adaptív komfort

Az adaptív komfort alapgondolata, hogy a zárt térben érzékelhető hőkomfortot befolyásolja a külső hőmérséklet, mely évszakonként változik. Az adaptív hipotézis abból indul ki, hogy a külső időjárási környezet, különböző környezeti hatások és a múlt „hőtörténete” befolyásolják az épületek lakóinak termikus elvárásait, preferenciáit. Kutatók mérési eredményeit De Dear és Gail [20], [21] kutatási eredményei szerint természetes szellőztetésű épületek esetében az emberek szélesebb hőmérséklet tartományt fogadnak el, mint klimatizált épületek esetében. Ezt igazolta 160 épület komfort mérési eredményeinek adatbázisa. Az eredmények alapján fogalmazták meg az ASHRAE adaptív komfort modelljét (ASHRAE-55 2010). Rögzíti, hogy a közelmúltbeli termikus tapasztalatok, a ruházat változása, az emberek termikus elvárásainak változása megváltoztatja az emberek termikus reakcióit. A 2.4 ábra szemlélteti az ASHRAE adaptív termikus komfort modelljét. A diagram lehatárolja a 80% és 90%-os elégedettség zónáit.



2.4 ábra Az ASHRAE-55 2010 elfogadhatósági kényelmi zónák (80% és 90%)

A **termikus adaptációnak** alapvetően három kategóriája van: viselkedési, élettani és pszichológiai. A termikus komfortérzetet befolyásolja a korábbi tapasztalatok emléke. A statikus és az adaptív modellekben a **pszichológiai adaptáció** lényegesen eltér. A laboratóriumi vizsgálatok adott körülmények mellett statikus modellként kezelhetők, szemben a valós épületek hőkomfortjával [20], [21], [23], [34], [35].

Az emberi test számos hőszabályozó mechanizmussal rendelkezik, ez teszi lehetővé a **fiziológiai adaptációt**. Hideg környezetben a szervezet érösszehúzódot alkalmaz, így csökkenti a bőrön keresztül történő véráramlást, a bőr hőmérsékletét és a hőelvezetést. Meleg környezetben az értágulás növeli a véráramlást a bőrön, a hőszállítást, valamint a bőr hőmérsékletét és a hőelvezetést. Amennyiben mindezek ellenére fennáll az egyensúlyhiány, akkor meleg környezetben megkezdődik a verejtékezés, hőleadás izzadással. Ha ez sem elegendő, akkor a test hőmérséklete emelkedik és 40°C-nál hóguta léphet fel. Emellett egyensúlyhiány esetén, hideg környezetben megindul a reszketés, önkéntelenül kényszeríti az izmok működését és növeli a hőtermelést. Ha az egyensúly nem áll helyre, hipotermia léphet fel, ami halálos lehet. Néhány nap és hat hónap közötti hosszútávú hatások szív- és érrendszeri endokrin elváltozásokat eredményezhetnek [99].

Beszélhetünk az **érzékenység különbségről**. Az egyén termikus érzékenység különbséget számszerűsíti az F_s index. A hideg és a meleg felületek iránti érzékenység a kor növekedésével csökken. A test hőszabályozó képessége hatvan éves életkor felett csökken [60].

A fenti nemzetközi tapasztalatok indokolták a hazai kutatást a PMV és AMV témakörében. Hazánkban ilyen kutatások még nem folytak a PMV modell alkalmazásával kapcsolatban. Ezért szükségesnek és indokoltnak tartottam a hazai kutatómunkát.

A célul kitűzött helyszíni hőkomfort vizsgálatokhoz a téli időszakot választottam. Ekkor a klimatizált épületek frisslevegő ellátása fűtött, kezelt levegővel történik, emiatt a huzathatás nem jellemző. A vizsgálati feltételek mellett gyakorlatilag elhanyagolható a huzathatás befolyása a hőkomforttal kapcsolatos elégedetlenségre. A hőkomfortot télen befolyásolja a külső határoló szerkezetek (falak, ablakok) hőátbocsátási tényezője, az ebből adódó sugárzásos hőcsere. Nyári esetben is végeztünk komfortelemzést. Ekkor a hőkomforttal kapcsolatos elégedetlenséghez hozzáadódnak további hatások. Hűtött levegővel történő szellőztetés esetében a huzathatás elkerülése gondos tervezést, kivitelezést és szakszerű üzemeltetést igényel, egyes személyek fokozott huzatérzékenysége ekkor sem zárható ki. Nyáron meghatározó szerepe van a hűtési igény és a hőérzet szempontjából a közvetlen napsugárzásnak, árnyékolás alkalmazása célszerű. Nyári esetre vonatkozóan is végeztünk helyszíni méréseket és elméleti elemzéseket. A kutatómunkához kapcsolódik András-Tövissi Balázs PhD doktorandusz témája, melyben az aszimmetrikus sugárzás és a huzat együttes hatását vizsgálja (témavezető: Kajtár László) [1].

A hőkomfortot befolyásoló hat paraméter között szerepel a személyek ruházata és tevékenységi szintje. Irodaházak esetében speciális a helyzet. A dolgozók jellemzően ülő munkát végeznek, fokozott szellemi igénybevétel, koncentráció mellett. A metabolikus hőtermelés szűk tartományban változik. Az irodai munkavégzés metabolikus értékeit szakirodalmi adatok alapján a 2.1 táblázat tartalmazza. A ruházat hőszigetelő képessége szintén szűk tartományban változik irodai dolgozók esetében, télen. A tipikus üzletember ruházatot az öltöny (kosztüm) jelenti, a hőszigetelő képessége $I_{cl} = 1 \text{ clo}$ ($1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$), zakó levetésével, vagy a zakó alatt pulóver hordásával $0,8 - 1,2 \text{ clo}$ között változhat a ruházat hőszigetelő képessége. Így a téli helyszíni mérések eredményei biztonságosan kiértékelhetők.

2.1 táblázat Az irodai munka metabolikus értékei

Irodai munka	M/F_{Du}		Q; W
	W/m ²	met	
Gépelés	52 – 58	0,9 – 1,0	93,6 – 104,4
Számítógépes munka	70	1,2	126
Rajzolás	70	1,2	126
Különböző irodai munka (pl. ívek kitöltése, ellenőrzés)	58 – 70	1,0 – 1,2	104,4 – 126

Megjegyzés: $F_{Du} = 1,8 \text{ m}^2$ felnőtt ember esetében

2.2 A levegőminőség méretezésének szakirodalma

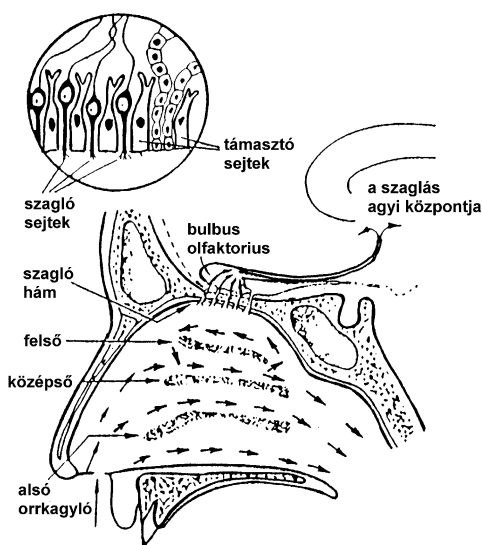
A szakirodalom feldolgozása során bemutatom az élettani alapokat, a belsőlevegő-minőség tématerület fejlődését, valamint az értékelési módokat.

2.2.1 A szagérzékelés, olfaktometria

Az ember a környezeti hatásokat érzékszerveivel érzékeli, ezek egyike a szagok felismerése és minősítése. A belsőlevegő-minőség, a különböző levegőszennyező anyagok, elsősorban a szagló érzékszerven keresztül hatnak az emberre, de további hatás a szemben (pl. könnyezés) és a bőrön keresztül is jelentkezhet.

A szagérzékelés mechanizmusa, jellemzői

Az orr szerkezetét a 2.5 ábra szemlélteti. A szagérzékelés a felső orrkagylóban elhelyezkedő kb. 2,5 cm² felületű szagló hámon történik, felületét a szagmirigyek terméke borítja. A szaglóhám két sejttípusból áll: a támasztó sejtek között helyezkednek el a szagló sejtek (receptor - sejtek). A szagló sejtek számát az embernél 10-20 millióra becsülik.

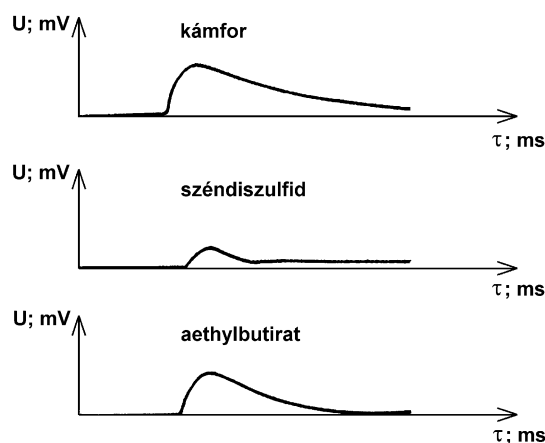


2.5 ábra Az orr szerkezete [5]

A szagló sejtekből pamacszerű szálacsókák nyúlnak ki a szagló hám felületén, az inger itt keletkezik. Az inger a szagló sejtektől a bulbus olfaktoriusba jut, mely 27-30 ezer idegcellából áll. Az inger erősítés után idegpályán jut a szaglós agyi központjába. A szagérzékelés nem spontán folyamat. Csak intenzív levegővételnél jut a levegő a felső orrüregbe, a szagló hámhoz. Átlagos levegővételnél nincs szagérzékelés. Az intenzív levegővételnél a levegősebesség 2-4-szeresére növekszik az orrüregben. A szagérzékelés fiziológiai alapja a szagló sejt membránjának polarizációja. A kritikus membrán küszöbpotenciál elérésekor a szagló cella izgalmi állapotba kerül, inger indul a szagló idegen keresztül az agyi központba. A szagérzékelés további előfeltétele a szagló hám váladékfedettsége és a szaganyagnak elegendően illékonyan kell lennie. A szaghozó gáz akkor tud a nyálkarétegen áthatolni, ha vízben oldódik. További feltétel a kismértékű zsírban oldódás, ugyanis csak ekkor jut a szaganyag a szagló sejtekhez.

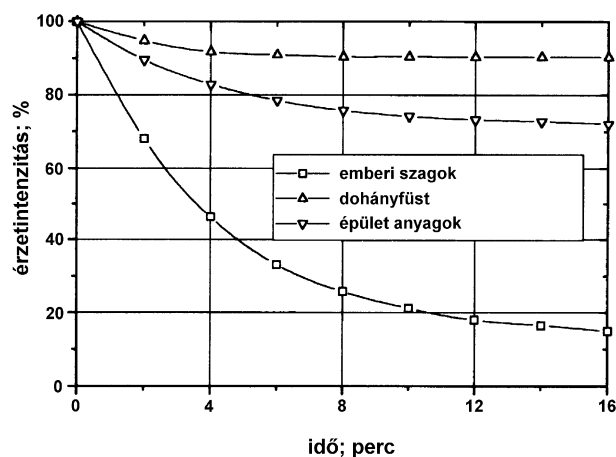
Egyes szagokkal szemben a szagérzékelés ingerküszöbe nagyon alacsony. Például az ember a pézsmaszagot $4 \cdot 10^{-5}$ mg/l, a mercaptan szagát $4 \cdot 10^{-8}$ mg/l koncentrációban már érzékeli. A szaglós szerv jellemzője a gyors adaptáció. Bizonyos idő eltelte után az ember a folyamatos érzékelés következtében az adott szagot (kellemes vagy kellemetlen) már nem érzékeli.

Kutatók vizsgálták a szagérző receptorok elektrofiziológiai tulajdonságait. Ehhez megfelelő nagyságú elektródát kell helyezni a szaglóhámra és a másik elektródát pedig semleges felületre (pl. nyakizom). A szaginger hatására potenciálkülönbség keletkezik (a szaglóhám a negatív pólus) és jellegzetes feszültség-hullám jön létre, amit elektroolfaktogramnak nevezünk. Az egyes gázok esetében a görbe lefutása jellemző (2.6 ábra). A hullám amplitúdója a szaginger logaritmusával arányos.



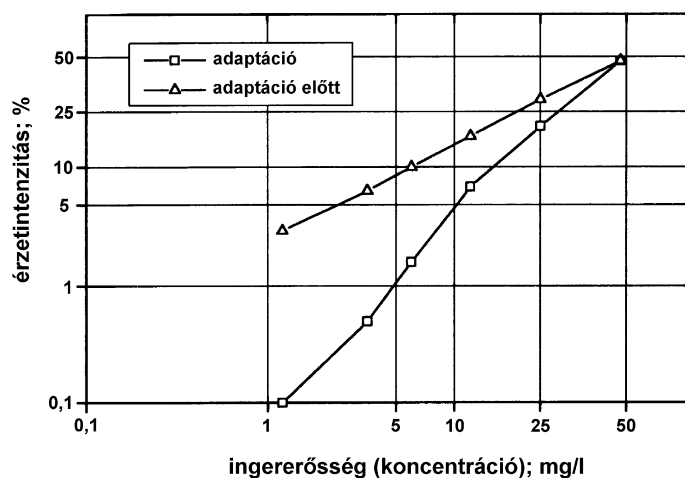
2.6 ábra Elektroolfactogramm [10]

A szaglóérzékelő receptorok tulajdonsága, hogy az állandó szagintenzitáshoz alkalmazkodnak. Hosszabb érzékelési időtartam után az érzetintenzitás lecsökken. Gunnarsen vizsgálati eredményeit szemlélteti a 2.7 ábra. Egy állandó ingererősség (szagkoncentráció) mellett, meghatározott idő után beáll egy állandó érzetintenzitás. Ezt a folyamatot adaptációnak nevezzük.



2.7 ábra Az érzetintenzitás csökkenése az adaptáció miatt különböző anyagoknál [32]

A szagérzékelésnél megkülönböztetjük az érzékelési és a felismerési küszöböt. Egy gáz érzékelési küszöbe alatt azt a koncentrációt értjük, mely mellett a jelenlévők 50%-a érzékeli a szagot. A felismerési küszöbe ennél magasabb koncentráció. Hosszú ideig tartó belégzés esetén az érzékelési küszöb növekszik, az érzeterősség csökken. Ezt a folyamatot nevezzük adaptációnak, az "ember megszokja" a szagot. Cain vizsgálati eredményeit szemlélteti a 2.8 ábra. A vizsgálati személyek különböző koncentrációjú propanolt értékeltek. Az adaptáció miatt jelentősen lecsökkent az érzetintenzitás.



2.8 ábra Propanol szagérzékelése adaptáció során [16]

Különböző levegőszennyező anyagok érzékelési küszöbértékeit a 2.2 táblázat tartalmazza. Összehasonlításként megtalálható az egészségügyi határérték és az érzékelési küszöb aránya is. Az ASHRAE publikáció értelmezése alapján az egészségügyi határérték egészséges ember esetében 8 órán át megengedhető. Látható, hogy az egyes gázok esetében az egészségügyi határérték és az érzékelési küszöb aránya nagyon eltérő. Az egészség védelme szempontjából előnyösebb, ha az arány értéke nagyobb egynél.

2.2 táblázat Vegyületek érzékelési küszöbértékei [2]

Vegyület	Érzékelési küszöb mg/m ³	Arány*
Acetaldehid	1,2	150
Aceton	47	38
Ammónia	33	0,5
Benzol	15	2
Etilén-oxid	196	0,01
Fenol	0,18	106
Formaldehid	1,2	1,3
Foszgén	4	0,1
Hidrogén-cianid	1	10
Hidrogén-fluorid	2,7	0,9
Kéndioxid	1,2	4
Klór	0,007	430
Kloroform	1,5	33
Nitrogén-dioxid	51	0,1
Ózon	0,2	1
Szén-dioxid	végtelen	0
Szén-monoxid	végtelen	0
Toluol	8	47

Megjegyzés: * arány = egészségügyi határérték/érezékelési küszöb

Az olfaktometria alaptörvényei

Az olfaktometria az ember esetében a szagghordozó gázok által kiváltott érzékszervi hatások vizsgálatával és mérésével foglalkozik. A szagérzékelő receptorok alakítják át a szagingert idegrendszeri érzetté. A szaginger és az idegrendszerben keletkező érzet között nem lineáris a kapcsolat. A XIX. század közepén Weber vizsgálatai alapján határozta meg a róla elnevezett törvényt:

$$\frac{\Delta R}{R} = C \quad (2.11)$$

ahol:

ΔR : az ingererősség megváltozásához szükséges valóságos ingerváltozás,
 R : az eredeti ingererősség.

A "C" hányados (Weber hányados) értéke 0,07 és 0,12 között van. Ez annyit jelent, hogy minimálisan 7-12% ingernövekedés szükséges ahhoz, hogy érzékelhető ingererősség jöjjön létre. A Weber törvény csak a közepes ingerintenzitás tartományában érvényes, nem alkalmazható a nagyon gyenge ingertartományban, az érzékelési küszöb közelében.

Az ingererősség és az érzetintenzitás (I) közötti kapcsolatot Fechner (1860) határozta meg, felhasználta a Weber-törvényt. Definiált egy abszolút küszöböt (R_0), mely felett az inger érzékelhető. Az érzetintenzitás és az ingererősség közötti kapcsolat meghatározásához Fechner integrálta a Weber-hányadost. A Weber-Fechner törvény értelmében:

$$I = k \cdot \log \frac{R}{R_0} \quad (2.12)$$

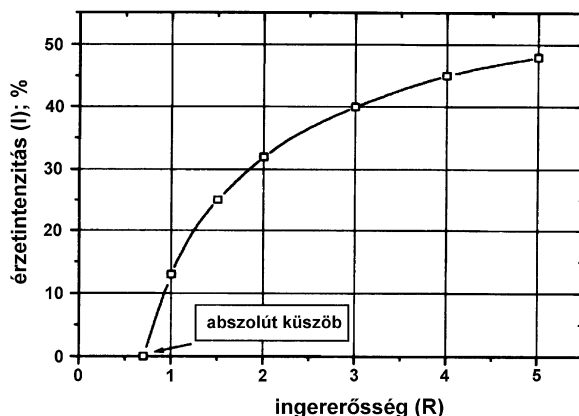
ahol: k : Weber-Fechner konstans.

Stevens kutatásai alapján arra a következtetésre jutott, hogy az ingererősség és az érzetintenzitás közti kapcsolatot a hatványfüggvény jobban leírja (2.9 ábra):

$$I = k \cdot R^n \quad (2.13)$$

ahol: „ n ” ingerspecifikus kitevő ($n < 1$)

A Weber-Fechner törvény alapvetően az úgynevezett „különbségi küszöbök”-re vonatkozik, azaz arra, hogy egy adott személy számára két inger megkülönböztethető-e. A Stevens-törvény az úgynevezett „abszolút küszöbök”-re vonatkozik, azaz arra, hogy egy adott személy számára egy meghatározott inger egyáltalán érzékelhető-e. Az ingerek értelemszerűen lehetnek hő- vagy szaghatások is (termikus, vagy olfaktometrikus hatások), melyek hő- vagy szagérzeteket váltanak ki.



2.9 ábra Az érzetintenzitás az ingererősség függvényében Stevens szerint [95]

Az olfaktometria alaptörvényének alkalmazása

Stevens törvény alapján különböző "szagos" gázok esetében az olfaktometrikus érzetintenzitás kifejezhető a gázkoncentrációval

$$I = k \cdot c^n \quad (2.14)$$

Az exponenciális kitevő értéke kisebb egynél. Cain és Moskowitz kutatásai alapján [75] a kitevő értéke különböző gázok esetében 0,2 és 0,7 között változik. Ez annyit jelent, hogy adott százalékos koncentrációváltozás kisebb mértékű szagintenzitás (érzet) változást eredményez. Ha a kitevő értéke $n = 0,2$, akkor 3000-szeres koncentrációváltozás eredményez közel 5-szörös intenzitás változást. Amennyiben $n = 0,7$ esetében vizsgálódunk, akkor azt tapasztaljuk, hogy a közel 5-szörös intenzitás változás már elérhető a 10-szeres koncentráció változással.

Stevens törvényt logaritmizálva kapjuk az alábbi összefüggést:

$$\log I = n \cdot \log c + \log k \quad (2.15)$$

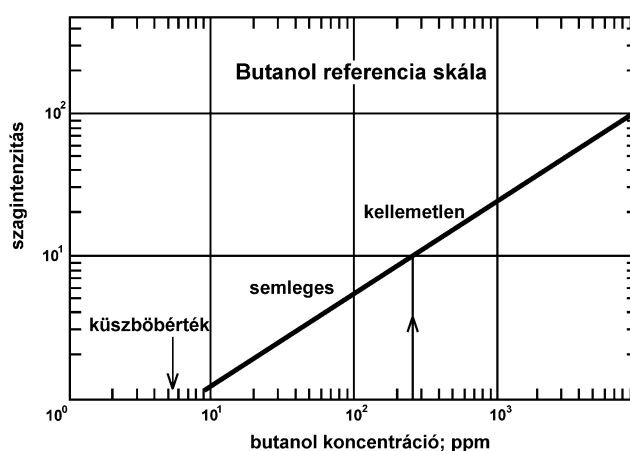
Ez annyit jelent, hogy logaritmikus léptékű koordináta-rendszerben a függvénykapcsolat egyenessel ábrázolható.

Butanol esetében laboratóriumokban végzett mérések eredményei alapján $k = 0,26$ és $n = 0,66$. Így a Stevens-törvényt felírva:

$$I = 0,26 \cdot c^{0,66} \quad (2.16)$$

ahol: c ; ppm butanol koncentráció.

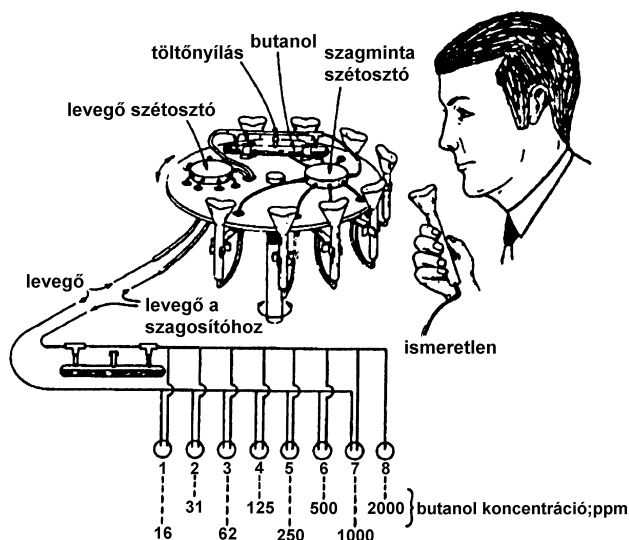
Az összefüggést a 2.10 ábra szemlélteti. Az egyenlet alapján 250 ppm butanol koncentráció esetén a szagintenzitás értéke 10. A butanol már alacsony koncentráció esetén érzékelhető a levegőben, a küszöb koncentráció 2-5 ppm közötti, s ekkor a szagintenzitás értéke $\sim 0,5$. Az ábrában bejelöltük a küszöbértéken kívül a semleges és kellemetlen szaghatás tartományát is.



2.10 ábra Szabványosított szagintenzitás skála a butanol koncentráció alapján [2]

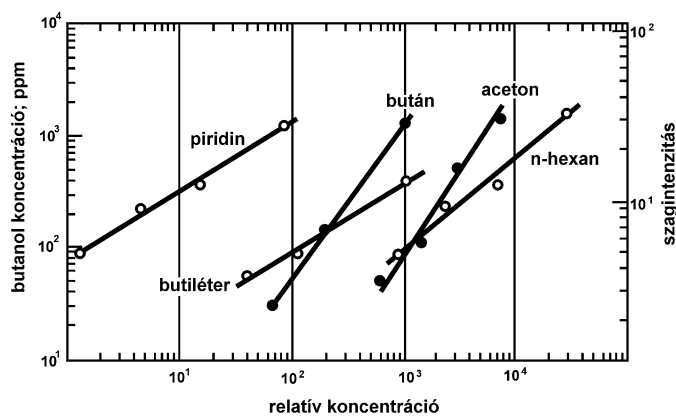
Összehasonlító vizsgálatok butanollal

Különböző gázkoncentrációk szagintenzitása is meghatározható. Ekkor a butanollal kell összehasonlító vizsgálatokat végezni. A Dravnieks féle olfaktométerrel történő mérést a 2.11 ábra szemlélteti, bemutatva a mérés kialakítását és kapcsolási vázlatát. Az egyes szagló tölciséreknél adott butanol koncentráció állítható be, pl. az ábrán jelzett koncentráció értékek: 16, 31, 62, 125, 250, 500, 1000, 2000 ppm. A mintavevő tölciséreknél a levegő térfogatárama 28-180 l/óra.



2.11 ábra Dravnieks olfaktométer [2]

Egy-egy kiválasztott anyag különböző koncentrációját vizsgálva meghatározható, hogy milyen értékű butanol koncentrációval azonos a szaghatása. Kutatók összehasonlító vizsgálatainak eredményeit a 2.12 ábra tartalmazza logaritmus léptékű koordináta rendszerben. Az ábrán a bal oldali ordináta a butanol koncentráció ppm egységekben. A jobb oldali ordináta a neki megfelelő szagintenzitás érték. A két ordináta közötti kapcsolat a 2.12 ábrának megfelelő.



2.12 ábra Különböző anyagok szagintenzitása Dravnieks olfaktométer alapján [2]

2.2.2 A belsőlevegő-minőség tématerület fejlődése

A belsőlevegő-minőség kutatása az elmúlt négy-öt évtizedben fejlődött jelentősen. A témakör első kutatójának Max von Pettenkofert tekintik, aki a széndioxid-koncentráció élettani, közérzeti hatásait vizsgálta. A komforttér levegőjének vizsgálata alapján jutott arra a következtetésre, hogy a 0,1 tf % (1 000 ppm) maximális CO₂ tartalom a „jó levegő” kritériuma, amit Pettenkofer-számnak nevez a szakirodalom [26], [27], [85].

A belsőlevegő-minőség értékeléséhez először Yaglou dolgozott ki szubjektív módot és állította fel téziseit [7], [9], [10], [27].

A belsőlevegő-minőség kutatása robbanásszerűen fejlődött a 80-as években. A kutatómunka Fanger nevéhez fűződik. Eredményei alapján 1983-ban megdöntötte Yaglou téziseit és új alapokra helyezte a belsőlevegő-minőség kutatását. Új mértékegységeket dolgozott ki az érzékelhető belsőlevegő-minőség (decipol) és a szennyezőanyag forráserősség (olf) értékelésére. Kidolgozta a levegőminőség méretezésének és mérésének alapjait.

A kutatómunkában jelentős eredményeket értek el Fitzner és munkatársai. Finke új összefüggést dolgozott ki a különböző szennyezőanyag források összegzésére [28], [29].

A belsőlevegő-minőség méretezésére már külföldi országok és nemzetközi szervezetek műszaki előírásai, szabványai rendelkezésre állnak. Magyarországon hozzáférhető a belsőlevegő-minőség elméletének feldolgozása hazai kiadású szakkönyvekben, melyek tartalmazzák a hazai kutatási eredményeket is [9], [10].

A belsőlevegő-minőséget befolyásolja a helyiséget kiszolgáló klimatechnikai rendszer. Alapvetően a levegőbevezetés módjának, illetve a levegő és a helyiség felületek hőmérsékletének van hatása a légzési zóna levegőminőségére [110], [111], [119].

A témakörben jelentős előrelépést jelentett hazánkban a CR 1752 irányelv honosítása 2000-ben, valamint az EN 15251 szabvány honosítása 2007-ben.

Külön meg kell említeni a belsőlevegő-minőség mérésének gyakorlatát és szakirodalmát. Szinte bármely levegőszennyező anyag szelektív méréséhez megfelelő műszerek állnak rendelkezésre. Ugyanakkor a különböző levegőminőséget befolyásoló szennyező anyagok együttes hatásának méréséhez még nem áll rendelkezésre mérőműszer. A méréshez szubjektív módszert alkalmaznak, az emberi orr segítségével történik az értékelés [10], [26], [27], [28], [29]. A mérés történhet tréningelt személyekkel (olf-tester) vagy nem felkészített személyekkel (naiv-panel). A két szubjektív mérési módszer előnyeinek és hátrányainak értékelése a nemzetközi szakmai-tudományos vita egyik kitüntetett témaköre volt. A kutatási-mérési tapasztalatok a naiv-panel alkalmazását javasolják. Előnye, hogy nincs szükség hosszadalmas és költséges laboratóriumi tréningre. Hátránya, hogy lényegesen több (közel hatszoros) alanyra van szükség, a minimális létszám 32 fő [12], [26]. A nemzetközi szakirodalomban és szakmai gyakorlatban két levegőminőségi skála terjedt el, a Fanger-skála és a Hedonic-skála módszere. A skálaértékeket nem egy konkrét személyre, hanem személyek egy csoportjára, vagy valamilyen tipikus személyre vonatkozóan határozták meg.

2.2.3 Fanger-skála

A nemzetközi szakirodalomban széleskörben ismert a Fanger-skála (2.13 ábra). A belsőlevegő-minőség vizsgálatánál, mérésénél elsősorban ezt alkalmazzák. A kutatómunka során én is ezzel végeztem a belsőlevegő-minőség értékelést. Hazánkban Hrustinszky folytatott kutatásokat a Fanger-skála alapján [41]. A kérdőív jól használható különböző anyagok szennyezőanyag forráserősségének meghatározására az olf-decipol rendszerben, ez a témakör nem része disszertációnak. A

szennyezőanyag forrásereősége függ az épülettípustól, az épület korától, az építőanyagoktól és belsőépítészeti anyagoktól, a klímatechnikai rendszertől [62], [67], [68], [73], [126].

KÉRDŐÍV

Képzeld el, hogy ebben a levegőminőségű környezetben dolgozik naponta. Ennek megfelelően jelölje be a levegő minőségét az alábbi skálán:

+1 — egyértelműen elfogadható

+0 — még éppen elfogadható

-0 — még éppen nem fogadható el

-1 — egyértelműen nem fogadható el






2.13 ábra Fanger-skála [26]

2.2.4 Hedonic-skála

A szagok elfogadhatóságának értékelésére használható a szagintenzitás vagy a szubjektív skálák értékei. A szagok okozhatnak kedvező és kedvezőtlen hatást egyaránt. Az elfogadottság értékelésére alkalmazható az ASHRAE Hedonic-skála a 2.14 ábra szerint. A feltett kérdések és kategóriák negatív és pozitív értékelést is tartalmazhatnak a Hedonic-skála szerint. Az eljárást a levegőminőség értékelésén kívül alkalmazzák különböző termékek szaghatásának értékelésénél is, például a parfümök esetében.

1. Érzékel Ön valamit? igen nem

Ha igen, akkor jelölje a megfelelő ábra alatt, melyik fejezi ki legjobban az Ön érzetét.

				
kellemes	semleges	kellemetlen	nagyon kellemetlen	elviselhetetlen
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2.14 ábra Hedonic-skála az emberekkel történő szag vizsgálatokhoz [2]

Az élelmiszeriparban alkalmazzák a 9-pontos diszkrét értékeket tartalmazó skálát [96], [107].

2.3 A szakirodalom értékelése

A hazai és nemzetközi szakirodalom áttekintése alapján az alábbi következtetéseket vontam le:

- a) Irodaházak hőkomfortját értékelő nemzetközi szakirodalom eredményei hazánkban még nincsenek teljes körűen alkalmazva. A témakör nagyon aktuális. Az intenzív, folyamatos szellemi munkavégzés miatt irodaépületekben a komfortfeltételek biztosítása kiemelten fontos.
- b) Irodaházak esetében a hőkomfort komplex értelmezése, az aktuális hőkomfort követelmények alkalmazása – melyek a tevékenységi szintet és a ruházatot is figyelembe veszik – már széles körben elterjedt. Elemezni kell a hazai környezetben a szubjektív (*AMV*) és az objektív (*PMV*) hőérzet kapcsolatát. Ezzel kapcsolatban nincs a hazai környezetre (öltözködés, munkakultúra, épület, időjárás) vonatkozó eredmény.
- c) A hőkomfortra és a belsőlevegő-minőségre vonatkozóan is vannak honosított követelmények (MSZ CR 1752, MSZ EN 15251). Különösen fontos a napi nyolc órás munkaidőben folyamatos koncentrációt igénylő irodai tevékenység megfelelő hő- és levegőminőségi feltételeinek biztosítása.
- d) A szubjektív értékelési módszerek alkalmazása során elsősorban a nemtréningelt személyekkel történő vizsgálatot célszerű előnyben részesíteni az eddigi nemzetközi és hazai tapasztalatok alapján.
- e) A hő- és belsőlevegő-minőség komfort méretezésénél és értékelésénél jelenleg használatos módszerek döntően Fanger kutatási eredményeit alkalmazzák. A nemzetközi szakirodalomban már több kutató jelezte, hogy a módszer nem veszi figyelembe az etnikum, nem, kor eltéréseiből adódó sajátosságokat. Ez változó intenzitással szakmai viták tárgyát képezi a nemzetközi tudományos életben. Ez is indokolja az *AMV* és *PMV* kapcsolatának kutatását hazai környezetben.
- f) A belsőlevegő-minőség értékeléséhez a nemzetközi gyakorlatban a Fanger-skálát, illetve a Hedonic-skálát használják. A tudományos kutatás módszerei alapján értékelni kell a hazai alkalmazásukat. A két skálát korábban már ismertettem. A két skála kapcsolatáról, megfeleltetéséről nem állnak rendelkezésre sem hazai, sem külföldi kutatási eredmények. Laboratóriumi mérések során szükséges a hazánkban alkalmazott belsőépítészeti anyagok vizsgálata a Hedonic- és a Fanger-skála alapján. Szükséges a hazánkban alkalmazott belsőépítészeti anyagok esetében a két skálán kapott eredmények összevetése, értékelése a tudományos kutatás eszközeit alkalmazva. A két skála kapcsolatának meghatározása eredményeként jelentős idő- és költségmegtakarítás érhető el. Elegendő a vizsgálatokat csak az egyik skála alapján elvégezni. Ezen célkitűzések alapján állítottam össze a kutatási tervemet.

3. Kutatási cél

A szakirodalom áttekintése, értékelése és eddigi kutatási tapasztalataim alapján fogalmaztam meg a kutatómunka célját.

- a) Milyen belső hőkörnyezet biztosítja a hőkomfort elégedettséget a hazai sajátosságok mellett (öltözködés, munkakultúra, épület, időjárás). Az irodai munkavégzés hőkomfort feltételei mikor a legkedvezőbbek. A kutatómunka során szükséges elemezni a szubjektív hőérzet (AMV) és a PMV modell eredményeit a hazai irodai környezetben.
- b) Értékelni kell, hogy az épületek új hőtechnikai követelményei milyen hatással vannak a hőkomfortra. Az épületek, épületszerkezetek hőtechnikai tulajdonságainak javulása, a hőtechnikai követelmények szigorítása milyen hatással van a hőkomfortra.
- c) A hőkomfort értékelésénél alkalmazott PMV és a tényleges hőkomfort megelégedettség (AMV) hogyan értelmezhető és számszerűsíthető a hazai gyakorlatban irodák esetében. A vizsgálatoknál ki kell zárni az egyéb komfortot befolyásoló hatásokat, diszkomfort tényezőket. Emiatt a helyszíni méréseket télen végeztem, a frisslevegő ellátás fűtött levegővel történik. Ekkor nem jelentkezik a nyári esetben, hűtött levegővel történő szellőzőkor gyakran előforduló huzathatás. Téli esetben ezt könnyen ki lehet zárni. A helyszíni vizsgálatokhoz irodatereteket választottam, mivel itt különösen fontos a kellemes komfort. A dolgozók komfortérzete közvetlen hatással van a munkavégzés minőségére.
- d) A belsőlevegő-minőség biztosítása új kihívást jelent az épületgépész mérnököknek. Hiányosak a tapasztalatok a belsőlevegő-minőség biztosításához. Ezen belül mit jelent az érzékelhető belsőlevegő-minőség követelmények biztosítása. A belsőlevegő-minőség értékelésénél hogyan alkalmazhatók a különböző skálák (Hedonic-skála, Fanger-skála). Értékelni kell alkalmazhatóságukat a hazai gyakorlatban elterjedt belsőépítészeti anyagok esetében. A belsőlevegő-minőség kutatásának további célja a hazai gyakorlatban alkalmazott belsőépítészeti anyagok szagimissziójának vizsgálata. Az élőalanyos vizsgálatokat el kell végezni a Hedonic-, valamint a Fanger-skála alkalmazásával. A Hedonic- illetve a Fanger-skála eredményei miként számíthatók át a másik skála értékeire a vizsgálatok hatékonyságának növelése, időigények csökkentése céljából. A kapott eredményeket elemezni kell matematikai statisztikai módszerekkel. Vizsgálni kell a két eredmény korrelációját.

4. Módszer

A kutatási cél kijelölésekor az alkalmazandó kutatási módszereket is meghatároztam.

A feladat megoldása során végzett kutatások és módszerek:

- a) A hőkomfort műszeres mérése, értékelése valós irodaterekben és a mérési eredmények elméleti elemzése.
- b) A hőkomfort értékelése a nemzetközi gyakorlatban is alkalmazott tudományos hőkomfort kérdőíves felméréssel.
- c) A műszeres mérés és a kérdőíves felmérés együttes elemzése.
- d) A belsőlevegő-minőség laboratóriumi értékelése élőalanyokkal, egyetemi hallgatókkal.
- e) A hazai gyakorlatban elterjedt belsőépítészeti anyagok esetében levegőminőség vizsgálat a Fanger- és a Hedonic-skálák alapján, az eredmények elemzése.

A disszertációban szerepelnek szabványok az ember szubjektív érzetének értékeléséhez. A szabványban rögzített komfortparaméterek, mint objektív műszaki paraméterek teszik lehetővé a komfort objektív értékelését. A szabványokat tudományos kutatások eredményei alapján dolgozták ki. Fanger kutatási eredményei meghatározóak voltak a komfortelmélet fejlődésében, valamint méretezési és értékelési alapadatok kidolgozásában. Megfogalmazása szerint a szabvány a „szolga”, nem pedig a „mester” („The standard should be servant, not a master.”).

4.1 Hőkomfort

4.1.1 Hőkomfort mérése és kérdőíves elemzése

Az épületgépészeti komfortkutatások során gyakran alkalmazunk műszeres mérést és párhuzamos komfort kérdőíves felmérést. A műszeres mérés útján tudjuk a hőkomfortot befolyásoló objektív paramétereket mérni. Ezen fontosabb fizikai jellemzők: levegőhőmérséklet, levegő páratartalom, határolófelületek hőmérséklete, levegősebesség, várható hőérzeti érték (PMV), a hőérzettel elégedetlenek várható százalékos aránya (PPD). Szokásos hőkomfort ellenőrzésnél a felsorolt paraméterek mérése elegendő. Hőkomfort kutatásoknál elengedhetetlen a szubjektív hőérzet értékelése. A feladat élőalanyok bevonásával történik. A létszámot illetően nincs javasolt érték hőkomfortot illetően. Ismert, hogy a levegőminőség élőalanyos vizsgálatához kidolgozott módszerek esetében alkalmaznak tréningelt és nem tréningelt alanyokat. Nem tréningelt alanyok esetében a minimális létszám 32 fő. A hőkomfort kérdőívet az összes dolgozóval kitöltöttük előzetes tájékoztatás és egészségügyi kontroll után (424 fő). A hőkomfort kérdőívet az M2. Melléklet tartalmazza. A nemzetközi gyakorlatban is alkalmazott ASHRAE-féle pszichofiziológiai szubjektív ötfokozatú hőérzeti skála alapján történt az értékelés. A választható skála értékek:

- hideg,
- hűvös,
- kellemes,
- kissé meleg,
- meleg.

A kérdőív a levegő nedvességére (száraz, megfelelő, páras), valamint a frisslevegő ellátásra vonatkozóan (léghiányérzet, megfelel, kellemes) is kért adatokat. A kérdőív kitöltése során egyéb észrevételeket (zajos, huzatérzet, bezártságérzet) is jelezhettek az irodai dolgozók.

A kutatómunka megtervezése során a két módszer együttes alkalmazását választottam [131]:

- műszeres méréssel a PMV és PPD értékek, valamint a légállapot jellemzők meghatározása,
- kérdőíves hőkomfort értékelés, melynek eredményeként meghatározható az aktuális hőérzeti érték (AMV).

Az egyes élőalanyok különböző irodákban, eltérő komfort körülmények között dolgoztak, ezért a PMV mérési eredmény és az ötfokozatú ASHRAE hőérzeti skála szavazati eredményei adott hőkörnyezetbe tartoztak. Így a kapott eredmények feldolgozása során meghatározható volt a kellemes hőkomforthoz tartozó PMV érték. Mivel az egyes élőalanyok eredményei eltérő hőkörnyezetbe tartoztak, nem volt mód PPD eredményekre vonatkozó következtetések levonására.

A helyszíni méréseket 1996. január - február hónapokban végeztük. A kiértékeléshez az 1996. január 17. 10:00–15:00 közötti időintervallumban mért adatokat használtam fel. A külső hőmérséklet értéke a mérések alatt $-1,5^{\circ}\text{C}$ és $-2,0^{\circ}\text{C}$ között volt.

A kilencszintes irodaépület alapterülete 45×65 m, a beépített térfogat $\sim 70\,000$ m³. Az öt irodaszinten nagyterés irodák és 1-2 fős kisebb irodahelyiségek voltak. Az irodatereken kívül megtalálhatók a további kiszolgáló területek, mint közlekedők, előcsarnok, garázs, illetve más szerviz területek. A hőkomfort kérdőíves felmérés kiterjedt az egész épületre. A lényegesen nagyobb időigény miatt a közvetlen hőérzeti (PMV, PPD), hőmérséklet és nedvességtartalom méréseket az épületet jól jellemző közbelső irodaszinten (3. emelet) végeztük el. Az M1. Melléklet a 3. emelet alaprajzát tartalmazza a PMV-PPD mérési pontokkal. A levegőhőmérséklet és páratartalom mérést az összes irodahelyiségben elvégeztük a 3. emeleten, az iroda közepén, a tartózkodási zónában.

A levegő hőmérsékletet és nedvességtartalmat THERM 2246 és TESTO 610 műszerekkel, míg a PMV és PPD értékeket Thermal Comfort Meter (Típus: B&K 1212) műszerrel mértük. A hőkomfort élőalanyos vizsgálat kiterjedt valamennyi (422 fő) személyre, a válaszadás önkéntes volt, a kérdőívet kitöltők száma 278 fő (66%). Közülük 84 fő dolgozott a 3. emeleten, itt 57 kitöltött kérdőívet kaptunk vissza (66%).

A Thermal Comfort Meter mérőműszert a 4.1 ábra szemlélteti. Az ovális érzékelőtest belső fűtéssel rendelkezik. A műszeren állítható a személy tevékenységi szintje, ruházata, valamint a mérés helyén lévő parciális vízgőznyomás. A belsőlevegő hőmérséklet és a környező felületek sugárzó hatására az érzékelőtest beáll egy termikus egyensúlyi állapotba. Az egyensúlyi állapot alapján határozza meg a műszer a PMV és PPD értéket.



4.1 ábra Thermal Comfort Meter (típus: Brüel & Kjær 1212)

A hőérzeti értékelésnél a helyszínen alapján az alábbi aktivitási és ruházati adatokat választottam:

- aktivitás szintje: 1 met (nyugodt ülés)
1,2 met (irodai munka, számítógép használat)
- ruházat: $I_{cl} = 1,0$ clo (öltöny, tipikus üzletember ruházat)
 $I_{cl} = 0,8$ clo (öltöny zakó nélkül)

A helyszíni mérések elvégzése után a mérési eredmények kiértékelésekor elvégzendő feladatok:

- a hőkomfort kérdőív válaszok homogenitásának vizsgálata (3. emelet és a komplementer épületrész),
- a levegőhőmérséklet és páratartalom mérési eredmények homogenitásának vizsgálata (3. emelet PMV mérési helyek és 3. emelet komplementer rész),
- a kérdőívre adott válaszok, valamint a PMV mérési eredmények, mint valószínűségi változókra vonatkozóan el kell végezni a homogenitás vizsgálatot, a valószínűségi változók összehasonlítását és átváltását.

4.1.2 Az épületszerkezetek hőtechnikai tulajdonságainak hatása a hőkomfortra

Az elmúlt évtizedekben az épületszerkezetek hőtechnikai tulajdonságai jelentősen javultak a követelményértékek szigorítása miatt. Ezt a folyamatot az EU csatlakozás is erősítette. A külső határoló szerkezetek esetében a hőátbocsátási tényező követelményértéke $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, ablakok esetében $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ volt 1986-tól. A mostani előírások a TNM rendelet [130] értelmében a külső fal hőátbocsátási tényező követelményértéke $0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$ (2006-tól), illetve $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ (2018.01.01-től). A műanyag, illetve fa keretű nyílászárók esetében ugyanezen követelményértékek $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ (2006-tól), illetve $1,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ (2018.01.01-től).

Az üvegfelületek közelében az alacsonyabb üvegfelület hőmérséklet miatt hidegpanaszok jelentkeztek. Vizsgálni kell, hogy az új, jobb hőtechnikai követelményeknek megfelelő épületszerkezetek esetében a jelenség milyen mértékben érvényesül. Az értékelés menete:

- a különböző hőátbocsátási tényezők esetében a határolószervezet felületi hőmérsékletének meghatározása,
- a közepes sugárzási hőmérséklet, valamint a PMV és PPD értékek számítása,
- az eredmények értékelése.

4.2 Belsőlevegő-minőség komfort

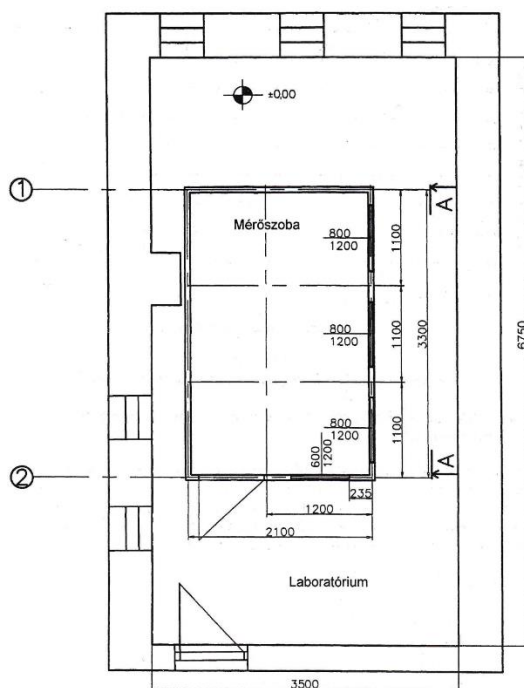
4.2.1 Laboratóriumi mérések helyszíne, berendezések

A kutatómunkát a BME Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék (korábban Épületgépészeti Tanszék) „T” épületben lévő levegőminőségi laboratóriumában végeztem [133], [134]. A levegőminőség vizsgáló mérőkamra emissziószegény műtőfalrendszerből készült. A levegővétel zöld környezetből történik, a klímaközpont háromfokozatú szűrést tartalmaz. A második szűrőfokozat után a légtechnikai rendszer rozsdamentes acélsőből épül fel. A kialakítás megfelelt a nemzetközi gyakorlatnak. A klímaközpont levegőszennyező hatását így kizártuk.

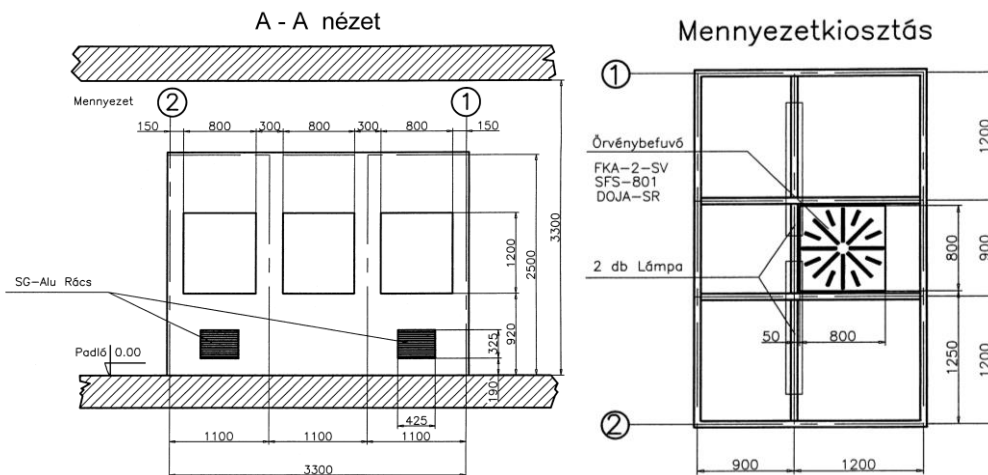
A vizsgáló kamra fő adatai:

- alapterület: $2,1 \times 3,3 \text{ m} = 6,9 \text{ m}^2$
- belmagasság: 2,5 m
- térfogat: $17,3 \text{ m}^3$
- szellőzőlevegő térfogatáram: $1\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ (maximum)
- légcsereszám: 57,8 1/h (maximum)

A laboratórium alaprajzi elrendezését a fő méretekkel a 4.2 ábra, a vizsgálókamra mennyezetkiosztását és oldalméreteit a 4.3 ábra mutatja.



4.2 ábra Belsőlevegő-minőség laboratórium alaprajzi elrendezése



4.3 ábra Belsőlevegő-minőség vizsgálókamra oldalnézete és a mennyezetkiosztás

A szellőztetés frisslevegős, a levegő befűvása a mennyezeten történik. A befűjt levegő a padlószint közelében az oldalfalakra épített szellőzőrácsokon távozik a vizsgálókamrából a laboratóriumi helyiségbe, majd az ablakon a szabadba. Így a vizsgálókamra egyértelműen túlnyomásos. A levegő szűrése három fokozatban történik.

A levegőkezelő elemek fő adatai:

- Szűrő, első fokozat:

típus:	ELA, G3	GEA gyártmány
--------	---------	---------------
- Ventilátor:

típus:	SB 400 F	Helios gyártmány
	$V = 1\,000\text{ m}^3/\text{h}$	
	TSW 5 fordulatszám szabályozóval	
- Hűtőberendezés:

elpárolgató:	CBS – 205	CIAT gyártmány
	$Q_0 = 7,2\text{ kW}$ hűtőteljesítmény	
kültéri egység:	CS-23	CIAT gyártmány
	$P = 3\text{ kW}$ kompresszor teljesítmény	

A hűtőkör forrógázos freon bypass kapcsolással lett kialakítva a fokozatmentes szabályozáshoz. A freon szabályozószelep típusa:

M3. FB 15 LX 06/A Landis & Staefa gyártmány

- Szűrő, második fokozat:

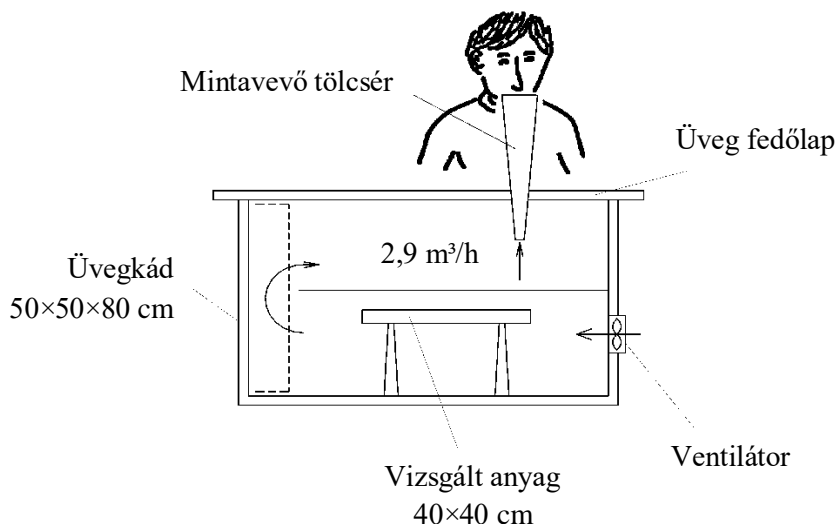
típus:	EBE, F7	GEA gyártmány
--------	---------	---------------

- Elektromos fűtés:
 - típus: DRA 31-6 MAICO Gyártmány
 - Q = 6 kW
- Térfogatáram szabályozó:
 - típus: PRA 315 HALTON gyártmány
- Befűvő anemosztát (indukciós 1 db):
 - típus: FKA-2-SV-SFS-801 SCHAKO gyártmány
 - DQJA-SR 800x800 mm
 - beépített steril szűrő: EU 10
- Szellőző rács (6 db):
 - típus: SG-Alu SCHAKO gyártmány
 - 425x325 mm
- Fűtés szabályozás:
 - Fokozatmentes szabályozás a távozó levegő hőmérsékletéről, MAICO gyártmány:
 - érzékelő: FL 30 P
 - szabályozó: DTL 16 P
 - áramlásérzékelő: LW9
- Hűtés szabályozás:
 - Fokozatmentes szabályozás forrógázos freon bypass üzemmóddal a belső levegő hőmérsékletéről, Landis & Staefa gyártmány
 - érzékelő: FR-T 1/A
 - szabályozó: RK 82/A CLASSIC
- Kapcsolószekrény: NICKEL KLIMA gyártmány

A belsőépítészeti anyagok vizsgálatára alkalmas mérőállás elvi vázlatát a 4.4 ábra szemlélteti. A tervezésnél figyelembe kellett venni, hogy a felhasznált anyagok alacsony szennyezőanyag emisszióval rendelkezzenek. Így a kád üvegből, az áramlásegyenletesítő és a terelőlemez rozsdamentes acélból készült.

Az 50×50×80 cm-es üvegekádba helyeztem be a mérendő szennyezőanyag forrást. A mintákat úgy alakítottam ki, hogy csak a használatban lévő felületein kipárolgó szennyezőanyagokat mérjük. Az oldalsó és hátsó felületeket alumínium szalaggal takartam le. Az üvegekád oldalára rögzített 12 V-os ventilátor segítségével levegő áramlik a vizsgált anyag körül, mely a mintavevő tölcseren át távozik. A kiáramlott levegőt a mérőalany az orra segítségével szubjektív módon értékeli. A tölcseréből kiáramló levegő térfogatárama egyenáramú tápegység segítségével szabályozható. A beállított érték: 2,9 m³/h.

Ekkor a mintavevő tölcseren kiáramló levegő átlagos sebessége 0,16 m/s. Így a szagérzékelés feltételei az emberi orr számára biztosítottak. Az üvegekádba helyeztük el a 40×40 cm méretű anyagmintákat. El lehetett helyezni 1-3 darabot egyazon mintából. Távtartónak üvegpoharakat használtunk, melyek szintén emissziómentes eszközök (4.5 ábra).



4.4 ábra A mérőállás elvi vázlata [134]



4.5 ábra Mérőállás a belsőépítészeti anyagok szennyezőanyag emissziójának meghatározásához [134]

A levegőminőség vizsgálatánál szükséges további berendezés az olf-box (4.7 ábra), amely tartalmazza a levegőminőségi etalonokat. A különböző etalon értékek: 1, 5, 10, 20 decipol. A levegőminőségi etalont a 4.8 ábra szemlélteti. A berendezésben helyezkedik el az acetonszóró (4.9 ábra). Az acetonszórót lefedő lemezen furatok vannak kialakítva. A furatok darabszámától függ a kipárolgó acetonszóró tömege. Adott időtartam alatt a szóró tömegének csökkenése és a ventilátor légszállítása alapján meghatározható az acetonszóró koncentráció a kiáramló levegőben. Az acetonszóró koncentrációból számítható a levegőminőség Fanger egyenlete alapján [26], [27].

$$c = 0,84 + 0,22 \cdot k ; dp \quad (4.1)$$

ahol:

k acetonszóró koncentráció [ppm],
 c levegőminőség [dp].

Az aceton forrás tömegének méréséhez Sartorius BA210S nagypontosságú laboratóriumi mérleget használtunk, mérési pontossága 0,1mg (4.6 ábra).



4.6 ábra Sartorius BA210S laboratóriumi mérleg

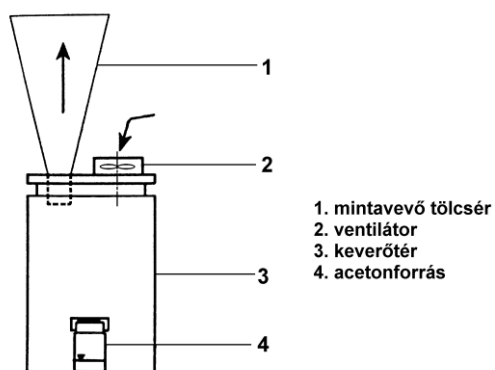
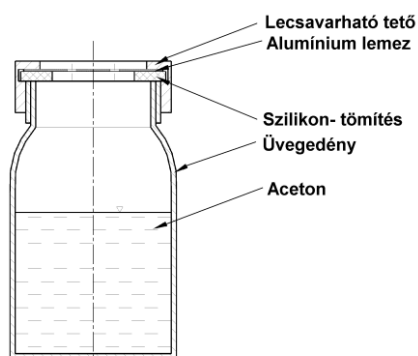
A laboratóriumi kísérletek, mérések eredményeként előállított acetonforrások és a levegőminőségi etalonok adatait a 4.1 táblázat tartalmazza. Az adatok alapján megállapítható, hogy a tervezett 1, 5, 10, 20 decipol értékek közelében az alábbi etalonok mérési eredményei találhatóak: 2,76 dp, 4,66 dp, 9,44 dp, 21,49 dp. A legyártott acetonforrásokkal és levegőminőségi etalonokkal a tervezett mérések jól elvégezhetőek.



4.7 ábra Olf-boksz [134]

4.1 táblázat Az előállított érzékelhető levegőminőségi etalonok

Lemez sorszáma	Mérőedény sorszáma	Lemezben lévő furat átmérője [mm]	Furatok darabszáma	Levegőminőség [decipol]
1	1	2	1	2,76
2	5	2	2	12,78
3	4	3,5	3	21,35
4	4	3,5	4	25,1
6	5	1,5	1	3,77
7	2	1,5	3	4,66
8	1	3	2	21,49
9	2	1,5	2	8,81
10	3	1,5	5	12
11	3	1,5	7	9,44
12	4	2-1,5	2-3	13,15
13	3	3	1	6,32

**4.8 ábra** Levegőminőségi etalon [9]**4.9 ábra** Acetonforrás [9]

4.2.2 A mérőalanyok szagérzékelésének mérése

A mérőalanyok szagérzékelésének mérésekor, ellenőrzésekor a nemzetközi gyakorlatot követve az olf-box berendezést használtuk. Az elkészített etalonsor mellé a mérőalany számára egy-egy ismeretlen aceton koncentrációjú egységet helyeztünk az olf-boxba. A mérőalany az általa ismert etalonsorral összehasonlítva határozta meg a számára ismeretlen levegő minőségét (decipol érték). A mérőalanyok nyolc ismeretlen aceton koncentrációjú levegőt értékelték. Előzetesen az etalonok elkészítése során alkalmazott módszer szerint mind a nyolc minta pontos levegőminőség értékét meghatároztuk. Természetesen a mérőalanyok számára ez ismeretlen volt. A mérőalanyok hibáját az alábbi adatok alapján értékeltük külön-külön az egyes aceton koncentráció esetében:

- abszolút hiba:

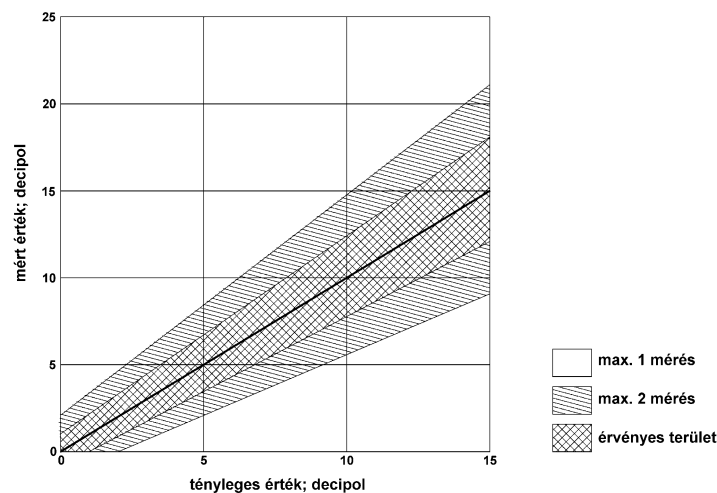
$$H_{ai} = |n_i - n_{ie}|, \text{ decipol}, \quad (4.2)$$

- relatív hiba:

$$H_{ri} = \frac{H_{ai}}{n_{ie}} \cdot 100, \%, \quad (4.3)$$

ahol: n_i : az i -ik minta mérési adata, decipol,
 n_{ie} : az i -ik minta pontos értéke, decipol,
 $i = [1; 8]$.

Az abszolút és relatív hiba értékei meghatározhatók személyenként és a csoport átlaga is képezhető. A kapott eredmények diagramban is ábrázolhatók (4.10 ábra). Minden személy illetve a csoportátlag számításakor nyolc mérési pont kerül a diagramba. Tréningelt személyek esetében (mérőcsoport létszáma 6 fő) az egyes diagram területre jutható mérési pontok számát is tartalmazza az ábra.



4.10 ábra A megkövetelt mérési pontosság tréningelt személyek esetében [129]

4.2.3 A szagimisszió mérés menete

A vizsgálandó belsőépítészeti anyagmintát elhelyezzük az üvegcádban. Mérés során a mérőalanyok az üvegcádból kiáramló levegőt értékelik, összehasonlítva az olf-box etalonokkal. A kádban elhelyezkedő szennyezőforrást nem látják, mivel a mérőállást letakartuk. Fontos, hogy a szaghatást rögtön az adaptáció előtt értékeljék. Az anyagmintákat a méréseket megelőzően a kereskedelmi forgalomban

szereztük be, a vizsgálatok a beszerzés után kb. 1-2 hónap alatt zajlottak le. Egy mérőcsoporton belüli mérőalanyok így azonos forráserősségű mintákat értékelték. A mintadarabok jellemzően 40×40 cm-es méretűek. Forgácslapok esetén a vágási éleket alumínium szalaggal takartam le. Szőnyegek esetén 2 db 40×40 cm-es mintát a hátoldalánál fordítottam össze. Minden mérésnél azonos termikus (t , φ) és akusztikai körülményeket biztosítottam.

A laboratóriumban 2005-2007 között öt méréssorozatot végeztünk. Egy-egy méréssorozatban 33-45 fő mérőalany vett részt, és 8 anyagmintát értékeltünk méréssorozatanként. A laboratóriumi méréseken összesen 196 fő élőalany vett részt, valamint összesen 32 anyagmintát vizsgáltunk. A disszertációban egy méréssorozat eredményeit mutatom be. Az eredmények alkalmasak a kiértékelésre és a következtetések levonására.

A kiválasztott mérésekben 45 fő egyetemi hallgató vett részt, 39 férfi és 6 nő, a létszám megfelelt a nem tréningelt csoport követelményeinek (minimum 32 fő). A méréseket 2005. október, november hónapokban végeztük. A mérőállás fotója a 4.5 ábrán látható. A mérések során a mérőberendezést letakartuk, így a mérőalanyoknak nem volt információjuk a mérendő mintákról (4.11 ábra).

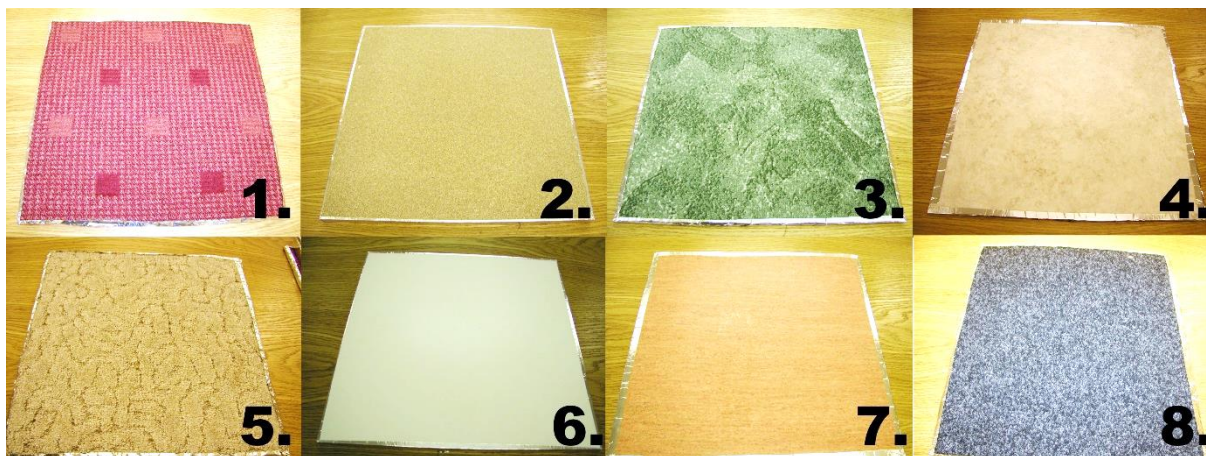


4.11 ábra Belsőépítészeti anyagok érzékelhető szennyezőemissziójának meghatározása élőalanyok segítségével [134]

A mérőcsoporttal a következő anyagmintákat vizsgáltuk (4.12 ábra):

1. Vastag szőnyegpadló latex hátlap piros „Orion” 5 mm vtg.
2. Forgácslap natúr 18 mm vtg.
3. Vékony szőnyegpadló latex hátlap „Rome” 3 mm vtg.
4. PVC padló „Acapulco” 1,3 mm vtg.
5. Vastag szőnyegpadló latex hátlap beige „Viper” 5 mm vtg.
6. Laminált forgácslap 18 mm vtg.
7. Tarkett padló 5 mm vtg.
8. Ipari filc fekete „New Orleans”.

A minták mérete 40×40 cm. A mérőalanyok a szubjektív érzetet (mérési eredményt) a Hedonic- és a Fanger-skálán egyidejűleg rögzítették, így összetartozó statisztikai adatokhoz jutottunk.



4.12 ábra A mérőcsoport által vizsgált anyagminták [134]

5. Mérési eredmények

A fejezetben a hőkomfort vizsgálathoz tartozó helyszíni mérések eredményeit, valamint a belsőlevegő-minőség laboratóriumban mért eredményeit mutatom be.

5.1 Hőkomfort

A 3. emelet hőmérséklet és páratartalom mérési eredményeit az M3. Melléklet, a PMV-PPD mérési eredményeit az M4. Melléklet tartalmazza.

5.1.1 Belsőlevegő hőmérséklet és nedvességtartalom

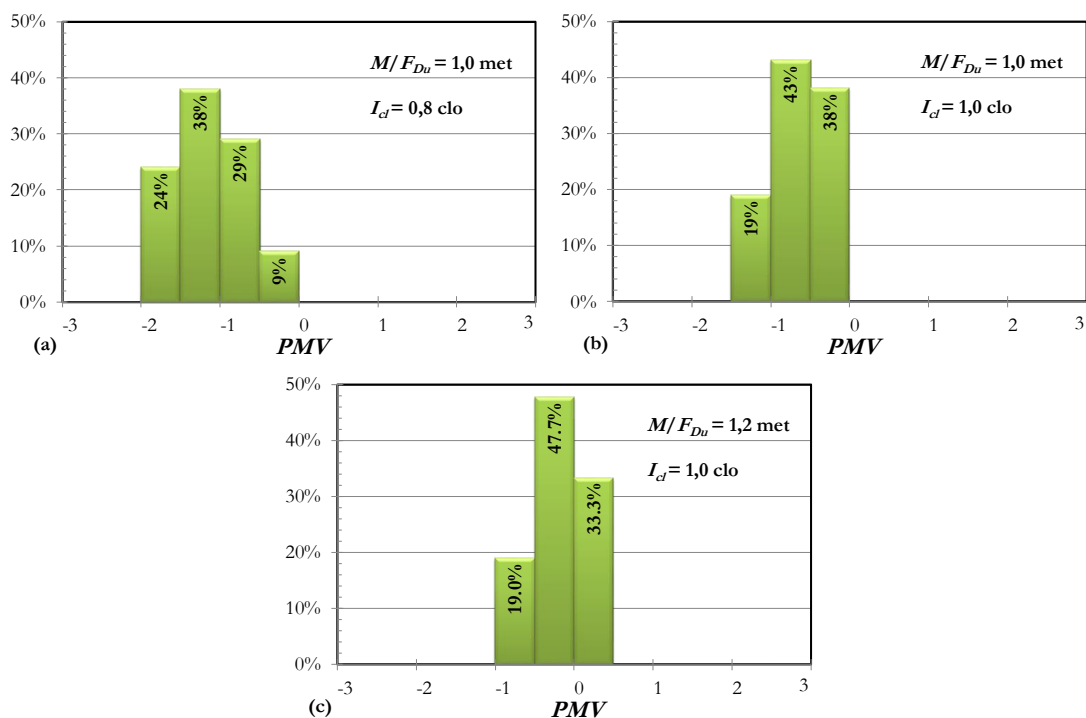
Az épület jellemző 3. emeleti adatok értékelése a matematikai statisztika módszerével történt. A levegő hőmérsékletet és a páratartalmat az épületszint minden irodájában, összesen 32 mérési helyen mértük. A 3. emelet mérési eredményeinek statisztikai kiértékelését az 5.1 táblázat tartalmazza:

5.1 táblázat A levegő hőmérséklet és nedvességtartalom mérési eredményei (3. emelet)

	Hőmérséklet; °C	Nedvességtartalom; %
Átlag	23,1	53,9
Szórás	0,77	2,4
Maximum érték	24,7	58
Minimum érték	21,8	48
Mérőhelyek száma	32	32

5.1.2 PMV és PPD mérés eredményei

A PMV és PPD méréseket a harmadik emelet jellegzetes irodáiban (14 iroda) végeztük el. A mérési helyeket a munkahelyeknél választottuk ki, 3-4 mérési pont a nagyteres és 1-2 mérési pont a kisebb irodákban (mérőhelyek száma 21). A mérési eredményeket a matematikai statisztika módszereivel feldolgozva az 5.2 táblázat tartalmazza. A táblázatban három különböző ruházat és tevékenységi szint kombinációra találhatók meg az eredmények. Meghatároztam az átlagértéket és a szórást, valamint a mért minimális és maximális értékeket. A mérési eredmények jobb áttekinthetősége, értékelése céljából elkészítettem a mérési eredmények hisztogramját. A 3. emelet PMV mérési eredmények hisztogramjait az 5.1 ábra szemlélteti.



5.1 ábra A PMV mérési eredmények hisztogramjai (3. emelet)

5.2 táblázat A hőkomfort mérés eredményei (3. emelet)

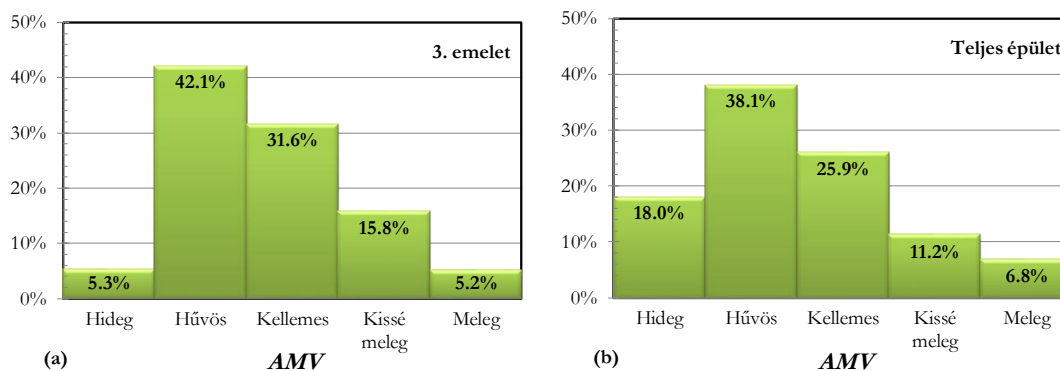
		Aktivitás és ruházat			
		M/F_{Du}	1,0 met	1,0 met	1,2 met
		I_{cl}	0,8 clo	1,0 clo	1,0 clo
PMV [-]	<i>m</i>		-1,13	-0,67	-0,17
	σ		0,38	0,31	0,25
	max.		-0,39	-0,12	0,28
	min.		-1,7	-1,2	-0,59
PPD [%]	<i>m</i>		38,4	17,5	6,9
	σ		19,8	9,9	2,5
	max.		72	38	12,4
	min.		9	5,8	5

5.1.3 A hőkomfort élőalanyos vizsgálatának eredményei

A hőkomfort kérdőívek eredményeit az alkalmazott ötfokozatú skálának megfelelően az 5.3 táblázat, míg hisztogramban feldolgozva az 5.2 ábra tartalmazza. A matematikai kiértékeléshez 1 – 5 számokkal azonosítottuk a hőérzet megnevezését. A kérdőívekre adott válaszok eredményei (hideg = 1, meleg = 5) az aktuális hőérzeti értéket adják (AMV). A kérdőívekre adott válaszok eredményei a matematikai statisztika módszerével kiértékelhetők és átszámolhatók a PMV értékek megfelelő skálára.

5.3 táblázat Komfort kérdőív válaszok

Hőkomfort (AMV)	3. emelet		Teljes épület	
	<i>N</i>		<i>N</i>	
Hideg (1)	3	5,3%	50	18,0%
Hűvös (2)	24	42,1%	106	38,1%
Kellemes (3)	18	31,6%	72	25,9%
Kissé meleg (4)	9	15,8%	31	11,2%
Meleg (5)	3	5,2%	19	6,8%
$\Sigma N_{válaszadók}$	57	100,0%	278	100,0%
$\Sigma N_{dolgozók}$	84	67,9%	424	65,6%



5.2 ábra A hőkomfort kérdőívek eredményei

5.2 Belsőlevegő-minőség

A Hedonic-skála eredménye 1 – 5 közötti egész szám, a Fanger-skála esetében –1 és +1 közötti érték, mely az eredménylapon lemérhető. Az egyes mintákat 1-8 sorszámmal láttuk el. A minta eredménye ezen sorszámmal van azonosítva. A nyolc minta 45 fővel mért eredményeit az M5. Melléklet tartalmazza.

6. Mérési eredmények értékelése

A mérési eredmények kiértékeléséhez az IBM SPSS Statistics programot használtam fel. Ez lehetővé tette a homogenitás vizsgálatok elvégzését, a valószínűségi változók összehasonlítását.

6.1 Hőkomfort

A hőkomfort mérések eredményeként rendelkezésre állt a 3. emeleten a helyiségekben mért levegőhőmérséklet, páratartalom, PMV-PPD értékek, valamint a hőkomfort kérdőív válaszok az egész épületben. Az IBM SPSS Statistics program segítségével elvégeztem a homogenitás vizsgálatokat, a valószínűségi változók összehasonlítását, valamint átváltását. Napjainkban népszerű témakör a szakmában és a hétköznapi életben is a határoló szerkezetek (falak, nyílászárók, födémek, padlók, stb.) hőtechnikai tulajdonságainak javítása. Ez elsősorban a hőszigetelés növelését jelenti. Erre vonatkozóan EU irányelvek vannak érvényben, illetve ezt tükröző EU és honosított követelményértékek. Valójában a témakör tárgyalása során a szakemberek nem beszéltek a követelmények szigorításának a hőkomfortra gyakorolt hatásáról. Ebben a fejezetben ezzel a kérdéssel kapcsolatos eredményeim is megtalálhatók.

6.1.1 Homogenitás vizsgálatok

Kérdőív válaszok homogenitásának ellenőrzése χ^2 -próbával

A homogenitásvizsgálat annak a kérdésnek az eldöntésére szolgál, hogy két valószínűségi változó azonos eloszlású-e, azaz ugyanaz az eloszlásfüggvényük, vagy sem. Adottak a X_1, X_2, \dots, X_n és az Y_1, Y_2, \dots, Y_m statisztikai minták, amelyek egymástól is függetlenek. Eldöntendő, hogy:
 H_0 : $\mathbf{P}(X < x) \equiv \mathbf{P}(Y < x)$ vagy H_1 : $\mathbf{P}(X < x) \neq \mathbf{P}(Y < x)$.

Tekintsük most a $-\infty < x_1 < x_2 < \dots < x_{r-1} < +\infty$, $I_k = (x_{k-1}, x_k)$, ($k = 1, 2, \dots, r$), $x_0 = -\infty$, $x_r = +\infty$, felosztást. A két minta ellenére elég most egyetlen intervallumrendszer, hiszen a homogenitás fennállása esetén ugyanaz a két változó értékkészlete. A minták és a felosztás segítségével definiáljuk az $A_k = \{\omega \mid X(\omega) \in I_k\}$, $B_k = \{\omega \mid Y(\omega) \in I_k\}$, ($k = 1, 2, \dots, r$) eseményrendszereket. Mindkét eseményrendszer teljes, azaz egymást páronként kizáró eseménypárokból áll, és az események egyesítése a biztos eseményt adja. A nullhipotézis fennállása esetén a két minta egyesítése, tehát az X_1, X_2, \dots, X_n , Y_1, Y_2, \dots, Y_m $n+m$ elemből álló rendszer is statisztikai minta lesz. Tekintsük most a ν_i és λ_i gyakoriságokat, ahol:

$\nu_i = k$, ha k db α indexre teljesül a mintában, hogy $X_\alpha \in I_i$ és

$\lambda_i = l$, ha l db β indexre teljesül a mintában, hogy $Y_\beta \in I_i$.

Nyilvánvalóan: $\sum_{i=1}^r \nu_i = n$, $\sum_{i=1}^r \lambda_i = m$.

Ha a nullhipotézis igaz, akkor fenn kell állnia a H_0^* : $\mathbf{P}(A_i) = \mathbf{P}(B_i) = p_i$ feltételezésnek is, ami tehát csak szükséges, de nem elegendő feltétele H_0 -nak. A döntési eljárást úgy szerkesztjük meg, hogy H_0^* -ra vonatkozzék, de annak eredményét H_0 -ra is átörökítjük. Ha ugyanis H_0^* nem igaz, akkor H_0 sem lehet igaz.

H_0^* átfogalmazható úgy, hogy az $1, 2, \dots, r$ értékeket felvevő, a p_i diszkrét eloszláshoz tartozó valószínűségi változó illeszkedésére vonatkozik, melyhez $n+m$ elemszámú megfigyeléssorozat tartozik. A p_i értékeket nem ismerjük, de a mintákból a relatív gyakoriságokkal becsülni tudjuk:

$p_i \approx \tilde{p}_i = \frac{v_i + \lambda_i}{n + m}$. Összesen $r-1$ becslést alkalmazunk, mivel az r -edik eloszláselem a többiből számolható. Tehát becsléses illeszkedésvizgálatról van szó. A tiszta illeszkedésvizgálatnál a

$T_n^* = \sum_{i=1}^r \frac{(v_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}$ és a $T_m^{**} = \sum_{i=1}^r \frac{(\lambda_i - m \cdot p_i)^2}{m \cdot p_i}$ statisztikák aszimptotikusan $r-1$ szabadságfokú χ^2 -

eloszlást követnek, ha H_0^* igaz. Az összegük viszont akkor $2r-2$ szabadságfokú χ^2 -eloszlású lesz:

$T_n^* + T_m^{**} \rightarrow \chi_{2r-2}^2$. Az összesen $r-1$ db paraméterbecslés miatt azonban, ahogy arra a becsléses illeszkedésvizgálatnál utaltunk, a szabadságfokot $r-1$ -gyel csökkenteni kell:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^r \frac{(v_i - n \cdot \tilde{p}_i)^2}{n \cdot \tilde{p}_i} + \sum_{i=1}^r \frac{(\lambda_i - m \cdot \tilde{p}_i)^2}{m \cdot \tilde{p}_i} &= \sum_{i=1}^r \frac{\left(v_i - n \cdot \frac{v_i + \lambda_i}{n + m}\right)^2}{n \cdot \frac{v_i + \lambda_i}{n + m}} + \sum_{i=1}^r \frac{\left(\lambda_i - m \cdot \frac{v_i + \lambda_i}{n + m}\right)^2}{m \cdot \frac{v_i + \lambda_i}{n + m}} = \\ &= n \cdot m \sum_{i=1}^r \frac{\left(\frac{v_i}{n} - \frac{\lambda_i}{m}\right)^2}{v_i + \lambda_i} \rightarrow \chi_{r-1}^2 \end{aligned} \quad (6.1)$$

A H_0^* hipotézis eldöntéséhez, tehát az $r-1$ szabadságfokú χ^2 -eloszlás táblázatból meghatározzuk azt a K_ε kritikus értéket, melyre $1 - \varepsilon = P(\chi_{r-1}^2 < K_\varepsilon)$ teljesül. Ezek után a H_0^* -ot, így H_0 -t is elfogadjuk, ha

az adott realizálódott mintánál $n \cdot m \sum_{i=1}^r \frac{\left(\frac{v_i}{n} - \frac{\lambda_i}{m}\right)^2}{v_i + \lambda_i} < K_\varepsilon$ teljesül.

A komfort kérdőívre adott válaszok esetében a 3. emeleti és az egész épületi adatok összehasonlítása volt az egyik feladat. Ellenőriztük, hogy a 3. emeleten a dolgozók a komfort kérdőívre homogén választ adtak-e az épület többi helyiségében (komplementer rész) dolgozókkal, mivel a PMV mérések csak a 3. emeleten történtek.

A nullhipotézis feltételezi, hogy a 3. emelet kérdőív válaszai az épület többi helyiségeiben kapott válaszokkal homogén adatok. A homogenitás vizsgálatot a fent ismertetett χ^2 -próbával végeztük el. A 3. emeleti válaszok és a komplementer (azaz az összes többi) válaszok esetében a próbastatisztika számított értéke 8,34-re adódott, a kritikus értéket a 4 szabadságfokhoz és a 0,05 szignifikancia szinthez táblázatból határoztuk meg: 9,49. Megállapítható, hogy elfogadható a válaszok homogenitására vonatkozó nullhipotézis (6.1 táblázat).

6.1 táblázat A kérdőíves válaszok homogenitásának ellenőrzése χ^2 -próbával a 3. emelet és a többi helyiség (komplementer szintek) között

Hókomfort szavazatok				Rel. gyak.		χ^2
<i>AMV</i>	$N_{3.em.}$	$N_{telj.ép.}$	$N_{komplementer}$	3. emelet	Komplementer szintek	
Hideg (1)	3	50	47	0,053	0,213	6,087
Hűvös (2)	24	106	82	0,421	0,371	0,242
Semleges (3)	18	72	54	0,316	0,244	0,714
Kissé meleg (4)	9	31	22	0,158	0,100	1,072
Meleg (5)	3	19	16	0,052	0,072	0,224
$\Sigma N_{válaszadók}$	57	278	221	Próba statisztika ($\Sigma\chi^2$) :		8,34
				Kritikus érték :		9,49
				Szabadságfok :		4
				Szignifikancia :		0,08

A levegő hőmérséklet és páratartalom adatok homogenitása

A homogenitás vizsgálat keretében a 3. emelet PMV mérési helyeinek hőmérséklet illetve páratartalom adatait hasonlítottuk össze a 3. emelet többi helyiség mérési eredményeivel (6.2 táblázat).

A 42 PMV mérés a 3. emelet kiválasztott helyiségeiben zajlottak le. Összehasonlítottuk ezen helyiségekhez tartozó hőmérsékleti (t) és páratartalom (φ) adatokat a többi 3. emeleti helyiség hasonló adataival. A kiinduló alapadatokat az M4. Melléklet tartalmazza. Ezúttal tehát folytonos adatok eloszlásait kell összehasonlítani, amit kétmintás Kolmogorov-Szmirnov-próbával, Mann-Whitney-, Moses- és Wald-Wolfowitz-próbával is ellenőriztük (6.3 táblázat). A szignifikancia szintet 0,01-re választottam, mivel a PMV-t befolyásoló több paraméter közül egy-egy fizikai paraméter (hőmérséklet, nedvességtartalom) homogenitását vizsgálom.

6.2 táblázat A PMV mérési helyek és a többi helyiség (komplementer rész) hőmérsékleti és páratartalom adatainak statisztikái a 3. emeleten

Csoport		t [°C]	φ [%]
nem-PMV	m	23,41	53,4
	$\Sigma N_{mérés}$	18	18
	σ	0,9	2,9
	max.	24,7	58
	min.	21,8	48
PMV	m	22,82	54,64
	$\Sigma N_{mérés}$	14	14
	σ	0,48	1,59
	max.	23,4	57
	min.	21,8	52
Teljes 3. emelet	m	23,15	53,9
	$\Sigma N_{mérés}$	32	32
	σ	0,79	2,4
	max.	24,7	58
	min.	21,8	48

6.3 táblázat A PMV mérési helyek és a többi helyiség (komplementer rész) hőmérsékletének (t) és páratartalmának (φ) összehasonlítása Mann-Whitney U, Wilcoxon W és kétmintás Kolmogorov-Smirnov próbával a 3. emeleten

Csoport		N	Átlag rang	Rangszám összeg
t [°C]	nem-PMV	18	19,61	353
	PMV	14	12,50	175
	Teljes 3. emelet	32		
φ [%]	nem-PMV	18	14,75	265,5
	PMV	14	18,75	262,5
	Teljes 3. emelet	32		
Próba statisztika			t	φ
Mann-Whitney U			70	94,5
Wilcoxon W			175	265,5
Z			-2,13	-1,21
Aszimpt. Szn. [2-oldali]*			0,03	0,22
Egzakt Szn. [1-oldali]*			0,03	0,23

* : kétmintás Kolmogorov-Szmirnov-próba

Mindegyik próba igazolja a homogenitást, igaz a hőmérsékletek azonosságát kisebb szignifikancia szinten, mint a páratartalmak esetében. Az eredményekből megállapítható, hogy 0,01-es szignifikancia szinten mindegyik próba elfogadja azt, hogy a PMV mérési helyeken mért hőmérséklet és páratartalom azonos eloszlást követett a nem PMV mérési helyeken mért hőmérséklet és páratartalom értékekkel (3. emeleten). Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy a kérdőívek esetében a $p = 0,08$ érték alig haladja meg a szignifikancia választott szintjét (0,05).

6.1.2 Valószínűségi változók összehasonlítása

A kutatások során gyakori feladat különböző mérésekhez tartozó adatok összehasonlítása. A mérési adatokat valószínűségi változóknak tekintve, a probléma a homogenitás vizsgálat témakörébe tartozik. Diszkrét változót diszkrét változóval vagy folytonos változót folytonos változóval hasonlíthatunk össze pl. chi-négyzet próbával vagy kétmintás Kolmogorov-Szmirnov-próbával. Ilyenkor a szignifikancia-próbával arról a nullhipotézisről döntünk, hogy a vizsgált változók eloszlása azonosnak tekinthető-e. A próbáknak van olyan változata, amikor független minták homogenitását kell eldönteni, és olyan is, amikor szimultán mérési adatokat (úgynevezett összetartozó mintákat) kell összehasonlítani.

Nem ilyen egyértelmű azonban a helyzet, amikor egy *diszkrét* és egy *folytonos* valószínűségi változót kell összehasonlítani. Ilyenkor eleve nem lehet a két változó azonos eloszlású. Viszont az összehasonlításnak van értelme, mert mindkét változó ugyanazt a fizikai jellemzőt méri, csak más-más skálán kifejezve. A problémát összetartozó minták esetében valamilyen regressziós módszerrel lehet elemezni. Amikor a minták függetlenek, akkor viszonylag kevés matematikai eszköz áll rendelkezésünkre. Ez a helyzet az általunk tárgyalt esetben is. A hőérzetet lehet 1-5 skálán kérdőíves módszerrel (AMV), és műszerrel (PMV) mérni. Az AMV adat egy ötértékű diszkrét változó, a PMV

pedig egy $[-3,+3]$ tartományba eső folytonos változó. Ekkor a változók momentumainak összehasonlításával próbálkozhatunk.

Jelöljük a dolgozók aktuális hőérzeti értékét (AMV) X -szel, amit az épület összes emeletei helyiségeiben kérdőíves felméréssel vettek fel. Irodai munka közben (1 met) és szokásos irodai öltözetben (1 clo) a dolgozók a hőérzetet egy ötfokozatú skálán fejezhetik ki: 1=*hideg*, 2=*hűvös*, 3=*kellemes*, 4=*kissé meleg*, 5=*meleg*. Az X tehát egy diszkrét valószínűségi változó $R_X = \{1,2,3,4,5\}$ értékészlettel, $p_i = \mathbf{P}(X = i)$ eloszlással.

Ezt a változót hasonlítjuk össze a várható hőérzeti értékkel (PMV), amit Y -nal jelölünk. Az Y folytonos valószínűségi változó (feltehetőleg jól közelíthető normális eloszlással), értékeit a -3 és $+3$ között veszi fel. Az Y adatait az épület harmadik emeleti helyiségeiben az X mérésével azonos időben, megegyező külső feltételek mellett mértük. A két mintát függetlennek kell tekintenünk, mert a minták elemszámai és a mérés helyszíneinek száma nem egyeztek meg.

Első lépésben az X -et lineáris transzformációval leképezzük a $[-3, +3]$ tartományba, az Y folytonos változó tartományába.

$$\tilde{X} = 1,5(X - 3) \quad (6.2)$$

A transzformált változó várható értéke:

$$\mathbf{E}(\tilde{X}) = 1,5 \cdot [\mathbf{E}(X) - 3] \quad (6.3)$$

Szórása:

$$d = \sigma(\tilde{X}) = 1,5 \cdot \sigma(X) \quad (6.4)$$

Ezután keressük azokat az α, β konstansokat, amivel

$$\mathbf{E}(\alpha\tilde{X} + \beta) = \mathbf{E}(Y), \quad \sigma(\alpha\tilde{X} + \beta) = \sigma(Y) \quad (6.5)$$

A 6.5 feltételekből

$$\alpha\mathbf{E}(\tilde{X}) + \beta = \mathbf{E}(Y) \quad (6.6)$$

$$\alpha\sigma(\tilde{X}) = \sigma(Y) \quad (6.7)$$

$$\alpha = \frac{\sigma(Y)}{\sigma(\tilde{X})} \quad (6.8)$$

$$\beta = \mathbf{E}(Y) - \frac{\sigma(Y)}{\sigma(\tilde{X})} \cdot \mathbf{E}(\tilde{X}) \quad (6.9)$$

A 6.4 táblázatban összehasonlítottuk az \tilde{X} és Y várható értékeit és szórásait. A műszeres mérés kisebb értéket állapított meg a kérdőíves értékhez képest. Viszont a műszeres mérés szórása jóval kisebb a kérdőíves eredményekhez képest, amint azt várni is lehet.

6.4 táblázat Várható értékek és szórás eredmények

	Átlag	Szórás	α	β
X (AMV)	2,51	1,117		
\tilde{X} (AMV)	-0,735	1,68		
Y (PMV) /1 met, 1 clo/	-0,67	0,31	0,185	-0,534
Y (PMV) /1,2 met, 1 clo/	-0,17	0,25	0,149	-0,060

6.1.3 Valószínűségi változók átváltása

A következőben megvizsgáljuk, miként lehet az említett két változót egymásba „átváltani”, azaz hogyan lehet X -et (AMV) kifejezni Y -nal (PMV), és fordítva. A változók várható értékei és szórásai segítségével az átváltást a

$$\alpha \tilde{X} + \beta = 1,5\alpha X + \beta - 4,5\alpha \approx Y \quad (6.10)$$

lineáris kapcsolat alapján adjuk meg. A 6.4 táblázat adataival:

$$1 \text{ met, 1 clo esetben } Y \approx 0,185X - 0,534, \quad (6.11)$$

$$1,2 \text{ met, 1 clo esetben } Y \approx 0,149X - 0,006. \quad (6.12)$$

 X (AMV) kifejezése Y -nal (PMV):

Feltesszük, hogy Y normális eloszlást követ m és σ paraméterekkel. Y 90%-os valószínűséggel az értékeit az m körüli $\sigma \cdot 1,65$ félhosszúságú konfidencia intervallumban veszi fel:

$$(m - 1,65 \sigma; m + 1,65 \sigma). \quad (6.13)$$

Így X értékeit 90% megbízhatósággal az

$$\left(\frac{m+4,5\alpha-\beta-1,65\sigma}{1,5\alpha}; \frac{m+4,5\alpha-\beta+1,65\sigma}{1,5\alpha} \right) \quad (6.14)$$

intervallumban fogja felvenni.

 Y (PMV) kifejezése X -szel (AMV):

Diszkrét változóval nehezebb egy folytonos változót közelíteni. Azonban, ha X -re nagy elemszámú mintát veszünk, akkor a minta átlaga a centrális határeloszlás tétel alapján már közelítőleg normális eloszlást követ, így lehetőség nyílik az Y becslésére. Ha X -re n elemű mintánk van, akkor a transzformált $\tilde{X} = 1,5(X - 3)$ átlaga $N(\mu, d/\sqrt{n})$ eloszlást követ, vagyis 90%-os megbízhatósággal az értékei a $(\mu - 1,65d/\sqrt{n}, \mu + 1,65d/\sqrt{n})$ tartományba esnek, vagyis a becsült $Y \approx \alpha \tilde{X} + \beta$ értékeit az $(\alpha\mu - 1,65\alpha d/\sqrt{n} + \beta, \alpha\mu + 1,65\alpha d/\sqrt{n} + \beta)$ intervallumban kell keresnünk. A képletben $\mu = E(\tilde{X})$ és

$d = \sigma(\bar{X})$, továbbá n a mintadarabszám. A két mérés közötti átváltáshoz a konstansokat a 6.4 táblázat tartalmazza.

6.1.4 Összefoglalás, értékelés

Az irodaépületben műszeres hőkomfort méréseket és hőkomfort kérdőíves felmérést végeztünk télen állandósult hőegyensúlyi állapotban. A mérési eredményeket feldolgoztuk és az elméleti kiértékeléseket, elemzéseket is elvégeztük. Magyarországon még nem történt hasonló hőérzeti mérés és elméleti kiértékelés a PMV modell alkalmazhatóságát illetően. Az eredményeket az alábbi fő, általánosítható következtetésekből foglalom össze:

- a) A hőérzeti kérdőív eredménye nagyon jól közelíti az irodai munkát reprezentáló tevékenységi szintre és ruházatra vonatkozó műszeres PMV mérés eredményét.

A tevékenységi szint 1 met és a ruházat 1 clo esetére vonatkozó műszeres PMV mérés eredménye: átlag $-0,67$. Az AMV érték kicsivel alacsonyabb:

$$AMV = PMV - 0,065 \quad (6.15)$$

A tevékenységi szint 1,2 met és a ruházat 1 clo esetére vonatkozó műszeres PMV mérés eredménye: átlag $-0,17$. Az AMV érték alacsonyabb:

$$AMV = PMV - 0,565 \quad (6.16)$$

A PMV és AMV közötti függvénykapcsolatok a vizsgált hőkörnyezet alapján $-1,7 \leq PMV \leq +0,5$ tartományban érvényesek.

- b) Az eredmények szórására vonatkozóan megállapítható, hogy a kérdőíves felmérés esetében a szórás lényegesen nagyobb, 5,42-szeres (1 clo, 1,0 met beállításnál), illetve 6,72-szeres (1 clo, 1,2 met beállításnál), mint a műszeres mérés esetében. Ez az élőalanyos és a műszeres mérések közötti általános különbség alapján várható volt, az eltérést számszerűsítettem.

Hazai sajátosságok (öltözködés, munkakultúra, épület, időjárás) mellett, klimatizált irodatermek mérési eredményei alapján megállapítottam, hogy Fanger PMV – PPD hőérzeti értékelő módszere jól használható a hazai környezetben. A PMV és AMV értékek eltérése minimális, az eltérést meghatároztam. Magyarországon ilyen komplex hőérzeti kutatás, helyszíni hőkomfort elemzés még nem történt. A bemutatott eredmények egyértelműen igazolták a PMV modell hazai alkalmazhatóságát. A kapott eredmények kiegészítik a PMV-AMV kutatás nemzetközi irodalmát.

6.1.5 Az épületszerkezetek hőtechnikai követelményeinek hatása a hőkomfortra

Az EU 2002/91EK direktívához kapcsolódó hazai előírások a külső határoló szerkezetek hőtechnikai tulajdonságainak jelentős javulását eredményezték.

A falak esetében a hőátbocsátási tényező változása:

- korábbi követelmények (1986-tól): 0,7 W/m² K,
- TNM rendeletben (2006.): 0,45 W/m² K,
- TNM rendeletben (2018.01.01-től): 0,24 W/m² K.

Az üvegfelületek, fa illetve műanyag keretű nyílászárók hőátbocsátási tényezője:

- korábban alkalmazott ablakok esetében (1986-tól): 3,0 W/m² K,
- TNM rendeletben (2006.): 1,6 W/m² K,
- TNM rendeletben (2018.01.01-től): 1,15 W/m² K.

Az ember hőkomfortja a PMV elmélet alapján értékelhető. A fizikai modellben az ember hőegyensúlyát befolyásoló hőmérsékletek:

- t_l ; °C: a levegő száraz hőmérséklete,
- t_{Fi} ; °C: az i-edik fal-födém felületi hőmérséklete,
- t_p ; °C: a padlófelület hőmérséklete,
- $t_{ü}$; °C: az üvegfelület hőmérséklete,
- t_{ks} ; °C: a közepes sugárzási hőmérséklet.

Elméleti úton a felület és ülő ember közötti sugárzásos hőcsere modelljét alkalmazva meghatároztuk a külső fal és üveg belső felületi hőmérsékleteket és a PMV – PPD értékeket. A belsőlevegő hőmérsékletet 22 °C, a belső falfelületi hőmérsékleteket 20 °C, illetve 22 °C értékkel vettük figyelembe.

Az emberi test sugárzásos hőcseréje számítható [9]:

$$\dot{Q}_S = F_E \sum_{i=1}^4 b_i C_i \varphi_{EFi} (t_{cl} - t_{Fi}) \quad (6.17)$$

ahol:

- F_E ; m²: az ember testfelülete, pontos értéke számítható, a műszaki gyakorlatban felnőtt emberek esetében $\approx 1,8 \text{ m}^2$, gyerekek esetében $\approx 1,2 \text{ m}^2$,
- b_i ; -: az úgynevezett hőmérséklet átszámítási tényező, amely meghatározható a

$$b_i = \frac{\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4}{t_1 - t_2} \quad (6.18)$$

- C_i ; -: a kölcsönös sugárzási együttható,
- t_{cl} ; °C: a ruházat felületi hőmérséklete,
- t_{Fi} ; °C: a határoló felületek hőmérséklete,
- φ_{EFi} ; -: az emberi testnek az egyes felületekre vonatkoztatott besugárzási tényezője.

Fanger a sugárzásos hőcsere közvetlen meghatározására - Gagge és munkatársai, valamint Stolwijk és Hardy kutatásai alapján - egy egyszerű összefüggést dolgozott ki [9]:

$$\dot{Q}_S = 3,94 \cdot 10^{-8} F_{Du} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{ks} + 273)^4] \quad (\text{W}) \quad (6.19)$$

ahol: f_{cl} a mezítelen és ruházattal borított testfelület aránya.

A vizsgálatoknál a szubjektív érzékelő az ablak tengelyében helyezkedett el, a kölcsönös besugárzási tényező értéke az „a” esetben 1, a „b” és „c” esetben 0,5. A vizsgált téli esetekben nincs benapozás. A hőérzeti elemzéseinknél a felületi közepes hőmérsékletre vonatkozóan három esetet vizsgáltunk:

a., $t_{ks} = t_{ablak}$

b., $t_{ks} = (t_{ablak} + t_{fal})/2$ falak átlagos hőmérséklete 20 °C,

c., $t_{ks} = (t_{ablak} + t_{fal})/2$ falak átlagos hőmérséklete 22 °C.

A számított eredményeket a 6.5 táblázat, 6.6 táblázat és 6.7 táblázatok tartalmazzák. A PMV eredményeket a 6.1 ábra, míg a PPD eredményeket a 6.2 ábra szemlélteti.

6.5 táblázat PMV-PPD ablak közelében („a” eset)

Ablak – k W/m²K	Ablakfelület °C	PMV –	PPD %
2,9	9,46	-2,55	94,4
2,5	11,19	-2,08	80,2
1,6	15,08	-1,01	26,5
1,3	16,38	-0,64	13,6
1,15	17,03	-0,45	9,2
1,0	17,67	-0,27	6,5

Megjegyzés: $t_{ks} = t_{ablak}$

6.6 táblázat PMV-PPD ablak közelében („b” eset)

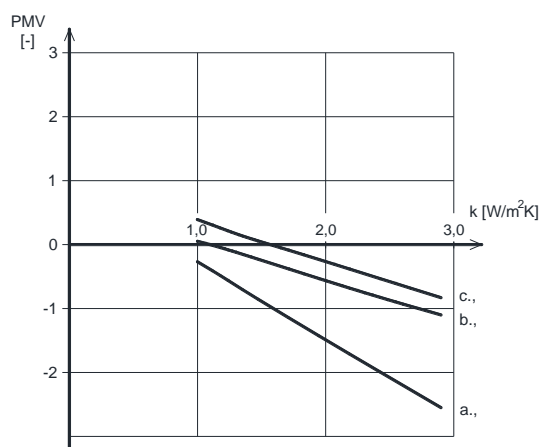
Ablak – k W/m²K	t_{ks} °C	PMV –	PPD %
2,9	14,73	-1,11	31,0
2,5	15,59	-0,87	21,0
1,6	17,54	-0,31	7,0
1,3	18,19	-0,12	5,3
1,15	18,51	-0,03	5,0
1,0	18,83	+0,07	5,1

Megjegyzés: $t_{ks} = (t_{ablak} + t_{fal})/2$, falak hőmérséklete 20 °C

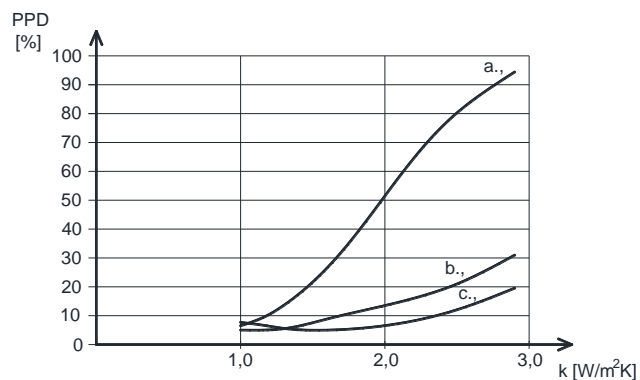
6.7 táblázat PMV-PPD ablak közelében („c” eset)

Ablak – k W/m ² K	t _{ks} °C	PMV –	PPD %
2,9	15,73	-0,83	19,5
2,5	16,59	-0,58	12,0
1,6	18,54	-0,02	5,0
1,3	19,19	+0,17	5,6
1,15	19,51	+0,29	6,7
1,0	19,83	+0,36	7,7

Megjegyzés: $t_{ks} = (t_{ablak} + t_{fal})/2$, falak hőmérséklete 22 °C



6.1 ábra PMV eredmények az ablak hőátbocsátási tényezője függvényében [S16]



6.2 ábra PPD eredmények az ablak hőátbocsátási tényezője függvényében [S16]

Az elméleti vizsgálatok alapján levonható következtetések:

- a 7/2006 TNM rendelet ablakra vonatkozó hőtechnikai követelményei ($k = 1,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$) alapján a belső ablakfelület hőmérséklete legalább 15 °C,

- a TNM szigorítása (2018.01.01-től $k = 1,15 \text{ W/m}^2\text{K}$) következtében az ablakfelület hőmérséklete $16,4 - 17,0^\circ\text{C}$, illetve ennél magasabb,
- az ablak közelében („a” eset) a hőkomforttal elégedetlenek aránya jelentősen csökkent a hőtechnikai szempontból jobb ablakok alkalmazásával, a hőátbocsátási tényező csökkenése és a belső felületi hőmérséklet növekedése következtében. A TNM rendelet előtti nyílászárók esetében, az ablak közelében az elégedetlenek százalékos aránya $\approx 95\%$, mely a rendelet követelményei alapján $\approx 27\%$ -ra csökkent. A TNM követelményeinek további szigorítása (2018.01.01.) következtében az elégedetlenek százalékos aránya $\approx 10\%$.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy $k = 1,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ ablak hőátbocsátási tényező esetén a $\text{PMV} = -0,5$ biztosítható. Ez már a kellemes komfortot jelenti a nemzetközi értékelés szerint, a $\text{PPD} = 10 \%$.

6.2 Belsőlevegő-minőség

A belsőlevegő-minőség kutatásaimat az 1990-es években kezdtem. Több szakmai úton vettem részt a Berliini Műszaki Egyetemen és a Dán Műszaki Egyetemen. Itt ismerkedtem meg a témakörrel. A kutatómunka feltételeinek biztosításához vezetésemmel felépítettük a belsőlevegő-minőség laboratóriumot. Komfortelmélet néven új tárgy indult a BME Gépészmérnöki karán, szakkikkeket és szakkönyveket írtunk. A megjelent szakkönyvek közül a témakörökhöz kapcsolódnak Bánhidi [6], valamint Bánhidi és Kajtár [9], [10] szakkönyvei, melyek részletesen feldolgozzák a témakör szakirodalmát. A [10]-es szakkönyvben már szerepelnek az új kutatási eredményeink. A belsőlevegő-minőség biztosításához frisslevegő alapadatokat dolgoztam ki [10]. Vezetésemmel több OTKA kutatási projektben értékeltük a belsőlevegő-minőséget [132], [133], [134]. További hazai és nemzetközi kutatók is foglalkoztak a belsőlevegő-minőséggel: Bluysen [12], Borg [13], Boulic et al. [14], Chan et al. [18], Derbez et al. [22], Gunnarsen et al. [32], [33], Jensen et al. [44], Knudsen et al. [53], [54], Larsen et al. [57], Loewer [63], Mayer et al. [70], Nitter et al. [79], Sateri [88], Steinheider et al. [93], Sundell et al. [97], Thumulla et al. [102], Wang et al. [105], Witthauer et al. [109].

6.2.1 A mérőalanyok szagérzékelésének értékelése

A mérőalanyok szagérzékelésének ellenőrzésekor a nemzetközi gyakorlatnak megfelelően az olf-box berendezést használtuk. Az elkészített etalonsor mellé a mérőalany számára egy-egy ismeretlen aceton koncentrációjú egységet helyeztünk az olf-box berendezésbe. A mérőalany az általa ismert etalonsorral összehasonlítva határozta meg a számára ismeretlen levegő minőségét (decipol érték). A mérőalanyok nyolc ismeretlen aceton koncentrációjú levegőt értékelték. A csoport hibáját az alábbi adatok jellemzik és az eredményeket a 6.3 ábra szemlélteti.

VII. Mérőcsoport szagérzékelési hibája a 45 fő átlaga alapján [134]:

Abszolút hiba:

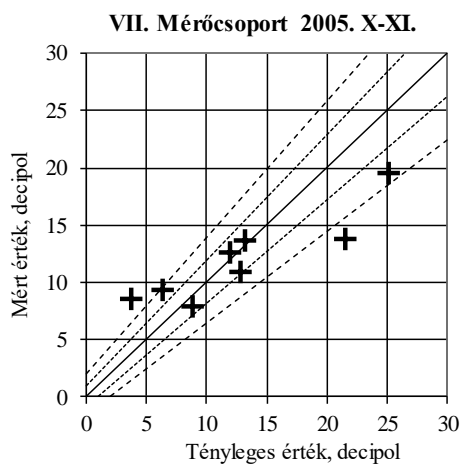
- átlag: 3,14 decipol
- min. eltérés: 0,50 decipol
- max. eltérés: 7,72 decipol

Relatív hiba:

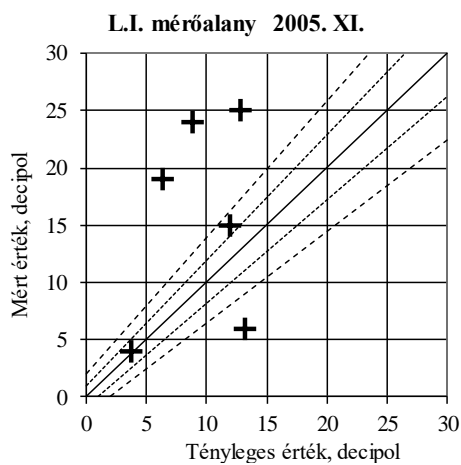
- átlag: 33,65 %
- min. eltérés: 3,84 %
- max. eltérés: 128,58 %

Az VII. mérőcsoport szórása:

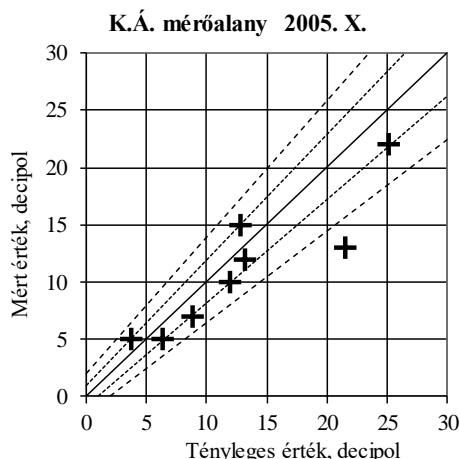
- 2,49 decipol
- 38,6 %



6.3 ábra A VII. mérőcsoport (45 fő) mérési eredményeinek átlaga [134]



6.4 ábra A VII. mérőcsoport legrosszabb alany mérési eredményei [134]



6.5 ábra A VII. mérőcsoport legjobb alany mérési eredményei [134]

A 6.4 ábra a csoport legrosszabb, illetve 6.5 ábra a legjobb szagérző alanyának eredményeit ábrázolja. Tréningelt csoport olf-box segítség nélkül végzi a levegőminőség mérést. Megállapítható, hogy a VII. mérőcsoport esetében a megengedett területeken kívülre jut két mérési eredmény. A csoportátlag alapján az 5 decipol alatti értékeket kismértékben felülbecsülik, a 20 decipol feletti értékeket kismértékben alul becülik az alanyok. A mérőcsoport eredményei alapján alkalmas levegőminőség vizsgálatra, mint nem tréningelt csoport (minimális létszám 32 fő lenne).

6.2.2 A Hedonic- és a Fanger-skála szerinti szagintenzitás mérési eredmények összehasonlítása matematikai statisztikai módszerekkel

Az alaphelyzet az, hogy ugyanazt a célobjektumot két különböző módon mértük meg élőalanyokkal. Így a mérés során minden alany két értéket adott meg egy H (Hedonic) diszkrét értéket egy ötfokozatú nemszimmetrikus skáláról, és egy F (Fanger) folytonos értéket a $[-1, +1]$ intervallumról. Matematikailag egy H ordinális, nem szimmetrikusan rendezett mérési szintű kategória változóról és egy F arányskálás folytonos valószínűségi változóról van szó.

A Hedonic-skálát az 1950-es években alkották meg, létezik az öt-, hét-, kilenc-, tizenegyfokozatú változata. Az ötfokozatú változatot alapvetően a parfüm vizsgálatoknál használják. A Fanger-skálát Fanger professzor az 1980-as évek elején alkotta meg kifejezetten a belsőlevegő-minőség vizsgálatára. Mindkét skála a szagimissziót értékeli, hasonló fizikai jellemzőt vizsgál. A skálák eltérő jellegéből adódóan (fokozatos/fokozatmentes) hasonló fizikai jellemzőket vizsgálnak, de nem ugyanazt az eredményt adják. Az ember a levegőminőséget érzékszervi érzékelés alapján értékeli. Hasonló folyamatokkal találkozunk például a hő, fény, levegősebesség, zaj, íz, rezgés, stb. fizikai jellemzők érzékelésénél is. [55]. A belsőlevegő-minőség vizsgálatnál a Fanger-skála alkalmazása terjedt el. Ezen kívül az ötfokozatú Hedonic-skálát is alkalmazzák. A skálák megfeleltetésével kapcsolatban irodalmi adatokat nem találtam, emiatt döntöttem arról, hogy vizsgálom a két skálán kapott eredmények kapcsolatát. Ezzel együtt a skálák validálása is megtörténik. Az eredmények alapján az egyik skála eredménye átszámítható a másik skálára.

A Hedonic egy olyan nemszimmetrikus ötfokozatú ordinális mérési szintű skála, amelynek használata egy adott országban függhet a fokozatokhoz rendelt megnevezésektől. Vajon ugyanazt az eredményt kapnánk-e, ha az öt fokozatot szinonim kifejezésekkel cserélnénk fel?

Például illatos-szagtalan-szagos-büdös-penetráns vagy jó szagú-érzékelhetetlen-rossz szagú-orrfacsaró-kibírhatatlan stb. elvileg ekvivalens skálák nem biztos, hogy ugyanazt az eredményt adnák.

Az eredeti angol nyelven kigondolt fokozat-kifejezések tükörfordítását használtuk, de a két nyelvben a szavak más-más jelentésárnyalattal rendelkeznek, így egy angol társaság az ő skálájukon mást mérhet ugyanazon a mintán, mint egy magyar vagy egy orosz. Másrészt a fokozatokhoz tartozó érzékelési tartományok sávszélességei is különböznek. Szélesebb sáv tartozik a kellemes fokozathoz (kb. háromszoros szélességű) mint a kellemetlen vagy a nagyon kellemetlen fokozathoz. Mindenesetre H értékkészlete az $R = \{1,2,3,4,5\}$ halmaz, melyben a számok jelentése:

- 1 - kellemes,
- 2 - semleges,
- 3 - kellemetlen,
- 4 - nagyon kellemetlen,
- 5 - elviselhetetlen.

A H esetében az ordinális mérési szint azt jelenti, hogy bármely két különböző érték közül megmondható, melyik a nagyobbik, azaz a nagyság szerinti rendezésnek van releváns jelentése. Viszont nincs értelme arról beszélni, hogy mennyivel nagyobb a nagyobb érték. Ezen a skálán ez nem fejezhető ki. Ráadásul, a skála irányítottsága kellemes \rightarrow elviselhetetlen, pont fordított irányítottságú, mint a Fanger-skáláé, ahol -1 jelenti az elviselhetetlen értéket, és $+1$ a kellemes értéket. Ezt a fordított irányultságot statisztikailag ki is lehet mutatni.

A folytonos Fanger-skálán történő mérés univerzálisabb és internacionálisabb, mint a Hedonic (érzeti) skála. A folytonos skála adatokat bármilyen anyanyelvű mérési csoportok esetén össze lehet hasonlítani, a Hedonic-skálás mérési adatok összehasonlításánál a nyelvi árnyalatnyi eltérések is bezavarhatnak.

Először megvizsgáltuk korrelációs mérőszámok segítségével, hogy a két mérés milyen erős statisztikai kapcsolatban van. Miután kimutatható az erős kapcsolat, ezen kapcsolat leírását végeztük el. Először megvizsgáltuk, hogyan lehet olyan $d: [-1, +1] \rightarrow R$ függvényt találni, hogy a $\tilde{H} = d(F)$ jó közelítése legyen H -nak. Másrészt, megfordítva az irányt megvizsgáltuk, hogy a $H=i$ érzékelés szinthez milyen eloszlás szerint adnak értéket a kísérleti személyek a Fanger-skálán. Azaz matematikailag megfogalmazva, meghatározandók a $P(F < t | H = i)$ feltételes eloszlásfüggvények, $i = 1,2,3,4,5, t \in \mathbb{R}$.

6.2.3 A két változó gyakoriságának és kapcsolatának valószínűségelméleti vizsgálata

A mérőcsoport létszáma 45 fő volt. Mindegyik kísérleti személy 8 különféle belsőépítészeti anyagot kapott vizsgálatra és ezekhez adta meg a Hedonic értéket (H) és a Fanger (F) értéket. Az adatokat az M5. Mellékletben foglaltam össze.

Az adatok legfontosabb leíró statisztikái az IBM SPSS Statistics felhasználásával [50] a 6.8 táblázatban található, az eredeti eredménylapokat az M6. Melléklet tartalmazza.

6.8 táblázat Anyagminták móduszai, legnagyobb gyakoriságú értékei a Hedonic-skálán

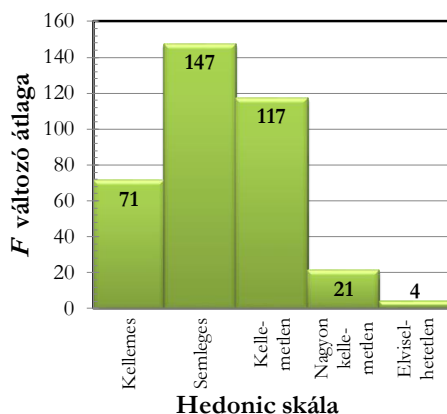
	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	H_8
	Vastag szőnyegpadló latex hátlap piros „Orion” 5 mm vtg.	Forgácslap natúr 18 mm vtg.	Vékony szőnyegpadló latex hátlap „Rome” 3 mm vtg.	PVC padló „Acapulco” 1,3 mm vtg.	Vastag szőnyegpadló latex hátlap beige „Viper” 5 mm vtg.	Laminált forgácslap 8 mm vtg.	Tarkett padló 5 mm vtg.	Ipari filc fekete „New Orleans”
Módusz	kellemetlen	semleges ^a	semleges	kellemetlen	semleges	semleges	semleges	kellemetlen

^a : Több módusz van, a legkisebb érték van feltüntetve.

A nyolc mérés adatait anyagmintánként és egyesítve, a kapott 360 adat esetében a H változó gyakoriságtáblázatban (6.9 táblázat) és oszlopdiagramban (6.6 ábra) ábrázoltuk.

6.9 táblázat A nyolc anyagminta és összesített eredménye a Hedonic-skálán

			Kellemes	Semleges	Kellemetlen	Nagyon kellemetlen	Elviselhetetlen
H_1	Vastag szőnyegpadló latex hátlap piros „Orion” 5 mm vtg.	Gyakoriság	7	18	20	0	0
		Rel. gyak.	15,6	40,0	44,4	0,0	0,0
		Kum. rel. gyak.	15,6	55,6	100,0	100,0	100,0
H_2	Forgácslap natúr 18 mm vtg.	Gyakoriság	4	19	19	3	0
		Rel. gyak.	8,9	42,2	42,2	6,7	0,0
		Kum. rel. gyak.	8,9	51,1	93,3	100,0	100,0
H_3	Vékony szőnyegpadló latex hátlap „Rome” 3 mm vtg.	Gyakoriság	0	22	19	3	1
		Rel. gyak.	0,0	48,9	42,2	6,7	2,2
		Kum. rel. gyak.	0,0	48,9	91,1	97,8	100,0
H_4	PVC padló „Acapulco” 1,3 mm vtg.	Gyakoriság	9	15	16	4	1
		Rel. gyak.	20,0	33,3	35,6	8,9	2,2
		Kum. rel. gyak.	20,0	53,3	88,9	97,8	100,0
H_5	Vastag szőnyegpadló latex hátlap beige „Viper” 5 mm vtg.	Gyakoriság	9	23	11	1	1
		Rel. gyak.	20,0	51,1	24,4	2,2	2,2
		Kum. rel. gyak.	20,0	71,1	95,6	97,8	100,0
H_6	Laminált forgácslap 8 mm vtg.	Gyakoriság	16	19	8	2	0
		Rel. gyak.	35,6	42,2	17,8	4,4	0,0
		Kum. rel. gyak.	35,6	77,8	95,6	100,0	100,0
H_7	Tarkett padló 5 mm vtg.	Gyakoriság	15	18	8	4	0
		Rel. gyak.	33,3	40,0	17,8	8,9	0,0
		Kum. rel. gyak.	33,3	73,3	91,1	100,0	100,0
H_8	Ipari filc fekete „New Orleans”	Gyakoriság	11	13	16	4	1
		Rel. gyak.	24,4	28,9	35,6	8,9	2,2
		Kum. rel. gyak.	24,4	53,3	88,9	97,8	100,0
H	Összesített	Gyakoriság	71	147	117	21	4
		Rel. gyak.	19,7	40,8	32,5	5,8	1,1
		Kum. rel. gyak.	19,7	60,6	93,1	98,9	100,0



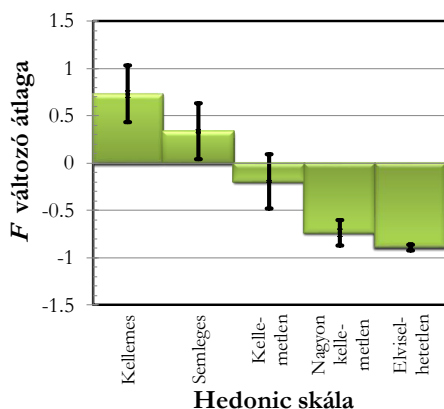
6.6 ábra A H változó összesített oszlopdiagramja

Látható, hogy legtöbb esetben a $H=2$, azaz a semleges érték fordult elő. A Fanger (F) értékek átlagai és szórásai az egyes Hedonic érzetek szerint csoportosítva (6.10 táblázat):

6.10 táblázat A Fanger-skála Hedonic-skála szerinti csoportosítása

H	F átlag	F szórás	N
Kellemes	0,7314	0,29930	71
Semleges	0,3377	0,29330	147
Kellemetlen	-0,1937	0,28727	117
Nagyon kellemetlen	-0,7348	0,13830	21
Elviselhetetlen	-0,8900	0,03266	4
Összesen			360

Az átlagok és a szórások egyenletesen csökkennek (6.7 ábra):



6.7 ábra Az F változó oszlopdiagramja az átlag- és szórásértékekkel

A $H=1$ (kellemes) osztály esetében a legnagyobb a szórás, azaz ennél a kategóriánál a legnagyobb a bizonytalanság.

6.2.4 H és F közötti korreláció erejének vizsgálata különböző módon

Statisztikában két változó közötti kapcsolat erejét különböző korrelációs mérőszámok segítségével jellemzik. A számolt statisztika segítségével hipotézisvizsgálatot lehet végrehajtani annak a nullhipotézisnek a tesztelésére, hogy a két változó között nincs kapcsolat, azaz a változók korrelálatlanok egymással. Ha ennek a hipotézisnek a szignifikancia szintje 0,05 és 0,01 között van, akkor *gyenge*, illetve *közepes* erejű a kapcsolat, ha pedig 0,01-nél is kisebb, akkor a kapcsolat *erős*.

A vizsgálatban három mérőszámot is alkalmaztunk. Mint alább látható, mindegyik *erős* negatív irányú lineáris kapcsolatot igazolt a két változó között.

Pearson-féle r korreláció a hagyományos (standard) mérőszám két változó között

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})(H_i - \bar{H})}{(n-1)\sigma_H\sigma_F} \quad (6.20)$$

ahol

\bar{F}, \bar{H} az átlagok,
 σ_H, σ_F a szórások.

A *Pearson* korreláció tulajdonképpen a lineáris algebrából kölcsönzött fogalom. Az adatvektorok szögének koszinuszát adja meg.

Illusztrációként ki fogjuk számolni a korrelációs képleteket ugyanazokkal az adatokkal. Vegyük az alábbi egyszerű numerikus példát a *Pearson*-féle korreláció kiszámítására. Vegyünk $n=5$ adatpárt: (1,1), (2,5), (3,3), (4,2), (5,4). Az átlag minkét minta esetében 3 lesz, azaz $\bar{F} = \bar{H} = 3$, és a két minta szórása is megegyezik most: $\sigma_F = \sigma_H = 1,58114$. Így a *Pearson*-féle korrelációs mérőszámra

$$r = \frac{(1-3)(1-3) + (2-3)(5-3) + (3-3)(3-3) + (4-3)(2-3) + (5-3)(4-3)}{(5-1) \cdot 1,58114 \cdot 1,58114} \\ = 0,624$$

Kendall-féle τ rangkorrelációs mérőszám két legalább ordinális szintű változó között. Minden adatpár esetén megvizsgálják, hogy a párok egyirányba rendeztek-e.

$$\tau = \frac{n_c - n_d}{\frac{1}{2}n(n-1)}, \quad (6.21)$$

ahol

n_c a megfelelő párok száma,
 n_d az eltérő párok száma.

Például: az előző $n = 5$ mintapárt vegyük megint: (1,1), (2,5), (3,3), (4,2), (5,4). Ekkor az első adat természetes sorrendbe van rendezve: 1,2,3,4,5, a másik adat sorrendje pedig 1,5,3,2,4. A második mintában tíz párt tudunk rendezni: (1,5), (1,3), (1,2), (1,4), (5,3), (5,2), (5,4), (3,2), (3,4), (2,4). Ezen párokból $n_c = 6$ megfelelő irányba rendezett: (1,5), (1,3), (1,2), (1,4), (3,4) és (2,4). Négy pár viszont fordítva rendezett: (5,3), (5,2), (5,4) és (3,2), azaz $n_d = 4$. A *Kendall*-féle τ rangkorreláció tehát ebben az esetben:

$$\tau = \frac{6 - 4}{\frac{1}{2} \cdot 5 \cdot (5 - 1)} = 0,2$$

Spearman-féle ρ rangkorrelációs mérőszám, ami az adatok rangszámainak *Pearson* korrelációs együtthatója:

$$\rho = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2-1)} \quad (6.22)$$

ahol

d_i a rangok közti differencia,

n az összes adatpárok száma.

Az előző példával a *Spearman*-féle ρ rangkorreláció számolása:

$d_1 = 0$, $d_2 = -3$, $d_3 = 0$, $d_4 = 2$ és $d_5 = 1$.

$$\rho = 1 - \frac{6 \cdot (9 + 4 + 1)}{5 \cdot (5^2 - 1)} = 0,3$$

Korrelációs számítás eredményei IBM SPSS Statistics program segítségével

A 8-féle anyagra, valamint az egyesített, összesen 360 adatra számolt háromféle korrelációs együtthatókat összefoglalva a 6.11 táblázat tartalmazza.

6.11 táblázat Korrelációs számítás összefoglaló táblázata

	Pearson-féle r	Kendall-féle τ	Spearman-féle ρ
$F_1 - H_1$	-0,761**	-0,666**	-0,788**
$F_2 - H_2$	-0,850**	-0,709**	-0,816**
$F_3 - H_3$	-0,829**	-0,744**	-0,866**
$F_4 - H_4$	-0,829**	-0,725**	-0,836**
$F_5 - H_5$	-0,740**	-0,588**	-0,695**
$F_6 - H_6$	-0,762**	-0,595**	-0,705**
$F_7 - H_7$	-0,844**	-0,732**	-0,834**
$F_8 - H_8$	-0,880**	-0,741**	-0,859**
$F - H$	-0,829**	-0,703**	-0,823**

** : korreláció 0,01 szignifikancia szint alatti (2-oldali)

Mind a 8 belsőépítészeti anyaghoz tartozó mérőszámok és a három korrelációs mérőszám esetében erős negatív korreláció mutatható ki. Az eredmény azért releváns, mert a mérőszámok különbözők, más-más szempontokra érzékenyek. A negatív irány várható volt, hiszen H és F ellenkező irányítású, mint arról korábban volt szó.

6.2.5 Alakfelismerés modell

Ha úgy fogjuk fel, hogy F az alakzat és H az osztály, akkor kézenfekvő az alakfelismerés modelljét, módszereit alkalmazni. A (H, F) párra vonatkozó adatsort tananyagnak felfogva tanulóalgoritmussal lehet a d úgynevezett döntésfüggvényt megkonstruálni. A tanulóalgoritmusok között a legközelebbi társ módszert alkalmaztam.

Az alakfelismerési módszerrel meg lehet becsülni, hogy F ismeretében mekkora valószínűséggel lehet pontosan felismerni H -t.

Legyen X egy folytonos változó (alakzat) és Y egy véges értékészletű diszkrét változó (osztály). $Y \in \{1, 2, \dots, L\}$. A cél olyan $d: \mathbb{R} \rightarrow \{1, 2, \dots, L\}$ döntésfüggvény megkonstruálása, ahol $d(X)$ jól becsüli Y -t. A d megkonstruálásához rendelkezésre áll egy úgynevezett tananyag: $\{(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)\}$.

A legközelebbi társ módszer

Ehhez alkalmazni kell egy ρ távolságfüggvényt, amivel a döntésfüggvény definíciója: $d(x) = Y_i$, ha $\rho(x, X_i) = \min_{j=1, \dots, n} \rho(x, X_j)$. A döntésfüggvény tehát azt az osztályt rendeli x -hez, amely a tananyagban legközelebb álló alakzat osztálya. Esetünkben az F változó az alakzat és H az osztály [49].

Az osztályozás sikerességét egy $\{(F_1, H_1), (F_2, H_2), \dots, (F_m, H_m)\}$ tesztanyag segítségével szokás ellenőrizni, a $d(F_i) = H_i$ (azaz a helyes találati) esetek összeszámlálásával. Amennyiben a helyes osztályzatok tesztpontok számával vett aránya (m) lényegesen nagyobb, mint a $1/L$ arány, az osztályozás sikeres, azaz az alakzat segítségével jól fel lehet ismerni az osztályt. Az $1/L$ arány ugyanis a random osztályozás várható eredménye lenne, amikor az alakzat és az osztály között nincs semmilyen kapcsolat. Az alkalmazott metrika az Euklideszi metrika volt, ami jelen esetben az egyszerű abszolút érték távolságnak felel meg.

A legközelebbi társ módszerrel konstruált döntésfüggvény a H_1 anyagminta mérésorozat esetében a kapott pontosság a 6.12 táblázatban található:

6.12 táblázat A H_1 anyagminta NN-osztályozási táblázata

Hedonic érték	H_1 – Becsült Hedonic érték Vastag szőnyegpadló latex hátlap piros „Orion” 5 mm vtg.					Összesen
	Kellemes	Semleges	Kelle- metlen	Nagyon kelle- metlen	Elviselhe- tetlen	
Kellemes	3	4	0	0	0	7
Semleges	0	16	2	0	0	18
Kellemetlen	0	6	14	0	0	20
Nagyon kellemetlen	0	0	0	0	0	0
Elviselhetetlen	0	0	0	0	0	0
Összesen	3	26	16	0	0	45

Pontosság $33/45=73,3\%$.

Elvégezve a többi hét méréshez tartozó adatokra is a vizsgálatot, az eredményeket a 6.13 – 6.19 táblázatok tartalmazzák:

6.13 táblázat A H_2 anyagminta NN-osztályozási táblázata

Hedonic érték	H_2 – Becsült Hedonic érték Forgácslap natúr 18 mm vtg.					Összesen
	Kellemes	Semleges	Kelle- metlen	Nagyon kelle- metlen	Elviselhe- tetlen	
Kellemes	2	2	0	0	0	4
Semleges	0	16	3	0	0	19
Kellemetlen	0	4	15	0	0	19
Nagyon kellemetlen	0	0	1	2	0	3
Elviselhetetlen	0	0	0	0	0	0
Összesen	2	22	19	2	0	45

Pontosság: 35/45=77,8%

6.14 táblázat A H_3 anyagminta NN-osztályozási táblázata

Hedonic érték	H_3 – Becsült Hedonic érték Vékony szőnyegpadló latex hátlap „Rome” 3 mm vtg.					Összesen
	Kellemes	Semleges	Kelle- metlen	Nagyon kelle- metlen	Elviselhe- tetlen	
Kellemes	0	0	0	0	0	0
Semleges	0	20	2	0	0	22
Kellemetlen	0	3	15	1	0	19
Nagyon kellemetlen	0	0	2	1	0	3
Elviselhetetlen	0	0	0	1	0	1
Összesen	0	23	19	3	0	45

Pontosság: 36/45=80%

6.15 táblázat A H_4 anyagminta NN-osztályozási táblázata

Hedonic érték	H_4 – Becsült Hedonic érték PVC padló „Acapulco” 1,3 mm vtg.					Összesen
	Kellemes	Semleges	Kelle- metlen	Nagyon kelle- metlen	Elviselhe- tetlen	
Kellemes	4	5	0	0	0	9
Semleges	1	12	2	0	0	15
Kellemetlen	0	5	8	3	0	16
Nagyon kellemetlen	0	0	3	1	0	4
Elviselhetetlen	0	0	0	1	0	1
Összesen	5	22	13	5	0	45

Pontosság: 25/45=55,6%

6.16 táblázat A H_5 anyagminta NN-osztályozási táblázata

Hedonic érték	H_5 – Becsült Hedonic érték Vastag szőnyegpadló latex hátlap beige „Viper” 5 mm vtg.					Összesen
	Kellemes	Semleges	Kelle- metlen	Nagyon kelle- metlen	Elviselhe- tetlen	
Kellemes	2	7	0	0	0	9
Semleges	4	17	2	0	0	23
Kellemetlen	0	4	7	0	0	11
Nagyon kellemetlen	0	0	1	0	0	1
Elviselhetetlen	0	0	1	0	0	1
Összesen	6	28	11	0	0	45

Pontosság: 26/45=57,8%

6.17 táblázat A H_6 anyagminta NN-osztályozási táblázata

Hedonic érték	H_6 – Becsült Hedonic érték Laminált forgácslap 8 mm vtg.					Összesen
	Kellemes	Semleges	Kelle- metlen	Nagyon kelle- metlen	Elviselhe- tetlen	
Kellemes	8	6	2	0	0	16
Semleges	8	10	1	0	0	19
Kellemetlen	1	3	2	2	0	8
Nagyon kellemetlen	0	0	2	0	0	2
Elviselhetetlen	0	0	0	0	0	0
Összesen	17	19	7	2	0	45

Pontosság: 20/45=44,4%

6.18 táblázat A H_7 anyagminta NN-osztályozási táblázata

Hedonic érték	H_7 – Becsült Hedonic érték Tarkett padló 5 mm vtg.					Összesen
	Kellemes	Semleges	Kelle- metlen	Nagyon kelle- metlen	Elviselhe- tetlen	
Kellemes	11	4	0	0	0	15
Semleges	3	14	1	0	0	18
Kellemetlen	0	2	6	0	0	8
Nagyon kellemetlen	0	0	0	4	0	4
Elviselhetetlen	0	0	0	0	0	0
Összesen	14	20	7	4	0	45

Pontosság: $35/45=77,8\%$ 6.19 táblázat A H_8 anyagminta NN-osztályozási táblázata

Hedonic érték	H_8 – Becsült Hedonic érték Ipari filc fekete „New Orleans”					Összesen
	Kellemes	Semleges	Kelle- metlen	Nagyon kelle- metlen	Elviselhe- tetlen	
Kellemes	7	4	0	0	0	11
Semleges	4	4	5	0	0	13
Kellemetlen	0	2	13	1	0	16
Nagyon kellemetlen	0	0	2	2	0	4
Elviselhetetlen	0	0	0	1	0	1
Összesen	11	10	20	4	0	45

Pontosság: $26/45=57,8\%$

Az F segítségével a H kategóriái 44,4-80% pontossággal megbecsülhetők.

Az elemzés végrehajtásához egyesítettük a nyolc mérésorozat adatait, így összesen $8 \times 45 = 360$ adattal lehetett számolni. A tananyagot úgy állítottuk be, hogy mindegyik osztályt az átlagérték, mint tanulópontra reprezentált. Az eredményeket a 6.20 táblázat tartalmazza összefoglalva.

6.20 táblázat Az összesített NN-osztályozás, azaz a H -ra becsült érték osztályozási táblázata

Hedonic érték	Becsült Hedonic érték Összesített					Összesen
	Kellemes	Semleges	Kelle- metlen	Nagyon kelle- metlen	Elviselhe- tetlen	
Kellemes	54	14	3	0	0	71
Semleges	35	77	35	0	0	147
Kellemetlen	0	18	80	17	2	117
Nagyon kellemetlen	0	0	0	15	6	21
Elviselhetetlen	0	0	0	1	3	4
Összesen	89	109	118	33	11	360

A jól osztályozott adatok száma: $54+77+80+15+3=229$. Az osztályozás pontossága: $229/360 = 63,9\%$. Az osztályozáshoz tananyagként a 6.21 táblázatot használtuk fel.

6.21 táblázat Az összesített NN-osztályozás tananyag táblázata

H	F átlag
Kellemes	0,7314
Semleges	0,3377
Kellemetlen	-0,1937
Nagyon kellemetlen	-0,7348
Elviselhetetlen	-0,8900

Mivel minden osztályhoz az átlagértéket állítottuk be, azaz az osztályozásnál egy adatot ahhoz az osztályhoz sorolta az NN algoritmus, amelynek átlagához a Fanger a legközelebb volt. **A véletlen elosztáshoz képest (20%) az osztályozás jelentős javulást mutat (63,9%), ami újfent igazolja, hogy a Hedonic- és a Fanger-skála erős kapcsolatban van egymással.**

6.2.6 Az F változó egyszeres osztályozási vizsgálata (one-way ANOVA)

Először tekintsük a legegyszerűbb esetet, egy változónak egy faktorváltozóval való kapcsolatát (*one-way-ANOVA*). A X változó (Fanger értékek) az x_1, x_2, \dots, x_n mintában vannak rögzítve, és az Y nominális változó (belsőépítészeti anyag típus) mintájának esetei az $1, 2, \dots, L$ kódok közül kerülnek ki. Az Y segítségével az x_1, x_2, \dots, x_n mintát L csoportba osztjuk:

$$\left\{ x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \dots, x_{n_1}^{(1)} \right\}, \left\{ x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, \dots, x_{n_2}^{(2)} \right\}, \dots, \left\{ x_1^{(L)}, x_2^{(L)}, \dots, x_{n_L}^{(L)} \right\}. \quad (6.23)$$

Pl. az első mintához X azon realizációi tartoznak, ahol $Y=1$. A null-hipotézis az, hogy az L db minta átlagai között nincs különbség. Tehát $H_0 : a_1 = a_2 = \dots = a_L$, ahol a_i az i -edik rész minta elméleti várhatóértéke. Az alapsokaságok eloszlását normálisnak tételezzük fel ismeretlen, de azonos nagyságú szórásokkal. (A szórások egyezésének vizsgálatára *Bartlett*- vagy *Levene*-tesztek végezhetők.) Ha a

minták normalitása nem tehető fel, akkor meg lehet próbálkozni a minta valamilyen transzformációjával, ami után az eloszlás már normálissá válik. Látható, hogy a kétmintás t -próba többdimenziós kiterjesztéséről van szó. A próba végrehajtásához az alábbi statisztikák számolandók ki:

$$\overline{x^{(i)}} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_j^{(i)} \quad (i=1,2,\dots,n) \text{ az egyes csoportok átlagai,} \quad (6.24)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^L n_i \overline{x^{(i)}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{n_i} x_j^{(i)} \text{ a teljes mintaátlag,} \quad (6.25)$$

$$Q = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{n_i} (x_j^{(i)} - \bar{x})^2 \text{ a teljes négyzetösszeg,} \quad (6.26)$$

$$Q_k = \sum_{i=1}^L n_i (\overline{x^{(i)}} - \bar{x})^2 \text{ a csoportok közötti négyzetösszeg (} k \text{: közötti),} \quad (6.27)$$

$$Q_b = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{n_i} (x_j^{(i)} - \overline{x^{(i)}})^2 \text{ a csoportokon belüli négyzetösszeg (} b \text{: belüli).} \quad (6.28)$$

Megmutatható, hogy $Q = Q_k + Q_b$. Ha a H_0 igaz, akkor a $\frac{Q_k}{\frac{Q_b}{n-L}}$ statisztika F -eloszlású $(L-1, n-L)$

szabadságfokokkal. Ez alapján F -próba szerkeszthető a null-hipotézisre. Ha a próbastatisztika érték túl nagy, azaz a szignifikancia-szint közel van 0-hoz, a csoportok átlagértékei között jelentős különbségek vannak. Ha a szignifikancia-szint elég nagy, pl. nagyobb mint 0,1, a null-hipotézis, miszerint a csoportok átlagai között nincs különbség, elfogadható. (Heurisztikusan: azt vetettük össze, hogy a csoportok közötti szóródás sokkal kisebb-e, mint a csoportokon belüli szóródás.) Ha H_0 -át el kell vetni, akkor lehetőség van az eltérések nagyságának megbecsülésére *Student*-próbával. Az alapmintára vonatkozó normalitási feltételből következik, hogy az i -edik és j -edik csoportok elméleti várhatóértékei különbségére $a_i - a_j$ az alábbi konfidencia-intervallum szerkeszthető:

$$\overline{x^{(i)}} - \overline{x^{(j)}} \pm t_{\varepsilon} \cdot \frac{Q_b}{n-L} \sqrt{\frac{n_i + n_j}{n_i \cdot n_j}}, \quad (6.29)$$

ahol t_{ε} a *Student* táblázatból az $1-\varepsilon$ szignifikanciaszinthez és $n-L$ szabadsági fokhoz tartozó kritikus érték.

A konfidencia intervallum éppen $1-\varepsilon$ valószínűséggel fedi le az $a_i - a_j$ eltérést. Ha a 0-t is körbe fogja a konfidencia intervallum, akkor a két csoport várhatóértékei között nem tehetünk különbséget. Annál a viszonylatnál fog „*” jelölés megjelenni, amelynél az eltérés szignifikáns.

Az anyagminták szerinti Fanger-skála értékek leíró statisztikák eredményeit a 6.22 táblázat, a Levene-próbával végzett homoszkedasztikusság vizsgálat eredményeit a 6.23 táblázat, a robusztus Welch-próbával történő átlagok egyenlőségének vizsgálatának eredményeit a 6.24 táblázat, a Tamhane-teszttel végzett Fanger agyagminta csoportpárok összehasonlítását pedig a 6.25 táblázat tartalmazza.

6.22 táblázat Anyagminták szerinti Fanger-skála értékek leíró statisztikák

		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	Összes
N		45	45	45	45	45	45	45	45	360
Normál paraméterek ^{a,b}	Átlag	0,1189	0,0244	-0,0689	0,126	0,2724	0,3371	0,3324	0,1891	0,1664
	Szórás	0,4115	0,4057	0,4327	0,5575	0,4766	0,5293	0,5336	0,5709	0,5075
	Hiba	0,0613	0,0605	0,0645	0,0831	0,0711	0,0789	0,0795	0,0851	0,0268
Az átlagok 95%-os konfidencia intervalluma	Alsó határ	-0,0047	-0,0974	-0,1989	-0,0415	0,1293	0,1781	0,1721	0,0176	0,1138
	Felső határ	0,2425	0,1463	0,0611	0,2935	0,4156	0,4961	0,4928	0,3606	0,219
Minimum		-1,00	-0,93	-1,00	-0,89	-0,89	-0,85	-0,70	-0,93	-1,00
Maximum		0,96	0,96	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

^a : normális eloszlással tesztelve

^b : paraméterek az adatokból becsülve

6.23 táblázat Homoszkedasztikuság vizsgálat Levene-próbával

Levene statisztika	df ₁	df ₂	Szignifikancia szint
2,716	7	352	0,009

6.24 táblázat Átlagok egyenlőségének vizsgálata robusztus Welch-próbával

Welch statisztika ^a	df ₁	df ₂	Szignifikancia szint
4,198	7	150,645	0,000

^a : asszimptotikusan F -eloszlást követ

6.25 táblázat Fanger agyagminta csoportpárok összehasonlítása Tamhane-tesztel

F_j	F_k	Átlagértékek különbsége ($F_j - F_k$)	Normál hiba	Szigni- fikancia szint	95%-os konfidencia intervallum	
					Alsó határ	Felső határ
F_1 <i>Vastag szőnyegpadló latex hátlap piros „Orion” 5 mm vtg.</i>	F_2	0,09444	0,08614	1,000	-0,1824	0,3713
	F_3	0,18778	0,08901	0,659	-0,0983	0,4739
	F_4	-0,00711	0,10329	1,000	-0,3400	0,3258
	F_5	-0,15356	0,09387	0,956	-0,4554	0,1483
	F_6	-0,21822	0,09994	0,596	-0,5400	0,1036
	F_7	-0,21356	0,10045	0,647	-0,5371	0,1099
	F_8	-0,07022	0,10492	1,000	-0,4085	0,2680
F_2 <i>Forgácslap natúr 18 mm vtg.</i>	F_1	-0,09444	0,08614	1,000	-0,3713	0,1824
	F_3	0,09333	0,08842	1,000	-0,1909	0,3776
	F_4	-0,10156	0,10278	1,000	-0,4329	0,2298
	F_5	-0,24800	0,09330	0,232	-0,5481	0,0521
	F_6	-0,31267	0,09942	0,063	-0,6329	0,0075
	F_7	-0,30800	0,09993	0,075	-0,6299	0,0139
	F_8	-0,16467	0,10441	0,971	-0,5014	0,1721
F_3 <i>Vékony szőnyegpadló latex hátlap „Rome” 3 mm vtg.</i>	F_1	-0,18778	0,08901	0,659	-0,4739	0,0983
	F_2	-0,09333	0,08842	1,000	-0,3776	0,1909
	F_4	-0,19489	0,10520	0,859	-0,5337	0,1439
	F_5	-0,34133*	0,09596	0,017	-0,6498	-0,0328
	F_6	-0,40600*	0,10191	0,004	-0,7340	-0,0780
	F_7	-0,40133*	0,10241	0,005	-0,7309	-0,0717
	F_8	-0,25800	0,10679	0,397	-0,6020	0,0860
F_4 <i>PVC padló „Acapulco” 1,3 mm vtg.</i>	F_1	0,00711	0,10329	1,000	-0,3258	0,3400
	F_2	0,10156	0,10278	1,000	-0,2298	0,4329
	F_3	0,19489	0,10520	0,859	-0,1439	0,5337
	F_5	-0,14644	0,10934	0,997	-0,4981	0,2052
	F_6	-0,21111	0,11460	0,864	-0,5795	0,1572
	F_7	-0,20644	0,11504	0,891	-0,5762	0,1633
	F_8	-0,06311	0,11896	1,000	-0,4455	0,3192
F_5 <i>Vastag szőnyegpadló latex hátlap beige „Viper” 5 mm vtg.</i>	F_1	0,15356	0,09387	0,956	-0,1483	0,4554
	F_2	0,24800	0,09330	0,232	-0,0521	0,5481
	F_3	0,34133*	0,09596	0,017	0,0328	0,6498
	F_4	0,14644	0,10934	0,997	-0,2052	0,4981
	F_6	-0,06467	0,10618	1,000	-0,4060	0,2767
	F_7	-0,06000	0,10665	1,000	-0,4029	0,2829
	F_8	0,08333	0,11087	1,000	-0,2734	0,4400

F_j	F_k	Átlagértékek különbsége ($F_j - F_k$)	Normál hiba	Szigni- fikancia szint	95%-os konfidencia intervallum	
					Alsó határ	Felső határ
F_6 <i>Laminált forgácslap 8 mm vtg.</i>	F_1	0,21822	0,09994	0,596	-0,1036	0,5400
	F_2	0,31267	0,09942	0,063	-0,0075	0,6329
	F_3	0,40600*	0,10191	0,004	0,0780	0,7340
	F_4	0,21111	0,11460	0,864	-0,1572	0,5795
	F_5	0,06467	0,10618	1,000	-0,2767	0,4060
	F_7	0,00467	0,11204	1,000	-0,3554	0,3648
	F_8	0,14800	0,11606	0,998	-0,2251	0,5211
	F_7 <i>Tarkett padló 5 mm vtg.</i>	F_1	0,21356	0,10045	0,647	-0,1099
F_2		0,30800	0,09993	0,075	-0,0139	0,6299
F_3		0,40133*	0,10241	0,005	0,0717	0,7309
F_4		0,20644	0,11504	0,891	-0,1633	0,5762
F_5		0,06000	0,10665	1,000	-0,2829	0,4029
F_6		-0,00467	0,11204	1,000	-0,3648	0,3554
F_8		0,14333	0,11650	0,999	-0,2311	0,5178
F_8 <i>Ipari filc fekete „New Orleans”</i>		F_1	0,07022	0,10492	1,000	-0,2680
	F_2	0,16467	0,10441	0,971	-0,1721	0,5014
	F_3	0,25800	0,10679	0,397	-0,0860	0,6020
	F_4	0,06311	0,11896	1,000	-0,3192	0,4455
	F_5	-0,08333	0,11087	1,000	-0,4400	0,2734
	F_6	-0,14800	0,11606	0,998	-0,5211	0,2251
	F_7	-0,14333	0,11650	0,999	-0,5178	0,2311

* : az átlagértékek különbsége 0,05 szignifikancia szinten

A 6.25 táblázatban összesen $\binom{8}{2} = 4 \cdot 7 = 28$ összehasonlítás eredménye olvasható. A vizsgálat azt mutatja, hogy a 3. anyagminta (vékony szőnyegpadló latex hátlap, „Rome” 3 mm vtg.) Fanger-értékei jelentősen különböznek az 5., 6., 7. anyagminta Fanger-értékeitől. Az összes többi, azaz a 25 összehasonlítás egyenlőséget igazol.

6.2.7 Az F változó normalitásának ellenőrzése

A két változó (H és F) közötti kapcsolatot úgy is elemezhetjük, hogy megnézzük, hogy a H egyes kategóriánál, milyen eloszlást vesz fel az F . Például ha a H értéke 1 (kellemes), akkor F milyen értékek körül veszi fel az értékeit, stb. Illeszkedésvizsgálattal ellenőriztük, hogy a Hedonic osztályokon a Fanger értékek eloszlása tekinthető-e normálisnak.

A viszonylag kis minta miatt a normalitásvizsgálatot az egymintás Kolmogorov-Szmirnov egzakt próbával végeztük el, hiszen az aszimptotika nem állhat fenn. Ez a próba az empirikus eloszlásfüggvény és a hipotetikus eloszlásfüggvény segítségével dönt arról a nullhipotézisről, hogy a minta eloszlás

illeszkedik-e a feltételezett eloszláshoz. Az egymintás Kolmogorov-Szmirnov próba ellenőrizni képes a minta jó illeszkedését egy adott $F(x)$ eloszlásfüggvényhez. Ehhez kiszámolja a $T_n = \sqrt{n} \cdot \sup|F_n(x) - F(x)|$ statisztikát a mintából és a Kolmogorov-eloszlás-táblázatból meghatározza a kritikus értéket hozzá.

Adataink esetében mindegyik mérésornál igazolni lehet a normalitást, mivel 0,1 feletti a szignifikancia értékek (6.26 táblázat).

6.26 táblázat Anyagminták szerinti Fanger értékek normalitás vizsgálata egymintás Kolmogorov-Szmirnov egzakt próbával

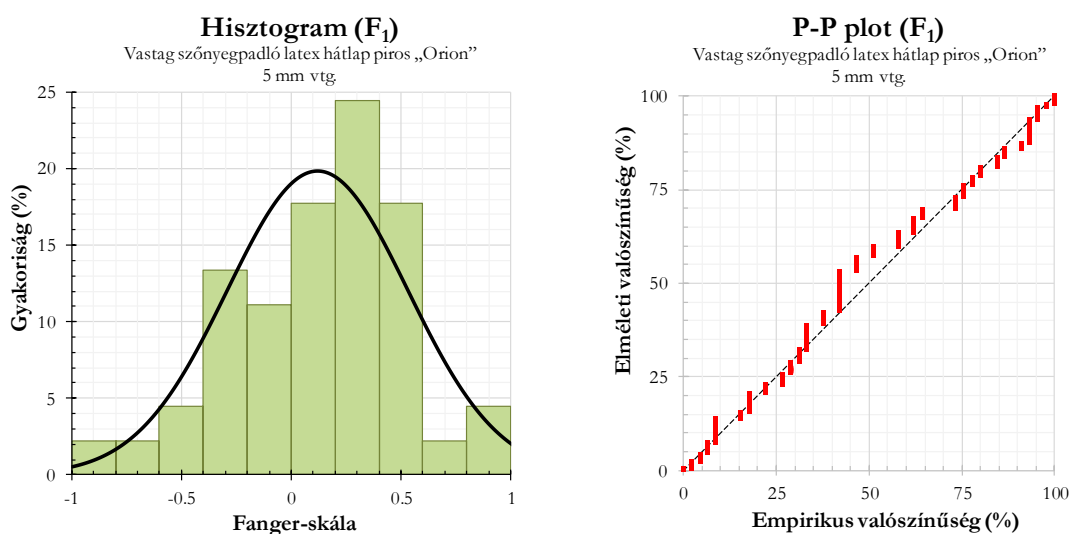
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8
N		45	45	45	45	45	45	45	45
Normál paraméterek ^{a,b}	Átlag	0,1189	0,0244	-0,0689	0,1260	0,2724	0,3371	0,3324	0,1891
	Szórás	0,4115	0,4057	0,4327	0,5575	0,4766	0,5293	0,5336	0,5709
Legnagyobb eltérések	Abszolút	0,108	0,092	0,088	0,080	0,084	0,110	0,178	0,126
	Pozitív	0,059	0,092	0,055	0,069	0,066	0,105	0,105	0,096
	Negatív	0,1189	0,0244	-0,0689	0,1260	0,2724	0,3371	0,3324	-0,126
Próba statisztika		0,108	0,092	0,088	0,080	0,084	0,110	0,178	0,126
Egzakt szign. (2-oldali)		0,632	0,804	0,850	0,915	0,884	0,608	0,104	0,440

^a : normális eloszlással tesztelve

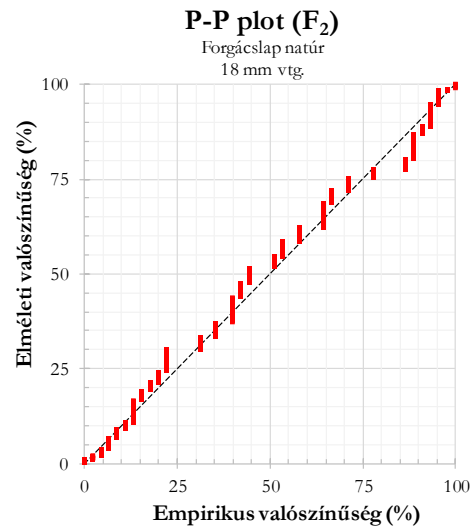
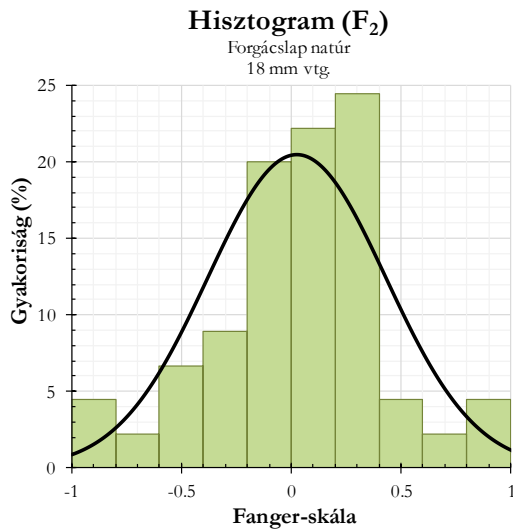
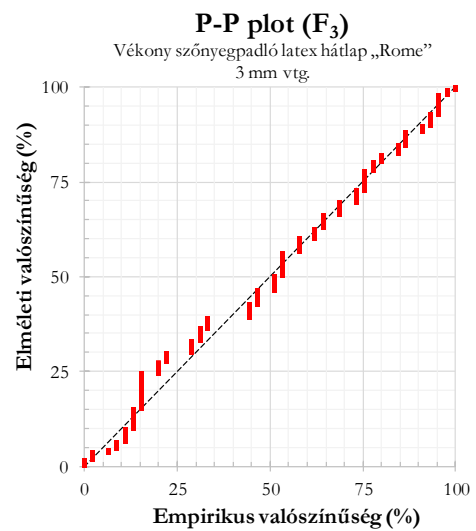
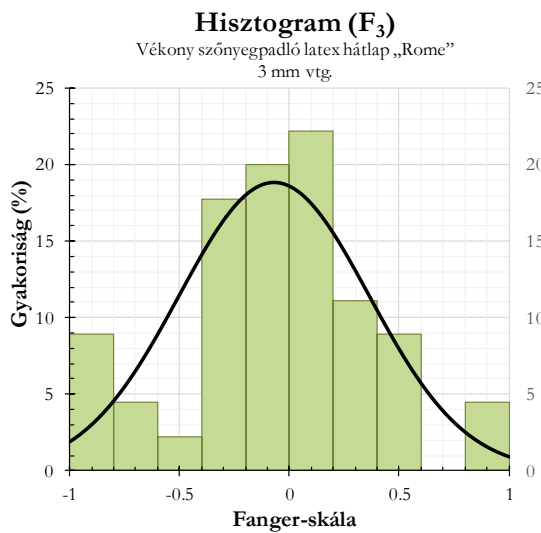
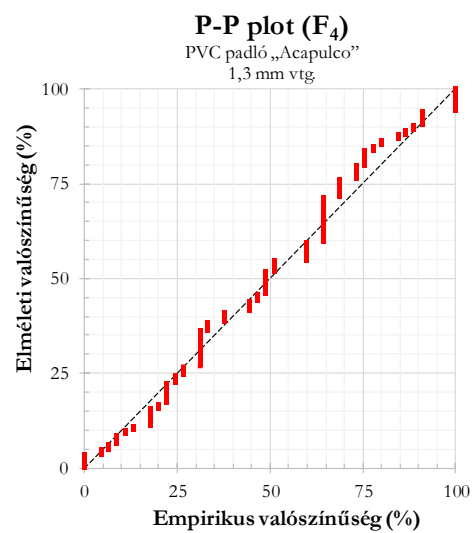
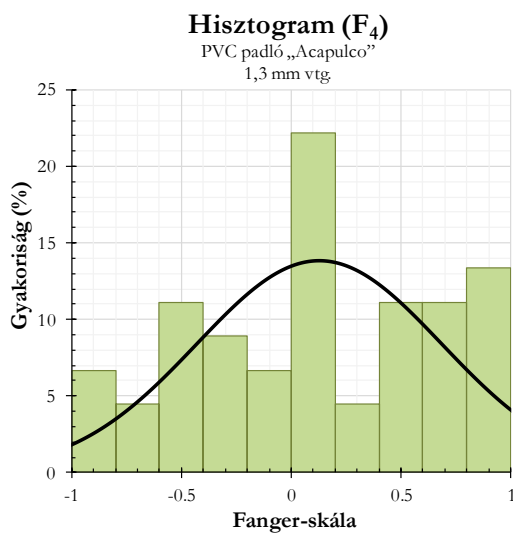
^b : paraméterek az adatokból becsülve

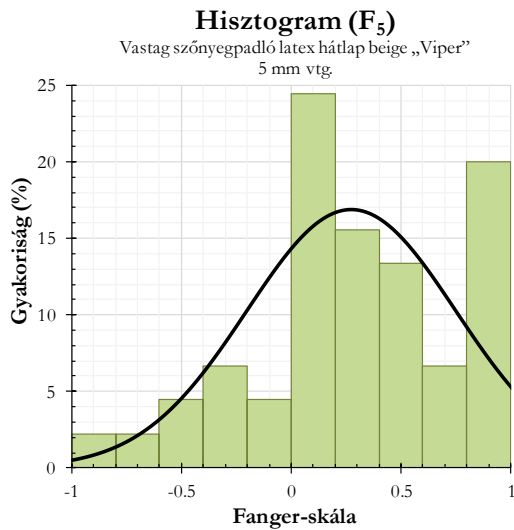
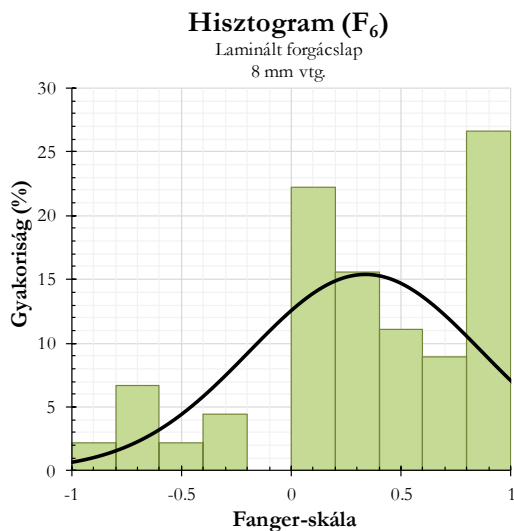
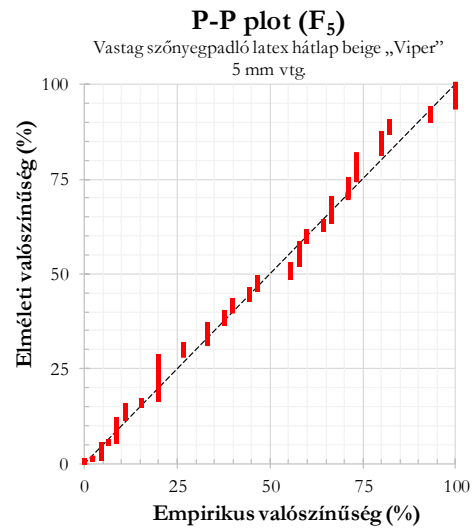
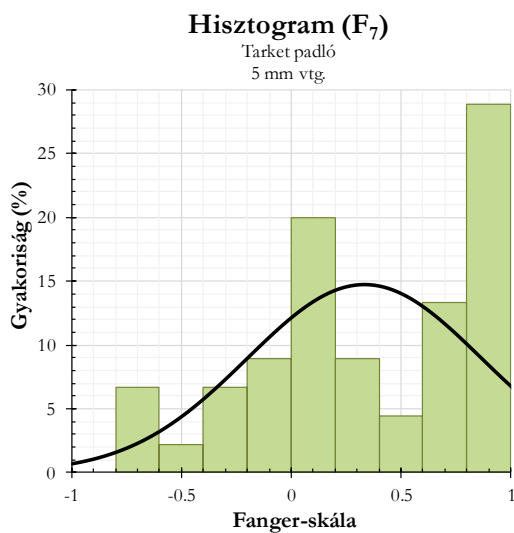
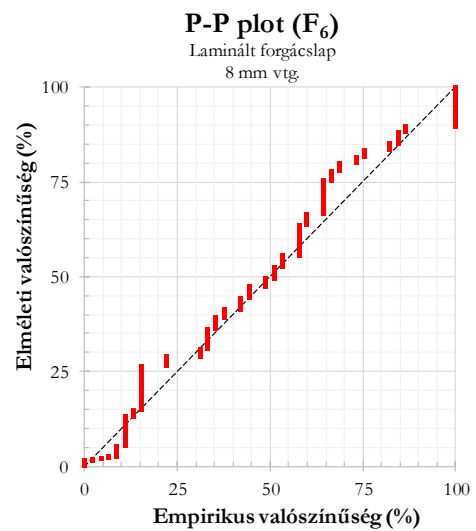
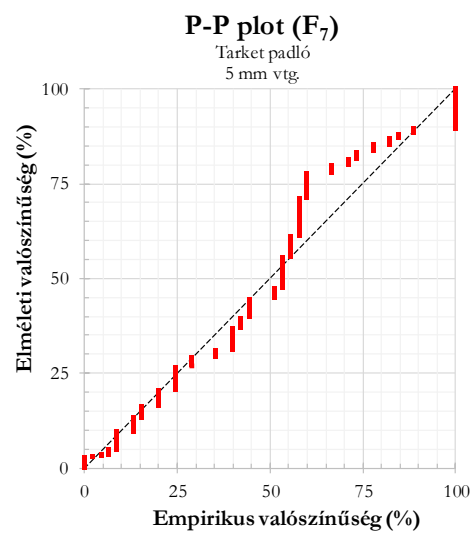
Mind a nyolc belsőépítészeti anyaghoz tartozó Fanger mérésorozat eredménye szerint jó a normális eloszláshoz az illeszkedés. A táblázatban az Egzakt szign. (2-oldali) szignifikancia értékek meggyőzően magasak. Csúpan a 7. mérésorozat esetében relatív kisebb ez az érték, de ez is 0,1 feletti.

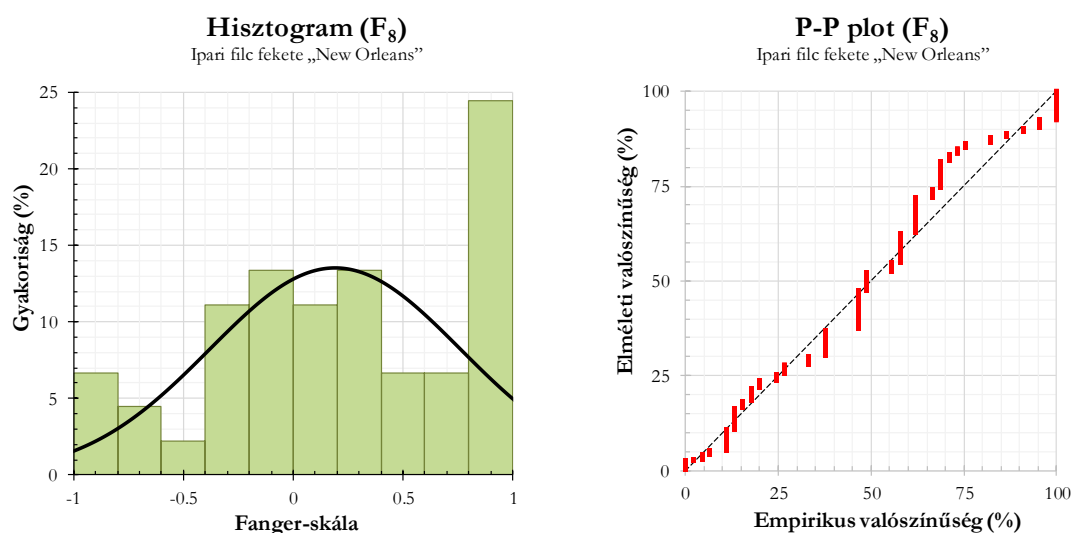
Meghatároztuk az egyes anyagminták eloszlásfüggvényét és P-P plot diagramját. Az eredményeket a 6.8 – 6.15 ábrák szemléltetik.



6.8 ábra Az F_1 változó eloszlása és P-P diagramja

6.9 ábra Az F_2 változó eloszlása és P-P diagramja6.10 ábra Az F_3 változó eloszlása és P-P diagramja6.11 ábra Az F_4 változó eloszlása és P-P diagramja

6.12 ábra Az F_5 változó eloszlása és P-P diagramja6.13 ábra Az F_6 változó eloszlása és P-P diagramja6.14 ábra Az F_7 változó eloszlása és P-P diagramja



6.15 ábra Az F_8 változó eloszlása és P-P diagramja

6.2.8 A feltételes eloszlások vizsgálata az egyesített adatokon

Az egymintás Kolmogorov-Szmirnov egzakt próba szerint csak a $H=1$ (kellemes) kategória esetében nem lesz normális eloszlású F . Ennek az lehet az oka, hogy a kellemes érzékelés szélesebb tartományban fejezhető ki az F skálán. Másrészt valakinek kellemes érzetet keltő szag másnál kellemetlen is lehet. Nem egységes, hogy egy adott illat milyen érzetet vált ki egy adott személyből. Van, aki például kellemesnek találja a benzín vagy a sültkrumpli szagát, mások viszont kellemetlennek. Az eredményeket a 6.27 táblázat tartalmazza.

6.27 táblázat $H=1$ (kellemes) feltételes Fanger értékek egymintás Kolmogorov-Szmirnov egzakt próbája

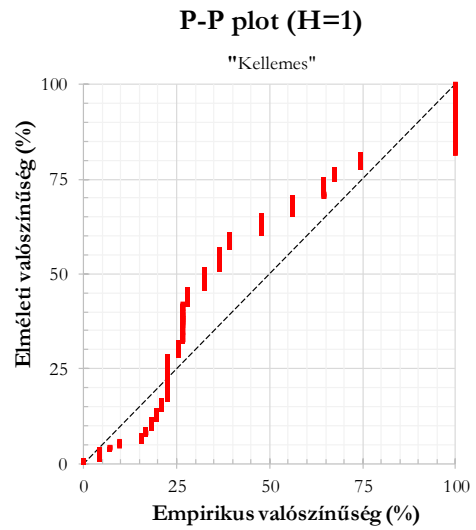
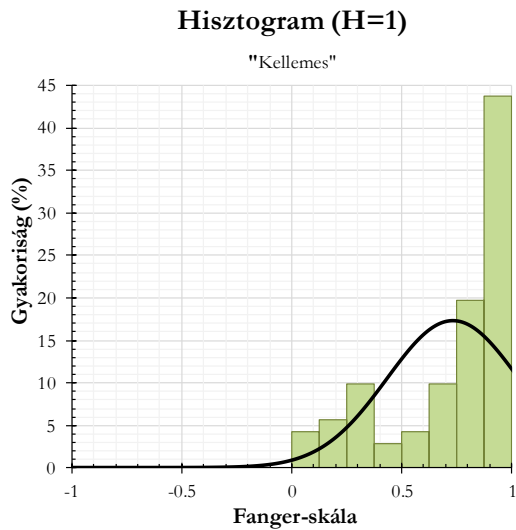
$H=1$ (kellemes)		F
N		71
Normál paraméterek ^{a,b}	Átlag	0,7314
	Szórás	0,29930
	Abszolút	0,209
Legnagyobb eltérések	Pozitív	0,185
	Negatív	-0,209
Próba statisztika		0,209
Egzakt szign. (2-oldali)		0,003

^a : normális eloszlással tesztelve

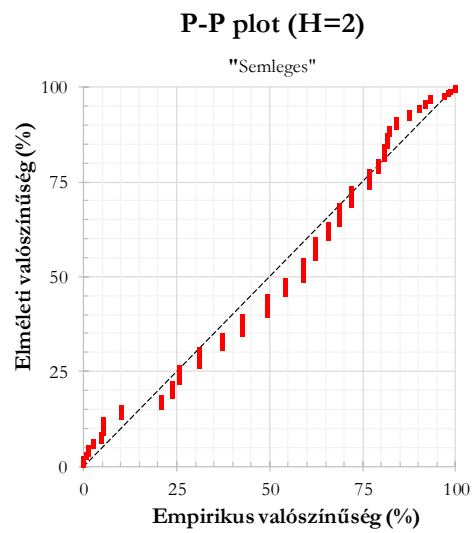
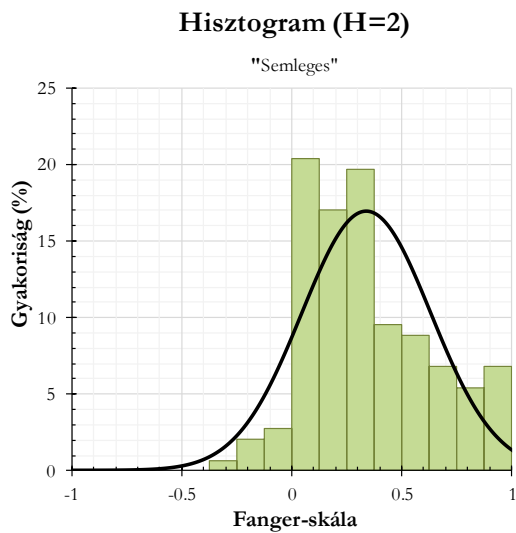
^b : paraméterek az adatokból becsülve

A $H=1$ (kellemes) esetében a szignifikancia szint alacsony: 0,003.

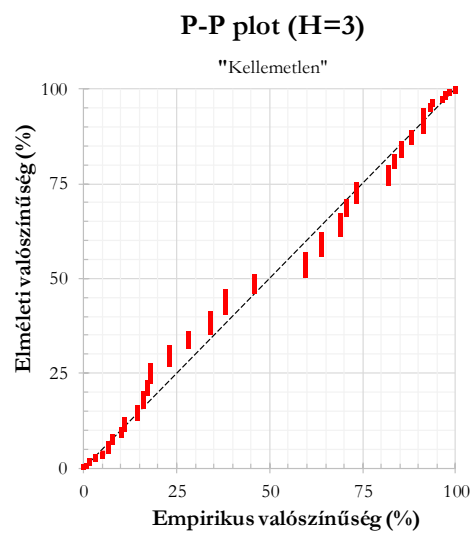
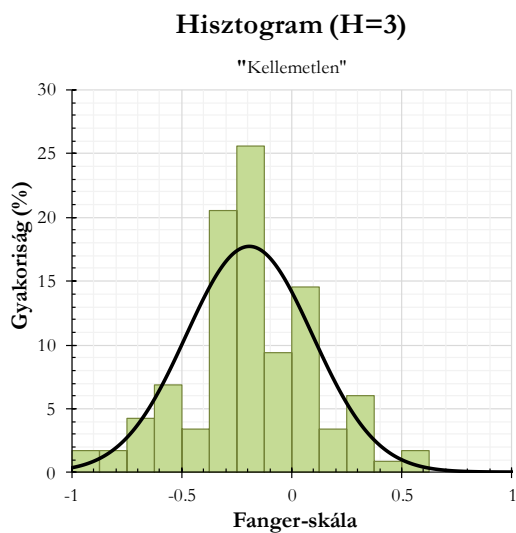
Az egyesített mérésorozatban a $H=1$ (kellemes) értékekhez tartozó Fanger értékek eloszlásának megfelelő hisztogram és P-P grafikon a 6.16 ábrán látható. A további feltételes eloszlások a 6.17 - 6.20 ábrákon láthatók.



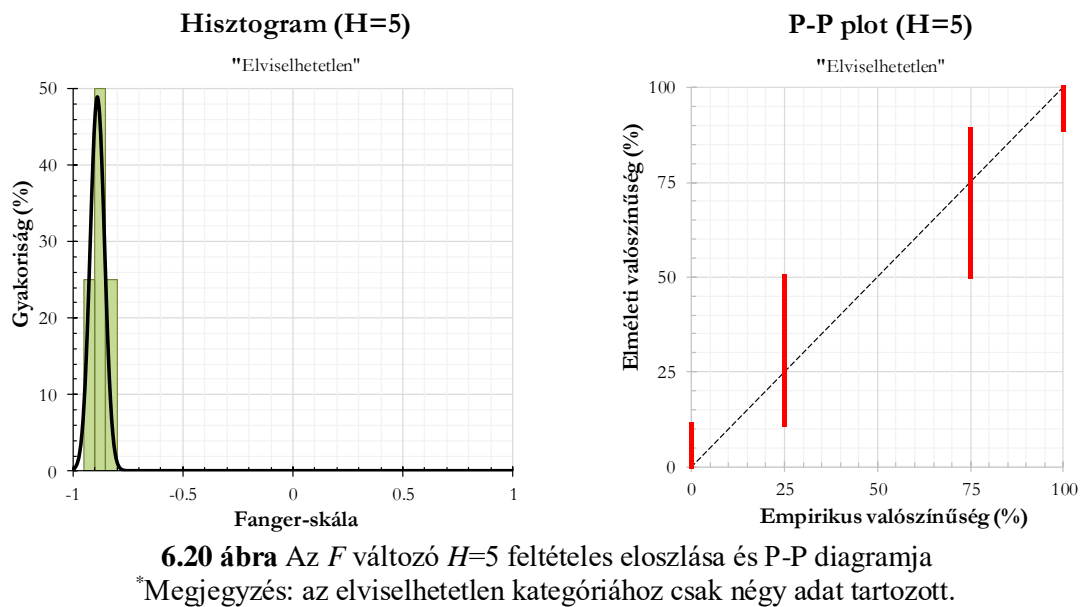
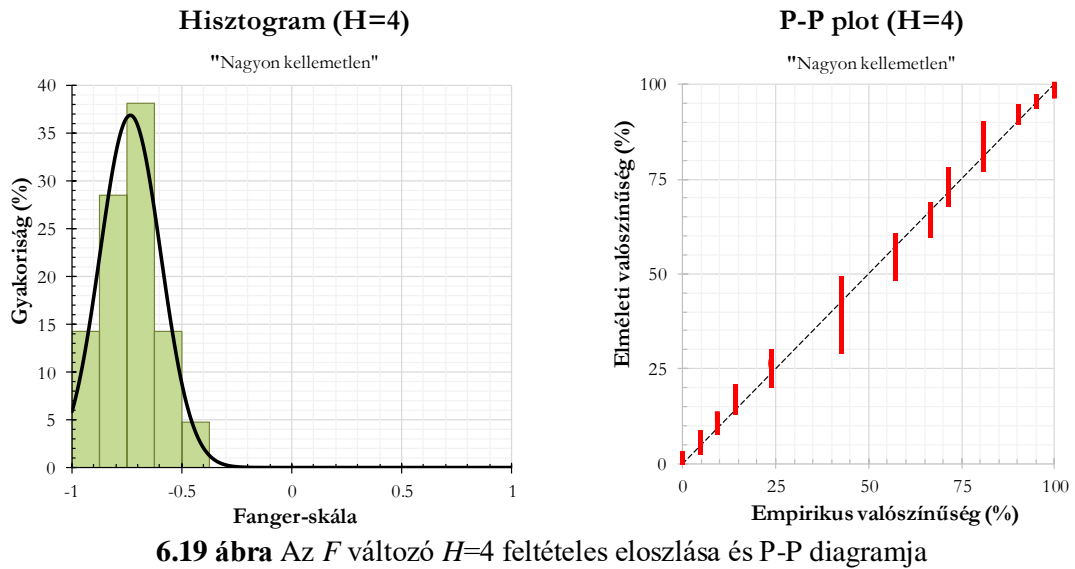
6.16 ábra Az F változó $H=1$ feltételes eloszlása és P-P diagramja



6.17 ábra Az F változó $H=2$ feltételes eloszlása és P-P diagramja



6.18 ábra Az F változó $H=3$ feltételes eloszlása és P-P diagramja



Az eloszlás több-módusú a 6.16 ábra eredményei alapján. A többi osztályhoz tartozó feltételes eloszlások markánsan normális eloszlást mutatnak, amit a 6.28 táblázat magas szignifikancia szintjei igazolnak.

A többi osztály esetében igazolódik a normális eloszláshoz való jó illeszkedés, hiszen a szignifikancia szintek magasabbak 0,05-nél.

6.28 táblázat Hedonic szerinti feltételes Fanger értékek normalitás vizsgálata egymintás Kolmogorov-Szmirnov egzakt próbával

<i>F</i>	<i>H</i> =1	<i>H</i> =2	<i>H</i> =3	<i>H</i> =4	<i>H</i> =5	
	„Kellemes”	„Semleges”	„Kellemetlen”	„Nagyon kellemetlen”	„Elviselhetetlen”	
N	71	147	117	21	4	
Normál paraméterek ^{a,b}	Átlag	0,7314	0,3377	-0,1937	-0,7348	-0,8900
	Szórás	0,29930	0,29330	0,28727	0,13830	0,03266
Legnagyobb eltérések	Abszolút	0,209	0,102	0,093	0,135	0,250
	Pozitív	0,185	0,102	0,093	0,135	0,250
	Negatív	-0,209	-0,071	-0,090	-0,087	-0,250
Próba statisztika	0,209	0,102	0,093	0,135	0,250	
Egzakt szign. (2-oldali)	0,003	0,086	0,246	0,788	0,906	

6.2.9 Összefoglalás, értékelés

A laboratóriumi mérések során élőalanyokkal szagintenzitás mérést végeztünk. A belsőépítészeti anyagok vizsgálatában 45 fő (39 férfi és 6 nő) egyetemi hallgató vett részt. Az értékelést a diszkrét ordinális Hedonic-, valamint a folyamatos Fanger-skálán is elvégezték. A méréseket a matematika statisztika módszerével kiértékeltek, elemezték. Az értékelésekben 45 fő, 8 anyagmintán végzett méréseinek eredményeit használtuk fel. A Hedonic- és a Fanger-skálák esetében 360-360 adatot használtunk fel. Az eredmények az alábbi megállapításokban foglalhatók össze:

- a) A vizsgált belsőépítészeti anyagok esetében a szagintenzitás mérésére szolgáló Hedonic kategóriás és a folytonos Fanger-skála mérési adatok erős negatív korrelációs kapcsolatban vannak. Ezt különböző korrelációs mérőszámok esetén egységesen igazoltam (6.29 táblázat). Mindegyik esetében a szignifikancia szint 0,01-nél kisebb. A Spearman-féle ρ korreláció $-0,866$ és $-0,695$ közötti, a Kendall-féle τ korreláció $-0,744$ és $-0,588$ közötti, a Pearson-féle r korreláció $-0,880$ és $-0,740$ közötti értékeket vettek fel.

6.29 táblázat Korrelációs számítás összefoglaló táblázata

	Pearson-féle r	Kendall-féle τ	Spearman-féle ρ
$F_1 - H_1$	-0,761**	-0,666**	-0,788**
$F_2 - H_2$	-0,850**	-0,709**	-0,816**
$F_3 - H_3$	-0,829**	-0,744**	-0,866**
$F_4 - H_4$	-0,829**	-0,725**	-0,836**
$F_5 - H_5$	-0,740**	-0,588**	-0,695**
$F_6 - H_6$	-0,762**	-0,595**	-0,705**
$F_7 - H_7$	-0,844**	-0,732**	-0,834**
$F_8 - H_8$	-0,880**	-0,741**	-0,859**
$F - H$	-0,829**	-0,703**	-0,823**

** : korreláció 0,01 szignifikancia szint alatti (2-oldali)

- b) A „kellemes” kategória kivételével, a H kategóriáihoz tartozó F értékek normális eloszláshoz jól illeszkednek. A kellemes kategóriánál az eloszlásdiagramnak két lokális maximuma van.
- c) Az F segítségével a H kategóriái 63,9% pontossággal megtippelhetők, ami szintén igazolja a kétféle mérés erős összefüggését. Az alkalmazható tanulóalgorithmus a legközelebbi társ módszer volt.

7. Az új tudományos eredmények megfogalmazása tézisekben

1. Tézis

A kutatómunkám során elemeztem a PMV – PPD elmélet alkalmazását. Irodaterekben végzett helyszíni műszeres mérések eredményeit összevettem az élőalanyos hőkomfort felmérés eredményeivel. Elvégeztem a két adatsor korreláció vizsgálatát.

Irodaépületben állandósult téli időszakban elméleti vizsgálatok, helyszíni mérések, valamint élőalanyos vizsgálatok eredményei alapján a matematikai statisztika módszerével megállapítottam:

Az ötfokozatú ASHRAE hőérzeti skála eredménye jól közelíti az irodai munkát reprezentáló tevékenységi szintre és ruházatra vonatkozó műszeres PMV mérés eredményét hazai környezetben (öltözködés, munkakultúra, épület, időjárás). A tevékenységi szint 1 met és a ruházat 1 clo esetében az AMV érték kicsivel alacsonyabb:

$$AMV = PMV - 0,065$$

A tevékenységi szint 1,2 met és a ruházat 1 clo esetében az AMV érték alacsonyabb:

$$AMV = PMV - 0,565$$

A PMV és AMV közötti függvénykapcsolatok a vizsgált hőkörnyezet alapján $-1,7 \leq PMV \leq +0,5$ tartományban érvényesek.

A számszerű adatok igazolják, hogy a Fanger-féle PMV modell a hazai sajátosságok (öltözködés, munkakultúra, épület, időjárás) mellett jól alkalmazhatók. A mérési eredmények alapján megállapítottam, hogy a nemzetközi szakirodalomban megadott adatokhoz viszonyítva a kellemes hőérzethez kis mértékben melegebb hőkörnyezet szükséges, ezen eltérést számszerűsítettem. Bár energetikai szempontból előnyös a belső hőmérséklet kismértékű csökkentése, azonban ez hőérzeti okok miatt nem javasolt.

2. Tézis

A nemzetközi levegőminőségi tudományos komfortkutatásokban a szubjektív értékelés során két eltérő módszert alkalmaznak. Az egyik lehetőség a nem tréningelt személyek („naiv panel”), a másik a tréningelt személyek („olf tester”) alkalmazása. Mindkét módszer előnyökkel és hátrányokkal rendelkezik. A levegőminőség kutatásoknál alkalmazható mindkét módszer. A hőkomfort vizsgálatánál csak nem tréningelt személyekkel („naiv panel”) történik a hőkomfort értékelése. Vizsgálataimnál ezt a módszert alkalmaztam.

A helyszíni hőkomfort vizsgálatokban, az egész irodaépületben 278 fő, a kiválasztott 3. emeleten 57 fő vett részt. A 3. emeleten hőkomfort műszeres méréseket 14 irodahelyiségben, összesen 21 mérőhelyen végeztünk.

Az eredmények szórására vonatkozóan megállapítottam, hogy a hőkomfort kérdőív esetében a szórás lényegesen nagyobb, 5,42-szeres (1 clo, 1,0 met beállításnál), illetve 6,72-szeres (1 clo, 1,2 met beállításnál), mint a műszeres mérés esetében. Az élőalanyos és a műszeres mérések alapján az eltérést számszerűsítettem.

3. Tézis

A hőérzetet változatlan egyéb paraméterek esetén az aktivitási szint és a ruházat befolyásolja. Mérési eredményeimmel bizonyítottam, hogy a ruházat hőszigetelő képességének, valamint az ember munkavégzési intenzitásának (aktivitási szint) növelésével adott populáció esetén a várható hőérzeti érték (PMV) és az elégedetlenek arányának (PPD) szórása csökken. A hazai sajátosságokra (öltözködés, munkakultúra, épület, időjárás) vonatkozóan a helyszíni mérések alapján meghatároztam a szórás csökkenésének mértékét. A ruházat hőszigetelő képessége, valamint a tevékenységi szint növelése azt eredményezik, hogy az egyes egyének közötti hőérzetbeli különbségek csökkennek. A külföldi szakirodalmak erre vonatkozóan nem tartalmaznak számszerű adatokat.

A ruházat hőszigetelő képessége, valamint a tevékenységi szint csökkenése esetén az egyéni adottságok jobban érvényesülnek.

A helyszíni mérések alapján, hazai viszonyokra vonatkozóan a szórás eredmények

	Aktivitási szint, ruházat		
	1 met 0,8 clo	1 met 1 clo	1,2 met 1 clo
PMV szórás; –	0,38	0,31	0,25
PPD szórás; %	19,8	9,9	2,5

A helyszíni mérések során vizsgált irodahelyiségekben a levegőhőmérséklet átlagértéke 23,1°C, szórása 0,77°C.

4. Tézis

A BME Gépészmérnöki kar Levegőminőség laboratóriumban levegőminőség vizsgálatokat folytattam a hazánkban alkalmazott belsőépítészeti anyagokkal. A laboratóriumban 2005-2007 között öt méréssorozatot végeztem. A méréssorozatokban összesen 196 fő élőalany (egyetemi hallgató) vett részt, méréssorozatanként 33-45 fő. A levegőminőség vizsgálatokat méréssorozatanként 8-8 belsőépítészeti anyagra vonatkozóan végeztem el. Összesen 35 belsőépítészeti anyagot vizsgáltam, ezek közül a disszertációban 8 jellegzetes anyag eredményeit mutatom be. A részletes értékelésre kiválasztott élőalanyos vizsgálatokban 45 fő (39 férfi, 6 nő) vett részt, nyolc különböző belsőépítészeti anyagot értékelték szagimisszió szempontjából. Az értékelés két skála alapján történt:

- Hedonic diszkrét ordinális skála,
- Fanger fokozatmentes skála.

Így ugyanarra a mintára az élőalany két értéket adott meg. A Hedonic-skála diszkrét értékét (H) egy ötfokozatú, nem szimmetrikus skálán (kellemes, semleges, kellemetlen, nagyon kellemetlen, elviselhetetlen), továbbá a Fanger fokozatmentes skálán $[-1; +1]$ intervallumban. Matematikailag egy „ H ” ordinális, nem szimmetrikusan rendezett mérési eredmény kategória változóról és egy „ F ” arányskálás fokozat nélküli változóról van szó. A matematikai statisztikai kiértékeléskor az IBM SPSS Statistics programot használtam.

Azt a nullhipotézist vizsgáltam, hogy a két változó között nincs kapcsolat. A hipotézis szignifikancia szintje 0,01-nél kisebb, ezért erős a kapcsolat. Alakfelismerési modell alkalmazása is igazolta az erős kapcsolatot.

Belsőépítészeti anyagok esetében elvégeztem a Hedonic és Fanger-skála eredmények korreláció vizsgálatát Pearson-féle r módszerével, Kendall-féle τ rangkorrelációs mérőszám, valamint Spearman -féle ρ rangkorrelációs mérőszám meghatározása alapján. A korrelációs mérőszámok minden esetben negatívak és szignifikánsan erős a korrelációs kapcsolat. A negatív irányú korreláció a két skála ellentett irányultságából adódik. Elegendő a belsőlevegő-minőség vizsgálatot az egyik skála szerint elvégezni a vizsgált anyagminták esetében. A vizsgált anyagminták szagmisszió szempontjából lefedik a hazánkban alkalmazott belsőépítészeti anyagokat. Így az élőalanyos belsőlevegő-minőség vizsgálatok időigénye és költségráfordítása csökkenthető, hatékonysága növelhető. A vizsgálataim igazolták, hogy a Fanger-skálán kapott értékekből a Hedonic-skála kategóriái 63,9%-os pontossággal meghatározhatók. Ez szignifikánsan magasabb a véletlenszerű eredmény 20% pontosságánál.

Korrelációs számítás összefoglaló táblázata

	Pearson-féle r	Kendall-féle τ	Spearman-féle ρ
$F_1 - H_1$	-0,761**	-0,666**	-0,788**
$F_2 - H_2$	-0,850**	-0,709**	-0,816**
$F_3 - H_3$	-0,829**	-0,744**	-0,866**
$F_4 - H_4$	-0,829**	-0,725**	-0,836**
$F_5 - H_5$	-0,740**	-0,588**	-0,695**
$F_6 - H_6$	-0,762**	-0,595**	-0,705**
$F_7 - H_7$	-0,844**	-0,732**	-0,834**
$F_8 - H_8$	-0,880**	-0,741**	-0,859**
$F - H$	-0,829**	-0,703**	-0,823**

** : korreláció 0,01 szignifikancia szint alatti (2-oldali)

5. Tézis

A vizsgált belsőépítészeti anyagok Fanger-skála szagmisszió mérési eredményeire normalitás vizsgálatot végeztem egymintás Kolmogorov-Szmirnov próbával. A vizsgált belsőépítészeti minták esetében a Fanger-skálán érzékelt szagmisszió eredmények eloszlása a normális eloszlást követi a Hedonic-skála „kellemes” kategória kivételével. Ez

azzal magyarázható, hogy a Fanger-skálán a „kellemes” érzet szélesebb tartományban fejezhető ki.

A vizsgálatokat a hazai gyakorlatban alkalmazott alábbi belsőépítészeti anyagokra vonatkozóan végeztem el:

1. Vastag szőnyegpadló latex hátlap piros „Orion” 5 mm vtg.
2. Forgácslap natúr 18 mm vtg.
3. Vékony szőnyegpadló latex hátlap „Rome” 3 mm vtg.
4. PVC padló „Acapulco” 1,3 mm vtg.
5. Vastag szőnyegpadló latex hátlap beige „Viper” 5 mm vtg.
6. Laminált forgácslap 18 mm vtg.
7. Tarkett padló 5 mm vtg.
8. Ipari filc fekete „New Orleans”.

A minták mérete 40×40 cm.

8. Publikációk

8.1 Felhasznált szakirodalom

- [1] András B., Kajtár L.: Measurement of human response on the combined effect of the hot wall and the draught Paper: 253, 6 p. Healthy Buildings 2017 Europe, Lublin, 2017.
- [2] ASHRAE Handbook 1997. Fundamentals. New York. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- [3] Araújo, V.M.D., Araújo, E. H. S.: The applicability of ISO 7730 for the assessment of the thermal conditions of users of the buildings in Natal-Brazil, Proceedings of Indoor Air '99. Vol. 2. Edinburg, 1999.
- [4] Azuma, K., Kagi, N., Yanagi, U., Kim, H., Kaihara, N., Hayashi, M., Haruki Osawa, H.: Effects of thermal conditions and carbon dioxide concentration on buildingrelated symptoms: a longitudinal study in air-conditioned office buildings, Indoor Air 2018, Philadelphia, PA, USA, ID 106.
- [5] Bálint P.: Orvosi élettan. Medicina Könyvkiadó, Bp. 1981.
- [6] Bánhidi L.: Zárt terek hőérzeti méretezése. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1976.
- [7] Berg-Munch, B., Clausen, C., Fanger, P. O.: Ventilation Requirements for the Control of Body Odor in Spaces Occupied by Women. Environment International, Vol. 12. 1986.
- [8] Bánhidi L.: Ember, épület, energia. Akadémiai Kiadó, Bp. 1994.
- [9] Bánhidi L., Kajtár L.: Komfortelmélet, Műegyetemi Kiadó, Bp. 2000.
- [10] Bánhidi L., Kajtár L.: Válogatott fejezetek a komfortelmélet témaköréből, Akadémiai Kiadó, Bp. 2017.
- [11] Bánhidi L., Kajtár L., Magyar T.: Épületek szellőzésének tervezése az új európai normák tükrében. Magyar Épületgépészet, Bp. 1996/3.
- [12] Bluysen, P.M.: A Trained Panel to Evaluate Perseived Air Quality. CLIMA 2000 Konferencia, Sarajevo, 1989.
- [13] Borg, G.: Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. Scandinavian Journal of Work, Environment and Health, 1990, 16, pp. 55–58.
- [14] Boulic, M., Wang, Y., Phipps, R., Chitty, C., Cunningham, C., Moses, A., Weyers, R., Jang-Jaccard, J., Olivares, G., Shekar, A., Longley, I., Tookey, L., Ponder-Sutton, A.: A breath of fresh air: engaging school-aged students with air quality science in New Zealand schools, Indoor Air 2018, Philadelphia, PA, USA, ID 344.
- [15] Busch, J. F.: A tale of two populations: thermal comfort in airconditioned naturally ventilated offices in Thailand. Energy and Buildings, 18., 1992.
- [16] Cain, W.S., Engen, T.: Olfactory adaptation and the scaling of odor intensity olfaction and taste. Vol.3. Rockefeller University Press, 1969, New York

- [17] Chan, D.W. T.-Burnett, J.-De Dear, R.J.-Ng, S.C.H.: A large-scale survey of thermal comfort in office premises in Hong Kong, *ASHRAE Transactions*, 104., 1998.
- [18] Chan, W., Yang-Seon Kim, Y., Singer, B., Walker, I.: Indoor Air Quality in New California Homes with Mechanical Ventilation, *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 542.
- [19] Darian-Smith, I., Johnson, K. O.: Thermal sensibility and thermal receptors. *Journal of Investigative Dermatology*, 69, pp. 146-153, 1977.
- [20] De Dear, R.J., Auliciems, A.: Validation of the predicted mean vote model of thermal comfort in six Australian field studies. *ASHRAE Transactions*, 91., 1985.
- [21] De Dear, R. B., Gail: Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, *ASHRAE Transactions*. 104 (1), 1998.
- [22] Derbez, M., Ponner, E., Ramalho, O., Riberon, J., Mandin, C.: Indoor air quality in 72 energy-efficient dwellings in France, *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 271.
- [23] Fan, X., Liu, W., Wargocki, P.: The effects of elevated temperatures with high relative humidity on human responses, *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 247.
- [24] Fanger, P. O.: Calculation of thermal comfort: introduction of a basic comfort equation. *ASHRAE Transactions*, 73., 1967.
- [25] Fanger, P. O.: *Thermal Comfort*. Robert E. Krieger Publ. Co. Malabar, Florida, 1982.
- [26] Fanger, P. O.: Introduction of the Olf and Decipol Units to Quantify Air Pollution, Perceived by Humans Indoors and Outdoors. *Energy and Buildings*, 1988.
- [27] Fanger, P. O., Lauridsen, J., Bluysen, P. M., Clausen, G.: Air pollution sources in offices and assembly halls, quantified by the olf unit. *Energy and Buildings*, 1988, 12, pp. 7-19.
- [28] Finke, U.: Ein Beitrag zu Fragen der Empfundenen Luftqualität in Gebäuden. *Dissertáció*, TU Berlin, 1996.
- [29] Fitzner, K., Finke, U.: Bestimmung der Empfundenen Luftqualität in Bürogebäuden-Ergebnisse und Wertung. *Gesundheits Ingenieur*, 1996.
- [30] Földi L., Padányi J.: Effect of climate change to military activities, National University of Public Services. ISBN 978-615-5305-25-2, 2014
- [31] Furukawa, R., Shinoda, J., Imazu, M., Tsushima, S., Tanabe, S., Iwata, H.: Heat Load and Indoor Environment under the Combined Use of Radiant Cooling System and Active Chilled Beam, *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 344.
- [32] Gunnarsen, L., Fanger, P. O.: Adaptation to indoor air pollution. *Environment International*, 1992, 18, pp. 43-54.
- [33] Gunnarsen, L., Nielsen, P. A., Wolkoff, P.: Design and characterisation of the CLIMPAQ, Chamber for laboratory investigation of materials, pollution and air quality. *Indoor Air*, 1994. 4, pp. 56-62.
- [34] Haldi, F., Robinson, D.: On the behaviour and adaptation of office occupants. *Building and Environment*. 43 (12): 2163. doi:10.1016/j.buildenv.2008.01.003

- [35] Han, D., Wang, F., Wang, R., Gong, Z., Yu, W.: Indoor Thermal Environment Control Based on Thermal Sensation Prediction Using Smart Wristband, Indoor Air 2018, Philadelphia, PA, USA, ID 439.
- [36] Harimi, D., Chi Chu, M., Sivakumar, K.: Assessment of Gender Differences in Their Thermal Sensations to the Indoor Thermal Environment, The 7th CUTSE Conference: Engineering International Conference (CUTSE- Engineering Goes Green), Published by: School of Engineering & Science, Curtin University Sarawak Malaysia, pp. 262-266., 2012.
- [37] Hasan, A., Kurnitski, J., Jokiranta, K.: Thermal comfort assessment of radiator and floor heating systems. Indoor Air 2008. Copenhagen 915 N.
- [38] Herberger, S., Herold, M., Ulmer, H.: Demand controlled ventilation for improved perceived air quality. Healthy Buildings 2009. Syracuse, NY USA, P1-10C, 19.
- [39] Herczeg L.: Irodaterék belső levegőminőségének értékelése. PhD Disszertáció, BME, Pattantyús Ábrahám Géza Gépészeti Tudományok Doktori Iskola, Bp. 2009. Témavezető: Dr. Kajtár László, <http://hdl.handle.net/10890/753>
- [40] Van Hoof, J.: Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all? Wiley Online Library, Indoor Air Issue 3, 2008.
- [41] Hrustinszky T.: Komfortterek belső levegőminőség emisszióforrásainak vizsgálata. PhD Disszertáció, BME, Pattantyús Ábrahám Géza Gépészeti Tudományok Doktori Iskola, Bp. 2013. Témavezető: Dr. Kajtár László, <http://hdl.handle.net/10890/1190>
- [42] Izsó L., Láng E.: Heart period variability as mental effort monitor in human computer interaction, Behaviour & Information Technology, 19: (4), 2000, pp. 297-306.
- [43] Izsó L., Hercegfi K.: A tervezés során figyelembe veendő emberi jellemzők 4. Az érzékelés, Ergonómia, Budapest, Typotex Kiadó, 2007, pp. 95-112. ISBN:978-9-639664-60-9
- [44] Jensen, B., Wolkoff, P., Wilkins, C. K.: Characterization of Linoleum. Part 2: Preliminary odour evaluation. INDOOR AIR '93, 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Helsinki, vol. 2, pp. 449-454., 1993.
- [45] Kalmár F.: Bőrérzékelés, Magyar Épületgépészet, 2013/4. pp. 7-10.
- [46] Kalmár F.: Innovative method and equipment for personalized ventilation, Indoor Air, 25:(3), 2015. pp. 297-306.
- [47] Kalmár F.: Személyi szellőztető berendezés fejlesztése a Debreceni Egyetem Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszékén, Magyar Épületgépészet, 65:(4), pp. 3-7., 2016.
- [48] Karjalainen, S.: Biological sex differences in thermal comfort and use of thermostats in everyday thermal environments, Building and Environment, 42 (4): doi:10.1016/j.buildenv.2006.01.009, 2007.
- [49] Ketskeméty L.: Nearest neighbour classification with excluding assumption, Journal of Mathematical Sciences, New York, 111 (6), 2002, pp. 3841-3845.
- [50] Ketskeméty L., Izsó L., Könyves Tóth E.: Bevezetés az IBM SPSS Statistics programrendszerbe: Módszertani útmutató és feladatgyűjtemény statisztikai elemzésekhez, Budapest, Arteria Stúdió, 2011. ISBN:978 963 081 100 2

- [51] Kim, H., Oldham, E.: Long-Term Field Measurements of Thermal Comfort Performance of An Occupancy-Based Climate Control Technology, *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 658.
- [52] Klug Nándor: Az érzékszervek élettana, K.M. Természettudományi Társulat, Budapest, 1896. (<http://mek.oszk.hu/02900/02938/html/>) (Letöltés: 2012.07.12)
- [53] Knudsen, H. N., Clausen, G., Fanger, P. O.: Sensory characterisation of emissions from materials. *Indoor Air*, 7(2), pp. 107-115., 1997.
- [54] Knudsen, H. N., Wargocki, P.: The effect of using low-polluting building materials on perceived air quality and ventilation requirements in real rooms. *Indoor Air 2008*. Copenhagen 221 N.
- [55] Kókai Zoltán, Sipos László: Érzékszervi minősítés, Nemzeti Tankönyvkiadó, http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0011_2A_7_modul/adatok.html, 2011
- [56] Lan L., Lian Z., Liu W., Liu, Y.: Investigation of biological sex difference in thermal comfort for Chinese people, *European Journal of Applied Physiology*, 102(4): pp. 471-480. 2007.
- [57] Larsen, A., Nielsen, P., Wolkoff, P.: Labelling of emission from building products: First year status. *Indoor Air '96*, 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Nagoya, Japan, vol. 1, pp. 353-358., 1996.
- [58] Lee, J. Y., Song, G. S., Isoda, N.: Evaluation of thermal comfort in wall cooling system. *Indoor Air 2008*. Copenhagen 1049 S.
- [59] Lee, K., Kim, T., Kim, H., Byun, H., Kim, T.: Evaluation of Clothing Thermal Insulation based on Human Thermoregulation Model by Measuring Skin and Clothing Temperature, *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 151.
- [60] Lenzuni, P., Freda, D., Del Gaudio, M.: Classification of Thermal Environments for Comfort Assessment. *Annals of Occupational Hygiene*. 53 (4): 325–32. doi:10.1093/annhyg/mep012. PMID 19299555, 2009.
- [61] Lim, J.: Hedonic scaling: A review of methods and theory. *Food Quality and Preference*, 22, 2011, pp. 733-747. www.elsevier.com/locate/foodqual
- [62] Liu, J., Dai, X., Yin, Y., Pei, J.: Indoor air quality in different age homes, *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 585.
- [63] Loewer, H.: Die Raumluftqualität in der nationalen und internationalen Normung. *Ki Luft- und Kaltetechnik*, 1995/9.
- [64] Luo, M., Zhang, H., Arens, E., Ghahramani, A., Wang, Z., Jin, L., He, Y.: Heating and cooling the human body with energy-efficient personal comfort systems (PCS), *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 720.
- [65] Lynette, J.: Thermal touch, *Scholarpedia*, 2009.
- [66] Maccarini, A., Hultmark, G., Bergsøe, N. C., Afshari, A.: Operation of a novel two-pipe active beam system in an office building: a thermal comfort study, *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 607.
- [67] Mandin, C., Malingre, L., Grégoire, A., Claire Dassonville, C., Ramalho, O.: Indoor air quality in French office buildings: a nationwide study, *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 683.

- [68] Maula, H., Hongisto, V., Haapakangas, A., Koskela, H.: The effect of low ventilation rate on perceived air quality and work performance – A laboratory study, *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 298.
- [69] Mayer, E.: A new correlation between predicted mean votes (PMV) and predicted percentage of dissatisfied (PPD). *Proceedings of Healthy Buildings, IAQ '97*, Vol. 2, Washington, pp. 189-194.
- [70] Mayer, E., Schwab, R.: *Geruchsbewertung in Gebäuden nach unterschiedlichen Methoden*. IBP Mitteilung. Stuttgart, 1995.
- [71] McGrath, J. A., Coleman, L., O’Griofa, S., Léime, E. O., O’Dowd, C., Byrne, M. A.: Low-cost air quality sensors: key to data abundance? *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 671.
- [72] Melikov, A. K., Kaczmarczyk, J., Sliva, D.: Impact of air movement on perceived air quality at different level of relative humidity. *Indoor Air 2008*. Copenhagen 1037 N.
- [73] Melikov, A. K., Kaczmarczyk, J., Sliva, D.: Impact of air movement on perceived air quality at different pollution level and temperature. *Indoor Air 2008*. Copenhagen 1033 N.
- [74] Mihara, K., Lasternas, B., Takemasa, Y., Tham, K., W., Sekhar, C.: Evaluation of Thermal Environment with Elevated Air Speed using a Breathing Thermal Manikin, *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 112.
- [75] Moskowitz, H. R.: Magnitude estimation: Notes on what, how, when, and why to use it. *Journal of Food Quality*, 3, pp. 195–227., 1977.
- [76] Mui, K.W., Wong, L.T., Hui, P.S.: IAQ benchmarks of air-conditioned offices in Hong Kong. *Indoor Air 2008*. Copenhagen 20 S.
- [77] Nemethova, E., Petras, D., Krajcik, M.: The Impact of different low-exergy heating systems and HVAC control settings on thermal comfort and energy performance, *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 709.
- [78] Nicol, J. F.: *Characterising Occupant Behaviour in Buildings (PDF)*. *Proceedings of the Seventh International IBPSA Conference*. Rio de Janeiro, Brazil, pp. 1073–1078., 2001.
- [79] Nitter, T. B., Svendsen, K. H., Aas, B.: Air quality in a Norwegian indoor swimming pool facility: A Case study, *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 146.
- [80] Olesen, B. W., Nielsen, R.: A comparison of the thermal insulation measured on a thermal manikin and on human subjects. *Proceedings of Indoor Air '84*. Vol. 5. Stockholm, 1984.
- [81] Pariaskova, J., Müller, D., Müller, B.: Transfer functions for perceived air quality, acceptability and hedonic tone measurements. *Indoor Air 2008*. Copenhagen 869 N.
- [82] Parsons, K.: *Human Thermal Environments (2nd ed.)*. Taylor & Francis, 2003.
- [83] Pantelic, J., Liu, S., Pistore, L., Licina, D., Vannucci, M., Schiavon, S., Gilligan, B.: Inhalation exposure to metabolic CO₂ and control interventions, *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 257.
- [84] De Paula Xavier, A. A., Roberto, L.: Indices of thermal comfort developed from field survey in Brazil. *ASHRAE Transactions*, 106., 2000.
- [85] Pettenkofer, Max von.: *Über den Luftweschel in Wohngebäuden*. Literarisch-Artistische. Anstalt der J. G. Gottaschen Buchhandlung. München, 1858.

- [86] Porras-Salazar, J. A., Wargocki, P., Piderit-Moreno, B.: Reducing Classroom Temperatures in a Tropical Climate Improved the Performance of Elementary School Pupils, *Indoor Air* 2018, Philadelphia, PA, USA, ID 136.
- [87] Russa, J., Khalifa, H. E., Dang, T.: Computational study of personal ventilation jets using a sweating, breathing, thermal manikin. *Healthy Buildings 2009*. Syracuse, NY USA, P1-10C, 368.
- [88] Sateri, J.: New target values for indoor environment in the Finnish Classification of indoor climate 2008. *Indoor Air* 2008. Copenhagen 477 N.
- [89] Seppanen, O.: Scientific basis for design of ventilation for health, productivity and good energy efficiency. *Indoor Air* 2008. Copenhagen 744 N.
- [90] Shmaefsky, B. R.: One Hot Demonstration: The Urban Heat Island Effect, *Journal of College Science Teaching*. 35, 52. doi:10.2505/4/jcst06_035_07_52, 2006.
- [91] Silva, V., De Paulo, R., De Azevedo, P. V., Brito, R. S., Campos, J. H. B.: Evaluating the urban climate of a typically tropical city of northeastern Brazil, *Environmental Monitoring and Assessment*, 161, 45–59, doi:10.1007/s10661-008-0726-3., 2009.
- [92] Spiess, T.: Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben "Steigerung der Luftqualität durch verbesserte Lüftungsgeräte. Berlin, 1996.
- [93] Steinheider, B., Winneke, G., Schlipkoter, H.W.: Somatische und psychische Wirkungen intensiver Geruchsimmissionen. Eine Fallstudie aus der Substratherstellung für die Champignonzucht. *Staub-Reinhaltung der Luft*, (53)., 1993, pp. 425-431.
- [94] Stevens, J. C., Choo, K. K.: Temperature sensitivity of the body surface over the life span. *Somatosensory & Motor Research*, 15, 13-28, 1998.
- [95] Stevens, S.S.: On the Psychophysical Law. *Psychological Review*, Vol. 64., 1957.
- [96] Sukarnya, W., O'Mahony, M.: The 9-point hedonic scale and hedonic ranking in food science: some reappraisals and alternatives. *J Sci Food Agric*, 2014, 12p. Published online in Wiley Online Library: (wileyonlinelibrary.com) DOI 10.1002/jsfa.6993
- [97] Sundell, J., Lindvall, T.: Indoor air humidity and the sensation of dryness as risk indicators of SBS. *Indoor Air*, 1993, pp. 382-390.
- [98] Szabó J.: Energiatudatos klimatizálás, különös tekintettel eltérő rendeltetésű zárt terek komfortjára. PhD Disszertáció, BME, Pattantyús Ábrahám Géza Gépészeti Tudományok Doktori Iskola, Bp. 2018. Témavezető: Dr. Kajtár László, <http://hdl.handle.net/10890/5494>
- [99] Szokolay S. V.: *Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design* (2nd ed.). p. 19., 2010.
- [100] Tian, L., Wang, Q., Liu, J., Lin, Z.: Measurements of indoor air quality and thermal comfort of an office ventilated by stratum ventilation. *Indoor Air* 2008. Copenhagen 583 N.
- [101] Toyinbo, O., Obi, C., Shaughnessy, R., Haverinen-Shaughnessy, U.: Ventilation, Thermal Comfort and Cleanliness of High Contact Surface in Nigerian Schools, *Indoor Air* 2018, Philadelphia, PA, USA, ID 334.
- [102] Thumulla, J., Kroczeck, C.: On – site Odour Analysis and Assessment – Method and Case Studies, http://www.isiaq.org/docs/presentations/0988_Thumulla.pdf

- [103] Wang, Z. J., Lian, L. M.: A field study of the thermal environment in residential buildings in Harbin. *ASHRAE Transactions*, 109., 2003.
- [104] Wang, F., Yang, H., Chang, L.: Field Evaluation of Indoor Air Quality and Thermal Comfort for a Library Building under Hot and Humid Climate, *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 151.
- [105] Wang, X., Sun, H.: A case study on fresh air Mechanical ventilation system in a residential building of Tianjin, *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 626.
- [106] Wargocki, P., Clausen, G., Fanger, P. O.: Field study on addition of indoor air sensory pollution sources. *Proceedings of INDOOR AIR '96*, 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Nagoya, Japan, 1996 July 21-26; vol. 4, pp. 307-312.
- [107] Wichchukit, O'Mahony, M.: The 9-point hedonic scale and hedonic ranking in food science: some reappraisals and alternatives, Published online in Wiley Online Library, DOI 10.1002/jsfa.6993, 2014.
- [108] Williams, R. N.: A field investigation of thermal comfort, environmental satisfaction and perceived control levels in UK office buildings. *Proceedings of Healthy Buildings '95*. Vol. 3. Milan, 1995.
- [109] Witthauer, J., Horn, H., Bischof, W.: *Raumluftqualität*. Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, 1993.
- [110] Wu, X., Gao, J., Wang, H., Zhao, Y., Wang, F.: Effect of Ceiling Surface Temperature on Indoor Air Distribution in a Simulated Office Room with Underfloor Air Distribution and Chilled Ceiling, *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 119.
- [111] Wu, Z., Sun, H.: A study on mechanical ventilation in residential buildings in Tianjin, *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 602.
- [112] Wyon, D. P., Andersen, I., Lundqvist, G. R.: Spontaneous magnitude estimation of thermal discomfort during changes in the ambient temperature, *Journal of Hygiene*, 70 (2): pp. 203–221., 2009.
- [113] Yamaguchi, S., Nakano, J., Furumoto, K., Nakamura, D., Ikeda, Y., Tsubouchi, K., Oishi, H., Tanabe, S.: Evaluation of the Thermal Environment of Waiting Room at Small-scale Railway Stations in Cold Regions, *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 251.
- [114] Yang, B., Olofsson, T.: Field study of thermal comfort in a primary school under subarctic Sweden, *Indoor Air 2018*, Philadelphia, PA, USA, ID 284.
- [115] Yoon, D. W., Sohn, J. Y., Cho, K. H.: The comparison on the thermal comfort sensation between the results of questionnaire survey and the calculation of the PMV values. *Proceedings of Indoor Air '99*. Vol. 2. Edinburgh, 1999.
- [116] Yu J., Yang C., Tian L., Liao D.: Evaluation on energy and thermal performance for residential envelopes in hot summer and cold winter zone of China, *Applied Energy*, 86, 1970. doi:10.1016/j.apenergy.2009.01.012, 2009.
- [117] Zeiler, W., Noom, P., Houten, R., Fokko Haan, J., van der Velden, J.: Thermal comfort in office practice: Theory versus practice. *Healthy Buildings 2009*. Syracuse, NY USA, P1-10E, 91.
- [118] Zhang, H., Arens, E., Zhai, Y.: A review of the corrective power of personal comfort systems in non-neutral ambient environments, *Building and Environment*, 91, 15–41. doi:10.1016/j.buildenv.2015.03.013, 2015.

- [119] Zhang, C., Loftness, V., Gilligan, B., Goebel, N., Pyke, C.: Kampschroer, K., Premchandran, P., Riggs, L.: The Comparative Effect of Temperature and CO2 on Work Performance, Indoor Air 2018, Philadelphia, PA, USA, ID 720.
- [120] Zhou, X., Luo, M., Ren, Y., Zhang, L., Zhang, X.: Thermal response and local thermal comfort of asymmetric radiant environment, Indoor Air 2018, Philadelphia, PA, USA, ID 344.
- [121] MSZ CR 1752:2000 Épületek szellőztetése. Épületek belső környezetének tervezési alapjai (Forrás: CR 1752:1998 Ventilation for buildings. Design criteria for the indoor environment.)
- [122] MSZ EN 15251:2007 Épületek energia-teljesítőképességének tervezésére és becslésére, levegőminőségére, hőmérsékletére, fény- és akusztikai viszonyaira vonatkozó beltéri bemeneti paraméterei (Forrás: EN 15251:2007 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics)
- [123] MSZ-04. 135/1-82. Légtechnikai berendezések. Általános előírások. Bp. 1983.
- [124] EUR 13216 EN Report No.7. Indoor Air Pollution by Formaldehyde in European Countries. 1990.
- [125] EUR 14449 EN Report No.11. Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings, 1990.
- [126] EUR 18676 EN Leitfaden Gerüche in Innenräumen. Sensorische bestimmung und beverung. Ministerium für ein Lebenswertes Österreich. Arbeitskreis innenraumluft. Herausgegeben vom Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Stubenbastei 5 1010 Wien Februar 2014 Überarbeitete Version 2.3 vom 28.12.2015. http://www.innenraumanalytik.at/pdfs/leitfaden_gerueche2.pdf
- [127] DIN 1946/2 Raumlufttechnik. Gesundheitstechnische Anforderungen, 1994.
- [128] VDI 3881: Olfaktometrie. Geruchsschwellenbestimmung, 1986.
- [129] Report No. 20. Sensory Evaluation of Indoor Air Quality, European Commission Joint Research Center – Environment Institute, 1999.
- [130] 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról

A kutatási az alábbi projektek keretében valósult meg:

- [131] Bankszékház légtechnikai rendszerének vizsgálata, Dr. Erdősi István – Dr. Kajtár László, Budapest, 1996.
- [132] Klimatizált terek levegőminőségének biztosítása, klimatechnikai rendszerek levegőminőségi követelményei, értékelési módszere. OTKA kutatási zárójelentés. T 0299451. Témavezető: Dr. Kajtár László, Budapest, 2002.
- [133] Belsőlevegő-minőség és szennyezőanyag kibocsátás értékelési és mérési módszerének kidolgozása. OTKA kutatási zárójelentés. T 037596. Témavezető: Dr. Kajtár László, Budapest, 2005.
- [134] Komfortterek jó minőségének biztosítása, módszertani elvek – alapadatok a tervezéshez, a hazai sajátosságok figyelembe vételével. OTKA kutatási zárójelentés. T 49598. Témavezető: Dr. Kajtár László, Budapest, 2008.

Internet:

[135] <http://pmr-science.wikispaces.com/1.2+The+Sense+of+Touch> (Megtekintve: 2018.07.19.)

[136] <http://www.neurophysiology.ws/receptors.htm> (Megtekintve: 2018.07.24.)

[137] <http://www.duhs.edu.pk/.../lec11-sem2-hnsweek4-201109> (Megtekintve: 2018.07.11.)

8.2 A disszertáció témaköréhez kapcsolódó saját publikációk a kandidátusi (PhD)-fokozat megszerzése után

8.2.1 Szakcikkék idegen nyelven

- [S1] Kajtár L., Nyers J., Szabó J., Ketskeméty L., Herczeg L., Leitner A., Bokor B.: Objective and subjective thermal comfort evaluation in Hungary, THERMAL SCIENCE 21:(3) pp. 1409-1418., 2017.
- [S2] Szabó J., Kajtár L., Nyers J., Bokor B.: A new approach and results of Wall and Air Temperature Dynamic Analysis in Underground Spaces, ENERGY 106: pp. 520-527., 2016.
- [S3] Kajtár L., Nyers J., Szabó J.: Dynamic thermal dimensioning of underground spaces, ENERGY 87: pp. 361-368., 2015.
- [S4] Szabó J., Kajtár L.: Comfort measurements in offices, POLLACK PERIODICA: AN INTERNATIONAL JOURNAL FOR ENGINEERING AND INFORMATION SCIENCES 9: pp. 81-90., 2014.
- [S5] Kajtár L., Herczeg L.: Influence of carbon-dioxide concentration on human well-being and intensity of mental work, IDŐJÁRÁS / QUARTERLY JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE 116:(2) pp. 145-169., 2012
- [S6] Kajtár L., Hrustinszky T.: Investigation and influence of indoor air quality on energy demand of office buildings, WSEAS TRANSACTIONS ON HEAT AND MASS TRANSFER 4:(3) pp. 219-228., 2008.
- [S7] Herczeg L., Hrustinszky T., Kajtár L.: Comfort in closed spaces according to thermal comfort and indoor air quality, PERIODICA POLYTECHNICA-MECHANICAL ENGINEERING 44:(2) pp. 249-264., 2000.
- [S8] Kajtár L., Erdosi I., Bakó-Bíró Zs.: Thermal and air quality comfort of office buildings based on new principles of dimensioning in Hungary, PERIODICA POLYTECHNICA-MECHANICAL ENGINEERING 44:(2) pp. 265-274., 2000.

8.2.2 Lektorált szakcikkek magyar nyelven

- [S9] Kajtár L., Szabó J.: Differenciált hőkomfort elemzése klimatizált terekben, MAGYAR INSTALLATEUR:(10) pp. 30-32., 2017.
- [S10] Herczeg L., Kajtár L.: Közérzet és szellemi teljesítőképesség, MÉRNÖK ÚJSÁG:(11) pp. 30-31., 2015.
- [S11] Kajtár L., Ketskemény L., Szabó J., Herczeg L., Leitner A.: A PMV modell alkalmazásának tapasztalatai Magyarországon, MAGYAR ÉPÜLETGÉPÉSZET:(12) pp. 3-8., 2015.
- [S12] Kajtár L., Szabó J.: Intelligens épületek komfortja, MAGYAR INSTALLATEUR: (11-12) pp. 25-27., 2014.
- [S13] Kajtár L., Szabó J.: Klimatizált terek komfortjának minősítése I., MAGYAR INSTALLATEUR: (5) pp. 20-21., 2012.
- [S14] Kajtár L., Szabó J.: Klimatizált terek komfortjának minősítése II., MAGYAR INSTALLATEUR: (6-7) pp. 34-35., 2012.
- [S15] Kajtár L., Bánhidi L.: Az épületenergetikai követelmények hatása a hőkomfortra, MÉRNÖK ÚJSÁG: (11) pp. 26-30., 2011.
- [S16] Kajtár L.: A hőkomfort elemzése télen, irodai környezetben, MAGYAR ÉPÜLETGÉPÉSZET:(12) pp. 3-7., 2011.
- [S17] Kajtár L.: Igényes "A" komforkategória irodákban, MAGYAR INSTALLATEUR: pp. 38-40., 2007.
- [S18] Kajtár L., Herczeg L.: A szén-dioxid hatása az ember közérzetére és munkavégzés teljesítményére, HKL-HŰTŐ KLÍMA ÉS LÉGTECHNIKAI ÉPÜLETGÉPÉSZETI SZAKLAP: (7) pp. 14-17., 2004.
- [S19] Kajtár L., Hrustinszky T.: A belsőlevegő-minőség. A szükséges frisslevegő -igény vizsgálata, HKL-HŰTŐ KLÍMA ÉS LÉGTECHNIKAI ÉPÜLETGÉPÉSZETI SZAKLAP: (8) pp. 16-19., 2004.
- [S20] Kajtár L., Herczeg L., Láng E.: A szén-dioxid hatása az ember közérzetére és munkavégzés teljesítményére, MAGYAR ÉPÜLETGÉPÉSZET: pp. 11-24., 2004.
- [S21] Kajtár L., Herczeg L., Láng E.: A szén-dioxid hatása az ember közérzetére és munkavégzés teljesítményére, EGÉSZSÉGTUDOMÁNY: (4.) pp. 270-282., 2004.
- [S22] Herczeg L., Kajtár L.: Komfortterek hőérzeti méretezése és számítógépes szimulációja, MAGYAR ÉPÜLETGÉPÉSZET: pp. 11-14., 1999.
- [S23] Kajtár L., Hrustinszky T.: A belsőlevegő-minőség számítógépes szimulációja, MAGYAR ÉPÜLETGÉPÉSZET: pp. 9-12., 1999.

8.2.3 Konferencia kiadványokban megjelent idegen nyelvű lektorált publikációk

- [S24] Szabo J., Kajtár L.: Thermal comfort of underground spaces, Vykurovanie 2017 (Heating 2017): Izborník prednášok 25. medzinárodnej vedecko-odbornej konferencie. pp. 360-371.
- [S25] András B., Kajtár L.: Usability of CFD modeling in thermal comfort researches, Installation for buildings and ambient comfort, , International Conference Timisoara, 6 p. 2016.
- [S26] Szabó J, Kajtár L: Expected thermal comfort in underground spaces, EXPRES 2016, 8th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources and Efficiency. pp. 76-80.
- [S27] András B., Kajtár L.: Winter overheating of public buildings. Temesvár, 2015. 15 p., 24. Installation for buildings and ambient comfort
- [S28] Szabó J, Kajtár L: Comfort Analyzing Based On Probability Theory In Office Building, EXPRES 2015 Subotica, 7th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources and Efficiency, pp. 40-45.
- [S29] Kajtár L., Szabó J.: Analysis of PMV Method in Hungarian Environment, International Symposium on Indoor Climate and Thermal Manikin, Pécs, Pollack Expo, 2012.
- [S30] Kajtár L., Szabó J.: Comfort measurements in office buildings, 10th International Scientific Conference – Indoor Air and Environmental Quality, 2012, Budapest, pp. 132-139.
- [S31] Kajtár L., Szabó J.: Effect of Large Window Surfaces in Office Buildings, 10th International Conference on Healthy Buildings 2012, Brisbane, pp. 977-982.
- [S32] Szabó J., Kajtár L.: Thermal Comfort Measurements In Large Window Offices, 4th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources: EXPRES 2012, Szabadka, pp. 79-82.
- [S33] Kajtár L., Szabó J.: Thermal Comfort In Office Buildings With Large Window Surfaces, The 12 th International Conference on Indoor Air Quality and Climate: INDOOR AIR 2011. Austin , USA , pp. 1356-1361.
- [S34] Kajtár L., Hrustinszky T., Herczeg L.: Indoor air quality and energy demand of buildings, Healthy buildings 2009: Syracuse, USA, pp. 1-4.
- [S35] Kajtár L., Hrustinszky T.: Influence of indoor air quality on energy performance of HVAC, PROCEEDINGS OF THE 6TH IASME/WSEAS INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEAT TRANSFER, THERMAL ENGINEERING AND ENVIRONMENT (HTE'08): PTS I AND II. Rhodes , Görögország: World Scientific and Engineering Society Press, 2008. pp. 360-364. (WSEAS Mechanical Engineering Series)

- [S36] Kajtár L., Hrustinszky T., Herczeg L., Ketskemety L., Leitner A.: Indoor air quality investigation with naive panels, Indoor Air 2008 - 11th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Copenhagen , Dánia , 2008.08.17 -2008.08.22. Paper CD.
- [S37] Kajtár L., Herczeg L., Hrustinszky T., Bánhidi L.: Influence of Carbon-Dioxide Pollutant on Human Well-Being and Work Intensity, HB 2006 Healthy Buildings, Proceedings. Lisboa, Portugália, pp. 85-90.
- [S38] Leitner A., Kajtár L.: Air quality of living spaces with gas range, 5th International Conference Indoor Climate of Buildings: '04 Health, Comfort and Safety by Operation of HVAC, Strbske Pleso, Szlovákia , 2004. pp. 1-5.
- [S39] Kajtár L., Hrustinszky T.: Investigation of indoor air quality and emission of indoor used materials in Hungary, 7th International Conference Healthy Buildings 2003, Singapore, pp. 752-757.
- [S40] Kajtár L., Herczeg L. , Láng E.: Examination of influence of CO₂ concentration by scientific methods in the laboratory, 7th International Conference Healthy Buildings 2003. Singapore, pp. 176-181.
- [S41] Kajtár L., Hrustinszky T.: Measurements of Indoor Air Quality and Emission of Indoor Materials, Gépészet 2002. Proceedings of the Third Conference on Mechanical Engineering, Budapest, pp. 362-366.
- [S42] Kajtár L., Herczeg L., Láng E.: Influence of CO₂ Concentration on Office Work Intensity and Human Well-being, Gépészet 2002. Proceedings of the Third Conference on Mechanical Engineering Budapest, pp. 357-361.
- [S43] Bánhidi L., Erdősi I., Kajtár L.: Field Studies of Indoor Air Quality in Office Buildings in Hungary, ISBE International Conference on Airborne Infectious Diseases: Prevention by Air Hygiene, Budapest, 2001. p. 6.
- [S44] Herczeg L., Kajtár L.: Influence of CO₂ Concentration on Comfort Places, Nemzetközi Szimpózium Timisoara, Románia, 2001. pp. 67-71.
- [S45] Hrustinszky T., Kajtár L.: Evaluation of Indoor Air Quality, Instalatii pentru Constructii si Confortul Ambiental. Timisoara, Románia, 2001. pp. 35-39.
- [S46] Kajtár L., Hrustinszky T.: Measurements of Indoor Air Quality and Emission of Indoor Materials, Indoor Climate of Buildings 2001. Strbske Pleso, Szlovákia, pp. 323-330.
- [S47] Kajtár L., Erdősi I., Bakó-Biró Zs.: Thermal and Air Quality Comfort in the Hungarian of Office Buildings, 2nd NSF International Conference on Indoor Air Health. Miami Beach, USA, 2001. pp. 270-278.
- [S48] Herczeg L., Kajtár L.: Measurement of air quality comfort in closed spaces, Gépészet 2000: Proceedings of Second Conference on Mechanical Engineering. Budapest, pp. 378-382.

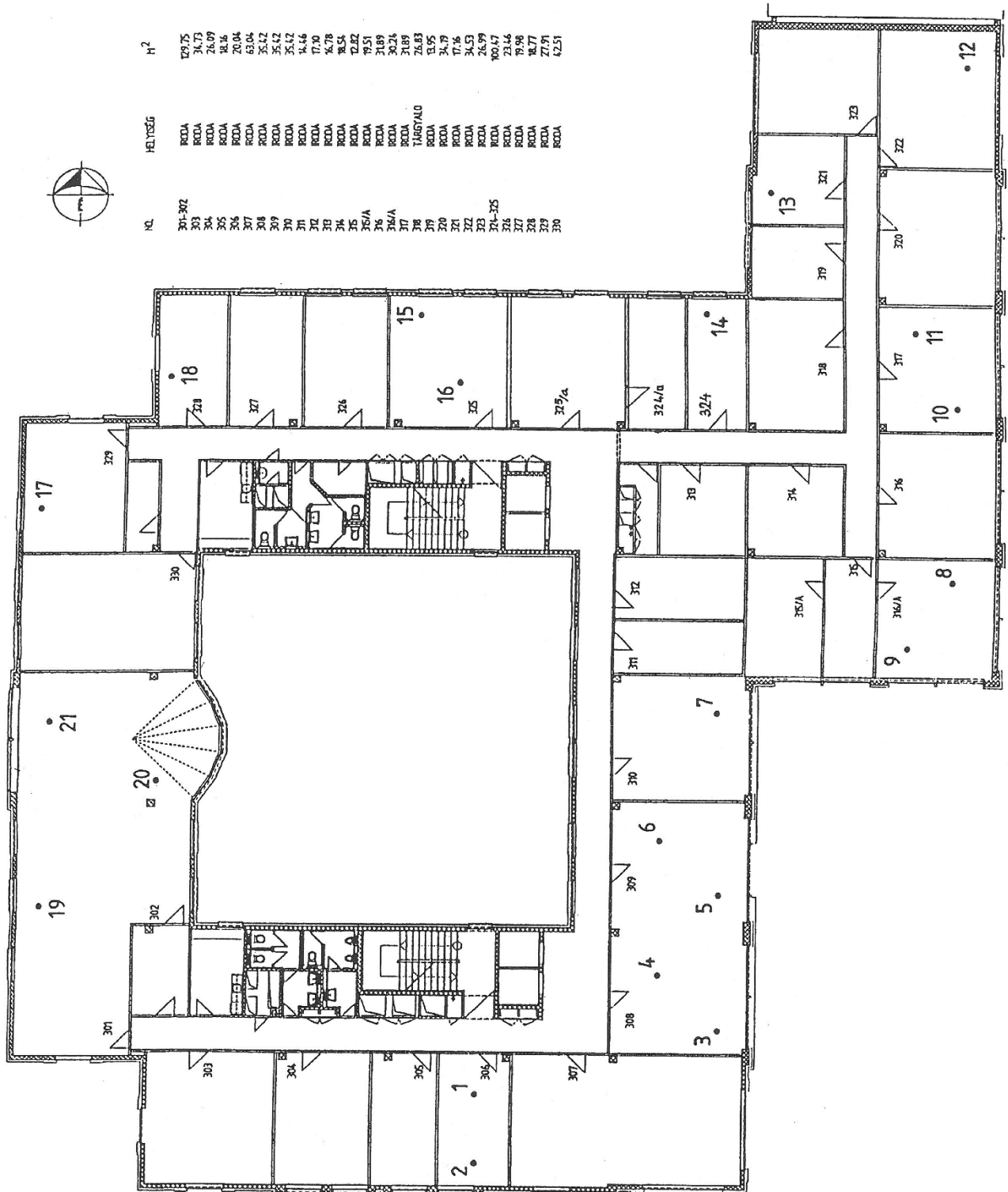
- [S49] Kajtár L., Erdősi I., Bakó-Biró Zs., Herczeg L., Hrustinszky T.: Thermal And Air Quality Comfort In The Hungarian Office Buildings, Healthy Buildings 2000. Helsinki, Finnország, 6p.
- [S50] Kajtár L., Erdősi I., Bánhidi L.: Thermal and air quality comfort of office buildings in Budapest, Instalatiile Pentru Constructii Si Confortul Ambiental Konferencia Timisoara, Románia, 2000., pp. 147-152.
- [S51] Erdősi I., Kajtár L., Bánhidi L.: Thermal Comfort in Climatized Office Building in Winter Design, Construction and Operation of Healthy Building: Solutions to global and regional concerns. Atlanta, USA, 1998. pp. 179-195.
- [S52] Bánhidi L., Erdősi I., Kajtár L.: Thermal comfort in climatized office buildings, Healthy Buildings/IAQ'97: Global Issues and Regional Solutions, Conference 1997. Washington. pp. 207-212.

8.2.4 Konferencia kiadványokban megjelent magyar nyelvű lektorált publikációk

- [S53] Kajtár L., Leitner A.: Levegőminőség vizsgálata CFD szimuláció alapján, V. Országos Kéménykonferencia. Kecskemét, 2008. pp. 1-12.
- [S54] Kajtár L., Hrustinszky T.: Belsőlevegő-minőség és a szükséges frisslevegő arány vizsgálata, 16. Fűtés- és Légtechnikai Konferencia. Budapest, 2004. pp. 1-9.
- [S55] Kajtár L., Herczeg L., Láng E.: A szén-dioxid hatása az ember közérzetére és a munkavégzés teljesítményére, 16. Fűtés- és Légtechnikai Konferencia. Budapest, Magyarország , 2004. pp. 1-15.
- [S56] Kajtár L., Leitner A.: A belsőlevegő-minőség vizsgálata légcsereszám mérése alapján, OGÉT 2003 – XI. Nemzetközi Gépész Találkozó: 11th International Conference in Mechanical Engineering. Kolozsvár, Románia, pp. 116-119.
- [S57] Herczeg L., Kajtár L.: Zárt Terek Levegőminőségi Komfortjának Mérési Lehetőségei, microCAD 2001, B szekció: International Scientific Conference. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország , 2001.03.01 -2001.03.02. Miskolc, pp. 141-145.

Mellékeltek

M1. Melléklet – Hőérzeti mérések a 3. emeleten



M3. Melléklet – 3. emelet mért légállapot adatai1996. január 17. 10:00-15:00, $t_k = -1,5 \dots -2^\circ\text{C}$

Szoba	Hőmérséklet °C	Nedvességtartalom %	Hőkomfort mérés
301-302	22,3	56	PMV
303	22,6	55	–
304	23,1	53	–
305	22,9	54	–
306	23,0	53	PMV
307	22,8	54	–
308	22,5	54	PMV
309	22,8	54	PMV
310	23,4	52	PMV
311	24,6	48	–
312	24,7	48	–
313	24,7	49	–
314	24,6	51	–
315	23,6	53	–
315/A	23,9	52	–
316	22,5	56	–
316/A	23,2	56	PMV
317	23,0	55	PMV
318	23,5	54	–
319	23,2	55	–
320	23,8	54	–
321	22,4	56	PMV
322	22,4	57	PMV
323	21,8	58	–
324	23,2	56	PMV
325	23,4	54	PMV
325/A	23,6	55	–
326	23,6	55	–
327	21,9	58	–
328	21,8	52	PMV
329	23,0	56	PMV
330	23,2	54	PMV

Légállapot mérési helyek: 32 db

Hőkomfort mérés: 14 szobában

M4. Melléklet – 3. emelet hőérzeti mérés adatai1996. január 17. 10:00-15:00, $t_k = -1,5 \dots -2^\circ\text{C}$

Szoba	Mérési hely	Ruházat I_{clo}	PMV	PPD
306	1	1,0	-0,12	5,8
	1	0,8	-0,70	17
	2	0,8	-1,10	31
	2	1,0	-0,31	7,7
308	3	1,0	-1,20	36
	3	0,8	-1,60	67
	4	1,0	-1,20	38
	4	0,8	-1,70	72
309	5	1,0	-1,20	35
	5	0,8	-1,70	69
	6	1,0	-1,11	34
	6	0,8	-1,70	71
310	7	1,0	-0,83	18
	7	0,8	-1,20	45
316/A	8	1,0	-0,39	8,5
	8	0,8	-0,41	9
	9	1,0	-0,65	16
	9	0,8	-0,39	9
317	10	1,0	-0,68	16
	10	0,8	-1,50	58
	11	1,0	-0,70	17
	11	0,8	-0,86	22
322	12	1,0	-0,85	22
	12	0,8	-1,20	37
321	13	1,0	-0,69	16
	13	0,8	-1,30	45
324	14	1,0	-0,49	10
	14	0,8	-0,97	26
325	15	1,0	-0,82	20
	15	0,8	-1,40	50
	16	1,0	-0,27	7,3
	16	0,8	-0,71	17
329	17	1,0	-0,40	9,1
	17	0,8	-0,92	24
328	18	1,0	-0,82	20
	18	0,8	-1,40	49
301-302	19	1,0	-0,40	8,8
	19	0,8	-0,98	26
	20	1,0	-0,64	14
	20	0,8	-1,10	33
	21	1,0	-0,43	9,7
	21	0,8	-1,00	29

Hőkomfort mérési helyek: 21 db (14 szobában)

M5. Melléklet – A levegőminőség laboratóriumi mérés eredményei

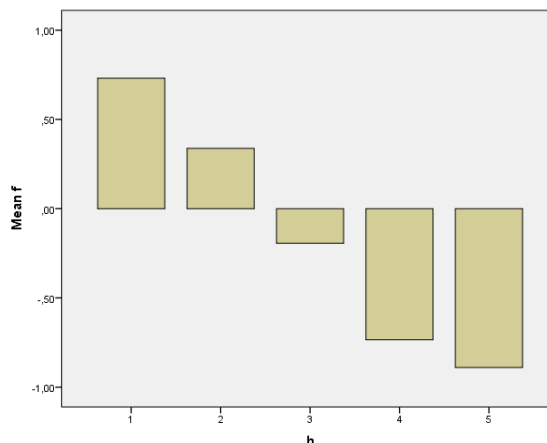
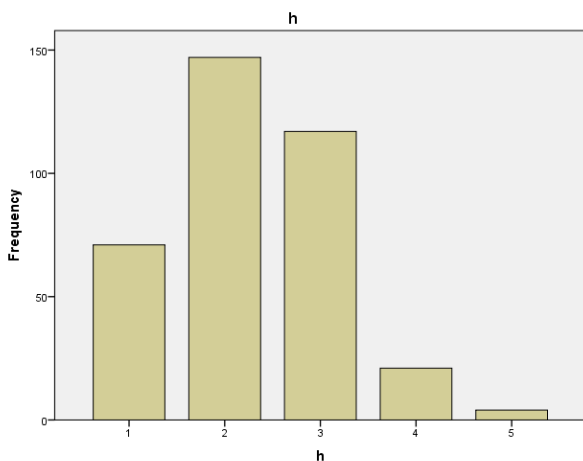
Sor-szám	Dátum	Azonosító	F ₁	H ₁	F ₂	H ₂	F ₃	H ₃	F ₄	H ₄	F ₅	H ₅	F ₆	H ₆	F ₇	H ₇	F ₈	H ₈
1	2005.10.11	P.B.	0,33	3	0,15	3	0,44	2	0,52	2	0,70	2	0,30	3	0,07	3	0,37	3
2	2005.10.11	F.Zs.	0,19	2	0,22	2	0,15	2	1,00	1	-0,19	3	-0,78	3	-0,70	4	-0,33	3
3	2005.10.11	R.G.	0,04	2	-0,48	3	-0,85	4	0,52	3	0,26	2	0,33	3	0,78	2	0,26	3
4	2005.10.11	S.J.	-0,70	3	0,89	1	-0,85	5	-0,89	5	-0,89	5	-0,74	4	-0,63	4	-0,93	5
5	2005.10.11	V.Zs.	0,22	2	0,00	3	-0,22	3	0,07	3	0,26	2	0,81	1	0,96	1	0,85	2
6	2005.10.11	G.V.	-0,11	3	-0,33	3	0,15	2	-0,56	4	0,52	3	0,04	2	-0,37	3	0,15	2
7	2005.10.12	P.Zs.	0,59	1	0,33	2	0,44	2	0,19	2	0,89	1	0,56	2	0,41	2	0,81	1
8	2005.10.12	P.M.	0,33	2	0,30	2	0,11	2	0,19	1	0,00	3	-0,26	3	0,00	3	0,22	2
9	2005.10.12	V.Zs.	-0,22	3	-0,26	2	-0,63	3	-0,07	2	0,26	2	0,26	2	-0,37	3	-0,15	2
10	2005.10.12	P.G.	0,52	2	0,04	2	-0,30	3	-0,41	3	-0,52	3	-0,22	2	-0,67	4	-0,74	4
11	2005.10.18	V.T.	0,89	1	-0,70	4	0,00	2	0,19	2	0,19	2	0,70	1	0,81	1	0,74	1
12	2005.10.18	B.I.	-0,07	3	-0,81	4	-0,81	4	-0,81	4	-0,30	3	0,04	2	0,85	1	0,78	1
13	2005.10.18	H.G.	-0,48	3	-0,37	3	-0,11	3	-0,04	3	0,04	2	0,78	1	0,89	1	0,89	1
14	2005.10.18	N.N.	0,26	1	0,33	1	-0,30	3	0,26	1	0,19	1	0,30	1	0,26	1	0,22	1
15	2005.10.18	K.B.	0,56	2	0,30	2	0,48	2	0,15	3	0,89	2	0,89	2	1,00	1	0,93	2
16	2005.10.25	F.A.	0,30	2	-0,19	3	-0,26	3	-0,56	3	0,11	3	0,15	2	0,30	2	-0,74	3
17	2005.10.25	F.P.	-0,33	3	0,04	2	0,04	2	-0,04	3	0,11	2	0,04	2	0,26	2	-0,15	3
18	2005.10.25	L.E.	-0,30	3	0,15	2	0,33	2	0,44	2	0,81	1	0,19	2	-0,19	3	-0,52	4
19	2005.10.25	H.G.	0,26	2	-0,11	3	-0,30	3	-0,30	3	0,52	2	0,22	2	0,78	2	-0,81	4
20	2005.10.25	H.G.	-0,59	3	0,11	2	-0,15	2	0,81	1	0,37	2	-0,70	3	-0,11	2	-0,37	3
21	2005.10.19	Z.J.	-1,00	3	0,07	2	-0,19	3	1,00	1	0,70	1	0,00	1	0,00	1	0,00	3
22	2005.10.19	B.Cs.	0,22	2	-0,11	2	-0,33	3	0,26	2	0,26	2	0,52	2	0,74	2	0,89	2
23	2005.10.19	K.P.	0,00	3	0,33	2	0,37	2	0,70	2	0,89	2	0,78	2	0,74	2	0,81	2
24	2005.10.19	K.Á.	0,04	2	0,26	3	-0,37	3	0,85	1	0,89	1	0,85	1	0,15	2	0,70	1
25	2005.10.19	J.Z.	0,15	3	0,52	2	0,33	2	0,74	2	0,04	3	1,00	1	0,74	2	0,00	3
26	2005.10.26	B.P.	-0,22	3	0,48	2	-0,19	3	0,19	2	0,15	2	-0,52	3	-0,26	3	0,37	2
27	2005.10.26	G.B.	0,33	3	0,04	3	-0,11	2	-0,22	3	-0,22	3	0,04	2	0,04	2	-0,22	3
28	2005.10.26	G.Z.	-0,19	3	-0,59	3	0,19	2	0,00	2	0,44	1	-0,85	4	0,26	1	-0,19	3
29	2005.10.26	T.D.	-0,33	3	-0,04	3	-0,19	3	0,04	2	-0,48	4	0,56	1	0,04	2	-0,22	3
30	2005.10.26	R.Z.	-0,33	3	-0,19	3	0,04	2	-0,44	3	0,00	1	0,74	2	-0,56	4	-0,89	4

Sor-szám	Dátum	Azonosító	F_1	H_1	F_2	H_2	F_3	H_3	F_4	H_4	F_5	H_5	F_6	H_6	F_7	H_7	F_8	H_8
31	2005.10.26	L.Z.	-0,19	3	-0,15	3	0,00	2	0,00	2	-0,19	3	0,22	2	0,04	2	-0,26	3
32	2005.10.26	K.M.	0,56	1	0,30	2	0,26	2	0,00	3	0,04	2	0,37	1	-0,11	3	-0,11	3
33	2005.11.02	H.G.	0,74	1	0,96	1	-0,19	3	0,67	2	0,59	2	0,85	1	0,93	1	0,22	2
34	2005.11.02	B.N.	0,44	2	0,11	3	-0,19	3	-0,63	4	0,41	2	0,85	2	0,89	2	1,00	1
35	2005.11.02	L.I.	0,19	2	0,26	2	-0,07	3	1,00	1	0,00	2	1,00	1	0,48	2	-0,15	3
36	2005.11.02	Sz.Zs.	0,48	2	-0,15	3	0,81	2	-0,26	3	0,70	2	0,00	3	1,00	1	0,00	3
37	2005.11.02	M.L.	0,48	2	0,37	2	0,96	2	1,00	1	1,00	1	1,00	1	1,00	1	0,81	1
38	2005.11.02	K.J.	0,22	1	0,15	2	0,56	2	0,74	1	1,00	2	1,00	1	1,00	1	0,52	2
39	2005.11.08	G.V.	-0,15	3	-0,93	4	-1,00	4	0,44	3	1,00	1	0,96	1	0,63	2	-0,11	3
40	2005.11.08	V.L.	0,41	2	-0,30	3	-0,52	3	-0,59	3	-0,22	3	0,00	3	-0,19	3	0,00	2
41	2005.11.08	M.Gy.	0,00	2	-0,19	3	-0,37	3	-0,74	4	0,30	2	0,41	1	0,96	1	1,00	1
42	2005.11.08	T.F.	0,33	2	-0,52	3	-0,74	3	-0,89	3	-0,78	3	0,07	2	0,07	2	0,56	2
43	2005.11.08	U.Á.	0,37	2	0,67	1	0,30	2	-0,22	3	0,41	2	0,41	2	0,19	2	0,52	2
44	2005.11.08	Sz.P.	0,15	3	-0,19	3	0,11	3	0,78	2	0,22	2	1,00	1	0,85	1	0,93	1
45	2005.11.08	Sz.L.	0,96	1	0,33	2	0,07	2	0,59	2	0,89	2	1,00	2	1,00	1	0,85	1

M6. Melléklet – Statisztikai kiértékelések (IBM SPSS Statistics eredménylapok)

Report

h	Mean	Std. Deviation	N
1	,7314	,29930	71
2	,3377	,29330	147
3	-,1937	,28727	117
4	-,7348	,13830	21
5	-,8900	,03266	4
Total	,1664	,50748	360



Statistics

		h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8
N	Valid	45	45	45	45	45	45	45	45
	Missing	0	0	0	0	0	0	0	0
Mode		3	2 ^a	2	3	2	2	2	3

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

h1

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	kellemes	7	15,6	15,6	15,6
	semleges	18	40,0	40,0	55,6
	kellemetlen	20	44,4	44,4	100,0
	Total	45	100,0	100,0	

h2

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	kellemes	4	8,9	8,9	8,9
	semleges	19	42,2	42,2	51,1
	kellemetlen	19	42,2	42,2	93,3
	nagyon kellemetlen	3	6,7	6,7	100,0
	Total	45	100,0	100,0	

h3

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	semleges	22	48,9	48,9	48,9
	kellemetlen	19	42,2	42,2	91,1
	nagyon kellemetlen	3	6,7	6,7	97,8
	elviselhetetlen	1	2,2	2,2	100,0
	Total	45	100,0	100,0	

h4

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	kellemes	9	20,0	20,0	20,0
	semleges	15	33,3	33,3	53,3
	kellemetlen	16	35,6	35,6	88,9
	nagyon kellemetlen	4	8,9	8,9	97,8
	elviselhetetlen	1	2,2	2,2	100,0
	Total	45	100,0	100,0	

h5

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	kellemes	9	20,0	20,0	20,0
	semleges	23	51,1	51,1	71,1
	kellemetlen	11	24,4	24,4	95,6
	nagyon kellemetlen	1	2,2	2,2	97,8
	elviselhetetlen	1	2,2	2,2	100,0
	Total	45	100,0	100,0	

h6

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid kellemes	16	35,6	35,6	35,6
semleges	19	42,2	42,2	77,8
kellemetlen	8	17,8	17,8	95,6
nagyon kellemetlen	2	4,4	4,4	100,0
Total	45	100,0	100,0	

h7

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid kellemes	15	33,3	33,3	33,3
semleges	18	40,0	40,0	73,3
kellemetlen	8	17,8	17,8	91,1
nagyon kellemetlen	4	8,9	8,9	100,0
Total	45	100,0	100,0	

h8

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid kellemes	11	24,4	24,4	24,4
semleges	13	28,9	28,9	53,3
kellemetlen	16	35,6	35,6	88,9
nagyon kellemetlen	4	8,9	8,9	97,8
elviselhetetlen	1	2,2	2,2	100,0
Total	45	100,0	100,0	

h

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid 1	71	19,7	19,7	19,7
2	147	40,8	40,8	60,6
3	117	32,5	32,5	93,1
4	21	5,8	5,8	98,9
5	4	1,1	1,1	100,0
Total	360	100,0	100,0	

Feltételes eloszlások vizsgálata

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test^a

		f
N		71
Normal Parameters ^{b,c}	Mean	,7314
	Std. Deviation	,29930
Most Extreme Differences	Absolute	,209
	Positive	,185
	Negative	-,209
Test Statistic		,209
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000 ^d
Exact Sig. (2-tailed)		,003
Point Probability		,000

a. h = 1

b. Test distribution is Normal.

c. Calculated from data.

d. Lilliefors Significance Correction.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test^a

		f
N		147
Normal Parameters ^{b,c}	Mean	,3377
	Std. Deviation	,29330
Most Extreme Differences	Absolute	,102
	Positive	,102
	Negative	-,071
Test Statistic		,102
Asymp. Sig. (2-tailed)		,001 ^d
Exact Sig. (2-tailed)		,086
Point Probability		,000

a. h = 2

b. Test distribution is Normal.

c. Calculated from data.

d. Lilliefors Significance Correction.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test^a

		f
N		117
Normal Parameters ^{b,c}	Mean	-,1937
	Std. Deviation	,28727
Most Extreme Differences	Absolute	,093
	Positive	,093
	Negative	-,090
Test Statistic		,093
Asymp. Sig. (2-tailed)		,014 ^d
Exact Sig. (2-tailed)		,246
Point Probability		,000

a. h = 3

b. Test distribution is Normal.

c. Calculated from data.

d. Lilliefors Significance Correction.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test^a

		f
N		21
Normal Parameters ^{b,c}	Mean	-,7348
	Std. Deviation	,13830
Most Extreme Differences	Absolute	,135
	Positive	,135
	Negative	-,087
Test Statistic		,135
Asymp. Sig. (2-tailed)		,200 ^{d,e}
Exact Sig. (2-tailed)		,788
Point Probability		,000

a. h = 4

b. Test distribution is Normal.

c. Calculated from data.

d. Lilliefors Significance Correction.

e. This is a lower bound of the true significance.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test^a

		f
N		4
Normal Parameters ^{b,c}	Mean	-,8900
	Std. Deviation	,03266
Most Extreme Differences	Absolute	,250
	Positive	,250
	Negative	-,250
Test Statistic		,250
Asymp. Sig. (2-tailed)		. ^{d,e}
Exact Sig. (2-tailed)		,906
Point Probability		,000

a. h = 5

b. Test distribution is Normal.

c. Calculated from data.

d. Lilliefors Significance Correction.

e. Significance can not be computed because sum of case weights is less than 5.

Gyakoriság táblázatok

f^a

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	,00	3	4,2	4,2	4,2
	,19	2	2,8	2,8	7,0
	,22	2	2,8	2,8	9,9
	,26	4	5,6	5,6	15,5
	,30	1	1,4	1,4	16,9
	,33	1	1,4	1,4	18,3
	,37	1	1,4	1,4	19,7
	,41	1	1,4	1,4	21,1
	,44	1	1,4	1,4	22,5
	,56	2	2,8	2,8	25,4
	,59	1	1,4	1,4	26,8
	,67	1	1,4	1,4	28,2
	,70	3	4,2	4,2	32,4
	,74	3	4,2	4,2	36,6
	,78	2	2,8	2,8	39,4
	,81	6	8,5	8,5	47,9
	,85	6	8,5	8,5	56,3
	,89	6	8,5	8,5	64,8
	,93	2	2,8	2,8	67,6
	,96	5	7,0	7,0	74,6
	1,00	18	25,4	25,4	100,0
Total		71	100,0	100,0	

a. h = 1

f^a

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	-,26	1	,7	,7	,7
	-,22	1	,7	,7	1,4
	-,15	2	1,4	1,4	2,7
	-,11	3	2,0	2,0	4,8
	-,07	1	,7	,7	5,4
	,00	7	4,8	4,8	10,2
	,04	16	10,9	10,9	21,1
	,07	4	2,7	2,7	23,8
	,11	3	2,0	2,0	25,9
	,15	8	5,4	5,4	31,3
	,19	9	6,1	6,1	37,4
	,22	8	5,4	5,4	42,9
	,26	10	6,8	6,8	49,7
	,30	7	4,8	4,8	54,4
	,33	7	4,8	4,8	59,2
	,37	5	3,4	3,4	62,6
	,41	5	3,4	3,4	66,0
	,44	4	2,7	2,7	68,7
	,48	5	3,4	3,4	72,1
	,52	7	4,8	4,8	76,9
	,56	4	2,7	2,7	79,6
	,59	2	1,4	1,4	81,0
	,63	1	,7	,7	81,6
	,67	1	,7	,7	82,3
	,70	3	2,0	2,0	84,4
	,74	5	3,4	3,4	87,8
	,78	4	2,7	2,7	90,5
	,81	2	1,4	1,4	91,8
	,85	2	1,4	1,4	93,2
	,89	6	4,1	4,1	97,3
	,93	1	,7	,7	98,0
	,96	1	,7	,7	98,6
	1,00	2	1,4	1,4	100,0
	Total	147	100,0	100,0	

a. h = 2

f^a

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	-1,00	1	,9	,9	,9
	-,89	1	,9	,9	1,7
	-,78	2	1,7	1,7	3,4
	-,74	2	1,7	1,7	5,1
	-,70	2	1,7	1,7	6,8
	-,63	1	,9	,9	7,7
	-,59	3	2,6	2,6	10,3
	-,56	1	,9	,9	11,1
	-,52	4	3,4	3,4	14,5
	-,48	2	1,7	1,7	16,2
	-,44	1	,9	,9	17,1
	-,41	1	,9	,9	17,9
	-,37	6	5,1	5,1	23,1
	-,33	6	5,1	5,1	28,2
	-,30	7	6,0	6,0	34,2
	-,26	5	4,3	4,3	38,5
	-,22	9	7,7	7,7	46,2
	-,19	16	13,7	13,7	59,8
	-,15	5	4,3	4,3	64,1
	-,11	6	5,1	5,1	69,2
	-,07	2	1,7	1,7	70,9
	-,04	3	2,6	2,6	73,5
	,00	10	8,5	8,5	82,1
	,04	2	1,7	1,7	83,8
	,07	2	1,7	1,7	85,5
	,11	3	2,6	2,6	88,0
	,15	4	3,4	3,4	91,5
	,26	2	1,7	1,7	93,2
	,30	1	,9	,9	94,0
	,33	3	2,6	2,6	96,6
	,37	1	,9	,9	97,4
	,44	1	,9	,9	98,3
	,52	2	1,7	1,7	100,0
	Total	117	100,0	100,0	

a. h = 3

f^a

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	-1,00	1	4,8	4,8	4,8
	-,93	1	4,8	4,8	9,5
	-,89	1	4,8	4,8	14,3
	-,85	2	9,5	9,5	23,8
	-,81	4	19,0	19,0	42,9
	-,74	3	14,3	14,3	57,1
	-,70	2	9,5	9,5	66,7
	-,67	1	4,8	4,8	71,4
	-,63	2	9,5	9,5	81,0
	-,56	2	9,5	9,5	90,5
	-,52	1	4,8	4,8	95,2
	-,48	1	4,8	4,8	100,0
	Total	21	100,0	100,0	

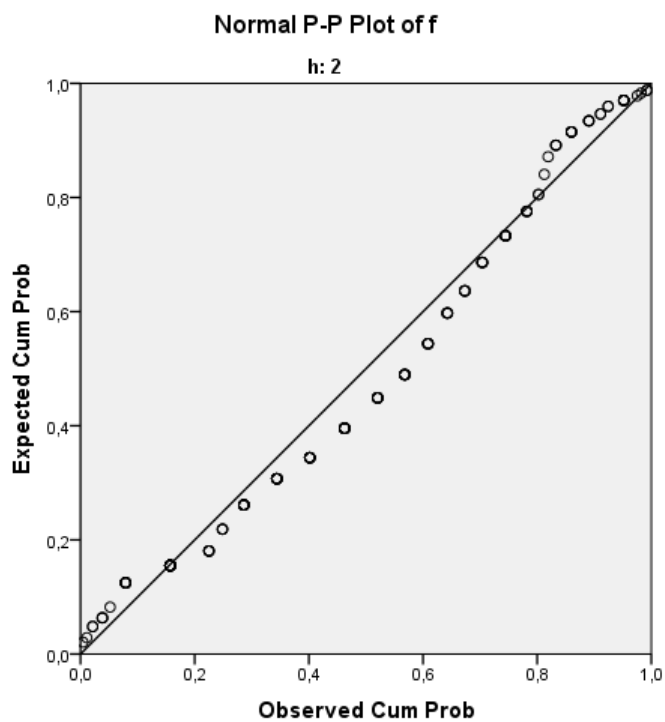
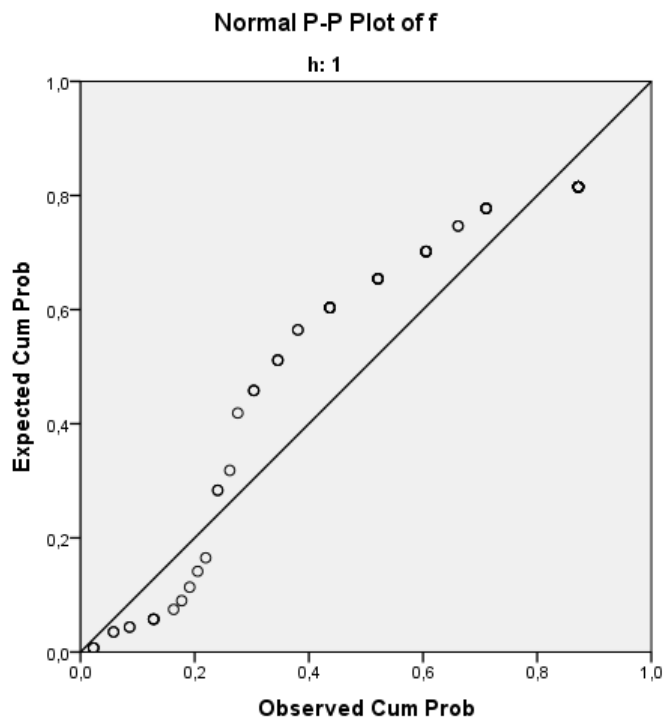
a. h = 4

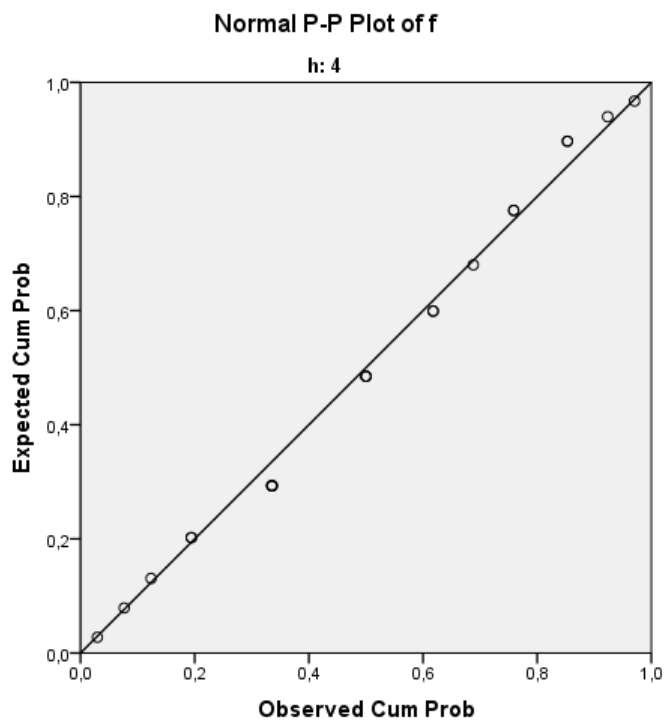
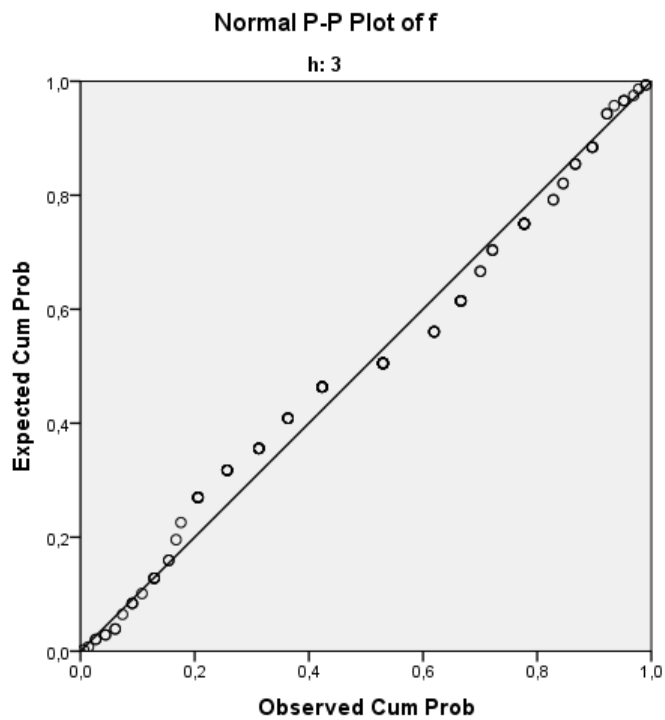
f^a

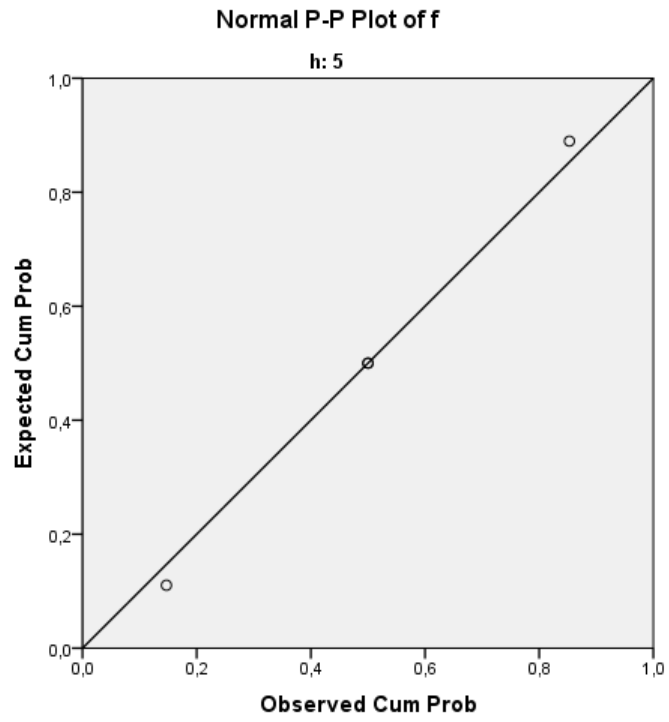
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	-,93	1	25,0	25,0	25,0
	-,89	2	50,0	50,0	75,0
	-,85	1	25,0	25,0	100,0
	Total	4	100,0	100,0	

a. h = 5

P-P grafikonok







H és F közötti korreláció erejének számítása

		f1	h1
f1	Pearson Correlation	1	-,761**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	45	45
h1	Pearson Correlation	-,761**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	45	45

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

			f1	h1
Kendall's tau_b	f1	Correlation Coefficient	1,000	-,666**
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	45	45
	h1	Correlation Coefficient	-,666**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	45	45
Spearman's rho	f1	Correlation Coefficient	1,000	-,788**
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	45	45
	h1	Correlation Coefficient	-,788**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	45	45

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Correlations

		f2	h2
f2	Pearson Correlation	1	-,850**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	45	45
h2	Pearson Correlation	-,850**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	45	45

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Correlations

			f2	h2
Kendall's tau_b	f2	Correlation Coefficient	1,000	-,709**
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	45	45
	h2	Correlation Coefficient	-,709**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	45	45
Spearman's rho	f2	Correlation Coefficient	1,000	-,816**
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	45	45
	h2	Correlation Coefficient	-,816**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	45	45

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Correlations

		f3	h3
f3	Pearson Correlation	1	-,829**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	45	45
h3	Pearson Correlation	-,829**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	45	45

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Correlations

			f3	h3
Kendall's tau_b	f3	Correlation Coefficient	1,000	-,744**
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	45	45
	h3	Correlation Coefficient	-,744**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	45	45
Spearman's rho	f3	Correlation Coefficient	1,000	-,866**
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	45	45
	h3	Correlation Coefficient	-,866**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	45	45

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Correlations

		f4	h4
f4	Pearson Correlation	1	-,829**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	45	45
h4	Pearson Correlation	-,829**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	45	45

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Correlations

			f4	h4
Kendall's tau_b	f4	Correlation Coefficient	1,000	-,725**
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	45	45
	h4	Correlation Coefficient	-,725**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	45	45
Spearman's rho	f4	Correlation Coefficient	1,000	-,836**
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	45	45
	h4	Correlation Coefficient	-,836**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	45	45

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Correlations

		f5	h5
f5	Pearson Correlation	1	-,740**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	45	45
h5	Pearson Correlation	-,740**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	45	45

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Correlations

			f5	h5
Kendall's tau_b	f5	Correlation Coefficient	1,000	-,588**
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	45	45
	h5	Correlation Coefficient	-,588**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	45	45
Spearman's rho	f5	Correlation Coefficient	1,000	-,695**
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	45	45
	h5	Correlation Coefficient	-,695**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	45	45

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Correlations

		f6	h6
f6	Pearson Correlation	1	-,762**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	45	45
h6	Pearson Correlation	-,762**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	45	45

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Correlations

			f6	h6
Kendall's tau_b	f6	Correlation Coefficient	1,000	-,595**
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	45	45
	h6	Correlation Coefficient	-,595**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	45	45
Spearman's rho	f6	Correlation Coefficient	1,000	-,705**
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	45	45
	h6	Correlation Coefficient	-,705**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	45	45

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Correlations

		f7	h7
f7	Pearson Correlation	1	-,844**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	45	45
h7	Pearson Correlation	-,844**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	45	45

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Correlations

			f7	h7
Kendall's tau_b	f7	Correlation Coefficient	1,000	-,732**
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	45	45
	h7	Correlation Coefficient	-,732**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	45	45
Spearman's rho	f7	Correlation Coefficient	1,000	-,834**
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	45	45
	h7	Correlation Coefficient	-,834**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	45	45

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Correlations

		f8	h8
f8	Pearson Correlation	1	-,880**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	45	45
h8	Pearson Correlation	-,880**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	45	45

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Correlations

			f8	h8
Kendall's tau_b	f8	Correlation Coefficient	1,000	-,741**
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	45	45
	h8	Correlation Coefficient	-,741**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	45	45
Spearman's rho	f8	Correlation Coefficient	1,000	-,859**
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	45	45
	h8	Correlation Coefficient	-,859**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	45	45

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

NN osztályozás

h * Predicted Value for h Crosstabulation

Count		Predicted Value for h					Total
		1	2	3	4	5	
h	1	54	14	3	0	0	71
	2	35	77	35	0	0	147
	3	0	18	80	17	2	117
	4	0	0	0	15	6	21
	5	0	0	0	1	3	4
Total		89	109	118	33	11	360

h1 * Predicted Value for h1 Crosstabulation

Count		Predicted Value for h1			Total
		kellemes	semleges	kellemetlen	
h1	kellemes	3	4	0	7
	semleges	0	16	2	18
	kellemetlen	0	6	14	20
Total		3	26	16	45

h2 * Predicted Value for h2 Crosstabulation

Count		Predicted Value for h2				Total
		kellemes	semleges	kellemetlen	nagyon kellemetlen	
h2	kellemes	2	2	0	0	4
	semleges	0	16	3	0	19
	kellemetlen	0	4	15	0	19
	nagyon kellemetlen	0	0	1	2	3
Total		2	22	19	2	45

h3 ^ Predicted Value for h3 Crosstabulation

Count

		Predicted Value for h3			Total
		semleges	kellemetlen	nagyon kellemetlen	
h3	semleges	20	2	0	22
	kellemetlen	3	15	1	19
	nagyon kellemetlen	0	2	1	3
	elviselhetetlen	0	0	1	1
Total		23	19	3	45

h4 ^ Predicted Value for h4 Crosstabulation

Count

		Predicted Value for h4				Total
		kellemes	semleges	kellemetlen	nagyon kellemetlen	
h4	kellemes	4	5	0	0	9
	semleges	1	12	2	0	15
	kellemetlen	0	5	8	3	16
	nagyon kellemetlen	0	0	3	1	4
	elviselhetetlen	0	0	0	1	1
Total		5	22	13	5	45

h5 ^ Predicted Value for h5 Crosstabulation

Count

		Predicted Value for h5			Total
		kellemes	semleges	kellemetlen	
h5	kellemes	2	7	0	9
	semleges	4	17	2	23
	kellemetlen	0	4	7	11
	nagyon kellemetlen	0	0	1	1
	elviselhetetlen	0	0	1	1
Total		6	28	11	45

h6 ^ Predicted Value for h6 Crosstabulation

Count

		Predicted Value for h6				Total
		kellemes	semleges	kellemetlen	nagyon kellemetlen	
h6	kellemes	8	6	2	0	16
	semleges	8	10	1	0	19
	kellemetlen	1	3	2	2	8
	nagyon kellemetlen	0	0	2	0	2
Total		17	19	7	2	45

h7 ^ Predicted Value for h7 Crosstabulation

Count

		Predicted Value for h7				Total
		kellemes	semleges	kellemetlen	nagyon kellemetlen	
h7	kellemes	11	4	0	0	15
	semleges	3	14	1	0	18
	kellemetlen	0	2	6	0	8
	nagyon kellemetlen	0	0	0	4	4
Total		14	20	7	4	45

h8 ^ Predicted Value for h8 Crosstabulation

Count

		Predicted Value for h8				Total
		kellemes	semleges	kellemetlen	nagyon kellemetlen	
h8	kellemes	7	4	0	0	11
	semleges	4	4	5	0	13
	kellemetlen	0	2	13	1	16
	nagyon kellemetlen	0	0	2	2	4
	elviselhetetlen	0	0	0	1	1
Total		11	10	20	4	45

F változó normalitásvizsgálata**One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test**

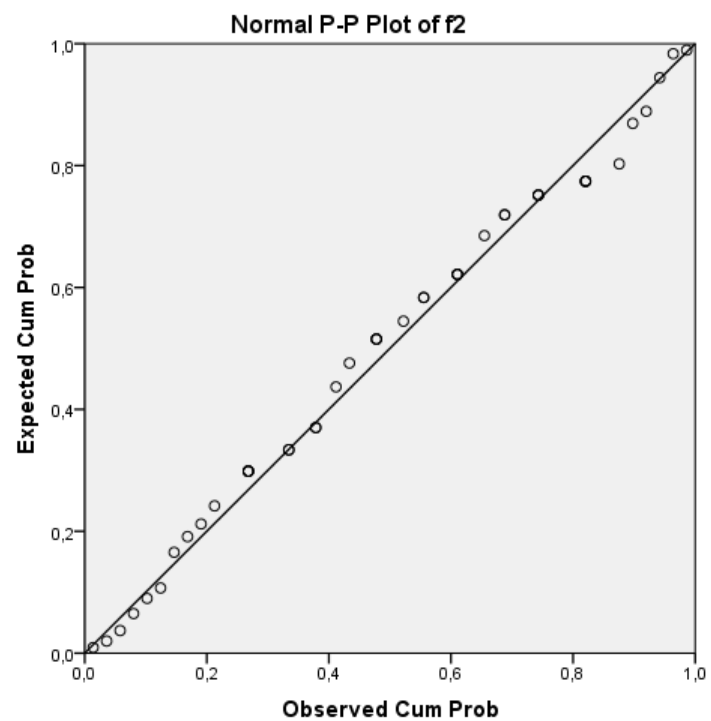
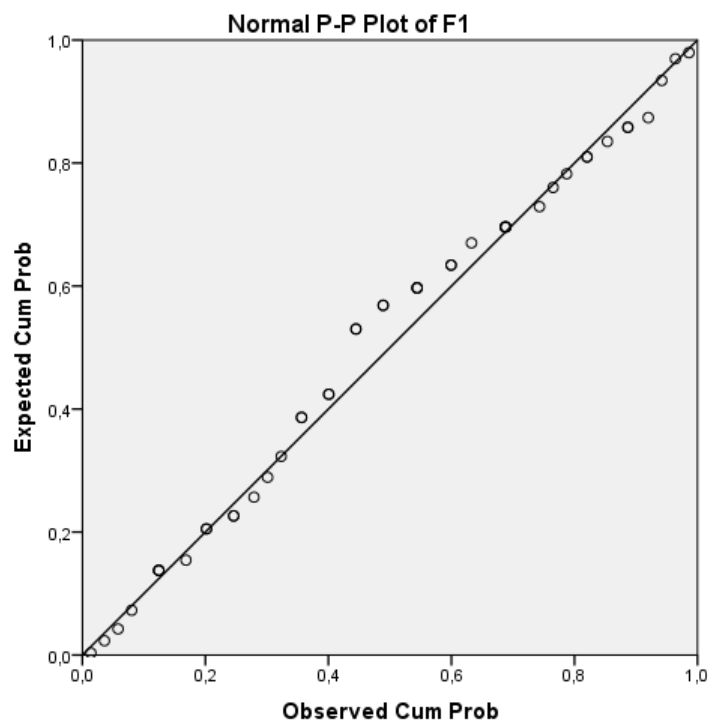
		f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f8
N		45	45	45	45	45	45	45	45
Normal	Mean	,1189	,0244	-,0689	,1260	,2724	,3371	,3324	,1891
Parameters ^{a,b}	Std. Deviation	,41150	,40571	,43269	,55750	,47661	,52929	,53360	,57097
Most Extreme Differences	Absolute	,108	,092	,088	,080	,084	,110	,178	,126
	Positive	,059	,092	,055	,069	,066	,105	,105	,096
	Negative	-,108	-,076	-,088	-,080	-,084	-,110	-,178	-,126
Test Statistic		,108	,092	,088	,080	,084	,110	,178	,126
Asymp. Sig. (2-tailed)		,200 ^{c,d}	,200 ^{c,d}	,200 ^{c,d}	,200 ^{c,d}	,200 ^{c,d}	,200 ^{c,d}	,001 ^c	,072 ^c
Exact Sig. (2-tailed)		,632	,804	,850	,915	,884	,608	,104	,440
Point Probability		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000

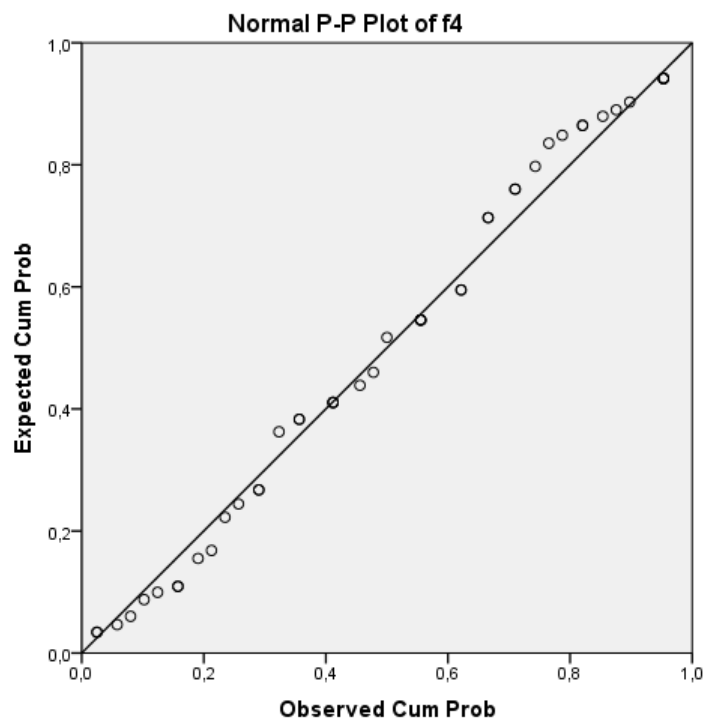
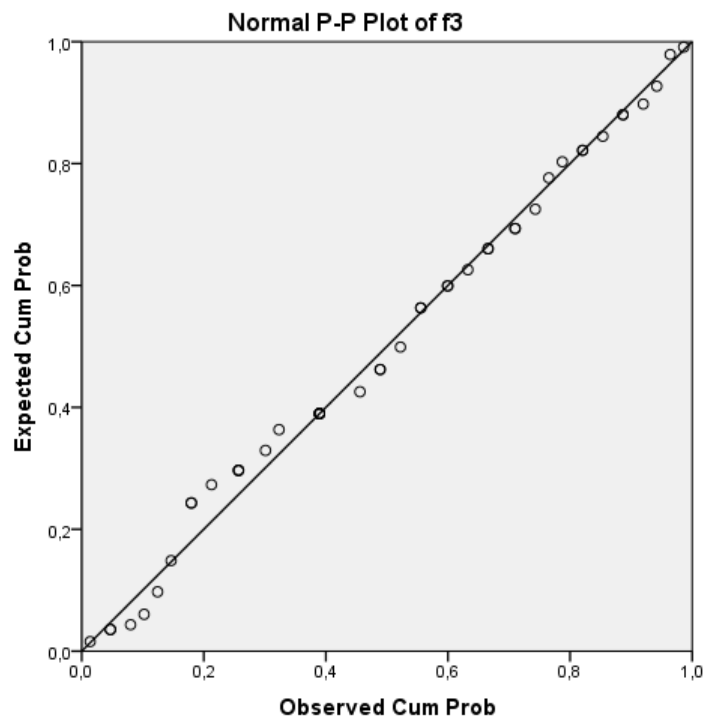
a. Test distribution is Normal.

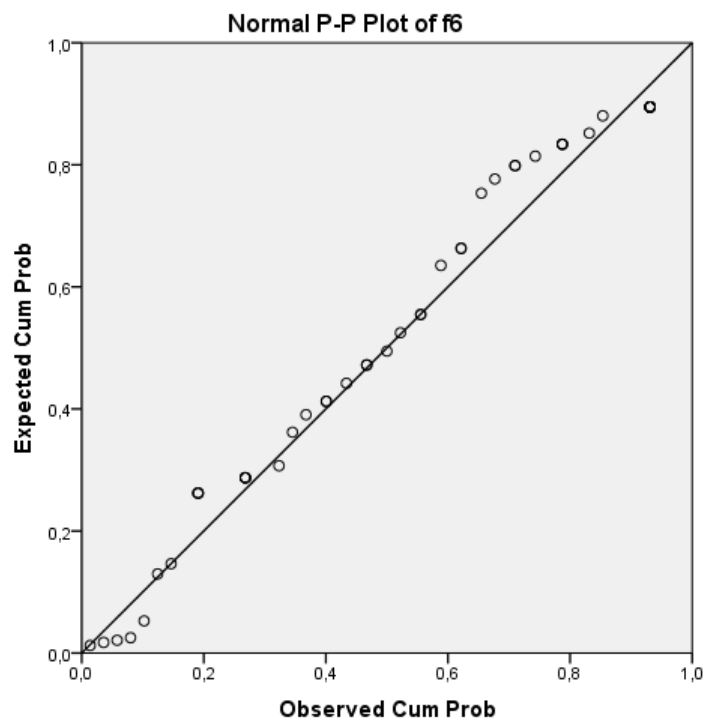
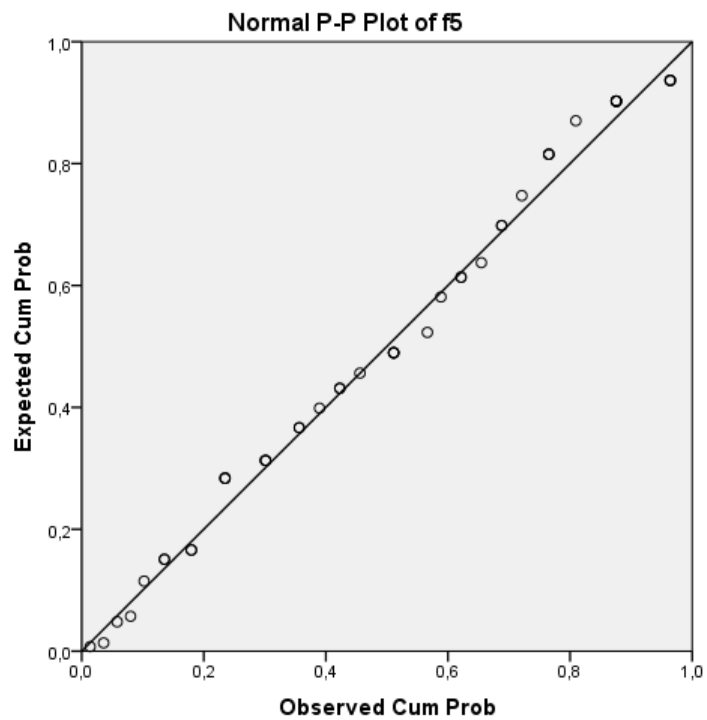
b. Calculated from data.

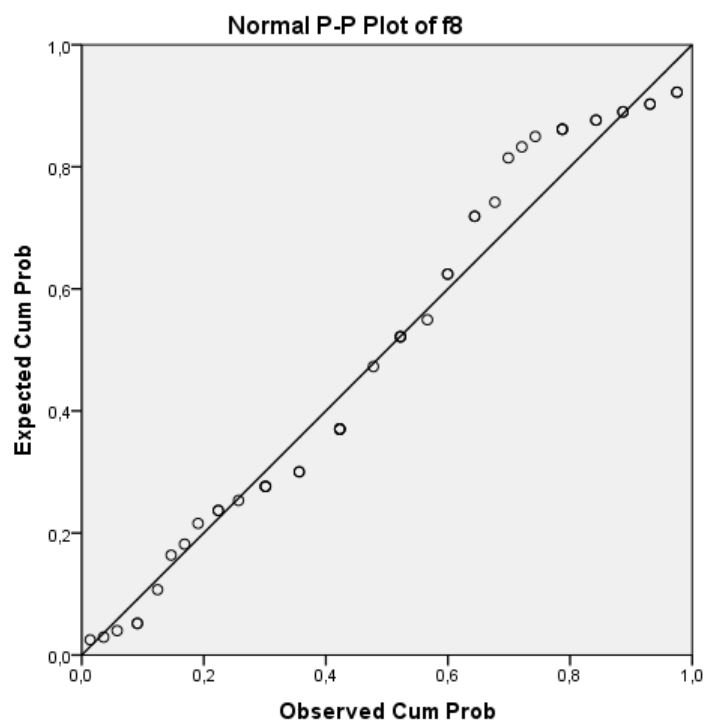
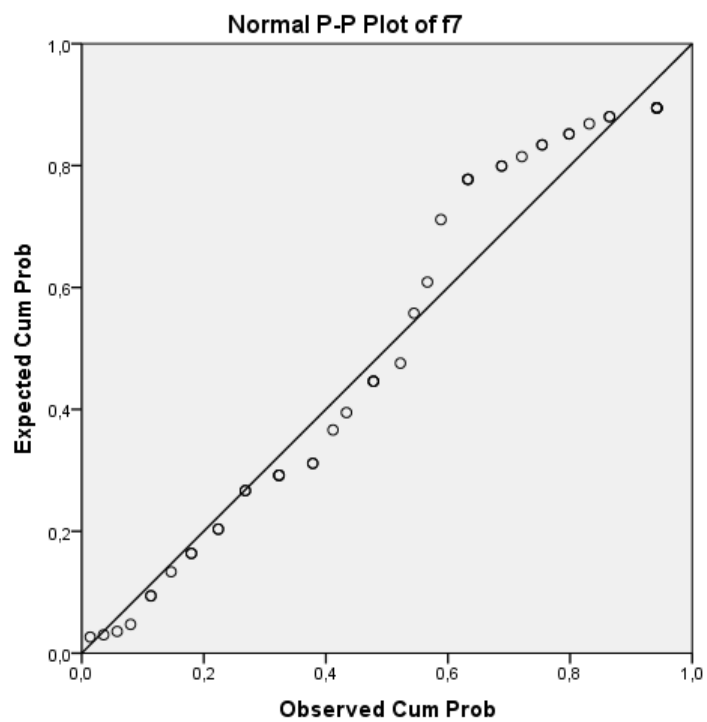
c. Lilliefors Significance Correction.

d. This is a lower bound of the true significance.









f1

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	-1,00	1	2,2	2,2	2,2
	-,70	1	2,2	2,2	4,4
	-,59	1	2,2	2,2	6,7
	-,48	1	2,2	2,2	8,9
	-,33	3	6,7	6,7	15,6
	-,30	1	2,2	2,2	17,8
	-,22	2	4,4	4,4	22,2
	-,19	2	4,4	4,4	26,7
	-,15	1	2,2	2,2	28,9
	-,11	1	2,2	2,2	31,1
	-,07	1	2,2	2,2	33,3
	,00	2	4,4	4,4	37,8
	,04	2	4,4	4,4	42,2
	,15	2	4,4	4,4	46,7
	,19	2	4,4	4,4	51,1
	,22	3	6,7	6,7	57,8
	,26	2	4,4	4,4	62,2
	,30	1	2,2	2,2	64,4
	,33	4	8,9	8,9	73,3
	,37	1	2,2	2,2	75,6
	,41	1	2,2	2,2	77,8
	,44	1	2,2	2,2	80,0
	,48	2	4,4	4,4	84,4
	,52	1	2,2	2,2	86,7
	,56	2	4,4	4,4	91,1
	,59	1	2,2	2,2	93,3
	,74	1	2,2	2,2	95,6
	,89	1	2,2	2,2	97,8
	,96	1	2,2	2,2	100,0
	Total	45	100,0	100,0	

f2

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	-,93	1	2,2	2,2	2,2
	-,81	1	2,2	2,2	4,4
	-,70	1	2,2	2,2	6,7
	-,59	1	2,2	2,2	8,9
	-,52	1	2,2	2,2	11,1
	-,48	1	2,2	2,2	13,3
	-,37	1	2,2	2,2	15,6
	-,33	1	2,2	2,2	17,8
	-,30	1	2,2	2,2	20,0
	-,26	1	2,2	2,2	22,2
	-,19	4	8,9	8,9	31,1
	-,15	2	4,4	4,4	35,6
	-,11	2	4,4	4,4	40,0
	-,04	1	2,2	2,2	42,2
	,00	1	2,2	2,2	44,4
	,04	3	6,7	6,7	51,1
	,07	1	2,2	2,2	53,3
	,11	2	4,4	4,4	57,8
	,15	3	6,7	6,7	64,4
	,22	1	2,2	2,2	66,7
	,26	2	4,4	4,4	71,1
	,30	3	6,7	6,7	77,8
	,33	4	8,9	8,9	86,7
	,37	1	2,2	2,2	88,9
	,48	1	2,2	2,2	91,1
	,52	1	2,2	2,2	93,3
	,67	1	2,2	2,2	95,6
	,89	1	2,2	2,2	97,8
	,96	1	2,2	2,2	100,0
	Total	45	100,0	100,0	

f3

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	-1,00	1	2,2	2,2	2,2
	-,85	2	4,4	4,4	6,7
	-,81	1	2,2	2,2	8,9
	-,74	1	2,2	2,2	11,1
	-,63	1	2,2	2,2	13,3
	-,52	1	2,2	2,2	15,6
	-,37	2	4,4	4,4	20,0
	-,33	1	2,2	2,2	22,2
	-,30	3	6,7	6,7	28,9
	-,26	1	2,2	2,2	31,1
	-,22	1	2,2	2,2	33,3
	-,19	5	11,1	11,1	44,4
	-,15	1	2,2	2,2	46,7
	-,11	2	4,4	4,4	51,1
	-,07	1	2,2	2,2	53,3
	,00	2	4,4	4,4	57,8
	,04	2	4,4	4,4	62,2
	,07	1	2,2	2,2	64,4
	,11	2	4,4	4,4	68,9
	,15	2	4,4	4,4	73,3
	,19	1	2,2	2,2	75,6
	,26	1	2,2	2,2	77,8
	,30	1	2,2	2,2	80,0
	,33	2	4,4	4,4	84,4
	,37	1	2,2	2,2	86,7
	,44	2	4,4	4,4	91,1
	,48	1	2,2	2,2	93,3
	,56	1	2,2	2,2	95,6
	,81	1	2,2	2,2	97,8
	,96	1	2,2	2,2	100,0
	Total	45	100,0	100,0	

f4

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	-,89	2	4,4	4,4	4,4
	-,81	1	2,2	2,2	6,7
	-,74	1	2,2	2,2	8,9
	-,63	1	2,2	2,2	11,1
	-,59	1	2,2	2,2	13,3
	-,56	2	4,4	4,4	17,8
	-,44	1	2,2	2,2	20,0
	-,41	1	2,2	2,2	22,2
	-,30	1	2,2	2,2	24,4
	-,26	1	2,2	2,2	26,7
	-,22	2	4,4	4,4	31,1
	-,07	1	2,2	2,2	33,3
	-,04	2	4,4	4,4	37,8
	,00	3	6,7	6,7	44,4
	,04	1	2,2	2,2	46,7
	,07	1	2,2	2,2	48,9
	,15	1	2,2	2,2	51,1
	,19	4	8,9	8,9	60,0
	,26	2	4,4	4,4	64,4
	,44	2	4,4	4,4	68,9
	,52	2	4,4	4,4	73,3
	,59	1	2,2	2,2	75,6
	,67	1	2,2	2,2	77,8
	,70	1	2,2	2,2	80,0
	,74	2	4,4	4,4	84,4
	,78	1	2,2	2,2	86,7
	,81	1	2,2	2,2	88,9
	,85	1	2,2	2,2	91,1
	1,00	4	8,9	8,9	100,0
Total		45	100,0	100,0	

f5

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	-,89	1	2,2	2,2	2,2
	-,78	1	2,2	2,2	4,4
	-,52	1	2,2	2,2	6,7
	-,48	1	2,2	2,2	8,9
	-,30	1	2,2	2,2	11,1
	-,22	2	4,4	4,4	15,6
	-,19	2	4,4	4,4	20,0
	,00	3	6,7	6,7	26,7
	,04	3	6,7	6,7	33,3
	,11	2	4,4	4,4	37,8
	,15	1	2,2	2,2	40,0
	,19	2	4,4	4,4	44,4
	,22	1	2,2	2,2	46,7
	,26	4	8,9	8,9	55,6
	,30	1	2,2	2,2	57,8
	,37	1	2,2	2,2	60,0
	,41	2	4,4	4,4	64,4
	,44	1	2,2	2,2	66,7
	,52	2	4,4	4,4	71,1
	,59	1	2,2	2,2	73,3
	,70	3	6,7	6,7	80,0
	,81	1	2,2	2,2	82,2
	,89	5	11,1	11,1	93,3
	1,00	3	6,7	6,7	100,0
Total		45	100,0	100,0	

f6

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	-,85	1	2,2	2,2	2,2
	-,78	1	2,2	2,2	4,4
	-,74	1	2,2	2,2	6,7
	-,70	1	2,2	2,2	8,9
	-,52	1	2,2	2,2	11,1
	-,26	1	2,2	2,2	13,3
	-,22	1	2,2	2,2	15,6
	,00	3	6,7	6,7	22,2
	,04	4	8,9	8,9	31,1
	,07	1	2,2	2,2	33,3
	,15	1	2,2	2,2	35,6
	,19	1	2,2	2,2	37,8
	,22	2	4,4	4,4	42,2
	,26	1	2,2	2,2	44,4
	,30	2	4,4	4,4	48,9
	,33	1	2,2	2,2	51,1
	,37	1	2,2	2,2	53,3
	,41	2	4,4	4,4	57,8
	,52	1	2,2	2,2	60,0
	,56	2	4,4	4,4	64,4
	,70	1	2,2	2,2	66,7
	,74	1	2,2	2,2	68,9
	,78	2	4,4	4,4	73,3
	,81	1	2,2	2,2	75,6
	,85	3	6,7	6,7	82,2
	,89	1	2,2	2,2	84,4
	,96	1	2,2	2,2	86,7
	1,00	6	13,3	13,3	100,0
Total		45	100,0	100,0	

f7

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	-,70	1	2,2	2,2	2,2
	-,67	1	2,2	2,2	4,4
	-,63	1	2,2	2,2	6,7
	-,56	1	2,2	2,2	8,9
	-,37	2	4,4	4,4	13,3
	-,26	1	2,2	2,2	15,6
	-,19	2	4,4	4,4	20,0
	-,11	2	4,4	4,4	24,4
	,00	2	4,4	4,4	28,9
	,04	3	6,7	6,7	35,6
	,07	2	4,4	4,4	40,0
	,15	1	2,2	2,2	42,2
	,19	1	2,2	2,2	44,4
	,26	3	6,7	6,7	51,1
	,30	1	2,2	2,2	53,3
	,41	1	2,2	2,2	55,6
	,48	1	2,2	2,2	57,8
	,63	1	2,2	2,2	60,0
	,74	3	6,7	6,7	66,7
	,78	2	4,4	4,4	71,1
	,81	1	2,2	2,2	73,3
	,85	2	4,4	4,4	77,8
	,89	2	4,4	4,4	82,2
	,93	1	2,2	2,2	84,4
	,96	2	4,4	4,4	88,9
	1,00	5	11,1	11,1	100,0
Total		45	100,0	100,0	

f8

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	-,93	1	2,2	2,2	2,2
	-,89	1	2,2	2,2	4,4
	-,81	1	2,2	2,2	6,7
	-,74	2	4,4	4,4	11,1
	-,52	1	2,2	2,2	13,3
	-,37	1	2,2	2,2	15,6
	-,33	1	2,2	2,2	17,8
	-,26	1	2,2	2,2	20,0
	-,22	2	4,4	4,4	24,4
	-,19	1	2,2	2,2	26,7
	-,15	3	6,7	6,7	33,3
	-,11	2	4,4	4,4	37,8
	,00	4	8,9	8,9	46,7
	,15	1	2,2	2,2	48,9
	,22	3	6,7	6,7	55,6
	,26	1	2,2	2,2	57,8
	,37	2	4,4	4,4	62,2
	,52	2	4,4	4,4	66,7
	,56	1	2,2	2,2	68,9
	,70	1	2,2	2,2	71,1
	,74	1	2,2	2,2	73,3
	,78	1	2,2	2,2	75,6
	,81	3	6,7	6,7	82,2
	,85	2	4,4	4,4	86,7
	,89	2	4,4	4,4	91,1
	,93	2	4,4	4,4	95,6
	1,00	2	4,4	4,4	100,0
Total		45	100,0	100,0	

One-way ANOVA

Descriptives

Fanger

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					orion szőnyegpadló	45		
forgácslap	45	,0244	,40571	,06048	-,0974	,1463	-,93	,96
Rome szőnyegpadló	45	-,0689	,43269	,06450	-,1989	,0611	-1,00	,96
PVC	45	,1260	,55750	,08311	-,0415	,2935	-,89	1,00
Viper szőnyegpadló	45	,2724	,47661	,07105	,1293	,4156	-,89	1,00
Laminált forgácslap	45	,3371	,52929	,07890	,1781	,4961	-,85	1,00
Tarkett padló	45	,3324	,53360	,07954	,1721	,4928	-,70	1,00
New Orleans ipari filc	45	,1891	,57097	,08511	,0176	,3606	-,93	1,00
Total	360	,1664	,50748	,02675	,1138	,2190	-1,00	1,00

Test of Homogeneity of Variances

Fanger

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2,716	7	352	,009

Robust Tests of Equality of Means

Fanger

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	4,198	7	150,645	,000

a. Asymptotically F distributed.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Fanger
Tamhane

(I) anyag	(J) anyag	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
orion szőnyegpadló	forrácslap	,09444	,08614	1,000	-,1824	,3713
	Rome szőnyegpadló	,18778	,08901	,659	-,0983	,4739
	PVC	-,00711	,10329	1,000	-,3400	,3258
	Viper szőnyegpadló	-,15356	,09387	,956	-,4554	,1483
	Laminált forrácslap	-,21822	,09994	,596	-,5400	,1036
	Tarkett padló	-,21356	,10045	,647	-,5371	,1099
	New Orleans ipari filc	-,07022	,10492	1,000	-,4085	,2680
forrácslap	orion szőnyegpadló	-,09444	,08614	1,000	-,3713	,1824
	Rome szőnyegpadló	,09333	,08842	1,000	-,1909	,3776
	PVC	-,10156	,10278	1,000	-,4329	,2298
	Viper szőnyegpadló	-,24800	,09330	,232	-,5481	,0521
	Laminált forrácslap	-,31267	,09942	,063	-,6329	,0075
	Tarkett padló	-,30800	,09993	,075	-,6299	,0139
	New Orleans ipari filc	-,16467	,10441	,971	-,5014	,1721
Rome szőnyegpadló	orion szőnyegpadló	-,18778	,08901	,659	-,4739	,0983
	forrácslap	-,09333	,08842	1,000	-,3776	,1909
	PVC	-,19489	,10520	,859	-,5337	,1439
	Viper szőnyegpadló	-,34133*	,09596	,017	-,6498	-,0328
	Laminált forrácslap	-,40600*	,10191	,004	-,7340	-,0780
	Tarkett padló	-,40133*	,10241	,005	-,7309	-,0717
	New Orleans ipari filc	-,25800	,10679	,397	-,6020	,0860
PVC	orion szőnyegpadló	,00711	,10329	1,000	-,3258	,3400
	forrácslap	,10156	,10278	1,000	-,2298	,4329
	Rome szőnyegpadló	,19489	,10520	,859	-,1439	,5337
	Viper szőnyegpadló	-,14644	,10934	,997	-,4981	,2052
	Laminált forrácslap	-,21111	,11460	,864	-,5795	,1572
	Tarkett padló	-,20644	,11504	,891	-,5762	,1633
	New Orleans ipari filc	-,06311	,11896	1,000	-,4455	,3192
Viper szőnyegpadló	orion szőnyegpadló	,15356	,09387	,956	-,1483	,4554
	forrácslap	,24800	,09330	,232	-,0521	,5481
	Rome szőnyegpadló	,34133*	,09596	,017	,0328	,6498
	PVC	,14644	,10934	,997	-,2052	,4981
	Laminált forrácslap	-,06467	,10618	1,000	-,4060	,2767
	Tarkett padló	-,06000	,10665	1,000	-,4029	,2829
	New Orleans ipari filc	,08333	,11087	1,000	-,2734	,4400
Laminált forrácslap	orion szőnyegpadló	,21822	,09994	,596	-,1036	,5400
	forrácslap	,31267	,09942	,063	-,0075	,6329
	Rome szőnyegpadló	,40600*	,10191	,004	,0780	,7340
	PVC	,21111	,11460	,864	-,1572	,5795
	Viper szőnyegpadló	,06467	,10618	1,000	-,2767	,4060
	Tarkett padló	,00467	,11204	1,000	-,3554	,3648
	New Orleans ipari filc	,14800	,11606	,998	-,2251	,5211
Tarkett padló	orion szőnyegpadló	,21356	,10045	,647	-,1099	,5371
	forrácslap	,30800	,09993	,075	-,0139	,6299
	Rome szőnyegpadló	,40133*	,10241	,005	,0717	,7309
	PVC	,20644	,11504	,891	-,1633	,5762
	Viper szőnyegpadló	,06000	,10665	1,000	-,2829	,4029
	Laminált forrácslap	-,00467	,11204	1,000	-,3648	,3554
	New Orleans ipari filc	,14333	,11650	,999	-,2311	,5178
New Orleans ipari filc	orion szőnyegpadló	,07022	,10492	1,000	-,2680	,4085
	forrácslap	,16467	,10441	,971	-,1721	,5014
	Rome szőnyegpadló	,25800	,10679	,397	-,0860	,6020
	PVC	,06311	,11896	1,000	-,3192	,4455
	Viper szőnyegpadló	-,08333	,11087	1,000	-,4400	,2734
	Laminált forrácslap	-,14800	,11606	,998	-,5211	,2251
	Tarkett padló	-,14333	,11650	,999	-,5178	,2311

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.