

A komfort hatása a produktivitásra és az energiafelhasználásra

OTKA kutatási zárójelentés

Témavezető: Dr. habil Kajtár László egyetemi docens

PhD, a műszaki tudomány kandidátusa

BME Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék

Budapest, 2022.

Szerződés száma: K 124777

Időtartam: 2017. október 1. – 2020. december 30.

Témavezető: Dr. habil Kajtár László egyetemi docens

Résztvevők:

Dr. Bánhidi László DSc.

Dr. Kajtár László Ph.D.

Dr. Izsó Lajos DSc.

Dr. Ketskeméty László Ph.D

Dr. Herczeg Levente Ph.D

Érces Norbert tanszéki mérnök

Dr. Szabó János Ph.D

András-Tövissi Balázs

Kutatóhely :

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék

1111 Budapest, Műegyetem rakpart 9.

Tanszékvezető:

Dr. Láng Péter egyetemi tanár 2008 – 2015.

Dr. Kajtár László egyetemi docens 2016 – 2018

Dr. Csoknyai Tamás 2019-

TARTALOMJEGYZÉK

1 Bevezetés	8
2 Szakirodalmi áttekintés.....	10
2.1. A hőérzeti komfort alapfogalmai	10
2.2 A sugárzó rendszerek komfort viszonyai.....	11
2.2.1. A sugárzási hőmérséklet aszimmetria	14
2.2.1.1. A sugárzási hőmérséklet aszimmetria alapfogalmai	14
2.2.1.2. A sugárzási hőmérséklet aszimmetriával kapcsolatos kutatási eredmények.....	17
2.2.2. A huzathatás	19
2.2.2.1. Alapfogalmak.....	19
2.2.2.2. A huzathatással kapcsolatos kutatási eredmények	23
2.3. Élőalanyos kísérletek.....	24
2.3.1. Élőalanyos módszerekkel kapcsolatos kutatási eredmények.....	24
2.3.1.1 Élőalanyos kísérletek tervezése.....	25
2.3.1.2. Nemek közti különbségek.....	28
2.3.1.3. Emberi hatások	29
2.4. A szakirodalmi áttekintés összefoglaló értékelése.....	30
3. Módszerek	31
3.1 A kezdeti felvetések.....	31
3.2. Módszerek általános bemutatása.....	32
3.3. Mérőállás bemutatása	33
3.4. Mérési peremfeltételek bemutatása	35
3.5. Műszeres mérés bemutatása	40
3.6. Élőalanyos mérés bemutatása	45
3.7. Matematikai értékelés bemutatása.....	48
4. Eredmények.....	52
4.1. A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség (PD) a meleg mennyezet és huzat együttes előfordulása esetén.....	52
4.1.1. Meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség (PD) aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényben	52
4.1.2. Meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség (PD) idő függvényében	56
4.2. AMV a meleg mennyezet és huzat együttes előfordulása esetén	60
4.2.1. AMV az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében.....	60
4.2.2. AMV idő függvényében	64
4.3. Munkavégzés hatékonyságának vizsgálata a meleg mennyezet és huzat együttes előfordulása esetén.....	68
4.3.1. Munkavégzés hatékonysága az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében.....	68
4.3.2. Munkavégzés hatékonysága idő függvényében	72
5. Az eredmények értékelése	78
5.1. PD eredmények értékelése.....	78
5.1.1. PD értékelése az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében.....	78
5.1.1.1. A huzat hatása PD-re az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében.....	78
5.1.1.2. A nemek hatása PD-re az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében	81
5.1.1.3. Az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség változásának hatása a PD-re.....	82
5.1.2. PD értékelése idő függvényében	84
5.1.2.1. A huzat hatása PD-re idő függvényében	84
5.1.2.2. A nemek hatása PD-re idő függvényében.....	86
5.1.2.3. Az idő múlásának hatása a PD-re.....	87
5.2. AMV eredmények értékelése.....	89
5.2.1. AMV értékelése az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében.....	89
5.2.1.1. A huzat hatása AMV-re az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében.....	89
5.2.1.2. A nemek hatása AMV-re az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében.....	91
5.2.1.3. Az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség változásának hatása az AMV-re.....	92
5.2.2. AMV értékelése idő függvényében	94
5.2.2.1. A huzat hatása AMV-re idő függvényében	94
5.2.2.2. A nemek hatása AMV-re idő függvényében.....	97
5.2.2.3. Az idő múlásának hatása az AMV-re	98
5.3. A munkavégzés hatékonyságának értékelése	99
5.3.1. A munkavégzés hatékonyságának értékelése az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében.....	100
5.3.1.1. A huzat hatása a munkavégzés hatékonyságára az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében	100
5.3.1.2. A nemek hatása a munkavégzés hatékonyságára az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében	103
5.3.1.3. Az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség változásának hatása a munkavégzés hatékonyságára	105
5.3.2. A munkavégzés hatékonyságának értékelése idő függvényében.....	106
5.3.2.1. A huzat hatása a munkavégzés hatékonyságára idő függvényében	107

5.3.2.2. A nemek hatása a munkavégzés hatékonyságára idő függvényében	110
5.3.2.3 Az idő múlásának hatása a munkavégzés hatékonyságára.....	111
6. A kutatás összefoglalása.....	113
6.1. Összefoglaló értékelés	113
6.2. További kutatási lehetőségek.....	114
7. Összefoglalás.....	115
8. Summary.....	116
IRODALOMJEGYZÉK.....	118

ÁBRAJEGYZÉK:

1. ábra: Mérőkamra elvi kialakítása.....	9
2. ábra: PMV-PPD diagram.....	11
3. ábra: Sugárzási hőmérséklet aszimmetria miatt kialakult elégedetlenség.....	14
4. ábra: A besugárzási tényező számítása négyzetes felület és rá merőleges sík felületelem között	16
5. ábra: A besugárzási tényező számítása négyzetes felület és vele párhuzamos sík felületelem között.....	16
6. ábra: A besugárzási tényező meghatározása abban az esetben, ha a síkkal párhuzamos felületelem annak középpontja alatt van.....	17
7. ábra: Az elégedetlenek százalékos aránya az átlagos légsebesség függvényében.....	19
8. ábra: A légsebesség idő szerinti változása [8].....	20
9. ábra: Turbulencia-intenzitás és légsebesség változása a hőmérséklet függvényében	21
10. ábra: Huzatdiagramok.....	22
11. ábra: Mérőkamra alapterülete - irodalomkutatás.....	26
12. ábra: Élőalanyos mérések hossza - irodalomkutatás	27
13. ábra: NRS és VAS komfortskálák.....	28
14. ábra: PMV számítás blokkdiagramja.....	33
15. ábra: Hőérzeti mérőkamra.....	34
16. ábra: Fűtő- és hűtő hőhordozó elosztó rendszer.....	34
17. ábra: Mérőállás hőellátásának elvi sémája	35
18. ábra: Hőáramok és mérési pontok.....	36
19. ábra: Mérési pontok - metszet.....	36
20. ábra: Mérési pontok - felülnézet.....	36
21. ábra: A levegő átlagsebességének és hőmérsékletének viszonya DR=15% esetén.....	39
22. ábra: A levegő átlagsebességének és hőmérsékletének viszonya DR=25% esetén.....	39
23. ábra: A levegő átlagsebességének és hőmérsékletének viszonya PMV=0 esetén.....	40
24. ábra: A közepes sugárzási hőmérséklet térbeli eloszlása.....	41
25. ábra: A levegő hőmérsékletének térbeli eloszlása.....	42
26. ábra: A levegő sebességének térbeli eloszlása	42
27. ábra: A PMV térbeli eloszlása	43
28. ábra: A PPD térbeli eloszlása.....	43
29. ábra: A turbulencia intenzitás térbeli eloszlása.....	44
30. ábra: A DR térbeli eloszlása.....	44
31. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenséget felmérő folytonos skála.....	48
32. ábra: Az általános hőérzetet értékelő folytonos skála.....	48
33. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Nők, DR=15%.....	53
34. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Férfiak, DR=15%.....	54
35. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Nők és Férfiak, DR=15%.....	54
36. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Nők, DR=25%.....	55
37. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Férfiak, DR=25%.....	55
38. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Nők és Férfiak, DR=25%	56
39. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Nők, DR=15%.....	57
40. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Férfiak, DR=15%.....	58
41. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Nők és Férfiak, DR=15%.....	58
42. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Nők, DR=25%.....	59
43. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Férfiak, DR=25%.....	59
44. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Nők és Férfiak, DR=25%.....	60
45. ábra: AMV AS függvényében, Nők, DR=15%.....	61
46. ábra: AMV AS függvényében, Férfiak, DR=15%.....	62
47. ábra: AMV AS függvényében, Nők és Férfiak, DR=15%.....	62
48. ábra: AMV AS függvényében, Nők, DR=25%.....	63
49. ábra: AMV AS függvényében, Férfiak, DR=25%.....	63
50. ábra: AMV AS függvényében, Nők és Férfiak, DR=25%.....	64
51. ábra: AMV idő függvényében, Nők, DR=15%.....	65

52. ábra: AMV idő függvényében, Férfiak, DR=15%.....	65
53. ábra: AMV idő függvényében, Nők és Férfiak, DR=15%.....	66
54. ábra: AMV idő függvényében, Nők, DR=25%.....	66
55. ábra: AMV idő függvényében, Férfiak, DR=25%.....	67
56. ábra: AMV idő függvényében, Nők és Férfiak, DR=25%.....	67
57. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, Nők, DR=15%.....	69
58. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, Férfiak, DR=15%.....	69
59. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, Nők és Férfiak, DR=15%.....	70
60. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, Nők, DR=25%.....	71
61. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, Férfiak, DR=25%.....	71
62. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, Nők és Férfiak, DR=25%.....	72
63. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Nők, DR=15%.....	73
64. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Férfiak, DR=15%.....	74
65. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Nők és Férfiak, DR=15%.....	74
66. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Nők, DR=25%.....	75
67. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Férfiak, DR=25%.....	76
68. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Nők és Férfiak, DR=25%.....	76
69. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Nők és Férfiak, DR=15% vs. DR=25%.....	79
70. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Nők, DR=15% vs. DR=25%.....	80
71. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Férfiak, DR=15% vs. DR=25%.....	80
72. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=15%.....	81
73. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=25%.....	82
74. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Nők és Férfiak, DR=15% vs. DR=25%.....	84
75. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Nők, DR=15% vs. DR=25%.....	85
76. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Férfiak, DR=15% vs. DR=25%.....	86
77. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=15%.....	86
78. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=25%.....	87
79. ábra: AMV AS függvényében, Nők és Férfiak, DR=15% vs. DR=25%.....	89
80. ábra: AMV AS függvényében, Nők, DR=15% vs. DR=25%.....	90
81. ábra: AMV AS függvényében, Férfiak, DR=15% vs. DR=25%.....	91
82. ábra: AMV AS függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=15%.....	91
83. ábra: AMV AS függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=25%.....	92
84. ábra: AMV idő függvényében, Nők és Férfiak, DR=15% vs. DR=25%.....	94
85. ábra: AMV idő függvényében, Nők, DR=15% vs. DR=25%.....	95
86. ábra: AMV idő függvényében, Férfiak, DR=15% vs. DR=25%.....	96
87. ábra: AMV idő függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=15%.....	97
88. ábra: AMV idő függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=25%.....	98
89. ábra: Munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, Nők, DR=15% és DR=25%.....	100
90. ábra: Munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, Férfiak, DR=15% és DR=25%.....	101
91. ábra: Munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, nők és férfiak esetén, DR=15% és DR=25%.....	102
92. ábra: Munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=15%.....	103
93. ábra: Munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=25%.....	104
94. ábra: Munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Nők, DR=15% és DR=25%.....	107
95. ábra: Munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Férfiak, DR=15% és DR=25%.....	108
96. ábra: Munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Nők és Férfiak, DR=15% és DR=25%.....	109
97. ábra: Munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=15%.....	110
98. ábra: Munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=25%.....	111

TÁBLÁZATJEGYZÉK:

1. táblázat: Megengedett aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség - három kategória.....	15
2. táblázat: Komfortparaméterek kategóriák függvényében.....	22
3. táblázat: Mérőeszközök és mért adatok.....	32
4. táblázat: Mérőállás berendezéseinek megnevezése, típusa és legfontosabb tulajdonsága.....	34
5. táblázat: Mért és számolt paraméterek.....	41
6. táblázat: A mérés permfeltételei.....	47
7. táblázat: Az élőalanyos mérés bemutatása.....	47

MELLÉKLETEK:

Melléklet 1 – A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség – számítások kivonata

Melléklet 2 – AMV – számítások kivonata

JELMAGYARÁZAT

Jelölés	Jelentés	Mértékegység
<i>Latin betűk</i>		
C	Konvektív hőleadás	W
F_{e-w}	Az ablak besugárzási tényezője	-
F_{p-N}	A felületelem és az N felület közötti besugárzási tényező	-
I_{cl}	Ruházat hőszigetelő képessége	clo
n	Első minta elemszáma	db
m	Második minta elemszáma	db
M	Metabolikus hő	met
p_1	Egzakt egyoldali szignifikancia	-
p_2	Egzakt kétoldali szignifikancia	-
p_a	A levegő vízgőz parciális nyomása	bar
Q_{ember}	Az ember által a mérőkamrának leadott hő	W
Q_{falak}	A falak által a mérőkamrától elvont hő	W
$Q_{levegő}$	A levegővel a mérőkamrába bevitt hő	W
$Q_{mennyezet}$	A mennyezet által a mérőkamrába bevitt hő	W
$Q_{padló}$	A padló által a mérőkamrától elvont hő	W
$Q_{világítás}$	A világítás által a mérőkamrába bevitt hő	W
s_x	Első minta szórása	-
s_y	Második minta szórása	-
S	Sugárzásos hőleadás	W
t	A Welch-teszt próbastatisztikája	-
t_a	Levegő hőmérséklete	$^{\circ}C$
t_{cl}	Ruházat felületi hőmérséklete	$^{\circ}C$
t_{ks}	Közepes sugárzási hőmérséklet	$^{\circ}C$
t_{mean}	Levegő átlaghőmérséklete	$^{\circ}C$
t_o	Operatív hőmérséklet	$^{\circ}C$
t_{sh1}	Sík sugárzási hőmérséklet a felületelem egyik oldalán	$^{\circ}C$
t_{sh2}	Sík sugárzási hőmérséklet a felületelem másik oldalán	$^{\circ}C$
t_w	Az ablak hőmérséklete	$^{\circ}C$
T	A Mann-Whitney teszt próbastatisztikája	-
T_N	Az N felület hőmérséklete	K
T_{pr}	A sík sugárzási hőmérséklet	K
x	Első minta átlagértéke	-
y	Második minta átlagértéke	-
u	Levegő átlagsebessége	m/s
v	Relatív légsebesség	m/s
W	Mechanikai munka	W

Indexek, rövidítések

<i>AMV</i>	<i>Aktuális hőérzeti érték</i>	-
<i>AS</i>	<i>Aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség</i>	$^{\circ}\text{C}$
<i>DR</i>	<i>Huzathatás</i>	%
<i>PD</i>	<i>Meleg mennyezettel szembeni várható elégedetlenség</i>	%
<i>PD_T</i>	<i>Huzattal szembeni elégedetlenség idő függvényében</i>	%
<i>PMV</i>	<i>Várható hőérzeti érték</i>	-
<i>PPD</i>	<i>Várható elégedetlenségi arány</i>	%
<i>Tu</i>	<i>Turbulencia-fok</i>	%

1 Bevezetés

Az emberek idejük túlnyomó részét zárt terekben töltik (Bánhidi & Kajtár, 2000), ezért rendkívül fontos, hogy olyan belső tereket létesítsünk, ahol a szellemi és fizikai munkavégzés optimális módon teljesíthető, illetve olyan otthonokat és egyéb funkciójú épületeket építsünk, ahol a pihenés és rekreáció ideális körülmények között biztosítható.

Az optimális munka- és lakó-, valamint rekreációs környezet biztosítsa egy több diszciplínán átívelő feladat, mely építészeti, épületgépészeti, épületvillamossági és ergonómiai feladatok mellett sok más szakirány együttműködését is feltételezi.

A belső terek kialakítása, tervezése, kivitelezése és üzemeltetése során további fontos szempontot jelentenek napjaink energiagazdálkodási célkitűzései és irányelvei. Különleges kihívást jelent a komfort és energetikai célok összehangolása.

Sok gazdasági szervezet tetemes üzemviteli és fenntartási költségét az ott dolgozók fizetése képezi. Ugyanakkor ezen szervezetek ideális működését is a munkavállalók biztosítják, így elengedhetetlen, hogy optimális körülmények között végezhesék munkájukat, ahol kényelmesen, zavartalanul, egészségesen és a leghatékonyabban tudnak dolgozni (Wargoczki & Wyon, 2013). Az optimális és zavartalan munkavégzés egyik legfontosabb feltétele pedig az ideális hőkomfort biztosítása.

Az ember-épület-energia kapcsolatrendszer egy folyamatos átértékelési igényt eredményez, mely során figyelni kell az egyes területek fejlődését és az irányelvek módosulását. Az ideális hőkomfort és az épületek fenntartására szánt energia minimalizálása közötti optimumkeresés középpontjában, az első gondolat figyelembevételével, az ember kell, hogy álljon, hiszen az épületek elsődleges célja az emberi tevékenység kifogástalan kiszolgálása (Wargoczki & Wyon, 2012).

Az ideális hőkomfort paraméterek beállítása egy középület esetén nem triviális, hiszen adott térben sok ember dolgozhat együtt, akiknek különböző a preferenciája, ideálisnak vélt hőkörnyezete. Ezt figyelembe véve az optimális hőkomfortot biztosító ideális paraméterek statisztikai alapon meghatározhatóak, a cél ebben az esetben az elégedetlenség minimumának megkeresése.

A hőkomfortot leíró legismertebb és legszélesebb körben használt módszer a PMV-PPD modell, mely a hőkomfortot a következő hat paraméter figyelembevételével írja le: a levegő hőmérséklete, páratartalma, sebessége, a közepes sugárzási hőmérséklet, az emberi tevékenység és a ruházat hőszigetelő képessége az 1. és 2. egyenlet szerint (Fanger & Christensen, 1986):

$$\begin{aligned} PMV = & [0.303 \cdot \exp(-0.036 \cdot M) + 0.028] \\ & \cdot \{(M - W) - 3.05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6.99 \cdot (M - W) - p_a] - 0.42 \\ & \cdot [(M - W) - 58.15] - 1.7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0.0014M \\ & \cdot (34 - t_a) - 3.96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{ks} + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \\ & \cdot (t_{cl} - t_a)\}, - \end{aligned} \quad (1)$$

$$PPD = 100 - 99 \cdot \exp(-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2), \% \quad (2)$$

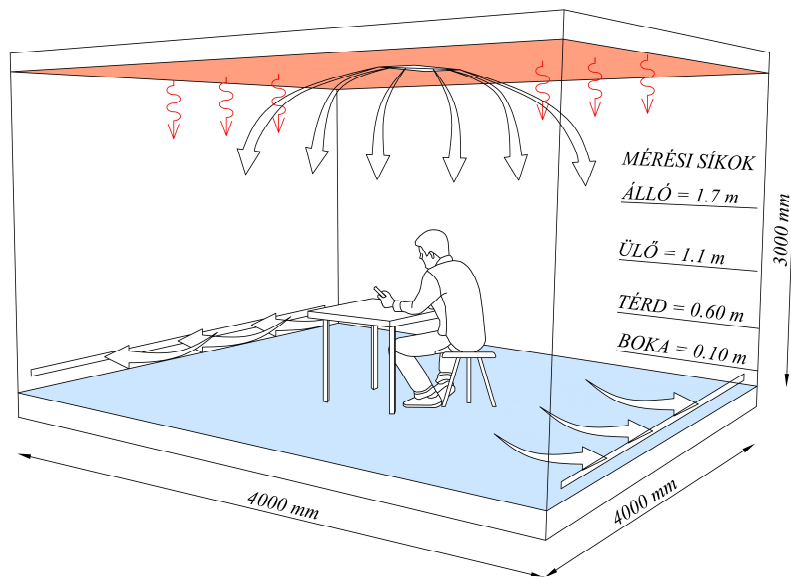
A PMV modellt a lokális diszkomfort tényezők egészítik ki, vagyis a huzat, a sugárzási hőmérséklet aszimmetria, a hideg padló, illetve a vertikális hőmérséklet gradiens. A lokális diszkomfort tényezők hatása külön-külön ismert. Valóságos helyzetben a lokális diszkomfort tényezők együttesen jelentkezők. Bár egyes lokális diszkomfort tényezők együttes vizsgálatával már foglalkoztak (Barna, Bánhidi, 2012; Toftum, 2002; Bartal, 2012), és a huzat különböző hőmérsékleti paraméterek melletti hatását is vizsgálták (Toftum & Nielsen, 1996), a meleg mennyezet és huzat együttes hatására vonatkozó irodalmi források kiegészítendőek. Ezen hiányosság kiküszöbölése és a tudásanyag növelése céljából

született ez a kutatás, mely során és a meleg mennyezet által okozott aszimmetrikus sugárzás és a huzatérzet együttes hatását tanulmányoztam.

A kutatás során numerikus módszereket, műszeres és élőalanyos méréseket is használtam. Az élőalanyos mérésekbe 20 alanyt, 10 nőt és 10 férfit vontam be és több, mint két éven keresztül tartó méréssorozat keretében elemeztem a meleg mennyezet által előidézett aszimmetrikus sugárzás és a huzat hatását a:

- meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségre;
- az AMV értékére;
- és a munkavégzés hatékonyságára.

A méréseket a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Macskásy Komfort- és klimatechnikai laboratóriumában végeztem. Az 1. ábra a mérőkamra elvi kialakítását mutatja.



1. ábra: Mérőkamra elvi kialakítása

A kutatás eredményei bemutatják a két lokális diszkomfort tényező együttes hatásmechanizmusát, illetve ennek időbeli alakulását.

2 Szakirodalmi áttekintés

A megfelelő hőkomfort környezet kialakításához szükséges technológiai eszközök rendelkezésre állnak, az egyre dinamikusabban fejlődő számítástechnikai eszközök és módszerek segítségével optimalizációs lehetőségek sokaságát tudjuk használni. A kihívást az okozza, hogy a komfort nem egy közvetlenül mérhető mennyiség, hanem egy állapot, melynek számszerűsítését indirekt módszerrel, egyéb fizikai mennyiségek mérésével lehet biztosítani.

A hőkomfort modellek alkotását és fejlesztését magába foglaló tudományág viszonylag új, először Gagge (Gagge, 1936) közölt hőkomforttal kapcsolatos cikket 1936-ben. Számottevő eredmény MacPherson publikációja (MacPherson, 1962), melyben kijelenti, hogy a hőkomfortot hat paraméter befolyásolja: a levegő hőmérséklete, a közepes sugárzási hőmérséklet, a relatív páratartalom, a levegő sebessége, a ruházat hőszigetelő képessége és az ember tevékenységi szintje.

A komfortkutatásban igazán nagy mérföldkövet Fanger 1967-ben (Fanger, 1967) és 1970-ben (Fanger, 1970) publikált munkái jelentettek. Fanger kutatásai során kontrollált termikus környezetet hozott létre, és élőalanyos mérések és kísérletek során arra kérte a kísérletben részt vevő alanyokat, hogy minősítsék a hőkomfortot egy hétpontos skálán. A kísérletei eredményeiből egy komfort mutatót hozott létre, mely az imént említett hat, úgynevezett MacPherson paraméter függvényében jellemzi a teret. Ez a módszer a PMV (Predicted Mean Vote) modell néven ismert és jelenleg is a legfontosabb, legtagabb körben elismert hőkomfort modell.

Azóta több áttekintő publikáció is készült, mely olyan kutatások összefoglalását tartalmazzák, melyek a PMV modellen alapulnak (Orosa, 2010; Djungyang, et al., 2010; Taleghani, et al., 2013. Emellett olyan kutatások és vélemények is vannak, melyek kétségbe vonják a modellt, illetve annak egyes aspektusait, leginkább a nemek közötti különbségek figyelmen kívül hagyását (Karjalainen, 2012).

Mivel a hőkomfort nem fizikai mennyiség, ezért a kialakuló hőkörnyezet komfortértézzé való lefordítása csak a helyiségben tartózkodó emberek komfortszavazatainak figyelembevételével történhet. Ez a megközelítés helyszíni vagy laboratóriumi méréseket feltételez. Az élőalanyos mérések elvégzésére különböző, a szakmában elismert metodológiák léteznek, ezekkel több gyűjtő cikk is foglalkozik (Mishra, Ramgopal, 2013; Sadat, Hafezi, 2016).

2.1. A hőérzeti komfort alapfogalmai

Az ember és környezete közötti hőleadás három módon valósul meg, a következő arányban: sugárzás (42-44%), konvekció és hővezetés (32-35%) és párolgás (21-26%) (Bánhidi, Kajtár, 2000). Fanger kidolgozta a PMV modellt a MacPherson paraméterek figyelembevételével, és az 1. egyenlet szerint definiálta azt (Fanger, 1970).

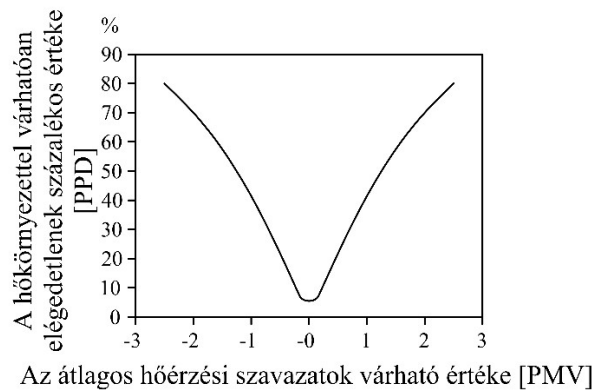
A PMV kiszámításánál használt ruházat felszíni hőmérsékletének meghatározása iteratív feladat és a 3. összefüggésből adódik (Bánhidi & Kajtár, 2018):

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \{3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 + (t_{ks} + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\} \quad (3)$$

A PMV modell szélesebb körű használhatósága érdekében Fanger definiálta a PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) indexet is, mely a környezetükkel várhatóan elégedetlenek százalékos arányát jelenti. A 4. egyenlet tartalmazza a várható hőérzet és a környezetükkel elégedetlenek várható százalékos aránya közötti viszonyt (Bánhidi & Kajtár, 2018):

$$PPD = 100 - 99 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2) \quad (4)$$

Az 1. diagram a PMV és PPD viszonyát mutatja (Bánhidi & Kajtár, 2018):



2. ábra: PMV-PPD diagram

A diagram egyrészt bizonyítja, hogy statisztikai értelemben nem létezik tökéletes termikus környezet, hiszen a PPD érték minimuma $PMV=0$ értéknél 5%, másrészt lehetővé teszi a különböző elégedetlenségi szintre való méretezést. Ez a tervezés során bemeneti adatként, az üzemeltetés során pedig célértékként használható. Ez az elmélet több aktuális és újított komfortszabványnak is az alapja, mint például ISO 7730, ASHRAE 55-2010, CEN 15251-2007, ISO 7726.

A PMV modell a test egészére definiálja a várható hőérzeti értéket és nem érzékeny a helyi komforttényezők hatására (Schellen, et al., 2013), azonban léteznek olyan helyi, lokális tényezők, melyek a test egyes részein okoznak diszkomfortot. Ezek a tényezők a következők (Banhidi & Kajtar, 2000):

- az aszimmetrikus sugárzás,
- meleg és hideg padlók,
- a vertikális hőmérséklet különbség,
- a huzathatás.

A lokális diszkomfort tényezők hatása külön-külön ismert és több szabvány is tartalmazza (CR 1750:2000, CEN:15251). A valóságban viszont ezek a tényezők egyszerre fordulnak elő. Napjaink épületgépészeti gyakorlatában, különös figyelmet kell szentelni a huzat és a meleg mennyezet együttes hatásának. Egyes lokális diszkomfort tényezők együttes hatását már kutatták, de a huzatérzet és a meleg mennyezet által okozott sugárzási hőmérséklet aszimmetria együttes hatására vonatkozó kutatások hiányosak.

2.2 A sugárzó rendszerek komfort viszonyai

Sugárzó rendszerekkel fűtött és hűtött, illetve mesterséges szellőzéssel ellátott épületek esetén a meleg mennyezet által okozott sugárzási hőmérséklet aszimmetria és a huzathatás egyszerre jelentkeznek. A sugárzó rendszerek egyre nagyobb teret hódítanak nemcsak a lakó funkciójú épületek esetén, hanem oktató, kereskedelmi vagy akár nagyon nagy léptékű közösségi épületek esetén (Rhee, et al., 2017; Olesen, 2008; Self, et al., 2013).

Több típusú sugárzási fűtési és hűtési rendszer létezik, melyek oszthatóak a sugárzó felület pozíciója, az épületszerkezetbe való illesztés, fűtési és hűtési közeg, illetve egyéb kritériumok alapján. (Kyu-Nam & Kwang, 2015). A sugárzó rendszerek épületszerkezetekben elfoglalt helye és szerepe alapján a hőleadó rendszerek lehetnek: mennyezetfűtő rendszerek (Nagano & T., 2004), padlófűtő rendszerek (Weitzmann, et al., 2005), padlóhűtő rendszerek (Lim, et al., 2006), mennyezethűtő rendszerek (Catalina, et al., 2009), emellett megemlíthető a falhűtés és falfűtés.

Az épületszerkezetbe ágyazott sugárzó fűtési és hűtési rendszerek az alábbi neveken fellelhetők a szakirodalomban: termoaktív rendszer (Wim & Gert, 2009), termoaktív épületelemek (Weber &

Jóhannesson, 2005), földembe helyezett fűtőrendszerek (Liu, et al., 2012), sugárzó földéghűtés (Tian & Love, 2009) stb.

A nem beágyazott sugárzó rendszereket a következő megnevezésekkel találtam meg a szakirodalomban: mennyezeti sugárzó hűtőpanelek (Jeong & Mumma, 2007), sugárzópanelek (Vangtook & Chirarattananon, 2007), sugárzó panel rendszerek (Kim & Leibundgut, 2014) stb.

Ezek a rendszerek általában víz fűtőközeggel rendelkeznek és a szakirodalomban a következő megnevezésekkel hivatkoztak ezekre a rendszerekre: víz fűtőközegű padlófűtés (Karlsson & Hagentoft, 2011), víz fűtő és hűtőközegű mennyezeti hőszugárzó (Tye-Gingras & Gosselin, 2012), víz fűtőközegű sugárzó rendszer (Feustel & Stetiu, 1995), víz közegű beágyazott fűtő és hűtő rendszerek (De Carli, et al., 2012).

A sugárzó fűtő és hűtő rendszereket, vagyis az alacsony hőmérsékletű fűtő- (Bojic, et al., 2013) vagy magas hőmérsékletű hűtő rendszerek (Babiak, et al., 2007), kevesebb energiát fogyasztanak, mint a konvencionális légfűtő vagy hűtő rendszerek, másrészt a kismértékű levegőmozgatás miatt valószínűleg az akusztikai és huzat diszkomfort (Feustel & Stetiu, 1995) (Catalina, et al., 2009), illetve ezeknek a rendszereknek a helyigénye is kisebb (Hao, et al., 2007).

A sugárzó rendszerek és mesterséges szellőzés együttes használatának létjogosultságát bizonyítja Mustakallio és munkatársai (2017) tanulmánya. Három épületgépészeti rendszer esetén mérték a levegő hőmérsékletét, a közepes sugárzási hőmérsékletet, a sugárzási hőmérséklet aszimmetriát, a légsebességet és a turbulencia intenzitást. Ezek az épületgépészeti rendszerek a következők voltak: hűtőgerenda, mennyezethűtés és mesterséges szellőzés, illetve csak levegős rendszer. Kutatásuk során műszeres és műemberes méréseket végeztek, a mérés végeredménye pedig azt mutatta, hogy a mennyezettemperálás a legkényelmesebb épületgépészeti kialakítás. Kutatásuk során meghatározták az optimális rendszert nyári esetben, téli esetben viszont nem mérték.

Kolarik és munkatársai (2011) dinamikus szimulációk segítségével összehasonlítottak egy felülethűtéssel és mesterséges szellőzéssel üzemelő irodát egy változó térfogatú levegős rendszerrel üzemelő irodával. A kísérletet elvégezték különböző épületszerkezetek figyelembevételével, illetve különböző tájolások mellett. A felülettemperáló rendszer még légszárítás mellett is jelentősen kevesebb energiát fogyasztott és a komfort paraméterek is jobbak voltak ezen kialakítás mellett. A kutatás alapján kijelenthető, hogy a felülettemperálás és a szerkezetaktiválás több előnyt is mutat a csak levegős rendszerekkel szemben. Ennek a kutatásnak is hiányossága a téli eset vizsgálata.

Karmann és munkatársai (2017) összefoglaló cikket írtak, melyben összehasonlították a sugárzó és a csak levegős rendszereket. Irodalomkutatást végeztek, hogy megállapítsák, hogy a sugárzó rendszerekkel szerelt épületek ugyanolyan, jobb vagy rosszabb hőkomfortot nyújtanak, mint a csak levegős rendszerek. A kutatások egyrészt szimulációkat, másrészt műszeres méréseket, harmadrészt élőalanyos méréseket mutattak be. Arra a következtetésre jutottak, hogy a sugárzó rendszerek energiahatékonyan tudják temperálni az épületeket, komfortjuk jobb, mint a csak levegős rendszereké.

Zeiler és Boxem (Zeiler & Boxem, 2009) élőalanyos hőkomfort méréseket végeztek, a mérési és kérdőíves válaszok alapján, a bent tartózkodók ideálisabbnak érezték a hőkomfortot, mint a hagyományos konvektív rendszerek esetén.

A sugárzó rendszerek szivattyúzási munkája kevesebb, mint a csak levegős rendszer ventilátorainak energiaigénye. Másrészt ezek a rendszerek esetében a magas hűtési és alacsony fűtési közege hőmérséklet miatt primer oldalon jobb hatásfokot lehet biztosítani. Továbbá a megújuló energiák integrálását is könnyebben lehetővé teszik, mert a geotermális vagy soláris energia könnyebben tudja biztosítani a hőmérsékletet ebben a tartományban. Ezek a rendszerek ugyanakkor az épület tömegét is tudják hasznosítani, ami a csúcsteljesítményeket optimalizálja, ezzel csökkentve a beépítendő csúcsteljesítményt (Kyu-Nam & Kwang, 2015).

A belső levegőminőség szempontjából is jobb megoldás a sugárzó fűtési és hűtési rendszer, mert az alacsonyabb légmozgás miatt kisebb a porszemcsék mozgása a térben (Olesen, 2002). A sugárzó rendszerekkel üzemelő épületekben könnyebb az optimális belső levegőminőség biztosítása, hiszen a frisslevegő utánpótlását biztosító hálózat szétválik a fűtési és hűtési rendszertől. Ez a kialakítás nagymértékben csökkenti a szállított levegő mennyiségét is az épületben. (Feustel & Stetiu, 1995)

A pontos rendszerkialakítás, tervezés és üzemeltetés miatt fontos a sugárzó rendszerek hőátadási paramétereinek meghatározása. Causone (2009) a sugárzó mennyezet és a helyiség közötti hőátadási tényezők értékét vizsgálták. A kísérlet célja az volt, hogy átlagos irodai vagy lakossági használat mellett meghatározzák a hőátadási tényezőt a mennyezet és a helyiség levegője között. A hőterhelést fűtött hengerekkel, a hőveszteséget pedig hűtött falakkal szimulálták. A kísérlet során azt tapasztalták, hogy alacsony hőmérsékletű fűtés esetén a sugárzási hőátadási tényező $5,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, mely egyezik a szakirodalomban jegyzett $6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ értékkel.

Li és munkatársai (2015) a tokyoi egyetemen mérési céllal építet épületben vizsgálták a mennyezetfűtés és hűtés hőátadási viszonyait. Arra a következtetésre jutottak, hogy a közeg és terem közötti hőátadási tényező $3,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ volt fűtési és $4,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ hűtési üzemmódban. A felfele irányuló, vagyis nem hasznosított energiaáramok aránya 30-40% volt, ami nagyon magas érték.

A felülettemperáló rendszerek mesterséges szellőzés mellett üzemeltethetők optimálisan. Nyári esetben a szellőző levegővel a tér szárítását és ezáltal a felülethűtő rendszerek optimális üzemét lehet biztosítani. Schiavon és munkatársai (2008) 54 esetet vizsgálva numerikusan ellenőrizték a hűtési energiaigényt a hőkomfortra optimalizálva. Arra a következtetésre jutottak, hogy nyári esetben a légsebesség és ezáltal a huzat csökkenti az energiaigényt. A fokozott légsebesség nyári esetben tehát komfort és energetikai szempontból is előnyös. Ugyanerre a következtetésre jutottak Kitagawa és munkatársai (1999) is élőalanyos méréseik során. Ezeknek a kutatásnak is hiányossága a téli eset vizsgálatának hiánya.

Ugyanakkor a mesterséges szellőzés a felülettemperálással üzemelő épületekben nemcsak a hőkomfort és az energetikai szempontok miatt fontos, hanem a munkavégzés hatékonyságának növelése érdekében is. Toftum és munkatársai (2015) iskolákban tanuló diákok munkavégzési hatékonyságának javulását figyelte meg mesterséges szellőzés mellett.

A sugárzó fűtési és hűtési rendszerek energetikára, komfortra és a munkavégzés hatékonyságára gyakorolt pozitív hatása akkor adódik, hogyha biztosított a megfelelő szabályozás. Optimális működtető logika hiányában az energiatakarékos üzem nem biztosított és akár épületszerkezeti veszélyek is előállhatnak (Oxizidis, et al., 2013).

Rhee és munkatársai (2015) átfogó irodalomkutatást készítettek a sugárzó épületgépészeti rendszerekről és a következő további kutatási irányokat nevezték meg:

- összekapcsolt CFD és dinamikus energetikai szimulációs módszerek elvégzését,
- felületfűtési és hűtési rendszerek szabályozásának kidolgozását, mely magába foglalja az árnyékolásszabályozást is,
- a szivattyúzási energia optimalizálását,
- megújuló energiák implementációját,
- új hőforrások kitalálását.

A fenti szakirodalmi tapasztalatok azt mutatják, hogy a sugárzó rendszerek és a mesterséges szellőzés együttes használata sok előnyt mutat a konvektív rendszerekkel szemben. A sugárzó fűtő és hűtő rendszerek mesterséges szellőzéssel egyidejű üzemeltetése esetén a huzat és az aszimmetrikus sugárzás egyidőben jelentkezik. Figyelembe véve a szakirodalmi tapasztalatokat, megfogalmazható a sugárzó fűtési rendszerek által előidézett aszimmetrikus sugárzás és huzathatás együttes hatásmechanizmus leírásának hiánya a szakirodalomban.

2.2.1. A sugárzási hőmérséklet aszimmetria

A sugárzó épületgépészeti rendszerek vizsgálata során fontos szerepet kap a sugárzási hőmérséklet aszimmetria és a várhatóan okozott elégedetlenség.

2.2.1.1. A sugárzási hőmérséklet aszimmetria alapfogalmai

A sugárzási hőmérséklet aszimmetria definícióját az MSZ EN 16798 tartalmazza, mely szerint a sugárzási hőmérséklet aszimmetria egy adott felületelem ellentétes oldalain adódó sík sugárzási hőmérsékletek különbségét jelenti. A jelenséget az 5-ös összefüggés mutatja:

$$AS = t_{sh1} - t_{sh2} \quad (5)$$

ahol:

AS – sugárzási hőmérséklet aszimmetria, °C,

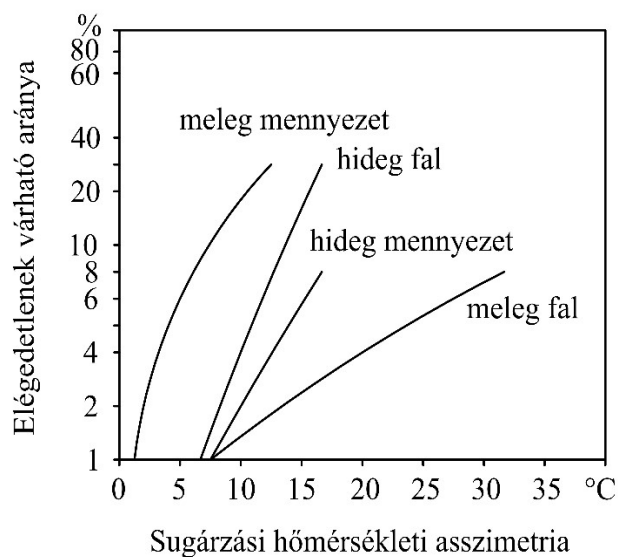
t_{sh1} – sík sugárzási hőmérséklet a felületelem egyik oldalán, °C,

t_{sh2} – sík sugárzási hőmérséklet a felületelem másik oldalán, °C.

A sík sugárzási hőmérséklet a helyiség azon egységes, homogén hőmérsékletét jelenti, mely mellett a felületelem egyik oldalára jutó sugárzás megegyezik a valós/nem egységes környezetben fellépő sugárzással. Ezt a hőmérséklet értéket kell kiszámolni egy adott felületelem két oldalára, a két érték különbségéből adódik a sugárzási hőmérséklet aszimmetria értéke. (Fanger, et al., 1980).

A sugárzási hőmérséklet aszimmetria emberre gyakorolt hatása ismert, ezt az MSZ EN 16798 elégedetlenségi arányként definiálja. A 2. diagram bemutatja az elégedetlenek százalékos arányát a következő esetekben:

- az elégedetlenek várható aránya meleg mennyezet által kiváltott sugárzási hőmérséklet aszimmetria esetén;
- az elégedetlenek várható aránya hideg fal által kiváltott sugárzási hőmérséklet aszimmetria esetén;
- az elégedetlenek várható aránya hideg mennyezet által kiváltott sugárzási hőmérséklet aszimmetria esetén;
- az elégedetlenek várható aránya meleg fal által kiváltott sugárzási hőmérséklet aszimmetria esetén;



3. ábra: Sugárzási hőmérséklet aszimmetria miatt kialakult elégedetlenség

A 2. diagramból kiolvasható, hogy az elégedetlenség legdinamikusabb növekedését a meleg mennyezet okozza. A MSZ EN 16798 különböző komfort kategóriákkal összerendelt, megengedhető sugárzási hőmérséklet aszimmetria értékeket definiál, ezt mutatja az 1 táblázat:

1. táblázat: Megengedett aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség - három kategória

Kategória	Sugárzási hőmérséklet aszimmetria [°C]			
	Meleg mennyezet	Hideg fal	Hideg mennyezet	Meleg fal
A	< 5	< 10	< 14	< 23
B	< 5	< 10	< 14	< 23
C	< 7	< 13	< 18	< 35

Az MSZ EN ISO 7726 alapján a sugárzási hőmérséklet aszimmetria akkor releváns, amikor közepes sugárzási hőmérséklet nem definiálja és írja le megfelelően a sugárzási környezetet. Ez főleg olyan esetben jellemző, amikor a sugárzás a helyiség ellentétes oldalairól érkezik jelentős hőmérsékletkülönbséggel. A sugárzási hőmérséklet aszimmetria definiálásához szükséges sík sugárzási hőmérséklet meghatározásához a következő adatok szükségesek:

- a helyiséget határoló szerkezetek felületének belső oldali hőmérséklete, °C
- a felületelem és a helyiség felületei közötti besugárzási tényező, -.

A besugárzási tényező a felület geometriai kiterjedésétől, alakjától és felületelemhez képesti helyzetétől függ (Fanger, 1982). Elméleti szinten a számítás során figyelembe kell venni az egyes felületekről visszavert sugárzást is, viszont az építőanyagok nagy emissziós tényezője (e) miatt megengedhető a visszaverődések elhanyagolása, a helyiség összes határoló szerkezete fekete testként kezelhető (Barna, 2012).

Ezekkel a feltételezésekkel élve, a sík sugárzási hőmérséklet a következők szerint írható le (Barna, 2012):

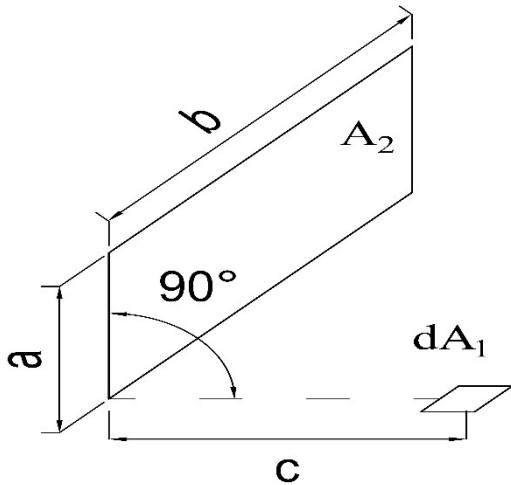
$$T_{pr}^4 = T_1^4 F_{p-1} + T_2^4 F_{p-2} + \dots + T_N^4 F_{p-N} \quad (6)$$

ahol,

- T_{pr} - a sík sugárzási hőmérséklet (K),
- T_N - az N felület hőmérséklete (K),
- F_{p-N} - a felületelem és az N felület közötti besugárzási tényező.

A besugárzási tényező definiálása négyszög alakú síkelem és vele párhuzamos vagy rá merőleges felületek esetén a következők szerint számolható:

A besugárzási tényező számítása négyszögletes felület és rá merőleges sík felületelem között ISO7726:



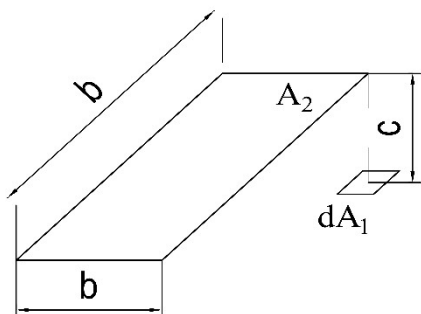
$$F_{d_{1-2}} = \frac{1}{2\pi} \left(\tan^{-1} \frac{1}{Y} - \frac{Y}{\sqrt{X^2+Y^2}} \tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{X^2+Y^2}} \right) \quad (7)$$

ahol

$$X = \frac{a}{b}, Y = \frac{c}{b}$$

4. ábra: A besugárzási tényező számítása négyzetleges felület és rá merőleges sík felületelem között

A besugárzási tényező négyzetleges felület és vele párhuzamos sík felületelem között az alábbi összefüggéssel számítható:



$$F_{d_{1-2}} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \tan^{-1} \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \tan^{-1} \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) \quad (8)$$

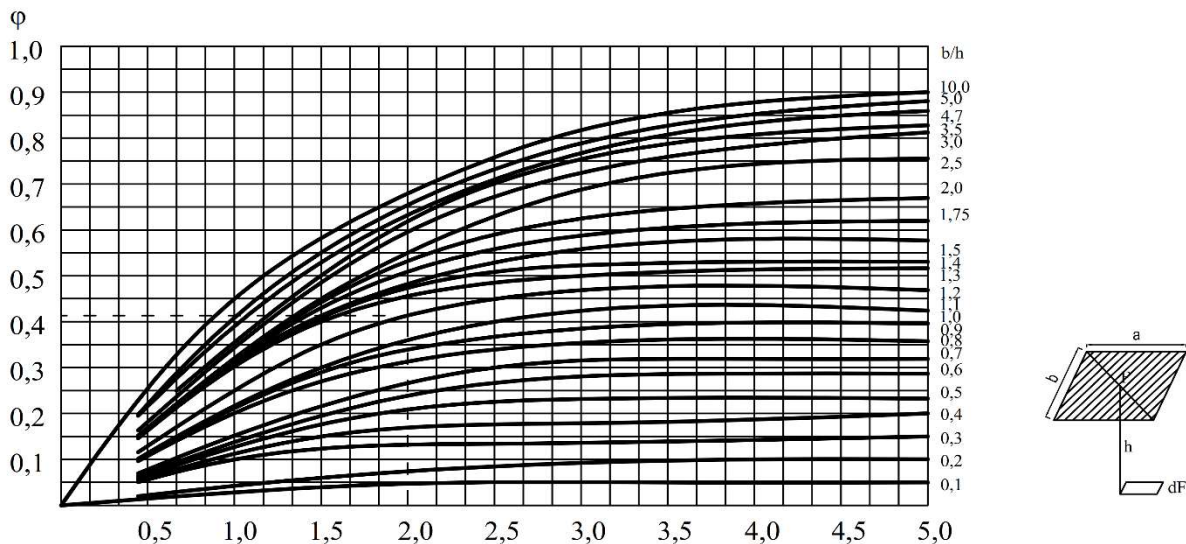
ahol,

$$X = \frac{a}{c}, Y = \frac{b}{c}$$

φ

5. ábra: A besugárzási tényező számítása négyzetleges felület és vele párhuzamos sík felületelem között

A 8. összefüggés eredményei használhatóak mennyezeti sugárzó fűtések esetén, ezekben az esetekben az emberi koponya tekinthető felületelemként. A besugárzási tényezők leolvashatóak a 1. ábráról.



6. ábra: A besugárzási tényező meghatározása abban az esetben, ha a síkkal párhuzamos felületem annak középpontja alatt van

A sugárzási hőmérséklet aszimmetriával kapcsolatos további kutatási eredményeket a 2.2.1.2. fejezet tartalmazza.

2.2.1.2. A sugárzási hőmérséklet aszimmetriával kapcsolatos kutatási eredmények

Olesen és munkatársai (1983) egyszerűsített módszert mutattak be a sugárzási hőmérséklet aszimmetria számítására. A kutatók szerint amennyiben nincs fokozott eltérés a felületi hőmérsékletek között, akkor nem szükséges a hőmérséklet negyedik hatványával számolni. A módszert hideg felület által okozott diszkomfort vizsgálatára dolgozták ki és a 9. összefüggést ajánlották:

$$t_{pc} = F_{e-w} \cdot t_w + (1 - F_{e-w}) \cdot t_0 \quad (9)$$

ahol,

F_{e-w} – az ablak besugárzási tényezője, -;

t_w – az ablak hőmérséklete, °C;

t_0 – operatív hőmérséklet, °C.

A sugárzási hőmérséklet aszimmetria kutatása sokszor csatlakozik a közepes sugárzási hőmérséklet kutatásával (Barna2012) (Zmeureanu, et al., 2003). A közepes sugárzási hőmérsékletet egy egységes felületi hőmérsékletű helyiség hőmérsékletével lehet definiálni, mely esetén a bent tartózkodó személy sugárzásos hőcseréje ugyanakkora, mint a valós, nem egységes felületi hőmérsékletű helyiségben (Fanger, et al., 1980). A közepes sugárzási hőmérséklet meghatározásához szükséges a szögtényező definiálása. A szögtényező és a besugárzási tényező közötti tartalmi különbség Macskásy és Bánhidi megfogalmazásában a következő (Macskásy & Bánhidi, 1985):

A szögtényező tulajdonképpen besugárzási tényező, amely azonban nem egy fél- hanem az egész gömbfelületre vonatkozik. Éppen ezért, hogy a két különböző meghatározásra elnevezést adjunk; a félgömb esetében besugárzási, a gömbfelület esetében pedig szögtényezőről beszélünk. (Macskásy és Bánhidi, 1985).

A szögtényező meghatározásához szükséges nomogramok kidolgozása szintén Fangerhez köthető (Fanger, 1982), ezek a nomogramok kerültek be az Európában használt szabványokba.

Barna Edit doktori disszertációjában összefoglaló írást közölt a sugárzási hőmérséklet aszimmetriával kapcsolatos kutatási eredményekről (Barna, 2012), ennek fontosabb elemei időrendi sorrendben alább olvashatóak.

Fanger és munkatársai (Fanger, et al., 1980) a fej felett elhelyezett sugárzó rendszer vizsgálata során a fej környéki túlmelegedés és a láb környéki túlhűlés miatti komfort panaszokat rögzítették. A kutatás során élőalanyos és műemberes vizsgálatokat is végeztek, mindkét módszer ugyanazt az eredményt hozta. A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség és az aszimmetrikus sugárzás közötti kapcsolatként pedig rögzítették, hogy a 5%-os elégedetlenséghez 4 °C-os aszimmetrikus sugárzás társítható.

Langkilde és munkatársai (1985) infravörös sugárzók vizsgálata során azt állapították meg, hogy ipari környezetben a meleg mennyezet által okozott aszimmetrikus sugárzás határértéke az előírt maximális értéket meghaladhatja. Az általuk javasolt megengedhető határérték 10-14 °C.

Huizenga és munkatársai (2004) kutatásának célja az volt, hogy kapcsolatot teremtsenek a lokális és globális hőérzet között, valamint a bőr- és maghőmérséklet között. Kutatásuk során élőalanyos vizsgálatokat végeztek, az alanyokat részleges vagy a teljes testre hatást gyakorló fűtésnek és hűtésnek tették ki. A kutatás eredményeként megállapították, hogy a lokális hűtés nagyobb fiziológiai választ vált ki, mint a fűtés.

Arens és munkatársai (2006) kétrészes tanulmányuk keretében a személyek közötti komfortérzet különbségeket vizsgálták a teljes testre és egyes testrészekre. Vizsgálták, hogy hogyan változik a hő- és komfortérzet a környezet gyors változásának hatására. Megállapították, hogy az élőalanyok általánosságban a fej környékét melegebbnek érzik, mint a test többi részét, továbbá a lábfej környékén a hőérzet hidegebb, mint a test többi részén.

Atacama és munkatársai (2007) vizsgálták a helyiségek határoló felületeinek hatását az emberi hőérzetre. Kihangsúlyozták, hogy sok esetben az ideális hőkomfort elérése érdekében nem elégséges a levegő hőmérsékletének és a páratartalmának szabályozása, hanem egyúttal rendkívül fontos figyelni a közepes sugárzási hőmérséklet befolyásolására. Másrészt kihangsúlyozták, hogy a kutatások során nem elfogadható az a feltételezés, miszerint a sugárzási hőmérséklet és a levegő hőmérséklet megegyezik.

Sakai és munkatársai (2007) a bőrhőmérséklet változását és a hőveszteség miatt érezhető hőkomfort hatást kutatták a teljes testre, illetve a test bizonyos részeire különböző hőmérsékleti aszimmetria előállása esetén. A kutatásuk eredményeként kijelentették, hogy a különböző testrészek bőrhőmérséklete a környezet homogenitásától függ, míg az átlag bőrhőmérséklet hozzávetőleg állandó.

Frohner (Frohner, 2006) értekezésében több, jellemzően német irodalomban előforduló sugárzási hőmérséklet aszimmetria modellt ismertet. Az eredmények rövid összefoglalását a következő bekezdések tartalmazzák.

Bernd Glück (Glück, 1997) az elemi kockának tekintett vizsgálóelemet a padlótól 1,3 m magasságra helyezte el, ezzel modellezve az emberi fejet. A vizsgálóelem 5 oldalát modellezte, azzal a feltételezéssel élve, hogy a fejnek nincs hőleadása a törzs fele. Glück értelmezésében a sugárzási hőmérséklet aszimmetria egyenlő az ellenkező oldalak legnagyobb sugárzási hőmérsékletkülönbségével.

A vizsgálati módszer feltételezi, hogy először az oldalakkal párhuzamosan helyezett kockát kell vizsgálni, majd ezt a függőleges tengely körül 45 fokkal elforgatva ismételtén meg kell vizsgálni. A hőmérséklet aszimmetria a legnagyobb aszimmetria érték. Glück módszerével számított hőmérsékleti aszimmetria megengedett határértékei: meleg mennyezet $\leq 8,1$ K, hideg fal $\leq 8,4$ K, hideg mennyezet $\leq 14,3$ K, meleg fal $\leq 11,1$ K.

A DIN 1946/2 (1946-2, 1994) elemi felület helyett elemi gömböt alkalmaz vizsgálóelemnek. A szabvány definíciója szerint a sugárzási hőmérséklet aszimmetria „annak a két féltérnek a sugárzási hőmérséklet különbsége, amelyek elválasztó felülete párhuzamos a maximális hőmérséklet különbséggel rendelkező felületekkel”. A szabvány által meghatározott határértékek a következők: meleg mennyezet $\leq 3,5$ K, hideg fal ≤ 8 K, hideg mennyezet ≤ 17 K, meleg fal ≤ 19 K

Froher (Frohner, 2006) értekezésében szerkesztéses módszert alkalmazott a besugárzási tényezők meghatározására, ezekkel számolt sugárzási aszimmetria értékeket. Froher szerint a határértékek a következők: meleg mennyezet $\leq 6,5$ K, hideg fal $\leq 10,5$ K, hideg mennyezet $\leq 14,5$ K, meleg fal ≤ 15 K.

Fontos megjegyezni, hogy az előző három megközelítés közül egyik sem szerepel az Európa szinten használatos és elismert szabványokban.

A sugárzási hőmérséklet aszimmetria és a felülettemperáló rendszerek vizsgálata összefonódik, hiszen annak érdekében, hogy a tér és a sugárzó felület között sugárzásos hőcsere jöjjön létre, hőmérsékletkülönbségre van szükség, mely sugárzási hőmérséklet aszimmetriát idéz elő. A sugárzó rendszerek azok a rendszerek, ahol sugárzással biztosítjuk a hőigény legalább 50%-át (ASHRAE, 2012).

2.2.2. A huzathatás

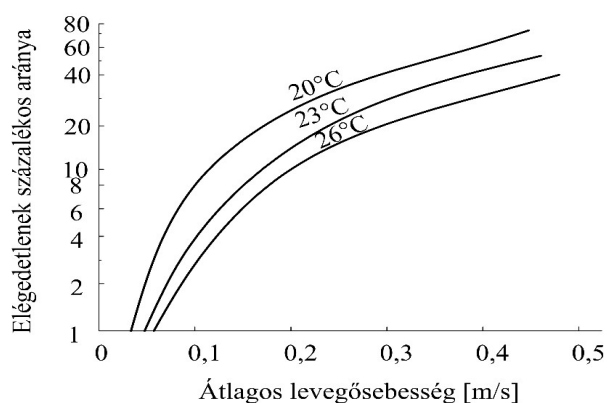
A lokális diszkomfort tényezők közül kifejezetten fontos a huzathatás. A huzathatás főleg irodaépületek vagy egyéb kereskedelmi épületek tervezése során kerül előtérbe. Az MSZ EN 16798 szabvány 3 épület kategóriát különböztet meg: A, B, C. Az ezt követő európai szabványok is szintén definiálták a megengedhető huzatérzetet, pontosabban a huzatérzet által előidézett elégedetlenség százalékos arányának megengedhető maximumát, mely a szabvány szerint a következő:

- A kategória: 15%
- B kategória: 20%
- C kategória: 25%.

A huzathatás kutatása téli esetben rendkívül fontos, hiszen kritikus esetet idéz elő, fokozza a hőleadást, ami az általános hőérzetet rontja. Nyári esetben viszont akár hasznosítható is lehet, ezt a tényezőt használják ki sokszor az egyéni szellőztetés (angol nevén a personalized ventilation) (Kalmár & Kalmár, 2013).

2.2.2.1. Alapfogalmak

A huzathatás a levegő áramlása által előidézett jelenenség, mely a test egyes részeinek lokális lehülését eredményezi (Fanger & Christensen, 1986) (Charles, 2003). A huzathatás a belső hőmérséklet növelésével csökkenthető (ASHRAE, 2005).



7. ábra: Az elégedetlenek százalékos aránya az átlagos légsebesség függvényében

Az ideális hőkörnyezet és ezáltal az optimális hőkomfort kialakulásához nem elég a PMV modell szerint optimális hőkörnyezetet előállítani, hanem a huzathatást is megfelelő érték alatt kell tartani (Fanger, 1970).

A huzat értékelésére szolgál a szubjektív huzatérzeti érték, mely az átlagos légsebesség, a sebesség időbeli ingadozása, valamint a levegő hőmérsékletének függvénye (Fanger, et al., 1989):

$$DR = (34 - t_{mean}) \cdot (u_{mean} - 0,05)^{0,62} \cdot (0,37 \cdot Tu \cdot u_{mean} + 3,14) [\%] \quad (10)$$

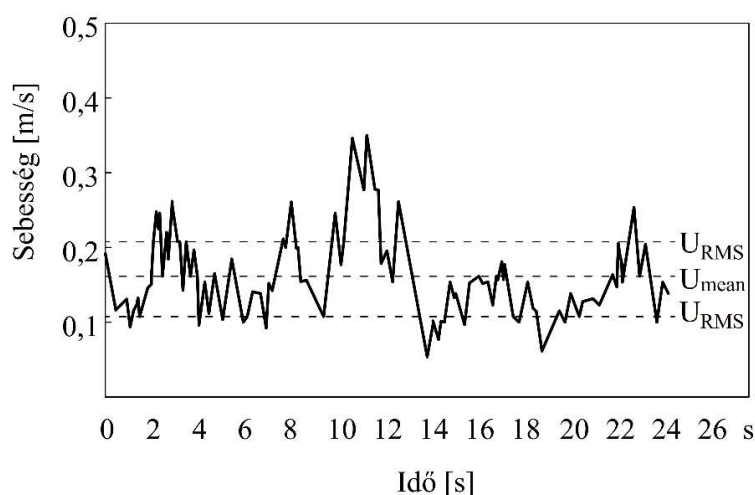
A modell alkalmazásának peremfeltételei a következők:

$$20 < t_{mean} [^{\circ}\text{C}] < 26; \quad (11)$$

$$0,05 < t_{mean} [^{\circ}\text{C}] < 0,5; \quad (12)$$

$$0 < Tu [\%] < 70. \quad (13)$$

A huzatérzet kialakulásához az átlagsebesség mellett az áramló levegő fluktuáló komponense is hozzájárul (Fanger & Pedersen, 1977).



8. ábra: A légsebesség idő szerinti változása [8]

Goda összegezte a huzattal kapcsolatos alapismereteket és összefoglalót készített a turbulencia fokról is (Goda, 2013).

A levegő sebessége egyenlő az átlagsebesség és erre az értékre rátevődő időben változó sebesség átlagának összegével (Magyar, 2008):

$$u(\tau) = u_{mean} + u_{RMS} \quad (14)$$

Ahol az átlagsebesség:

$$u_{mean} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T u(\tau) \cdot d\tau \left[\frac{m}{s} \right] \quad (15)$$

A fluktuáló sebességkomponens pedig:

$$u_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T (u - u_{mean})^2 \cdot d\tau \left[\frac{m}{s} \right]} \quad (16)$$

A huzathatást a levegő átlagos sebességén kívül a turbulencia-fok is jelentősen befolyásolja. A turbulencia-fok a változó sebességkomponensének négyzetes integrálközepértéke és az átlagsebesség százalékos aránya (Fanger, et al., 1989):

$$Tu = \frac{u_{RMS}}{u_{mean}} \cdot 100 [\%] \quad (17)$$

$$u(\tau) = u_{mean} + u_{RMS} \quad (18)$$

Ahol az átlagsebesség:

$$u_{mean} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T u(\tau) \cdot d\tau \left[\frac{m}{s} \right] \quad (19)$$

A fluktuáló sebességkomponens pedig:

$$u_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T (u - u_{mean})^2 \cdot d\tau} \left[\frac{m}{s} \right] \quad (20)$$

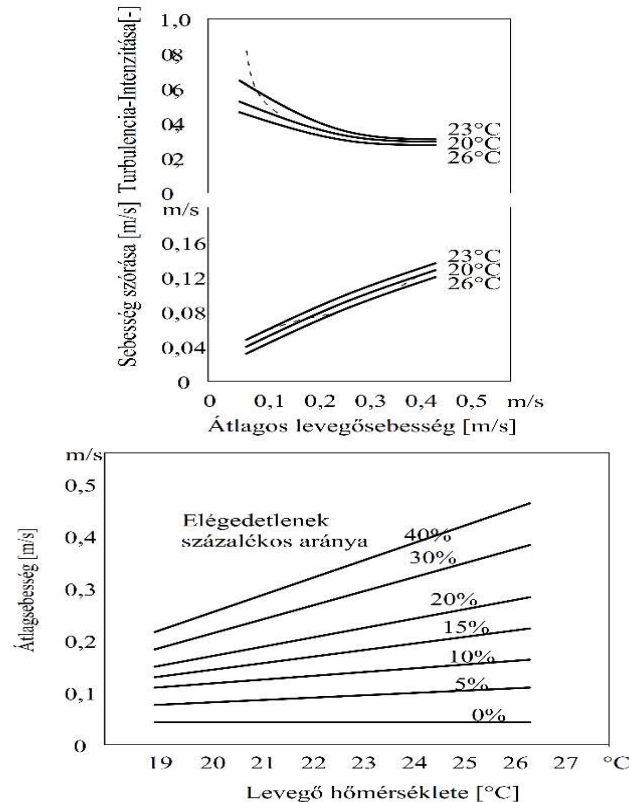
(Magyar, 2008)

A turbulencia fok és turbulencia intenzitás megkülönböztetéséhez fontos megjegyezni:

- Turbulencia-fok: százalékos értéket használjuk a turbulencia mértékének kifejezésére;
- Turbulencia-intenzitás: az u_{RMS}/u_{mean} hányadost vesszük figyelembe (Goda, 2013).

A huzathatás és a turbulencia intenzitás vizsgálatának és a kutatásnak kezdeti feltétele az áramlás turbulens mivolta (Fanger & Kelinkov, 1989). Az épületgépészeti gyakorlatban a turbulencia fok értéke az esetek többségében 0..80% között változik (Kovanen, et al., 1989; Hanazawa, et al., 1987; Chow, et al., 1996).

A huzatkritérium ellenőrzése érdekében rendelkezésre állnak huzatdiagramok. A diagramokról leolvasható, hogy az átlagos légsebesség növelésével, állandó belső hőmérséklet mellett csökken a turbulencia-intenzitás, ezáltal pedig a DR számértéke változik.



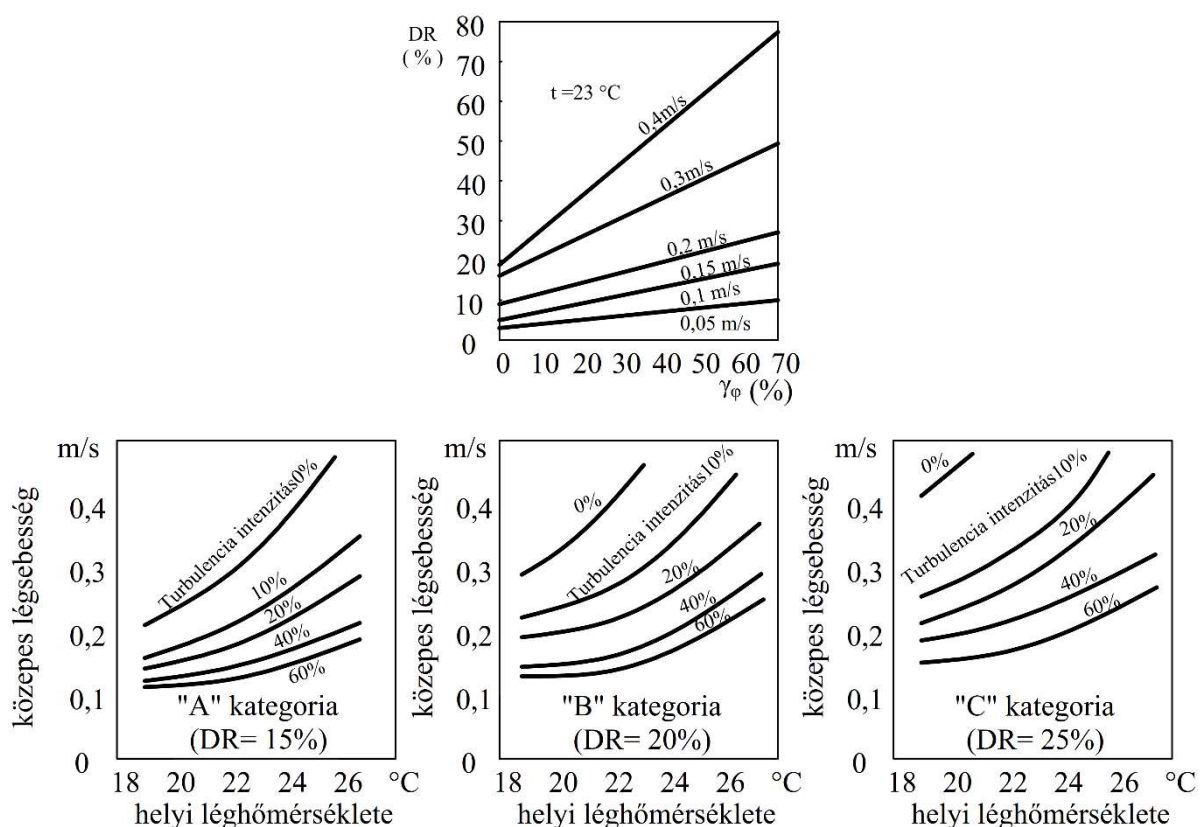
9. ábra: Turbulencia-intenzitás és légsebesség változása a hőmérséklet függvényében

Az épületgépészeti gyakorlatban a huzathatást a DR tényező maximális értékének megadásával definiálták. Az MSZ CR 1752:2000 szabvány A, B és C osztályt definiál a következők szerint (Goda, 2013):

2. táblázat: Komfortparaméterek kategóriák függvényében

Kategória	A teljes testfelület termikus állapota		Helyi diszkomfort			
	Hőérzettel elégedetlenek százalékos aránya PPD [%]	Várható hőérzeti érték PMV [-]	Huzathatással elégedetlenek százalékos értéke DR [%]	Hőmérsékletkülönbséggel elégedetlenek százalékos mértéke [%]	Hideg-meleg padlóval elégedetlenek százalékos értéke [%]	Sugárzási aszimmetriával elégedetlenek százalékos értéke [%]
A	< 6	-0,2 < PMV < +0,2	< 15	< 3	< 10	< 5
B	< 10	-0,5 < PMV < +0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	-0,7 < PMV < +0,7	< 25	< 10	< 15	< 10

A szabvány tartalmaz huzatdiagramokat is.



10. ábra: Huzatdiagramok

(Fanger, et al., 1988)

Az MSZ EN ISO 7730 szabvány definiálja a huzattal elégedetlenek százalékos arányát, a DR értéket. A szabvány mellékletében továbbá megtalálható a tartózkodási zónában megengedett átlagos légsebesség, melyet a belső levegő hőmérséklet és a turbulencia-intenzitás függvényében definiál A kategóriára (DR=15%).

Az MSZ EN ISO 7726 szabvány definiálja azokat a magassági értékeket, melyekre mérni kell a levegő átlagsebességét, turbulencia-intenzitását és hőmérsékletét és melyeket a kutatásom során én is figyelembe vettem. Ezek az értékek alulról felfele:

- bokamagasság: 10 cm,
- ülő ember derékmagassága: 60 cm,
- álló ember derékmagassága: 110 cm,
- ülő ember fejmagassága: 110 cm,
- álló ember fejmagassága: 170 cm.

2.2.2.2. A huzathatással kapcsolatos kutatási eredmények

Goda foglalkozott a huzatkomforttal és a légvezetési rendszerrel szorosan kapcsolódó szakirodalom áttekintésével (Goda, 2013). Megállapította, hogy a huzattal kapcsolatos egyik legkorábbi eredmény Houghten nevéhez fűződik 1938-ban (Houghten, et al., 1938), itt a vizsgálatokat 10 élőalany bevonásával végezték, a mérési alkalmak pedig 30 percig tartottak. A vizsgálat eredménye, hogy a huzattal elégedetlenek százalékos aránya a légsebességgel növekszik, a hőmérséklet növelésével csökken.

Fanger és Christensen (Fanger & Christensen, 1986) három különböző helyiséghőmérsékleten vizsgálta a huzat hatását (20, 23 és 26 °C). Az elégedetlenek százalékos arányát a levegő sebességének és hőmérsékletének függvényében definiálták, figyelmen kívül hagyva a többi befolyásoló komponens. A vizsgálatokat három különböző magasságban végezték: 0,1 m; 0,6 m és 1,1 m.

Ezekre az eredményekre épül Fanger és Melnikov (Melnikov, et al., 1988) későbbi munkája, mely során élőalanyos vizsgálataikban már figyelembe vették a turbulencia-fok huzatra gyakorolt hatását is. Három különböző turbulencia-fok ($Tu < 12\%$, $20\% < Tu < 35\%$, $35\% < Tu$) és 0,05 és 0,4 m/s közötti sebességek mellett végezték a vizsgálatokat. A tanulmány eredményeként a szerzők meghatározták a DR huzat kritériumát a levegő hőmérséklete, sebessége és a turbulencia-fok függvényében.

Wang és munkatársai (2012) kidolgoztak egy olyan huzatérzeti mutatót, mely az eltelt időt is figyelembe veszi a huzat várható hatásának definiálásakor. A kutatók arra az eredményre jutottak, hogy a huzathatás időben nem állandó, az első 20 percen növekszik, majd kis mértékben csökken. Az időben változó elégedetlenségi arányt a következők szerint definiálták:

$$PD_{\tau} = \frac{\tau}{1,073 \cdot \tau + 11,62} \cdot (3,143 + 0,3696 \cdot u_{mean} \cdot Tu) \cdot (34 - t_{mean}) \cdot (u_{mean} - 0,05)^{0,6223} \quad (21)$$

Wang továbbá azt is vizsgálta (Wang, et al., 2011), hogy a kitétségi időn kívül a turbulencia-intenzitás változása befolyásolja-e a huzatérzetet. A huzathatás jelentősebb mértékű volt magasabb turbulencia intenzitás mellett, a bőrhőmérséklet jelentősebben csökkent, az alanyok a huzathatást kellemetlenebbnek érezték.

Toftum (Toftum, 2002) a levegő hőmérsékletén és a belső levegő hőmérsékleten kívül a huzat hatását említi, mint egyik legfontosabb hatást az emberi komfortérzetre, a huzathatás érzékelése még a belső levegő érzékelésére is hatással van.

Toftum (Toftum & Nielsen, 1996) 10 férfi élőalany bevonásával vizsgálta a huzatérzékelés hatásmechanizmusát. A kísérletben résztvevő élőalanyok ülőmunkát végeztek. A kísérlet során a levegő sebességét 0,05 m/s-ról fokozatosan 0,4 m/s-ra emelték, mindenik levegő sebesség mellett megkérdezték a résztvevőket, hogy érzik-e a légmozgást. Huzat leginkább a fej a nyak és a vállak környékén adódott. Emellett szignifikánsan kapcsolatot mutatott ki az általános hőérzet és a huzathatás

között. Szignifikánsan több élőalany jelezte, hogy a semlegesnél hidegebb környezetben jobban érezték a huzat hatását.

Kalmár Ferenc és Kalmár Tünde (Kalmár & Kalmár, 2013) kihangsúlyozták a huzat hasznos alkalmazhatóságát. Kiemelték, hogy a huzat általában kerülendő, viszont hűtési esetben a test körüli fokozott légáramlás elősegítheti az melegérzet csökkentését és az optimálishoz közelebb komfortérzet beállítását. Fontos információ, hogy a hidegérzet receptorainak száma magasabb, mint a melegérzet receptorainak száma, és a hidegérzet terjedési sebessége hozzávetőleg egy nagyságrenddel nagyobb, mint a melegérzet terjedési sebessége, ezért a huzathatásra fűtési esetben kiemelten kerülendő, nyári esetben viszont hasznosítható. Ezt a hatást használják ki a személyre szabott szellőzési rendszerek (personalized ventilation).

A hidegérzet gyors terjedése miatt kérdéses, hogy téli esetben a huzat más lokális diszkomfort tényezővel hogyan érzékelhető. Craenendonck és munkatársai (2019) a hideg fal és a huzat együttes hatását vizsgálták. A vizsgált hőkörnyezet egy nem megfelelően kivitelezett épület csomópontjai miatt állhat elő. A kutatás során arra az eredményre jutottak, hogy a hideg fal diszkomfort hatása eltörlődik a huzathatás mellett, a jelenség nem additív. Ellentétes hatásuk miatt kérdéses, hogy a meleg mennyezet által okozott sugárzási hőmérséklet aszimmetria és a huzat együttes hatásmechanizmusa hogyan alakul. Erre a kérdésre kerestem kutatásom során a választ.

Wu és munkatársai (2017) mennyezet és padlófűtéssel ellátott helyiségek esetén vizsgálta a szellőzés hatását hígításos és elárasztásos légvezetési rendszerek esetén. A kutatás során PMV, vertikális hőmérséklet eloszlást és nyak környéki huzatértéket mértek. Az eredmények és eloszlások a tervezési, üzemeltetési gyakorlatban jelenthetnek segítséget.

Garbai László vezetésével, Bartal Imre (Bartal, 2012) a hideg fal és a légáramlás együttes hatását vizsgálta. A komfortegyenletet valószínűségi térbe helyezte, meghatározva a bőrhőmérséklet és az izzadással leadható hőmennyiség várható értékért, és szórását. Definiálta az egyes paraméterek egységnyi változására adott más paraméter változását annak érdekében, hogy a komfortegyenlet még teljesüljön. Meghatározta a PMV index érzékenységét a befolyásoló paraméterek deriválása segítségével.

A huzat megítélésére szolgáló további fontos módszer az ADPI index (Air Distribution Performance Index) is, mely azt mutatja, hogy a helyiségben tartózkodó személyek hány százaléka elégedett a térrel. Az index figyelembe veszi a légsebességet és hőmérsékletet, viszont figyelmen kívül hagyja a turbulencia intenzitást.

Utóbbi paramétert az MSZ EN 13779 szabvány a DR számításhoz a következők szerint javasolja: keveréses vagy hígításos légvezetési rendszerek esetén 40%, elárasztásos légvezetési rendszer esetén a 20%.

2.3. Élőalanyos kísérletek

Ahhoz, hogy a mikroklimatikus viszonyok emberre gyakorolt hatása hőérzetté és elégedetlenségi szavazattá vagy akár munkavégzési hatékonysági mutatóvá alakítható legyen, szükség van élőalanyos mérésekre. Ez a fejezet az élőalanyos mérésekkel kapcsolatos szakirodalmi áttekintést tartalmazza.

2.3.1. Élőalanyos módszerekkel kapcsolatos kutatási eredmények

Liu és munkatársai (2013) a közepes sugárzási hőmérséklet bőrhőmérsékletre gyakorolt hatását vizsgálták stacioner és instacioner hőkörnyezetben, élőalanyos módszerek segítségével. Arra az eredményre jutottak, hogy a közepes sugárzási hőmérséklet csökkentése során, ugyanannál a közepes

sugárzási hőmérséklet értéknél a bőrhőmérséklet magasabb volt, mint ugyanazon közepes sugárzási hőmérséklet mellett, a közepes sugárzási hőmérsékletet növelése során. A kutatásuknak ez az eredménye bizonyítja az emberi szervezet adaptálódási képességét. A kutatásomra levetítve ez azt jelenti, hogy az élőalanyos mérések során az első mérési adatok begyűjtése előtt megfelelő adaptációs időt kell biztosítani az élőalanyoknak.

He és munkatársai (2015) mennyezethűtéssel üzemelő irodákban végeztek műszeres és élőalanyos helyszíni méréseket. Az eredmények során a közepes sugárzási hőmérséklet jobban korrelált a hőérzettel és a hőkomforttal, mint a levegőhőmérséklet. A kísérlet során a különböző testrészek hőérzetének és a teljes test hőérzetének viszonyát is vizsgálták, megállapították, hogy a fej tájékán érzett hőérzet jól korrelál a teljes testre vonatkozó hőérzettel. Ez az információ jelen kutatás szempontjából azért releváns, mert kihangsúlyozza, hogy amennyiben nem homogén hőkörnyezetben kell hőkomfortra optimalizálni, akkor a paramétereket az élőalany fejmagasságában kell mérni.

He és munkatársai (2016) egy másik kutatás során is hasonló eredményekre jutottak, amikor hallgatók általános hőérzetét és helyi hőérzetét vizsgálták. A vizsgálat ebben az esetben is helyszíni műszeres és élőalanyos mérésből állt, eredményeként ebben az esetben is azt találták, hogy a fejnél tapasztalható helyi hőérzet korrelál a leginkább a teljes hőérzettel.

Toftum és munkatársai (1998) a nedvesség hőkomfortra gyakorolt hatását vizsgálták. Egy harmincnyelc élőalanyal elvégzett kísérlet során különböző hőmérsékletek és páratartalom értékek mellett vizsgálták az élőalanyok hőkomfortját. Arra az eredményre jutottak, hogy a túl magas páratartalom hatással van arra, ahogyan az emberek a levegő hőmérsékletét és minőségét érzik. Jelen kutatás szempontjából ez az eredmény azért fontos, mert rávilágít, hogy a páratartalom megfelelő intervallumban tartása a mérések során kulcsfontosságú.

Kalmár Ferenc és munkatársai (2018) analitikus módon vizsgálták a hőkomfortot, illetve a fal által előidézett sugárzási hőmérséklet aszimmetria hatását teremgeometria és a külső fal hőtechnikai tulajdonságai alapján. A kísérlet során a külső fal és a vele szemben levő falfügés által előidézett diszkomfort hatást vizsgálták. A kutatás egyik eredménye, hogy még szigetetlen falak esetén sem várható diszkomfort érzet. Továbbá kiemelték, hogy a komfort meghatározásánál rendkívül fontos az alany pozíciója, tehát élőalanyos kutatások során rendkívül fontos, hogy az alanyok térbeli helyzete mindig ugyanaz legyen.

Kalmár Ferenc és munkatársainak (2012) kutatási célja az volt, hogy vizsgálják a helyiség geometriájának és a közepes sugárzási hőmérsékletnek a hatását a hőkomfortra. Arra az eredményre jutottak, hogy adott helyiségkialakítás esetén létezik egy bizonyos magasság, melyre a közepes sugárzási hőmérséklet minimális. Kihangsúlyozták, hogy az ember helyiségben elfoglalt pozíciója befolyásolja a közepes sugárzási hőmérsékletet.

2.3.1.1 Élőalanyos kísérletek tervezése

Az élőalanyos mérések tervezése során oda kell figyelni a pontos, minden esetben megegyező és reprodukálható tervezésre. Fontos szempont továbbá a kísérletben résztvevők száma, a kísérlet hossza, a kitettségi idő stb.

Craenendock és munkatársai (2018) összefoglaló tanulmányt készítettek, mely felsorakoztatja a legfontosabb hőkomforttal kapcsolatos kutatási módszereket. A tanulmány kontrollált és részben kontrollált hőkomfort környezeteket vizsgál. A jelen kutatás során a kontrollált környezetre összegyűjtött információkat vettem figyelembe. Stijn 206 élőalanyos módszerrel foglalkozó cikk figyelembevétele alapján megállapítja, hogy az élőalanyos mérések átlagos alany száma 23.5 fő.

Wang és munkatársai (2013) külső hideg fal miatt okozott aszimmetrikus sugárzás hatást vizsgálták 20 élőalany bevonásával. A kutatás során kimutatták, hogy 20 élőalany bevonása biztosítja a kísérlet megfelelő elvégzését és megfelelően reprezentatív eredményt nyújt.

Wyon (Wyon, 2001) összefoglalta az élőalanyos mérések során használt metodológiát. A fenti eredményekkel és módszerekkel összhangban az ő munkája alapján is 20 élőalany bevonása szükséges a reprezentatív eredmények elérése érdekében.

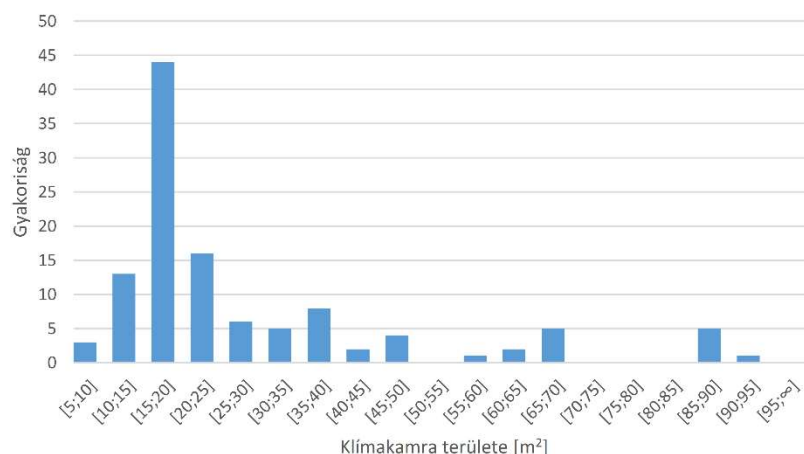
Jelen kutatás során, a fenti eredményekkel összhangban 20 élőalany, 10 nő és 10 férfi bevonásával vizsgáltam a huzat és aszimmetrikus sugárzás együttes hatását.

A kísérlet tervezésénél nemcsak az összes alany száma volt fontos, hanem a mérőkamrában egyszerre bent tartózkodók számának meghatározása is. Craenendock munkája szerint az átlagosan bent tartózkodó alanyok száma 4.4. A jelen kísérlet tervezése során azért döntöttem úgy, hogy egyszerre csak 1 ember tartózkodhat a mérőkamrában, mert így biztosíthattam, hogy nem vonják el egymás figyelmét a feladatokról. Továbbá ugyanezen forrás alapján a kísérletek túlnyomó többségében a ruházat feltételezett szigetelő képessége 1 clo. A jelen kutatás során is téli esetet és irodai munkavégzést feltételeztem, ezért az élőalanyokkal folytatott mérések előtt mindig meggyőződünk, hogy ez az érték teljesüljön.

Az komfortot befolyásoló paramétereket mérő élőalanyos kísérleteket különböző helyiségekben lehet megtartani. Ezek alapvetően három típusba sorolhatóak:

- Meglévő helyiségek, melyekbe olyan épületgépészeti rendszereket telepítenek, melyekkel pontosan lehet tartani a hőkomfortot befolyásoló paramétereket (fűtés, hűtés, páratartalom kezelés).
- A második opció egy meglévő terem egy, leválasztott része, amelyben kialakítható egy, a mérést lehetővé tevő helyiség.
- A harmadik lehetőség egy tényleges hőérzeti mérőkamra, ahol minden hőkomfort paraméter precízen szabályozható.

Összefoglaló tanulmányában Craenendock összegezte a kutatások során használt mérőkamrák méretét, melyből látható, hogy a méréseim során használt mérőkamra alapterülete (16 m²) megegyezik a leggyakrabban használt kamrák méretével.



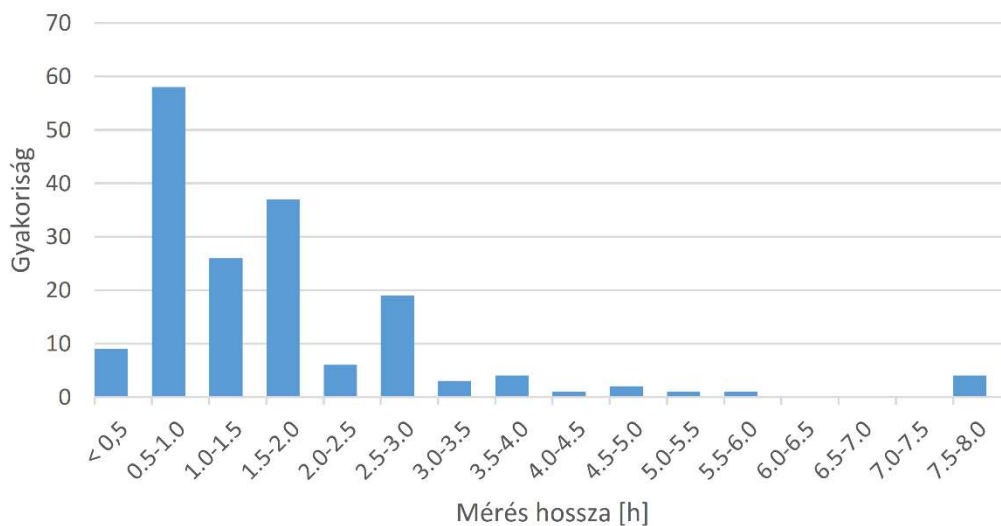
11. ábra: Mérőkamra alapterülete - irodalomkutatás

Élőalanyos kísérletek során fontos az akklimatizációs idő biztosítása. Craenendock összesen 147 kutatást sorolt fel, amelyben az élőalanyok kaptak akklimatizációs időt. Az akklimatizációra vagy egy előtérben van vagy a tulajdonképpeni mérőkamrában került sor. Az esetek túlnyomó részében az alanyoknak ezen időszak alatt bemutatták a kérdéseket. Néhány esetben az alanyok előzetes kérdőíveket

töltötték ki személyes adatokkal, egészségi állapottal, alvással kapcsolatosan. Az akklimatizációs idő átlagosan 20.7 perc.

Jelen kutatás esetében 30 perc volt az akklimatizáció, előtte figyeltem arra, hogy az alanyok tevékenységi szintje minden esetben megegyezzen. A mérést megelőző időszakban az alanyok általános állapotfelmérő kérdőívet töltötték ki.

Az élőalanyos kísérletek tervezése során további fontos kérdés a mérés időtartama. Craenendock 147 esetben talált utalást az élőalanyos kísérletek pontos időtartalmára, az átlagos időtartam 114.9 perc. A 9. diagram a kísérlet időtartamának gyakoriságát mutatja:



12. ábra: Élőalanyos mérések hossza - irodalomkutatás

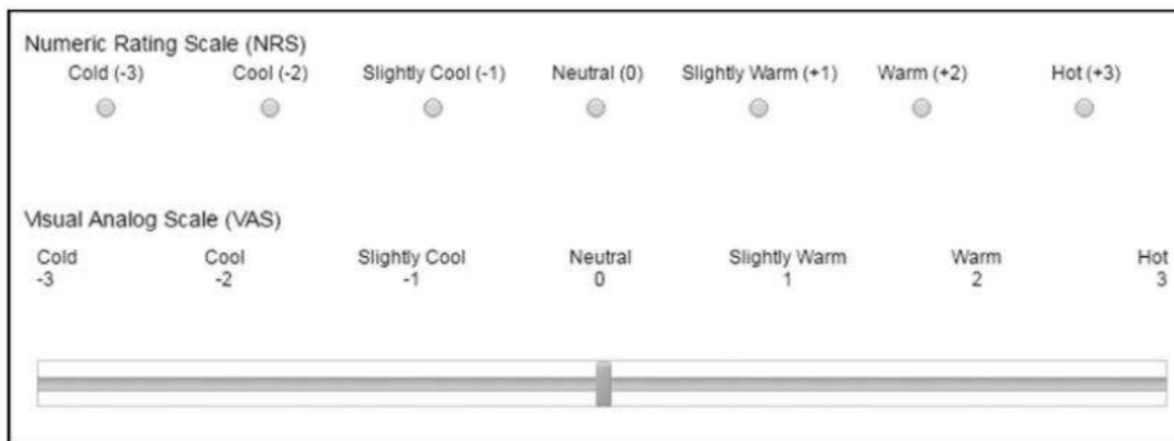
Wyon (Wyon, 2001) tanulmánya szerint az időbeli oszcillációk kiszűrése érdekében legalább 2,5 óras kísérleteket kell végezni. Ezért a kutatásom során 3 óras kísérletekben mértem a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenséget, az általános hőérzetet és a munkavégzés hatékonyságát.

Craenendock továbbá rögzíti, hogy az élőalanyok pozíciója a mérőkamrában az esetek túlnyomó részében ülő pozíció, további esetekben fekvő vagy álló. További kísérletek estén az alanyok szobabiciklin vagy futópádon sétálnak vagy futnak. A kísérletek a tevékenységi szintet az esetek túlnyomó részében állandó értéken tartották.

Ugyanebből az összefoglaló tanulmányból kiderül, hogy az élőalanyos kísérletek során leggyakrabban felmért mutatók a hőérzeti mutatók és a hőkomfort mutatók.

A komfortkutatások során léteznek unipoláris vagy bipoláris skálák. Az unipoláris skála egy irányba növekszik, ilyen például az elégedetlenség százalékos értéke (PD), míg a bipoláris skálák mindkét irányba növekednek, ilyen például az AMV érték.

A skálák továbbá lehetnek numerikusak vagy analóg skálák. A numerikus skálák esetén az alany meghatározott értékek közül választhat. Az analóg skálák esetén az alanynak lehetősége nyílik a meghatározott értékeken kívül köztes értékekre is szavazni. Az 4. ábra egy példát mutat analóg és numerikus skálára (Numeric Rating Scale, Visual Analog Scale).



13. ábra: NRS és VAS komfortskálák

Jelen kutatás során használt kérdőívek és a metodológia pontos bemutatását az 3.6. fejezet tartalmazza.

Az elolvasott szakirodalmak közül a kutatásom során Wyon (Wyon, P.D, 2001) hőkomfort metodológiáról szóló cikke kiemelkedően hasznosnak bizonyult. Wyon 25 szempont vizsgálatán keresztül ismerteti a tapasztalatait és a nemzetközi gyakorlatban leginkább elterjedt módszereket, melynek legfontosabb szempontjai a következők:

- Élőalanyos mérések időtartama:
 - o A mérések során rendkívül fontos, hogy az alanyok megfelelően hosszú ideig tartózkodjanak a vizsgálni kívánt hőkomfort körülmények között. Ez azért fontos, mert a modellezett körülményekre adott fiziológiai és hőkomfort válaszreakciók időben változhatnak. Wyon a laboratóriumi mérésekre 3-5 órás intervallumot javasol.
- Vizsgált alanyok száma:
 - o Az időtartalom mellett a második legfontosabb tényező a kísérletben részt vevő alanyok száma. Wyon szerint az élőalanyos kísérletek során a hőkomfort vizsgálatára 10-15 fő szükséges, a munkavégzés hatékonyságának mérése céljából minimum 20 fő szükséges.
- Alanyok egészségi állapota:
 - o Wyon szerint bizonyos megbetegedések hatással lehetnek a hőkomfort érzékelésre, ezért a beteg alanyokat érdemes kiszűrni.
- Munkavégzés a kísérlet alatt:
 - o Wyon rávilágít, hogy a kapcsolat van a metabolizmus és az ülő munka között, ezért fontos, hogy a kísérletben részt vevő alanyok valamilyen szellemi munkát végezzenek.
- Munkavégzés hatékonyságának mérése:
 - o Alapvető szempontként ismerteti Wyon, hogy a munkavégzés hatékonyságának mérése során rendkívül fontos a gyorsaság és a pontosság szimultán mérése. A munka gyorsaságának növekedése sokszor a pontosság csökkenésével jár vagy fordítva. Ez a 'speed-accuracy trade-off'-ként ismert jelenség.

2.3.1.2. Nemek közti különbségek

A komfortelmélet egyik nagy kérdése az emberi különbségek és ezen belül főleg a nemek közötti különbség, valamint annak kérdése, hogy elhanyagolható vagy sem a nemek közötti hőérzetbeli különbség.

Kim és munkatársai (2015) vizsgálták a nemek közti különbséget a hőkomfort és belső levegőminőséggel kapcsolatos kutatásukban. A szerzők szerint a nők elégedetlenebbek a hőkomforttal,

a belső levegő minőségével, az akusztikai komforttal és a vizuális komforttal, mint a férfiak. A nemek közti különbség akkor is markánsan kimutatható maradt, amikor az eredményeket az életkor miatti korrekcióval elemezték.

Wang és munkatársai (2018) szerint az emberek személyéből fakadó különbségek nagyban befolyásolják a hőkomfort érzékelését, ezt figyelembe kellene venni az épületek tervezése és üzemeltetése során. A szerzők egy paradigmaváltást javasolnak, mely a központi klímátizálás és szellőzés helyett a személyre szabott, egyéni szellőző rendszerek felé terelné az épületgépészetet. Ezt három lépésben látják megvalósíthatónak: fiziológiai és pszichológiai adatok gyűjtése a felhasználótól, személyre szabott komforttartományok megjósálása mesterséges intelligencia segítségével, illetve harmadik lépésként a személyre szabott épületgépészeti rendszerek üzemeltetése.

Barna Edit és Bánhidi László (Barna & Bánhidi, 2012) a hideg fal és meleg mennyezet diszkomfort tényezők együttes hatását vizsgálta. Az élőalanyos mérések eredményeinek feldolgozása után kimutatták, hogy szignifikáns különbségek vannak a bőrhőmérsékletben nők és férfiak esetén, pontosabban a bőrhőmérséklet időbeli változásában.

Kalmár Ferenc és Kalmár Tünde (Kalmár & Tünde, 2018) a falfűtés okozta sugárzási hőmérséklet aszimmetria és adott sebességű légsugár (0,1 m/s, 0,15 m/s, 0,2 m/s) előállása esetén vizsgálta a helyiségben kialakuló hőkomfort viszonyokat. A 20 élőalany, 10 nő és 10 férfi bevonásával elvégzett kísérlet során arra jutottak, hogy a nőknek akár 2 °C-al is alacsonyabbra hűlt a bőrhőmérsékletük a testük adott területén, mint a férfiaknak. A huzathatásra adott válasz szintén különbözött a nők és a férfiak esetén.

Schellen és munkatársai (2012) élőalanyos mérésének célja a nemek közti termofiziológiai, hőkomfortbeli és munkavégzés produktívitasában észlelhető különbségek feltárása volt. 20 élőalanyt vontak be a kísérletbe, 10 nőt és 10 férfit. A kutatás eredménye az volt, hogy az AMV érték szignifikánsan eltért a PMV értéktől, az AMV érték volt alacsonyabb. Ezenkívül a nők hidegebbnek érezték a hőkönyezetüket, mint a férfiak, a nők végtagjainak bőrhőmérséklete szignifikánsan csökkent a mérések során a férfiakéhoz képest.

2.3.1.3. Emberi hatások

A hőkomfort és épületgépészeti rendszerek viszonyában egyre kiemelkedőbb figyelmet kapnak az emberi különbségek. Több kutatás bizonyítja, hogy az emberek által értékelt hőkomfort, belső levegő minőség és a munkavégzés hatékonysága is javul, ha az emberek befolyásolhatják a kialakult mikrokörnyezetüket. Ez azt bizonyítja, hogy az emberi faktor és az individuális preferenciák fontos szerepet játszanak és egyre nagyobb szerepet fognak kapni az épületgépészeti berendezések tervezésében.

Amai és munkatársai (2007) egy 28 °C operatív hőmérsékletű és 50%-os páratartalomra kondicionált mérőkamrában végeztek élőalanyos komfort méréseket. Az élőalanyoknak megadták azt a lehetőséget, hogy befolyásolják a hőkomfortjukat tetszőleges légsugarakkal. Arra az eredményre jutottak, hogy bár az alanyok különböző módon és különböző hatásokat gyakoroltak a komfortkörnyezetükre, minden esetben a személyes beavatkozás hozzájárult az optimális komfort eléréséhez, vagyis az emberi szubjektivitás tetten érhető volt az optimális komfort beállítása során.

Kim és munkatársai (2019) helyszíni méréseket végeztek egy olyan irodában, melyben a központi hőkomfort paraméterek beállítása mellett olyan munkaállomásokat használtak, melyeknél a dolgozók igényelni tudtak hozzáadott helyi fűtést és hűtést. A kutatásaik során arra jutottak, hogy még az épület ugyanazon részén, ugyanolyan komfort mikrokörnyezet mellett is a dolgozók optimálisnak vélt hőkomfortja eltért, vagyis az optimális hőkomfort szempontjából kimutathatóak az individuális eltérések.

Toftum (Toftum, 2010) irodákban végzett helyszíni mérések adatait feldolgozva vizsgálta a helyiségben tartózkodók hőérzékelését mesterséges és természetes szellőzésű irodákban. Arra az eredményre jutott, hogy a bent tartózkodó emberek szempontjából fontosabb a rendszerbe való beavatkozási lehetőség, mint maga a rendszer kialakítása, esetleg minősége. Kihangsúlyozta a komfortérzékelés és az emberi hatásgyakorlás viszonyát.

Boerstra és munkatársai (2015) élőalanyos mérések során arra keresték a választ, hogy miként befolyásolja hőérzetet az a feltétel, hogy az emberek hatást tudnak gyakorolni az épületgépészeti rendszerre. A kísérlet során nyári környezetet szimuláltak. Az alanyok hozzávetőlegesen kétharmada értékelte pozitívabbnak az az esetet, amikor ők állíthatták be a mikroklímájukat.

Az emberi hatások és szubjektivitás több kutatás során kimutatható, az optimálisnak mondható központi, egységes klímátizálás tehát egy statisztikai probléma és átlagkeresés. A fenti eredményekből arra lehet következtetni, hogy a jövőben egyre inkább elterjednek azok az épületgépészeti rendszerkialakítások, melyek segítségével a központilag beállított paraméterek mellett a helyiségben tartózkodók kis mértékben egyénileg is be tudnak avatkozni az optimális hőkomfort elérése érdekében. Ebben az olvasatban a központi klímatechnikai rendszer feladata, hogy központilag a legtöbbször számára optimális környezetet előállítsa, erre csatlakoznak a személyes preferenciákat kezelő épületgépészeti rendszerek, melyek mindenki számára optimális komfortot biztosítanak elenyésző többletköltség árán.

2.4. A szakirodalmi áttekintés összefoglaló értékelése

A komfortelméleti kutatások legnagyobb kihívása, hogy a komfort nem egy közvetlenül mérhető mennyiség, egyéb fizikai mennyiségek mérésével lehet számszerűsíteni. Gagge első hőkomforttal kapcsolatos kutatása óta számos hőkomfort kutatást közöltek. A legelterjedtebb hőkomfort modell a Fanger által megalkotott PMV modell, mely a MacPherson paraméterek figyelembevételével definiálja az ideális hőkomfortot a PMV index segítségével. A PMV modell kiegészítését jelentik az úgynevezett lokális diszkomfort tényezők.

A sugárzó rendszerek egyre nagyobb teret hódítanak nemcsak a lakó funkciójú épületek esetén, hanem oktató, kereskedelmi vagy akár nagyon nagy léptékű közösségi épületek esetén. A meleg mennyezet által okozott aszimmetrikus sugárzás és a huzathatás a sugárzó épületgépészeti rendszerek üzemeltetése során minden esetben előfordul.

A szakirodalomban talált források egyértelműen bizonyítják, hogy nyári esetben a mennyezettemperálás és a mesterséges légmozgás, vagyis az aszimmetrikus sugárzás és a huzat szimultán megjelenése komfort és energetikai előnyöket is hordoz. Téli esetben a kutatási eredmények hiányosak.

Kijelenthető, hogy a sugárzó fűtési rendszerek által előidézett aszimmetrikus sugárzás és huzatérzet együttes hatásmechanizmusának leírása hiányos a szakirodalomban.

Szükséges egy hiánypótló kutatás elvégzése, mely rávilágít a mennyezetfűtéssel üzemelő és mesterséges szellőzéssel ellátott épületek esetén a meleg mennyezet által előidézett aszimmetrikus sugárzás és a huzat együttes hatására.

A kutatás során vizsgálni kell a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség, az általános hőérzet, illetve a munkavégzés hatékonyságának alakulását a két lokális diszkomfort tényező együttes megjelenése során. A méréseket teljes mértékben kontrollált hőkörnyezetben kell végrehajtani legalább 20 élő alany bevonásával.

3. Módszerek

3.1 A kezdeti felvetések

A meleg mennyezet és huzat együttes hatásával kapcsolatos szakirodalmi hiányosságok kiküszöbölése érdekében műszeres és élőalanyos méréseket végeztem. A célkitűzéseket három fő szempont szerint határoztam meg, minden szempont esetén megfogalmaztam azokat a kérdéseket, melyek megválaszolása esetén a két lokális diszkomfort együttes hatása megismerhetővé válik. A szempontok és a feltett kérdések a következők:

A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség aránya a huzat és a meleg mennyezet által okozott aszimmetrikus sugárzás egyidejű előfordulása esetén

- A huzathatás DR=15%-ról DR=25%-ra való emelkedése szignifikáns hatással van a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség arányára?
- Amennyiben szignifikáns hatás megfigyelhető, akkor ez a teljes 5-15°C meleg mennyezet és padló közötti aszimmetrikus sugárzási intervallumra vonatkozik, vagy csak az intervallum egyes szakaszaira?
- Milyen jellege van a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség változásának az aszimmetrikus sugárzás függvényében DR15% és DR=25% huzathatás esetén?
- A két diszkomfort tényező együttes előfordulása és 180 perces kitettség esetén mikor maximalizálódik az elégedetlenség?
- A huzathatás DR=15%-ról DR=25%-ra való emelkedése szignifikáns hatással van a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség időbeli változására?

Az általános hőérzet alakulása a huzat és a meleg mennyezet által okozott aszimmetrikus sugárzás egyidejű előfordulása esetén

- Amennyiben PPD<6%, az aszimmetrikus sugárzás 5-15 °C intervallumban változik, a huzat DR=15% vagy DR=25%, akkor az AMV és PMV értékek megegyeznek, vagy szignifikánsan eltérnek?
- Amennyiben eltér, kisebb vagy nagyobb az AMV, mint a PMV?
- Amennyiben a PMV érték állandó, akkor a sugárzási aszimmetria változása releváns hatással van az AMV értékre, vagy sem?
- Amennyiben az aszimmetrikus sugárzással az AMV értéke változik, akkor milyen mértékben változik?
- A DR=15%-ról DR=25%-ra való növelése szignifikáns hatással van az AMV értékre?
- Amennyiben igen, akkor az a teljes 5-15 °C sugárzási aszimmetria intervallumon igaz, vagy csak az intervallum egyes szakaszain?
- A két diszkomfort tényező együttes előfordulása és 180 perces kitettség esetén az AMV időben változik?
- Amennyiben változik, milyen jelleget mutat?

Az emberi munkavégzés hatékonyságának leírása a két lokális diszkomfort tényező együttes hatása esetén

- A mennyezet és padló közötti aszimmetrikus sugárzás növekedése milyen hatással van a munkavégzés gyorsaságára és pontosságára DR=15% és DR=25% huzathatás esetén 5-15°C hőmérsékleti aszimmetria intervallumban?
- 5-15°C hőmérséklet aszimmetria intervallumban a DR=15% értékről DR=25% értékre való emelése milyen hatással van a munkavégzés gyorsaságára és pontosságára?
- A két diszkomfort tényező együttes előfordulása és 180 perces kitettség esetén a munkavégzés gyorsasága és pontossága időben állandó, vagy változik?
- Amennyiben a munkavégzés gyorsasága és pontossága nem állandó, milyen az időbeli változás jellege?

A nemek a hatása a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségre, az általános hőérzetre és a munkavégzés hatékonyságára, a meleg mennyezet és padló közötti sugárzási aszimmetria és a huzat együttes előfordulása esetén

- Kimutatható szignifikáns különbség hatás a nők és a férfiak meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségében, amennyiben a huzathatás DR=15% és DR=25%?
- Amennyiben kimutatható, akkor ez a teljes 5-15°C hőmérsékleti intervallumra jellemző, vagy csak bizonyos részein?
- Kimutatható szignifikáns kapcsolat a nemek és az AMV érték között a meleg mennyezet és a huzathatás egyidejű megjelenése esetén?
- Amennyiben kimutatható, akkor ez a teljes 5-15°C hőmérsékleti intervallumra jellemző, vagy csak bizonyos részein?
- Létezik szignifikáns kapcsolat a nemek és a munkavégzés hatékonysága között két lokális diszkomfort tényező egyidejű megjelenése esetén?
- Amennyiben létezik, akkor ez a teljes 5-15°C hőmérsékleti intervallumra jellemző, vagy csak bizonyos részein?

A komfortelméleti problémák megoldására analitikus, numerikus és kísérleti módszereket lehet használni, utóbbiak lehetnek műszeres és élőalanyos mérések. A meleg mennyezet által okozott aszimmetrikus sugárzás és a huzat együttes hatásának vizsgálata során a numerikus, műszeres és élőalanyos mérési módszereket választottam.

3.2. Módszerek általános bemutatása

A numerikus módszerek segítségével számoltam a PMV, PPD, Tu és DR értékeket. A turbulencia intenzitását a mért adatokból származtattam.

A huzathatás számításához a 10. összefüggést, a PMV és PPD számításához az 1. és 2. összefüggést használtam, illetve egy beépülő számoló modult készítettem ezeknek a paramétereknek számítására. A PMV érték számítási blokkdiagramját az 5. ábra mutatja.

A műszeres méréseket a Macskásy komfort és klimatechnikai laboratóriumban végeztem, mértem a levegő sebességét, hőmérsékletét, páratartalmát, a közepes sugárzási hőmérsékletet. A méréshez a következő berendezéseket használtam:

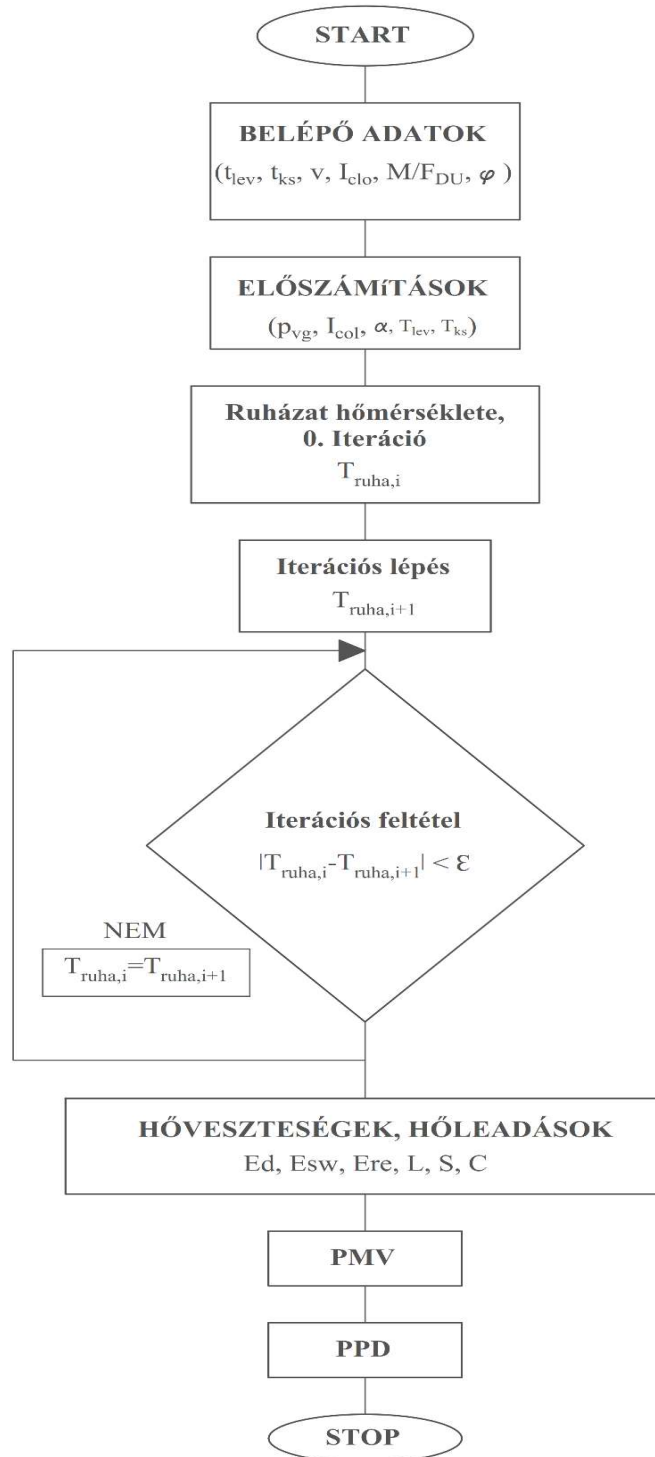
3. táblázat: Mérőeszközök és mért adatok

Mért paraméter	Mérőeszköz	Pontosság
Levegő hőmérséklete	TESTO 480 – hődrótos egység	0,1 °C
Levegő sebessége	TESTO 480 – hődrótos egység	0,03 m/s+0,04 Mért érték
Levegő páratartalma	TESTO 480 – hődrótos egység	1,8%+ 0,007 Mért érték
Közepes sugárzási hőmérséklet	TESTO 480 – gömbhőmérő	0,1 °C

Műszeres méréseket abból a célból végeztem, hogy pontosan beállíthassam azokat a mikroklimatikus környezeteket, amelyek adott aszimmetrikus sugárzás és huzathatás mellett 6%-ot nem meghaladó PPD értéket idéznek elő a mérőkamra középpontjában 1,1 méter magasságban.

Az élőalanyos mérések során 20 egészséges, felnőtt élőalanyt vontam be, 10 férfit és 10 nőt. Az élőalanyos mérések célja az volt, hogy az alanyok minősítsék a meleg mennyezet által létrehozott sugárzási hőmérséklet aszimmetria és a huzat együttes hatását. Másrészt célom volt, hogy mérjem a két lokális diszkomfort tényező együttes előfordulása esetén a munkavégzés hatékonyságát. A főbb fókuszpontok a következők voltak:

- a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségi arány meghatározása;
- az AMV definiálása a sugárzási aszimmetria és a huzat együttes hatása esetén;
- a munka hatékonyságának értékelése a két lokális diszkomfort tényező együttes hatása esetén.



14. ábra: PMV számítás blokkdiagramja

3.3. Mérőállás bemutatása

A kísérletek helyét biztosító hőérzeti mérőkamra két hőforrással rendelkezik, és a kamra határolószerkezetei egyenként fűthetőek és hűthetőek, így bármilyen szerkezeti elem között előidézhető a kívánt sugárzási hőmérséklet aszimmetria, illetve a közepes sugárzási hőmérséklet is precízen definiálható. A befűjt levegő hőmérséklete, páratartalma és térfogatárama szintén szabályozható. A 6. és 7. ábra a hőérzeti mérőkamrát, illetve a fűtő- és hűtő hőhordozó elosztó rendszert mutatja.



15. ábra: Hőérzeti mérőkamra



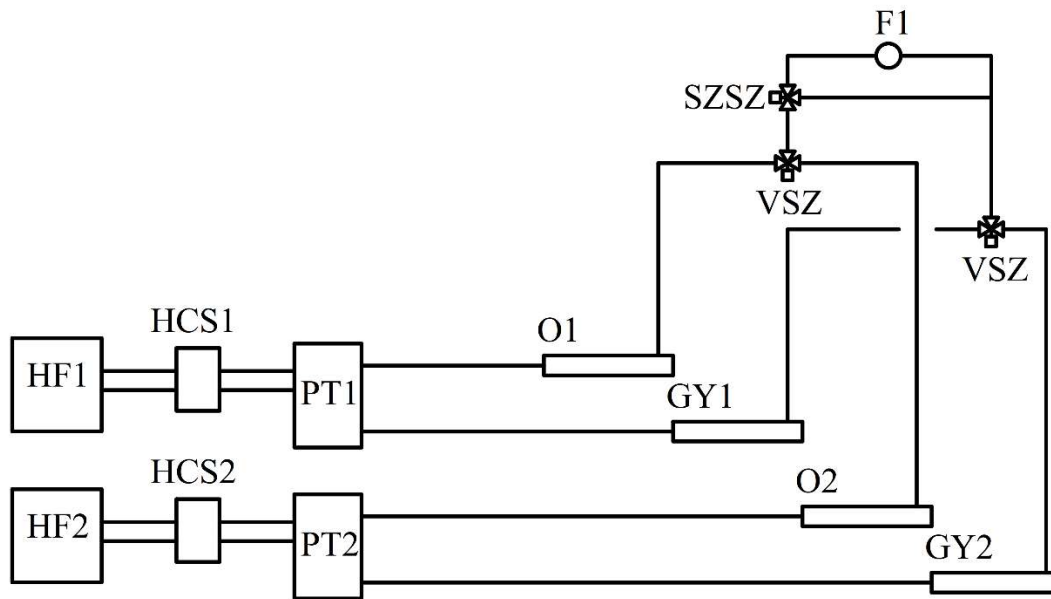
16. ábra: Fűtő- és hűtő hőhordozó elosztó rendszer

A 4. táblázat a hidraulikai hálózat elemeinek megnevezését, szerepét és legfontosabb paramétereit, a 3. ábra a mérőállás logikai ábráját mutatja.

4. táblázat: Mérőállás berendezéseinek megnevezése, típusa és legfontosabb tulajdonsága

Berendezés	Típus	Tulajdonság
Fűtési/Hűtési hőszivattyú – 1	Rehau	Fűtési teljesítmény: 8 kW, Hűtési teljesítmény: 9 kW
Fűtési/Hűtési hőszivattyú – 2	Airwell	Fűtési teljesítmény: 7 kW, Hűtési teljesítmény: 8 kW
Elektromos kazán	Radeco Y	Fűtési teljesítmény 12 kW
Szivattyúk	WiloYonos	Maximális
Váltószelepek	Honeywell	Nyitási idő: 120 másodperc
Szabályozó szelepek és motorok	Honeywell	Nyitási idő: 120 másodperc
Légkezelő	Rosenberg	Ventilátor munkapont: 200 Pa, 2000 m ³ /h
Terepi eszközök és szabályozó	Honeywell	Maximális adatpont kezelési kapacitás: 256

A 8. ábra a hőellátó rendszer egyszerűsített, sematikus ábráját mutatja. A felülettemperáló rendszerek hőforrásai a HF1 és HF2 jelű hőszivattyúk voltak, melyek hőcserélőkön keresztül átadták a hőteljesítményt a PT1 és PT2 fűtési és hűtési puffertárolóknak. A közeg innen az osztókba került (O1,O2), majd VSZ jelű váltószelepek fűtési és hűtési üzemmek megfelelő pozícióba váltva biztosították a közeg útját a fogyasztók, vagyis a fűtő és hűtő felületek felé. Minden esetben keverő kapcsolást alkalmaztam, a bekeverő kapcsolás SzSz jelű szabályzó szelepe segítségével biztosítható az F jelű fogyasztó hőleadásának szabályozása.



17. ábra: Mérőállás hőellátásának elvi sémája

A mérőállás behangolását három lépésben végeztem. Először a felületfűtő és hűtő körök háromjáratú keverőszelepeit, illetve az ezeket mozgató aktuátorokat kellett behangolnom. Ezt a központi automatika rendszer segítségével tudtam megtenni. Az analóg bemeneti jelként a szabályozóba érkező előremenő hőmérsékleti jelre adott válaszreakció mértékét kellett behangolni ebben a lépésben.

Ezt követte a kamrát friss levegővel ellátó légkezelő ventilátorának beállítása. A rendszer állandó térfogatáramot keringet, a pontos térfogatáram beállítását szintén a központi automatika rendszer segítségével végeztem.

Harmadik lépésként a légkezelő fűtési és hűtési kaloriferének hőleadását szabályozó háromjáratú szelep, illetve az ezt mozgató aktuátor behangolása volt a feladat. A központi automatika analóg bemeneti jelként érzékelte a légkezelőből távozó levegő hőmérsékletét, ezt az analóg bemeneti jelet felhasználva szabályoztam a légkezelő hőcserélőjét az állandó befűtési hőmérséklet elérése érdekében.

3.4. Mérési peremfeltételek bemutatása

Fontos szempont az időben változatlan, stacioner hőtechnikai állapotok létrehozása és fenntartása. A kísérletek alatt úgy kell biztosítani a meghatározott meleg mennyezet és padló közötti aszimmetrikus sugárzás és huzathatás értékpárokat, hogy a 3 órás kísérlet során állandó maradjon a hőmérséklet és a PPD érték. A hőtechnikailag stacioner állapotok megtartása érdekében figyelembe kell venni a meleg mennyezet, az emberek és a világítás hőközlését, valamint a belső levegőnél hidegebb falak hőelvonását a tértől. Az egyensúlyi egyenlet a következők szerint alakul:

$$Q_{menny} + Q_{ember} + Q_{világítás} - Q_{falak} - Q_{padló} - Q_{levegő} = 0 \quad (22)$$

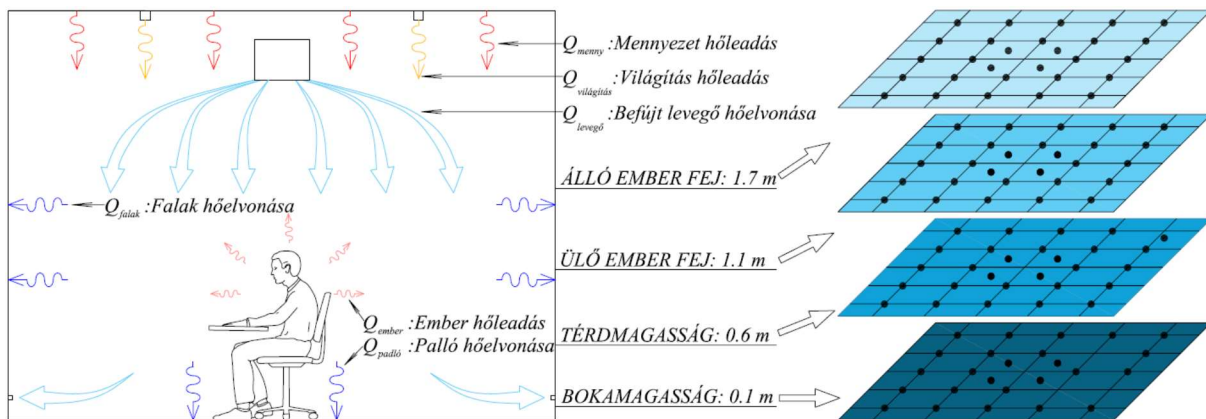
Ahhoz, hogy a PMV modell szerinti ideális hőkönyezetet úgy hozzam létre, hogy közben a sugárzási aszimmetriát és a huzatot is a kívánt értéken tartsam, a következő lépéseket hajtottam végre:

- A határoló szerkezetek felületének meghatározása – ebben a lépésben beállítható a kívánt hőmérsékleti aszimmetria;

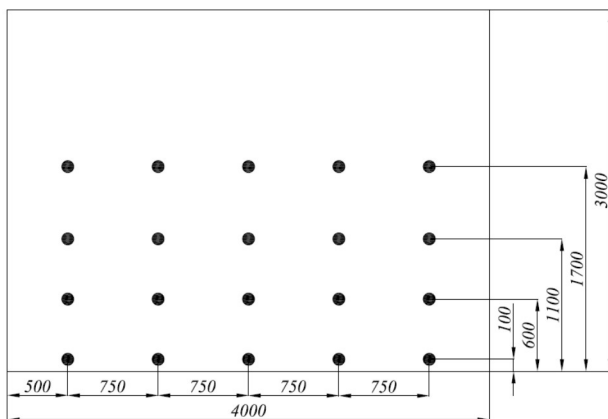
- A befűjt levegő hőmérsékletének meghatározása – a befűjt levegő hőmérsékletével és térfogatával biztosítható a mérőkamra hőtechnikai szempontból stationer állapota, viszont mindkét paraméternek hatása van a várható huzatérzetre;
- A mérőkamra légvezetésének finomhangolása, a kívánt huzatérték elérése és megtartása érdekében.

A mérések során négy síkban vizsgáltam a hőkomfortot befolyásoló tényezőket: bokaszinten (0,1 m), térdszinten (0,6 m), ülő ember fejmagasságának szintjén (1,1 m) és álló ember fejmagasságának szintjén (1,7 m).

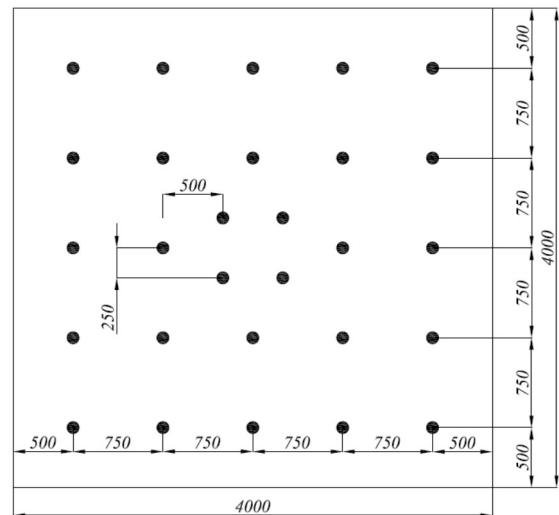
Az 9. ábra a 22. egyenletben felírt energiaáramokat és a mérési pontokat mutatja térbeli ábrázolásban, az 10. és 11. ábra a mérési pontok pozícióját mutatja metszetben és felülnézetben.



18. ábra: Hőáramok és mérési pontok



19. ábra: Mérési pontok - metszet



20. ábra: Mérési pontok - felülnézet

A határoló szerkezetek felületi hőmérsékletének meghatározása

Olyan épületek esetén, ahol a hőszükségletet mennyezetfűtéssel fedezik, kiemelten fontos kérdés, hogy mennyire lehet magas a mennyezet felületi hőmérséklete. A meleg mennyezet és a padló közötti

hőmérséklet aszimmetria által okozott elégedetlenség akkor maximális, amikor a meleg mennyezet hőmérséklete maximális (Bánhidi, Kajtár, 2000).

Ez akkor fordul elő, amikor a hővesztés maximális, ezért a kísérlet során egy olyan helyiséget modelleztem, melynek minden oldalfala külső fal, a helyiség alatt található tér pedig temperáló üzemmódban fűtött.

A külső hőmérséklet megállapítása során, a Magyarországon használt legalacsonyabb méretezési külső hőmérsékletet vettem figyelembe, mely -15 °C . A modellezett épület falainak felületi hőmérsékleteinek meghatározásánál a Magyarországon jelenleg érvényben levő energetikai rendeletben definiált határoló szerkezetek hőszigetelő értékeit feltételeztem. A falak felületi hőmérsékletét ezek alapján $20,5\text{ °C}$ értékre vettem fel és ezt az értéket tartottam a további kísérletek során.

A padló hőmérsékletét 18 °C -os értékre vettem fel és állítottam be a mérőkamrában.

A padló és a falak felületi hőmérsékletének ismeretében definiáltam a mennyezet szükséges felületi hőmérsékletét annak érdekében, hogy a tér középpontjában, az ülő ember fejmagasságában kialakuljon a kívánt sugárzási hőmérséklet aszimmetria.

Ennek meghatározási lépései:

- A sík sugárzási hőmérséklet kiszámítása az alsó térrészre;
- Az tervezett sugárzási hőmérséklet értékből és az előbbi lépésben kiszámolt értékből a felső térrész sík sugárzási hőmérsékletének definiálása;
- A mennyezet hőmérsékletének meghatározása.

A meleg mennyezet hőmérsékletét úgy definiáltam, hogy a következő sugárzási hőmérsékleti aszimmetria értékek adódjanak: 5 °C , 7 °C , 10 °C , 12 °C , illetve 15 °C .

Ezt a 2.2.1.1. fejezetben bemutatott besugárzási tényező kiszámításával tettem. Az eredményeket ellenőriztem az ugyanebben a fejezetben feltüntetett, a mennyezeti sugárzó rendszerek esetén használható besugárzási tényezők számítására használható nomogrammal.

Az 1.1 méter magasan, a tér középpontjában mért különböző aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbségek a következő mennyezeti felületi hőmérsékletek esetén adódtak:

- 5 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria esetén: $25,6\text{ °C}$;
- 7 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria esetén: 29 °C ;
- 10 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria esetén: 34 °C ;
- 12 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria esetén: $37,2\text{ °C}$;
- 15 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria esetén: 42 °C .

A befűjt levegő hőmérsékletének meghatározása

A meleg mennyezet hőt visz a mérőkamrába, és mivel a kísérlet során termikusan stacioner állapotok előidézése a cél, a generált hőt ellensúlyozni kell. Emellett a térben található ember és világítás is hőt termel, míg a belső levegőnél hidegebb falak és padló hőt visz el a 22. egyenlet szerint.

A képződött többlet fűtési vagy hűtési teljesítményt a térben található anemosztáton beáramló levegővel ellensúlyoztam. Akusztikai megfontolások miatt az anemosztáton befűjt levegő térfogatárama $290\text{ m}^3/\text{h}$. Ebből az értékből adódtak a különböző esetek esetén alkalmazandó levegőhőmérsékletek:

- 5 °C hőmérséklet aszimmetria: 27 °C -os befűjt levegő;
- 7 °C hőmérséklet aszimmetria: 24 °C -os befűjt levegő;
- 10 °C hőmérséklet aszimmetria: 21 °C -os befűjt levegő;
- 12 °C hőmérséklet aszimmetria: $18,5\text{ °C}$ -os befűjt levegő;

- 15 °C hőmérséklet aszimmetria: 15 °C-os befűjt levegő;

A kutatás során összesen öt aszimmetrikus sugárzási és két huzatérzeti értéket, illetve ezek párosításait, vagyis összesen 10 esetet vizsgáltam. Mindenik esetben ellenőrző és behangoló vizsgálatot végeztem. Ezek során biztosítottam, hogy a tér középpontjában levő, 1,1 méter magasan található mérési pontban a PPD minden mérési esetben, a mérés teljes időtartama során, 6%-ot nem meghaladó értéket vegyen fel úgy, hogy a mennyezet és a padló közötti hőmérsékleti aszimmetria- és huzatértékek teljesülnek.

A kísérlet során mennyezeti befűvő egységet használtam, mert jelen építési gyakorlatban ez igen elterjedt megoldás. A használt befűvő berendezés állítható lamellákkal és áramlásterelővel rendelkezik, ezért a befűjt légsugár szimmetrikus voltát, irányítottságát és jellegét be tudtam állítani. A sugár vizsgálata során műszeres méréseket és vizualizációs kísérleteket hajtottam végre.

A paramétercsoportok vizsgálata során meggyőződtem, hogy a tér közepén, 1,1 méter magasan, a paramétercsoportok megfelelnek a mérés alapfelvetéseinek. A kísérlet során a 4x4 méter alapterületű térben inhomogén paraméter-eloszlások alakulnak ki. A kísérletet a tér középpontjában, 1,1 méter magasan található pontra hangoltam be. A tér középpontjaként jelölt adatpont igazából a mérési sík középpontjának mérési adatait és a két merőleges irányban a középponttól 30-30 cm-re eltolt mérési adatokat is tartalmaz, vagyis a középső mérési pont 5 mérési érték átlagát mutatja. Ezzel a megközelítéssel az 5 pont átlagaként kapott érték biztosan leírja azt a hőkönyezetet, melyben az élőalanyok tartózkodnak.

A mérőkamra középpontjában, 1,1 méter magasan található, az élőalanyos mérések szempontjából legfontosabb pont meghatározása után műszeres méréseket végeztem a térben kialakuló, a hőkomfortot befolyásoló paraméterek eloszlásának értelmezése és megjelenítése érdekében.

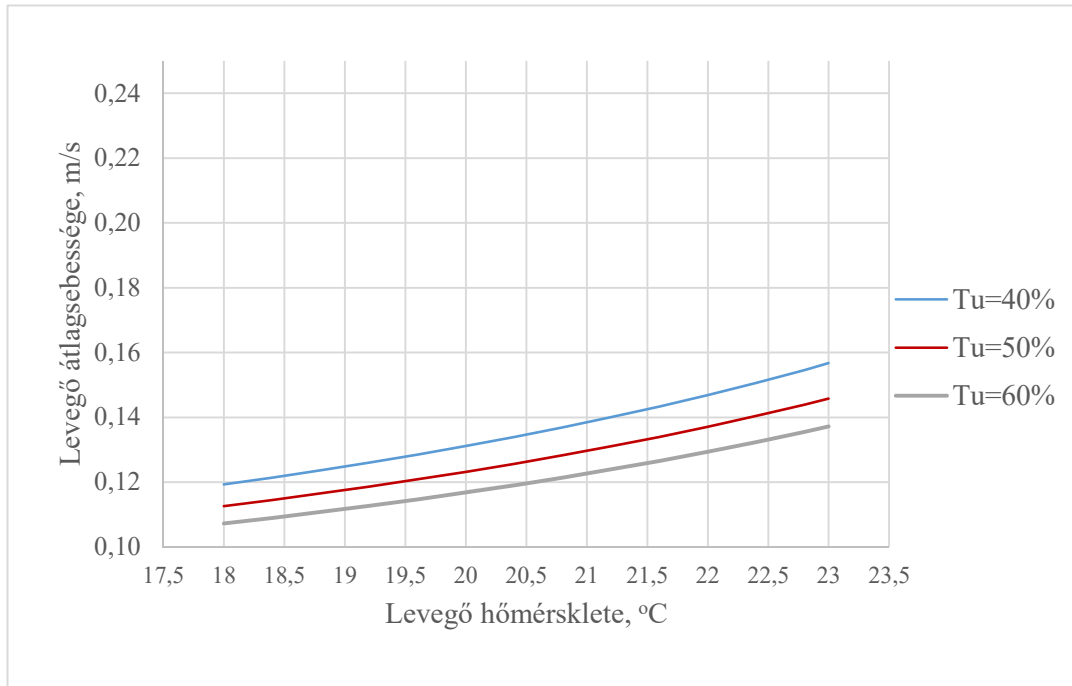
A légvezetés finomhangolása

A mérőállás finomhangolása során a térben a mikrokönyezet precíz beállítása iteratív módon történt a következők szerint:

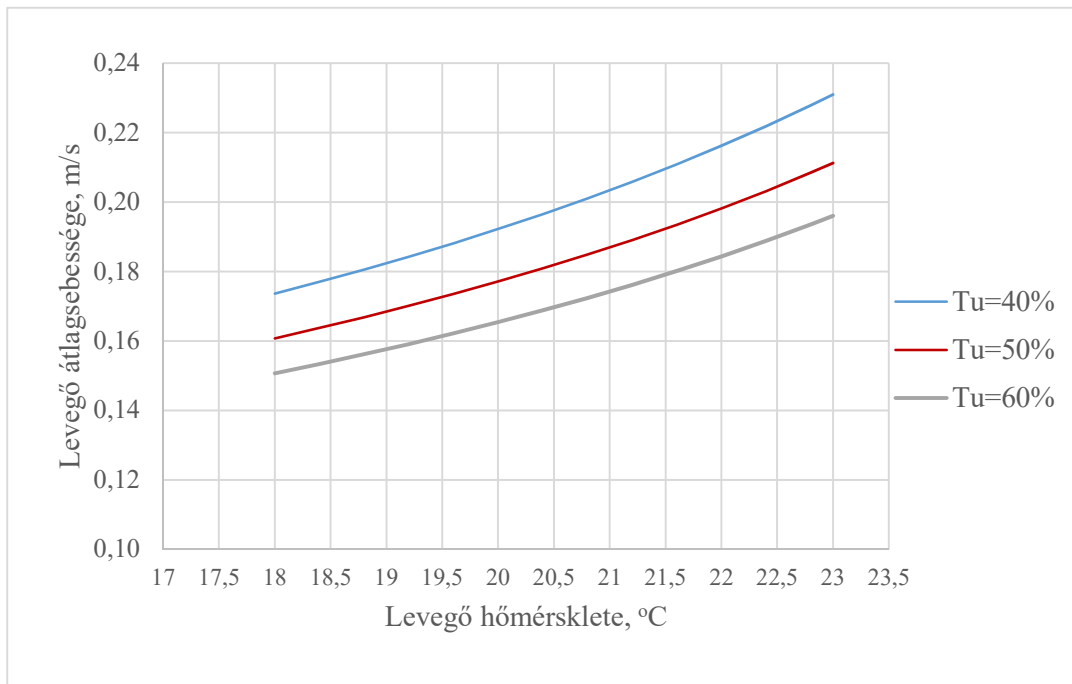
- Falhőmérsékletek: ezt a laboratórium automatika rendszere ± 0.2 °C intervallumban tudta tartani a megfelelő holtidő beállítása mellett;
- A befűjt levegő térfogatárama és hőmérséklete: a légkezelő ventilátorát a térfogatáramra szabályoztam és az EC motor szabályozási gyorsasága miatt a térfogatáram kiemelkedő precizitás mellett tartottam;
- A befűjt levegő hőmérséklete: a kalorifer keverő szelepének szabályozásával, illetve a hőforrás hőmérsékletszabályozásával tudtam biztosítani. A szabályozó behangolása után a légkezelő ± 0.15 °C-os tartományban tudta tartani a levegő hőmérsékletét.
- A lamella beállítása: a lamellát kézi módszerrel és ellenőrző mérések segítségével beállítottam úgy, hogy a kívánt huzathatás kialakuljon a mérőkamra középpontjában.

A finomhangolás célja a levegő sebességének és ezáltal a tér kijelölt pontjában adódó huzathatás érték beállítása volt. Ezt a folyamatot minden adatpár esetén el kellett végezni.

A finomhangolás során az egyik cél a kívánt huzathatérzet, azaz DR érték beállítása. A 10. és 11. diagram 15% és 25% huzatérzet esetén mutatja a levegő átlagsebességének és hőmérsékletének viszonyát a kívánt DR érték elérése érdekében.

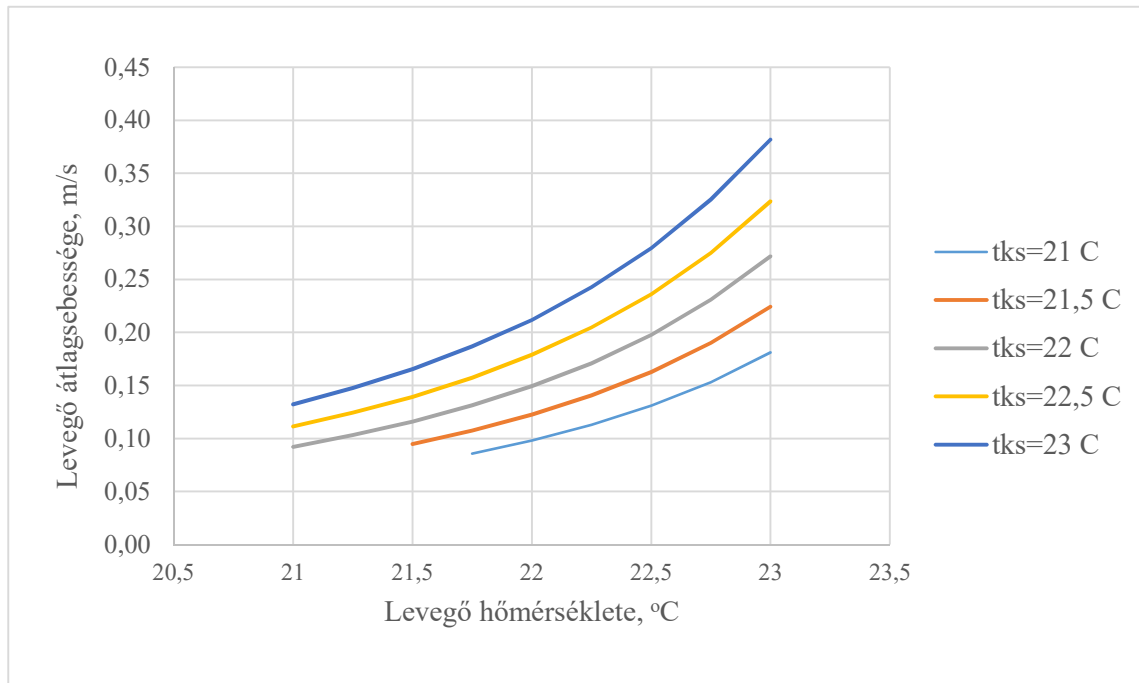


21. ábra: A levegő átlagssebességének és hőmérsékletének viszonya DR=15% esetén



22. ábra: A levegő átlagssebességének és hőmérsékletének viszonya DR=25% esetén

A finomhangolás során a másik cél az optimális PMV érték elérése a kívánt huzathatás biztosítása esetén. A 12. diagram a levegő hőmérsékletének és átlagsebességének viszonyát mutatja ideális PMV=0 érték esetén különböző közepes sugárzási hőmérsékletek mellett. Az optimalizációt a 5. ábrán látható blokk-séma szerinti algoritmussal végeztem:



23. ábra: A levegő átlagsebességének és hőmérsékletének viszonya PMV=0 esetén

3.5. Műszeres mérés bemutatása

A hőkomfortot befolyásoló tényezők térben való eloszlásának mérését az 6. ábrán látható mérőkamrában végeztem, melynek alapterülete 4x4 m, magassága 3 m. A mérések során a következő paraméterek eloszlását vizsgáltam:

- Levegő hőmérsékletének eloszlása a térben,
- Levegő sebességének eloszlása a térben,
- Közepes sugárzási hőmérséklet eloszlása a térben,
- PMV érték eloszlása a térben,
- PPD érték eloszlása a térben,
- Turbulencia intenzitás eloszlása a térben,
- Huzathatás eloszlása a térben.

A méréseket a 10. ábra szerint négy síkban végeztem:

- 0,1 m – bokaszint
- 0,6 m – térdszint
- 1,1 m – ülő ember fejmagassága
- 1,7 m – álló ember fejmagassága.

A mérési pontokat a 10. és 11. ábrán bemutatott térbeli helyeken vettük fel.

A hőkomfortot befolyásoló paraméterek egyik része mért, másik része számolt. Az 5. táblázat megmutatja a különböző paramétereket, és a hozzájuk tartozó mérési hibát.

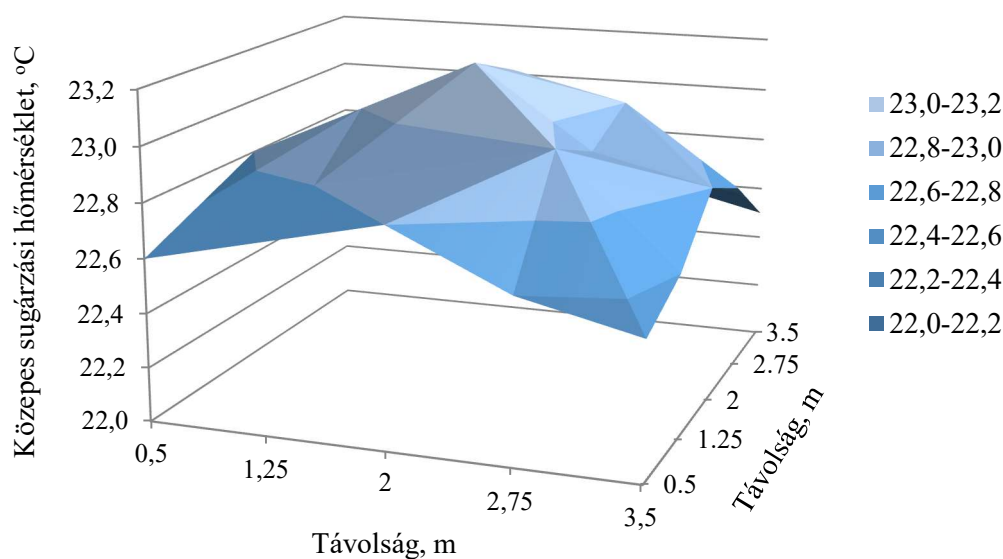
5. táblázat: Mért és számolt paraméterek

PARAMÉTER	MÉRT/SZÁMÍTOTT	MÉRÉSI HIBA
Levegő és közepes sugárzási hőmérséklet	Mért	0,1 °C
Levegő sebessége	Mért	0,03 m/s+0,04 Mért érték
Levegő páratartalma	Mért	1,8%+ 0,007 Mért érték
Ruházat hőszigetelő képessége	Számolt	-
Tevékenységi szint	Számolt	-
Turbulencia intenzitás	Számolt	-
DR	Számolt	-
PMV	Számolt	-
PPD	Számolt	-

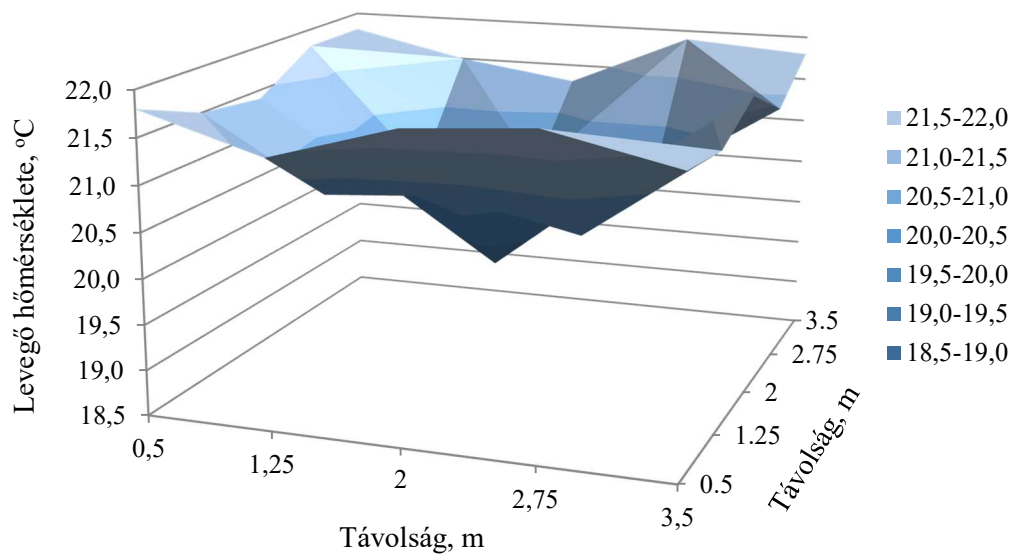
A műszeres mérések során az előzőleg ismertetett térbeli pontokban a következő paramétereket mértem és rögzítettem: a levegő sebességének és hőmérsékletének, illetve a közepes sugárzási hőmérséklet, PMV, PPD, Tu és DR térbeli eloszlását. Összesen 10 esetet vizsgáltam, melyeket öt aszimmetrikus sugárzás és két huzathatás érték definiált a következők szerint:

- aszimmetrikus sugárzási értékek: 5 °C, 7 °C, 10 °C, 12 °C, 15 °C;
- huzathatás: 15% és 25%.

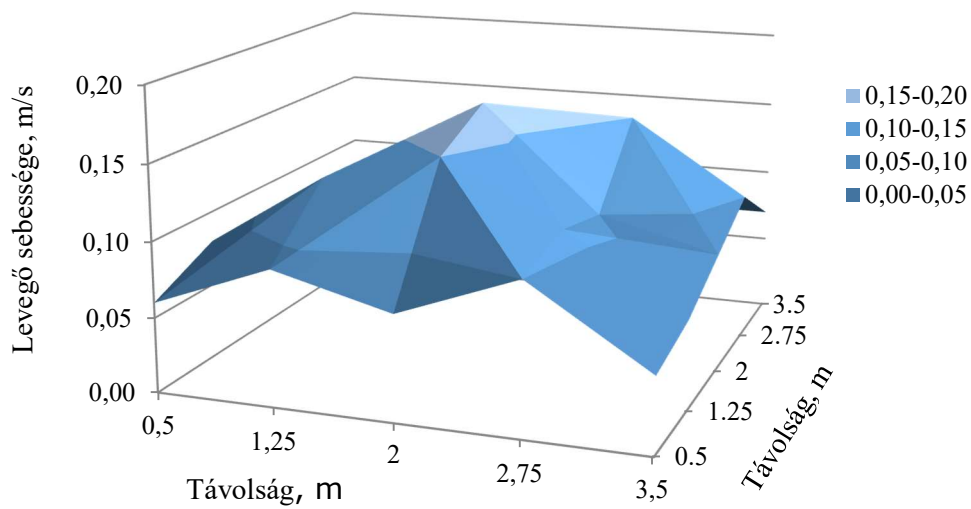
Minden hőmérsékleti aszimmetria és huzathatás értékpár esetén, minden síkra megjelenítettem a paraméter eloszlásokat. Az 1., 2., 3. és 4. diagram 15 °C aszimmetria és 25% huzathatás esetén szemlélteti a közepes sugárzási hőmérséklet, levegő hőmérséklet, levegő sebesség, PMV, PPD és DR eloszlásokat. Az x és z tengelyek a mérőkamra alapterülete szerinti távolságot mutatják méterben, az y tengely a hőmérséklet, sebesség, PMV, PPD, illetve DR értékét mutatja °C-ban, m/s-ban, illetve %-ban.



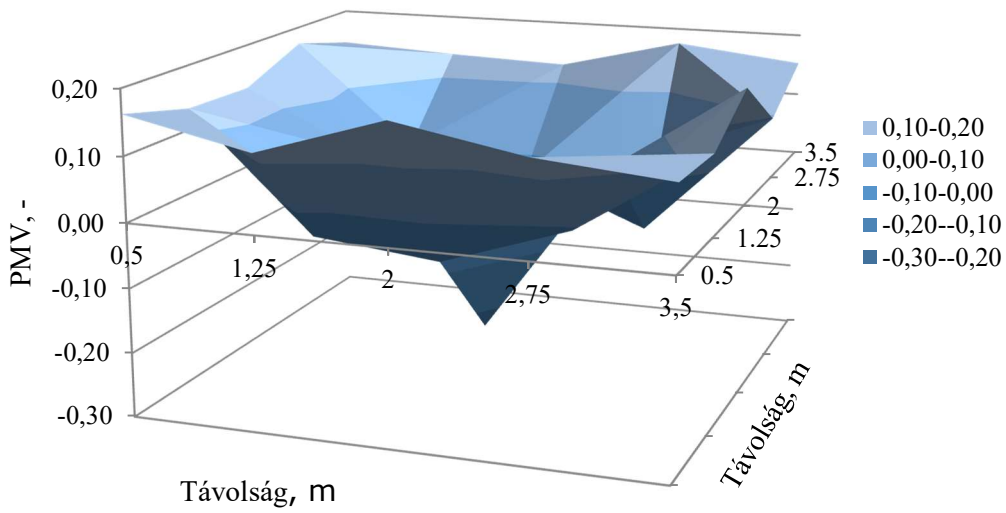
24. ábra: A közepes sugárzási hőmérséklet térbeli eloszlása



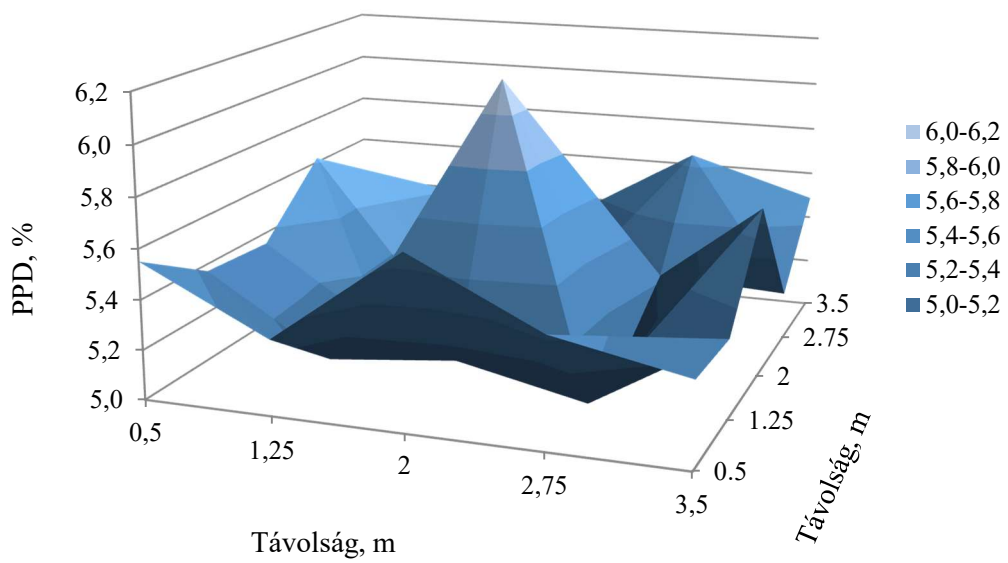
25. ábra: A levegő hőmérsékletének térbeli eloszlása



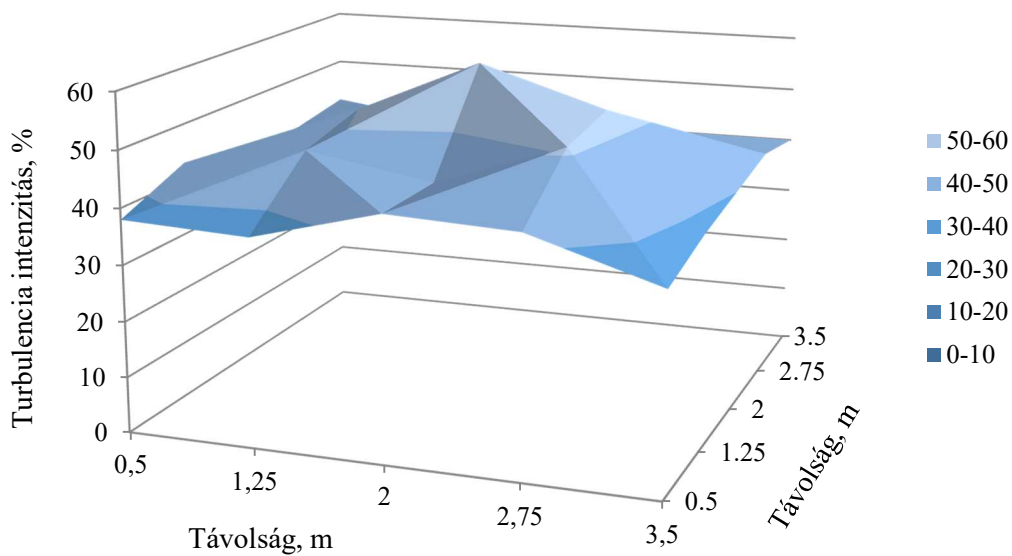
26. ábra: A levegő sebességének térbeli eloszlása



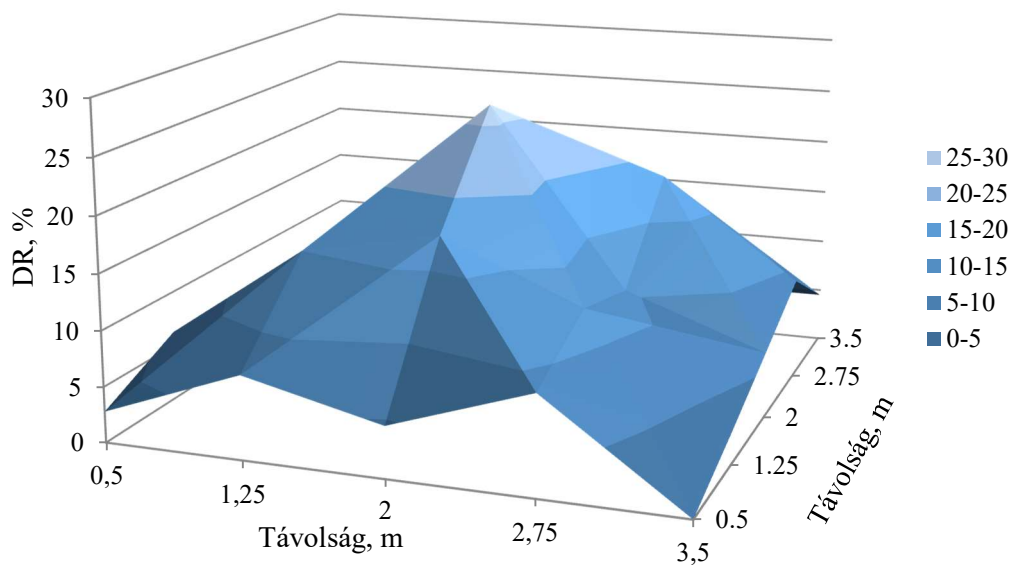
27. ábra: A PMV térbeli eloszlása



28. ábra: A PPD térbeli eloszlása



29. ábra: A turbulencia intenzitás térbeli eloszlása



30. ábra: A DR térbeli eloszlása

A mérést elvégeztem az öt sugárzási aszimmetria (5 °C, 7 °C, 10 °C, 12 °C, 15 °C) és két huzathatás (15% és 25%) által meghatározott hőkomfort paraméterekre. Összesen 10 hőkomfort környezetben mértem boka, térd, ülő ember fejmagasság szintjén és álló ember fejmagasság szintjén. Minden esetben az eloszlások hasonló jelleget mutatnak.

A fent ismertetett eset azért a legextrémebb, mert ebben az esetben maximális a mennyezet által a térbe vitt hőmennyiség. Emellett ebben az esetben minimális a megengedett huzathatás.

Az adott pontban kialakuló közepes sugárzási hőmérséklet mértéke függ a felületek hőmérsékletétől és

a besugárzási tényezőtől, mely az adott pont és a sugárzási hőcserében részt vevő épületszerkezetek között adódik (Bánhidi, Kajtár, 2000). Jelen esetben a maximális sugárzási hőmérséklet a tér közepén észlelhető, hiszen itt a legnagyobb a meleg mennyezet és a mért pont közötti besugárzási tényező. A minimum érték a tér oldalfalainál észlelhető, hiszen a meleg mennyezeten kívüli többi épületszerkezet besugárzási tényezője itt a legnagyobb.

A mérés során keveredésező légvezetési rendszert alkalmaztam. A hőtechnikailag stationer állapot elérésének érdekében a befűjt friss levegő hidegebb, mint a belső levegő. A befűtés jellegéből kifolyóan, a levegő keveredése ellenére, a tér középpontjában tapasztalható a legalacsonyabb léghőmérséklet, ez a tér széle fele egyre növekszik.

Hasonló indok miatt, de fordított jellegű eloszlást mutat a térben a levegő sebességének eloszlása, mely a tér középpontjaként definiált mérési területen maximális, majd a tér szélső pontjain minimalizálódik az értéke. A sebesség értéke nagyban befolyásolja a huzathatást, ezért a levegő sebességének megfelelő mértéken tartása kulcsfontosságú a megfelelő huzatérzeti eloszlás elérése érdekében.

A PMV értéket a levegő sebességéből, hőmérsékletéből, a közepes sugárzási hőmérsékletből, a relatív páratartalmából, illetve a ruházat hőszigetelő képességéből és az aktivitás szintből számoltam. A kísérlet tervezésekor az volt a célom, hogy minden esetben a tér középső részén 1,1 méter magasságban ideális (-0,2,0,2) intervallumban tartsam a PMV értéket.

A PPD eloszlását mutató 16. ábrán megfigyelhető, hogy a tér középpontjában, a mérési síkban a legkisebb az elégedetlenség várható értéke. Másrészt fontos megjegyezni, hogy a PPD érték inhomogén eloszlása ellenére is mindenhol 6% várható elégedetlenségi érték alatt maradt az elégedetlenség várható aránya.

A tér inhomogenitásából fakadó legnagyobb különbség a DR eloszlásában látható, mert a tér közepével jelölt rész átlagértéke, mely megközelítőleg 25%, szignifikánsan eltér a tér fal melletti zónában mért huzatértékétől, mely jelen esetben 5% alatti.

Minden aszimmetria és huzat paraméterpár esetén teljesül az a feltétel, hogy a PPD érték 6% alatti, a sugárzási hőmérséklet aszimmetria és a DR érték pedig a tervezett értéken tartható. Annak érdekében, hogy értékelhető legyen a meleg mennyezet okozta elégedetlenség 15% és 25% huzathatás mellett, élőalanyos vizsgálatokat végeztem.

3.6. Élőalanyos mérés bemutatása

Az élőalanyos méréseket a 6. ábrán bemutatott mérőkamrában végeztem. A méréssorozat során hőkomfort, produktivitási és fiziológiai kísérleteket hajtottam végre, figyelembe véve az irodalomban jegyzett, élőalanyos komfort mérések során használt metodológiát (Wang J. et. al., 2018, Wu et. at., 2017, Lan L., Lian Z., 2010, Choi J., Yeom D., 2017, He Y. et. al. 2016, Fang Z., 2018, Toftum J., 2002, Wyon D. 2003, van Craeneendonck et. at. 2018), a hasonló kutatások során és eredményeként tapasztalt nemek közötti különbségeket (Schellen et.al., 2012), valamint a produktivitással kapcsolatos eddigi kutatások módszertanát és eredményeit (Fang Z. et.al., 2019).

Az élőalanyos mérések tervezése során figyelembe vettem a nemzetközi gyakorlatban használt kísérleti módszereket. Ennek megfelelően 20 fő, 10-10 egészséges férfi és nő, vett részt az élőalanyos méréseken.

Az élőalanyos mérések főbb paraméterei:

- Élőalanyos mérések időtartama: 3 óra összesen hat ismétlődő modulból állt.
- Vizsgált alanyok száma: a kutatásom során 20 alanyt vontam be, 10 nőt és 10 férfit.
- Alanyok egészségi állapota: a kutatást megelőzően minden alany kitöltött egy egészségi állapotról vonatkozó kérdőívet, mellyel kiszűrhető volt az esetleges alkalmatlanság.

- Munkavégzés a kísérlet alatt: a kísérletem során célom a munkavégzés hatékonyságának vizsgálata, ezért az élőalanyok előkészített anyaggal dolgoztak, mely segítségével mérni lehetett a munkavégzés hatékonyságát.
- Munkavégzés hatékonyságának mérése: a kutatásom során a munkavégzés gyorsaságát és pontosságát is mértem.

Az alanyok egészségi állapotán kívül kiszűrtem az olyan paraméterek, amik ellehetlenítették a kísérleten való eredményes részvételt (például kialvatlanság stb.).

A mérések tervezése során fontos szempont volt a sugárzási hőmérséklet aszimmetria és a huzat vizsgálatának metodológiája, mely során két lehetőség közül választhattam. Az első lehetőség az volt, hogy nagyobb mértékű hatást gyakorlok a kísérletben részt vevő alanyokra, mely melegebb mennyezetet és nagyobb huzatot jelentett volna, ebből a hatásból lehetett volna interpolálni és következtetéseket levonni. A második lehetőség a mérsékelt környezeti feltételek vizsgálatát jelentette.

Az utóbbi mellett döntöttem, mert a vizsgálat elsősorban a középületekben egyre inkább elterjedő mennyezetfűtés és mesterséges szellőzés együttes hatásának megismerését célozza. Emellett várhatóan a mérsékelt hatások más fiziológiai és pszichológiai hatásokat váltanak ki, így az interpoláció feltételezése nem egyértelműen jó irány (Wyon, P.D, 2001).

A mérések során az alanyok összesen öt, mennyezet és padló közötti hőmérsékleti aszimmetria (5,7,10,12,15 °C) és 2 huzathatás (15%, 25%) által meghatározott 10 hőkomfort környezetet értékelték. Egy-egy adott termikus környezet a mérési alkalmak során folyamatosan fennállt, mert a mérőkamra termikusan stacioner állapotban volt.

Minden mérés három óras volt és minden mérési alkalom során a mérőalanyokat csak egy aszimmetria, illetve egy huzathatás által meghatározott hőkönyezetben vizsgáltam. Az alanyokat tájékoztattam a kísérlet céljáról és arról is, hogy várhatóan mit fognak tapasztalni, arról viszont nem tájékoztattam, hogy egyes alkalmak során milyen paramétercsoportokat vizsgáltam. A hőkönyezeti beállítások véletlenszerű sorrendben következtek, hogy az esetleges növekedési és csökkenési tendenciák ne legyenek kikövetkeztethetőek.

A 290 m³/h frisslevegő térfogatáram a 16 m²-es, 3 m magas helyiségben, 1 ember benntartózkodása mellett igen magas térfogatáramnak számít, ezért a belső levegő minősége nem okozott elégedetlenséget. Fokozottan figyeltem az akusztikai diszkomfort kiküszöbölésére és a megfelelő vizuális komfort előteremtésére, ezért a mérés során az alanyok vizuális, akusztikai és belső levegővel szembeni komfortkönyezetét nem kompromittáltam.

A mérések ideje alatt az élőalanyok nem hagyták el a mérőkamrát. Amennyiben ez mégis szükségszerűvé vált, a kamrába való visszatéréstől számított fél órában begyűjtött adatokat a későbbi statisztikai elemzésben nem használtam.

Az alanyoknak minden esetben rögzítettem az alvási, illetve a mérési alkalom előtti étkezési paramétereit, emellett a mérések során volt egy akklimatizációs periódus, mely során az alanyok kitöltötték a következő teszteket:

- Mérés előtti kérdőív: általános fáradtság, koncentrációs képesség – célja a nem releváns mérési adatok kiszűrése;
- Általános kérdőív: evés, ivás, cigarettázás, alkohol, alvás, egyéb fontosnak tartott információ – célja ebben az esetben is a szavazatok megbízhatóságának vizsgálata;
- Sensation seeking scale (SSS): ezt az alanyok csak a legelső alkalommal töltötték ki. Célja, hogy összefüggéseket keressek az élménykeresői magatartás és a hőkomfort szavazatok között. Mivel a kiválasztott mérőcsoport nagyon nagy része élménykereső volt, ezért a jelenlegi kísérletben nem tudtam az élménykeresés és a komfort között kapcsolatot vizsgálni.

Egy mérési alkalom összesen hat ismétlődő mérési blokkból állt, melyek mindegyike harminc perct tartott és a következő elemekből állt:

- Szabad tevékenység: az élőalany bármilyen tevékenységet végezhet, figyelve arra, hogy a tevékenységi szintje ne változzon számottevően;
- A munkavégzés hatékonyságát vizsgáló tevékenység: az élőalanyok egy előkészített szöveg gépelési hibáit keresték. Értékeltem a munkavégzés gyorsaságát és pontosságát is.
- Hőérzeti szavazás: az élőalanyok a hőkörnyezetükkel kapcsolatos kérdőívet töltötték ki
- Fiziológiai mérések: az élőalanyokon fiziológiai méréseket végeztem.

Az élőalanyos mérések peremfeltételeit az 6. táblázat, a mérések időbeli lefutását a 7. táblázat mutatja:

6. táblázat: A mérés peremfeltételei

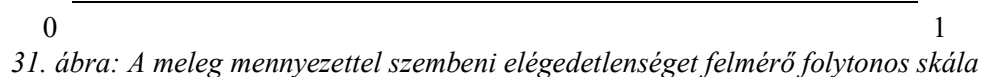
PEREMFELTÉTELEK	
1	A kutatásban résztvevő egészséges élőalanyok száma: 20 fő – 10 nő és 10 férfi
2	Kitettség időtartama: 3 óra - 180 perc + a mérés előtti tesztek
3	Paramétercsoportok száma: 10 (5 aszimmetria és 2 huzathatás)
4	Egy mérési alkalom során csak 1 hőkomfort környezetnek tettem ki az alanyokat
5	Egyszerre csak egy alany vesz részt a kísérleten
6	A paramétercsoportok előfordulása véletlenszerű
7	A hőkomfort kamra hő technikailag stacioner állapotban volt a teljes mérés során
8	Az akusztikai és vizuális zavarásokat kizártam
9	A magas térfogatáram miatt a belső levegő minőség ideális
10	A ruházat hőszigetelő képessége 1 clo
11	Reggeli kötelező, étkezés az egyén napi rutinjához alakítva
12	Mosdó használata kísérlet előtt ideális
13	Víz bevihető a mérőkamrába, más táplálék nem

7. táblázat: Az élőalanyos mérés bemutatása

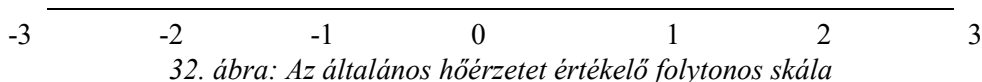
KEZDÉS ÉS BEFEJEZÉS IDŐPONTJA	TEVÉKENYSÉG	LEÍRÁS
-30	0	Mérés előtti kérdőív Általános értékelés Betegségrészlet SSS teszt
1	10	Szabadtevékenység
11	20	Hatékonysági teszt
21	25	Hőkomfort kérdőív
26	30	Fiziológiai mérések

A tézisek szempontjából legfontosabb információk a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség, az AMV értéke és a hatékonyság meghatározása. A 19. ábra a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség, a 20. ábra az általános hőérzettel kapcsolatos kérdőív részletének megjelenítését mutatja, mindkét esetben folytonos skálát használtam:

Mennyire érzi zavarónak a meleg mennyezet hősugárzását? (0- Egyáltalán, 1- Elviselhetetlen)



Értékelje az általános hőérzetét? (-3: Hideg, -2: Hűvös, -1: Kellemsen hűvös, 0: Semleges, 1: Kellemsen meleg, 2: Meleg, 3: Forró)



A lokális diszkomfort tényezők együttes hatása és a munkavégzés hatékonyságának változása közötti kapcsolat feltárása érdekében az alanyok előkészített, gépelési hibákat tartalmazó szöveget javítottak. A tesztek elkészítése során figyelmet szenteltem annak, hogy a hibák előfordulásában megfelelő véletlenszerűség adódjon. Minden mérési tömbnél az alany jelölte, hogy melyik sorig olvasta az adott szöveget. A szöveget mindig ugyanolyan minőségű papírra nyomtattam, a fényviszonyokat nem változtattam, ez nem befolyásolta a hibakeresés hatékonyságát. Az alanyoktól papír alapon begyűjtött információkat feldolgoztam és matematikai módszerek segítségével elemeztem.

3.7. Matematikai értékelés bemutatása

Az eredmények értékelése során a különböző feltételek mellett adott hőkomfort szavazatok közötti összefüggéseket vizsgáltam. A vizsgálat során mindig két értékhalmozatot hasonlítottam össze két különböző matematikai megközelítéssel. Egyrészt a Welch-próbát, másrészt a Mann-Whitney exakt tesztet használtam az eredmények kiértékelésében. A két módszer jellegének különbözősége miatt két szavazati halmaz függőségét vagy függetlenségét biztonsággal elfogadtam, amennyiben mindkét módszer ugyanahhoz az eredményhez vezetett.

A Welch-próba a statisztikai hipotézisvizsgálatok közül a paraméteres próbák közé tartozik. A próba azt vizsgálja, hogy két külön mintában egy-egy valószínűségi változó átlagai egymástól szignifikánsan különböznek-e. Az élőalanyos vizsgálatok során szerzett adatokat valószínűségi változóként definiáltam, ennek értelmében a próba nullhipotézise, hogy két valószínűségi változó várható értékei megegyeznek. A próba elvégzése során a szignifikancia szintet 0,05 értékre határoztam meg. A próba nullhipotézise: a két mintában a két átlag statisztikai szempontból megegyezik.

Alternatív hipotézis: a két mintában a két átlag statisztikai szempontból nem egyezik meg.

A statisztikai szempontból kifejezés itt arra utal, hogy az eltérés a két átlag között olyan minimális, hogy pusztán csak a véletlen ingadozásnak tulajdonítható (ekkor a két átlag statisztikai szempontból azonosnak tekinthető), vagy jelentősen nagyobb, mint ami a véletlennel magyarázható (ekkor a két átlag statisztikai szempontból nem tekinthető azonosnak)

A két fenti hipotézis matematikai megfogalmazása a következő:

H_0 : Az X és Y valószínűségi változók várható értékei megegyeznek, ($E(X) = E(Y)$);

H_1 : Az X és Y valószínűségi változók várható értékei nem egyeznek meg, ($E(X) \neq E(Y)$).

A Welch-teszt próbastatisztikáját a 23. egyenlet, a szabadsági fok definícióját a 24. egyenlet mutatja [24]:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s_x^2}{n} + \frac{s_y^2}{m}}} \quad (23)$$

A próba végrehajtásának lépései:

1. A t próbastatisztika értékének kiszámítása;
2. A p szignifikancia szint megválasztása (Ez ebben az esetben 0,05);
3. A p szignifikancia szinttől függő t_p érték kiválasztása a próbának megfelelő táblázatból. A táblázat jelen esetben a t-eloszlás táblázata, mely eloszlásra szoktak úgy is utalni, mint Student-eloszlás, illetve Student-féle t-eloszlás. A táblázat kétdimenziós, a p szignifikancia szint és az f szabadsági fok ismeretében azonnal megkapjuk a táblázatbeli t_p értéket. Az f szabadsági fok a Welch-próba esetén a 6. összefüggés alapján a jobb oldal reciprokaként adódik.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{n-1} \cdot \left(\frac{\frac{s_x^2}{n}}{\frac{s_x^2}{n} + \frac{s_y^2}{m}} \right)^2 + \frac{1}{m-1} \left(\frac{\frac{s_y^2}{m}}{\frac{s_x^2}{n} + \frac{s_y^2}{m}} \right)^2 \quad (24)$$

4. A nullhipotézisre vonatkozó döntés meghozása.

Ha $|t| \geq t_p$, akkor a nullhipotézist elvetjük, az alternatív hipotézist tartjuk meg, és az eredményt úgy interpretáljuk, hogy a két mintában a valószínűségi változók átlagai szignifikánsan eltérnek egymástól (p szignifikancia szint mellett).

Ha $|t| < t_p$, akkor a nullhipotézist megtartjuk, amit úgy interpretálunk, hogy a Welch-próba nem mutat ki szignifikáns különbséget a két mintában a valószínűségi változók átlagai között (p szignifikancia szint mellett).

A Mann-Whitney teszt a nem paraméteres próbák egyike, mely az értékek rangsoraival operál és melynek nullhipotézise az, hogy a két populáció azonos, vagyis 50% valószínűség mellett egy populáció véletlenszerűen kiválasztott eleme nagyobb lesz, mint a másik populáció véletlenszerűen kiválasztott eleme. A Mann-Whitney teszt során használt szignifikancia szintet 0,05-re választottam.

Amennyiben X_1, X_2, \dots, X_{n1} az egyik minta, melynek eloszlásfüggvénye F_1 , Y_1, Y_2, \dots, Y_{n2} pedig a másik minta, melynek eloszlás függvénye F_2 , a hipotézis matematikai megfogalmazása a következő:

$H_0: F_1=F_2$;

$H_1: F_1(x) \neq F_2(x-s)$ (s – az ismeretlen eltolási paraméter ha teta előjele ismert, egyoldali a próba).

Amennyiben a s előjele ismert, akkor egyoldali a próba, ha a s előjele nem ismert, akkor kétoldali a próba.

Amennyiben a két minta realizációja: X_1, X_2, \dots, X_{n1} és Y_1, Y_2, \dots, Y_{n2} és $n_1+n_2=N$ az egyesített minta elemszáma, Z_1, Z_2, \dots, Z_N az egyesített (összefésült) mintarealizációja és $a[1] \leq a[2] \leq \dots \leq a[N]$ az összefésült minta rangszámai, akkor definiálhatjuk az egyesített minta két részre szedésének lehetőségét, mely:

$$\binom{N}{n_1} \quad (25)$$

Ha igaz a nullhipotézis, akkor bármilyen szétosztáskor a minták azonos eloszlást kell, hogy kövessenek. A T próbatisztika az első mintához tartozó rangszám összeg, $T(x_1, x_2, \dots, x_{n_1})=t$ a mintarealizációhoz tartozó számított érték.

Ha w -vel jelöljük a minta egy lehetséges két részre bontását, és figyelembe vesszük, hogy minden felbontás azonos esélyű, akkor:

$$h(w) = \frac{1}{\binom{N}{n_1}} \quad (26)$$

A számított érték valószínűsége:

$$P(T = t) = \sum_{T(w)=t} h(w) \quad (27)$$

A szignifikancia szint:

$$\varepsilon = P(T \geq t) = \sum_{T(w) \geq t} h(w) \quad (28)$$

Amennyiben r_1, r_2, \dots, r_{n_1} , illetve w_1, w_2, \dots, w_{n_2} a minták rangszámait jelöli, akkor a próbatisztika:

$$T = r_1 + r_2 + \dots + r_{n_1} \quad (29)$$

Egzakt egyoldali szignifikancia szint ekkor:

$$p_1 = \min\{P(T \leq t), P(T \geq t)\} \quad (30)$$

Egzakt kétoldali szignifikancia szint pedig:

$$p_2 = P(|T - E(T)| \geq |t - E(T)|) \quad (31)$$

A két matematikai statisztikai módszert az előalanyos mérések eredményeinek kiértékelésére használtam. A vizsgálatok során mindig két ugyanolyan méretű adathalmazt vizsgáltam. A vizsgálatok során olyan összefüggéseket vizsgállok, mint például:

- huzat növekedésének hatása a meleg mennyzettel szembeni elégedetelenségre - ebben az esetben a DR=15% és a DR=25% huzathatás melletti PD értékeket hasonlítom össze;
- nemek hatása a meleg mennyzettel szembeni elégedetelenségre – ebben az esetben a nők és a férfiak szavazatait hasonlítom össze adott DR érték mellett;
- a szavazatok növekvő vagy csökkenő tendenciáját idő és aszimmetrikus sugárzás függvényében – ebben az esetben például AS=5 °C és AS=7 °C esetén adott PD szavazatok halmazát hasonlítom össze adott DR érték mellett.

Hasonlóan vizsgálom az AMV és a hatékonyság (gyorsaság és pontosság) viszonyait. Minden vizsgálat eredményét táblázatosan szemléltetem. A táblázat mutatja az adatpár megnevezését, a Welch teszt próbatisztikájának értékét (t), a Welch teszt eredményét (a két halmaz független vagy sem), a Mann-Whitney teszt esetén az egzakt kétoldali szignifikancia szint értékét, illetve a Mann-Whitney teszt eredményét (a két halmaz független vagy sem).

Csak akkor fogalmazok meg egyértelmű kijelentést, ha a Welch és a Mann-Whitney tesztek eredménye egybevág. Az 5. fejezetben bemutatott értékelések számítási kivonata és matematikai értékelése az M2, M3 és M4 melléletekben található.

4. Eredmények

Az élőalanyos mérések során begyűjtött információkat három fő tematika szerint vizsgáltam és értékeltem, ezek a következők:

- A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség;
- A kialakult komfortkörnyezetben adódó AMV;
- A munkavégzés hatékonysága a kialakult környezetben.

Az információkat a harminc percenkénti mintavételezések során gyűjtöttem, ezért az eredmények csoportosíthatóak egyrészt a kialakult paraméterek, másrészt az időbeli előfordulás alapján. Az eredményeket és a későbbi értékelést a következő két paraméter függvényében végeztem:

- AS: a tanulmányozott paraméterek változásának vizsgálata változó aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség mellett;
- t: a tanulmányozott paraméterek változásának vizsgálata az idő változásával.

Az élőalanyos kísérletek jellegéből következik, hogy amennyiben az eredményeket az aszimmetrikus sugárzás függvényében vizsgálom, öt mérési pont fog megjelenni a diagramokon (AS=5 °C, 7 °C, 10 °C, 12 °C, 15 °C). Amennyiben az eredményeket idő függvényében vizsgálom, az hat mérési pontot eredményez (30 perc, 60 perc, 90 perc, 120 perc, 150 perc, 180 perc).

4.1. A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség (PD) a meleg mennyezet és huzat együttes előfordulása esetén

A 3. fejezetben bemutatott módszerrel nyert információk közül a jelen fejezet a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségre vonatkozó adatok vizsgálatát ismerteti. A huzathatással együttesen előforduló, meleg mennyezet által kiváltott sugárzási aszimmetriával szembeni elégedetlenséget az élőalanyok a mérés során különböző aszimmetria értékek mellett értékelték 30 percenként. A szavazatok kiértékelése során az elégedetlenség százalékos értékét egyrészt a sugárzási aszimmetria, másrészt az idő függvényében értékeltem.

Az eredmények megjelenítése során célként tűztem ki, hogy a mért pontokra görbét is illesszek, melynek az egyenlete leírja a folyamatot. Az egyenletek meghatározása során egy iteratív folyamatot alkalmaztam, mely során feltüntettem a polinom fokszámának növelése mellett az illeszkedés növekedését is, az R^2 értéket.

Ezáltal az eredmények mutatják, hogy mely első-, másod-, illetve harmadfokú egyenletek írják le a jelenséget, illetve milyen illeszkedés mellett. Erre a módszerre a viszonylag kis mennyiségű adatpont rendelkezésre állása miatt volt szükség. Ez a gondolatmenet követhető a teljes dolgozat során.

A jelen fejezet alfejezetei az eredményeket sugárzási hőmérséklet aszimmetria és idő függvényében mutatja.

4.1.1. Meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség (PD) aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényben

A 13.-18. diagramok az elégedetlenség százalékos arányát mutatják az aszimmetria függvényében. Az eredmények bemutatása során egyes pontok esetén a 95%-os konfidencia intervallumot is ábrázoltam.

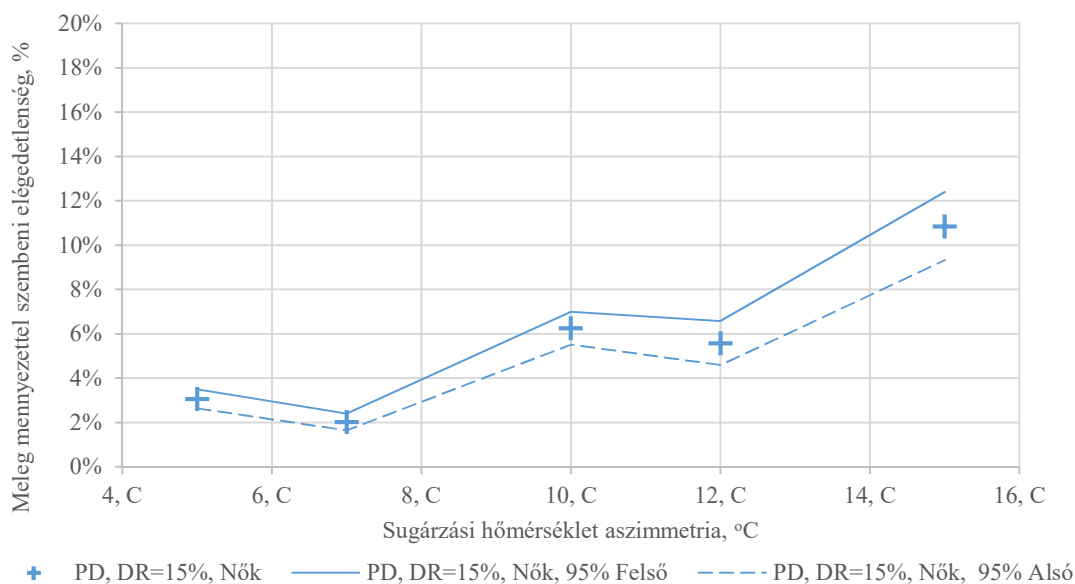
Az eredmények bemutatása során a megjelenő görbék nem valamelyik görbeillesztést, csak a várható értékek, illetve a konfidencia intervallum felső és alsó értékét összekötő egyeneseket mutatják. Az eredmények bemutatásánál fontos szempont a nemek hatásának vizsgálata, ezért nemcsak a 15% és 25%

huzathatás során előforduló, összes szavazatot mutatom be, hanem adott huzathatás értékek mellett külön a nők és a férfiak elégedetlenségi arányát is.

Az alanyok összesen 5 aszimmetria érték esetén előállt hőkönyezetet értékelték, a diagramokon található pontok pedig az aszimmetria függvényében megfogalmazott elégedetlenségi arány átlagos értékét mutatják. A 13-18. diagramon található pontok a nők és férfiak esetén 60, összesített esetben 120 mérési adat várható értékét mutatják, hiszen tartalmazzák minden alany szavazatát 6 időpillanatban: 30, 60, 90, 120, 150 és 180 percnél.

Mivel a görbeillesztés összesen 5 mérési pontra történik, a negyedfokú görbe már 1-es R^2 -t eredményez. Épp ezért a görbeillesztés során vizsgáltam az egyenestől a 3. fokú polinomig az illesztés pontosságát – így az eredmények megmutatása során minden diagramhoz három egyenes, illetve három R^2 érték tartozik: egy első-, egy másod- és egy harmadfokú polinomé. Ezek az egyenletek a jelzett illeszkedés mellett leírják a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenséget nők, férfiak és az összes élőalany szavazatának figyelembevételével 15% és 25% huzathatás mellett. A következő esetek eredményei láthatóak:

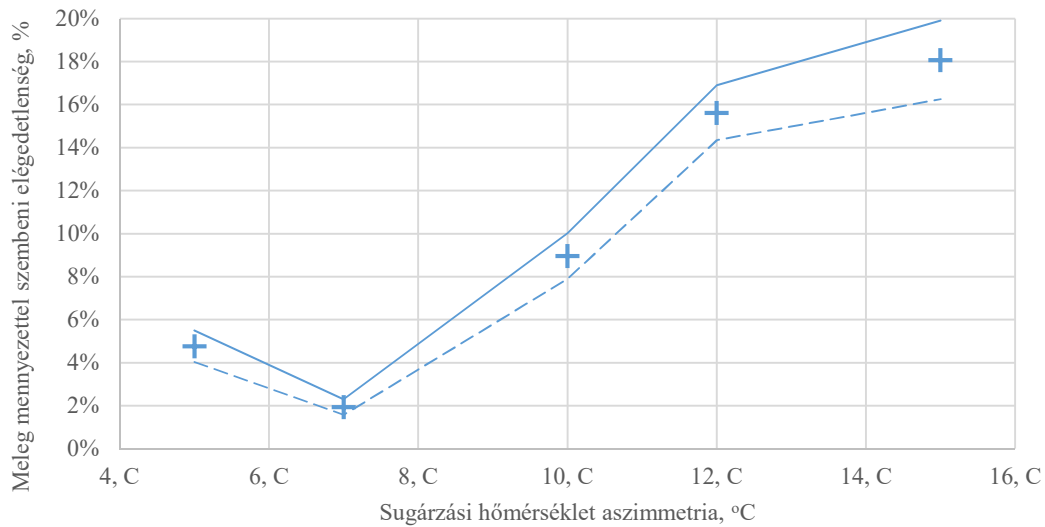
- A meleg mennyezettel elégedetlenek aránya nők esetén 15% huzathatás mellett,
- A meleg mennyezettel elégedetlenek aránya férfiak esetén 15% huzathatás mellett,
- A meleg mennyezettel elégedetlenek aránya az összes élőalany szavazatának figyelembe vétele esetén 15% huzathatás mellett,
- A meleg mennyezettel elégedetlenek aránya nők esetén 25% huzathatás mellett,
- A meleg mennyezettel elégedetlenek aránya férfiak esetén 25% huzathatás mellett,
- A meleg mennyezettel elégedetlenek aránya az összes élőalany szavazatának figyelembe vétele esetén 25% huzathatás mellett.



33. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Nők, DR=15%

Nők meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek

$PD = 7.9 \cdot 10^{-3} AS - 2.1 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.82$	(32)
$PD = 8.0 \cdot 10^{-4} AS^2 - 7.8 \cdot 10^{-3} AS + 4.6 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.9$	(33)
$PD = -1.0 \cdot 10^{-5} AS^3 + 1.2 \cdot 10^{-3} AS^2 - 1.2 \cdot 10^{-2} AS + 5.8 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.9$	(34)



+ PD, DR=15%, Férfiak — PD, DR=15%, Férfiak, 95% Felső - - - PD, DR=15%, Férfiak, 95% Alsó

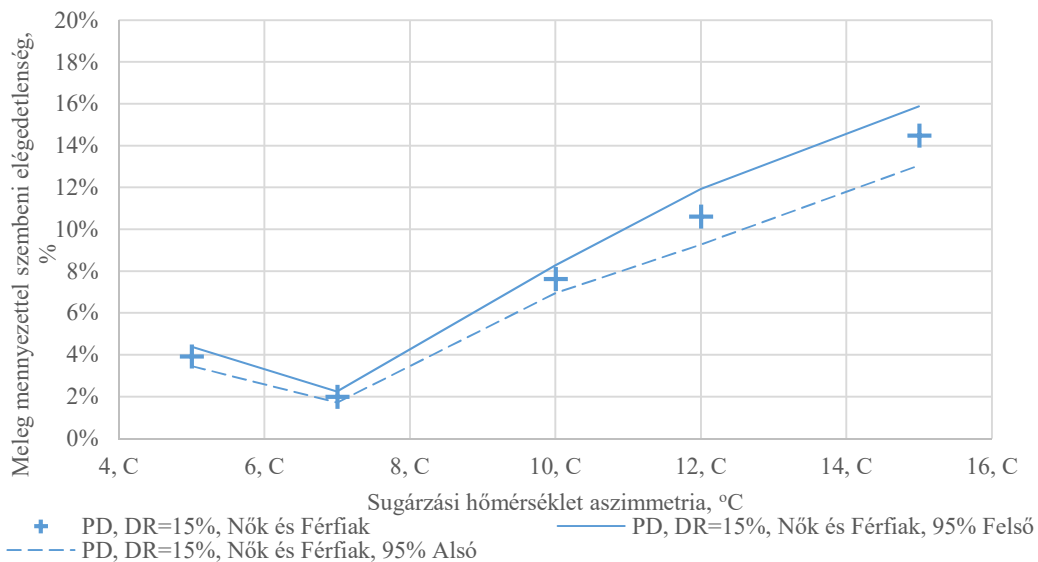
34. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Férfiak, DR=15%

Férfiak meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

$$PD = 1.6 \cdot 10^{-2} AS - 6.0 \cdot 10^{-2} \quad R^2=0.86 \quad (35)$$

$$PD = 7.0 \cdot 10^{-4} AS^2 + 0.2 \cdot 10^{-2} AS + 1.4 \cdot 10^{-3} \quad R^2=0.88 \quad (36)$$

$$PD = -8.0 \cdot 10^{-4} AS^3 + 2.6 \cdot 10^{-2} AS^2 - 23.5 \cdot 10^{-2} AS + 6.8 \cdot 10^{-1} \quad R^2=1 \quad (37)$$



+ PD, DR=15%, Nők és Férfiak — PD, DR=15%, Nők és Férfiak, 95% Felső - - - PD, DR=15%, Nők és Férfiak, 95% Alsó

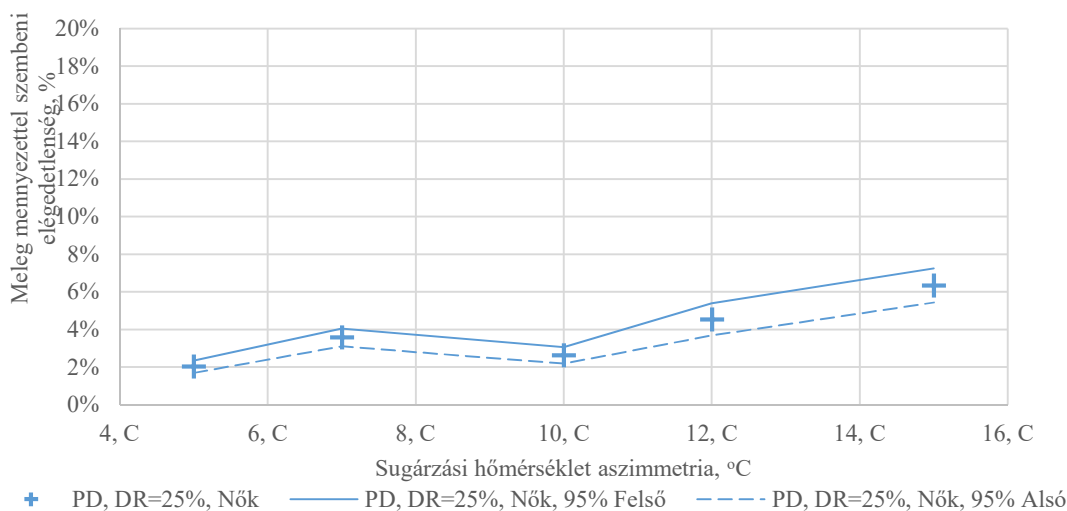
35. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Nők és Férfiak, DR=15%

Az összes élőalany meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

$$PD = 1.2 \cdot 10^{-2} AS - 4.1 \cdot 10^{-2} \quad R^2=0.90 \quad (38)$$

$$PD = 8.0 \cdot 10^{-4} AS^2 + 2.9 \cdot 10^{-3} AS + 2.3 \cdot 10^{-2} \quad R^2=0.93 \quad (39)$$

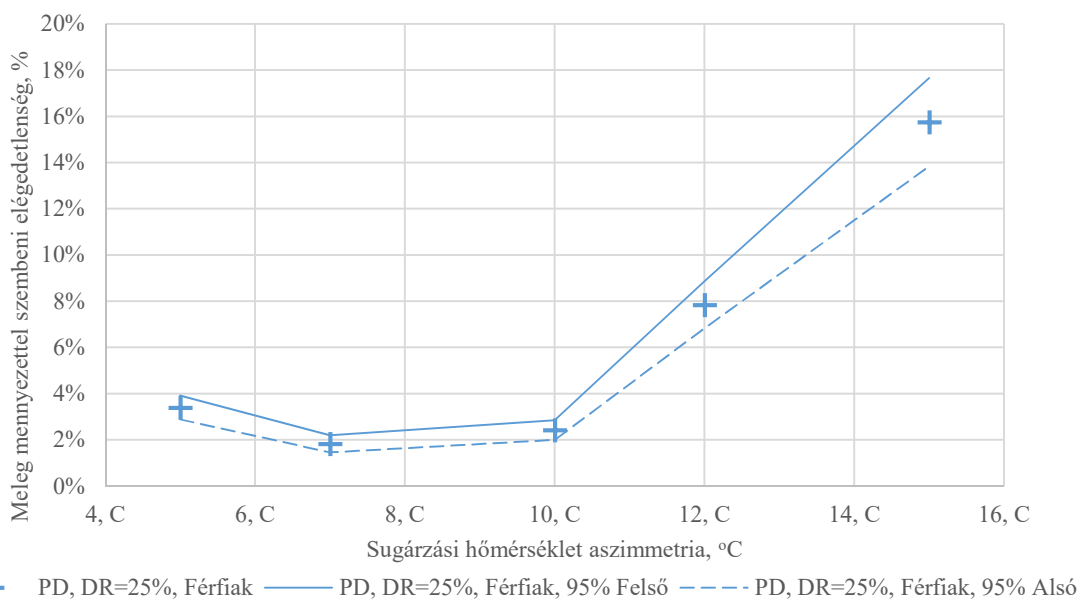
$$PD = -4.0 \cdot 10^{-4} AS^3 + 1.4 \cdot 10^{-2} AS^2 - 12.3 \cdot 10^{-2} AS + 36.9 \cdot 10^{-2} \quad R^2=0.98 \quad (40)$$



36. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Nők, DR=25%

Nők meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

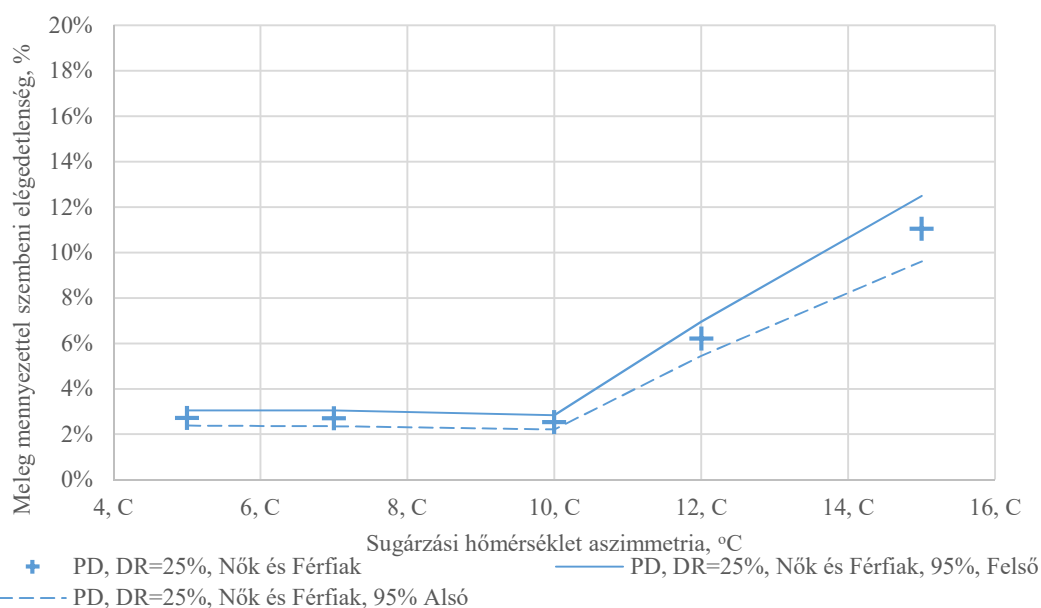
$PD = 3.8 \cdot 10^{-3} AS + 1.2 \cdot 10^{-3}$	$R^2=0.77$	(41)
$PD = 4.0 \cdot 10^{-4} AS^2 - 3.8 \cdot 10^{-3} AS + 3.4 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.84$	(42)
$PD = 0.1 \cdot 10^{-3} AS^3 - 3.2 \cdot 10^{-3} AS^2 + 2.9 \cdot 10^{-2} AS - 6.1 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.88$	(43)



37. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Férfiak, DR=25%

Férfiak meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

$PD = 1.2 \cdot 10^{-2} AS - 5.9 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.72$	(44)
$PD = 2.5 \cdot 10^{-3} AS^2 - 3.8 \cdot 10^{-2} AS + 16.0 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.98$	(45)
$PD = -1.0 \cdot 10^{-4} AS^3 + 6.2 \cdot 10^{-3} AS^2 - 7.2 \cdot 10^{-2} AS + 25.9 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.99$	(46)



38. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Nők és Férfiak, DR=25%

Az összes élőalany meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

$PD = 8.1 \cdot 10^{-3} AS - 2.9 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.75$	(47)
$PD = 1.5 \cdot 10^{-3} AS^2 - 2.1 \cdot 10^{-2} AS + 9.7 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.97$	(48)
$PD = -3.0 \cdot 10^{-6} AS^3 + 1.6 \cdot 10^{-3} AS^2 - 2.2 \cdot 10^{-2} AS + 9.9 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.97$	(49)

4.1.2. Meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség (PD) idő függvényében

A meleg mennyezet és a huzat együttes hatásának vizsgálata során továbbá fontos a két lokális diszkomfort paraméter együttes előfordulása esetén, a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség megítélésének változása az idő előrehaladtával.

A kísérlet során a komfortparaméterek állandó értéken, a mérőkamrát pedig stacioner állapotban tartottam. A 3. fejezetben leírtak szerint alkalmaztam egy 30 perces adaptációs periódust, mely során az alanyok szervezete hozzászokott a mérendő hőkörnyezethez.

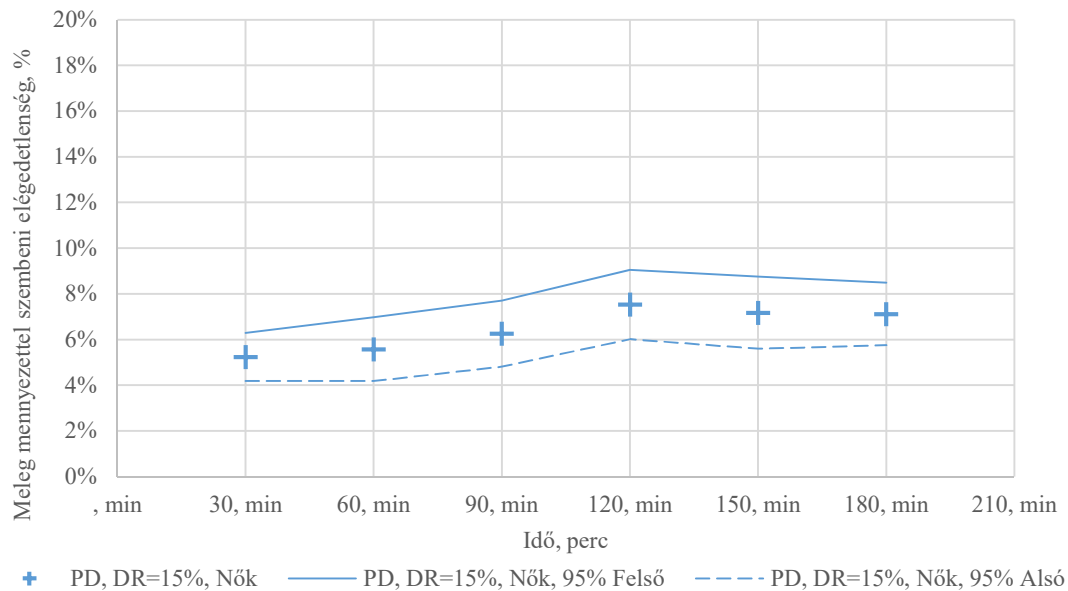
A 19.-24. diagramok eredményei az eltelt idő függvényében mutatják az elégedetlenség százalékos arányát. A mérési eredmények feldolgozásánál idő függvényében is vizsgáltam a nemek szerinti, valamint az összes szavazatot figyelembe vevő változásokat. A bemutatott eredmények nők és férfiak esetén összesen 50, összesített esetben összesen 100 mérési pont eredményét tartalmazzák, hiszen magukba foglalják minden alany szavazatát 5 hőmérsékleti aszimmetria esetén: 5 °C, 7 °C, 10 °C, 12 °C és 15 °C mellett.

A görbeillesztés szempontjai hasonlóak a sugárzási aszimmetria szerinti görbeillesztésekhez. Ebben az esetben hat pontra illeszthető görbe, viszont az egységes eredmények és a magas R^2 értékek miatt 1., 2. és 3. fokú polinom illesztését mutatom be.

A 19.-24. diagramokon a következő esetek eredményei láthatóak:

- A meleg mennyezettel elégedetlenek arányának időbeli változása nők esetén 15% huzathatás mellett,
- A meleg mennyezettel elégedetlenek arányának időbeli változása férfiak esetén 15% huzathatás mellett,

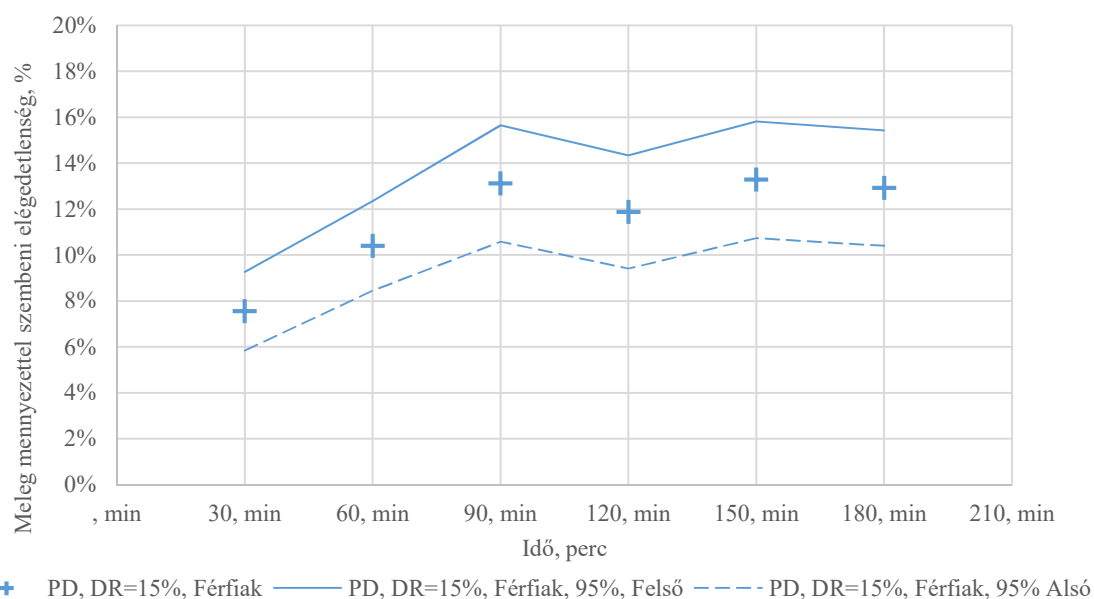
- A meleg mennyezettel elégedetlenek arányának időbeli változása az összes élőalany szavazatának figyelembe vétele esetén 15% huzathatás mellett,
- A meleg mennyezettel elégedetlenek arányának időbeli változása nők esetén 25% huzathatás mellett,
- A meleg mennyezettel elégedetlenek arányának időbeli változása férfiak esetén 25% huzathatás mellett,
- A meleg mennyezettel elégedetlenek arányának időbeli változása az összes élőalany szavazatának figyelembe vétele esetén 25% huzathatás mellett.



39. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Nők, DR=15%

Nők meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

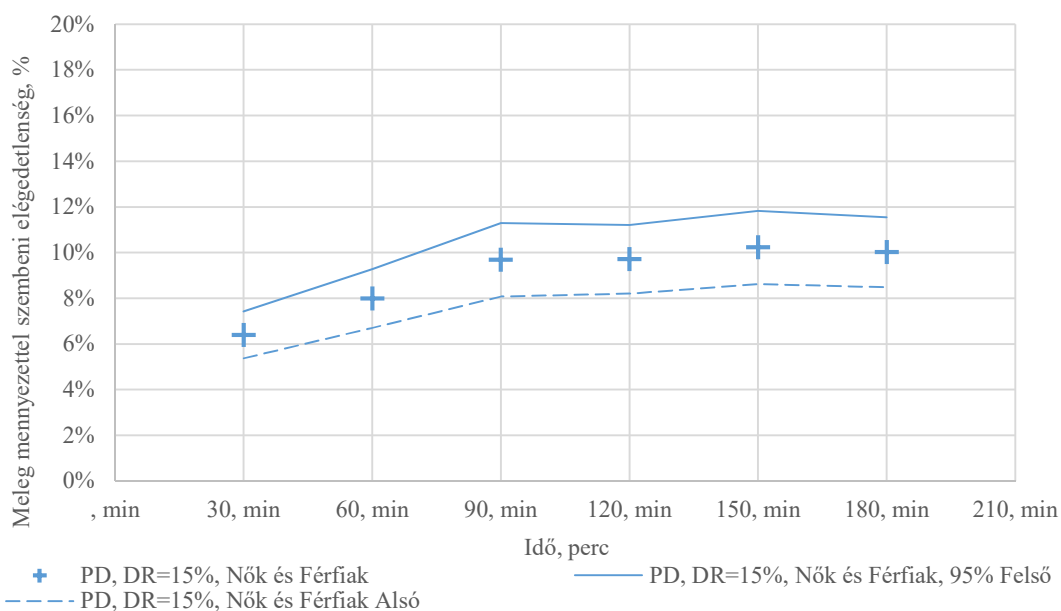
$PD = 1.0 \cdot 10^{-4}t + 4.9 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.77$	(50)
$PD = -1.0 \cdot 10^{-6}t^2 + 4.0 \cdot 10^{-4}t + 3.9 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.87$	(51)
$PD = -2.0 \cdot 10^{-8}t^3 + 6.0 \cdot 10^{-6}t^2 - 3.0 \cdot 10^{-4}t + 5.5 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.93$	(52)



40. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Férfiak, DR=15%

Férfiak meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

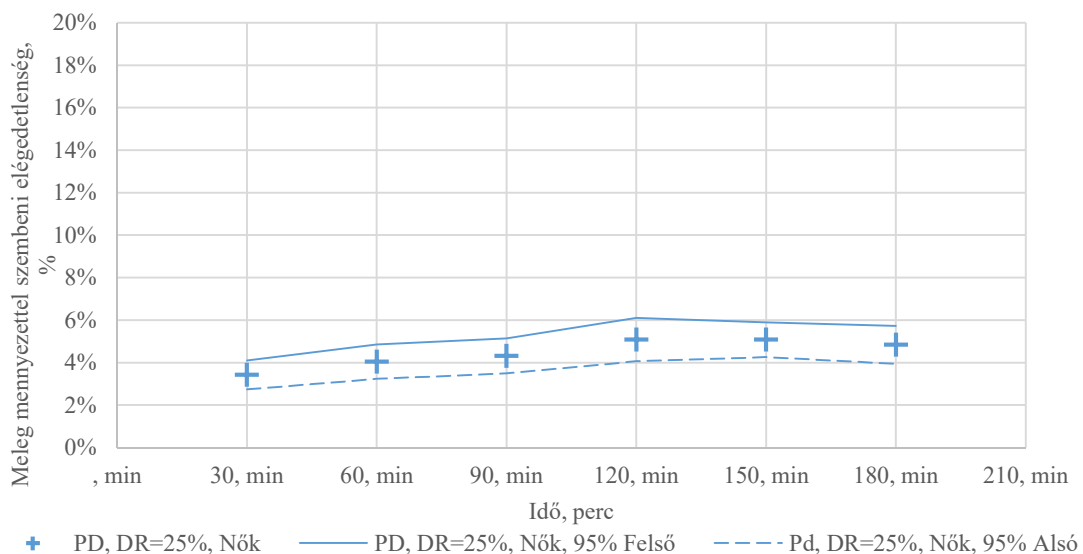
$PD = 3.0 \cdot 10^{-4}t + 8.1 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.67$	(53)
$PD = -4.0 \cdot 10^{-6}t^2 + 1.2 \cdot 10^{-3}t + 45.6 \cdot 10^{-3}$	$R^2=0.89$	(54)
$PD = 4.0 \cdot 10^{-8}t^3 - 2.0 \cdot 10^{-5}t^2 + 2.3 \cdot 10^{-3}t + 18.5 \cdot 10^{-3}$	$R^2=0.92$	(55)



41. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Nők és Férfiak, DR=15%

Az összes élőalany meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

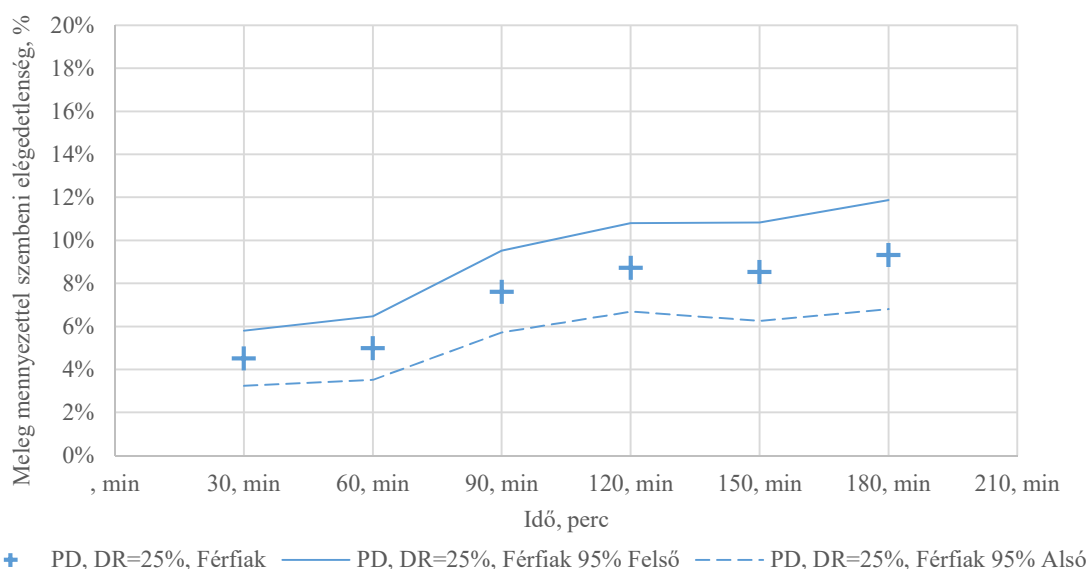
$PD = 2.0 \cdot 10^{-4}t + 6.5 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.77$	(56)
$PD = -3.0 \cdot 10^{-6}t^2 + 8.0 \cdot 10^{-4}t + 4.2 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.97$	(57)
$PD = 8.0 \cdot 10^{-9}t^3 - 5.0 \cdot 10^{-6}t^2 + 1.0 \cdot 10^{-3}t + 3.7 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.97$	(58)



42. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Nők, DR=25%

Nők meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

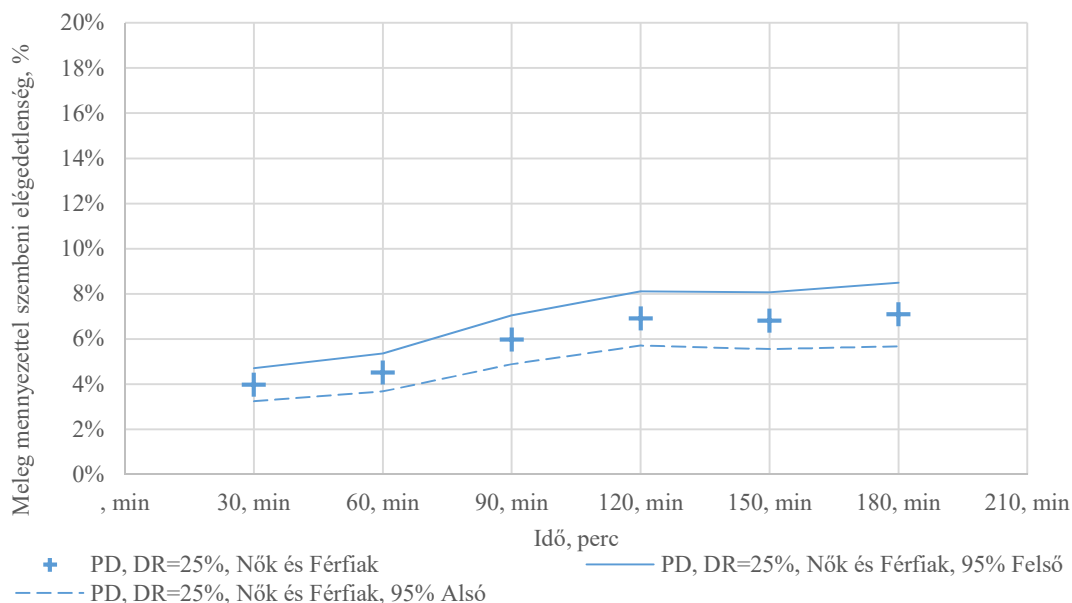
$PD = 1.0 \cdot 10^{-4}t + 3.4 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.78$	(59)
$PD = -1.0 \cdot 10^{-6}t^2 + 3.0 \cdot 10^{-4}t + 24.6 \cdot 10^{-3}$	$R^2=0.94$	(60)
$PD = -1.0 \cdot 10^{-8}t^3 + 2.0 \cdot 10^{-6}t^2 + 2.0 \cdot 10^{-5}t + 3.2 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.97$	(61)



43. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Férfiak, DR=25%

Férfiak meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

$PD = 3.0 \cdot 10^{-4}t + 3.7 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.87$	(62)
$PD = -2.0 \cdot 10^{-6}t^2 + 7.0 \cdot 10^{-4}t + 2.1 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.93$	(63)
$PD = -2.0 \cdot 10^{-8}t^3 + 4.0 \cdot 10^{-6}t^2 + 2.0 \cdot 10^{-4}t + 3.3 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.93$	(64)



44. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Nők és Férfiak, DR=25%

Az összes élőalany meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

$PD = 2.0 \cdot 10^{-4}t + 3.5 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.88$	(65)
$PD = -1.0 \cdot 10^{-6}t^2 + 5.0 \cdot 10^{-4}t + 22.8 \cdot 10^{-3}$	$R^2=0.95$	(66)
$PD = -1.0 \cdot 10^{-8}t^3 + 3.0 \cdot 10^{-6}t^2 + 1.0 \cdot 10^{-4}t + 32.6 \cdot 10^{-3}$	$R^2=0.96$	(67)

4.2. AMV a meleg mennyezet és huzat együttes előfordulása esetén

A élőalanyos mérések során a kísérletben részt vevő alanyok értékelték az általános hőkomfort érzetet és megjelölték az aktuális AMV értéket.

A meleg mennyezet által kiváltott sugárzási hőmérséklet aszimmetria és a huzat együttes hatását az alanyok, a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenséget hasonló módon értékelték. A mérési adatok 30 percenként állnak rendelkezésre, öt aszimmetrikus sugárzási érték és két huzathatás esetén. Az eredményeket ebben az esetben is sugárzási hőmérséklet aszimmetria és idő függvényében ismertetem. A mérési pontokra, e konfidencia intervallumra, a görbeillesztésre és a különböző fokszámú polinom függvények illeszkedésének követésére vonatkozó, 4.1 fejezetben leírtak ebben az esetben is igazak. Az AMV-vel kapcsolatos eredményeket a 4.2.1. és 4.2.2 alfejezetek ismertetik az aszimmetrikus sugárzás, illetve az idő függvényében.

4.2.1. AMV az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében

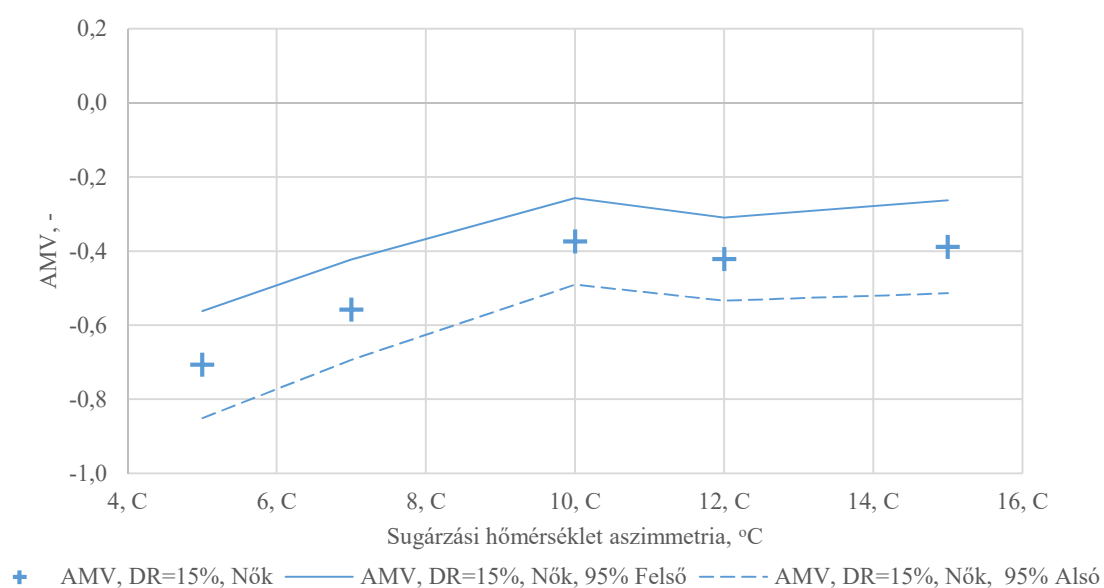
A 25.-30. diagramok az AMV értéket mutatják az aszimmetrikus sugárzás függvényében a 95%-os konfidencia intervallumok bemutatásával. A diagramokon megjelenő, a konfidencia intervallum végpontjait összekötő egyenesek nem görbeillesztés eredménye, a megjelenítést segítik.

Az AMV értékek vizsgálata során is fontos szempont a nemek szerinti eredmények megmutatása, ezért nem csak a két DR érték mellett adódó, összes AMV szavazatot mutatom be, hanem adott huzathatás értékek mellett külön a nők és a férfiak elégedetlenségi arányát is.

A mért pontok száma ebben az esetben is a 4.1.1 fejezetben leírtak szerint alakul, a görbeillesztéseket és a görbék egyenletét ebben az esetben is 3. fokig illusztrálom.

A következő esetek eredményeit mutatom be:

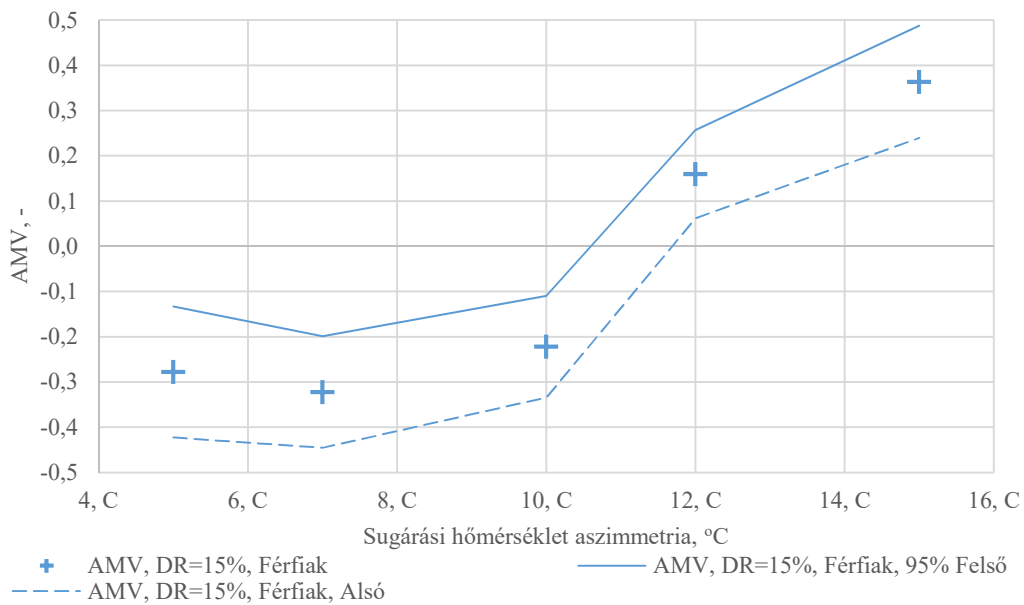
- AMV értéke nők esetén 15% huzathatás mellett,
- AMV értéke férfiak esetén 15% huzathatás mellett,
- AMV értéke az összes élőalany szavazatának figyelembe vétele esetén 15% huzathatás mellett,
- AMV értéke nők esetén 25% huzathatás mellett,
- AMV értéke férfiak esetén 25% huzathatás mellett,
- AMV értéke az összes élőalany szavazatának figyelembe vétele esetén 25% huzathatás mellett.



45. ábra: AMV AS függvényében, Nők, DR=15%

Nők meleg mennyezzettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

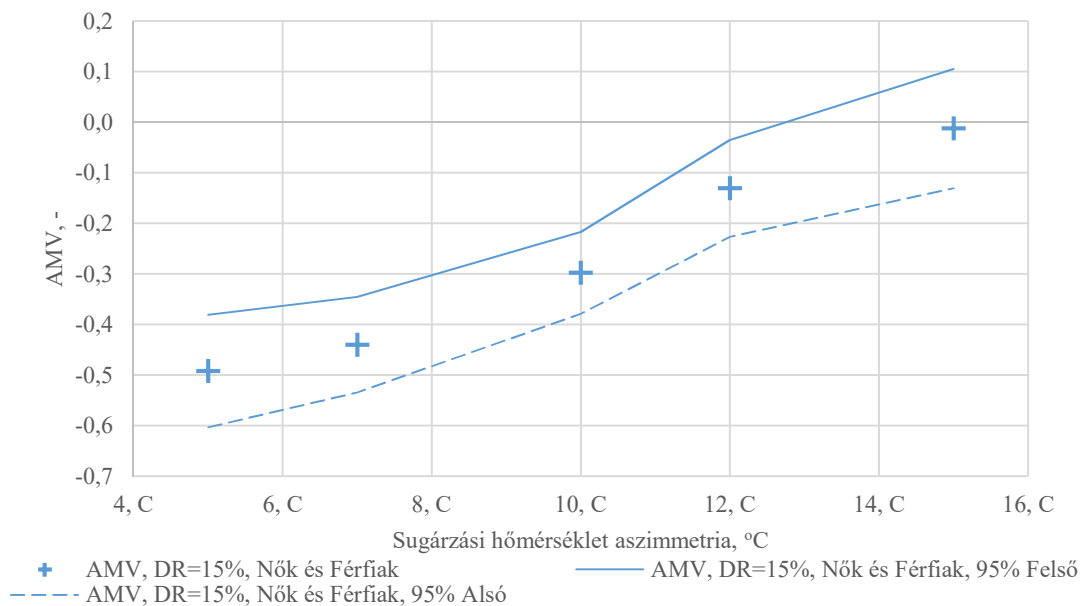
$AMV = 3.0 \cdot 10^{-2} AS - 7.9 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.74$	(68)
$AMV = -5.5 \cdot 10^{-3} AS^2 + 1.4 \cdot 10^{-1} AS - 12.7 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.95$	(69)
$AMV = 5.0 \cdot 10^{-4} AS^3 - 2.2 \cdot 10^{-2} AS^2 + 29.5 \cdot 10^{-2} AS - 1.7$	$R^2=0.96$	(70)



46. ábra: AMV AS függvényében, Férfiak, DR=15%

Férfiak meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

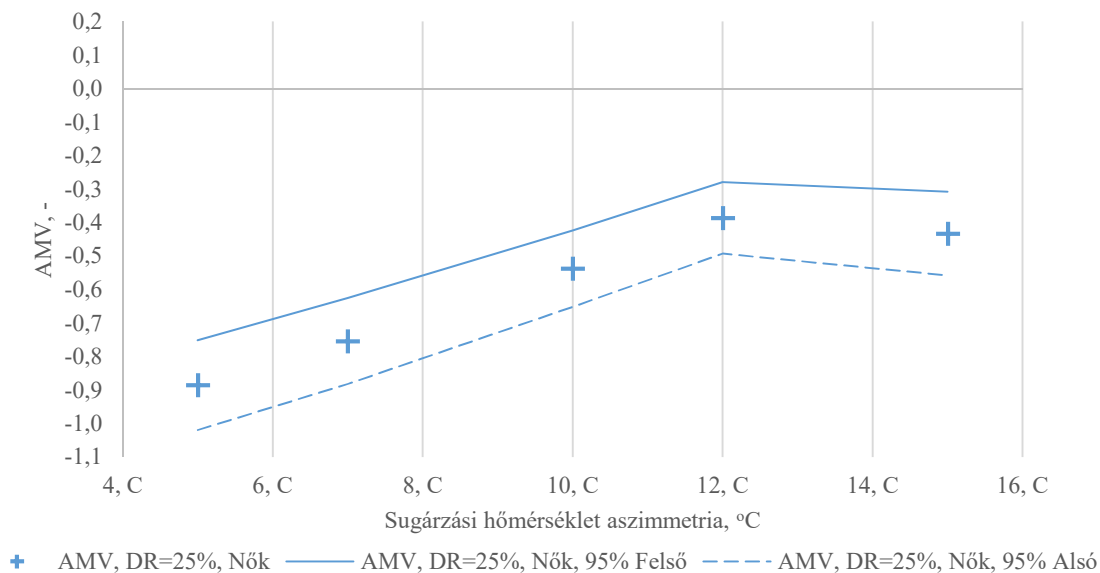
$AMV = 7.0 \cdot 10^{-2} AS - 7.5 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.84$	(71)
$AMV = 7.4 \cdot 10^{-3} AS^2 - 7.7 \cdot 10^{-2} AS - 1.1 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.92$	(72)
$AMV = 2.2 \cdot 10^{-3} AS^3 + 74.1 \cdot 10^{-3} AS^2 - 70.3 \cdot 10^{-2} AS + 16.7 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.96$	(73)



47. ábra: AMV AS függvényében, Nők és Férfiak, DR=15%

Az összes élőalany meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

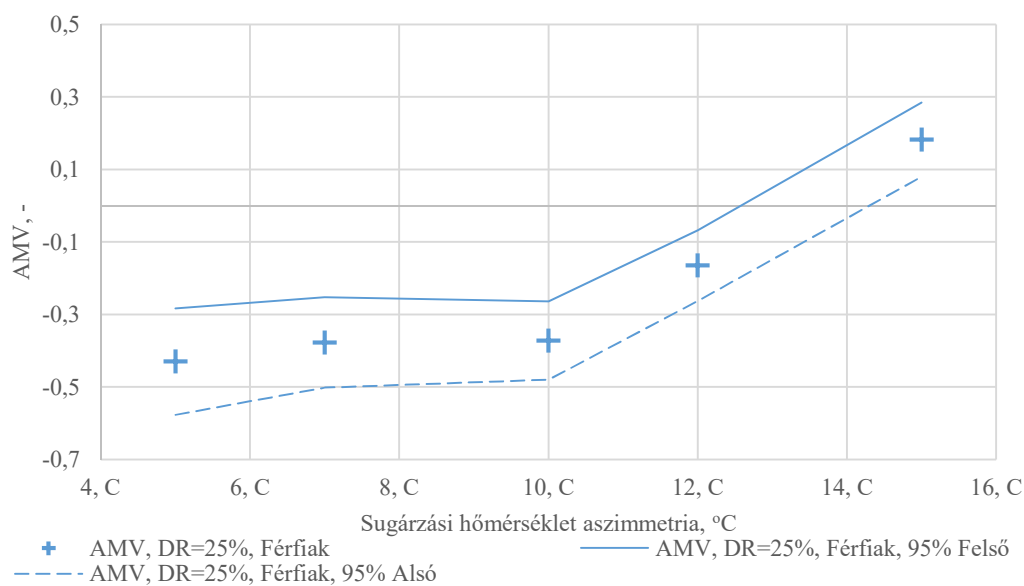
$AMV = 5.0 \cdot 10^{-2} AS - 7.7 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.97$	(74)
$AMV = 0.1 \cdot 10^{-2} AS^2 + 3.1 \cdot 10^{-2} AS - 6.9 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.98$	(75)
$AMV = -0.8 \cdot 10^{-3} AS^3 + 2.6 \cdot 10^{-2} AS^2 - 0.2 AS - 1,5 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.99$	(76)



48. ábra: AMV AS függvényében, Nők, DR=25%

Nők meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

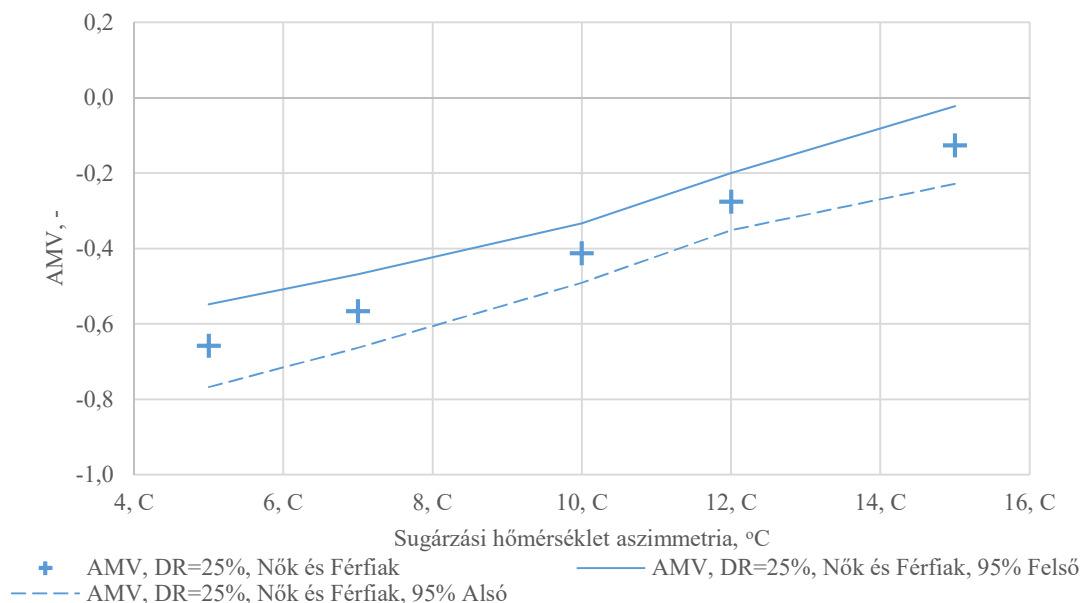
$AMV = 5.0 \cdot 10^{-2} AS - 10.9 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.86$	(77)
$AMV = -5.8 \cdot 10^{-3} AS^2 + 1.6 \cdot 10^{-1} AS - 15.9 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.96$	(78)
$AMV = -1.3 \cdot 10^{-3} AS^3 + 3.2 \cdot 10^{-2} AS^2 - 19.4 \cdot 10^{-2} AS - 5.7 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.99$	(79)



49. ábra: AMV AS függvényében, Férfiak, DR=25%

Férfiak meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

$AMV = 5.8 \cdot 10^{-2} AS - 7.9 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.81$	(80)
$AMV = 8.6 \cdot 10^{-3} AS^2 - 11.3 \cdot 10^{-2} AS - 5.4 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.98$	(81)
$AMV = 0.6 \cdot 10^{-3} AS^3 - 9.5 \cdot 10^{-3} AS^2 + 5.6 \cdot 10^{-2} AS - 5.4 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.98$	(82)



50. ábra: AMV AS függvényében, Nők és Férfiak, DR=25%

Az összes élőalany meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

$AMV = 5.4 \cdot 10^{-2} AS - 9.4 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.99$	(83)
$AMV = 4.0 \cdot 10^{-4} AS^2 + 4.5 \cdot 10^{-2} AS - 0.9$	$R^2=0.99$	(84)
$AMV = -3.0 \cdot 10^{-4} AS^3 + 9.2 \cdot 10^{-3} AS^2 - 3.6 \cdot 10^{-2} AS - 6.7 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.99$	(85)

4.2.2. AMV idő függvényében

Az aszimmetrikus sugárzás és a huzat együttes előfordulása mellett kialakult AMV érték időbeli változását is vizsgáltam, az adatgyűjtést ebben az esetben is 30 percnként végeztem.

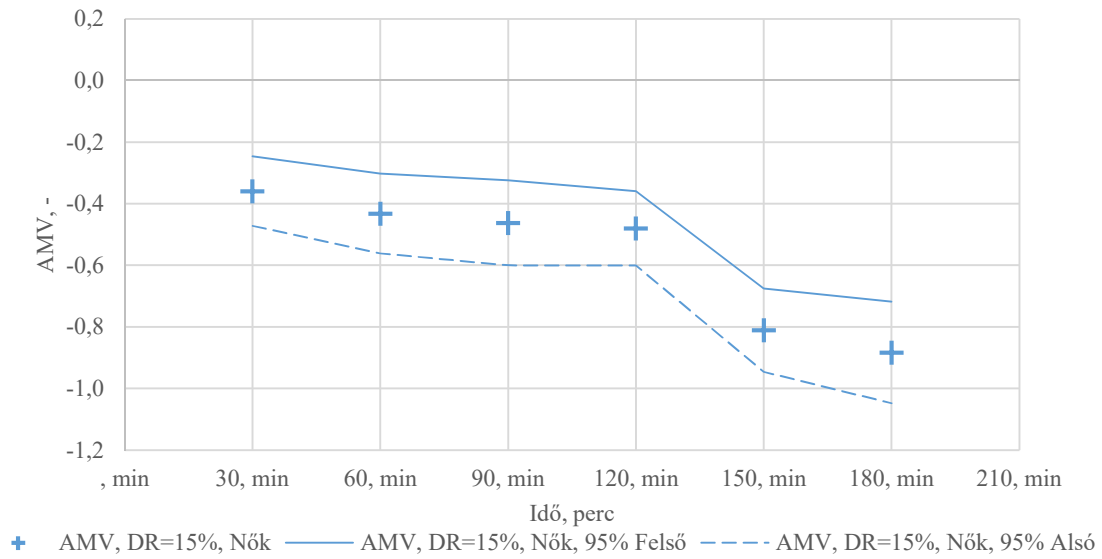
A 31.-36. diagramok eredményei az eltelt idő függvényében mutatják az AMV értékét ismertelve az összes élőalany szavazatát, valamint a nemek szerinti szavazatok várható értékét és a 95%-os konfidencia intervallumot.

A bemutatott eredmények nők és férfiak esetén összesen 50, összesített esetben összesen 100 mérési pont eredményét tartalmazzák, a 4.1.2. fejezetben leírtak szerint. A leíró egyenletekre igaz a 4.1. fejezetben bemutatott metodológia, ebben az esetben is első-, másod- és harmadfokú polinomokkal közelítem a jelenség leírását.

A 31.-36. diagramokon a következő esetek eredményei láthatóak:

- AMV időbeli változása nők esetén 15% huzathatás mellett,
- AMV időbeli változása férfiak esetén 15% huzathatás mellett,
- AMV időbeli változása az összes élőalany szavazatának figyelembe vétele esetén 15% huzathatás mellett,
- AMV időbeli változása nők esetén 25% huzathatás mellett,
- AMV időbeli változása férfiak esetén 25% huzathatás mellett,

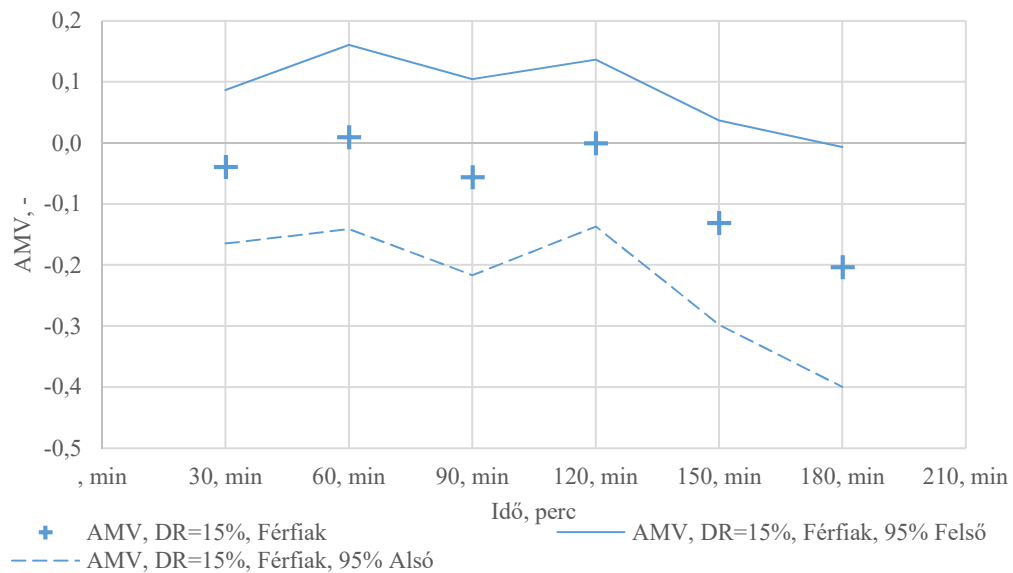
- AMV időbeli változása az összes élőalany szavazatának figyelembe vétele esetén 25% huzathatás mellett.



51. ábra: AMV idő függvényében, Nők, DR=15%

Nők meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

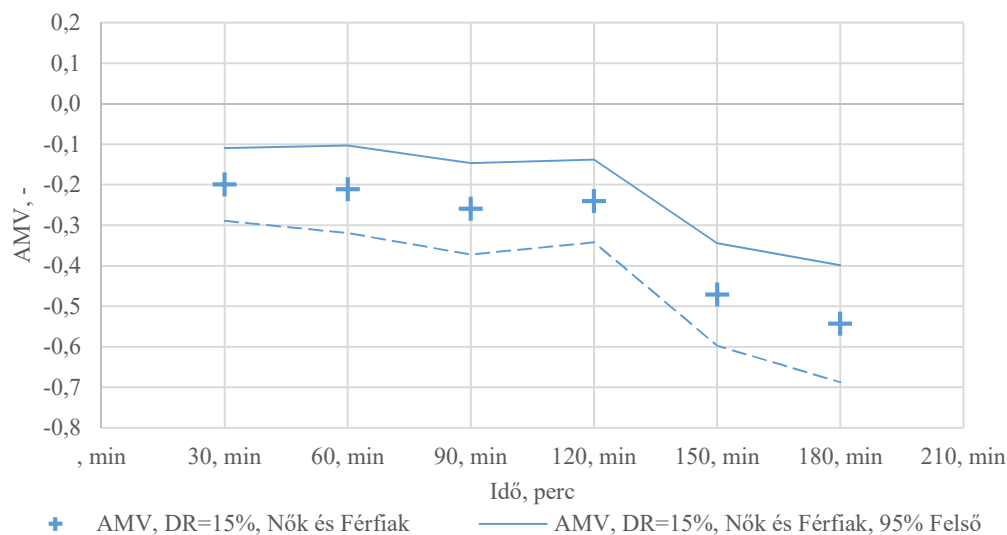
$AMV = -3.6 \cdot 10^{-3}t - 1.9 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.85$	(86)
$AMV = -2.0 \cdot 10^{-5}t^2 + 1.4 \cdot 10^{-3}t - 3.9 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.92$	(87)
$AMV = 4.0 \cdot 10^{-8}t^3 - 3.0 \cdot 10^{-5}t^2 + 2.4 \cdot 10^{-3}t - 4.2 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.92$	(88)



52. ábra: AMV idő függvényében, Férfiak, DR=15%

Férfiak meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

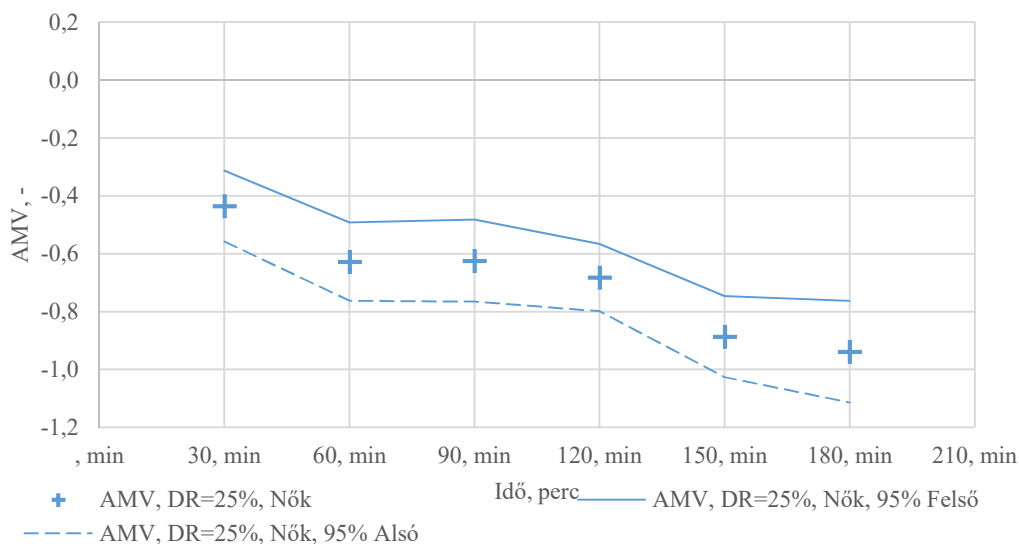
$AMV = -1.1 \cdot 10^{-3}t + 4.9 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.59$	(89)
$AMV = -2.0 \cdot 10^{-5}t^2 + 2.5 \cdot 10^{-3}t - 9.5 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.85$	(90)
$AMV = -2.0 \cdot 10^{-8}t^3 - 1.0 \cdot 10^{-5}t^2 + 1.9 \cdot 10^{-3}t - 8.1 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.85$	(91)



53. ábra: AMV idő függvényében, Nők és Férfiak, DR=15%

Az összes élőalany meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

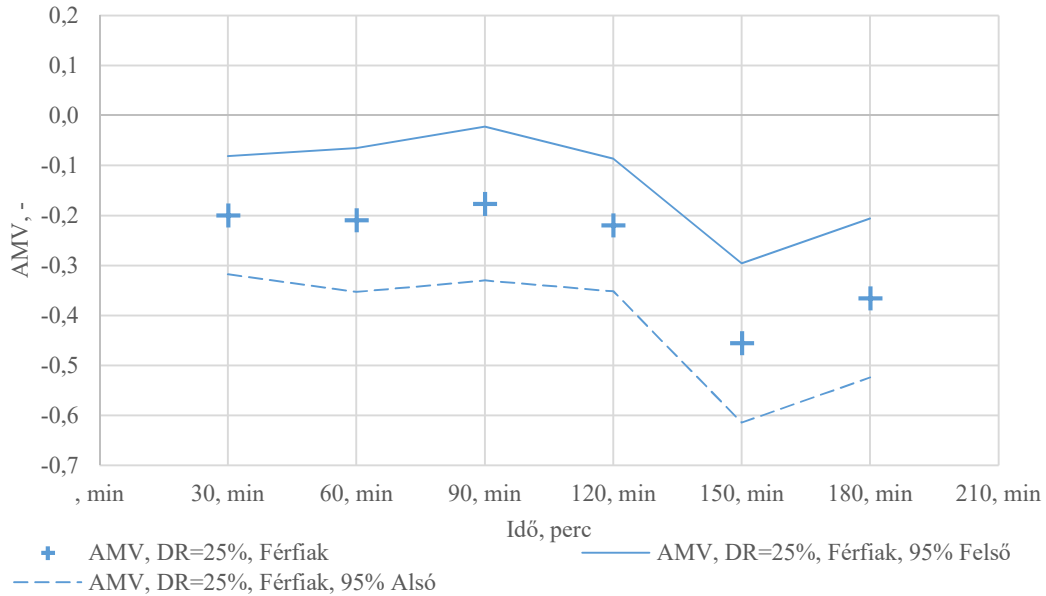
$AMV = -2.4 \cdot 10^{-3}t - 7.2 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.80$	(92)
$AMV = -2.0 \cdot 10^{-5}t^2 + 1.9 \cdot 10^{-3}t - 2.4 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.92$	(93)
$AMV = 7.0 \cdot 10^{-9}t^3 - 2.0 \cdot 10^{-5}t^2 + 2.1 \cdot 10^{-3}t - 2.5 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.92$	(94)



54. ábra: AMV idő függvényében, Nők, DR=25%

Nők meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

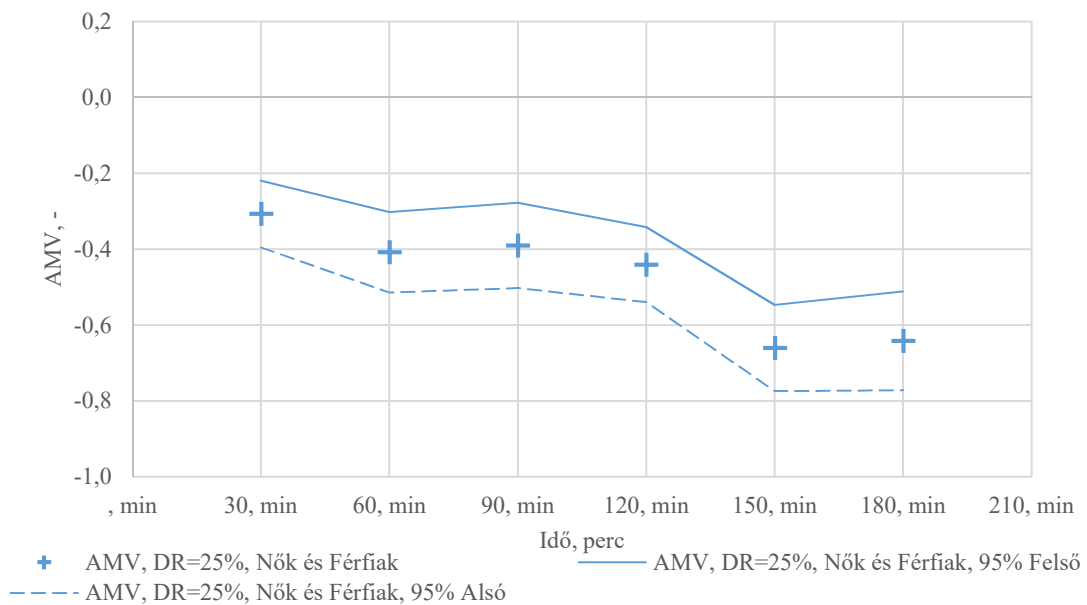
$AMV = -3.2 \cdot 10^{-3}t - 3.6 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.92$	(95)
$AMV = -3.0 \cdot 10^{-6}t^2 - 2.7 \cdot 10^{-3}t - 3.8 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.92$	(96)
$AMV = -2.0 \cdot 10^{-7}t^3 + 5.0 \cdot 10^{-5}t^2 - 7.2 \cdot 10^{-3}t - 2.7 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.93$	(97)



55. ábra: AMV idő függvényében, Férfiak, DR=25%

Férfiak meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

$AMV = -1.5 \cdot 10^{-3} - 0.1$	$R^2=0.58$	(98)
$AMV = -1.0 \cdot 10^{-5}t^2 + 9.0 \cdot 10^{-4}t - 0.2$	$R^2=0.64$	(99)
$AMV = 4.0 \cdot 10^{-7}t^3 - 1.0 \cdot 10^{-4}t^2 + 1.1 \cdot 10^{-2}t - 4.5 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.74$	(100)



56. ábra: AMV idő függvényében, Nők és Férfiak, DR=25%

Az összes élőalany meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségét leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

$AMV = -2.4 \cdot 10^{-3}t - 2.3 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.85$	(101)
$AMV = -7.0 \cdot 10^{-6}t^2 - 9.0 \cdot 10^{-4}t - 2.9 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.86$	(102)
$AMV = 1.0 \cdot 10^{-7}t^3 - 4.0 \cdot 10^{-5}t^2 + 2.0 \cdot 10^{-3}t - 3.5 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.87$	(103)

4.3. Munkavégzés hatékonyságának vizsgálata a meleg mennyezet és huzat együttes előfordulása esetén

A 3.1 fejezet szerint, a mérési alkalmak során a sugárzási hőmérséklet aszimmetria és a huzat együttes előfordulása során kialakult hőkomfort környezetek munkavégzési hatékonyságra gyakorolt hatását is vizsgáltam. A hatékonyság minősítésére hibakeresési módszert alkalmaztam, amit az előzőleg meghatározott saját hibakeresési pontosságához viszonyítottam.

A munkavégzés hatékonyságát a pontosság és gyorsaság segítségével definiáltam. Mivel a két változó valamilyen súlyozással történő összevonása pontatlan következtetésekhez vezethetne, a két változót összevonás nélkül, külön kezeltem, viszont mindig ugyanazon a diagramon jelenítem meg, hogy a paraméterek egymásra gyakorolt hatása is feltűntethető legyen. Ezt az egymásra hatást a szakirodalom 'speed-accuracy tradeoff'-ként jegyzi. A hatékonysági tesztek gyakorisága szintén 30 perc, az eredményeket ebben az esetben is sugárzási hőmérséklet aszimmetria és idő függvényében ismertetem.

A mérési pontokra, a konfidencia intervallumra, a görbeillesztésre és a különböző fokszámú polinom függvények illeszkedésének követésére vonatkozó, 4.1 fejezetben leírtak ebben az esetben is igazak.

Az munkavégzés hatékonyságával kapcsolatos eredményeket a 4.3.1. és 4.3.2 alfejezetek ismertetik az aszimmetrikus sugárzás, illetve az idő függvényében.

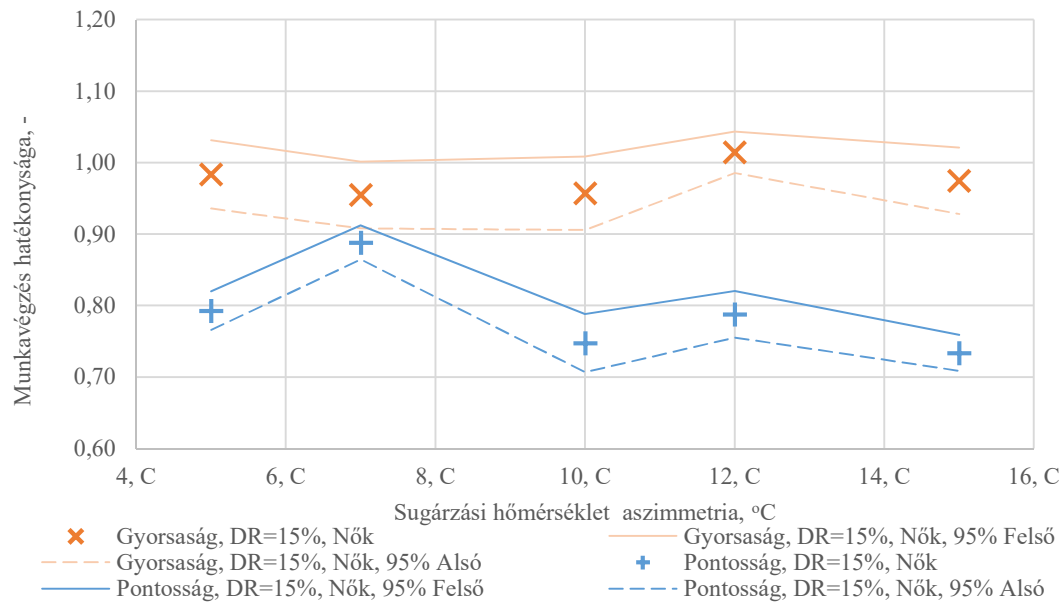
4.3.1. Munkavégzés hatékonysága az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében

A 37.-42. diagramok a munkavégzés gyakoriságát mutatják az aszimmetrikus sugárzás függvényében a 95%-os konfidencia intervallumok bemutatásával. Az eredményeket ebben az esetben megjelenítettem nemek szerint is. A mért pontok száma ebben az esetben is a 4.1.1 fejezetben leírtak szerint alakul, a görbeillesztéseket és a görbék egyenletét ebben az esetben is 3. fokig illusztrálom, azzal a különbséggel, hogy a munkavégzés hatékonyságát leíró mindkét paraméter (gyorsaság és pontosság) esetén definiáltam az összefüggéseket és az illesztési pontosságot.

A következő esetek eredményeit mutatom be:

- A munkavégzés gyorsasága és pontossága nők esetén 15% huzathatás mellett,
- A munkavégzés gyorsasága és pontossága férfiak esetén 15% huzathatás mellett,
- A munkavégzés gyorsasága és pontossága az összes élőalany szavazatának figyelembevételével esetén 15% huzathatás mellett,
- A munkavégzés gyorsasága és pontossága nők esetén 25% huzathatás mellett,
- A munkavégzés gyorsasága és pontossága férfiak esetén 25% huzathatás mellett,

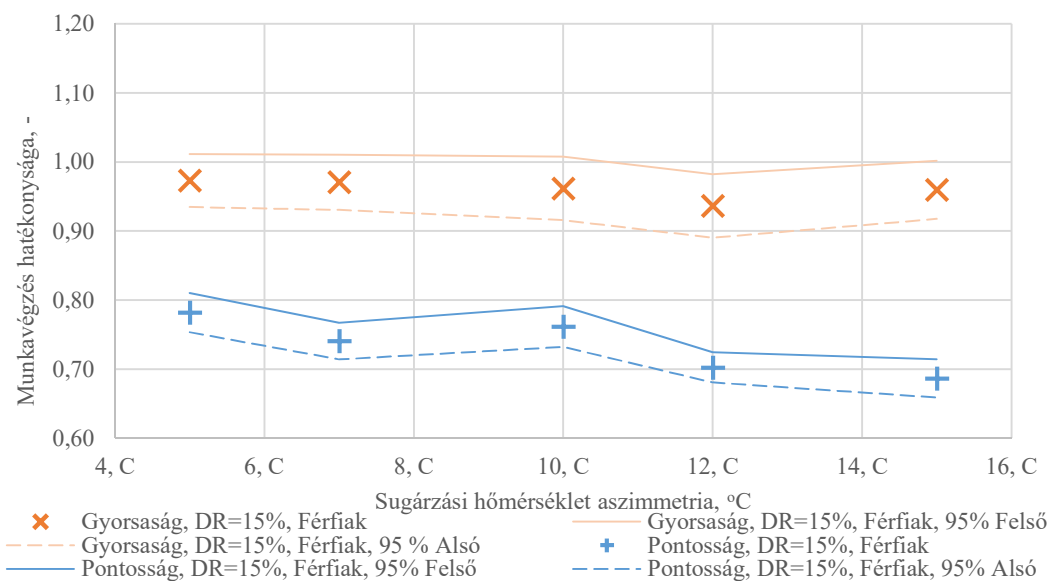
A munkavégzés gyorsasága és pontossága az összes élőlány szavazatának figyelembevételére esetén 25% huzathatás mellett.



57. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, Nők, DR=15%

Nők munkavégzésének gyorsaságát és pontosságát leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

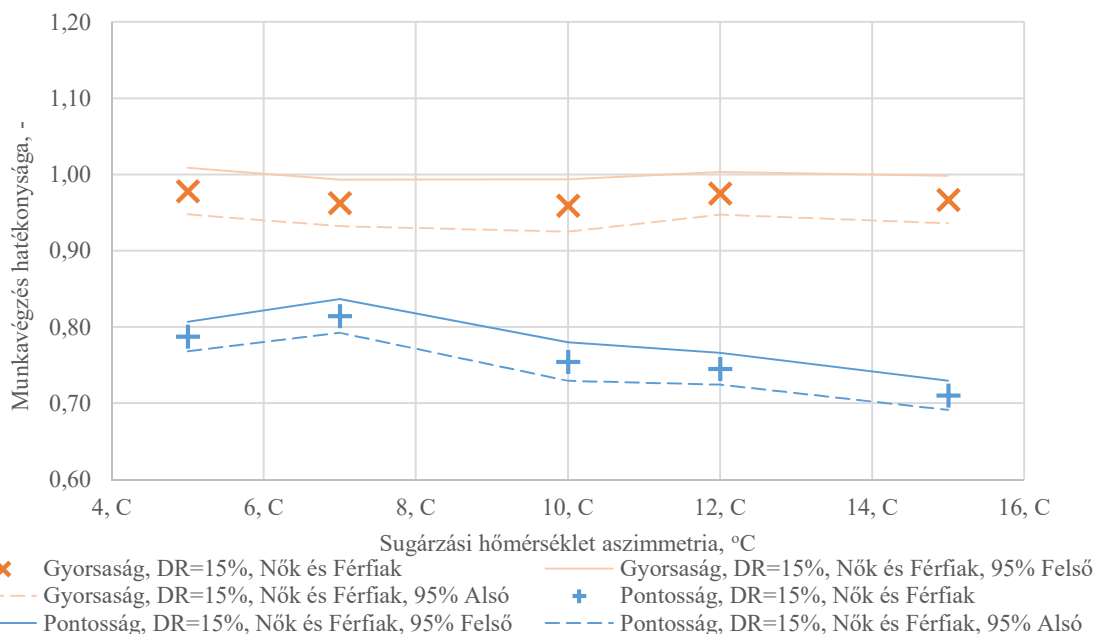
$Gy = 1.5 \cdot 10^{-3} AS + 0.9$	$R^2=0.06$	(104)
$Gy = 1.0 \cdot 10^{-4} AS^2 - 1.0 \cdot 10^{-3} AS + 0.9$	$R^2=0.06$	(105)
$Gy = -7.0 \cdot 10^{-4} AS^3 + 2.2 \cdot 10^{-2} AS^2 - 0.2 AS + 1.6$	$R^2=0.78$	(106)
$P = -9.5 \cdot 10^{-3} AS + 8.8 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.38$	(107)
$P = -9.0 \cdot 10^{-4} AS^2 + 9.4 \cdot 10^{-3} AS + 0.8$	$R^2=0.41$	(108)
$P = 9.0 \cdot 10^{-4} AS^3 - 2.7 \cdot 10^{-2} AS^2 + 2.6 \cdot 10^{-1} AS + 8.7 \cdot 10^{-2}$	$R^2=0.58$	(109)



58. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, Férfiak, DR=15%

Férfiak munkavégzésének gyorsaságát és pontosságát leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek

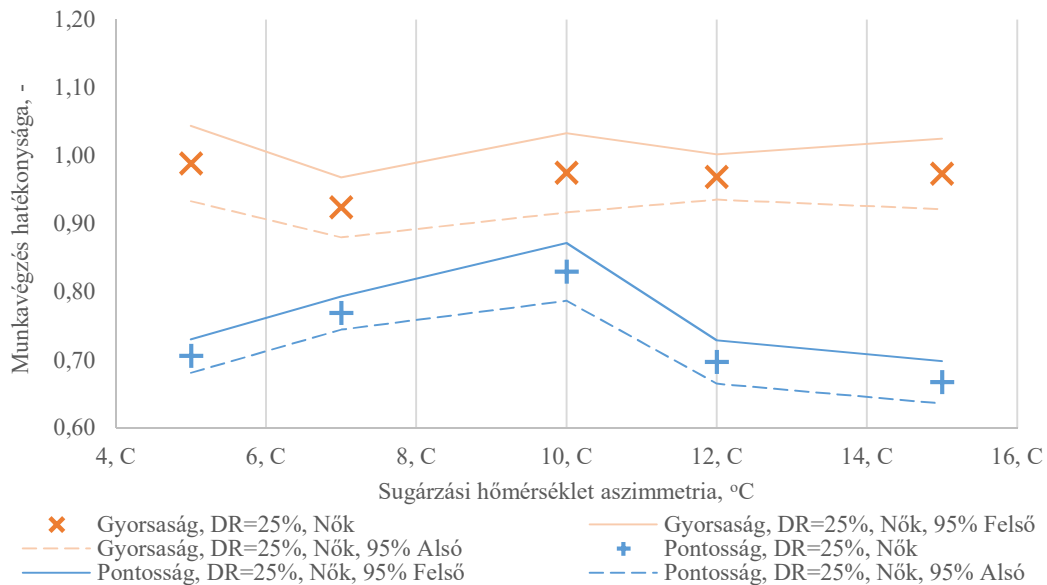
$Gy = -2.3 \cdot 10^{-3} AS + 9.8 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.40$	(110)
$Gy = 5.0 \cdot 10^{-4} AS^2 - 1.3 \cdot 10^{-2} AS + 1.0$	$R^2=0.57$	(111)
$Gy = 3.0 \cdot 10^{-4} AS^3 - 7.9 \cdot 10^{-3} AS^2 + 6.7 \cdot 10^{-2} AS + 0.8$	$R^2=0.86$	(112)
$P = -8.9 \cdot 10^{-3} AS + 0.8$	$R^2=0.78$	(113)
$P = -3.0 \cdot 10^{-4} AS^2 - 3.5 \cdot 10^{-3} AS + 0.8$	$R^2=0.79$	(114)
$P = -1.0 \cdot 10^{-4} AS^3 + 2.9 \cdot 10^{-3} AS^2 - 3.3 \cdot 10^{-2} AS + 8.8 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.79$	(115)



59. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, Nők és Férfiak, DR=15%

Az összes élőalany munkavégzésének gyorsaságát és pontosságát leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek

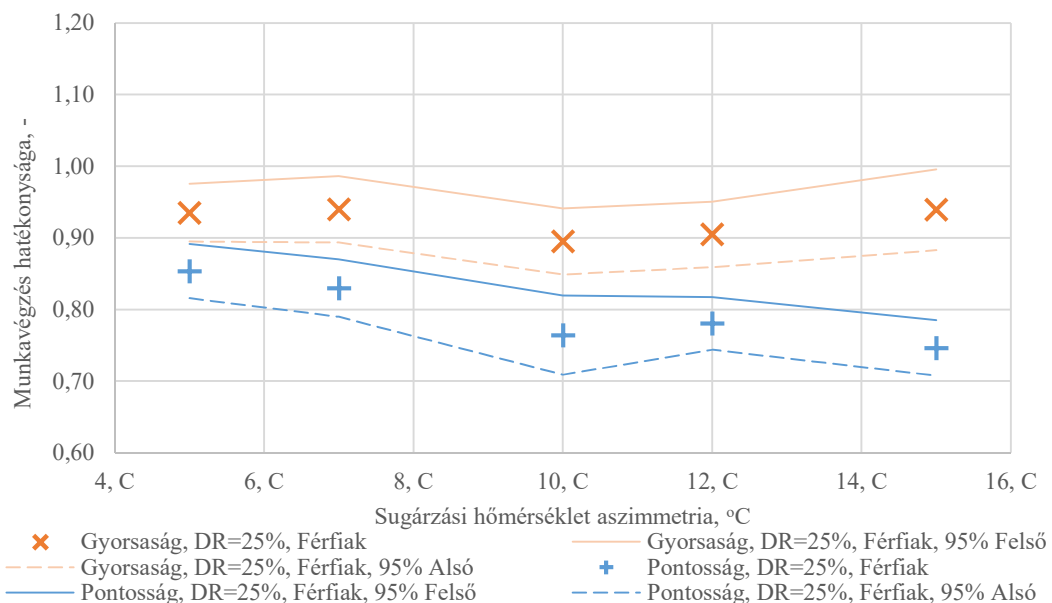
$Gy = -4.0 \cdot 10^{-4} AS + 9.7 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.03$	(116)
$Gy = 3.0 \cdot 10^{-4} AS^2 - 6.8 \cdot 10^{-3} AS + 1$	$R^2=0.25$	(117)
$Gy = -2.0 \cdot 10^{-4} AS^3 + 7.1 \cdot 10^{-3} AS^2 - 7.0 \cdot 10^{-2} AS + 1.2$	$R^2=0.86$	(118)
$P = -9.2 \cdot 10^{-3} AS + 8.5 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.82$	(119)
$P = -6.0 \cdot 10^{-4} AS^2 + 2.9 \cdot 10^{-3} AS + 0.8$	$R^2=0.85$	(120)
$P = 4.0 \cdot 10^{-4} AS^3 - 1.2 \cdot 10^{-2} AS^2 + 1.1 \cdot 10^{-1} AS + 4.8 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.93$	(121)



60. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, Nők, DR=25%

Nők munkavégzésének gyorsaságát és pontosságát leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

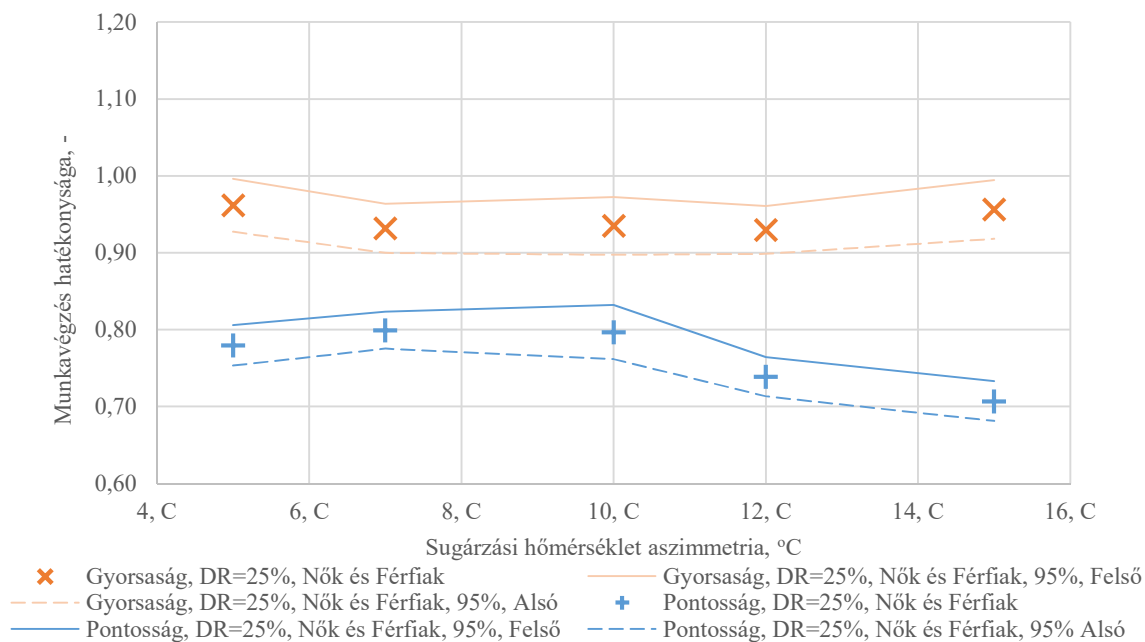
$Gy = 9.0 \cdot 10^{-4} AS + 9.6 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.02$	(122)
$Gy = 7.0 \cdot 10^{-4} AS^2 - 1.3 \cdot 10^{-2} AS + 1.0$	$R^2=0.13$	(123)
$Gy = -6.0 \cdot 10^{-4} AS^3 + 2.0 \cdot 10^{-2} AS^2 - 1.9 \cdot 10^{-1} AS + 1.5$	$R^2=0.67$	(124)
$P = -5.9 \cdot 10^{-3} AS + 0.8$	$R^2=0.12$	(125)
$P = -4.0 \cdot 10^{-3} AS^2 + 7.4 \cdot 10^{-2} AS + 0.4$	$R^2=0.65$	(126)
$P = 8.0 \cdot 10^{-4} AS^3 - 2.8 \cdot 10^{-2} AS^2 + 0.3 AS - 0.2$	$R^2=0.78$	(127)



61. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, Férfiak, DR=25%

Férfiak munkavégzésének gyorsaságát és pontosságát leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

$Gy = -1.0 \cdot 10^{-3} AS + 0.9$	$R^2=0.03$	(128)
$Gy = 1.4 \cdot 10^{-3} AS^2 - 2.9 \cdot 10^{-2} AS + 1.0$	$R^2=0.66$	(129)
$Gy = 3.0 \cdot 10^{-4} AS^3 - 8.9 \cdot 10^{-3} AS^2 + 6.7 \cdot 10^{-2} AS + 7.8 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.87$	(130)
$P = -1.0 \cdot 10^{-2} AS + 0.9$	$R^2=0.87$	(131)
$P = 8.0 \cdot 10^{-4} AS^2 - 2.6 \cdot 10^{-2} AS + 9.7 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.91$	(132)
$P = -9.0 \cdot 10^{-5} AS^3 + 3.4 \cdot 10^{-3} AS^2 - 5.0 \cdot 10^{-2} AS + 1.0$	$R^2=0.91$	(133)



62. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, Nők és Férfiak, DR=25%

Az összes élőalany munkavégzésének gyorsaságát és pontosságát leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

$Gy = -3.0 \cdot 10^{-4} AS + 9.5 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.81$	(134)
$Gy = 1.2 \cdot 10^{-3} AS^2 - 2.4 \cdot 10^{-2} AS + 1.0$	$R^2=0.86$	(135)
$Gy = -8.0 \cdot 10^{-5} AS^3 + 3.5 \cdot 10^{-3} AS^2 - 4.5 \cdot 10^{-2} AS + 1.1$	$R^2=0.88$	(136)
$P = -8.3 \cdot 10^{-3} AS + 0.8$	$R^2=0.66$	(137)
$P = -1.6 \cdot 10^{-3} AS^2 + 2.4 \cdot 10^{-2} AS + 0.7$	$R^2=0.88$	(138)
$P = 4.0 \cdot 10^{-4} AS^3 - 1.2 \cdot 10^{-2} AS^2 + 1.3 \cdot 10^{-1} AS + 0.4$	$R^2=0.95$	(139)

4.3.2. Munkavégzés hatékonysága idő függvényében

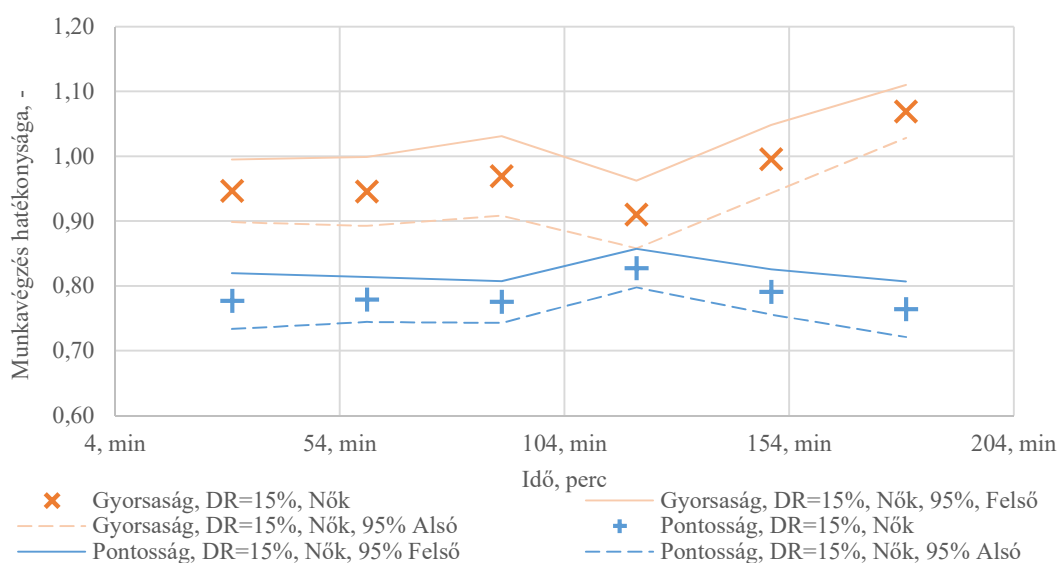
A munkavégzés hatékonyságának időbeli változását is vizsgáltam, ebben az esetben a 30 percenként elvégzett pontossági és gyorsasági adatokat vettem össze.

A 43.-48. diagramok a munkavégzés gyorsaságának és pontosságának alakulását mutatják idő függvényében, a diagramok az eddigiekhez hasonlóan mutatják a 95%-os konfidencia intervallumot.

A bemutatott eredmények nők és férfiak esetén összesen 50, összesített esetben összesen 100 mérési pont eredményét tartalmazzák, a 4.1.2. fejezetben leírtak szerint. A leíró egyenletekre igaz a 4.1. fejezetben bemutatott metodológia, ebben az esetben is első-, másod- és harmadfokú polinomokkal közelítem a jelenség leírását.

A 43.-48. diagramokon a következő esetek eredményei láthatóak:

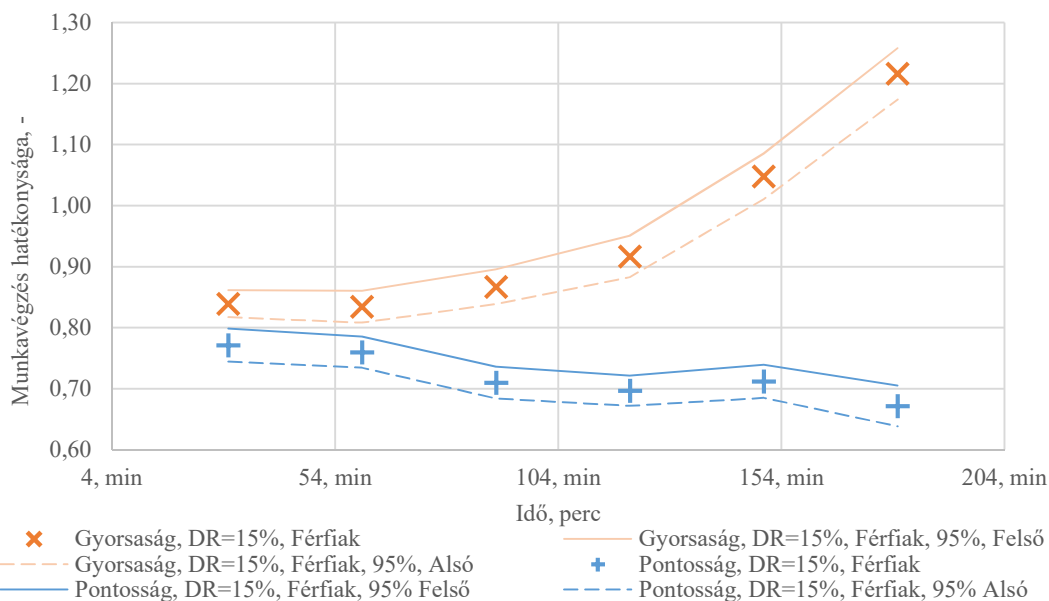
- A munkavégzés gyorsaságának és pontosságának időbeli változása nők esetén 15% huzathatás mellett,
- A munkavégzés gyorsaságának és pontosságának időbeli változása férfiak esetén 15% huzathatás mellett,
- A munkavégzés gyorsaságának és pontosságának időbeli változása az összes élőalany szavazatának figyelembevétele esetén 15% huzathatás mellett,
- A munkavégzés gyorsaságának és pontosságának időbeli változása nők esetén 25% huzathatás mellett,
- A munkavégzés gyorsaságának és pontosságának időbeli változása férfiak esetén 25% huzathatás mellett,
- A munkavégzés gyorsaságának és pontosságának időbeli változása az összes élőalany szavazatának figyelembevétele esetén 25% huzathatás mellett,



63. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Nők, DR=15%

Nők munkavégzésének gyorsaságát és pontosságát leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

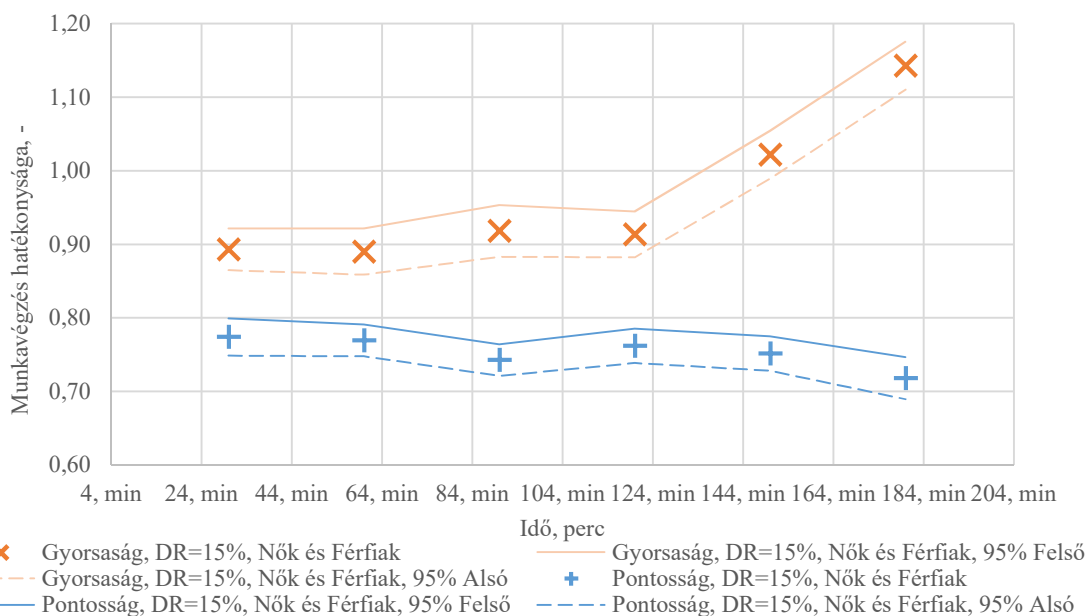
$Gy = 7.0 \cdot 10^{-4}t + 0.9$	$R^2=0.46$	(140)
$Gy = 1.0 \cdot 10^{-5}t^2 - 1.9 \cdot 10^{-3}t + 1.0$	$R^2=0.76$	(141)
$Gy = 2.0 \cdot 10^{-7}t^3 - 4.0 \cdot 10^{-5}t^2 + 3.0 \cdot 10^{-3}t + 0.9$	$R^2=0.85$	(142)
$P = 2.0 \cdot 10^{-5}t + 7.8 \cdot 10^{-1}$	$R^2=3.6 \cdot 10^{-3}$	(143)
$P = -5.0 \cdot 10^{-6}t^2 + 1.2 \cdot 10^{-3}t + 0.7$	$R^2=0.37$	(144)
$P = -1.0 \cdot 10^{-7}t^3 + 3.0 \cdot 10^{-5}t^2 - 2.3 \cdot 10^{-3}t + 0.8$	$R^2=0.65$	(145)



64. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Férfiak, DR=15%

Férfiak munkavégzésének gyorsaságát és pontosságát leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

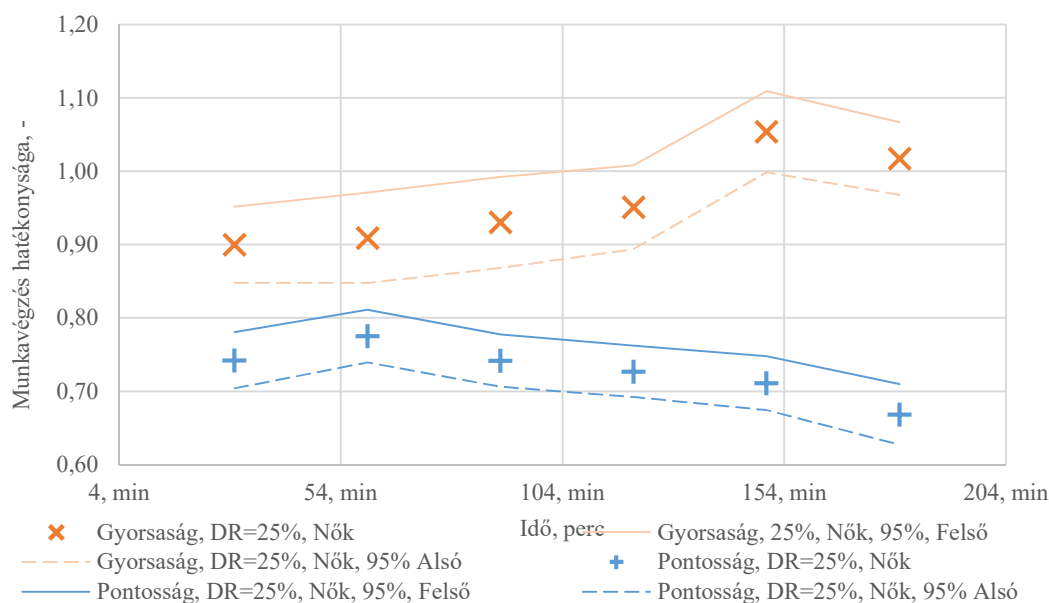
$Gy = 2.5 \cdot 10^{-3}t + 0.7$	$R^2=0.83$	(146)
$Gy = 2.0 \cdot 10^{-5}t^2 - 2.8 \cdot 10^{-3}t + 0.9$	$R^2=0.99$	(147)
$Gy = 7.0 \cdot 10^{-8}t^3 + 4.0 \cdot 10^{-6}t^2 - 9.0 \cdot 10^{-4}t + 0.9$	$R^2=0.99$	(148)
$P = 6.0 \cdot 10^{-4}t + 0.8$	$R^2=0.84$	(149)
$P = 2.0 \cdot 10^{-6}t^2 - 1.1 \cdot 10^{-3}t + 0.8$	$R^2=0.86$	(150)
$P = -4.0 \cdot 10^{-8}t^3 + 1.0 \cdot 10^{-5}t^2 - 2.2 \cdot 10^{-3}t + 0.8$	$R^2=0.87$	(151)



65. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Nők és Férfiak, DR=15%

Az összes élőalany munkavégzésének gyorsaságát és pontosságát leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

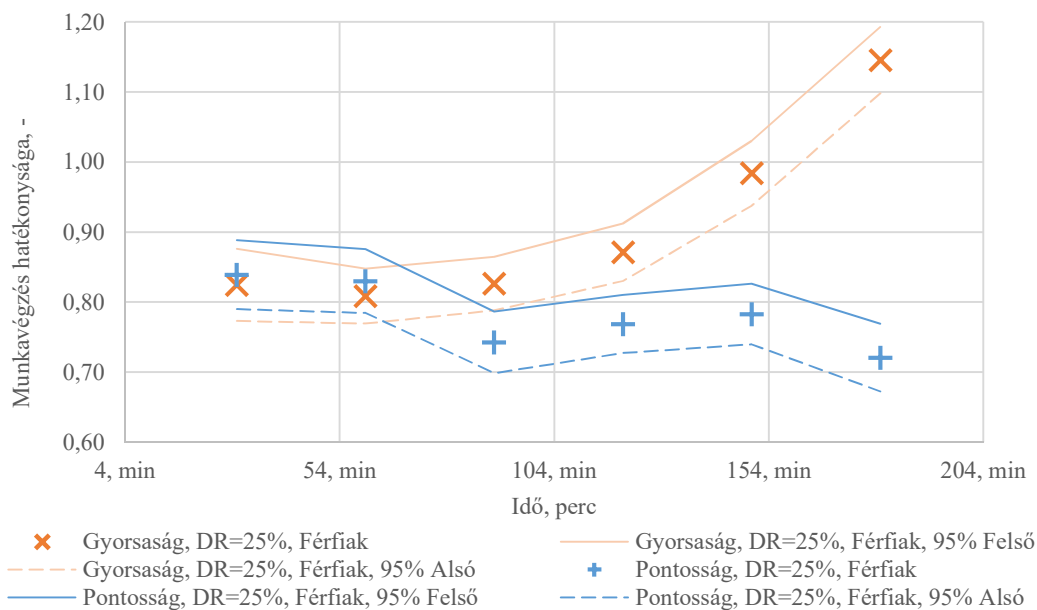
$Gy = 1.6 \cdot 10^{-3}t + 0.8$	$R^2=0.76$	(152)
$Gy = 2.0 \cdot 10^{-5}t^2 - 2.4 \cdot 10^{-3}t + 0.9$	$R^2=0.96$	(153)
$Gy = 1.0 \cdot 10^{-7}t^3 - 2.0 \cdot 10^{-5}t^2 + 1.0 \cdot 10^{-3}t + 0.9$	$R^2=0.98$	(154)
$P = -3.0 \cdot 10^{-4}t + 0.8$	$R^2=0.66$	(155)
$P = -2.0 \cdot 10^{-6}t^2 + 3.0 \cdot 10^{-5}t + 0.8$	$R^2=0.70$	(156)
$P = -8.0 \cdot 10^{-8}t^3 + 2.0 \cdot 10^{-5}t^2 - 2.2 \cdot 10^{-3}t + 0.8$	$R^2=0.84$	(157)



66. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Nők, DR=25%

Nők munkavégzésének gyorsaságát és pontosságát leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek.

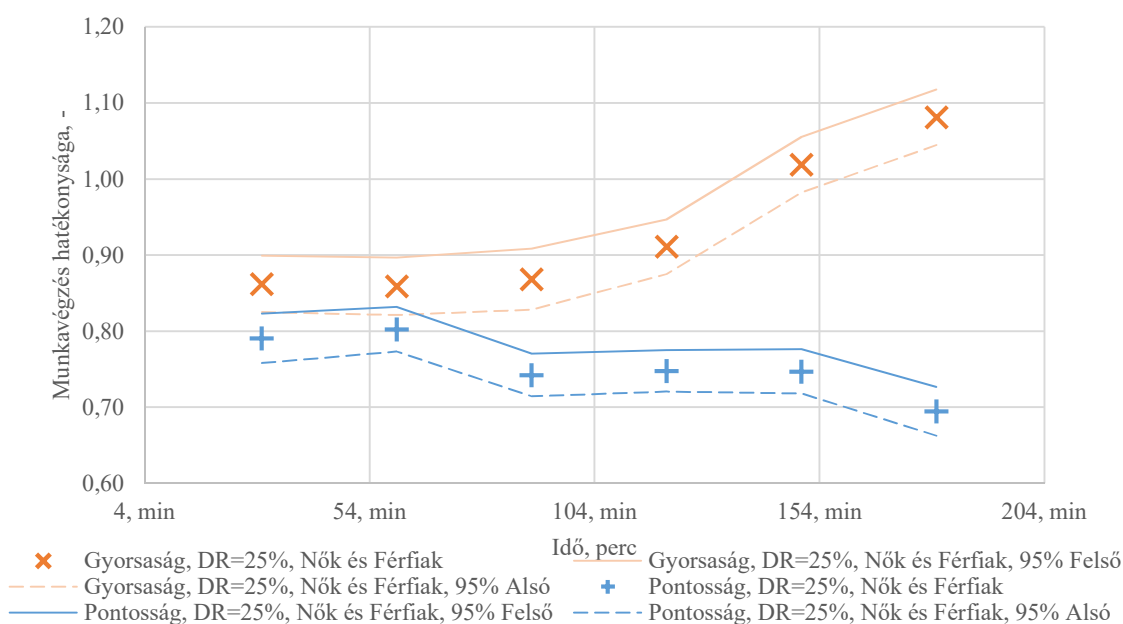
$Gy = 1.0 \cdot 10^{-3}t + 0.8$	$R^2=0.80$	(158)
$Gy = 2.0 \cdot 10^{-6}t^2 + 6.0 \cdot 10^{-4}t + 0.9$	$R^2=0.81$	(159)
$Gy = -2.0 \cdot 10^{-7}t^3 + 6.0 \cdot 10^{-5}t^2 - 4.4 \cdot 10^{-3}t + 9.9 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.88$	(160)
$P = -5.0 \cdot 10^{-4}t + 0.8$	$R^2=0.73$	(161)
$P = -6.0 \cdot 10^{-6}t^2 + 7.0 \cdot 10^{-4}t + 0.7$	$R^2=0.91$	(162)
$P = 5.0 \cdot 10^{-8}t^3 - 2.0 \cdot 10^{-5}t^2 + 2.1 \cdot 10^{-3}t + 0.7$	$R^2=0.92$	(163)



67. ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Férfiak, DR=25%

Férfiak munkavégzésének gyorsaságát és pontosságát leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

$Gy = 2.1 \cdot 10^{-3}t + 0.7$	$R^2=0.77$	(164)
$Gy = 3.0 \cdot 10^{-5}t^2 - 3.2 \cdot 10^{-3}t + 0.9$	$R^2=0.99$	(165)
$Gy = 7.0 \cdot 10^{-8}t^3 + 4.0 \cdot 10^{-6}t^2 - 1.3 \cdot 10^{-3}t + 0.8$	$R^2=0.99$	(166)
$P = 7.0 \cdot 10^{-4}t + 0.8$	$R^2=0.64$	(167)
$P = 3.0 \cdot 10^{-6}t^2 - 1.3 \cdot 10^{-3}t + 0.9$	$R^2=0.66$	(168)
$P = -1.0 \cdot 10^{-7}t^3 + 4.0 \cdot 10^{-5}t^2 - 4.8 \cdot 10^{-3}t + 9.6 \cdot 10^{-1}$	$R^2=0.73$	(169)



68.

ábra: A munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Nők és Férfiak, DR=25%

Az összes előalany munkavégzésének gyorsaságát és pontosságát leíró első-, másod- és harmadfokú egyenletek:

$Gy = 1.5 \cdot 10^{-3}t + 0.8$	$R^2=0.84$	(170)
$Gy = 1.0 \cdot 10^{-5}t^2 - 1.5 \cdot 10^{-3}t + 0.9$	$R^2=0.97$	(171)
$Gy = -7.0 \cdot 10^{-8}t^3 + 4.0 \cdot 10^{-5}t^2 - 3.4 \cdot 10^{-3}t + 0.9$	$R^2=0.98$	(172)
$P = -6.0 \cdot 10^{-4}t + 0.8$	$R^2=0.78$	(173)
$P = -2.0 \cdot 10^{-6}t^2 - 3.0 \cdot 10^{-4}t + 0.8$	$R^2=0.79$	(174)
$P = -4.0 \cdot 10^{-8}t^3 + 1.0 \cdot 10^{-5}t^2 - 1.4 \cdot 10^{-3}t + 0.8$	$R^2=0.80$	(175)

5. Az eredmények értékelése

A 4. fejezetben bemutatott eredmények három fő csoportba sorolhatóak: a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenséget, az AMV értéket és a munkavégzés hatékonyságának alakulását bemutató eredmények. Az ismertetett eredmények értékelése során ugyanezt a struktúrát használtam, a vizsgálat fő szempontjai a következők voltak:

- a huzathatás 15%-ról 25%-ra való növelésének hatása;
- a nemek hatása;
- az idő vagy az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség változásával előidézett változás követése, a változás jellegének leírása.

Az eredmények kiértékelése során minden esetben két adatsort hasonlítottam össze. Két adatsor egymástól való függését a 3.7. fejezetben leírtak szerint a Welch próba és a Mann-Whitney teszt segítségével vizsgáltam. Az adatsorok függésével kapcsolatos következtetést csak akkor fogadtam el, ha mindkét módszerrel ugyanarra az eredményre jutottam.

A könnyebb olvashatóság érdekében a részletes számítások kivonatait nem a szöveg, hanem a szövegben idézett mellékletek tartalmazzák táblázatos formában. A mellékletekben használt jelölés a dolgozat elején található jelmagyarázat szerint értelmezendő.

5.1. PD eredmények értékelése

A 4. fejezetben bemutatott eredmények felhasználásával vizsgálni lehet a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségi szavazatok és a kutatás során részt vett alanyok neme, valamint a huzathatás közötti esetleges kapcsolatokat.

Az eredmények vizsgálata egyrészt az aszimmetria, másrészt az idő függvényében történt. A következő kérdésekre kerestem a választ:

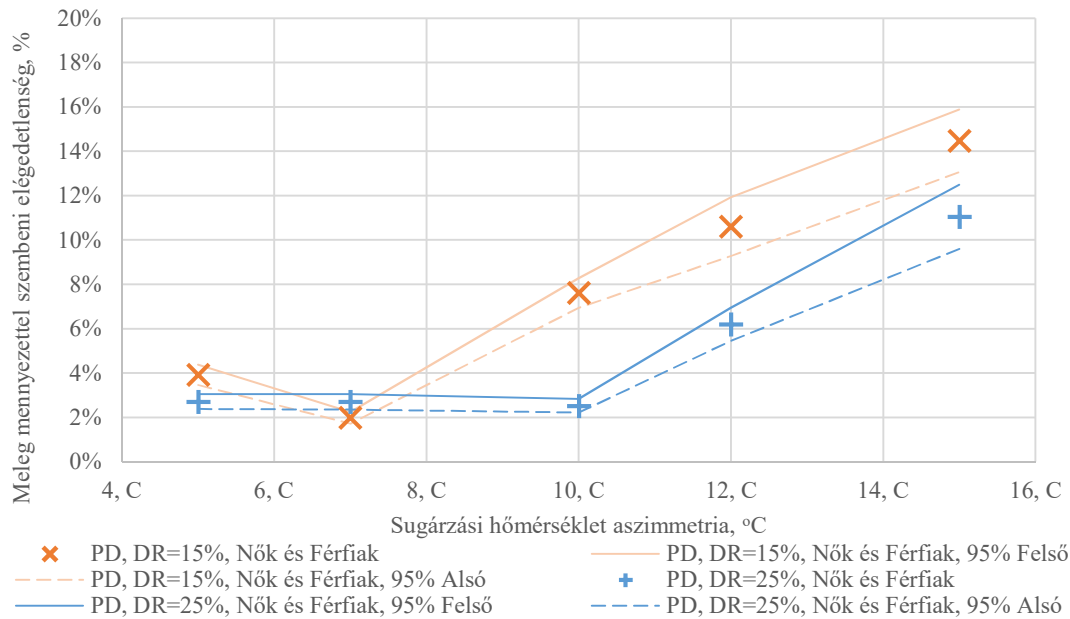
- Van szignifikáns hatása a huzathatás 15%-ról 25%-ra való növelésének az elégedetlenségi szavazatokra?
- Van szignifikáns különbség a férfiak és nők hőkomfort szavazatai közötti?
- Hogyan változik az elégedetlenek százalékos aránya a sugárzási hőmérséklet aszimmetria módosulásával vagy az idő előrehaladtával?

A 49-53. diagramok az aszimmetria függvényében, az 54-58. diagramok az idő függvényében ismertetett eredmények összehasonlítását mutatják.

5.1.1. PD értékelése az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében

5.1.1.1. A huzat hatása PD-re az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében

A 49., 50. és 51. diagram a huzat hatását mutatja az elégedetlenség százalékos arányára az összes élőalany, valamint külön a nők és a férfiak esetén.

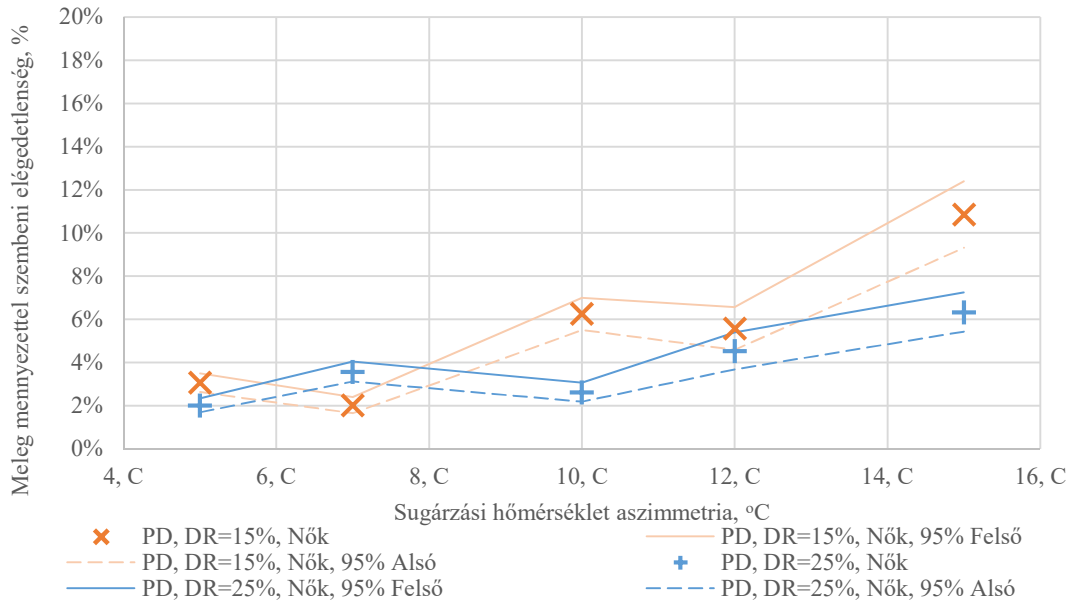


69. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Nők és Férfiak, DR=15% vs. DR=25%

Az összes élőalany szavazatának figyelembevétele során megállapítható, hogy minden sugárzási hőmérsékleti aszimmetria érték esetén (5,7,10,12 és 15 °C) a 15%-os huzathatás és a 25%-os huzathatás mellett adott meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségi szavazatok szignifikánsan eltérnek.

A szignifikáns hatás minden pontban kimutatható mindkét matematikai módszerrel. A legkisebb eltérés 7 °C esetén van, itt a Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szint 0,001, míg ez az érték 5 °C esetén $1,1 \cdot 10^{-6}$, 10 °C esetén $2,61 \cdot 10^{-32}$, 12 °C esetén $4,53 \cdot 10^{-8}$, 15 °C esetén pedig $3,6 \cdot 10^{-5}$. Az eredmények grafikai megjelenítéséből leolvasható, hogy az átlagértékek 10 °C aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség fölött mutatnak számottevő eltérést. A részletes számítás kivonatát az 1.1. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy az összes alany szavazatának figyelembevétele esetén a huzat 15%-ról 25%-ra való emelésének szignifikáns hatása van a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség várható értékére 10-15 °C aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség intervallumon.

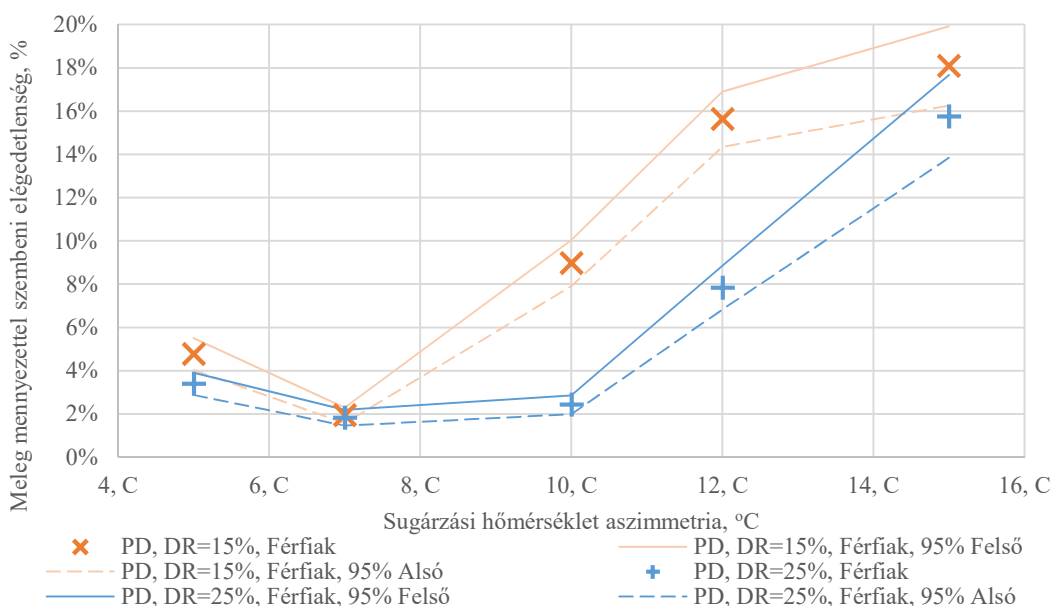


70. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Nők, DR=15% vs. DR=25%

A nők meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségnek vizsgálata során nem minden mért pontban kimutatható a szignifikáns különbség. 12 °C estén a mérési pontok vizsgálata során a Mann –Whitney módszerrel számított szignifikancia szint 0,109, vagyis a két mérési sokaság közötti szignifikáns különbség nem kimutatható

Ez az érték a többi mérési pont esetén a következők szerint alakul: 5 °C esetén $3,1 \cdot 10^{-5}$, 7 °C esetén $4,13 \cdot 10^{-8}$, 10 °C esetén $6,78 \cdot 10^{-14}$, 15 °C esetén $3,43 \cdot 10^{-7}$. A részletes számítás kivonatát az 1.2. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy a női szavazatok figyelembevétele estén a huzat 15%-ról 25%-ra való emelésének, 12 °C kivételével szignifikáns hatása van a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség várható értékére.



71. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Férfiak, DR=15% vs. DR=25%

A férfiak esetén a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség a huzat növelésének hatására három vizsgált ponton csökkent szignifikánsan: 5 °C, 10 °C és 12 °C mellett, a többi esetben a változás nem volt szignifikáns. Ez a tendencia a Mann-Whitney és a Welch módszerek segítségével is kimutatható.

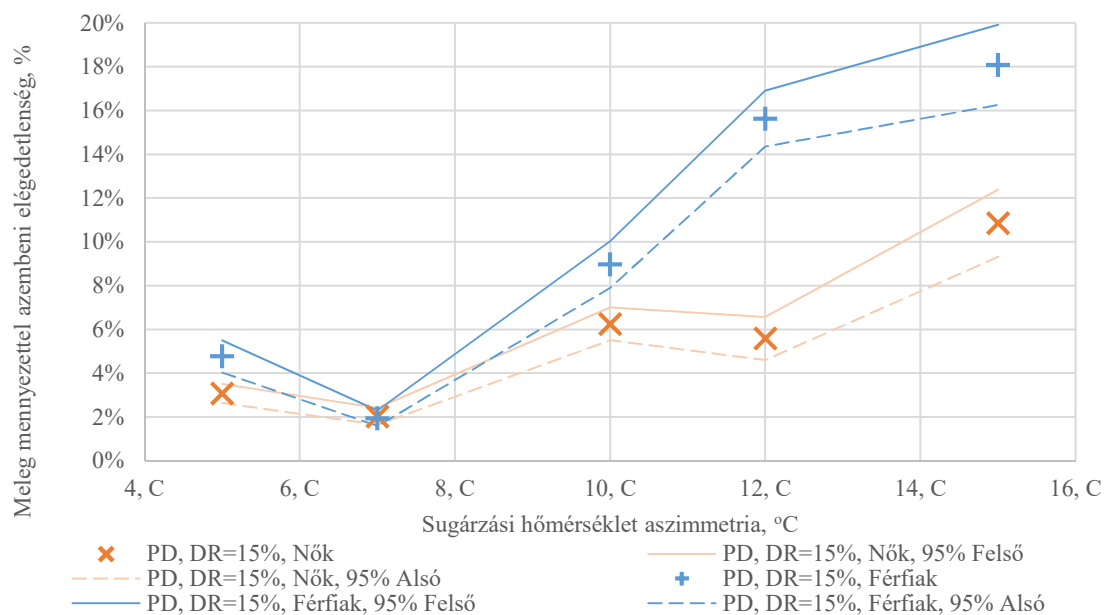
A Mann-Whitney módszerrel számolt szignifikancia értékek a következők szerint alakulnak: 5 °C esetén 0,003, 7 °C esetén 0,438, 10 °C esetén $5,76 \cdot 10^{-20}$, 12 °C esetén $1,53 \cdot 10^{-15}$, 15 °C esetén 0,43.

A részletes számítás kivonatát az 1.3. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy a férfi szavazatok figyelembevétele esetén a huzat 15%-ról 25%-ra való emelésének, 10 °C és 12 °C aszimmetria esetén jelentős, 5 °C esetén még szignifikáns hatása van a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség várható értékére, míg 7 °C és 15 °C esetén nincs szignifikáns hatása rá.

5.1.1.2. A nemek hatása PD-re az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében

Az 52. és 53. diagram a nők és a férfiak elégedetlenségi arányának átlagértékét mutatja DR=15% és DR=25% huzathatás mellett.

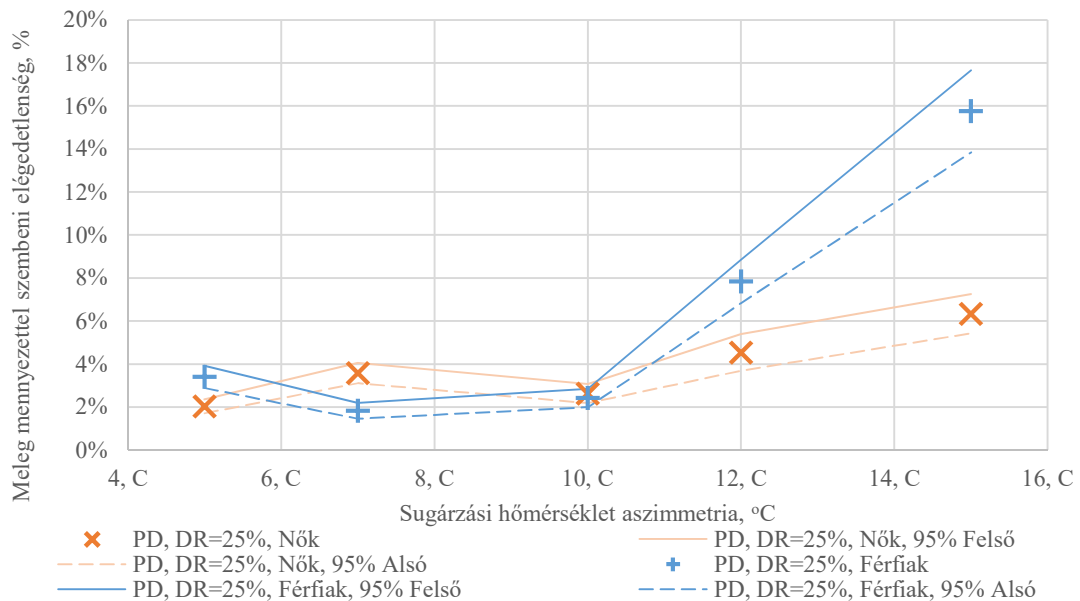


72. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség AS függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=15%

A nők és férfiak meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségi arányának vizsgálata során megállapítható, hogy a nők és férfiak meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségi szavazataik a 7 °C-os sugárzási hőmérsékleti aszimmetrián kívül minden esetben szignifikánsan eltérnek.

A szignifikáns eltérés mindkét matematikai módszerrel kimutatható 5 °C, 10 °C, 12 °C és 15 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria mellett. Kijelenthető továbbá, hogy az aszimmetria érték növekedésével a különbség is fokozódik. Ez a Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szint csökkenésén is követhető. Míg 5 °C és 10 °C aszimmetria esetén ez az érték $6,2 \cdot 10^{-5}$, illetve $6,2 \cdot 10^{-4}$, addig a 12 °C és 15 °C aszimmetria értékek mellett $2,049 \cdot 10^{-19}$, illetve $1,82 \cdot 10^{-9}$ szignifikancia értékek számolhatóak. A részletes számítás kivonatát az 1.4. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy 15% huzathatás mellett, 7 °C kivételével, a nők és férfiak elégtelenségi átlagértéke szignifikánsan eltér, a férfiak elégtelenségi mutatója minden esetben magasabb, mint a nőké. Emellett az eltérés 12 °C aszimmetrikus sugárzás fölött hangsúlyosodik.



73. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégtelenség AS függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=25%

A nemek meleg mennyezettel szembeni elégtelenségének vizsgálata során, 25%-os huzathatás mellett megállapítható, hogy 10 °C-os sugárzási hőmérséklet aszimmetria kivételével minden mért pontban szignifikánsan eltér a férfiak és nők szavazata.

A szignifikáns eltérés mindkét módszerrel kimutatható 5 °C, 7 °C, 12 °C és 15 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria mellett.

Az eltérés ebben az esetben is a legmagasabb sugárzási aszimmetria érték esetén a legnagyobb. A Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szint 5 °C esetén $9 \cdot 10^{-6}$, 7 °C esetén $1,07 \cdot 10^{-9}$, 10 °C esetén 0,47 (ez bizonyítja a értéksor függését), 12 °C esetén $4,99 \cdot 10^{-7}$, míg 15 °C esetén $4,14 \cdot 10^{-15}$. A részletes számítás kivonatát az 1.5. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy 25% huzathatás mellett, 10 °C kivételével a nők és férfiak elégtelenségi átlagértéke szignifikánsan eltér, az eltérés 15 °C aszimmetrikus sugárzás estén a legnagyobb.

5.1.1.3. Az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség változásának hatása a PD-re

A meleg mennyezettel szembeni elégtelenségi szavazatok elemzése során azt is vizsgáltam, hogy kimutatható-e szignifikáns hatás az aszimmetrikus sugárzás növekedése és az elégtelenségi szavazatok változása között?

Az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség változásának hatása a PD-re 15% huzathatás esetén

15%-os huzathatás esetén három esetet vizsgáltam: a női, a férfi, illetve az összes élőalany elégedetlenségi szavazatát.

A női szavazatok vizsgálata során kijelenthető, hogy az aszimmetrikus sugárzás növekedése szignifikáns hatással van a nők meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségi szavazataira. Ez a különbség minden adatpár esetén kimutatható, kivéve a 10-12 °C adatpárra, itt ugyanis a Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szint értéke 0,105, vagyis az adatpárok nem függetlenek. A részletes számítás kivonatát az 1.6. melléklet tartalmazza.

Megfigyelhető egy növekedési tendencia a nők meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségi szavazatában a sugárzási hőmérséklet aszimmetria növekedésével.

A férfiak szavazatának vizsgálata során megállapítottam, hogy a sugárzási hőmérséklet aszimmetria növekedése szignifikáns hatással van a férfiak meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségi szavazatára. Ez a szignifikáns hatás minden adatpár esetén kimutatható. A részletes számítás kivonatát az 1.7. melléklet tartalmazza.

A férfiak szavazatának vizsgálata során megállapítható, hogy a minimum értéket 7 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria, míg a maximum értéket 15 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria esetén mértem. A két szélsőérték között szigorú növekedési tendencia tapasztalható.

Az összes szavazat vizsgálata során megállapítottam, hogy 15%-os huzathatás esetén a meleg mennyezetnek szignifikáns hatása van az elégedetlenség százalékos arányára.

Az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség változásának hatása a PD-re 25% huzathatás esetén

25% huzathatás mellett is a fent bemutatott három esetet vizsgáltam. A női szavazatok vizsgálata során kimutattam a szignifikáns különbségeket minden értékpár között, kivéve a 7-12 °C értékpárt. Ebben az esetben a Welch teszttel kimutatható a különbség, a Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szint értéke viszont 0,137, vagyis a két mérési sokaság közötti függetlenség nem bizonyítható. Mivel mindkét módszerrel nem egyértelműen bizonyítható a szignifikáns különbség, a 7-12 °C értékpár szignifikáns eltérése nem egyértelműen kijelenthető.

Bizonyos oszcilláció mellett ebben az esetben is megfigyelhető egy növekvő jelleg, viszont a legmagasabb, 15 °C-os sugárzási hőmérséklet aszimmetria mellett is a várható elégedetlenség százalékos értéke 7% alatt van.

25% huzathatás mellett is kijelenthető, hogy a férfiak esetén minden adatpont szignifikánsan eltér. Bár az 5 °C-7 °C-10 °C pontok átlagértéke 5% alatt marad, számottevő eltérés a 10 °C sugárzási aszimmetria értékek fölött tapasztalható. Ez azt jelenti, hogy 25%-os huzathatás mellett a mennyezettel szembeni elégedetlenség 10 °C-ot meghaladó aszimmetrikus sugárzás esetén jelentkezik.

Az összes szavazat figyelembevétele esetén kimutatható, hogy az 5 °C-7 °C-10 °C adatpontok szignifikánsan megegyeznek, vagyis 10 °C hőmérsékletig a magasabb, 25%-os huzathatás azt eredményezi, hogy a meleg mennyezet hőmérséklet növelésének és ezáltal a növekvő sugárzási hőmérsékleti aszimmetriának nincs szignifikáns hatása a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségre.

A 10°C-12°C-15°C adatpárok szignifikánsan eltérnek egymástól és az átlagértékeik növekvő tendenciát mutatnak, tehát kijelenthető, hogy az aszimmetrikus sugárzás növelése 10 °C fölött szignifikáns hatással van a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség százalékos arányára.

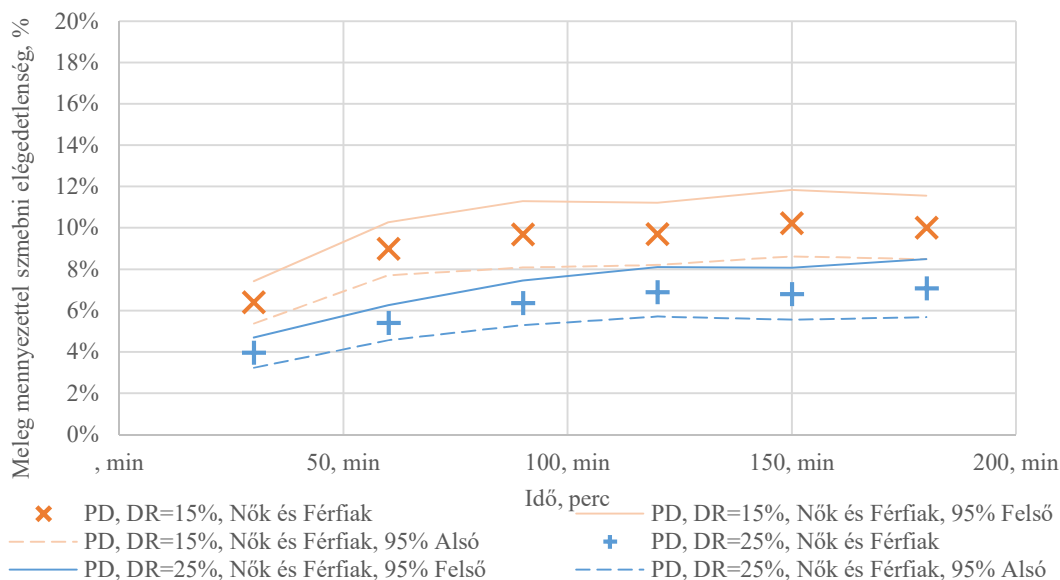
5.1.2. PD értékelése idő függvényében

A 3. fejezetben bemutatott mérési módszernek megfelelően a kísérletben résztvevő alanyok meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségi szavazatát félóránként rögzítettem 30 és 180 perc között, ami mérési alkalmanként hat értéket eredményezett.

Az 5.1.1.-es fejezethez hasonlóan a huzat 15%-ról 25%-ra való növekedésének hatását elemeztem, vizsgáltam a nemek hatását és az idő változása, valamint az elégedetlenségi értékek közötti kapcsolatot.

5.1.2.1. A huzat hatása PD-re idő függvényében

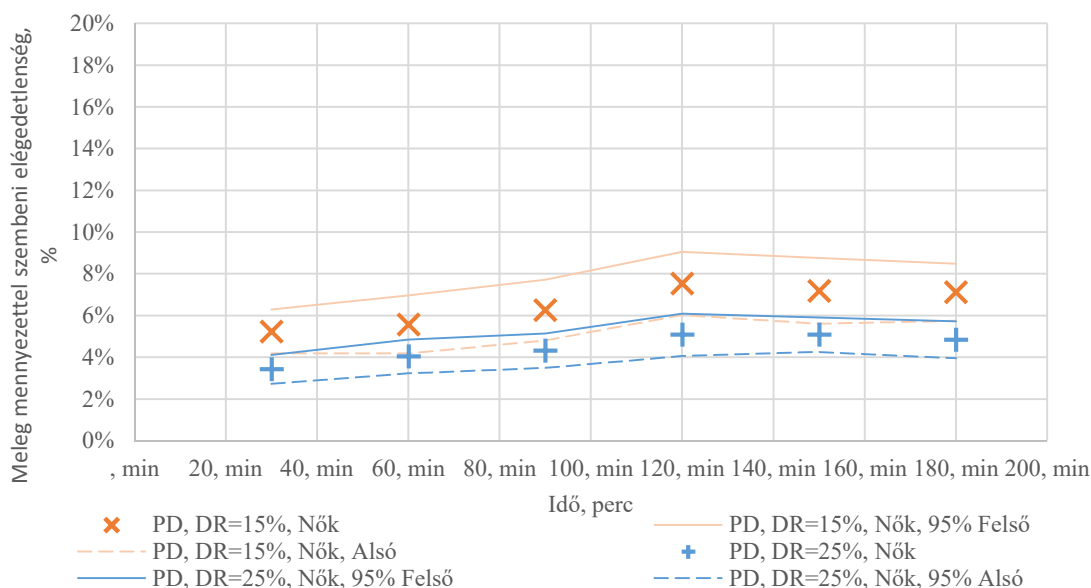
Az 54., 55. és 56. diagram a kísérletben résztvevő összes alany, illetve külön a nők és a férfiak esetén mutatja a huzat hatását az elégedetlenség arányára az idő függvényében.



74. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Nők és Férfiak, DR=15% vs. DR=25%

Az összes szavazat figyelembevétele során megállapítható, hogy a 30 és 60 percnél mért adatsorok kivételével az összes adatsor között egyértelmű függőség van. Ez azt jelenti, hogy a kísérlet első órájában a huzatnak szignifikáns hatása van a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség időbeli változására.

A kísérlet ezt követő periódusában szignifikáns függőség van az adatsorok között, ami azt jelenti, hogy a huzatnak ebben az időintervallumban nincs szignifikáns hatása az elégedetlenség időbeli változására.

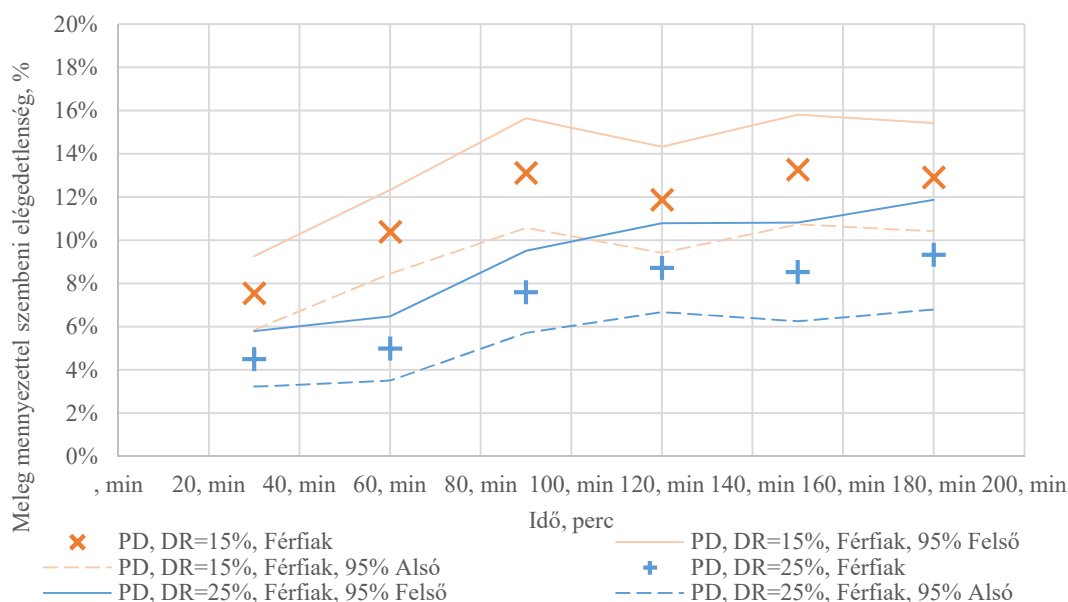


75. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Nők, DR=15% vs. DR=25%

A nők meleg mennyezettel szembeni elégedettségének időbeli vizsgálata során megállapítható, hogy Welch teszt segítségével minden esetben (30,60,90,120,150,180 perc) kimutatható a huzat szignifikáns hatása az elégedetlenségi szavazatokra.

A mért adatsorok közötti különbség viszont a Mann-Whitney módszerrel nem minden esetben kimutatható, a Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szint 30 percnél 0,01, 60 percnél 0,194, 90 percnél 0,152, 120 percnél 0,014, 150 percnél 0,108, 180 percnél 0,0156. A részletes számítás kivonatát az 1.II. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy a női szavazatok figyelembe vétele estén a huzat 15%-ról 25%-ra való emelése 30, 120 és 180 percnél szignifikánsan befolyásolja az elégedetlenségi szavazatok időbeli változását.



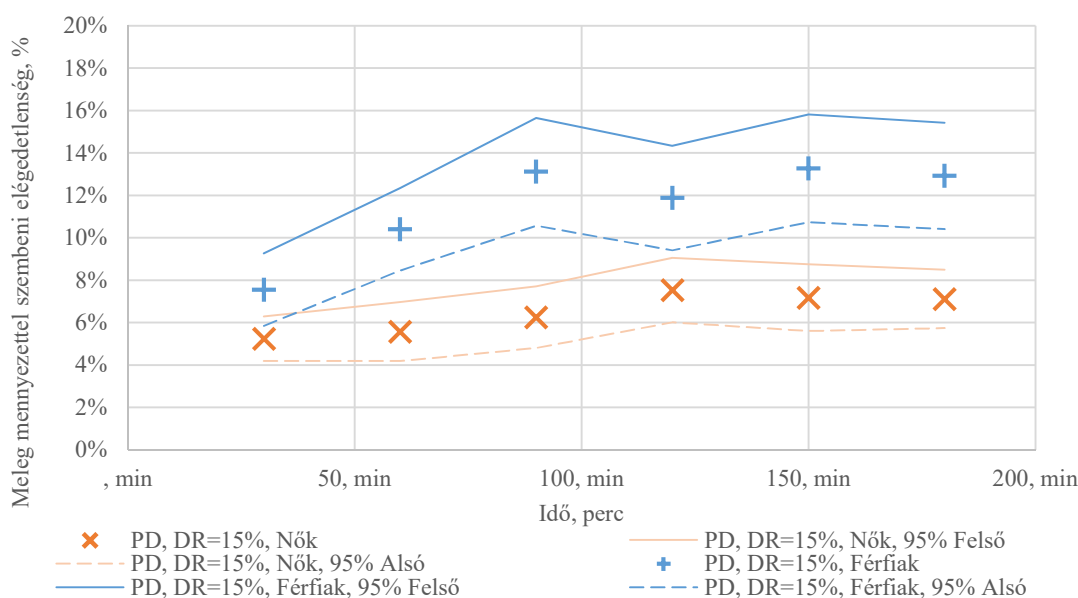
76. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Férfiak, DR=15% vs. DR=25%

A férfiak meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségi szavazatának időbeli elemzése során megállapítható, hogy minden mérési időpillanatban kimutatható a szignifikáns különbség a 15% és 25% huzathatás mellett mért adatok között.

Ez a kijelentés annyiban pontosítandó, hogy 120 perc esetén csak Welch teszt segítségével kimutatható a szignifikáns különbség, a Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szint 30 percnél 0,01, 60 percnél $4 \cdot 10^{-4}$, 90 percnél 0,001, 120 percnél 0,121, 150 percnél 0,004, 180 percnél pedig 0,031. A részletes számítás kivonatát az 1.III. melléklet tartalmazza.

5.1.2.2. A nemek hatása PD-re idő függvényében

Az 57. és 58. diagram a huzat időbeli hatását mutatja az elégedetlenség százalékos arányára az összes élőalany és külön a nők és a férfiak esetén.

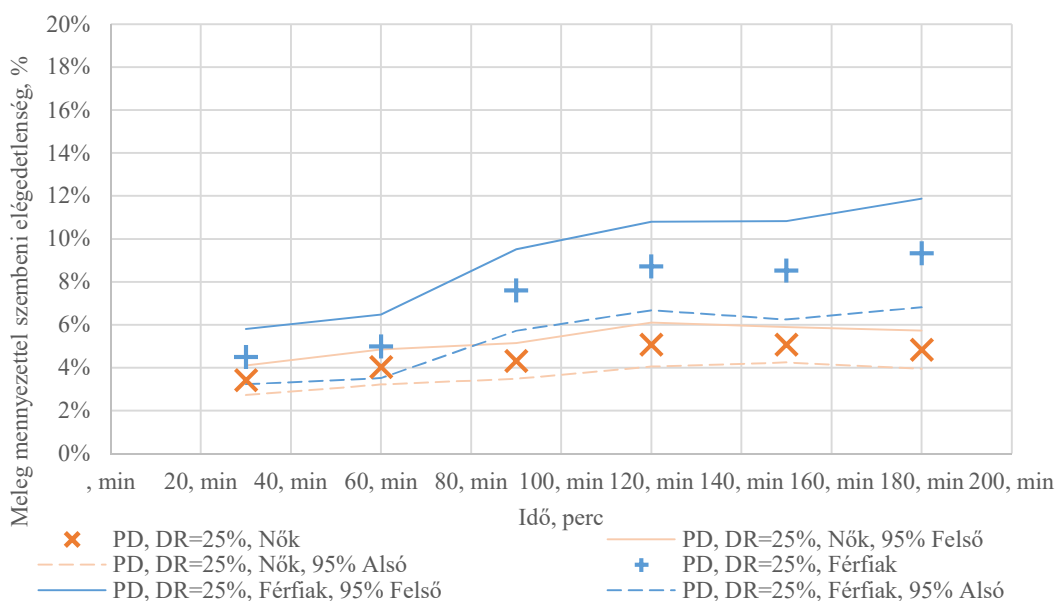


77. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=15%

A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség időbeli vizsgálata során megállapítottam, hogy a kísérlet mindenik időpontjában a nők és a férfiak meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségi szavazata szignifikánsan eltért. A kijelentés azzal pontosítandó, hogy a 30 perces adatsorok összehasonlítása során csak a Welch teszt segítségével kimutatható a szignifikáns különbség.

A Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szintek a következők szerint alakulnak: 30 percnél 0,147, 60 percnél $9,1 \cdot 10^{-5}$, 90 percnél $1,68 \cdot 10^{-4}$, 120 percnél 0,026, 150 percnél $3,59 \cdot 10^{-4}$, 180 percnél pedig 0,002. A részletes számítás kivonatát az 1.4. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy a 15% huzathatás mellett, 60 perc után a nők és férfiak meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségi szavazata szignifikánsan különbözik, a kísérlet mindenik időpillanatában a férfiak elégedetlenségi szavazatának átlagértéke volt a magasabb.



78. ábra: A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=25%

A 25%-os huzathatás melletti, meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség vizsgálata során szignifikáns egyezést mutattak a kísérlet 30. és 60. percében nyert adatsorok. Az eltérés az idő előrehaladtával növekedett és mindenhol szignifikáns különbség mutatkozott a nők és a férfiak elégedetlenségi szavazatában.

A Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szintek a kísérletek elején meghaladták a 0,05 – ös szintet, 30 percnél 0,675, 60 percnél 0,588. A kísérlet későbbi időpillanataiban ez az érték 0,05 alatt maradt a következők szerint: 90 percnél 0,049, 120 percnél 0,005, 150 percnél 0,018, 180 percnél pedig 0,047. A részletes számítás kivonatát az 1.V melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy 25%-os huzathatás mellett, 120 perc után a nők és férfiak elégedetlenségi arányának várható értéke szignifikánsan eltér egymástól, ebben az esetben is a férfiak szavazatának várható értéke magasabb.

5.1.2.3. Az idő múlásának hatása a PD-re

A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség elemzése során azt is vizsgáltam, hogy hogyan hat az idő múlása a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségi szavazatokra.

Az idő múlásának hatása a PD-re 15% huzathatás esetén

Vizsgáltam a 15%-os huzathatás mellett adódó szavazatok időbeli változását három esetben: a női, a férfi, illetve az összes élőalany elégedetlenségi szavazatának figyelembevételével.

A nők meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségi szavazatainak átlagértékeit vizsgálva megállapítható, hogy a 30 percnél mért átlag a legalacsonyabb, a 120 percnél mért átlag pedig a legmagasabb. Másrészt mindkét matematikai módszerrel megállapítható, hogy a 30, 60 és 90 percnél mért adatsorok szignifikánsan megegyeznek. A Mann-Whitney módszerrel számolt szignifikancia szint itt 30-60 esetben: 0,85, 30-90 esetben: 0,56, 60-90 esetben: 0,54, tehát az egyezés nagyon magas. Hasonlóan magas egyezés felismerhető a 120, 150 és 180 perc során mért szavazatok között. A

szignifikancia értékek ebben az esetben is rendkívül magasak: 120-150 esetén 0,64, 120-180 esetén 0,78, 150-180 esetén pedig 0,81. A részletes számítás kivonatát az 1.VI. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy van két szignifikánsan megegyező értékcsoport: a 30-60-90 perc és a 120-150-180 perc, köztük növekedés megfigyelhető.

A férfiak elégedetlenségi szavazatainak minimuma 30 percnél, míg maximuma 150 percnél van. Ebben az esetben egyértelmű növekedési tendencia látható a vizsgálat első 90 percében, majd a 90-120-150-180 perc adathalmazok során szignifikáns egyezés kimutatható. A szignifikancia szintek a következők: 90-120 perc 0,518, 90-150 percnél 0,901, 90-180 percnél 0,915, 120-150 percnél 0,413; 120-180 percnél 0,494, 150-180 percnél pedig 0,849. A részletes számítás kivonatát az 1.VII. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy 25%-os huzathatás mellett az idő múlása szignifikáns hatással van a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségi arányra a kísérlet első órájában, majd ez a hatás inszignifikánssá válik. 90 perc után a férfiak meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségi várható értéke nem változik az idővel.

Az összes szavazat időbeli vizsgálata során megállapítottam, hogy szignifikáns különbség csak a 30 perces adatok többi mért adattal való összehasonlításakor adódik. A részletes számítás kivonatát az 1.VIII. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy 15%-os huzathatás mellett az összes alany szavazatát figyelembe véve, az idő előrehaladásának 60 perc után nincs szignifikáns hatása az elégedetlenség átlagos értékére.

Az idő múlásának hatása a PD-re 25% huzathatás esetén

25 % huzathatás mellett is vizsgáltam a nők, férfiak és az összes alany meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségi arányát az idő múlása függvényében.

A nők elégedetlenségi arányának idő szerinti vizsgálata során megállapítottam, hogy az elégedetlenség maximuma a 120 perces mérési érték esetén adódik. Fontos azonban, hogy szignifikáns egyezés mutatható a 120-150-180 percnél mért adatsorok esetén mindkét matematikai módszer esetén. A Mann-Whitney módszerrel kimutatható szignifikancia szintek a következők: 120-150 esetén 0,529, 120-180 esetén 0,942, 150-180 esetén pedig 0,445. A legalacsonyabb mért várható érték 30 perc esetén adódik. A Welch módszerrel kimutatható a függetlenség a 30-60-90 adatpontok között, viszont a Mann-Whitney módszer szerinti elemzés alapján ezen az intervallumon is függőség van az adatsorok között, vagyis nem állítható egyértelműen, hogy ezen az intervallumon az elégedetlenségi szavazatok növekednek az idő elteltével. A részletes számítás kivonatát az 1.XI. melléklet tartalmazza.

A férfiak elégedetlenségi szavazatának időbeli vizsgálata során megállapítottam, hogy mindkét matematikai módszerrel bizonyítható függés van a 90-120-150-180 percnél mért adatsorok között. Ez azt jelenti, hogy 25%-os huzathatás mellett a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség nem változik 90 perc után.

A kísérlet 30. és 60. percében gyűjtött adatok ismeretében megállapítható, hogy az adatsorok szignifikánsan megegyeznek, míg a 60. és 90. percben mért adatsorok között szignifikáns eltérés felismerhető. A Mann-Whitney módszerrel számolt szignifikancia szint ebben a két utóbbi esetben 0,913, illetve 0,038. A részletes számítás kivonatát az 1.X. melléklet tartalmazza.

Az összes élőalany szavazatának vizsgálata során megállapítottam, hogy és a 90-120-150-180 adatsorok között szignifikáns függés kimutatható, a növekvő szakaszon, a 30 perc – 60 perc, 30 perc – 90 perc, valamint a 60 perc – 90 perc mérési pontok között a Mann-Whitney egzakt teszttel számított szignifikancia szint 0,039, 0,004, illetve 0,038.

Megállapítható, hogy 25%-os huzathatás mellett az idő múlása 90 percig növeli a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenséget, után nincs rá szignifikáns hatással.

5.2. AMV eredmények értékelése

Az általános hőérzet elemzésével is foglalkoztam, ezt is a 4. fejezetben bemutatott eredmények felhasználásával tettem. A tényleges általános hőérzetet az AMV (Actual Mean Vote) érték segítségével vizsgáltam, mely megmutatja, hogy hogyan alakul a kísérletben részt vevő alanyok tényleges hőkomfortja a teljes testre vetítve.

Az eredményeket ebben az esetben is egyrészt az aszimmetria, másrészt az idő függvényében elemeztem és a következő kérdésekre kerestem a választ:

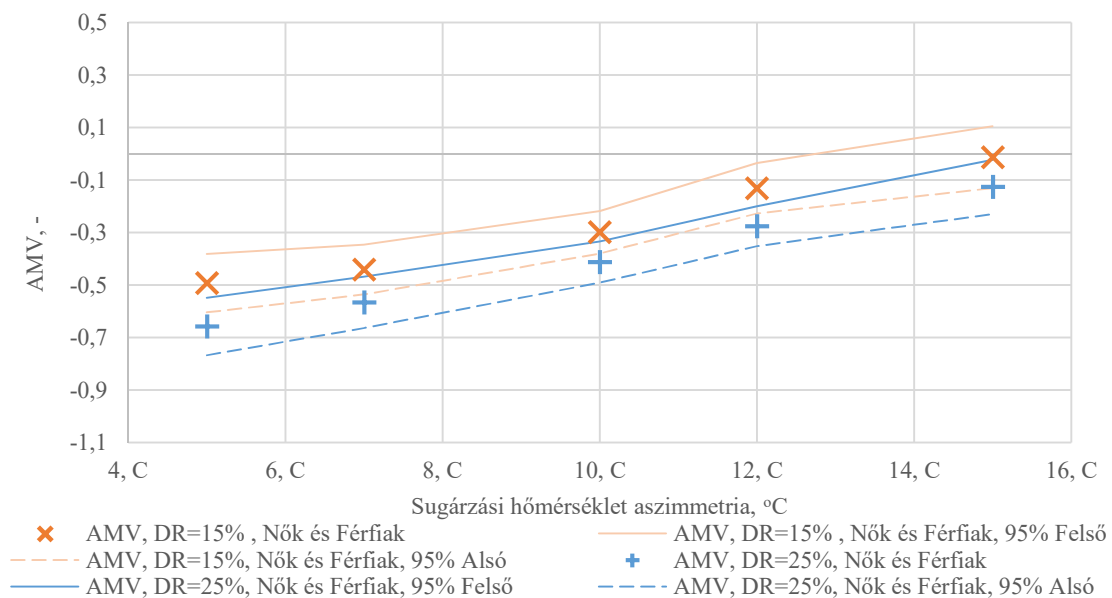
- Van szignifikáns hatása a huzathatás 15%-ról 25%-ra való növelésének az AMV értékre?
- Van szignifikáns különbség a férfiak és nők AMV szavazata között?
- Hogyan változik az AMV érték a sugárzási hőmérséklet aszimmetria módosulásával vagy az idő előrehaladtával?

Az 59.-63. diagramok az aszimmetria függvényében, míg a 64.-68. diagramok az idő függvényében bemutatott eredmények összehasonlítását mutatják.

5.2.1. AMV értékelése az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében

5.2.1.1. A huzat hatása AMV-re az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében

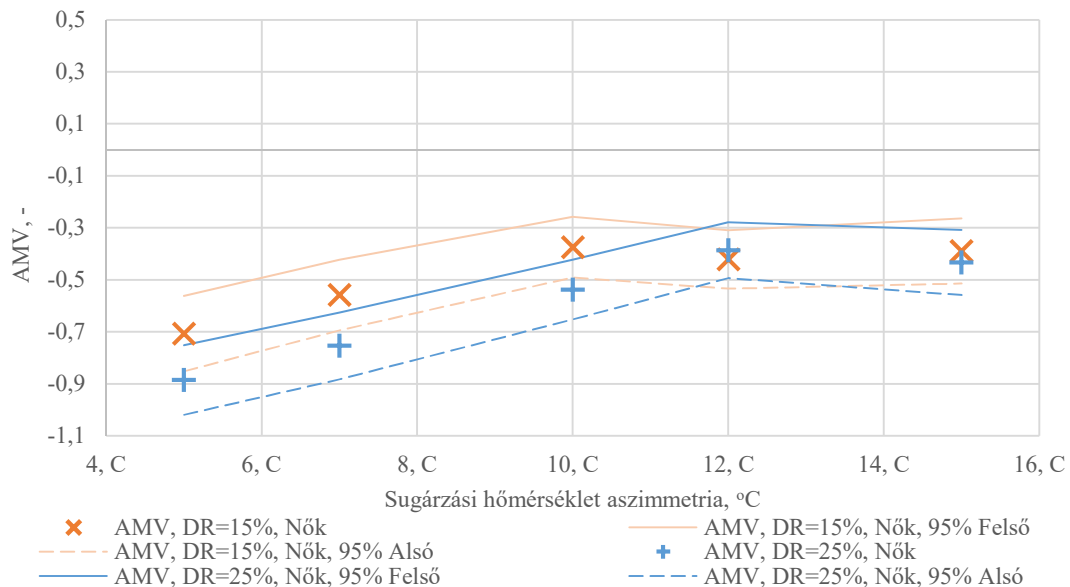
Az 59., 60. és 61. diagram a huzat hatását mutatja az AMV értékre az összes élőalany és külön a nők és a férfiak esetén.



79. ábra: AMV AS függvényében, Nők és Férfiak, DR=15% vs. DR=25%

Az összes élőalany szavazatának figyelembevétele során megállapítható, hogy 5, 7, 10, 12 és 15 °C sugárzási hőmérsékleti aszimmetria érték mellett a 15%-os huzathatás és a 25%-os huzathatás mellett adott AMV szavazatok szignifikánsan eltérnek. A Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szint 5 °C esetén 0,014, 7 °C esetén 0,048, 10 °C esetén 0,025, 12 °C esetén 0,009, míg 15 °C esetén 0,042. A részletes számítás kivonatát az 2.1. melléklet tartalmazza.

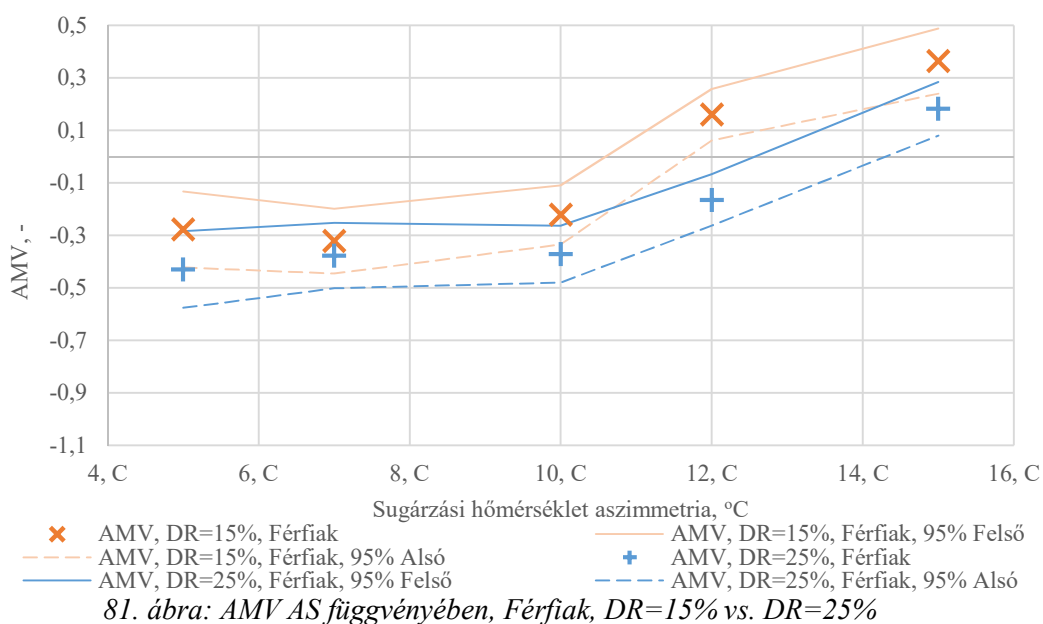
Kijelenthető, hogy az összes alany szavazatának figyelembevétele esetén a huzat 15%-ról 25%-ra való emelésének szignifikáns hatása van az AMV 5-15 °C aszimmetria intervallumon várható értékére.



80. ábra: AMV AS függvényében, Nők, DR=15% vs. DR=25%

A női szavazatok vizsgálata során az 5-10 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria intervallumon a huzathatás 15%-ról 25%-ra való emelése előidézi az AMV értékek csökkenését. Ez a hatás a 12-15 °C intervallumon nem kimutatható. A Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szint 5 °C esetén 0,028, 7 °C esetén 0,027, 10 °C esetén 0,029, 12 °C esetén 0,579, míg 15 °C esetén 0,508. A részletes számítás kivonatát az 2.2. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy a nők szavazatának figyelembevétele során a huzat 15%-ról 25%-ra való emelésének szignifikáns hatása van az 5-10 °C aszimmetria intervallumon az AMV várható értékére, 12-15 °C intervallumon a huzat növekedése nem idéz elő változást az AMV várható értékében.

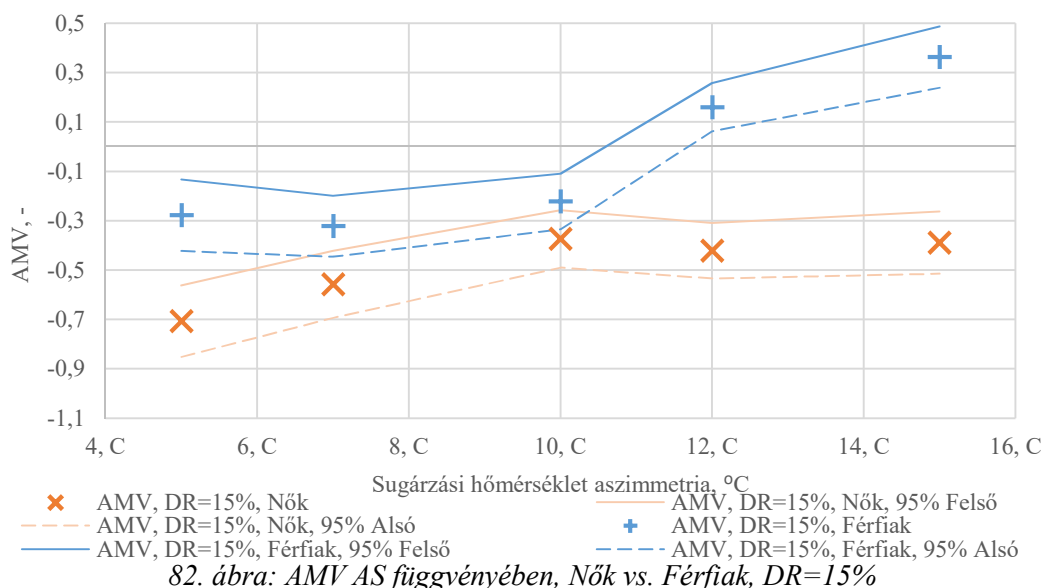


A férfiak szavazatának elemzése során fordított tendencia megfigyelhető: 5-7 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria intervallumon a huzathatás 15%-ról 25%-ra való emelése nem idéz elő számottevő AMV változást, viszont 10-15 °C intervallumon ez a hatás kimutatható. A Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szint 5 °C esetén 0,063, 7 °C esetén 0,516, 10 °C esetén 0,031, 12 °C esetén $2 \cdot 10^{-4}$, míg 15 °C esetén 0,016. A részletes számítás kivonatát az 2.3. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy a férfiak szavazatának figyelembevétele során a huzat 15%-ról 25%-ra való emelése nincs szignifikáns hatással az 5-7 °C aszimmetria intervallumon az AMV várható értékére, viszont szignifikáns hatással van a 10-15 °C intervallumon.

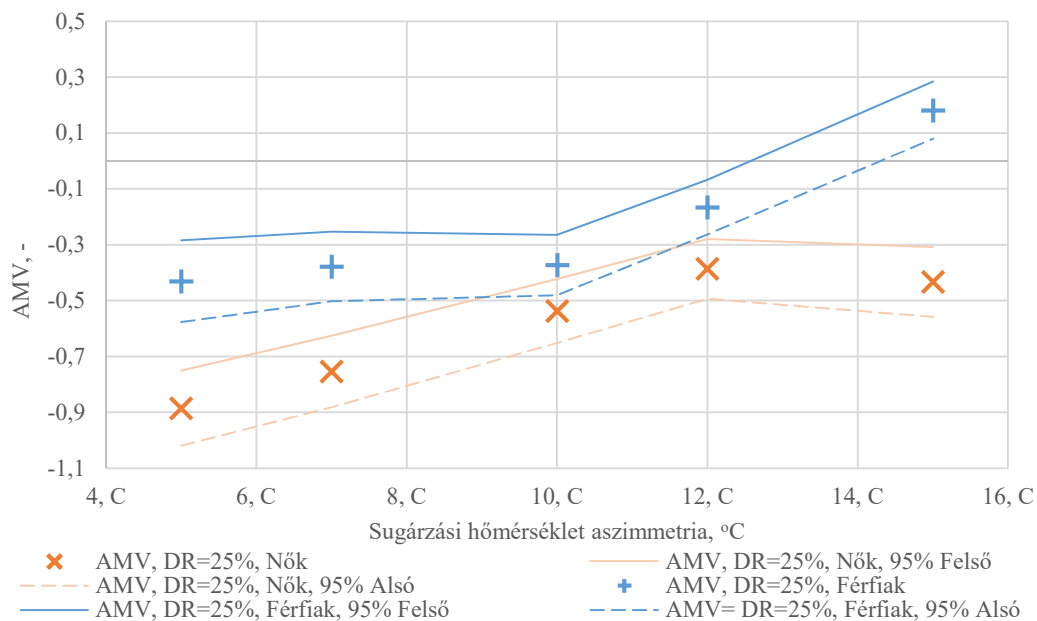
5.2.1.2. A nemek hatása AMV-re az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében

A 62. és 63. diagram a nők és a férfiak elégedetlenségi arányának átlagértékét mutatja DR=15% és DR=25% huzathatás mellett.



15%-os huzathatás esetén, a nők és férfiak AMV szavazatának vizsgálata során megállapítható, hogy a nők és férfiak AMV szavazatai minden esetben szignifikánsan eltérnek. A szignifikáns eltérés mindkét matematikai módszerrel kimutatható 5 °C, 7 °C, 10 °C, 12 °C és 15 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria mellett. Kijelenthető továbbá, hogy akkor tapasztalható a legnagyobb eltérés a nemek AMV szavazatában, amikor a sugárzási hőmérséklet aszimmetria értéke maximális. Ez a Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szint csökkenésén is követhető. A szignifikancia szintek a következők szerint alakulnak: 5 °C esetén $9 \cdot 10^{-6}$, 7 °C esetén 0,006, 10 °C esetén 0,047, 12 °C esetén $2,96 \cdot 10^{-12}$, 15 °C esetén pedig $6,54 \cdot 10^{-15}$. A részletes számítás kivonatát az 2.4. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy 15% huzathatás mellett a nők és a férfiak AMV szavazata szignifikánsan eltér az 5-15 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria intervallumon.



83. ábra: AMV AS függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=25%

A 15%-os huzathatás esetén kimutatott tendenciák megállapíthatóak 25%-os huzathatás mellett is: a nők és férfiak szavazata minden sugárzási hőmérséklet aszimmetria érték mellett szignifikánsan eltér. A legnagyobb eltérés ebben az esetben szintén a maximális sugárzási aszimmetria esetén adódik.

A hatás mindkét matematikai módszer segítségével kimutatható, a Mann-Whitney módszer szerinti szignifikancia szintek a következők szerint alakulnak: 5 °C esetén $2 \cdot 10^{-6}$, 7 °C esetén $2,5 \cdot 10^{-6}$, 10 °C esetén 0,029, 12 °C esetén $6,83 \cdot 10^{-4}$, 15 °C esetén pedig $4,81 \cdot 10^{-13}$. A részletes számítás kivonatát az 2.5. melléklet tartalmazza.

5.2.1.3. Az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség változásának hatása az AMV-re

Az AMV szavazatok elemzése során azt is vizsgáltam, hogy kimutatható-e szignifikáns összefüggés az aszimmetrikus sugárzás növekedése és az AMV szavazatok változása között?

Az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség változásának hatása az AMV-re 15% huzathatás esetén

Az 5.1.1.3.1. fejezethez hasonlóan itt is három esetet vizsgáltam: a női, a férfi, illetve az összes élőalany AMV szavazatának elemzését.

A női szavazatok elemzése során megállapítható, hogy 10-12-15 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria mellett a szavazatok szignifikáns egyezést mutatnak. 5-7-10 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria intervallumon a sugárzási hőmérsékleti aszimmetria növekedése az AMV átlagértékét növekedését eredményezi, de ez a tendencia a Welch és Mann-Whitney módszerrel nem kimutatható.

A Mann-Whitney módszerrel számolt szignifikancia szintek 5-7 °C, 10-12 °C, 10-15 °C és 12-15 °C értékpárok esetén a következők szerint alakul: 0,109, 0,442, 0,696 és 0,589, tehát minden esetben megállapítható a szignifikáns függés az adatsorok között. A 7-10 °C aszimmetria esetén ez az érték 0,023. A részletes számítás kivonatát az 2.6. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy a nők AMV szavazata 7 °C és 10 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria között szignifikánsan növekszik, utána állandó.

A férfiak esetén a tendencia fordított: az aszimmetrikus sugárzás növekedésével 5-7-10 °C aszimmetrikus sugárzás esetén az AMV érték nem változik szignifikánsan. 10 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria érték fölött az aszimmetrikus sugárzás növekedése az AMV érték növekedését idézi elő, maximális érték a 15 °C-os sugárzási hőmérséklet aszimmetria esetén várható.

A Mann-Whitney módszerrel számolt szignifikancia szintek az állandónak ítélt értékpárookra: 5-7 °C esetén 0,501, 5-10 °C esetén 0,551 és 7-10 °C esetén 0,186. Az AMV növekvő szakaszán ezek az értékek a következők szerint alakulnak: 10-12 °C esetén $1,6 \cdot 10^{-7}$, 10-15 °C esetén $9,96 \cdot 10^{-12}$, 12-15 °C esetén $6,44 \cdot 10^{-3}$. A részletes számítás kivonatát az 2.7. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy 15%-os huzathatás mellett a férfiak AMV szavazata 5-10 °C sugárzási hőmérséklet intervallumon nem változik, 10-15 °C intervallumon pedig az AMV szavazatok az aszimmetrikus sugárzás növekedésével növekszenek, a maximális AMV érték maximális sugárzási aszimmetria esetén várható.

Az összes szavazat figyelembevétele esetén a sugárzási hőmérséklet aszimmetria növelése az AMV átlagértékek növekedését eredményezi, viszont szignifikáns növekedés az 5-7 °C és a 12-15 °C értékpárok között nem kimutatható. Ezekben az esetekben a Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szint 0,531 és 0,114, vagyis a ezekben az esetekben egyértelmű függőségi viszony van az adatsorok között. A részletes számítás kivonatát az 2.8. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy 15%-os huzathatás mellett, az összes alany AMV szavazatának figyelembe vétele esetén 7-12 °C sugárzási hőmérséklet intervallumon az AMV értéke a sugárzási aszimmetria értékével növekszik.

Az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség változásának hatása az AMV-re 25% huzathatás esetén

25% huzathatás esetén is vizsgáltam a női, férfi és összes AMV szavazat alakulását a sugárzási hőmérséklet aszimmetria függvényében.

A női AMV szavazatok elemzése során megállapítottam, hogy a meleg mennyezet hőmérsékletének növekedésével az AMV is növekszik a 7-12 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria intervallumon. Az 5-7 °C és 12-15 °C értékek között a növekedés nem kimutatható, itt a Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szintek a következők: 5-7 °C esetén 0,115 és 12-15 °C esetén 0,389. A részletes számítás kivonatát az 2.9. melléklet tartalmazza.

Megállapítható, hogy 25% huzathatás esetén a nők AMV szavazata 7-12 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria intervallumon növekszik, a többi szakaszon pedig állandó.

A férfiak szavazatának elemzése során megállapítható, hogy a sugárzási hőmérséklet aszimmetria növekedésének hatása van az AMV értékére 10-15 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria intervallumon,

az intervallum további szakaszán az AMV állandó, vagyis a sugárzási hőmérséklet aszimmetriának nincs hatása az AMV-re.

Az intervallum azon szakaszán, ahol az AMV állandó, a következő Mann-Whitney módszerrel számolható szignifikancia értékek adódnak: 5-7 °C esetén 0,661, 5-10 °C esetén 0,596 és 7-10 °C esetén pedig 0, 972. A részletes számítás kivonatát az 2.10. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy 25% huzathatás esetén, férfiak szavazatának figyelembevétele során a közepes sugárzási hőmérséklet növekedése 5-10 °C intervallumon az AMV szavazatok várható értékének növekedését idézi elő, 10-15 °C intervallumon pedig nincs hatással az AMV szavazatok várható értékére.

Az összes szavazat figyelembevétele esetén megállapítható, hogy a teljes 5-15 °C intervallumon a közepes sugárzási hőmérséklet növelésének szignifikáns hatása van az AMV értékre. A 5-7 °C és 12-15 °C adatpárok esetén ez a hatás egyértelműen nem kimutatható – míg a Mann-Whitney módszerrel a függetlenség bizonyítható, a Welch teszt függőséget mutat. A részletes számítás kivonatát az 2.11. melléklet tartalmazza.

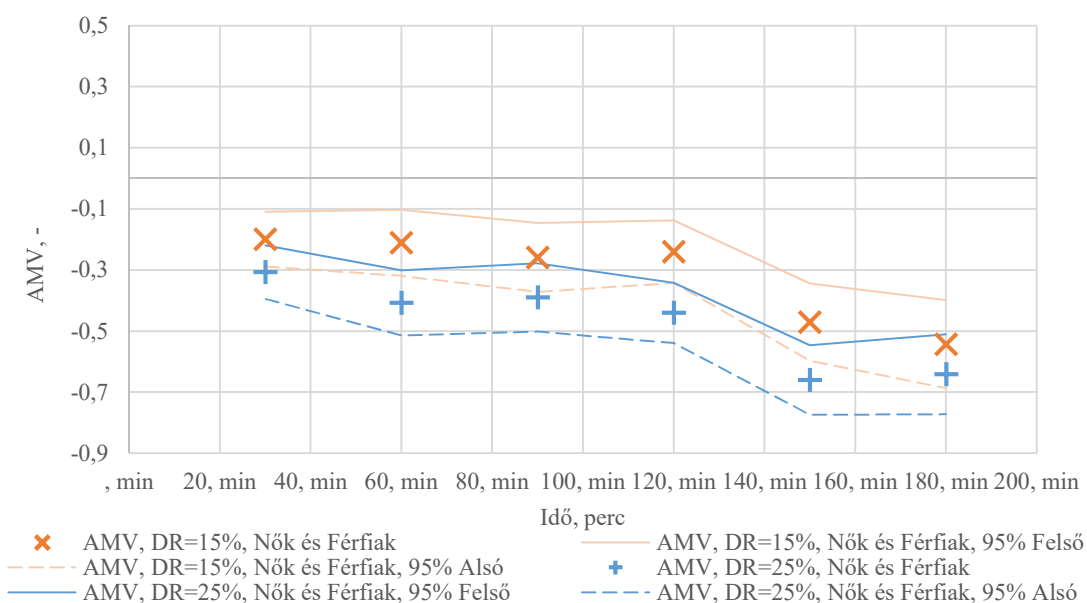
A fentiek tükrében biztonsággal kijelenthető, hogy az összes élőalany szavazatának figyelembevétele esetén, 7-12 °C intervallumon, 25% huzathatás esetén a meleg mennyezet által okozott közepes sugárzási hőmérséklet növekedése az AMV érték növekedését idézi elő.

5.2.2. AMV értékelése idő függvényében

A mérések során az alanyok szintén 30 percenként adták le AMV szavazataikat, mely 30 és 180 perc között 6 szavazatot jelentett. Az 5.1.2. fejezethez hasonlóan elemeztem a huzat 15%-ról 25% való növelésének, a nemek, illetve az idő változásának hatását az AMV szavazatokra.

5.2.2.1. A huzat hatása AMV-re idő függvényében

A 64., 65. és 66. diagram a kísérletben résztvevő összes alany, illetve külön a nők és a férfiak esetén mutatja a huzat hatását az elégedetlenség arányára az idő függvényében.

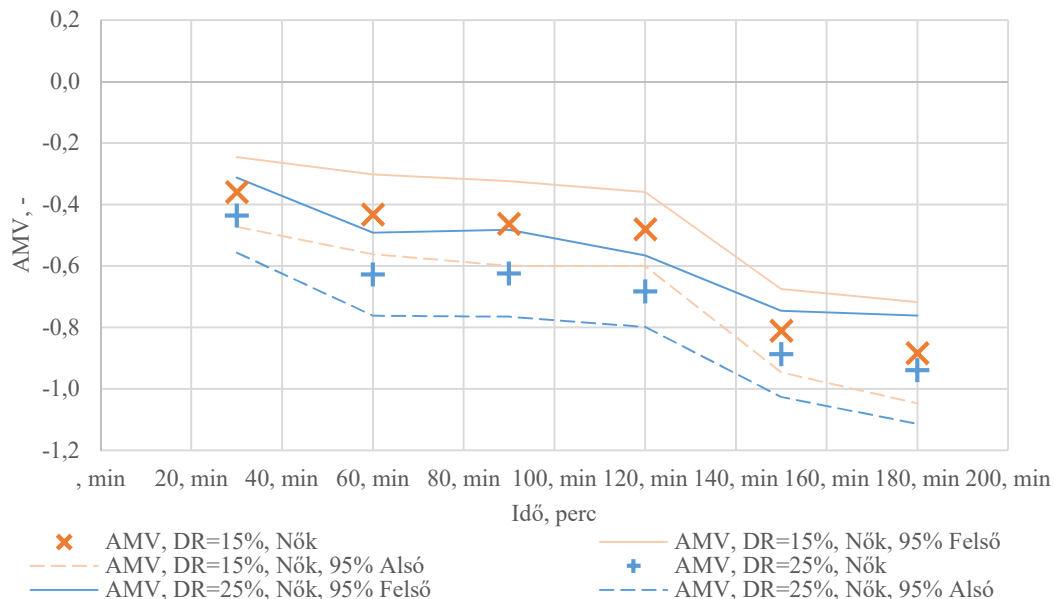


84. ábra: AMV idő függvényében, Nők és Férfiak, DR=15% vs. DR=25%

Az AMV szavazatok vizsgálata során megállapítható, hogy a huzatnak 60,120 és 150 percél szignifikáns hatása van az AMV szavazatokra, 30, 90 és 150 percnél viszont nincs szignifikáns hatása. Ezek az eredmények mindkét matematikai módszer segítségével igazolhatóak.

A Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szintek a következők szerint alakulnak: 30 percnél 0,129, 60 percnél 0,01, 90 percnél 0,131, 120 percnél 0,006, 150 percnél $9.99 \cdot 10^{-10}$, 180 percnél pedig 0,393. A részletes számítás kivonatát az 2.I. melléklet tartalmazza.

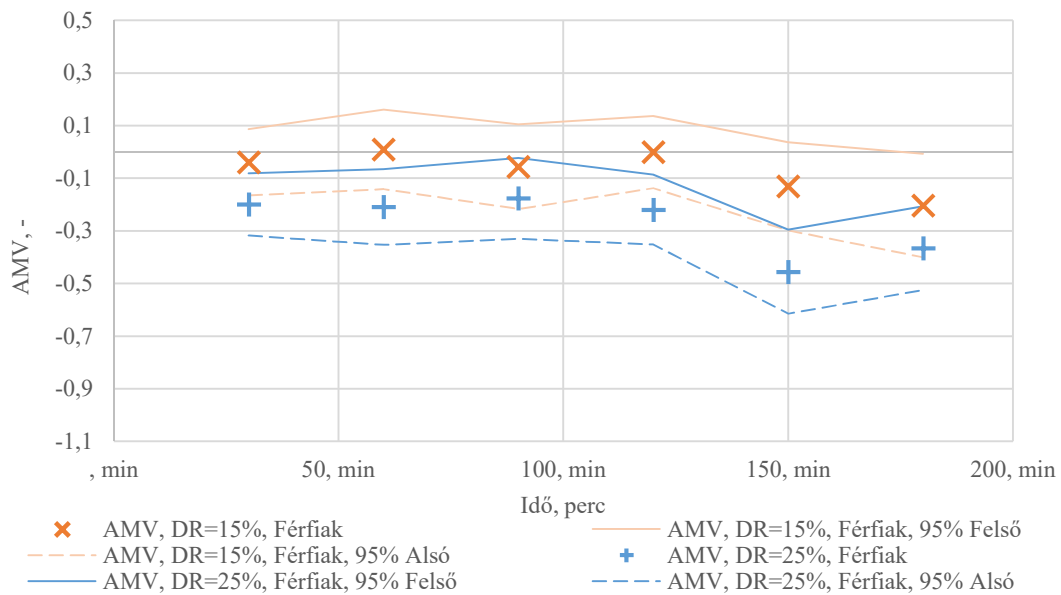
Kijelenthető, hogy a huzathatás 15%-ról 25%-ra emelése 60, 120 és 150 percnél szignifikáns hatással van az AMV értékre és minden esetben az AMV érték csökkenését eredményezi.



85. ábra: AMV idő függvényében, Nők, DR=15% vs. DR=25%

A nők AMV szavazatának idő szerinti vizsgálata során megállapítható, hogy a huzatnak csak 60 és 120 percnél van számottevő hatása az AMV várható értékére. Ez a kijelentés mindkét matematikai módszer segítségével bizonyítható.

A Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szintek a következők szerint alakulnak: 30 percnél 0,44, 60 percnél 0,04, 90 percnél 0,166, 120 percnél 0,034, 150 percnél 0,53, 180 percnél pedig 0,632. A részletes számítás kivonatát a 2.II. melléklet tartalmazza. Kijelenthető, hogy a nők AMV szavazatának időbeli eloszlására nincs szignifikáns hatással a huzathatás 15%-ról 25% emelése, kivéve 60 és 120 percnél, ezekben az esetekben az AMV csökken a huzathatás növekedésével.



86. ábra: AMV idő függvényében, Férfiak, DR=15% vs. DR=25%

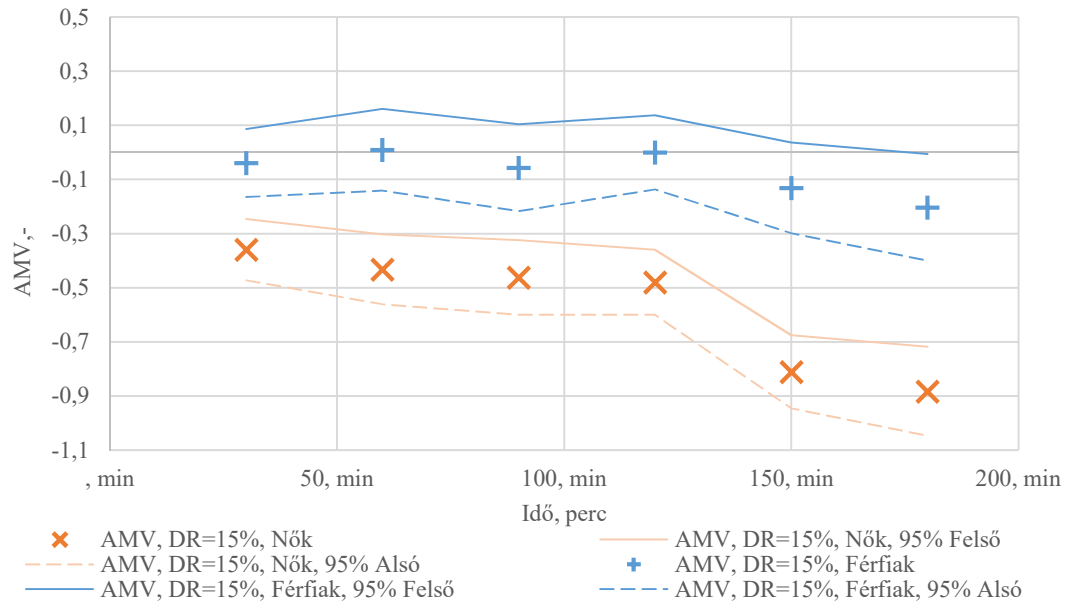
A férfiak AMV szavazatának idő szerinti vizsgálata során megállapítottam, hogy a huzat 15%-ról 25%-ra emelése mindkét matematikai módszerrel kimutatható szignifikáns hatással van a 60,120 és 150 percnél mért adatokra. A 30 percnél mért adatoknál Welch teszttel kimutatható a huzat AMV szavazatra gyakorolt hatása, Mann-Whitney teszt segítségével viszont nem.

A Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szintek a következők szerint alakulnak: 30 percnél 0,07, 60 percnél 0,046, 90 percnél 0,255, 120 percnél 0,022, 150 percnél 0,11, 180 percnél pedig 0,924. A részletes számítás kivonatát az 2.III. melléklet tartalmazza.

Megállapítható, hogy a férfiak AMV időbeli szavazatára 60,120 és 150 percben szignifikáns hatással van a huzat 15%-ról 25%-ra emelése, ezekben az esetekben a huzat növekedése az AMV csökkenését eredményezi.

5.2.2.2. A nemek hatása AMV-re idő függvényében

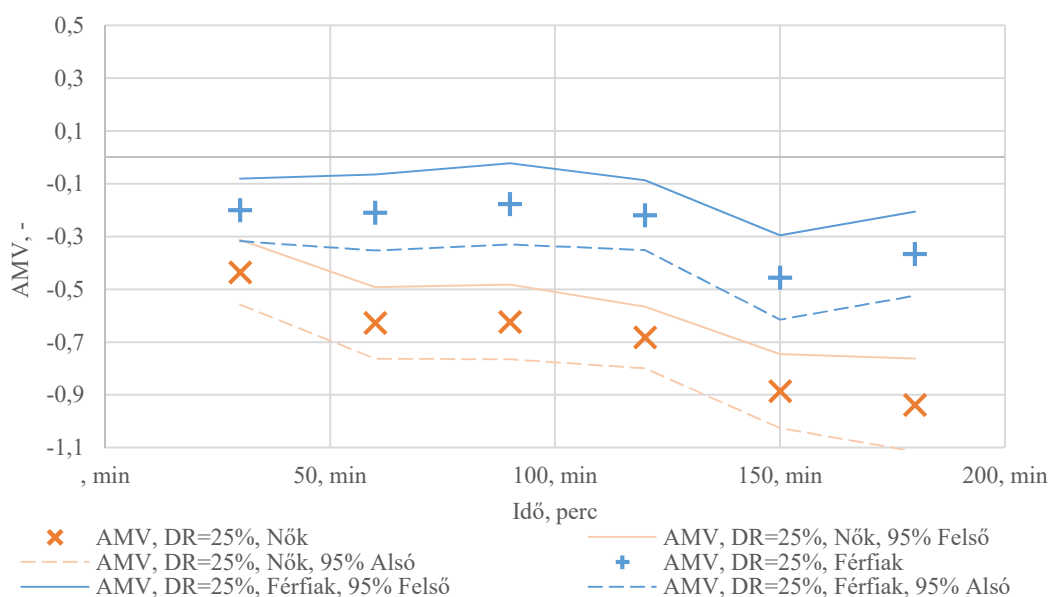
Az 67. és 68. diagram a nemek hatását mutatja az AMV szavazatokra az idő függvényében 15% és 25% huzathatás mellett.



87. ábra: AMV idő függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=15%

15%-os huzathatás mellett megállapítható, hogy a nők és férfiak AMV szavazata minden esetben szignifikánsan eltér. Ez a kijelentés mindkét matematikai módszer segítségével kimutatható 30, 60, 90, 120, 150 és 180 perc esetén is. A Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szintek a következők szerint alakulnak: 30 perc esetén $7 \cdot 10^{-4}$, 60 perc esetén $1,12 \cdot 10^{-4}$, 90 perc esetén $6,47 \cdot 10^{-4}$, 120 perc esetén $3 \cdot 10^{-6}$, 150 perc esetén $1,47 \cdot 10^{-7}$, 180 perc esetén pedig $2,62 \cdot 10^{-7}$. A részletes számítás kivonatát az 1.IV. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy 15% huzathatás mellett a nők és férfiak AMV szavazata a kutatás minden időpillanatában szignifikánsan eltért, minden esetben a nők szavazata volt alacsonyabb.



88. ábra: AMV idő függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=25%

A fenti tendencia 25%-os huzathatás esetén is fennáll, hiszen a nők és férfiak AMV szavazata ebben az esetben is szignifikánsan eltér minden mért időpillanatban. A Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szintek ebben az esetben a következők: 30 perc esetén 0,015, 60 perc esetén $2,33 \cdot 10^{-4}$, 90 perc esetén $1,15 \cdot 10^{-4}$, 120 perc esetén $6 \cdot 10^{-6}$, 150 perc esetén $2,93 \cdot 10^{-4}$, 180 perc esetén $2 \cdot 10^{-6}$. A részletes számítás kivonatát az 1.V. melléklet tartalmazza.

5.2.2.3. Az idő múlásának hatása az AMV-re

Az AMV szavazatok elemzése során vizsgáltam, hogy milyen mértékben befolyásolja az idő múlása az AMV szavazatokat.

Az idő múlásának hatása a AMV-re 15% huzathatás esetén

Az 5.1.2.3.1. fejezethez hasonlóan a 15% huzathatás esetén is három esetet vizsgáltam: női, a férfi, illetve az összes élőalany AMV szavazatának változását.

A nők AMV szavazatainak vizsgálata során megállapítottam, hogy a 30-60-90-120 perces mérési pontokban gyűjtött szavazatok között mindkét matematikai módszerrel szignifikáns egyezés kimutatható, vagyis az AMV várható értéke nem változik a mérések első két órájában.

Két óra után szignifikáns csökkenés észlelhető az AMV szavazatokban, a 120-150 perces összehasonlítás során a Mann-Whitney módszerrel kiszámolt szignifikancia szint értéke $1,17 \cdot 10^{-3}$. A részletes számítás kivonatát az 2.VI. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy 15%-os huzathatás esetén a nők AMV szavazata a mérés első két órájában nem változik, majd szignifikánsan csökken.

A férfiak szavazatának elemzése során megállapítható, hogy minden mérési pontban (30, 60, 90, 120, 150, 180 perc) az AMV értékek szignifikánsan függenek egymástól. Ez azt jelenti, DR=15% huzathatás mellett a férfiak AMV szavazata nem változik szignifikánsan a három órás mérések során.

A Mann-Whitney módszerrel számolt szignifikancia szintek minden adatpont esetén meghaladják a 0,053-as értéket. A részletes számítás kivonatát az 2.VII. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy 15%-os huzathatás esetén a férfiak AMV szavazata a három órás mérés során nem változik szignifikánsan.

Az összes szavazat figyelembevétele esetén ugyanolyan összefüggések felfedezhetőek, mint a nők szavazatának vizsgálata során. A részletes számítás kivonatát az 2.VIII. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy 15%-os huzathatás esetén, az összes szavazat figyelembevétele mellett az AMV értéke a mérés első két órájában nem változik, majd szignifikánsan csökken.

Az idő múlásának hatása a AMV-re 25% huzathatás esetén

25%-os huzathatás mellett a nők AMV szavazata 30-60 perces és 120-150 perces mérési pontok esetén szignifikánsan különbözik, ezekben a vizsgált esetekben a Mann-Whitney módszerrel számolt szignifikancia szint 0,045, illetve 0,035. A 60-90-120 perces és a 150-180 perces mérési pontokban az AMV értékek szignifikánsan megegyeznek. A részletes számítás kivonatát az 2.IX. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy a nők AMV szavazata az első órában az idő múlásával csökken, majd két óráig állandó, után pedig ismét csökken.

25%-os huzathatás esetén a férfiak AMV szavazatának vizsgálata során megállapítható, hogy a 30-60-90-120 perces mérési pontokban a várható érték nem függ szignifikánsan az idő múlásától. Hasonló tendencia felfedezhető a 150-180 perces értékpárok esetén. Szignifikánsan független AMV értékek adódnak 120-150 perces összehasonlítás során, itt a Mann-Whitney szignifikancia szint 0,042. A részletes számítás kivonatát a 2.X. melléklet tartalmazza.

Megállapítható, hogy 25%-os huzathatás mellett, a férfiak szavazatának figyelembevétele estén az AMV két óráig nem változik szignifikánsan, utána csökken, és 150 percnél eléri a három órás mérés során a minimumát.

25% huzathatás mellett az összes szavazat figyelembevétele estén az idő és az AMV szavatok közötti kapcsolat hasonló a 15% esetén megállapított összefüggésekkel. A részletes számítás kivonatát az 2.XI. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy 25%-os huzathatás esetén, az összes szavazat figyelembevétele mellett az AMV értéke a mérés első két órájában nem változik, majd szignifikánsan csökken.

5.3. A munkavégzés hatékonyságának értékelése

Vizsgáltam a huzat és a meleg mennyezet együttes hatását az emberi munkavégzésre. Ezt a 3. fejezetben bemutatott metodológia alapján végeztem, a kiértékelésnél külön kezeltem a munka gyorsaságát és pontosságát. A munkavégzés pontosságát leíró két tényező egymáshoz képesti viszonya is fontos információt hordoz. A munka pontossága és gyorsasága közötti viszonyt a szakirodalom speed-accuracy trade-off -ként jegyzi.

Az munkavégzés hatékonyságával kapcsolatos eredményeket is az aszimmetria, illetve az idő függvényében elemeztem és a következő kérdésekre kerestem a választ:

- Van szignifikáns hatása a huzathatás 15%-ról 25%-ra való növelésének a munkavégzés hatékonyságára?

- Van szignifikáns különbség a férfiak és nők munkavégzési hatékonyságának módosulásában a lokális diszkomfort tényezők együttes előfordulása esetén?
- Hogyan változik a munkavégzés hatékonysága a sugárzási hőmérséklet aszimmetria módosulásával vagy az idő előrehaladtával?

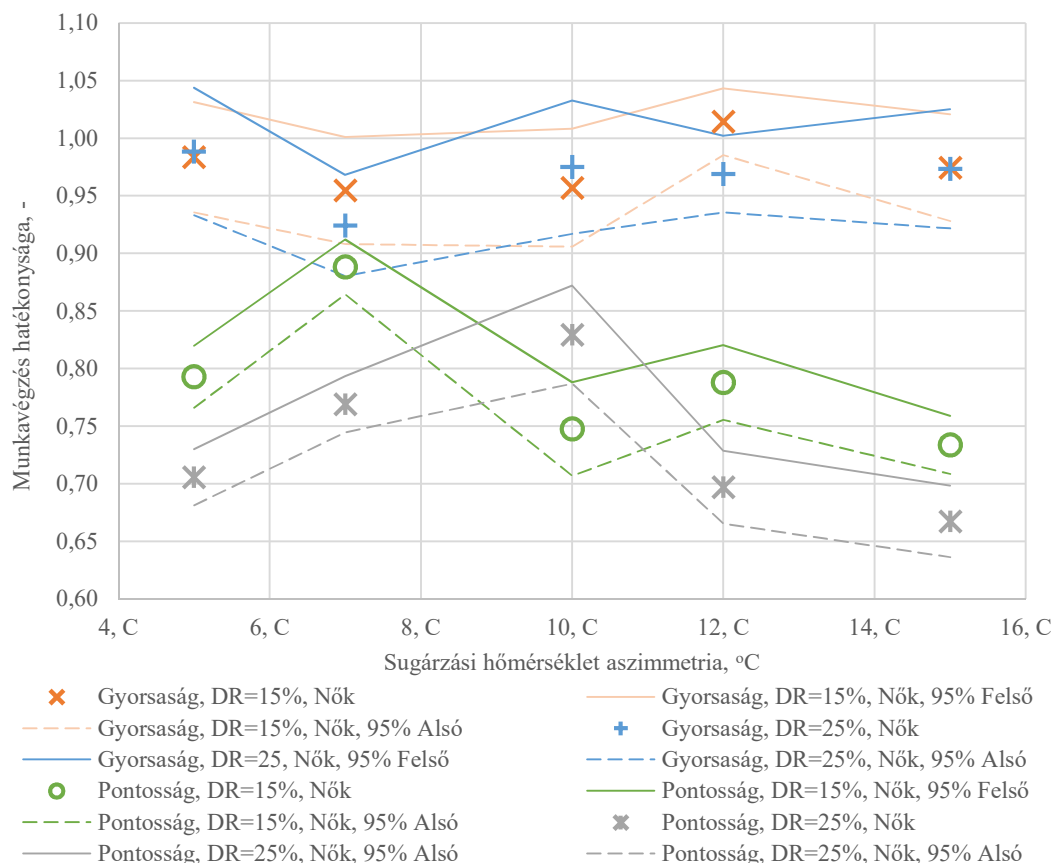
Az 69.-73. diagramok az aszimmetria függvényében, a 74.-78. diagramok pedig az idő függvényében bemutatott eredmények összehasonlítását mutatják.

5.3.1. A munkavégzés hatékonyságának értékelése az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében

5.3.1.1. A huzat hatása a munkavégzés hatékonyságára az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében

Az 5.1.1 és 5.2.1. fejezetekkel ellentétben nem az összes szavazat elemzésével kezdem az értékelést, mert ebben az esetben csak a nemek szerinti eredmények kiértékelése és az ellentétes jelleg megismerése után lehet megfelelő megállapítást tenni az összes szavazat figyelembevétele mellett munkavégzés hatékonyságáról.

A 69., 70. és 71. diagram a munkavégzés hatékonyságát mutatja a sugárzási aszimmetria függvényében, a nők, a férfiak és az összes szavazat figyelembevétele esetén.

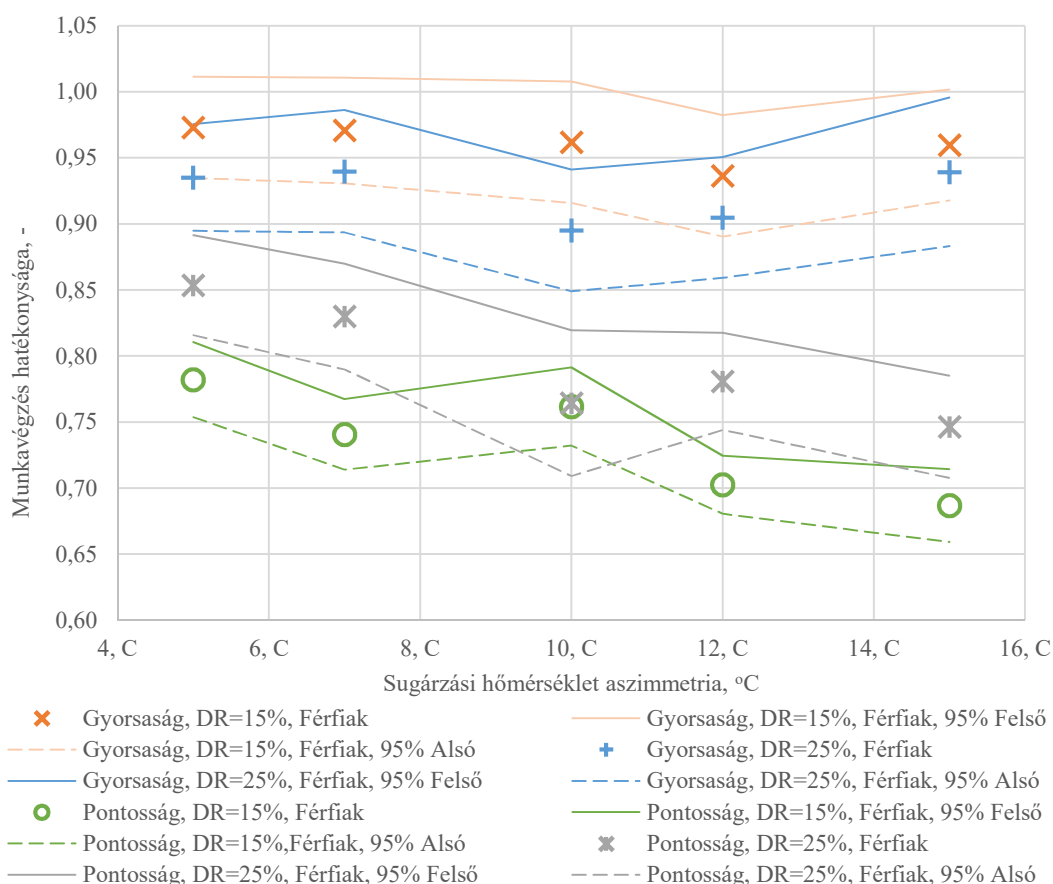


89. ábra: Munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, Nők, DR=15% és DR=25%

A női szavazatok vizsgálata során megállapítottam, hogy a huzathatás 15%-ról 25%-ra változása a munkavégzés gyorsaságát csak a 12 °C hőmérséklet aszimmetria érték esetén érinti szignifikánsan. A Mann-Whitney módszerrel számolt szignifikancia szintek 5 °C aszimmetria esetén 0,616, 7 °C aszimmetria esetén 0,333, 10 °C aszimmetria esetén 0,576, 12 °C aszimmetria esetén 0,041, 15 °C aszimmetria esetén pedig 0,811. Fontos megjegyzés, hogy a 12 °C aszimmetria érték esetén tapasztalt érték is jól közelíti a 0,05 értéket, vagyis jó közelítéssel a gyorsaság nem függ a huzat változásától.

A huzat növelése minden mérési pontban hatással van a munkavégzés hatékonyságára. A Mann-Whitney módszerrel számolt szignifikancia szintek 5 °C aszimmetria esetén $2,1 \cdot 10^{-5}$, 7 °C aszimmetria esetén $3,23 \cdot 10^{-9}$, 10 °C aszimmetria esetén 0,004, 12 °C aszimmetria esetén $2,92 \cdot 10^{-4}$, 15 °C aszimmetria esetén pedig 0,001. A pontosság egy mérési pont kivételével minden esetben csökken a huzat 15%-ról 25%-ra való növekedésével. A részletes számítás kivonatát az 3.1. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy a huzat 15%-ról 25%-ra növelése a nők munkavégzésének gyorsaságára nincs releváns hatással, viszont egy mérési pont kivételével minden pontban szignifikánsan rontotta a munkavégzés hatékonyságát.



90. ábra: Munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, Férfiak, DR=15% és DR=25%

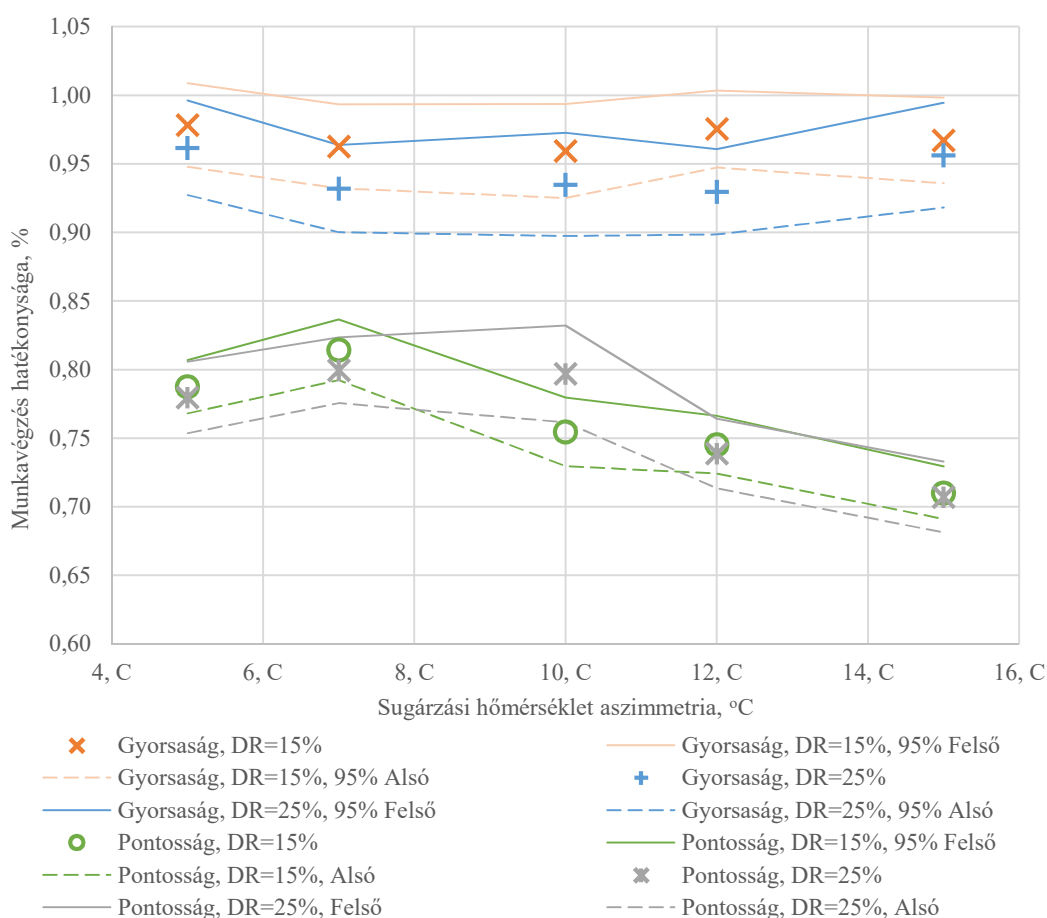
A női szavazatok vizsgálata során tapasztalt jelenség a férfiak munkavégzési gyorsaságának elemzésekor is felismerhető. A huzathatás 15%-ról 25%-ra változása egy mérési pont kivételével nem befolyásolja a férfiak munkavégzésének gyorsaságát. A Mann-Whitney módszerrel számolt

szignifikancia szintek a következők: 5 °C aszimmetria esetén 0,134, 7 °C aszimmetria esetén 0,338, 10 °C aszimmetria esetén 0,026, 12 °C aszimmetria esetén 0,16, 15 °C aszimmetria esetén pedig 0,417.

A huzathatás növelése egy kivételével minden mérési pontban szignifikáns hatással van a munkavégzés pontosságára. A szignifikancia szintek a munkavégzés pontossága esetén a következők szerint alakulnak: 5 °C aszimmetria esetén 0,006, 7 °C aszimmetria esetén 0,001, 10 °C aszimmetria esetén 0,705, 12 °C aszimmetria esetén 0,002, 15 °C aszimmetria esetén 0,046. Azokon a mérési pontokon, ahol ez a szignifikáns különbség kimutatható, a 25% huzathatás esetén volt magasabb a munkavégzés pontossága.

A részletes számítás kivonatát az 3.2. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy egy mérési pont kivételével a huzat 15%-ról 25%-ra növelése nincs releváns hatással a férfiak munkavégzésének gyorsaságára, viszont egy mérési pont kivételével minden pontban szignifikánsan javítja a munkavégzés hatékonyságát.



91. ábra: Munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, nők és férfiak esetén, DR=15% és DR=25%

Az összes alany szavazatának figyelembevétele esetén a nőknél és férfiaknál is tapasztalt jelenséget észleltem. A huzat nem idéz elő jelentős módosulást a munkavégzés gyorsaságában. A Mann-Whitney módszerrel számolt szignifikancia szintek 5 °C aszimmetria esetén 0,341, 7 °C aszimmetria esetén 0,116, 10 °C aszimmetria esetén 0,234, 12 °C aszimmetria esetén 0,055, 15 °C aszimmetria esetén pedig 0,459.

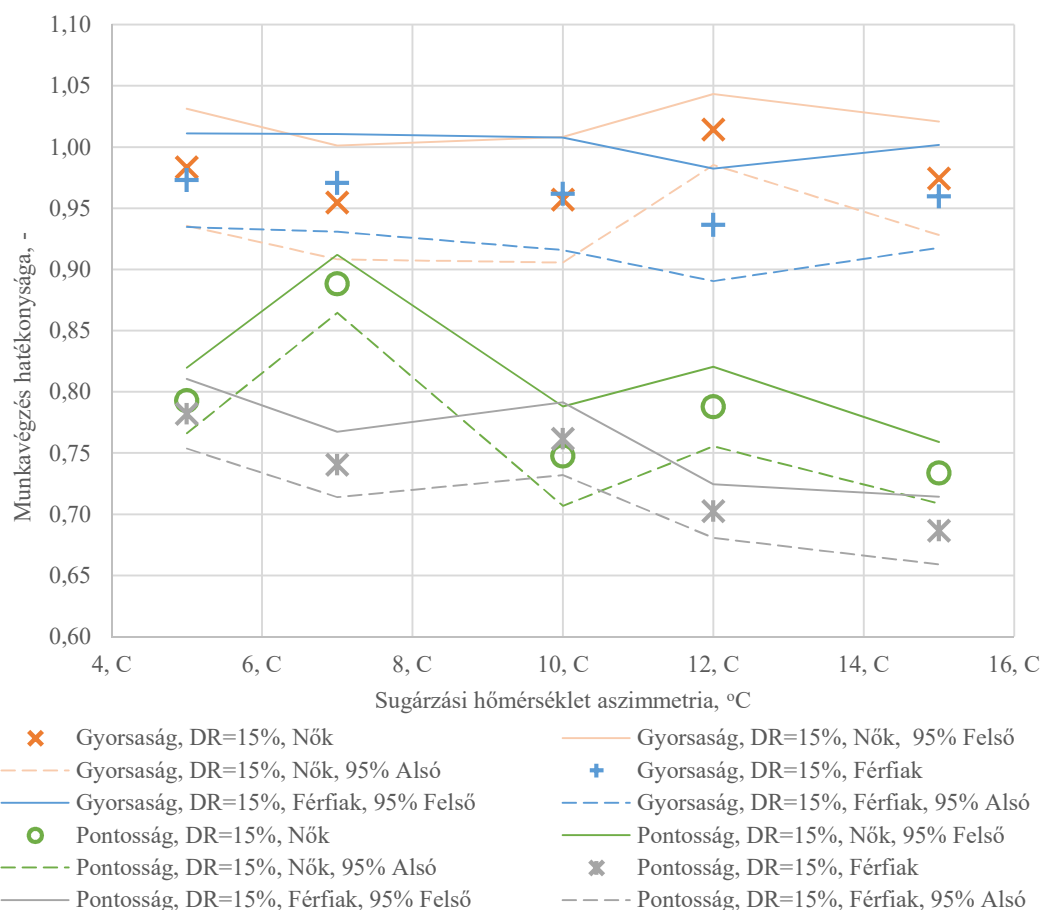
A munkavégzés pontosságának vizsgálata során megállapítottam, hogy az összes szavazat figyelembevétele esetén a huzat 15%-ról 25%-ra való növelése nincs szignifikáns hatással a

munkavégzés pontosságára. A Mann-Whitney módszerrel számolt szignifikancia szintek a következők szerint alakulnak: 5 °C aszimmetria esetén 0,31, 7 °C aszimmetria esetén 0,176, 10 °C aszimmetria esetén 0,104, 12 °C aszimmetria esetén 0,698, 15 °C aszimmetria esetén 0,465. A részletes számítás kivonatát az 3.3. melléklet tartalmazza.

Az összes alany vizsgálata során kijelenthető, hogy a huzat 15%-ról 25%-ra növelése nincs szignifikáns hatással a munkavégzés gyorsaságára és egy mérési pont esetén sincs mindkét matematikai módszerrel kimatatható szignifikáns hatása a munkavégzés pontosságára. A pontosság változatlansága viszont a nők és férfiak esetén tapasztalt ellentétes tendenciák összegzése miatt adódik: a nők pontatlanabban, a férfiak pontosabban dolgoznak amennyiben a huzat 15%-ról 25%-ra nő.

5.3.1.2. A nemek hatása a munkavégzés hatékonyságára az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség függvényében

A 72. és 73. diagram a nemek hatását mutatja a munkavégzés hatékonyságára a sugárzási hőmérséklet aszimmetria függvényében 15% és 25% huzathatás mellett.

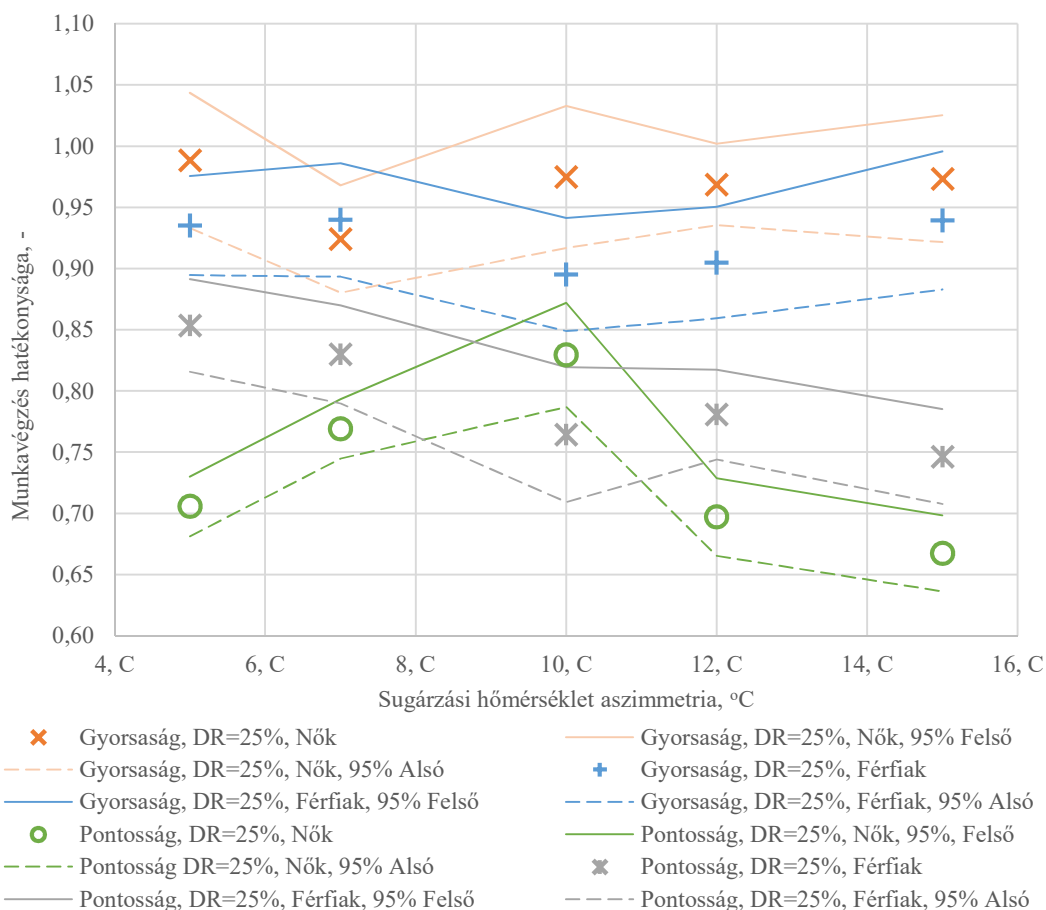


92. ábra: Munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=15%

15 % huzathatás esetén, a huzat és a meleg mennyezet együttes hatása mellett vizsgált munkavégzési hatékonyság elemzése során megállapítottam, hogy a nemek munkavégzési gyorsaságának változásában, egy kivétellel, nincs szignifikáns különbség. A Mann-Whitney módszerrel számolt szignifikancia szintek a következők: 5 °C aszimmetria esetén 0,341, 7 °C aszimmetria esetén 0,671, 10 °C aszimmetria esetén 0,612, 12 °C aszimmetria esetén $1,97 \cdot 10^{-4}$, 15 °C aszimmetria esetén pedig 0,508.

A nemek közti különbség szignifikáns a mérési pontok hatvan százalékában, ezekben a pontokban a nők munkavégzési pontossága magasabb, mint a férfiaké. A szignifikancia szintek a munkavégzés pontosságának vizsgálata során a következők szerint alakulnak: 5 °C aszimmetria esetén 0,12, 7 °C aszimmetria esetén $7,45 \cdot 10^{-12}$, 10 °C aszimmetria esetén 0,518, 12 °C aszimmetria esetén 0,001, 15 °C aszimmetria esetén 0,013. A részletes számítás kivonatát az 3.4. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, 15%-os huzathatás esetén, egy mérési pont kivételével a nemeknek nincs hatása a munkavégzés gyorsaságára, viszont két mérési pont kivételével szignifikáns hatása van a munkavégzés pontosságára, ezekben az esetekben a nők munkavégzése pontosabb.



93. ábra: Munkavégzés gyorsasága és pontossága AS függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=25%

25% huzathatás esetén a 15% huzathatás esetén tapasztalt tendenciák ellentétje megfigyelhető. A nemek egy kivétellel itt sincs szignifikáns hatása a munkavégzési gyorsaságra. A szignifikancia szintek a következők: 5 °C aszimmetria esetén 0,178, 7 °C aszimmetria esetén 0,529, 10 °C aszimmetria esetén 0,034, 12 °C aszimmetria esetén 0,07, 15 °C aszimmetria esetén pedig 0,335.

A pontosság tekintetében viszont a férfiak és nők pontosságának változása 25%-os huzathatás és a meleg mennyezet által okozott sugárzási hőmérséklet aszimmetria esetén minden mérési pontban szignifikánsan eltér. A szignifikancia szintek ebben az esetben a következők: 5 °C aszimmetria esetén $5,41 \cdot 10^{-7}$, 7 °C aszimmetria esetén 0,038, 10 °C aszimmetria esetén 0,008, 12 °C aszimmetria esetén 0,001, 15 °C aszimmetria esetén 0,004. A részletes számítás kivonatát az 3.5. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, 25%-os huzathatás esetén, egy mérési pont kivételével a nemeknek nincs hatása a munkavégzés gyorsaságára, viszont a teljes sugárzási hőmérséklet aszimmetria intervallumon

szignifikáns hatása van a munkavégzés pontosságára, ezekben az esetekben a férfiak munkavégzése pontosabb.

5.3.1.3. Az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség változásának hatása a munkavégzés hatékonyságára

Vizsgáltam, hogy a munkavégzés hatékonysága és az aszimmetrikus sugárzás növekedése közt létezik-e szignifikáns kapcsolat?

Az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség változásának hatása a munkavégzés hatékonyságára 15% huzathatás esetén

Az eddigiekben ismertetett módszereknek megfelelően itt is három esetet vizsgáltam a 15% huzathatás és a meleg mennyezet miatti sugárzási hőmérséklet aszimmetria együttes hatása mellett: a nők, férfiak és az összes élőalany munkavégzésének változását.

A nők munkavégzési gyorsaságának elemzése során megállapítottam, hogy minden mérési pont esetén szignifikáns egyezés van a mikrokörnyezet által okozott munkavégzési gyorsaság változása között. Ez az egyezés 7-12 °C és 10-12 °C mérési pontok esetén Welch teszt segítségével egyértelműen nem bizonyítható.

A nők munkavégzési pontosságának maximuma 7 °C esetén tapasztalható, után csökken a meleg mennyezet hőmérsékletének csökkenésével úgy, hogy 10-12 °C értékpárok között a pontosság állandó. Utóbbi esetben a Mann-Whitney módszerrel mért szignifikancia szint értéke 0,222. A részletes számítás kivonatát az 3.6. melléklet tartalmazza

Kijelenthető, hogy 15%-os huzathatás esetén, a sugárzási hőmérséklet aszimmetria növekedésével a nők munkavégzési gyorsasága állandó, a pontosság 7 °C aszimmetria érték fölött csökken.

A férfiak munkavégzése 15%-os huzathatás során nem változik az aszimmetrikus sugárzás növelésével, minden mérési pontban mért adatok szignifikáns egyezést mutatnak.

A munkavégzés pontosságának módosulása 5-7-10 °C intervallumban szignifikánsan megegyezik, vagyis ebben az intervallumban a munkavégzés pontossága a közepes sugárzási hőmérséklet növekedése mellett állandó. A szignifikancia szintek ezekben az esetekben a következők: 5-7 °C esetben 0,178, 5-10 °C esetben 0,109, 7-10 °C esetben 0,971. A sugárzási hőmérséklet aszimmetria további növelésével a pontosság csökken, majd 12 és 15 °C között állandó. A részletes számítás kivonatát az 3.7. melléklet tartalmazza

Kijelenthető, hogy 15%-os huzathatás esetén a férfiak munkavégzésnek gyorsasága nem változik számottevően a meleg mennyezet által okozott sugárzási hőmérséklet aszimmetria növekedésével, a pontossága viszont 10 °C fölött csökken.

Az összes szavazat figyelembevételénél megállapítottam, hogy a munkavégzés gyorsasága állandó a teljes sugárzási hőmérséklet intervallumon. A munkavégzés pontosságának vizsgálata során megállapítottam, hogy 7 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria mellett maximális, utána csökken. A 10-12 °C aszimmetria értékek esetén mért pontossági adatok szignifikánsan megegyeznek, a Mann-Whitney módszerrel mért szignifikancia szint 0,982.

Kijelenthető, hogy 15%-os huzathatás esetén a munkavégzés gyorsasága nem változik a sugárzási hőmérséklet aszimmetria növekedésével, a pontossága pedig 7 °C hőmérsékleti aszimmetria fölött csökken.

Az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség változásának hatása a munkavégzés hatékonyságára 25% huzathatás esetén

25% huzathatás mellett és a meleg mennyezet által előidézett sugárzási hőmérséklet aszimmetria együttes előfordulása esetén is vizsgáltam a nők, a férfiak és az összes élőalany munkavégzési hatékonyságának változását a sugárzási hőmérséklet aszimmetria növekedésével.

A nők munkavégzési gyorsaságának elemzése során megállapítottam, hogy a gyorsaság állandó a teljes sugárzási hőmérséklet aszimmetria intervallumon. A Mann-Whitney módszerrel számolt legkisebb szignifikancia szint 0,057. Az 5-7 °C pontban mért adatok közötti szignifikáns egyezés a Welch teszt segítségével nem bizonyítható.

Nők esetén a munkavégzés hatékonysága 10 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria esetén maximális, eddig a pontig növekszik, utána csökken. A pontosság 12-15 °C között szignifikánsan megegyezik, a szignifikancia szint 0,131. A részletes számítás kivonatát az 3.9. melléklet tartalmazza

Kijelenthető, hogy 25%-os huzathatás esetén, a sugárzási hőmérséklet aszimmetria növekedése mellett a munkavégzés hatékonysága állandó, a pontossága 10 °C-os aszimmetria értékig növekszik, utána csökken.

25%-os huzathatás esetén a férfiak munkavégzésének gyorsasága nem változik a sugárzási hőmérséklet aszimmetria növekedésével. A Mann-Whitney módszerrel számolt legkisebb szignifikancia szint 0,053.

A munkavégzés pontosságára a meleg mennyezet által előidézett aszimmetrikus sugárzás 5 és 7 °C aszimmetria esetén nincs hatással, ebben az esetben a szignifikancia szint 0,534. Ezen aszimmetria érték fölött viszont a férfiak munkavégzésének pontossága szignifikánsan csökken. A 10-12-15 °C értékpárok esetén mért pontosságbeli eltérések nem szignifikánsak, ezekben az esetekben a szignifikancia szintek a következők: 10-12 °C esetén 0,09, 10-15 °C esetén 0,765, 12-15 °C esetén 0,072. A részletes számítás kivonatát az 3.10. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy 25% huzathatás mellett a sugárzási hőmérséklet aszimmetria nincs hatással a munkavégzés gyorsaságára, a munkavégzés hatékonyságát 7 °C fölötti aszimmetria érték esetén csökkenti, 10-15 °C intervallumban pedig nincs rá szignifikáns hatással.

Az összes alany munkavégzési hatékonyságának figyelembevétele esetén megállapítottam, hogy a munkavégzés gyorsasága állandó a teljes sugárzási hőmérséklet aszimmetria intervallumon, az aszimmetria növelése nincs szignifikáns hatással a munkavégzés gyorsaságának változására. A legkisebb szignifikancia szint 5-7 °C értékpárok között adódik, ez 0,276.

A sugárzási hőmérséklet aszimmetria növekedése 10 °C-os aszimmetria értékig nincs hatással a munkavégzés pontosságára. Az érintett mérési pontok esetén szignifikáns kapcsolat van a két halmaz között, a szignifikancia szintek a következők: 5-7 °C esetén 0,093, 5-10 °C esetén 0,597, 7-10 °C esetén pedig 0,144. 10 °C aszimmetrikus sugárzás fölött a munkavégzés pontossága csökken. A részletes számítás kivonatát az 3.11. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy 25%-os huzathatás esetén a munkavégzés gyorsasága nem változik a sugárzási hőmérséklet aszimmetria növekedésével, a pontossága 10 °C hőmérsékleti aszimmetria fölött csökken.

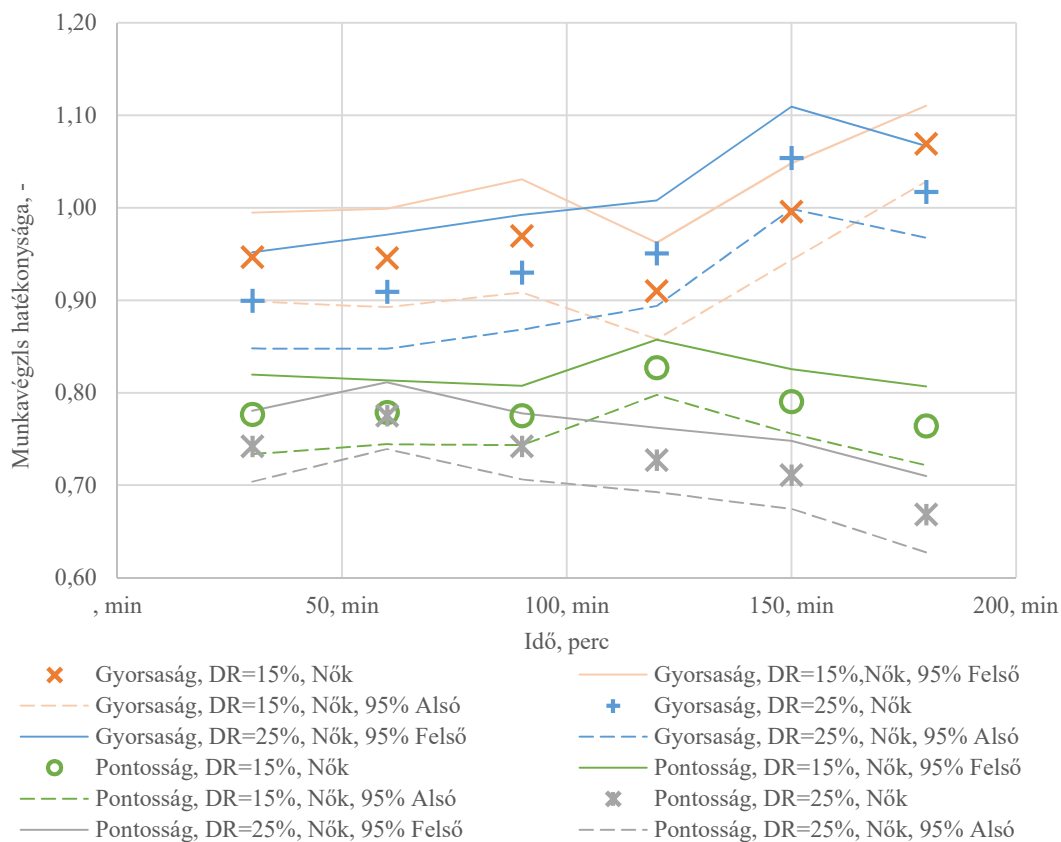
5.3.2. A munkavégzés hatékonyságának értékelése idő függvényében

A munkavégzés hatékonyságának elemzése során az alanyok 30 percenként végeztek tesztet, ezért a 180 perces mérések során hat mintavételezés született. Ebben a fejezetben a huzathatás 15%-ról 25%-ra való növelésének, a nemek, illetve az idő múlásának, a munkavégzés hatékonyságára gyakorolt hatását vizsgáltam.

Az eredmények értékelése során figyelni kell a gyorsaság és pontosság közötti viszonyra is, hiszen egyik vagy másik tényező javulása a másik romlása árán egy szakirodalomban is rögzített tényező, úgy nevezett speed-accuracy trade-off.

5.3.2.1. A huzat hatása a munkavégzés hatékonyságára idő függvényében

A 74., 75. és 76. diagram a kísérletben résztvevő nők, férfiak, illetve az összes élőalany esetén mutatja a munkavégzés hatékonyságának alakulását az idő függvényében. Ebben az esetben is utoljára ismertetem az összes alany esetén vizsgált hatékonyság idő szerinti módosulását, mert a következtetés levonása érdekében ismerni kell külön a nők és férfiak munkavégzési hatékonyságának elemzését.

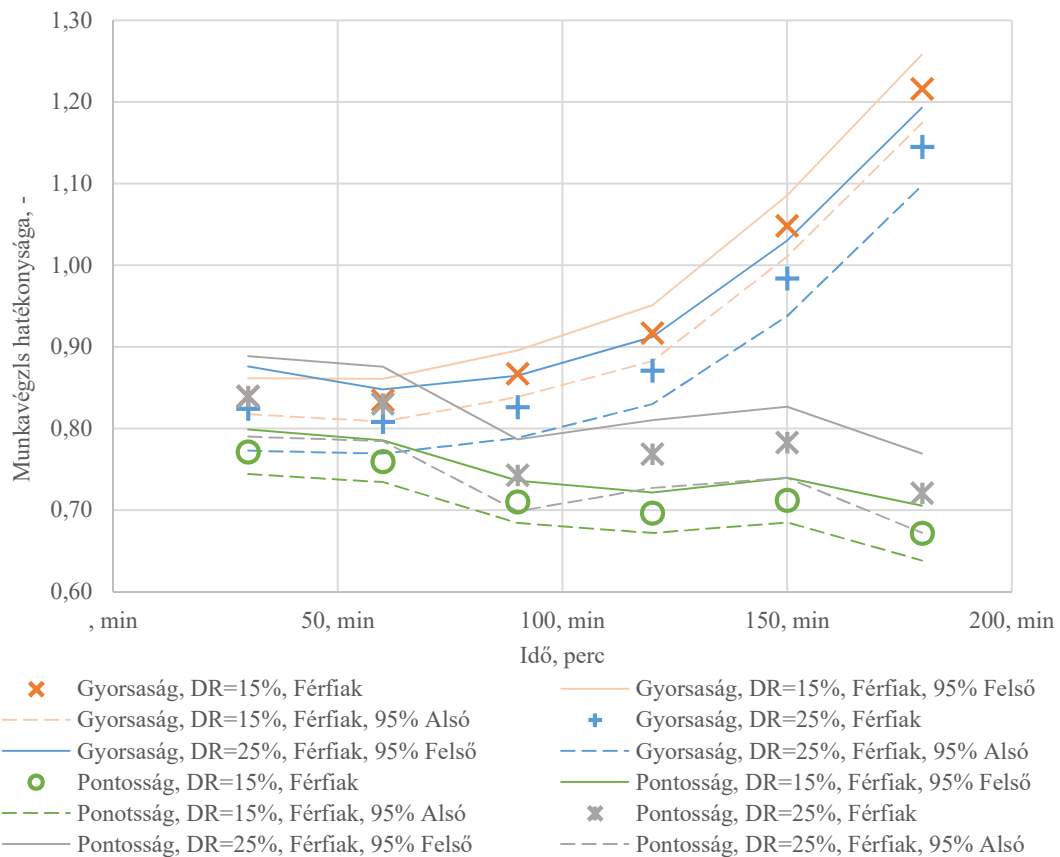


94. ábra: Munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Nők, DR=15% és DR=25%

A női szavazatok vizsgálata során megállapítottam, hogy a huzat 15%-ról 25%-ra való növekedése egyik mérési pontban sem volt szignifikáns hatással a nők munkavégzési gyorsaságának időbeli változására. A Mann-Whitney módszerrel számolt szignifikancia szintek 30 perc esetén 0,135, 60 perc esetén 0,352, 90 perc esetén 0,44, 120 perc esetén 0,331, 150 perc esetén 0,276, 180 perc esetén pedig 0,118.

A huzat növelése nincs hatással a munkavégzés pontosságának időbeli változására a kísérlet első 90 percében. Szignifikáns eltérés a 120-180 időintervallumban tapasztalható, amikor a Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szint maximuma 0,003.

Kijelenthető, hogy a huzat 15%-ról 25%-ra növelése a nők munkavégzési gyorsaságának időbeli változására nincs szignifikáns hatással, viszont a munkavégzés pontosságát szignifikánsan rontja 120 perc után.



95. ábra: Munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Férfiak, DR=15% és DR=25%

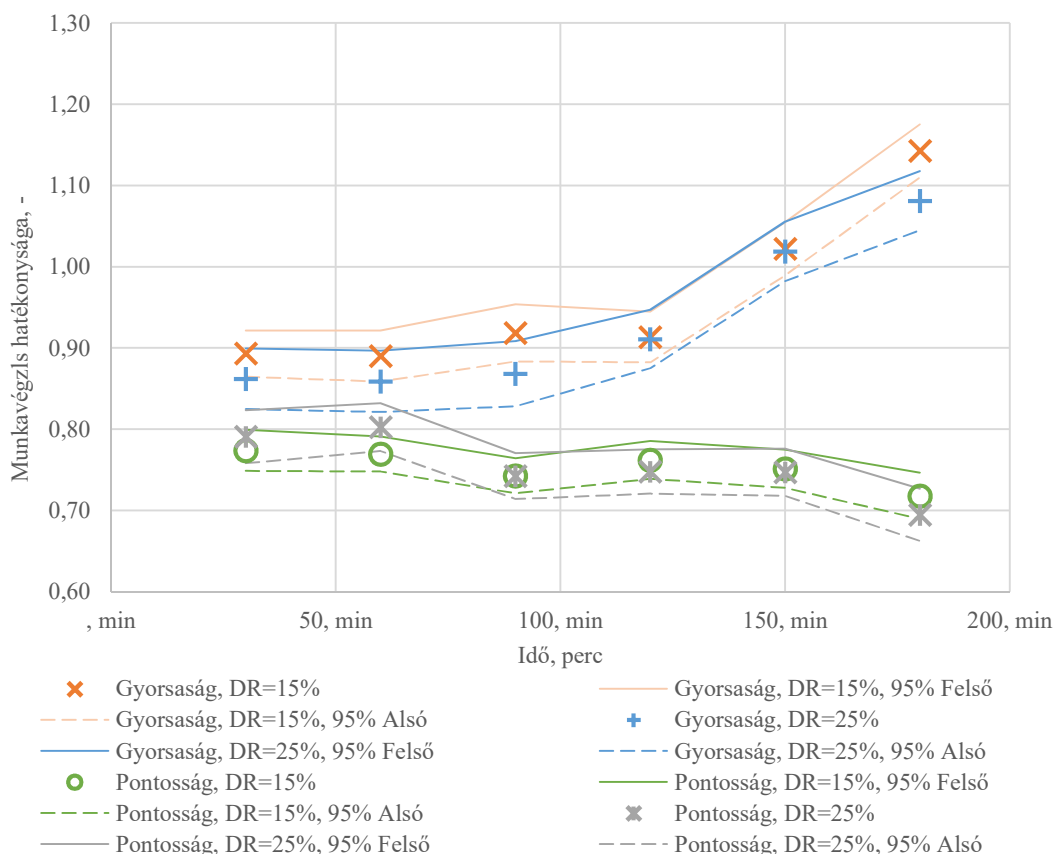
A huzathatás 15%-ról 25%-ra emelése a férfiak munkavégzési pontosságát és gyorsaságát nem módosította számottevően a kísértek első 90 percében, viszont szignifikáns hatással volt rá 120 perc után. A férfiak munkavégzésének gyorsasága a huzat növelésével romlott.

A Mann-Whitney módszerrel kiszámolt szignifikancia szintek a következők: 30 perc esetén 0,119, 60 perc esetén 0,260, 90 perc esetén 0,069, 120 perc esetén 0,041, 150 perc esetén 0,02, 180 perc esetén pedig 0,008, vagyis a 120 perc utáni eltérések bár szignifikánsak, de nem számottevő mértékűek.

A huzathatás 15%-ról 25%-ra való növelése a férfiak munkavégzésének pontosságára két mérési pont kivételével szignifikánsan hatással van.

A 90. és a 180. percen mért adatok kivételével a huzat növelése a férfiak munkavégzési pontosságának növekedését eredményezte. A szignifikancia szintek minden esetben 0,01 alatti értékek, kivéve 90 percnél, ahol ez az érték 0,134, illetve 180 percnél, ahol ez az érték 0,148. A részletes számítás kivonatát az 3.II. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy a huzat 15%-ról 25%-ra növelése a férfiak munkavégzési gyorsaságát 120 perc után rontja, viszont két mérési pont kivételével a teljes mérési tartományon javítja a munkavégzés pontosságát.



96. ábra: Munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Nők és Férfiak, DR=15% és DR=25%

Az összes alany szavazatának vizsgálata során megállapítható, hogy a huzat 15%-ról 25%-ra való növelése nincs szignifikáns hatással a munkavégzés gyorsaságára. A Mann-Whitney módszerrel számított szignifikancia szintek a következők: 30 perc esetén 0,059, 60 perc esetén 0,126, 90 perc esetén 0,068, 120 perc esetén 0,54, 150 perc esetén 0,484, 180 perc esetén pedig 0,07.

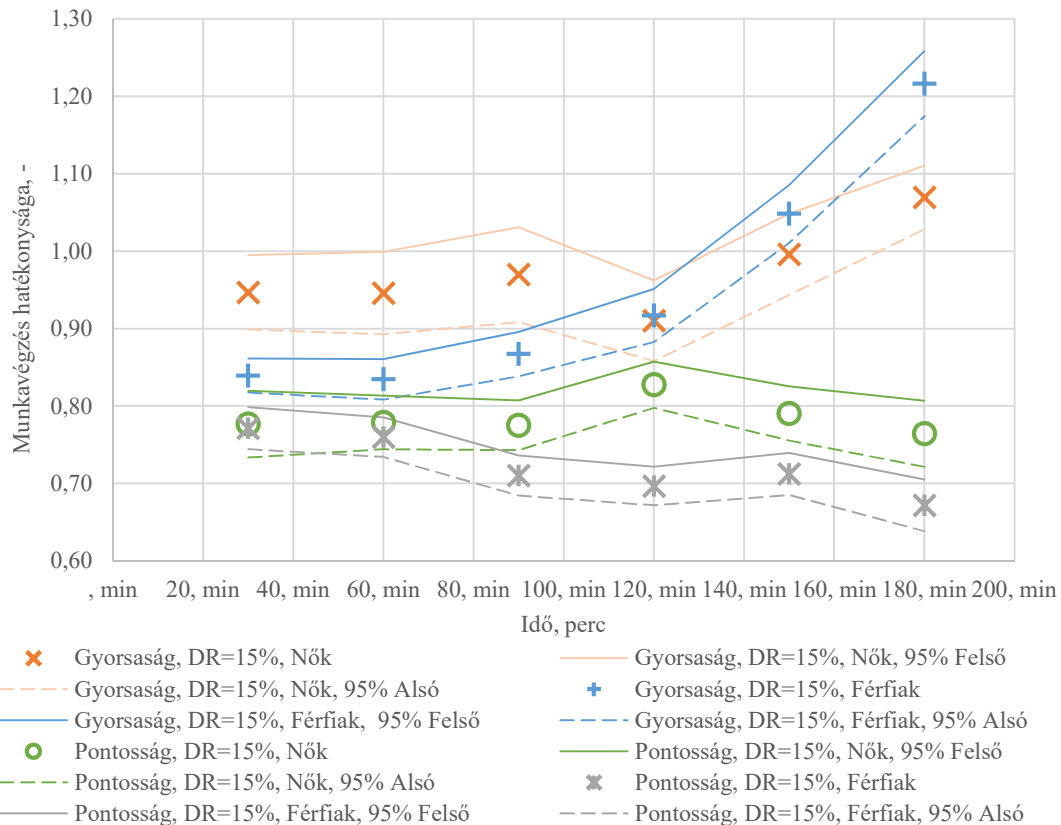
Az összes szavazat elemzése esetén a huzathatás 15%-ról 25%-ra való emelése egy mérési pontban sem hatott szignifikánsan a munkavégzés pontosságára. A szignifikancia szintek minden esetben 0,156 fölött adódtak. A részletes számítás kivonatát az 3.III. melléklet tartalmazza.

Fontos megjegyezni azonban, hogy a magas egyezés a nők és férfiak esetén kimutatott ellentétes tendenciák összegzéséből fakad. A nők esetén a huzat növelése szignifikánsan rontja a munkavégzés pontosságát, a férfiak estén ugyanez a munkavégzési hatékonyság javulását eredményezi, az eredmények összevont elemzése során viszont a 15%-os és 25%-os huzathatás mellett mért munkavégzési pontossági adatok szignifikánsan egyeznek.

Kijelenthető, hogy az összes alany munkavégzési hatékonyságának vizsgálata során a huzat 15%-ról 25%-ra való növelése nem befolyásolja a gyorsaságot és nincs hatással a munkavégzés pontosságára. Másrészt fontos, hogy ezek a magas szintű egyezések a nők és férfiak estén tapasztalt ellentétes jellegű hatások miatt adódnak.

5.3.2.2. A nemek hatása a munkavégzés hatékonyságára idő függvényében

A 77. és 78. diagram a nemek hatását mutatja a munkavégzés hatékonyságának időbeli változására.



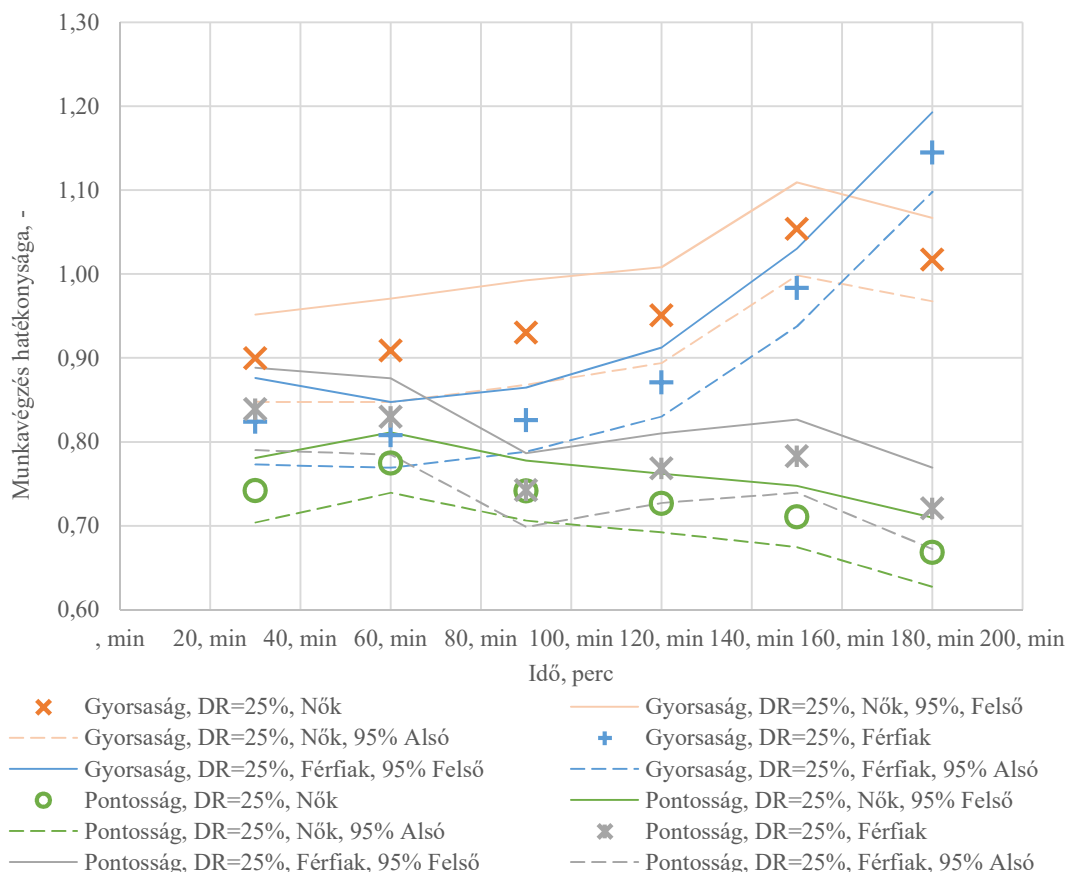
97. ábra: Munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=15%

15% huzathatás mellett vizsgáltam a férfiak és nők munkavégzési gyorsaságának változását idő függvényében. Megállapítottam, hogy a nők és férfiak munkavégzési gyorsasága 120 és 150 perc kivételével minden mérési pont esetén szignifikánsan eltér. Ezekben a pontokban pedig az egyezést az okozza, hogy a férfiak munkavégzési gyorsaságának növekedése intenzívebb a nőkéénél.

A Mann-Whitney módszerrel számolt szignifikancia szintek a következők: 30 perc esetén $3,83 \cdot 10^{-4}$, 60 perc esetén 0,001, 90 perc esetén 0,001, 120 perc esetén 0,815, 150 perc esetén 0,29, 180 perc esetén pedig $3 \cdot 10^{-4}$.

A munkavégzési pontosság vizsgálata során 90 perc után szignifikáns különbség van a nők és férfiak munkavégzési pontosságának változásában. A szignifikáns különbséget mutató mérési pontokban a nők munkavégzési pontossága magasabb. A Mann-Whitney módszerrel számolt szignifikancia szintek a következők: 30 perc esetén 0,359, 60 perc esetén 0,285, 90 perc esetén 0,004, 120 perc esetén $3,96 \cdot 10^{-4}$, 150 perc esetén 0,001, 180 perc esetén 0,003. A részletes számítás kivonatát az 3.IV. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy 15%-os huzathatás esetén, a gyorsaság változása nők és férfiak esetén két mérési pont kivételével szignifikánsan eltér, a pontosság változása pedig 90 perc után szignifikánsan eltér, a férfiak munkavégzésnek pontossága esik jelentősebben.



98. ábra: Munkavégzés gyorsasága és pontossága idő függvényében, Nők vs. Férfiak, DR=25%

25% huzathatás mellett a meleg mennyezet és huzat együttes hatása esetén a nők munkavégzési gyorsaságának változása egy mérési pont kivételével szignifikánsan magasabb, mint a férfiaké. Két mérési pontban ez a szignifikáns különbség csak a Welch teszt segítségével kimutatható. A Mann-Whitney módszerrel számolt szignifikancia szintek a következők: 30 perc esetén 0,03, 60 perc esetén 0,043, 90 perc esetén 0,035, 120 perc esetén 0,116, 150 perc esetén 0,055, 180 perc esetén $4,21 \cdot 10^{-4}$.

A részletes számítás kivonatát az 3.V. melléklet tartalmazza.

A pontosság vizsgálata során megállapítottam, hogy 30 és 150 perces mérési pontban a férfiak munkavégzési pontossága szignifikánsan jobb, mint a nőké, a többi esetben a pontosság változásának mértéke szignifikánsan megegyezik.

Megállapítható, hogy 25% huzathatás mellett a nők munkavégzési gyorsasága egy mérési pont kivételével magasabb, a férfiak munkavégzési pontossága két mérési pontban jobb, mint a nőké, a többi mérési pontban a nemeknek nincs szignifikáns hatása a munkavégzés pontosságára.

5.3.2.3 Az idő múlásának hatása a munkavégzés hatékonyságára

Az idő múlásának hatása a munkavégzés hatékonyságára 15% huzathatás esetén

15%-os huzathatás mellett három esetet vizsgáltam: a nők, férfiak és az összes élőalany munkavégzési gyorsaságának és hatékonyságának változását.

Az idő előrehaladása nincs hatással a nők munkavégzésének gyorsaságára a kísérletek első 120 percében, utána növekvő tendenciát mutat. A nők munkavégzési pontossága 15%-os huzathatás mellett, a 120 percnél mért adatok kivételével állandó. Ebben a pontban található a mérés során kialakult maximális munkavégzési pontosság érték. A részletes számítás kivonatát az 3.VI. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy 15%-os huzathatás esetén a nők munkavégzési hatékonysága 120 percig állandó, majd növekszik, ami a pontossági átlagértékek csökkenését eredményezi, azonban a csökkenés egyértelműen nem kimutatható.

A férfiak esetén a munkavégzés gyorsasága a kísérlet első 90 percében nem változik, másfél óra után pedig szignifikánsan növekszik. A férfiak munkavégzésének változására az idő múlásának 60 percig nincs hatása, utána a munkavégzés pontosságának csökkenését eredményezi. A 90-150 perc intervallumban a munkavégzés hatékonysága nem változik számottevően, viszont 150 perc után a pontosság ismét csökken. A 60 és 90 percnél, valamint a 150 és 180 percnél mért pontossági értékek összehasonlítása során a következő szignifikancia szintek adódnak: 0,005, illetve 0,018. A részletes számítás kivonatát az 3.VII. melléklet tartalmazza

Kijelenthető, hogy a férfiak esetén 15%-os huzathatás mellett az idő múlása 90 perc után a munkavégzés gyorsaságának növekedését, 30 és 60 perc, valamint 150 és 180 perc között a munkavégzés pontosságának csökkenését eredményezi. Felismerhető az úgynevezett speed-accuracy tradeoff jelenség, mely a munkavégzés gyorsaságának növelését jelenti a pontosság csökkenése árán.

Az összes szavazat figyelembevételére esetén kijelenthető, hogy a munkavégzés gyorsasága 90 perc után az idő múlásával növekszik, a munkavégzés pontossága pedig 60 és 90 perc, valamint 150 és 180 percek között szignifikánsan csökken. A munkavégzés gyorsaságának növelése a pontosság csökkenése árán az összes alany elemzése során is felismerhető. A részletes számítás kivonatát az 3.VIII. melléklet tartalmazza.

Az idő múlásának hatása a munkavégzés hatékonyságára 25% huzathatás esetén

25% huzathatás esetén az idő előrehaladása nincs szignifikáns hatással a nők munkavégzési gyorsaságára a kísérlet első 120 percében. 2 óra után szignifikáns növekedés észlelhető, ez viszont a pontosság csökkenését eredményezi. A részletes számítás kivonatát az 3.IX. melléklet tartalmazza.

Kijelenthető, hogy 25% huzathatás esetén az idő múlása nincs szignifikáns hatással sem a munkavégzés gyorsaságára, sem a munkavégzés pontosságára. 120 perc után a gyorsaság növekedése és a pontosság csökkenése megfigyelhető.

A férfiak munkavégzési gyorsasága az idő múlásával 60 percig nem változik, ezután csökken. 90-150 perc mérési pontok között szignifikáns egyezés van, majd 150 perc után ismét csökken a munkavégzés hatékonysága.

Kijelenthető, hogy az idő múlása nincs szignifikáns hatással a munkavégzés gyorsaságára az első 90 percben, majd a gyorsaság növekszik a munkavégzés pontosságának csökkenése árán, mely 60 perc után észlelhető.

A 15% huzathatás esetén az összes szavazat figyelembevételére során leírtak 25% esetén is érvényesek, ezért kijelenthető, hogy 25% huzathatás esetén a munkavégzés gyorsasága 90 perc után az idő múlásával növekszik, a munkavégzés pontossága pedig 60 és 90 perc, valamint 150 és 180 percek között szignifikánsan csökken. A munkavégzés gyorsaságának növelése a pontosság csökkenése árán az összes alany elemzése során is felismerhető. A részletes számítás kivonatát az 3.XI. melléklet tartalmazza.

6. A kutatás összefoglalása

6.1. Összefoglaló értékelés

A kutatásom során a huzat és a meleg mennyezet által okozott sugárzási hőmérséklet aszimmetria együttes hatását vizsgáltam. Műszeres és élőalanyos méréseket végeztem, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Macskásy komfort és klimatechnikai laboratóriumában. Öt sugárzási hőmérséklet aszimmetria (5, 7, 10, 12 és 15 °C) és két huzatérzeti érték által meghatározott, 10 komfortkörnyezetet elemeztem. A mérések során figyeltem arra, hogy a kívánt sugárzási hőmérséklet aszimmetria és huzatérzet úgy álljon elő, hogy közben a tér középpontjában, 1,1 méter magasan a PPD érték ne haladja meg a 6%-ot.

A két lokális diszkomfort tényező együttes hatását három szempont szerint vizsgáltam. Elemeztem a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség százalékos arányát (PD), az általános hőérzetet (AMV) és a munkavégzés hatékonyságának alakulását a két lokális diszkomfort tényező együttes előfordulása esetén.

Mindhárom szempont vizsgálata során az eredményeket az aszimmetrikus sugárzási hőmérsékletkülönbség vagy az idő függvényében elemeztem, különös figyelmet fordítva a huzat, a nemek és az imént említett két paraméter változásának hatására.

PD – Meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség

A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség sugárzási hőmérséklet aszimmetria szerinti vizsgálata során megállapítottam, hogy a huzathatás 15%-ról 25%-ra emelése a nők és az összes alany szavazatának figyelembevétele mellett szignifikáns hatással van a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségre, férfiak esetén ez csak az aszimmetrikus sugárzási intervallum adott szakaszán igaz. Emellett megállapítottam, hogy 15% és 25% huzathatás mellett is szignifikáns különbség van a nők és férfiak meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségében.

A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség időbeli lefutása esetén is bizonyítottam a huzat növelésének szignifikáns hatását a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségre. Az összes szavazat figyelembevétele esetén ez a kísérlet első órájában kimutatható, míg férfiak esetén a teljes intervallumon, nők esetén a mérési pontok felében.

AMV – AMV szavazatok

Az AMV különböző sugárzási hőmérsékleti aszimmetria értékek melletti vizsgálata során megállapítottam, hogy a huzat 15%-ról 25%-ra való emelésének szignifikáns hatása van az 5-12 °C aszimmetria intervallumon az AMV várható értékére. Ez a szignifikáns hatás a nők esetén alacsonyabb aszimmetrikus sugárzási hőmérséklet aszimmetria mellett, pontosabban 5-10 °C esetén, míg a férfiak esetén a magas hőmérsékleti aszimmetria értékek mellett, pontosabban 10-15 °C esetén bizonyítható. Emellett bizonyítottam, hogy 15% és 25% huzathatás mellett is szignifikánsan eltér a nők és férfiak AMV szavazata az 5-15 °C sugárzási hőmérséklet aszimmetria intervallumon.

Az AMV szavazatok időbeli vizsgálata során megállapítottam, hogy a huzathatás 15%-ról 25%-ra emelése a mérési pontok felénél szignifikáns hatással van az AMV értékre és minden esetben az AMV érték csökkenését eredményezi az összes szavazatok, illetve a csak férfi szavazatok figyelembevétele esetén. A szignifikáns hatás nők esetén csak két mérési pontban kimutatható. Az AMV idő szerinti vizsgálata során is bizonyítottam, hogy a 15% és 25% huzathatás mellett is szignifikánsan eltért a nők és férfiak AMV szavazata a kutatás minden időpillanatában, minden esetben a nők szavazata volt alacsonyabb.

A munkavégzés hatékonyságát a gyorsaság és pontosság elemzésével végeztem. Az eredmények vizsgálata során bizonyítottam, hogy a nők és a férfiak esetén ellentétes hatások megfigyelhetők. Nők esetén a huzat 15%-ról 25%-ra növelése a munkavégzés gyorsaságára nincs releváns hatással, viszont szignifikánsan rontja a munkavégzés hatékonyságát. Férfiak esetén ez viszont pont ellentétes, hiszen a huzathatás növelése minden pontban szignifikánsan javítja a munkavégzés hatékonyságát. Az összesített eredmények ugyan azt mutatják, hogy a huzat növekedésének sem a munkavégzés gyorsaságára sem a pontosságára nincs hatással, de ez a nők és a férfiak esetén bizonyított hatások összeadódásának eredménye.

Másrészt 15% és 25% huzathatás esetén is bizonyítottam, hogy a nők és a férfiak között szignifikáns különbség van a munkavégzés pontosságának változásában a különböző aszimmetrikus sugárzás értékek mellett. Ez a szignifikáns különbség a munkavégzés gyorsasága esetén nem jelentkezik.

Az időbeli vizsgálat során bebizonyítottam, hogy a nők esetében a huzat növelése 90 perc után szignifikánsan rontja, férfiak esetén néhány kivételen kívül a teljes intervallumon javítja a munkavégzés pontosságát. A jelenségek itt is összeadódnak, ezért az összes élőalany eredményeinek vizsgálata során megállapítottam, hogy huzat növelése nincs szignifikáns hatással sem a munkavégzés pontosságára sem a munkavégzés gyorsaságára. Ebben az esetben is a nemek közti ellentétes hatások összeadódásának az eredménye, hogy nincs szignifikáns hatás.

6.2. További kutatási lehetőségek

A huzat és meleg mennyezet együttes hatásának vizsgálata nem tekinthető lezárt és teljes mértékben ismert kutatási témakörnek. Számos további kutatási lehetőség rejlik még ezen két lokális diszkomfort tényező együttes hatásának megismerésében. Ilyen kutatási területek például az együttes hatás fiziológiai következményeinek mérése és leírása. Ennek egyik kiemelkedően jól használható módszere a szívritmus variancia mérés.

7. Összefoglalás

A kutatás bemutatja a huzat és a meleg mennyezet okozta sugárzási hőmérsékleti aszimmetria hatását a hőkomfortra és a munkavégzés hatékonyságára.

A kutatást az az igény szülte, hogy bár a PMV modell kiegészítését jelentő lokális diszkomfort tényezők hatása külön-külön ismert, valóságos helyzetben a lokális diszkomfort tényezők együttesen jelentkeznek. Bár egyes lokális diszkomfort tényezők együttes vizsgálatával már foglalkoztak, és a huzat különböző hőmérsékleti paraméterek melletti hatását is vizsgálták, a meleg mennyezet és huzat együttes hatására vonatkozó irodalmi források kiegészítendőek.

A meleg mennyezet és huzat együttes hatásával kapcsolatos szakirodalmi hiányosságok kiküszöbölése érdekében műszeres és élőalanyos méréseket végeztem. A célkitűzéseket négy fő szempont szerint határoztam meg, ezek a következők:

- A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség arányának megismerése a huzat és a meleg mennyezet által okozott aszimmetrikus sugárzás egyidejű előfordulása esetén;
- Az általános hőérzet alakulásának leírása a huzat és a meleg mennyezet által okozott aszimmetrikus sugárzás egyidejű előfordulása esetén;
- Az emberi munkavégzés hatékonyságának leírása a két lokális diszkomfort tényező együttes hatása esetén;
- A nemek hatása a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségre, az általános hőérzetre és a munkavégzés hatékonyságára, a meleg mennyezet által előidézett sugárzási aszimmetria és a huzat együttes előfordulása esetén.

A célkitűzésekben megfogalmazott kérdések megválaszolása érdekében a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen Macskásy komfort és hőérzeti mérőkamrájában műszeres és élőalanyos méréseket végeztem. Öt meleg mennyezet által előidézett sugárzási hőmérséklet szimmetria érték (5,7,10,12 és 15 °C) és két huzathatás (15% és 25%) által meghatározott 10 mikrokörnyezetben mértem 20 élőalany bevonásával.

A kutatás legfontosabb eredményei a következők szerint összefoglalhatóak:

- A huzat növekedése szignifikánsan csökkenti a meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség arányát.
- A meleg mennyezettel szembeni elégedetlenség idő függvényében szigorúan növekszik, majd eléri maximumát és állandósul.
- A sugárzási aszimmetria növekedésével az AMV szignifikánsan növekszik.
- A huzathatás DR 15%-ról 25%-ra való emelése 5-10 °C sugárzási aszimmetria intervallumon szignifikánsan csökkenti az AMV értékét.
- A DR=15% és DR=25% huzathatás esetén 120 perc után szignifikánsan csökken az AMV értéke.
- A huzat növelése nincs szignifikáns hatással sem a munkavégzés gyorsaságára, sem a pontosságára, ez azonban a nemek közti ellentétes hatás eredménye.
- A huzathatás emelése nincs szignifikáns hatással sem a munkavégzés gyorsaságának, sem a munkavégzés pontosságának időbeli változására. Ez a hatás is a nemek közti ellentétes hatás eredménye.
- A nők és férfiak meleg mennyezettel szembeni elégedetlenségi szavazata, AMV szavazata és a munkavégzés hatékonyságának változása is sok esetben szignifikánsan eltér.

A kutatás nem tekinthető lezártnak, teljes mértékben ismert kutatási témakörnek. Az egyik legfontosabb kutatási területe az együttes hatás fiziológiai hatásának mérése (pl. szívritmus variancia mérés).

8. Summary

This document presents the effect of radiant temperature asymmetry caused by draughts and warm ceilings on people's thermal comfort and work efficiency. The main driving factor of the research was the fact that the effects of local discomfort factors complementing the PMV model are known only separately; in a real situation, however, they coexist. Although the joint study of some local discomfort factors has already been addressed and the effect of draught under different temperature parameters has also been studied, the literature concerning the combined effect of warm ceiling and draught needs to be supplemented. In order to fill this gap in the literature on the combined effect of warm ceilings and draughts, I performed instrumental and human subject measurements. The objectives were defined according to four main aspects:

- Identification of the rate of dissatisfaction with the warm ceiling in the case of the simultaneous occurrence of radiant temperature asymmetry caused by the draught and the warm ceiling;
- Description of the development of the general heat sensation in the case of the simultaneous occurrence of radiant temperature asymmetry caused by the draught and the warm ceiling;
- Description of the effectiveness of human labor in the case of the combined effect of the two local discomfort factors;
- The effect of gender on the dissatisfaction with warm ceilings, on the general heat sensation and on work efficiency in the case of the coexistence of draught and the radiation asymmetry between warm ceilings and floors.

In order to answer the questions raised through the objectives, I performed instrumental and human subject measurements in the Macskásy comfort and heat sensation measuring chamber of the Budapest University of Technology and Economics. The measurements involving 20 human subjects were carried out in 10 microenvironments, defined by five radiant temperature asymmetry values induced by the warm ceiling (5,7,10,12 and 15 °C) and two draught effects (15% and 25%).

The main results of the research can be summarized as follows:

- Identification of the rate of dissatisfaction with the warm ceiling in the case of the simultaneous occurrence of radiant temperature asymmetry caused by the draught and the warm ceiling;
- Increasing the draught significantly reduces the rate of dissatisfaction with the warm ceiling.
- The dissatisfaction with a warm ceiling increases steadily over time, then reaches its maximum and stabilizes.
- The AMV increases significantly with the increase of the radiation asymmetry.
- At a radiation asymmetry interval of 5-10 °C, increasing the draught effect DR from 15% to 25% significantly reduces the AMV value.
- At DR = 15% and DR = 25% draught, the AMV value decreases significantly after 120 minutes.
- Increasing the draught has no significant effect on either the speed or the accuracy of work, but it is the result of the opposite effect between the genders.
- Increasing the draught effect has no significant effect on the change over time of either the speed, or the accuracy of work. However, this effect is also the result of the opposite effect between the genders.
- The dissatisfaction votes with warm ceilings, the AMV votes and the changes in work efficiency also differ significantly depending on the subjects' gender.

The research cannot be considered as a closed, fully known research topic. One of the most important areas of research is, for example, the measurement of the physiological effect of a combined effect (e.g. the measurement of heart rate variance).

9. Publikációk a kutatási munka eredményeiből

Kajtár, László ; Nyers, József ; Szabó, János ; Ketskeméty, László ; Herczeg, Levente ; Leitner, Anita ; Bokor, Balázs
Objective and subjective thermal comfort evaluation in Hungary
THERMAL SCIENCE 21 : 3 pp. 1409-1418. , 10 p. (2017)
Kajtár, L ; Szabó, J
Differenciált hőkomfort elemzése klimatizált terekben
MAGYAR INSTALLATEUR 27 : 10 pp. 30-32. , 3 p. (2017)
Szabo, J ; Kajtar, L
Thermal comfort analysis in office buildings with different air-conditioning systems
INTERNATIONAL REVIEW OF APPLIED SCIENCES AND ENGINEERING 9 : 1 pp. 59-63. , 5 p. (2018)
Andrsá-Tövissi, Balázs ; Kajtár, László
Meleg mennyezet és huzat együttes hatása – élőalanyos kísérletek
MAGYAR ÉPÜLETGÉPÉSZET 2018/6 pp. 3-6. , 4 p. (2018)
András-Tövissi, Balázs ; Kajtár, László
Mennyezetfűtés és huzat együttes hatásának kutatása a BME ÉPGET Tanszéken
MAGYAR INSTALLATEUR 2018/10 pp. 36-38. , 3 p. (2018)
András-Tövissi, Balázs ; Kajtár, László ; Pawel, Wargocki
The influence of the combined effect of draught and radiant thermal asymmetry on human performance
András-Tövissi, Balázs ; Kajtár, László
Numerical simulation of human heat exchange and indoor thermal comfort
(2019)
András-Tövissi, Balázs ; Kajtár, László ; Nyers, József
A new method for evaluating the joint effect of draught and the hot ceiling
THERMAL SCIENCE OnLine-First Paper: 102 , 12 p. (2020)
András-Tövissi, Balázs ; Kajtár, László ; Nyers, József
The impact of draught on work performance in spaces with ceiling heating
JOURNAL OF PRODUCTION ENGINEERING (2020)

IRODALOMJEGYZÉK

- Amai, H., Tanabe, S.-i., Akimoto, T. & Genma, T., 2007. Thermal sensation and comfort with different task conditioning systems. *Building and Environment*, 42. kötet, pp. 3955-3964.
- Arens, E., Zhang, H. & Huizenga, C., 2006a, Issue 31. Partial- and whole-body thermal sensation and comfort - Part I: Uniform environmental conditions. *Journal of Thermal Biology*, pp. 53-59.
- Arens, E., Zhang, H. & Huizenga, C., 2006b, Issue 31. Partial- and whole-body thermal sensation and comfort - Part II: Non-uniform environmental conditions. *Journal of Thermal Biology*, pp. 53-59.
- ASHRAE, 2012. *ASHRAE handbook - HVAC systems and equipments*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers.
- ASHRAE, 2005. *ASHRAE Handbook, Fundamentals*.
- Atacama, I., Kaynakli, O. & Yigit, A., 2007, Vol. 42. Effect of radiant temperature on thermal comfort. *Building and Environment*, pp. 3210-3220.
- Babiak, J., Olesen, B. & Petras, D., 2007. *Low temperature heating and high temperature cooling*.
- Barna, E., 2012. *A sugárzási hőmérséklet aszimmetria és a meleg padló együttes hatása a hőérzetre*. Budapest: Doktori értekezés, BME Gépészmérnöki Kar.
- Barna, E. & Bánhidi, L., 2012. Combined effect of two local discomfort parameters studied with a thermal manikin and human subjects. *Energy and Buildings*, 51. kötet, pp. 234-241.
- Bartal, I., 2012. *Hideg fal és légáramlás együttes hatása*. Budapest: Doktori Disszertáció.
- Boerstra, és mtsai., 2015. Comfort and performance impact of personal control over thermal environment in summer: Results from laboratory study. *Building and Environment*, 87. kötet, pp. 315-326.
- Bojic, M., Cvetkovic, D., Marjanovic, V. & Blagojevic, M., 2013. Performance of low temperature radiant heating systems. *Energy and Buildings*, 61. kötet, pp. 233-238.
- Catalina, T., Virgone, J. & Kuznik, F., 2009. Evaluation of thermal comfort using combined CFD and experimental study in a test room equipped with cooling ceiling. *Building and Environment*, 40. kötet, pp. 153-163.
- Causone, F., Corgnati, S. P., Filippi, M. & Olesen, B. W., 2009. Experimental evaluation of heat transfer coefficient between radiant ceiling and room. *Energy and Buildings*, 41. kötet, pp. 622-628.
- Charles, K., 2003. Fanger's Thermal Comfort and Draught Models. *National Research Council Canada, Institute for Research in Construction*, 2. kötet, pp. 19-22.
- Chow, W., Wong, L. & Fung, W., 1996. Field measurements of the air flow characteristics of big mechanically ventilated spaces. *Building and Environment*, 31. kötet, pp. 541-550.
- Craenendonck, S. V., Lauriks, L., Vuye, C. & Kampen, J., 2019. Local effect on thermal comfort: Experimental investigation of small-area radiant cooling and low-speed draft caused by improperly retrofitted construction joints. *Building and Environment*, 147. kötet, pp. 189-198.
- De Carli, M., Scarpa, M., Tomasi, R. & Zarrella, A., 2012. A numerical model for the thermal balance of rooms equipped with radiant systems. *Building and Environment*, 57. kötet, pp. 124-144.
- Fanger, O. & Christensen, N., 1986. Perception of draught in ventilated spaces. *Ergonomics*, pp. 215-235.
- Fanger, P., 1982. *Thermal Comfort*. hely nélkül.: McGraw-Hill Book Company, Kingsport Press.

- Fanger, P., Bánhidi, L., Olesen, B. & Langkilde, G., 1980. Comfort limits for heated ceilings. *ASHRAE Transactions*, pp. 141-156.
- Fanger, P. és mtsai., 1980. Comfort limits for asymmetric thermal radiation. *Energy and Buildings*, 8. kötet, pp. 225-236.
- Fanger, P. & Kelinkov, A., 1989. Turbulencia és huzat. *Épületgépészet*, 2. kötet, pp. 52-54.
- Fanger, P., Melinkov, A. & Hanazawa, H., 1988. Air turbulence and sensation of draught. *Energy and Buildings*, 12. kötet, pp. 21-39.
- Fanger, P., Melinkov, A., Hanazawa, H. & Ring, J., 1989. Turbulence and draft. *ASHRAE JOURNAL*, 31. kötet, pp. 18-25.
- Fanger, P. & Pedersen, C., 1977. Discomfort due to air velocities in spaces. *Proceedings of the meeting on Commission B1, B2, E1 of the IIR, Belgrade*, 4. kötet, pp. 289-296.
- Feustel, H. E. & Stetiu, C., 1995. Hydronic radiant cooling - preliminary assessment. *Energy and Buildings*, 22. kötet, pp. 193-205.
- Frohner, I., 2006. *A sugárzási hőmérséklet asszimmetria emberre gyakorolt hatásának vizsgálata*. Budapest: Doktori értekezés, BME Gépészmérnöki Kar.
- Glück, B., 1997. *Wärmetechnisches Raummodell*. Heidelberg: C.F. Müller Verlag.
- Goda, R., 2013. *Tartózkodási zóna huzatkomfortjának hatásvizsgálata, különös tekintettel az érintőleges légvezetési rendszerre*. Budapest: ismeretlen szerző
- Hanazawa, H., Melinkov, A. & P.O., F., 1987. Airflow characteristics in the occupied zone of ventilated spaces. *ASHRAE Transactions*, 93/1. kötet, pp. 524-539.
- Hao, X. és mtsai., 2007. A combined system of chilled ceiling, displacement ventilation and desiccant dehumidification. *Building and Environment*, 42. kötet, pp. 3298-3308.
- He, Y., Li, N. & Huang, Q., 2015. A field study on thermal environment and occupant local thermal sensation in offices with cooling ceiling in Zhuhai, China. *Energy and Buildings*, 102. kötet, pp. 277-283.
- He, Y., Li, N., Zhang, W. & Peng, J., 2016. Overall and local thermal sensation & comfort in air-conditioned dormitory with hot-humid climate. *Building and Environment*, 101. kötet, pp. 102-109.
- Houghten, F., Gutberlet, C. & Witkowski, E., 1938. Draft temperatures and velocities in relation to skin temperature and feeling of warmth. *ASHRAE Transactions*, 44. kötet, pp. 289-308.
- Huizenga, C., Zhang, H., Arens, E. & Wang, D., 2004, Vol. 29, Issue 7-8. Skin and core temperature response to partial- and whole body heating and cooling. *Journal of Thermal Biology*, October-December, pp. 549-558.
- Jeong, J. W. & Mumma, S., 2007. Practical cooling capacity estimation model for a suspended metal ceiling radiant cooling panel. *Building and Environment*, 42. kötet, pp. 3176-3185.
- Kalmár, F. & Kalmár, T., 2018. Numerical evaluation of thermal discomfort in conditions of surface heating and asymmetric radiation. *Applied Sciences*, 9. kötet, pp. 175-179.
- Kalmár, F. & Kalmás, T., 2013. Alternative personalized ventilation. *Energy and buildings*, 65. kötet, pp. 37-44.
- Kalmár, F. & Kalmár, T., 2012. Interrelation between mean radiant temperature and room geometry. *Energy and Buildings*, 55. kötet, pp. 414-421.
- Kalmár, F. & Kalmár, T., 2018. Study of human response in conditions of surface heating, asymmetric radiation and variable air jet direction. *Energy & Buildings*, 179. kötet, pp. 133-143.

Karlsson, H. & Hagentoft, C.-E., 2011. Application of model based predictive control for water-based floor heating in low energy residential buildings. *Fuel and Energy Abstracts*, 46. kötet, pp. 556-569.

Karmann, C., Schiavon, S. & Bauman, F., 2017. Thermal comfort in buildings using radiant vs. all-air systems: A critical literature review. *Building and Environment*, 111. kötet, pp. 123-131.

Kim, J. és mtsai., 2019. Occupant comfort and behavior: High-resolution data from a 6-month field study of personal comfort systems with 37 real office workers. *Building and Environment*, 148. kötet, pp. 348-360.

Kim, M. K. & Leibundgut, H., 2014. A case study on feasible performance of a system combining an airbox convector with a radiant panel for tropical climates. *Building and Environment*, 82. kötet, pp. 687-692.

Kitagawa, K., Komoda, N., Hayano, H. & Tanabe, S.-i., 1999. Effect of humid and small air movement on thermal comfort under a radiant cooling ceiling by subjective experiments. *Energy and Buildings*, 30. kötet, pp. 185-193.

Kolarik, J., Toftum, J., Olesen, B. W. & Jensen, K., 2011. Simulation of energy use, human thermal comfort and office work performance in buildings with moderately drifting operative temperature. *Energy and Buildings*, 43. kötet, pp. 2988-2997.

Kovanen, K., Seppanen, O., Siren, K. & Majanen, A., 1989. Turbulent air flow measurement in ventilated spaces. *Environment International*, 621-626. kötet, p. 15.

Kyu-Nam, R. & Kwang, W. K., 2015. A 50 year review of basic and applied research in radiant heating and cooling systems for the built environment. *Building and Environment*, 91. kötet, pp. 166-190.

Langkilde, G., Gunnarsen, L. & Mortensen, N., 1985. Comfort limits during infrared radiant heating of industrial spaces. *Proceedings of Clima 200*, ed. Fanger, P.O., pp. 33-40.

Lim, J.-H., Jo, J.-H., Kim, Y.-Y. & Yeo, M.-S. K. K.-W., 2006. Application of the control methods for radiant floor cooling systems in residential buildings. *Building and Environment*, 41. kötet, pp. 60-73.

Li, R., Yoshidomi, T., Ooka, R. & Olesen, B. W., 2015. Field evaluation of performance of radiant heating/cooling ceiling panel systems. *Energy and Buildings*, 86. kötet, pp. 58-65.

Liu, Y., Wang, D. & Jiaping, L., 2012. Study on heat transfer process for in-slab heating floor. *Building and Environment*, 54. kötet, pp. 77-85.

Liu, Y., Wang, L., Liu, J. & Di, Y., 2013. A study of human skin and surface temperature in stable and unstable thermal environments. *Journal of Thermal Biology*, 38. kötet, pp. 440-448.

Macsikásy, Á. & Bánhidi, L., 1985. *Sugárzó fűtések*. Budapest: Akadémiai Könyvkiadó.

Magyar, T., 2008. Laboratóriumi kísérletek a huzathatás mérésének továbbfejlesztésére. *Magyar Épüeltgépészet*, 5. kötet, pp. 3-7.

Miyanaga, T., Urabe, W. & Nakano, Y., 2001. Simplified human body model for evaluating thermal radiant environment in a radiant cooled space. *Building and Environment*, 36. kötet, pp. 801-808.

Mustakallio, P. és mtsai., 2017. Thermal environment in a simulated double office room with convective and radiant cooling systems. *Building and Environment*, 123. kötet, pp. 88-100.

Nagano, K. & T., M., 2004. Experiments on thermal environmental design of ceiling radiant cooling for supine human subjects. *Building and Environment*, 39. kötet, pp. 267-275.

Niu, J. & Kooi, J., 1994. Indoor climate in rooms with cooled ceiling systems. *Indoor climate in rooms with cooled ceiling systems*, 29. kötet, pp. 283-290.

Olesen, B., Sliwiska, E. & Madsen, T., 1983. A simplified calculation method for checking the indoor thermal climate. *ASHRAE Transactions*, 2. kötet, pp. 511-520.

Olesen, B. W., 2002. Radiant floor heating in theory and practice. *Ashrae Journal*, 44. kötet, pp. 19-26.

Olesen, B. W., 2008. Radiant floor cooling systems. *Ashrae Journal*, 50. kötet, pp. 16-22.

Oxizidis, S., Papadopoulos & M., A., 2013. Performance of radiant cooling surface with respect to energy consumption and thermal comfort. *Energy and Buildings*, 57. kötet, pp. 199-209.

P.O., F., 1970. *Thermal comfort analysis and applications in environmental engineering*. New York: McGraw-Hill.

Ren, J. és mtsai., 2010. Very low temperature radiant heating/cooling indoor end system for efficient use of renewable energies. *Solar Energy*, 84. kötet, pp. 1072-1083.

Rhee, K.-N. & Kim, K. W., 2015. A 50 year review of basic and applied research in radiant heating and cooling systems for the built environment. *Building and Environment*, 91. kötet, pp. 166-190.

Rhee, K.-N., Olesen, B. W. & Kim, K. W., 2017. Ten questions about radiant heating and cooling systems. *Building and Environment*, 112. kötet, pp. 367-381.

Sakai, T. és mtsai., 2007, Issue 42. Thermal comfort, skin temperature distribution and sensible heat loss distribution in the sitting posture in various asymmetric radiant fields. *Building and Environment*, pp. 3984-3999.

Schellen, L. és mtsai., 2012. The influence of local effects on thermal sensation under non-uniform environmental conditions - Gender differences in thermophysiology, thermal comfort and productivity during convective and radiant cooling. *Physiology and Behavior*, 107. kötet, pp. 252-261.

Schellen, L. és mtsai., 2013. The use of a thermophysiological model in the built environment to predict thermal sensation: Coupling with the indoor environment and thermal sensation. *Building and Environment*, 59. kötet, pp. 10-22.

Schiavon, S. & Melnikov, A. K., 2008. Energy saving and improved comfort by increased air movement. *Energy and Buildings*, 40. kötet, pp. 1954-1960.

Self, S. J., Reddy, B. V. & Rosen, M. A., 2013. Geothermal heat pump systems: Status review and comparison with other heating options. *Applied Energy*, 101. kötet, pp. 341-348.

Tian, Z. & Love, J., 2009. Energy performance optimization of radiant slab cooling using building simulation and field measurements. *Energy and Buildings*, 41. kötet, pp. 320-330.

Toftum, J., 2002. Human response to combined indoor environment exposures. *Energy and Buildings*, 34. kötet, pp. 601-606.

Toftum, J., 2010. Central automatic control or distributed occupant control for better indoor environment quality in the future. *Building and Environment*, 45. kötet, pp. 23-28.

Toftum, J., Jorgensen, A. S. & Fanger, P., 1998. Upper limits of air humidity for preventing warm respiratory discomfort. *Energy and Buildings*, 28. kötet, pp. 15-23.

Toftum, J. és mtsai., 2015. Association between classroom ventilation mode and learning outcome in Danish schools. *Building and Environment*, 92. kötet, pp. 494-503.

Toftum, J. & Nielsen, R., 1996. Draught sensitivity is influenced by general thermal sensation. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 18. kötet, pp. 295-305.

Tye-Gingras, M. & Gosselin, L., 2012. Comfort and energy consumption of hydronic heating radiant ceiling and walls based on CFD analysis. *Building and Environment*, 54. kötet, pp. 1-13.

Vangtook, P. & Chirarattananon, S., 2007. Application of radiant cooling as a passive cooling option in hot humid climate. *Building and Environment*, 42. kötet, pp. 543-556.

Wang, Y., Lian, Z., Broede, P. & Lan, L., 2012. A time-dependent model evaluating draft in indoor environment. *Energy and Buildings*, 49. kötet, pp. 466-470.

Wang, Y., Lian, Z. & Lan, L., 2011. The effect of turbulence intensity on local skin temperature and subjective responses to draft. *Energy and buildings*, 43. kötet, pp. 2678-2683.

Wang, Z. és mtsai., 2018. Individual difference in thermal comfort: A literature review. *Building and Environment*, 138. kötet, pp. 181-193.

Wang, Z., He, Y., Hou, J. & Jiang, L., 2013. Human skin temperature and thermal responses in asymmetrical cold radiation environments. *Building and Environment*, 67. kötet, pp. 217-223.

Weber, T. & Jóhannesson, G., 2005. An optimized RC-network for thermally activated building components. *Building and Environment*, 40. kötet, pp. 1-14.

Weitzmann, P., Kragh, J., Roots, P. & Svendsen, S., 2005. Modelling floor heating systems using a validated two-dimensional ground-coupled numerical model. *Building and Environment*, 40. kötet, pp. 153-163.

Wim, Z. & Gert, B., 2009. Effect of thermal activated building systems in schools on thermal comfort in winter. *Building and Environment*, 11. kötet, pp. 2308-2317.

Wu, X. és mtsai., 2017. Effect of Supply Air Temperature on Indoor Thermal Comfort in a Room with Radiant Heating and Mechanical Ventilation. *Energy Procedia*, 121. kötet, pp. 206-213.

Wyon, D., 2001. Methodology for indoor environment research. *Contribution to the ICIE symposium at DTU*.

Zeiler, W. & Boxem, G., 2009. Effects of thermal activated building systems in schools on thermal comfort in winter. *Building and Environment*, 11. kötet, pp. 2308-2317.

Zmeureanu, R., Iliescu, S., Dauce, D. & Jacob, Y., 2003. Radiation from cold or warm windows: computer model development and experimental validation. *Building and Environment*, 38. kötet, pp. 427-434.

SZABVÁNYJEGYZÉK:

ASHRAE STANDARD 55:2017 – *Thermal environmental conditions for human occupancy*

MSZ EN ISO 7726:2003 – *A hőmérsékleti környezet ergonómiája. A fizikai mennyiségek mérőeszközei*

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

MSZ EN 13779:2007 – *Nem lakóépületek szellőztetése. Helyiségek szellőztető és légkondicionáló rendszereinek teljesítménykövetelményei*

MSZ EN 16798-1:2019 – *Épületek energetikai teljesítőképessége. Épületek szellőzése. 1.rész: Beltéri bemeneti paraméterek az épületek beltéri levegőminőségéhez, hőmérsékleti, világítási és akusztikai környezetéhez kapcsolódó energetikai teljesítőképességének tervezéséhez és értékeléséhez.*