



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Doktori Tézisfüzetei**

**Gépészmérnöki Kar Doktori Tanácsa**

**Készítette:**

**Herczeg Levente**

**Irodateretek belső levegő minőségének értékelése**

**A szén-dioxid koncentráció hatása az ember közérzetére és  
az irodai munka teljesítményére**

**című témakörből,  
amellyel a PhD fokozat elnyerésére pályázik.**

**Témavezető: Dr. Kajtár László**

**Budapest, 2008**

## **1. BEVEZETÉS, ELŐZMÉNYEK**

Az interdiszciplinaritás napjainkban a nemzetközi kutatásokban előtérbe került. Ennek egyik szakterülete a műszaki és fiziológiai kutatások tématerülete, ahol a két tudományág szoros együttműködése teremt új elméleti és gyakorlati eredményeket. Jelen kutatás is e tématerületre vonatkozik.

Az irodaterék belső levegő minősége több tényezőtől függ, elsősorban a belső térben keletkező szennyezőanyagoktól és a szellőztetés során bejuttatott frisslevegő mennyiségétől és minőségétől. A szennyezőanyagok alapvetően két témakörbe csoportosíthatók: az érzékelhető, szubjektív módon értékelhető levegőminőség (olf-decipol rendszer), valamint a komfortterek egészségügyi követelmény rendszere, mely szempontból az egyes szennyezőanyag fajták objektív és szubjektív módon külön értékelhetők.

Dolgozatomban a szén-dioxid hatásával vizsgáltam a belső levegő minőséget (továbbiakban BLM) a komfortérzet és az irodai munkavégzés mennyiségi és minőségi mutatói szempontjából.

A jelenlegi nemzetközi levegőminőségi kutatások fő célja: irodák esetén meghatározni, hogy milyen szintű komfortot szükséges biztosítani ahhoz, hogy a dolgozók teljesítménye ne romoljon, hanem javuljon. A téma aktualitását az biztosítja, hogy az elmúlt évek során nagyon sok irodaház épült, és így előtérbe került egyrészt a beruházási és üzemeltetési költségek csökkentése, másrészt az irodákban dolgozók kellemes közérzetének biztosítása és teljesítőképségének javítása.

A költségek csökkentését frisslevegő mennyiségének csökkentésével lehet elérni, mivel a kevesebb levegő kezelése kisebb klímaközpontot igényel. Tehát a gazdaságossági megfontolások a frisslevegő csökkentését követelik, viszont a közérzeti szempontok a frisslevegő mennyiségének a növelését.

Arra vonatkozóan még nem végeztek kutatásokat, hogy a komfortterekben, azon belül is az irodákban mekkora CO<sub>2</sub> koncentráció felett kezd jelentősen romlani a közérzet és a teljesítőképeség. Fontos tehát meghatározni ezt a határértéket, mert ez befolyásolja a zárt terekbe bevezetni szükséges frisslevegő mennyiségét. A frisslevegő pontos mennyiségéről a hazai és külföldi szakirodalmakban különböző értékek találhatók, ezek 20-120 m<sup>3</sup>/h,fő [3] [5] [9] között változnak.

## **2. CÉLKITŰZÉSEK, A MŰSZAKI PROBLÉMA FELVETÉSE ÉS MEGOLDÁSÁNAK DEFINIÁLÁSA**

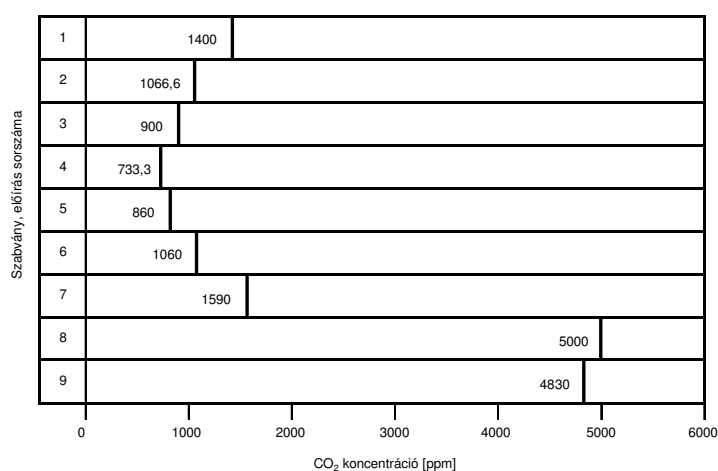
Tekintettel a nagyon hiányos külföldi és hazai kutatási és mérési eredményekre, célul tűztem ki, hogy laboratóriumi körülmények között megvizsgálom a szén-dioxid hatását a szellemi munkavégzésre és a közérzetre. Ezzel a problémával elsősorban irodaházak klimatizálása és az irodai munkavégzés során találkozunk.

A hazai és a nemzetközi szabványok és előírások által zárt terekben megengedett maximális CO<sub>2</sub> koncentrációt tartalmazza a 2.1. táblázat és diagram.

## 2.1. táblázat

### A zárt terekben megengedett maximális CO<sub>2</sub> koncentráció

Sorszám	Szabvány, előírás megnevezése	Megengedett CO <sub>2</sub> koncentráció [ppm]
<b>Komfortterek előírásai</b>		
1	MSZ 04.135/1-1982	1400
2	MSZ 21875-2-1991	1066,6
3	DIN 1946/2 kisterű iroda esetén	900
4	DIN 1946/2 nagyterű iroda esetén	733,3
5	MSZ CR 1752 "A" kat.	860
6	MSZ CR 1752 "B" kat.	1060
7	MSZ CR 1752 "C" kat.	1590
<b>Munkahelyek előírásai</b>		
8	MAK érték	5000
9	MSZ 21461 1-2	4830

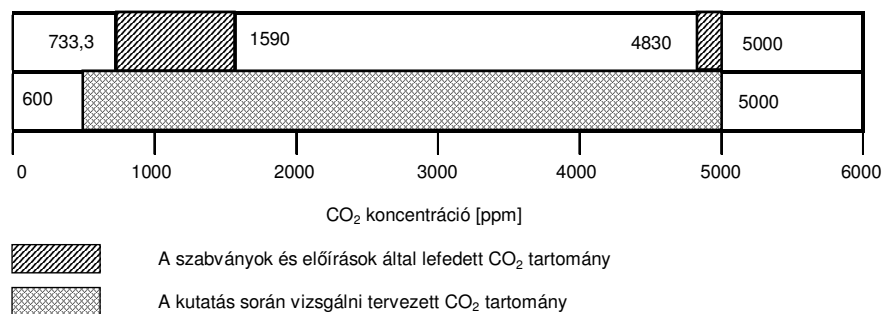


2.1. ábra

### A zárt terekben megengedett maximális CO<sub>2</sub> koncentráció

A fenti táblázatból és ábrából látható, hogy a szabványok és előírások nem foglalkoznak egy széles, 1590 ppm-től 4830 ppm-ig terjedő szén-dioxid tartománnyal.

A kutatómunka célja, hogy 2.2. ábrán szemléltetett 600-5000 ppm-ig terjedő tartományban is megvizsgáljuk a szén-dioxid koncentráció hatását a közérzetre és a szellemi munkavégzés teljesítményére.



2.2. ábra

### A kutatómunka célkitűzései

A kutatási munka várható eredményei alapján meghatározhatom, hogy az irodákban mennyi a szükséges frisslevegő mennyiség, hogy a szellemi munka minősége, teljesítménye és a közérzet ne romoljon jelentősen a szén-dioxid hatására.

A szén-dioxid emberre gyakorolt hatása szubjektív komfortparaméterek és embereken mért objektív paraméterek vizsgálatával, mérőalanyos kísérletek elvégzésével határozható meg. A kísérletek helyszínéül az Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék Levegőminőségi Laboratóriumában felépített alacsony emisszió szintű mérőszobát választottam. Ebben a helyiségben biztosítható, hogy a mérőalanyok a vizsgálatok során teljes hő- és levegőminőségi komfortban tartózkodjanak, és hogy más levegőszennyező anyag ne befolyásolja a mérési eredményeket.

A mérések elvégzése és kiértékelése után várhatóan meg tudok határozni egy maximális szén-dioxid koncentrációt, mely alatt nem jelentkezik kimutatható változás az ember közérzetében, továbbá a szellemi munkavégzés minőségében és mennyiségében.

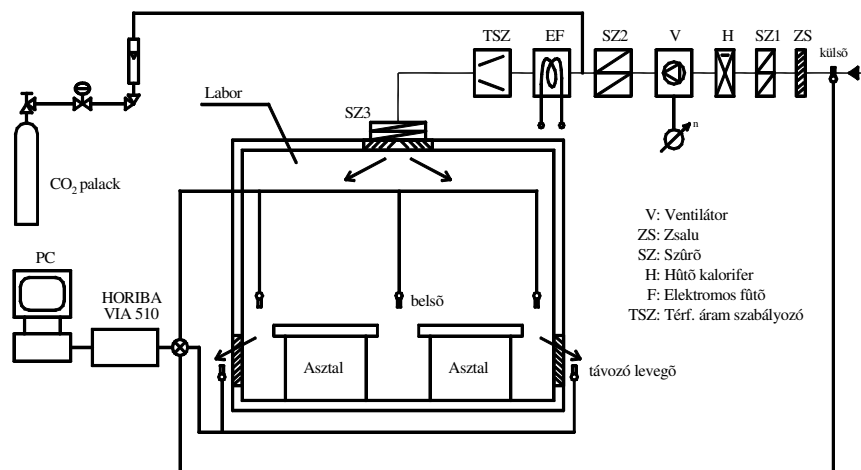
A kutatási munkát OTKA (T 029451 és T 037596 számú) pályázat keretében végeztem [10] [11]. A kutatómunka vezetője témavezetőm, Kajtár László volt.

Az elvégzett kutatómunka megtervezését, lebonyolítását és kiértékelését Dr. Láng Eszter fiziológus doktornő segítségével végeztem el.

### 3. A LABORATÓRIUMI MÉRÉSEK TERVEZÉSE

#### 3.1. A mérőállás felépítése [19]

A vizsgálatokat a BME Épületgépészeti Tanszéken erre a célra kialakított, alacsony szennyezőanyag kibocsátású műtőfalakból épült laboratóriumban végeztük el. A kutatólaboratórium tudományos kutatási szempontok szerinti kialakítását Dr. Kajtár László dolgozta ki és a megvalósítást irányította és szervezte. A vizsgáló kamrában szagtalan, megfelelő tisztaságú levegőt, kellemes hőkomfortot és akusztikai szempontból is megfelelő feltételeket kell biztosítani. A mérés kapcsolási vázlatát a 3.1. ábra szemlélteti.



3.1. ábra  
 A laboratóriumi mérés kapcsolási vázlat

### 3.2. A vizsgálat menete, vizsgálati személyek

A kutatómunka keretében a szén-dioxid koncentráció hatását vizsgáltuk a közérzetre és az irodai munka teljesítményére. A laboratóriumi mérések során az alábbi CO<sub>2</sub> koncentrációkat állítottuk be: 600, 1500, 2500, 3000, 4000 és 5000 ppm. A laboratóriumi mérőszobában két szén-dioxid forrás volt: két fő mérőalany, illetve palackból bevezetett, belélegzésre alkalmas szén-dioxid.

A szén-dioxidot a 120 m<sup>3</sup>/h frisslevegőhöz (60 m<sup>3</sup>/h, fő) keverve juttattuk a mérőszobába. A mérés során a szén-dioxid koncentrációt állandó értéken kellett tartani, ennek megfelelően állítottuk be az adagoló szelepet. A szén-dioxid források részarányát az 3.1. táblázat tartalmazza. A külső levegő szén-dioxid koncentrációja 360 ppm volt.

### 3.1. táblázat

Szén-dioxid források a mérőszobában

Mérőszoba CO <sub>2</sub> ppm	Szén-dioxid forrás		Arány ember/összes; %
	Összes Dk, ppm	Ember Dk, ppm	
600	240	240	100
1500	1140	240	21,0
2500	2140	240	11,2
3000	2640	240	9,1
4000	3640	240	6,6
5000	4640	240	5,2

A palackból adagolt szén-dioxid belélegzésre alkalmas, 99,995 V% tisztaságú gáz volt. A szén-dioxid gázban lévő egyéb szennyezőanyagok (O<sub>2</sub> ≤ 25 vpm, N<sub>2</sub> ≤ 25 vpm, HC ≤ 1 vpm, CO ≤ 1 vpm, H<sub>2</sub>O < 5 vpm) nagyon kis részarányuk miatt a mérés eredményét nem befolyásolták. A nyomáscsökkentő és a többi armatúra nem szennyezték a szén-dioxid gázt, mivel nagyobb tisztaságú gáznál (99,998 V%) is megengedett az alkalmazásuk.

A kellemes hőkomfortot, valamint a huzatmentes környezetet minden egyes mérőalany esetén a szabályozott levegőhőmérséklet, az egyénileg megválasztott ruházat és az alacsony szinten tartott légszűrővel segítségével biztosítottuk, azért hogy az emberek közérzetét csak a levegő minőség (szén-dioxid gáz) befolyásolja.

A mérőszobában a mért hangnyomásszint 36,6-37,0 dB(A).

A beállított szén-dioxid koncentrációkat a mérőalanyok nem ismerték.

A komfortparaméterek méréséhez az alábbi műszereket alkalmaztuk:

- hőérzeti PMV mérő: Thermal Comfort Meter 1212,
- levegő hőmérséklet és páratartalom mérő: TESTO Testator 175 Logger,
- falfelületi hőmérséklet mérő: TESTO Quicktemp 824-2
- akusztikai mérőműszer: ROLINE RO-1350 Sound Level Meter.

A fiziológiai adatok rögzítésére alkalmazott műszerek:

- ISAX műszer,
- vérnyomásmérő: csuklóra szerelhető,
- bőrfelület hőmérséklet mérő: TESTO T2.

A bemutatott mérőálláson két méréssorozatot végeztünk:

- az első méréssorozatot 2001-ben,
- a második méréssorozatot 2002-ben

végeztük el.

A mérőalanyok kiválasztásánál az alábbi szempontokat vettük figyelembe:

- nem lehetett káros szenvedélye (dohányzás, kávé, stb.),
- nem lehetett egészségi problémája (pl.: magas-alacsony vérnyomás, szív, tüdő, epe, vese, pajzsmirigy, egyéb belső elválasztású mirigy, neurózis, fekély, izületi panasz, allergia, bőrbetegség, stb.),
- nem állhatott orvosi kezelés alatt,
- nem lehetett érzékeny az időjárás-változásra.

A vizsgálatokon résztvevő személyek számát, a minta nagyságát empirikus úton határoztuk meg. Dr. David P. Wyon és Dr. Bánhidi László cikke alapján: „A minta nagyságát empirikus úton is meghatározhatjuk: megfelelő számú alanyt vizsgáltunk, ha az eredmény statisztikailag szignifikáns lett.” [80]

Az élőalanyos komfort mérések esetében további fontos mérés-tervezési szempont az azonos mérési körülmények biztosítása valamennyi mérőalany számára. A mérés során adott szén-dioxid koncentráció beállítása a mérőkamrában hosszú előkészületeket igényelt. Ezért választottuk azt a megoldást, hogy adott szén-dioxid szint beállítása után valamennyi mérőalany esetében elvégeztük a komfort mérést. Így azonos komfort feltételek (pl. 1500 ppm) mellett folyt le a vizsgálat minden mérőalany esetében. Természetesen ez lehetetlenné tette a szén-dioxid koncentráció sorrend változtatását a mérőalanyoknál – minden mérőalanyánál ugyanaz volt a sorrend. Az sorrend hatás kizárása céljából megnöveltük a két ülés közötti időtartam hosszát, mely 2-15 nap között változott az egyes alanyoknál.

A 4 órás laboratóriumi vizsgálat után a következő vizsgálatig legkevesebb 45 óra szünetidő (11-szerese a mérési időtartamnak) telt el. Az átlagos szünetidő 165 óra (41-szerese a mérési időtartamnak) volt. Így biztosítottuk a sorrend hatás és az adaptáció minimalizálását.

Az *első vizsgálat sorozatban* 10 kísérleti személy (5 Férfi, 5 Nő; átlag életkor=21,3 év), négy kísérleti vizsgálaton (továbbiakban ülésen) vett részt, melyeknél a levegő CO<sub>2</sub> koncentrációja különböző volt :

1. ülés – 1500 ppm,
2. ülés – 2500 ppm,
3. ülés – 600 ppm,
4. ülés – 5000 ppm.

A 600 ppm szén-dioxid koncentráció esetében nem volt külső utánpótlás, az alanyok által kilélegzett szén-dioxid hatására alakult ki ez az érték. A maximális, 5000 ppm koncentrációt a szabványok és irányelvek figyelembe vételével határoztuk meg. Ez az érték a munkahelyeken megengedhető maximális koncentrációt jelenti (MAK érték). A maximum és a minimum közötti felosztást a szakirodalom feldolgozásával határoztuk meg.

Valamennyi ülés 4 óra hosszát tartott, és 2x70 perces szellemi munkával töltött periódust tartalmazott. A szellemi munka abból állt, hogy a kísérleti személyek az e célra előre elkészített preparált szöveget olvasták, és betűhibákat kerestek a szövegben. Teljesítményüket részben az elolvasott sorok száma (mennyiségi szempont), részben a talált hibáknak a tényleges hibákhoz viszonyított aránya (minőségi szempont) határozta meg. A munka-periódusok előtt és után kérdőíveket töltöttek ki, melyekben a levegőminőséggel kapcsolatos szubjektív komfort-érzésüket határozták meg különböző skálák alapján, és sor került fiziológiai állapotukat tükröző objektív mutatók mérésére.

A *második vizsgálat sorozatban* is 10 mérőalany vett részt (4 Férfi, 6 Nő; átlag életkor=22,5 év). Az előző méréssorozathoz hasonlóan négy ülést szerveztünk, csak az előző méréssorozat eredményeit figyelembe véve a 2500 ppm és az 5000 ppm CO<sub>2</sub> koncentráció helyett 3000 ppm, illetve 4000 ppm CO<sub>2</sub> koncentrációt állítottunk be, tehát:

1. ülés – 1500 ppm,
2. ülés – 3000 ppm,
3. ülés – 600 ppm,
4. ülés – 4000 ppm.

Két ülés, a 3000 ppm és 600 ppm beállított CO<sub>2</sub> koncentráció esetében 3x70 perces, két ülés pedig 2x70 perces szellemi munkával töltött periódust tartalmazott. Az elvégzett vizsgálatok és mérések hasonlóak voltak, mint a 2001-ben elvégzett méréssorozatban. Két ülés esetében volt hosszabb a munkaperiódus, így a kiértékelésnél csak az összetartozókat hasonlítottuk össze és értékeltük ki. Ugyanez igaz a periódusok sorrendjére is.

### **3.3. Objektív és szubjektív paraméterek analízise**

#### **3.3.1. Objektív mikroklímás jellemzők mérése**

Az objektív mikroklímás paraméterek közül az alábbiakat vizsgáltuk:

- CO<sub>2</sub> koncentráció
- PMV, PPD értékek
- Levegő hőmérséklet és relatív nedvességtartalom
- Falfelületi hőmérséklet

#### **3.3.2. Szubjektív komfort-érzet vizsgálata**

A szubjektív közérzeti értékelés során alábbi paramétereket vizsgáltuk:

- Fanger skálás vizsgálat során az alanyoknak nyilatkozniuk kellett, hogy a levegő minőségét mennyire tartják elfogadhatónak, vagy nem elfogadhatónak. A skálán +1 (egyértelműen elfogadható) és -1 (egyértelműen nem fogadható el) értékek között kellett bejelölni az aktuális levegő minőségét.
- Hedonic skálás vizsgálat során az alanyok ülés alatti érzetét vizsgáltuk kellemes (5) és elviselhetetlen (1) tartományok között.

- Levegőminőségi skála alapján a levegő minősítése. Analóg skála segítségével értékeltük az aktuális levegő frissességét.
- Közérzeti állapot vizsgálata során vizsgáltuk az alanyok frissességének, fáradtságának és koncentráció képességének változását az ülés során.
- Bőrfelületi hőérzeti szubjektív vizsgálata során, 7 pontos (nagyon meleg: -3; kellemes: 0; nagyon hideg: -3) skálán rögzítettük a szubjektív hőérzetet 5 különböző pontban: homlok, orr, mellkas, jobb kézfej és bal kézfej.
- Általános hőérzet szubjektív vizsgálata során az alanyok hőérzetére kérdeztünk rá, ülésenként kétszer (elején és a végén).

### **3.3.3. Objektív fiziológiai paraméterek**

A következő fiziológiai és pszichofiziológiai változókat mértük és számítottuk:

- szisztolés vérnyomás (SzVNy),
- diasztolés vérnyomás (DVNy),
- pulzus szám, szív periódus (SzP),
- szívperiódus variancia (SzPV),
- bőrhőmérséklet.

### **3.3.4. Szellemi munkavégzés teljesítményének vizsgálata**

A szellemi munka abból állt, hogy a kísérleti személyek az e célra előre elkészített preparált szöveget olvasták, és betűhibákat kerestek a szövegben. Teljesítményüket részben az elolvasott sorok száma (mennyiségi szempont), részben a talált hibáknak a tényleges hibákhoz viszonyított aránya (minőségi szempont) határozta meg.



## 4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Az interdiszciplináris kutatások eredményei alapján az alábbi téziseket határoztam meg.

### 4.1. A CO<sub>2</sub> koncentráció hatása az ember közérzetére irodai munka esetén

*A laboratóriumi vizsgálat eredményeképpen vizsgáltam és objektív illetve szubjektív mutatókkal számszerűsítettem a szén-dioxid koncentráció hatását az ember közérzetére.*

*Megállapítottam, hogy 2x70 perc 3000 ppm szén-dioxid koncentráció feletti zárt térben tartózkodás után az egészséges, fiatal emberek közérzete rohamosan romlik. A szignifikancia vizsgálatnál alkalmazott feltétel  $p \leq 0,05$ .*

A kutatómunka során két méréssorozatot végeztünk, és a 4.1. ábra és táblázat alapján a vizsgált CO<sub>2</sub> koncentrációkat az alábbi értékekre állítottuk be:

- első méréssorozat: 600, 1500, 2500 és 5000 ppm;
- második méréssorozat: 600, 1500, 3000 és 4000 ppm.

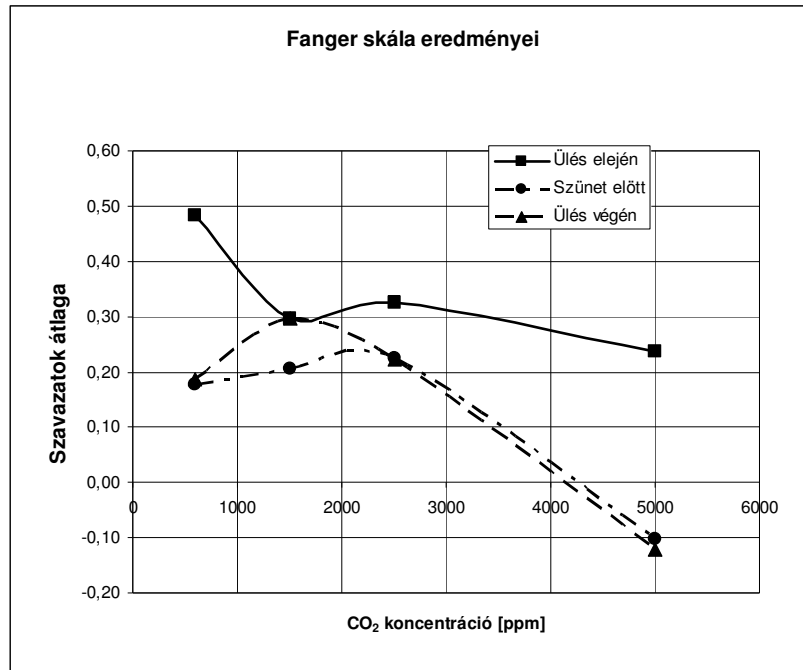
#### a) 2001-ben végzett első méréssorozat eredményei:

##### Levegőminőségi skála

- Az első méréseket illetően a 3. (600 ppm) és 4. (5000 ppm) ülés szignifikánsan különbözik egymástól ( $F=6.67$ ,  $p=0.03$ ).
- A második méréseket illetően a 3. (600 ppm) és 4. (5000 ppm) ülés szignifikánsan különbözik egymástól ( $F=5.88$ ,  $p=0.038$ ).
- A harmadik méréseket illetően az 1. (1500 ppm) és 4. (5000 ppm) ülés szignifikánsan különbözik egymástól ( $F=7.5$ ,  $p=0.023$ ).
- Csak a 4. (5000 ppm) ülés különbözik a többi üléstől. Az 1. (1500 ppm), 2. (2500 ppm), és 3. (600 ppm) ülések nem különböznek egymástól szignifikánsan.
- Kiszámítottuk egy-egy ülés mindhárom mérésének átlagát, s ezeket az átlagokat vetettük alá variancia analízisnek. A Levegőminőségi skála esetében a 3. (600 ppm) és 4. (5000 ppm) ülés különbözött egymástól szignifikánsan ( $F=9.48$ ,  $p=0.013$ ).

##### Fanger skála

- A 4. (5000 ppm) ülés 3. (600 ppm) mérése szignifikánsan különbözik az 1. (1500 ppm) ülés 3. mérésétől ( $F=8.5$ ,  $p=0.017$ ).
- Kiszámítottuk egy-egy ülés mindhárom mérésének átlagát, s ezeket az átlagokat vetettük alá variancia analízisnek. A Fanger skála esetében szintén a 3. (600 ppm) és 4. (5000 ppm) ülés különbözött egymástól szignifikánsan ( $F=6.59$ ,  $p=0.03$ ).



Megjegyzés

Levegőminőség (friss - elhasznált)

-1 elfogadhatatlan

+1 elfogadható

#### 4.1. ábra

#### Levegőminőség értékelése a Fanger skála szerint

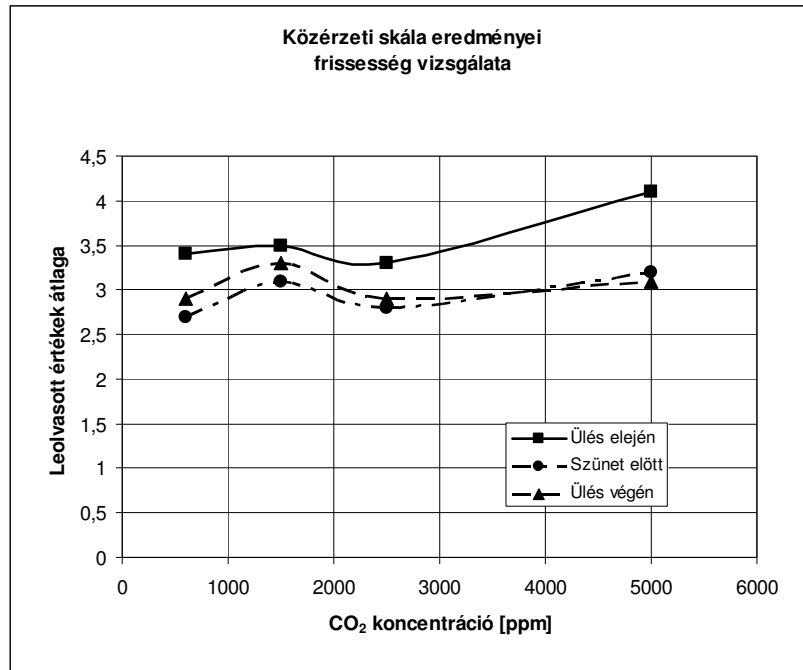
1. ülés – 1500 ppm, 2. ülés – 2500 ppm, 3. ülés – 600 ppm, 4. ülés – 5000 ppm  
CO<sub>2</sub> koncentráció

#### Hedonic skála

- Az első méréseket illetően a 2. (2500 ppm) és 3. (600 ppm) ülés szignifikánsan különbözik a 4. (5000 ppm) üléstől ( $F=13.5$ ,  $p=0.005$ ,  $F=10.7$ ,  $p=0.01$ ).
- A harmadik méréseket illetően az 1. (1500 ppm) és 2. (2500 ppm) ülés szignifikánsan különbözik a 4. (5000 ppm) üléstől ( $F=9.0$ ,  $p=0.015$ ,  $F=5.0$ ,  $p=0.05$ ).
- Kiszámítottuk egy-egy ülés mindhárom mérésének átlagát, s ezeket az átlagokat vetettük alá variancia analízisnek. A Hedonic skála esetében a 4. (5000 ppm) ülés mind a 2. (2500 ppm) üléstől ( $F=10.9$ ,  $p=0.009$ ), mind a 3. (600 ppm) üléstől szignifikánsan különbözött ( $F=24.9$ ,  $p=0.001$ ).

#### Frissesség skála

- Kiszámítjuk valamennyi ülésnél az 1. és 3. mérés értékeinek különbségét, s e különbségeket vetjük alá variancia analízisnek (ismételt mérés 4 szint). A kontrasztok kimutatják, hogy a 4. (5000 ppm) ülés szignifikánsan különbözik az 1. (1500 ppm) üléstől ( $F=10.28$ ,  $p=0.01$ ). Vagyis a 4. (5000 ppm) ülés estében ez a különbség nagyobb, azaz az ülés végére fokozottabban levertté váltak, mint a többi ülésnél.



Megjegyzés  
Frissesség (friss - levert)  
5 friss  
0 levert

#### 4.2. ábra

#### A frissesség skála eredményei

1. ülés – 1500 ppm, 2. ülés – 2500 ppm, 3. ülés – 600 ppm, 4. ülés – 5000 ppm  
CO<sub>2</sub> koncentráció

#### Fáradtság skála

- Kiszámítjuk valamennyi ülésnél az 1. és 3. mérés értékeinek különbségét, s e különbségeket vetjük alá variancia analízisnek (ismételt mérés 4 szint). A kontrasztok kimutatják, hogy a 3. (600 ppm) ülés szignifikánsan különbözik a 4. (5000 ppm) üléstől ( $F=5.06$ ,  $p=0.05$ ), vagyis a 4. (5000 ppm) ülés estében ez a különbség nagyobb, azaz jobban elfáradtak mint a 3. (600 ppm) ülésnél.

Összefoglalva tehát valamennyi közérzeti skálánál (Levegőminőségi, Fanger, Hedonic) ülésen belüli szignifikáns változást csak a 3. ill. 4. ülés esetében figyelhettünk meg. A 3. ülés első mérésénél kiemelkedően jó levegő minőséget jelöltek a személyek. Ehhez képest az ülés folyamán igen csekély romlást jeleztek. A 4. ülés első mérésénél kiemelkedően rossz levegőminőséget jelöltek, amelyet az ülés folyamán tovább romlónak jeleztek Mindhárom skála esetében az ülésenkénti 3 mérés átlagán végzett variancia analízis, azt mutatta, hogy a vizsgált személyek a 4. ülés (CO<sub>2</sub>=5000 ppm) levegőminőségét szignifikánsan rosszabbnak ítélték meg mint a 3. ülés (CO<sub>2</sub>=600 ppm) levegőminőségét.

A Frissesség és Fáradtság skálák pontszámain végzett variancia analízis kimutatta, hogy mikor a levegő CO<sub>2</sub> koncentrációja 5000 ppm volt, a vizsgált személyek jobban elfáradtak, kevésbé maradtak frissek és élénkek az ülés végére, mint amikor a levegő CO<sub>2</sub> koncentrációja alacsonyabb volt. Az elfáradás mértékét illetően a 4. ülés (levegő CO<sub>2</sub> koncentrációja=5000 ppm) és 3. ülés (levegő CO<sub>2</sub> koncentrációja=600 ppm) közötti különbség elérte a szignifikancia szintjét.

**b) 2002-ben végzett második mérésorozat eredményei:**

Levegőminőségi skála

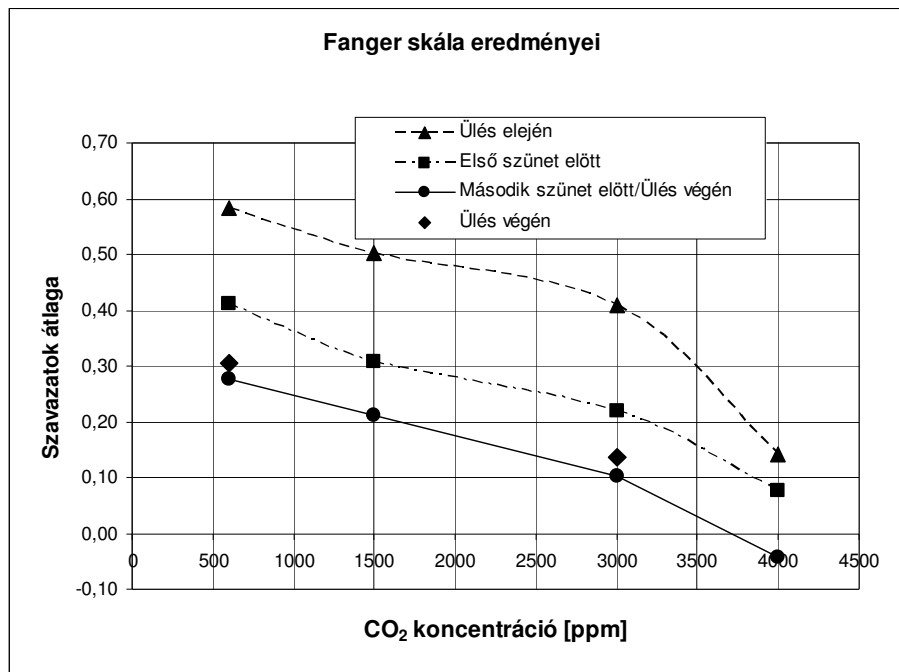
- az 1. mérések tekintetében az 1. ülés (1500 ppm) 1. mérése szignifikánsan különbözik a 4. (4000 ppm) ülés 1. mérésétől ( $F=9,093$ ,  $p=0,015$ ),
- a 3. mérés esetében szignifikáns különbség van az 1. ülés (1500 ppm) és a 2. ülés (3000 ppm) között ( $F=7,459$ ,  $p=0,023$ ), az 1. ülés (1500 ppm) és a 4. ülés (4000 ppm) között ( $F=7,861$ ,  $p=0,021$ ), valamint a 3. ülés (600 ppm) különbözik a 2. üléstől (3000 ppm) ( $F=7,628$ ,  $p=0,022$ ) és 4. üléstől (4000 ppm) ( $F=8,044$ ,  $p=0,020$ ).

Fanger skála

- az 1. mérések tekintetében a 3. ülés (600 ppm) 1. mérése szignifikánsan különbözik a 4. ülés (4000 ppm) 1. mérésétől ( $F=8,840$ ,  $p=0,016$ ),
- a 3. mérés esetében szignifikáns különbség van az 1. ülés (1500 ppm) és a 4. ülés (4000 ppm) között ( $F=5,645$ ,  $p=0,042$ ), valamint a 3. ülés (600 ppm) különbözik a 2. üléstől (3000 ppm) ( $F=7,279$ ,  $p=0,024$ ) és 4. üléstől (4000 ppm) ( $F=5,52$ ,  $p=0,043$ ).

A 2. és 3. ülés közötti különbségek (ezeknél az üléseknél négy mérés volt):

- a 2. ülés (3000 ppm) és a 3. ülés (600 ppm) között szignifikáns a különbség a 3. mérést illetően ( $t=-2,25$ ,  $p=0,051$ ).



Megjegyzés  
 Levegőminőség (friss - elhasznált)  
 -1 elfogadhatatlan  
 +1 elfogadható

### 4.3. ábra Fanger skála méréseinek átlaga

1. ülés – 1500 ppm, 2. ülés – 3000 ppm, 3. ülés – 600 ppm, 4. ülés – 4000 ppm  
 CO<sub>2</sub> koncentráció

#### Frissesség skála

- A kontrasztok kimutatták hogy az 1. mérések tekintetében a negyedik ülés (4000 ppm) szignifikánsan különbözik az első (1500 ppm) ( $F=5,000$ ,  $p=0,052$ ) és harmadik ülésektől (600 ppm) ( $F=5,000$ ,  $p=0,052$ ).
- A kontrasztok kimutatták hogy a 2. mérések tekintetében az első ülés (1500 ppm) szignifikánsan különbözik a második üléstől (3000 ppm) ( $F=7,364$ ,  $p=0,024$ ).
- A kontrasztok kimutatták hogy a 3. mérések tekintetében az első ülés (1500 ppm) szignifikánsan különbözik a harmadik üléstől (600 ppm) ( $F=5,000$ ,  $p=0,052$ ).

A 4. mérések esetében Student T tesztet végeztünk, mivel csak a második (3000 ppm) és harmadik (600 ppm) ülésnél történt 4 mérés. A teszt kimutatta, hogy 4. mérések tekintetében a második ülés (3000 ppm) szignifikánsan különbözik a harmadik (600 ppm) üléstől ( $t=-2,236$ ,  $p=0,052$ ).

#### Fáradtság skála

- A kontrasztok kimutatták hogy a 2. mérések tekintetében az első ülés (1500 ppm) szignifikánsan különbözik a második üléstől (3000 ppm) ( $F=6,00$ ,  $p=0,037$ ).

A 4. mérések esetében Student T tesztet végeztünk, mivel csak a második (3000 ppm) és harmadik (600 ppm) ülésnél történt négy mérés. A teszt kimutatta, hogy 4. mérések tekintetében a második ülés szignifikánsan különbözik a harmadik üléstől ( $t=-2,714$ ,  $p=0,020$ ).

A Levegőminőségi és Fanger skála esetében az ülések összehasonlításánál a variancia analízis kimutatta, hogy az ülések közötti különbségek 70 perc után még nem jelentkezték. 140 perc után azonban már megjelentek a szignifikáns különbségek: mind a 3000, mind a 4000 ppm CO<sub>2</sub> koncentrációjú levegőt szignifikánsan rosszabbnak ítélték meg, mint a 600 ppm.

A frissesség skála esetében a harmadik ülés kivételével (amikor a levegő széndioxid koncentrációja a legalacsonyabb volt - 600 ppm), valamennyi ülésnél, egyre kevésbé érezték magukat frissnek a vizsgált személyek. Ez 600 ppm-nél nem következett be. Az üléseket már eleve különböző frissességi szinttel kezdték meg, ez magyarázza, hogy az ülések sorrendben megfelelő mérései nem minden esetben különböznek szignifikánsan egymástól. A negyedik mérésnél, tehát, hosszabb idő elteltével a második ülés (3000 ppm CO<sub>2</sub>) és harmadik ülés (600 ppm CO<sub>2</sub>) szignifikánsan különbözik egymástól: 600 ppm CO<sub>2</sub> koncentrációnál frissebbnek érezték magukat az ülés végén, mint 3000 ppm CO<sub>2</sub> koncentrációnál.

A Fáradtság skála esetében a harmadik ülés kivételével (amikor a levegő széndioxid koncentrációja a legalacsonyabb volt - 600 ppm), valamennyi ülésnél, egyre fáradtabbnak érezték magukat a vizsgált személyek. Ez 600 ppm-nél csak hosszabb idő után következett be. A negyedik mérésnél, tehát, hosszabb idő elteltével a második ülés (3000 ppm CO<sub>2</sub>) és harmadik ülés (600 ppm CO<sub>2</sub>) szignifikánsan különbözik egymástól: 600 ppm CO<sub>2</sub> koncentrációnál kevésbé voltak fáradtak az ülés végén, mint 3000 ppm CO<sub>2</sub> koncentrációnál.

A frissesség és a fáradtság skála pontszámai alapján hasonló következtetésre lehet jutni (a frissesség skála mutatja kifejezettebben): csak a 600 ppm CO<sub>2</sub> koncentrációjú levegőnél maradtak frissek a személyek, ill. hosszabb idő kellett, hogy fáradtság fokozódást jelezzenek.

#### 4.2. A CO<sub>2</sub> koncentráció hatása az ember objektív fiziológiai jellemzőire

*A laboratóriumi vizsgálat eredményeképpen vizsgáltam és számszerűsítettem, hogy az objektív fiziológiai jellemzők igazolják az emberi szervezet terhelésének nem megengedhető növekedését 2x70 perc 3000 ppm szén-dioxid koncentráció feletti zárt térben tartózkodás után az egészséges, fiatal emberek esetében. A szignifikancia vizsgálatnál alkalmazott feltétel  $p \leq 0,05$ .*

*A laboratóriumi vizsgálatok eredménye alapján megállapítom, hogy az ISAX rendszer és a szívperiódus variancia, mint a CO<sub>2</sub> hatásának a közérzetre és az irodai munka teljesítményére vizsgálatánál még nem alkalmazott műszer és módszer a belső levegő minőség vonatkozó területén is sikeresen alkalmazható.*

A kutatómunka során két méréssorozatot végeztünk, és a 4.1. ábra és táblázat alapján a vizsgált CO<sub>2</sub> koncentrációkat az alábbi értékekre állítottuk be:

- első méréssorozat: 600, 1500, 2500 és 5000 ppm;
- második méréssorozat: 600, 1500, 3000 és 4000 ppm.

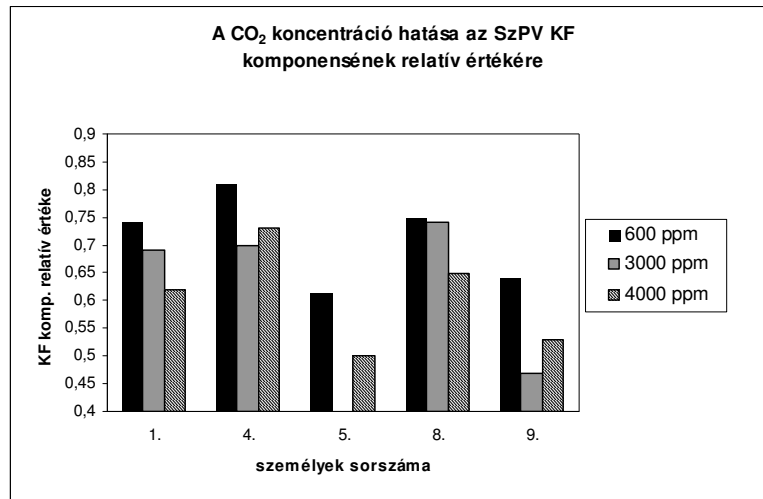
Ismételt mérésen alapuló variancia analízisnek vetettük alá a két méréssorozat valamennyi ülésének megfelelő méréseit.

A 2001-ben végzett mérések esetében kiszámítjuk valamennyi ülésnél az 1. és 3., valamint az 1. és 2. mérés értékeinek különbségét, s e különbségeket vetjük alá variancia analízisnek (ismételt mérés 4 szint). A kontrasztok kimutatják, hogy a 4. (5000 ppm) ülés szignifikánsan különbözik a 2. (2500 ppm) és a 3. (600 ppm) üléstől ( $F=4,8$ ,  $p=0,05$ ,  $F=6,5$ ,  $p=0,03$ ). A legnagyobb szívritmuscsökkenés a 3. (600 ppm) ülés alatt, míg a legkisebb a 4. (5000 ppm) ülés alatt volt megfigyelhető.

A 2002-es mérések esetében a kontrasztok kimutatták:

1. a szívperiódus variancia (SzPV) magasfrekvenciás spektrális komponensének (MF) vizsgálata során a 2. mérések tekintetében:
  - az első ülés (1500 ppm) szignifikánsan különbözik a harmadiktól (600 ppm) ( $F=18,969$ ,  $p=0,049$ );
  - a második ülés (3000 ppm) a negyedik üléstől (4000 ppm) ( $F=23,154$ ,  $p=0,041$ ).
2. a szívperiódus variancia (SzPV) középfrekvenciás spektrális komponensének (KF) vizsgálata során az 1. mérések tekintetében az első ülés (1500 ppm) szignifikánsan különbözik a második üléstől (3000 ppm) ( $F=35,557$ ,  $p=0,027$ ).
3. a szívperiódus variancia (SzPV) középfrekvenciás komponensének relatív értékének (MFrel) vizsgálata során
  - az 1. mérések tekintetében a második ülés (3000 ppm) szignifikánsan különbözik a negyedik üléstől (4000 ppm) ( $F=79,147$ ,  $p=0,012$ ).
  - a 2. mérések tekintetében a negyedik ülés (4000 ppm) szignifikánsan különbözik az első (1500 ppm) ( $F=34,274$ ,  $p=0,028$ ) és a harmadik (600 ppm) ( $F=49,348$ ,  $p=0,020$ ) üléstől.

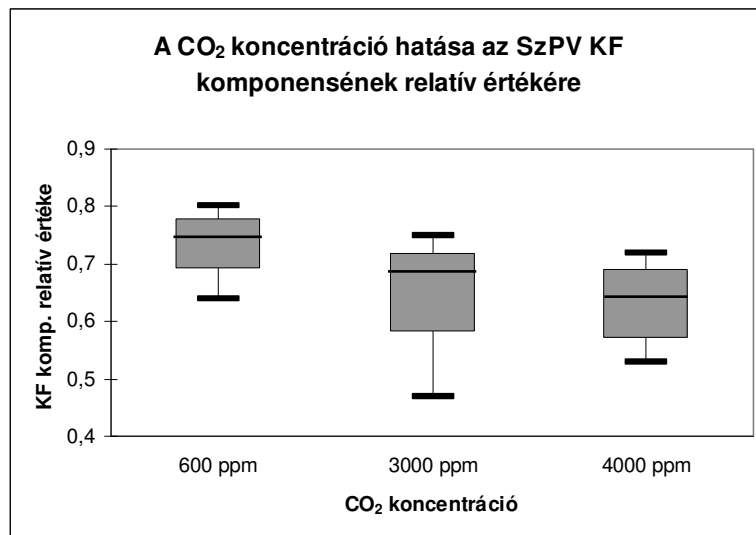
Az ISAX rendszer segítségével vizsgált SzPV (szívperiódus variancia) KF (középfrekvenciás) komponensét használják egy feladatba investált szellemi erőfeszítés mércéjéül. Minél kisebb a KF komponens, annál nagyobb a vizsgált személy szellemi erőfeszítése. A kísérletek során a KF komponenset alkalmaztuk a vizsgált személyek aktuális szellemi erőfeszítésének objektív pszichofiziológiai indexeként. Azt a trendet találtuk, hogy a KF komponens legalacsonyabb értékei 4000 ppm CO<sub>2</sub> koncentrációnál, míg a legmagasabbak 600 ppm CO<sub>2</sub> koncentrációnál voltak megfigyelhetőek. Az MF (magasfrekvenciás) komponens vonatkozásában éppen az ellenkező volt a helyzet. Az MF komponens a légzés frekvenciáját tükrözi és visszatükrözheti a légzés mélységét is. A KF/MF hányadoson, valamint a KF ill. MF komponensek relatív értékein végzett variancia analízis szignifikáns különbséget mutatott a 600 és 4000 ppm CO<sub>2</sub> koncentráció alatt végzett mérések között. Az MF komponens növekedése fokozott légzési térfogatra és légzés-frekvenciára mutat 4000 ppm CO<sub>2</sub> koncentrációnál.



4.4. ábra.

**CO<sub>2</sub> koncentráció hatása az SzPV KF komponens relatív értékére 5 személynél.**

A 4.6. és 4.7. ábra mutatja, hogy valamennyi személynél a KF komponens relatív értéke a legmagasabb értéket 600 ppm-nél, a legalacsonyabbat pedig 4000 ppm-nél éri el.



4.5. ábra.

**Az SzPV KF komponensének relatív értéke különböző CO<sub>2</sub> koncentrációnál.**

#### 4.3. A CO<sub>2</sub> koncentráció hatása az irodai munka teljesítményére és minőségére 3000 ppm CO<sub>2</sub> koncentráció alatt

*A laboratóriumi vizsgálatok eredménye alapján vizsgáltam az irodai munka teljesítményét és minőségét.*

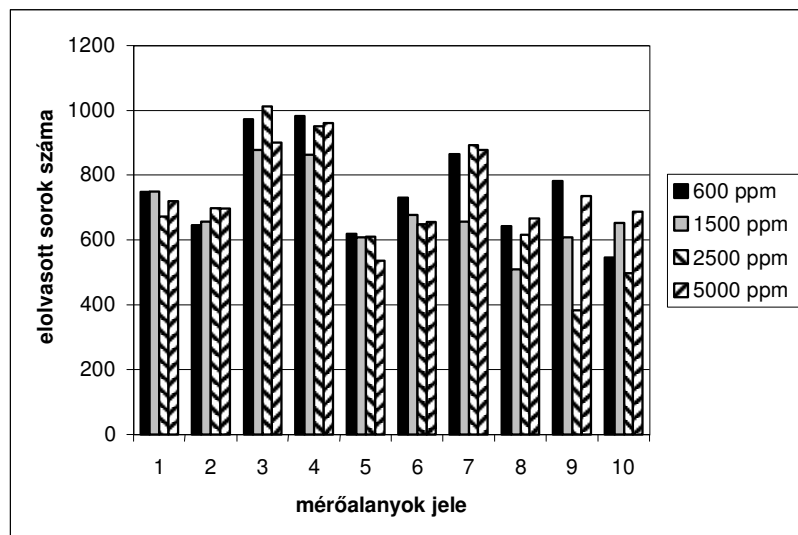
*Megállapítom, hogy 3000 ppm szén-dioxid koncentrációig szén-dioxid koncentráció változása kisebb mértékű eltérést eredményez a szellemi munka mennyiségében és minőségében mint a vizsgált alanyok közötti különbség.*

*Megállapítom, továbbá hogy 3x70 perc 3000 ppm szén-dioxid koncentráció feletti zárt térben tartózkodás után kezd el jelentősen csökkenni az egészséges, fiatal*

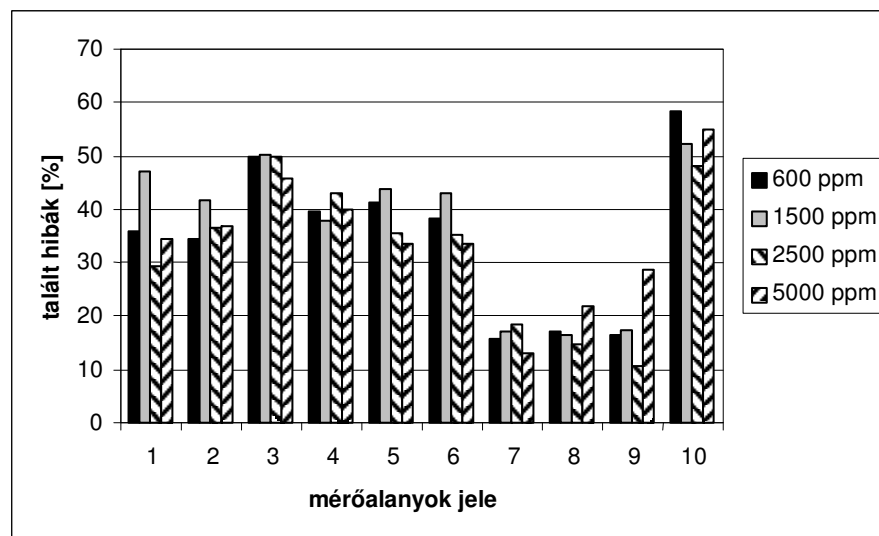


*emberek szellemi munkájának teljesítménye és minősége. A szignifikancia vizsgálatnál alkalmazott feltétel  $p \leq 0,05$ .*

A 2001-ben elvégzett első vizsgálat során a különböző CO<sub>2</sub> koncentrációjú térben preparált szöveget olvastak az alanyok. Az értékelés a vizsgálati idő alatt elolvasott sorok száma és a megtalált hibák száma alapján történt. Az eredményeket a 4.8. és 4.9. ábrák tartalmazzák.



**4.6. ábra**  
A CO<sub>2</sub> koncentráció hatása az irodai munka teljesítményére  
(az elolvasott sorok száma alapján)

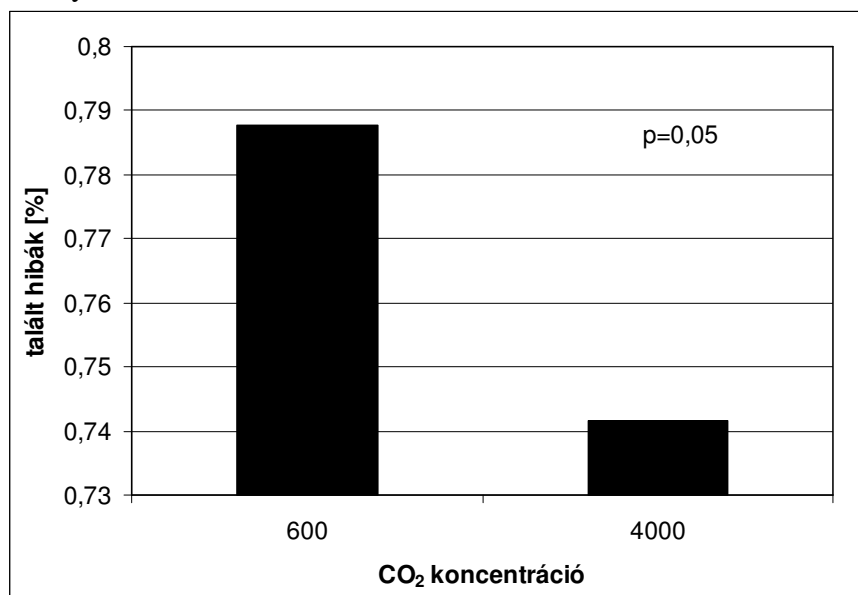


**4.7. ábra**  
A CO<sub>2</sub> koncentráció hatása az irodai munka minőségére  
(a megtalált hibák száma alapján)

A vizsgált személyek teljesítménye (elolvasott sorok száma és talált hibák tényleges hibákhoz viszonyított aránya) nem változott a CO<sub>2</sub> koncentráció függvényében. A laboratóriumi mérések eredményei azt mutatták, hogy a választott szellemi munkavégzés módja és mennyisége mellett a 3000 ppm alatti CO<sub>2</sub> koncentráció eltérő értékei nem voltak meghatározó befolyással. Lényegesen nagyobb eltérés adódott az egyes emberek között az elolvasott sorok számában, ami a teljesítő képességükkel van összefüggésben. Ez a belélegzett CO<sub>2</sub> koncentrációjától független egyéni sajátosság. Ugyanezt az eredményt kaptam a 2002-ben végzett második mérésorozat során is.

A 2002-ben elvégzett második vizsgálat során a szellemi munkavégzés teljesítményét az ülés alatt elolvasott sorok számával (mennyiségi szempont) mértük, de a különböző beállított CO<sub>2</sub> koncentrációknak 3000 ppm felett sincs szignifikáns hatása ezekre a paraméterekre. Ezeknél a változóknál viszont jelentkezik a tanulási hatás: az alanyok teljesítménye folyamatosan növekedett az egyes ülések alatt.

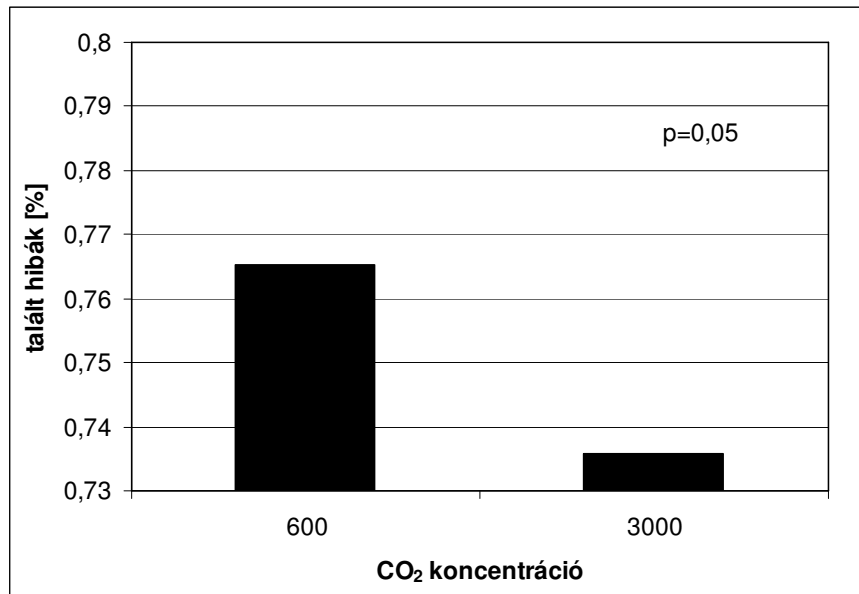
A megtalált hibák száma (minőségi szempont) sokkal érzékenyebb volt a CO<sub>2</sub> koncentráció változtatására. A variancia analízis azt mutatta, hogy 140 perc munka után az alanyok által megtalált hibák százaléka szignifikánsan alacsonyabb volt 4000 ppm CO<sub>2</sub> koncentráció mellett, mint 600 ppm CO<sub>2</sub> koncentrációnál ( $t=2,687$ ,  $p=0,025$ ). A kapott eredményeket a 4.10. ábra szemlélteti.



**4.8. ábra**

**Az alanyok által talált hibák százaléka a CO<sub>2</sub> koncentrációfüggvényében 140 perc után**

Továbbá, a 600 ppm CO<sub>2</sub> koncentráció mellett végzett ülés harmadik munkaperiódusának végén (210 perc után) talált hibák százaléka közel szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a 3000 ppm CO<sub>2</sub> koncentráció mellett végzett ülés harmadik munkaperiódusának végén ( $t=-1,950$ ,  $p=0,083$ ). Az elolvasott sorok száma is csökkent 3000 ppm CO<sub>2</sub> koncentráció mellett, ami azt jelenti, hogy a 600 ppm CO<sub>2</sub> koncentráció sokkal előnyösebb az emberi munkavégzés mennyiségi és minőségi szempontjából. A minőségi szempont az alanyok koncentráló képességére utal. A kapott eredményeket a 4.11. ábra szemlélteti.



4.9. ábra

Az alanyok által talált hibák százaléka a CO<sub>2</sub> koncentráció függvényében 210 perc után

#### 4.4. A CO<sub>2</sub> koncentráció hatása az irodai munka teljesítményére és minőségére 3000 ppm CO<sub>2</sub> koncentráció alatt

*A laboratóriumi vizsgálatok eredménye alapján meghatároztam, hogy irodai munkavégzés esetén az emberek közérzete és teljesítménye 7,7 m<sup>3</sup>/h, fű-nél kevesebb frisslevegő bevezetés esetén jelentősen romlik. A kapott eredményt irodai munkavégzés, k<sub>b</sub>=3000 ppm és k<sub>k</sub>=400 ppm szén-dioxid koncentráció alkalmazásával határoztam meg. A szignifikancia vizsgálatnál alkalmazott feltétel p≤0,05.*

## 5. ALKALMAZÁSI ÉS TOVÁBBLÉPÉSI LEHETŐSÉGEK

A vizsgálat céljára speciális laboratóriumot, mérőállást alakítottunk ki, melyben a szén-dioxid hatását vizsgáltuk a szellemi munkavégzésre és a közérzetre, valamint a megfelelő frisslevegő utánpótlás mennyiségét állapítottuk meg. A laboratóriumban biztosítottuk a megfelelő tisztaságú levegőt, hőkomfortot, valamint a megfelelő akusztikus körülményeket.

A kísérleti ülések alatt mértük az objektív mikroklímás jellemzőket. Két kísérletsorozatot végeztünk, melyekben különböző szintekre állítottuk be a levegő CO<sub>2</sub> koncentrációját. A kísérleti személyek kérdőíveket töltöttek ki, melyekben a levegőminőséggel kapcsolatos szubjektív komfort-érzésüket, valamint frissességükkel kapcsolatos közérzetüket határozták meg különböző standard skálák alapján, és sor került fiziológiai állapotukat tükröző objektív mutatók mérésére. A személyek szellemi feladatot teljesítettek, melynek során szellemi erőfeszítésüket és eredményességüket vizsgáltuk. Az adatfeldolgozást statisztikai analízis követte. Az első kísérlet-sorozat tapasztalatai alapján terveztük a második sorozatot.

Kimutattuk, hogy a vizsgált személyek a levegőminőséget szignifikánsan rosszabbnak ítélték meg és hamarabb elfáradtak amikor a levegő CO<sub>2</sub> koncentrációja 3000 ppm-t eléri. A levegő 3000 ppm CO<sub>2</sub> koncentrációja a szellemi teljesítményre is előnytelenebbnek bizonyult, mint a 600 ppm. Bizonyos élettani mutatók (a szívperiódus

variancia spektrális komponensei) azt mutatták, hogy a szellemi feladat végzése több szellemi erőfeszítést igényelt amikor a levegő CO<sub>2</sub> koncentrációja 3000 ppm-re emelkedett. Kimutattuk, hogy a személyek közérzete romlik és koncentrálóképesége hanyatlik, mikor 2-3 órát töltenek olyan zárt térben, ahol a levegő CO<sub>2</sub> koncentrációja 3000 ppm, vagy magasabb. A kiértékelés során bemutatott diagrammokban szereplő átlagértékek egyes személyek mérési eredményeiben jelentős változást takarnak.

A kutatási eredményeket felhasználva és alkalmazva olyan levegőminőségi határértéket határoztam meg komfortterekre, mely értéket átlépve szignifikánsan romlik a zárt térben tartózkodók közérzete és szellemi teljesítőképessége. Ez jelentős hatással van a frisslevegő mennyiségére, és ezen keresztül a klímatechnikai rendszerek üzemeltetési költségeire.

A kutatási munka eddigi eredményeit felhasználva további kutatások végezhetőek ebben a témakörben:

- zárt térben alkalmazott burkolóanyagok és a CO<sub>2</sub> koncentráció hatásának együttes vizsgálata a közérzetre és a szellemi munkavégzésre laboratóriumi mérésekkel,
- a fenti kutatások eredményeinek ellenőrzése helyszíni mérések elvégzésével.

## PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

### I. Folyóiratcikkek

1. L. Herczeg., T. Hrustinszky, L. Kajtár.: Comfort in Closed Spaces According to Thermal Comfort and Indoor Air Quality. Budapest, 2000. Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering, 2000. 44/2, pp. 249-265.
2. Kajtár L., Herczeg L.: Komfortterek hőérzeti méretezése és számítógépes szimulációja. Budapest 1999. Magyar Épületgépészet, XLVIII. évfolyam, 1999/6. szám, pp. 11-18.
3. Bánhidi L., Zöld A., Csoknyai T., Herczeg L., Hrustinszky T., Kalmár F.: A dinamikus hőmérsékletváltozás szubjektív hatása. Budapest 2000. Magyar Épületgépészet, XLIX. évfolyam, 2000/3. szám, pp. 5-12.
4. Kajtár L., Herczeg L., Láng E.: A szén-dioxid hatása az ember közérzetére és a munkavégzés teljesítményére. Budapest 2004. Magyar Épületgépészet, LIII. évfolyam, 2004/7. szám, pp. 11-17.
5. Kajtár L., Herczeg L., Láng E.: A szén-dioxid hatása az ember közérzetére és a munkavégzés teljesítményére. Budapest 2004. Egészségtudomány, XLVIII. évfolyam, 2004/4. szám, pp. 270-282.
6. Kajtár L., Herczeg L.: A szén-dioxid hatása az ember közérzetére és a munkavégzés teljesítményére. Budapest 2004. HKL Hűtő-, klíma- és légtechnikai épületgépészeti szaklap, II. évfolyam, 7. szám, pp. 14-17.
7. Kajtár L., Hrustinszky T., Herczeg L.: Épületek vizsgálata a levegőminőség oldaláról. Budapest 2004. Téglá szaklap, III. évfolyam, 4. szám, pp 14.
8. Kajtár L., Herczeg L., Hrustinszky T.: Épületek vizsgálata a levegőminőség oldaláról. Bp. 2005. LV évfolyam, I. szám Magyar Építőipar, 43-47 p.

### II. Nemzetközi részvételű konferencia kiadványában megjelent idegen nyelvű előadás

9. L. Herczeg, L. Kajtár: MEASUREMENT OF AIR QUALITY COMFORT IN CLOSED SPACES. Budapest, 2000. GÉPÉSZET 2000, Proceedings of Second Conference on Mechanical Engineering, Volume 2., pp. 378-382.
10. L. Bánhidi, A. Zöld, T. Csoknyai, L. Herczeg, T. Hrustinszky, F. Kalmár: Influenta variatiei dinamice a temperaturii interioare asupra confortului termic. Timisoara – Romania, 2000. április 6-7. Instalatiile pentru constructii si confortul Ambiental nemzetközi konferencia kiadvány, pp. 132-139.
11. L. Bánhidi, A. Zöld, T. Csoknyai, L. Herczeg, T. Hrustinszky, F. Kalmár: Impact of indoor temperature fluctuation on thermal comfort feeling. Healthy Buildings 2000, Helsinki.
12. Herczeg L., Kajtár L.: Zárt Terek Levegőminőségi Komfortjának Mérési Lehetőségei. Miskolc, 2001 március 1-2. Microcad 2001 International Scientific Conference kiadvány, Section B: Geoinformatics, Environment Protection kötet, pp. 141-145.
13. L. Herczeg, L. Kajtár: Influence of CO<sub>2</sub> Concentration on Comfort Places. Timisoara – Romania, 2001. április 26-27. Instalatiile pentru constructii si confortul Ambiental nemzetközi konferencia kiadvány, pp. 66-71.

14. L. Herczeg, L. Kajtár, E. Láng.: Influence of CO<sub>2</sub> Concentration on Office Work Intensity and Human Well-being. Sttrbské Pleso – Szlovákia, 2001. International Conference Indoor Climate of Buildings, Health, Comfort and Productivity vs Cost Effective Operation of HVACR kiadvány, pp. 111-120.
15. L. Kajtár, L. Herczeg, E. Láng.: Influence of CO<sub>2</sub> Concentration on Office Work Intensity and Human Well-being. Budapest, 2002. GÉPÉSZET 2002, Proceedings of Third Conference on Mechanical Engineering, Volume 1., pp. 357-361.
16. L. Kajtár, L. Herczeg, E. Láng.: Examination of Influence of CO<sub>2</sub> Concentration by Scientific Methods in Laboratory. Volgograd 2002 szeptember 25-27. International Conference „Quality of Indoor Air and Environment”.
17. L. Kajtár, L. Herczeg, E. Láng.: Examination of influence of CO<sub>2</sub> concentration by scientific methods in the laboratory. Singarore, 2003. december 7-11. Healthy Buildings 2003, 7<sup>th</sup> International Conference Proceedings, Volume 3., pp. 176-181.
18. L. Kajtár, L. Herczeg, T. Hrustinszky, L. Bánhidi: Influence of Carbon-Dioxide Pollutant on Human Well-Being and Work Intensity. Lisboa, 2006. June 4-8. HB 2006 Healthy Buildings, Proceedings Volume I. 85-90 p. CD 6p.
19. L. Kajtár, L. Herczeg, T. Hrustinszky, A. Leitner: High Quality Thermal Environment by Chilled Ceiling in Office Buildings. Helsinki, 2007. June 10-14. WellBeing Indoors Clima 2007 Conference, Abstract Book 390 p., CD 6p.

### **III. Magyar nyelvű, kiadványban megjelent konferencia-előadás**

20. Kajtár L., Herczeg L., Láng E.: A szén-dioxid hatása az ember közérzetére és a munkavégzés teljesítményére. Budapest, 2004. március 4-5. 16. Fűtés- és légtechnikai konferencia CD kiadvány
21. Kajtár L., Leitner A., Herczeg L., Gräff J.: Klímaközpontok energiafelhasználásának elemzése valószínűségelméleti alapon. Budapest, 2006. máj.10-12. International Conference on Energy Performance of Building Directive, 18. Fűtés- és légtechnikai nemzetközi konferencia.

### **IV. Csak szóban elhangzott és poszter előadások**

22. Herczeg L.: Zárt terek hőérzeti és levegőminőségi komfortja. Szóbeli előadás, GTE, Vegyipari gépek Tagozat, Elnökségi ülés, 2001. május 8., csak szóban elhangzott előadás.
23. Herczeg L., Kajtár L.: CO<sub>2</sub> koncentráció hatása a levegő minőségére. Ipari Nyílt Nap a Műegyetemen. 2001. február 28., poszter előadás

## **IRODALOMJEGYZÉK**

### Szabványok, előírások

- [1] 25/2000 EüM-SzCsM rendelet
- [2] ASHRAE Handbook, Fundamentals 1997. Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air – Conditioning Engineers
- [3] DIN 1946/2 Raumluftechnik. Gesundheitstechnische Anforderungen.
- [4] Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings. Report No.11.
- [5] MSZ-04. 135/1-82. Légtechnikai berendezések. Általános előírások.

- [6] MSZ 21461/1-1988. Munkahelyek levegőtisztasági követelményei. Vegyi anyagok.
- [7] MSZ 21461/2-1992. Munkahelyek levegőtisztasági követelményei. Szálló porok.
- [8] MSZ 21875/2. Munkahelyek fűtésének és szellőztetésének munkavédelmi követelményei. A szennyezőanyagok eltávolítása a munkahelyi légtérből.
- [9] MSZ CR 1752:2000 Ventilation for buildings - Design criteria for the indoor environment.

#### OTKA zárójelentések

- [10] Klímatisztált terek levegőminőségének biztosítása, klímatechnikai rendszerek levegőminőségi követelményei, értékelési módszere. Bp. 2002, OTKA zárójelentés T 029451, Témavezető: Dr. Kajtár László
- [11] Belső levegő minőség és szennyezőanyag kibocsátás értékelési és mérési módszerének kidolgozása. Bp. 2005, OTKA zárójelentés T 037596, Témavezető: Dr. Kajtár László.

#### Egyéb publikációk

- [12] Akaike, H. (1969) Fitting autoregressive models for prediction. *Ann. Inst. Statist. Math.* 21:243-247.
- [13] Akselrod, S. (1988). Spectral analysis of fluctuations in cardiovascular parameters: a quantitative tool for the investigation of autonomic control. *TIPS*, January, 9: 6-9, Elsevier Publications, Cambridge.
- [14] Akselrod, S., Gordon, D., Madwed, J.B., Snidman, N.C., Shannon, D.C., & Cohen, R.J. (1985). Hemodynamic regulation: investigation by spectral analysis. *Am. Journal of Physiology*, 249, H867-H875.
- [15] Akselrod, S., Gordon, D., Ubel, F.D., Shannon, D.C., & Cohen, R.J. (1981). Power spectrum analysis of heart rate fluctuations: A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science*, 213, 220-222.
- [16] Andrews, F., J. Morgan, J. Sonquist, and L. Klein. 1973. Multiple classification analysis, 2nd ed. Ann Arbor: University of Michigan
- [17] Bálint P.: Orvosi Élettan. Medicina Könyvkiadó. Bp. 1981.
- [18] Bánhidi L.: Ember, épület, energia. Akadémiai Kiadó. Bp. 1994.
- [19] Bánhidi L. - Kajtár L.: Komfortelmélet. Bp. 2000. Egyetemi Tankönyv, Egyetemi Kiadó 436 p.
- [20] Bolla, M., Krámlí A. 2005. Statisztikai következtetések elmélete, Typotex Kiadó, Budapest
- [21] Eckberg, D. L., Grossman, P., Kaufmann, P. G., Malik, M., Nagaraja, H. N., Porges, S. W., Saul J. P., Stone, P. H. and van der Molen, M. W. (1997) Heart rate variability: Origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34: 623-648.
- [22] Fanger, P.O., Wargocki, P., (2002) Increased office productivity through improved indoor air quality. Proc. of Fifth International HVAC&R Technology Symposium, Istanbul, 29 April - 1 May (on CD).
- [23] G.A. Ferguson: Statistical Analysis in Psychology and Education (1988) The Guilford press. New York, London.
- [24] Garbai, L., Némethi, B. (2000) Az épületgépészet tudományos problémái, Magyar Épületgépészet 2000. 49/3 p.3-4. Hungary

- [25] Goto, T., Toftum, J., Fanger, P.O., Yoshino, H., (2003) Transient thermal sensation and comfort resulting from adjustment of clothing insulation. Proceedings of Healthy Buildings 2003, Singapore, Vol. 1, p. 835-840.
- [26] Gray, A. H., Wong, D. Y. (1980) The Burg Algorithm for LPC Speech Analysis Synthesis. IEEE Tr. ASSP., Vol. ASSP-28, No. 6. p. 609-615.
- [27] Hrustinszky T.-Kajtár L. (2000) Computerized simulation of indoor air quality, Proceedings of second conference on mechanical engineering, GÉPÉSZET 2000, Volume 2. 383-387 p. Hungary.
- [28] Hyndman, B.W., Kitney, R.I., and Sayers, B.McA. (1971). Spontaneous rhythms in physiological control systems. Nature, 233, 5B18: 339
- [29] Itakura, F., Saito, S., (1969). Speech Analyzis Synthesis Systems based on the Partial Autocorrelation Coefficient. Acoust. Soc. of Japan Meating, Oct., 1969
- [30] Itoh, Y., Hayashi, Y., Tsukui, I., Saito, S. (1989). Heart rate variability and subjective mental workload in flight task. In Smith and Salvany (Eds). Work with Computers: Organizational, Management, Stress and Health aspects. Elsevier Science Publishers B V. Amsterdam
- [31] Izsó, L. and Láng, E. (2000) Heart period variability as a mental effort monitor in Human Computer Interaction. Behaviour and Information Technology. 19. No. 4. 297-306.
- [32] Lajos Izsó (2001) Developing evaluation Methodologies for Human-Computer Interaction. Delft University Press, 2600 MG Delft, The Netherlands.
- [33] Kaczmarczyk, J., Melikov, A., Bolashikov, Z., Nikolaev, L., Fanger, P.O., (2004) Thermal sensation and comfort with five different air terminal devices for personalized ventilation. Proceedings of Roomvent 2004, Coimbra, Portugal, on CD ROM.
- [34] Kajtár L. - Erdősi I. - Bakó-Biró Zs. (2000) Thermal and air quality comfort of office buildings based on new principles of dimensioning in Hungary. Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering 2000. 44/2 265-274 p., Hungary.
- [35] Kajtár L.-Erdősi I.-Bakó-Biró Zs. (2001) Thermal and Air Quality comfort in the Hungarian Office Buildings. Miami Beach, USA. Proceedings of the Second NSF International Conference on Indoor Air Health, 270-278 p.
- [36] Kajtár L.-Hrustinszky T. (2001) Measurements of Indoor Air Quality and Emission of Indoor Materials, International Conference on Health, Comfort and Productivity vs. Cost Effective Operation of HVACR proceedings, Strybské Pleso, Slovakia.
- [37] Kajtár L.-Hrustinszky T. (2002) Measurements of Indoor Air Quality and Emission of Indoor Materials, Proceedings of the third conference on mechanical engineering, GÉPÉSZET 2002, Volume 1. 362-366 p. Hungary.
- [38] Kajtár L.-Hrustinszky T. (2003) Investigation of indoor air quality and emission of indoor used materials in Hungary, 7<sup>th</sup> International Conference Healthy Buildings 2003. Singapore, Proceedings Volume 3. 752-757p.
- [39] Kalsbeek, J.W.H. and Ettema, J.H. (1963) Scored regularity of the heart rate pattern and the measurement of perceptual or mental load. Ergonomics, 6, 306
- [40] Kay, S.M. and Marple, S.L. (1981) Spectrum Analysis - A Modern Perspective. Proceedings of the IEEE, vol 69, No11.
- [41] E. Láng, N. Szilágyi (1991) Significance and assessment of autonomic indices in cardiovascular reactions. Acta Physiol. Hung. Vol. 78 (3) pp 241-260.



- [42] Láng, E., Szilágyi, N., Métneki, J. and Weisz, J. (1992) Effects of mental load on the spectral components of heart period variability in twins. *Acta biochim. Biophys. Hung.* 26: (1-4), pp 111-120.
- [43] Eszter Láng and György Horváth (1994) Integrated System for Ambulatory Cardio-respiratory data acquisition and Spectral analysis (ISAX) User's manual Budapest.
- [44] Láng E., Bánhidi, L., Antalovits, M., Izsó, L., Mitsányi, A., Zsuffa, A., Magyar, Z., Horváth, Gy., Slezsák, I., Majoros, A., Dombi, I., Molnár, L. (1994): A complex psychophysiological method to assess environmental effects (- temperature, illumination, sound -) on objective and subjective parameters of humans in simulated work setting. "Healthy Buildings'94". Proceedings of the 3rd International Conference (Budapest, Hungary, 22-25. August, 1994) vol2., pp 799-803. Eds: L. Bánhidi, J. Farkas, Z. Magyar, P. Rudnai.
- [45] Láng, E., G. Horváth, and I. Slezsák (1997) Integrated system for ambulatory cardio-respiratory data acquisition and spectral analysis. World Congress of Medical Physics and Biomedical Engineering, Nice 14-19 September, 1997. *Medical and Biological Engineering and Computing*, Vol 35, Supplement Part1, p118.
- [46] E. Láng, P. Caminal, G. Horváth, R. Jané, M. Vallverdu, I. Slezsák, and A. Bayés de Luna (1998) Spectral analysis of heart period variance (HPV) - a tool to stratify risk following myocardial infarction. *Journal of Medical Engineering and Technology*, Vol 22, No 6 pp 248-256.
- [47] Eszter Láng, L. Izsó, G. Horváth, I. Slezsák, Judit Kelemen, and G. Bálint (2001) Integrated system for ambulatory measurement and spectral analysis of heart period variance – a non-invasive tool to assess autonomic balance 22<sup>nd</sup> international Conference of the Stress and Anxiety Research Society (STAR) Palma de Mallorca Spain, 12-14 July 2001.
- [48] Leithe W (1968) *Die Analyse der Luft und ihrer Verunreinigungen*. Wissensch. Verlagsges. mbH.
- [49] Lombardi, F., Sandrone, G., Pernpruner, S., Sala, R., Garimoldi, M., Cerutti, S., Baselli, G., Pagani, M., Malliani, A. (1987). Heart rate variability as an index of sympathovagal interaction after acute myocardial infarction. *The American Journal of Cardiology*, 60: 1239-1245
- [50] Luczak, H. and Laurig, W. (1973). Analysis of heart rate variability. *Ergonomics*, 16, 85-97
- [51] Mulder, G. and Mulder-Hajonides van der Meulen, W.R.E.H. (1973). Mental load and the measurement of heart rate variability. *Ergonomics*, 16, 69-83
- [52] Mulder, G. (1980) "The heart of mental effort", Ph.D. Thesis, University of Groningen.
- [53] Mulder, G. (1985). Attention, effort, and sinusarrhythmia: how far are we? In J.F. Orlebeke et al.(Eds). *The psychophysiology of cardiovascular control* (pp407-424). New-York: Plenum Press
- [54] Mulder, G. (1986). Mental effort and its measurement. In G.R.J. Hockey, A.W.K. Gaillard, M. Coles (Eds.) *Energetics in information procesing* .Dordrecht, Reidel, pp175-198
- [55] Mulder, G. ,Mulder L.J.M., Meijman T.F., Veldman. J. B. P., van Roon A.M. (2000). A psychophysiological approach to working conditions. In R.W. Backs and W. Boucsein (Eds.) *Engineering Psychophysiology*. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Mahwah, New Jersey, London pp139159.

- [56] Mulder, L. J. M. (1988) Assessment of cardiovascular reactivity by means of spectral analysis. Ph.D. thesis (Groningen, University of Groningen).
- [57] Mulder, L.J.M., van Roon A.M. , Veldman. J. B. P., Elgerma, A.F., Mulder, G. (1995) Respiratory pattern, invested effort, and variability in heart rate and blood pressure during performance of mental task. In M. Di Rienzo, G. Mancia, G. Parati, A. Pedotti, and A. Zanchetti (Eds.) Computer analysis of cardiovascular signals. Amsterdam. IOS press
- [58] M. V. Jokl (2000) Evaluation of Indoor Air Quality Using the Decibel Concept Based on Carbon Dioxide and TVOC. *Building and Environment* 35 (2000), pp. 677-697.
- [59] Nakagawa, T., Wargocki, P., Sanabe, S., Weschler, C.J., Baginska, S., Bakó-Biró, Z., Fanger, P.O., (2003) Chemical emission rates from personal computers. *Proceedings of Healthy Buildings 2003, Singapore, Vol. 1*, pp. 468-473.
- [60] Olesen, B.W., (2003) International standards for the indoor environment. Where are we and do they apply to Asian countries?. *Proceedings of Healthy Buildings 2003, Singapore, Vol. 1*, pp. 104-117.
- [61] Pagani, M., Lombardi, F., Guzzetti, S., Rimoldi, O., Sandrone, G., Malfatto, G., Dell'Orto, S., Piccaluga, E., Turiel, M., Baselli, G., Cerutti, S. and Malliani, A. (1986). Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympathovagal interaction in man and conscious dog. *Circ. Res.*, 59: 178-193
- [62] Pagani, M., Furlan, R., Pizzinelli, P., Crivellaro, W., Cerutti, S. and Malliani, A. (1989) Spectral analysis of R-R and arterial pressure variabilities to assess sympatho-vagal interaction during mental stress in humans. *J.Hypertension*.7, 14-15
- [63] Pettenkofer, M.v.: Über den Luftwechsel in Wohngebäuden. Literarisch-Artistische Anstalt der J.G. Gottaschen Buchhandlung. München, 1858.
- [64] Pinkpank, T. and Wandke, H. (1995). Mental effort with the use of different dialogue techniques in human-computer interaction. *Zeitschrift für Psychologie*, 203, 119-137.
- [65] Pomeranz, B., Macaulay, R.J.B., Caudill, M.A., Kutz, I., Adam, D., Gordon, D., Kilborn, K.M., Barger, A.C., Shannon, D.C., Cohen, R.J. and Benson, H. (1985). Assessment of autonomic functions in humans by heart rate spectral analysis. *Am. J. Physiol.*, 248; (Heart and Circ. Physiol., 17), H151-H153
- [66] R. Rosenthal and R. Rosnow: Contrast Analysis. Cambridge University Press. Cambridge (1987)
- [67] Rohmert, W., Laurig, W., Philipp, U., Luczak, H. (1973). Heart rate variability and work load measurement. *Ergonomics*, 16: 33-44
- [68] Sayers, B. McA. (1971) The analysis of cardiac interbeat interval sequences and the effect of mental work load. *Proceedings of the Royal Society for Medicine*, 64: 707-710
- [69] Sayers, B. McA. (1973) Analysis of heart rate variability. *Ergonomics*, 16, 17-32
- [70] Searle, S. R. 1966. Matrix algebra for the biological sciences. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [71] Searle, S. R. 1971. Linear Models. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [72] SPSS Advanced Statistics 7.0 update (1996). Library of Congress Catalog Card Number 95-072794
- [73] Stewart, G. W. 1973. Introduction to matrix computations. New York: Academic Press.

- [74] Tham, K.W., Willem, H.C., Sekhar, S.C., Wyon, D.P., Wargocki, P., Fanger, P.O., (2003) Temperature and ventilation effects on the work performance of office workers (study of a call centre in the tropics). Proceedings of Healthy Buildings 2003, Singapore, Vol. 3, pp. 280-286.
- [75] Wargocki, P., Sabikova, J., Lagercrantz, L., Clausen, G., Fanger, P.O., (2002) Comparison between full- and small-scale sensory assessments of air quality. Proc. of Indoor Air 2002, Monterey, Vol. 2, pp. 566-571.
- [76] Wargocki, P., Bakó-Biró, Z., Clausen, G., Fanger, P.O., (2002) Air quality in a simulated office environment as a result of reducing pollution sources and increasing ventilation. Energy and Buildings, 34, 775-783.
- [77] Weise, F., Heydenreich, F. and Runge, U. (1987). Contributions of sympathetic and vagal mechanisms to the genesis of heart rate fluctuations during orthostatic load: a spectral analysis. J. Auton. Nerv. Syst., 21: 127-134
- [78] Wiethoff, M. (1997) Task analysis is heart work. The investigation of heart rate variability: a tool for analysis in cognitive work. PhD Thesis. Delft: Delft University Press
- [79] Womack, B. F. (1971) The analysis of respiratory sinus arrhythmia using spectral analysis and digital filtering. IEEE Trans. Biomed. Eng., 18: 399-409
- [80] Wyon, D. P., Bánhidi, L. (2003) A minta nagyságának kérdése a belső környezeti hatásokkal foglalkozó kutatásokban. Magyar Épületgépészet, LII. 2003/12., pp: 9-10.