



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Gépészmérnöki Kar
Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék**

Irodatermek belső levegő minőségének értékelése

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

Doktori értekezés *

Készítette:

Herczeg Levente

Témavezető:

**Dr. Kajtár László
egyetemi docens**

**Budapest
2008.**

* A dolgozat bírálatai és a védésről készült jegyzőkönyv a védés után a BME Gépészmérnöki Kar Dékáni Hivatalában megtekinthetők



**Budapest University of Technology and Economics
Faculty of Mechanical Engineering
Department of Building Service Engineering and Process Engineering**

Evaluation of indoor air quality in offices

**Influence of carbon-dioxide concentration on human well-being
and intensity of office work**

Ph. D. dissertation

Author:

Levente Herczeg

Supervisor:

**László Kajtár Dr.
associate professor**

**Budapest
2008.**

NYILATKOZAT

Alulírott Herczeg Levente kijelentem, hogy ezt a doktori értekezést magam készítettem és abban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, amelyet szó szerint, vagy azonos tartalomban, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2008. május 30.

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVETETÉS, ELŐZMÉNYEK.....	6
2.	CÉLKITŰZÉSEK, A MŰSZAKI PROBLÉMA FELVETÉSE ÉS MEGOLDÁSÁNAK DEFINIÁLÁSA	9
3.	ELMÉLETI ALAPOK.....	12
3.1.	A szén-dioxid élettani hatásai	12
3.2.	A légzés frisslevegő igénye	16
3.3.	A mérésnél alkalmazott fizikai modell	20
3.4.	A matematikai modell, statisztikai analízis	23
4.	A LABORATÓRIUMI MÉRÉSEK TERVEZÉSE.....	29
4.1.	A mérőállás felépítése [19].....	29
4.2.	A vizsgálat menete, vizsgálati személyek.....	32
4.3.	Objektív és szubjektív paraméterek analízise.....	36
4.3.1.	<i>Objektív mikroklímás jellemzők mérése.....</i>	36
4.3.2.	<i>Szubjektív komfort-érzet vizsgálata</i>	36
4.3.3.	<i>Objektív fiziológiai paraméterek</i>	41
4.3.4.	<i>Szellemi munkavégzés teljesítményének vizsgálata</i>	42
5.	AZ ELSŐ, 2001-BEN VÉGZETT MÉRÉSSOROZAT EREDMÉNYEI.....	43
5.1.	Objektív mikroklímás jellemzők méréseinek eredményei.....	43
5.2.	A szubjektív komfort- érzéssel kapcsolatos eredmények	48
5.3.	Objektív fiziológiai paraméterekkel kapcsolatos eredmények	53
5.4.	A szellemi munkavégzés teljesítményének eredményei.....	56
5.5.	Az első kísérlet-sorozatban kapott eredmények összefoglalása	57
6.	A MÁSODIK, 2002-BEN VÉGZETT MÉRÉSSOROZAT EREDMÉNYEI.....	58
6.1.	Objektív mikroklímás jellemzők méréseinek eredményei.....	58
6.2.	A szubjektív komfort- érzéssel kapcsolatos eredmények	63
6.3.	Objektív fiziológiai paraméterekkel kapcsolatos eredmények	68
6.4.	A szellemi munkavégzés teljesítményének eredményei.....	71
6.5.	A második kísérlet-sorozatban kapott eredmények összefoglalása.....	72
7.	ÖSSZEFOGLALÁS	73
8.	TÉZISEK	75

8.1.	A CO ₂ koncentráció hatása az ember közérzetére irodai munka esetén.....	75
8.2.	A CO ₂ koncentráció hatása az ember objektív fiziológiai jellemzőire.....	75
8.3.	A CO ₂ koncentráció hatása az irodai munka teljesítményére és minőségére 3000 ppm CO ₂ koncentráció alatt.....	75
8.4.	A szükséges frisslevegő igény meghatározása	76
9.	SUMMARY	77
10.	THESISES	78
10.1.	The impact of CO ₂ concentration on human well-being in case of office work	78
10.2.	The effect of CO ₂ concentration on the objective physiological parameters of the human body.....	78
10.3.	The effect of CO ₂ concentration on the intensity and the quality of mental work under 3000 ppm CO ₂ concentration	78
10.4.	The determination of the necessary fresh air	79
	PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE	80
	IRODALOMJEGYZÉK	84

I. Melléklet: Az első, 2001-ben végzett mérési sorozat részletes eredményei

II. Melléklet: A második, 2002-ben végzett mérési sorozat részletes eredményei

III. Melléklet: Az ISAX rendszer ismertetése

1. BEVETETÉS, 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 BLM szakterület úttörője Max von Pettenkoffert, aki 1858-ban egy müncheni orvosi lapban [63] ismertette kutatási eredményeit. A vizsgálatai során elsősorban a komfortterekben kialakuló CO₂ koncentráció alapján határozta meg azt az átlagos szén-dioxid szintet, mely alatt még biztosított a jó közérzet. A belső levegő minőség tudományterület elméleti alapjait a Dán Műszaki Egyetemen tanító Fanger professzor dolgozta ki [19] [22] [25] [59].

A későbbi kutatások során a komfortterekben kialakuló CO₂ koncentráció értékelésére különböző mérőszámokat vezettek be (pl.: decicarbodiox M.V. Jokl alapján [58], Yaglou-féle pszichofizikai skála), melyek főként a magas szén-dioxid koncentráció esetén kialakuló savanykás szag érzékelésén alapulnak. A témában végzett további kutatások mindig több, levegőminőséget befolyásoló tényező együttes hatását vizsgálták, így kizárólag a szén-dioxid befolyását nem lehetett meghatározni [22].

A zárt terek komfortja alatt általában a hőérzeti, levegőminőségi, akusztikai és világítástechnikai komfortot értjük. A megfelelő komfort biztosításában a különböző funkciójú helyiségek közül kiemelt szerepet kap az iroda, mert a dolgozók huzamosabb ideig tartózkodnak zárt térben és szellemi munkát végeznek.

Komfortterek klimatizálása során elsődleges feladat a helyiségben tartózkodó személyek számára a kellemes belső mikroklíma biztosítása. Ez elsősorban az ember hőkomfortjának a teljesítését jelenti. Kellemes hőkomfortról akkor beszélhetünk, ha az ember a környezetében a levegő hőmérsékletét, nedvességtartalmát és sebességét, valamint az eredő sugárzási hőmérsékletet optimálisnak találja. Ekkor a bent tartózkodó személy a környezetében lévő levegőnél sem melegebbet, sem hidegebbet, sem nedvesebbet, sem szárazabbat nem kíván [19].

Külföldi előírások és szabványok a hőérzeti komfort biztosítása mellett a levegő szükséges minőségét is rögzítik. [3] [4] [6] [7] [8] [9] A tartózkodási zónában a levegő minőségének a biztosítása alatt elegendő mennyiségű és megfelelő tisztaságú friss levegő bevezetését értjük a benttartózkodó személyek számára. Magyarországon a BLM-re vonatkozó műszaki előírások és szabványok még nem teljes körűek. Ennek a következménye a klimatizált terekben dolgozóktól hallott gyakori panaszok: a levegő "szagát" kellemetlennek tartják, "levegőhiányuk" van, esetleg fejfájással küszködnek [34].

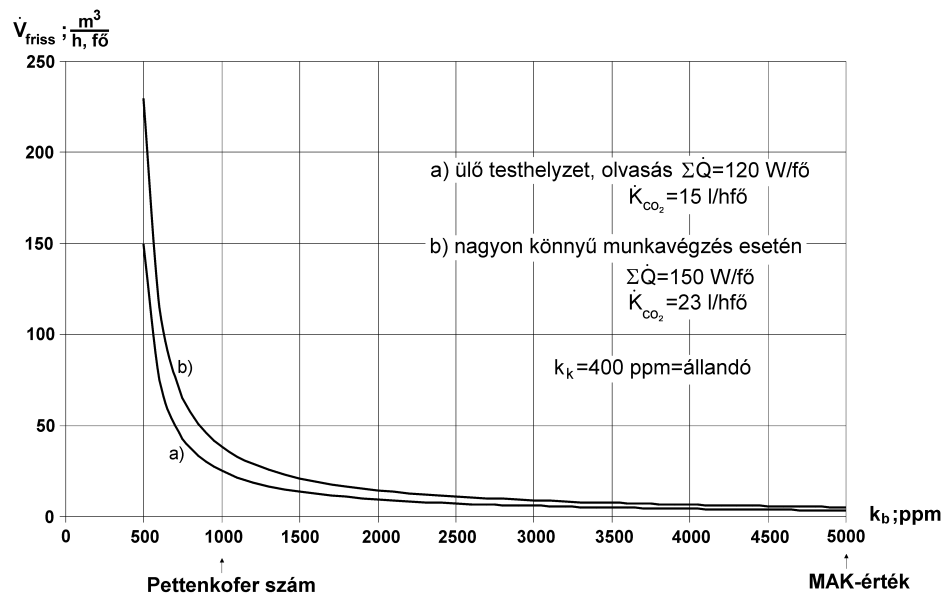
A szennyezőanyagok közül az egyik kiemelt tényező az emberi metabolizmus mellékterméke a szén-dioxidot. A komfortterekben tartózkodó ember metabolizmusának (anyagcsere) feltétele a szervezet oxigén felvétele és szén-dioxid leadása. A kilélegzett levegő CO₂ tartalma nagyobb mint a bevezetett külső levegőé, emiatt a zárt tér szén-dioxid koncentrációja növekszik. A CO₂ koncentráció befolyásolja az emberek közérzetét. Zárt terekben az előírt CO₂ koncentrációt megfelelő frisslevegő utánpótlással tudjuk elérni.

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 teljesítőképességének 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 CO₂ koncentráció felett kezd jelentősen romlani a

közérzet és a teljesítőképesség. 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 találhatóak, ezek $20\text{-}120\text{ m}^3/\text{h},\text{fő}$ [3] [5] [9] között változnak. Az adott peremfeltételek melletti frisslevegő mennyiség meghatározásához használható diagramot szemlélteti az 1.1. ábra (Kajtár, 2000).



1.1. ábra

A légzés frisslevegő igénye [19]

2. CÉLKITŰZÉSEK, A MŰSZAKI PROBLÉMA FELVETÉSE ÉS MEGOLDÁSÁNAK DEFINIÁLÁSA

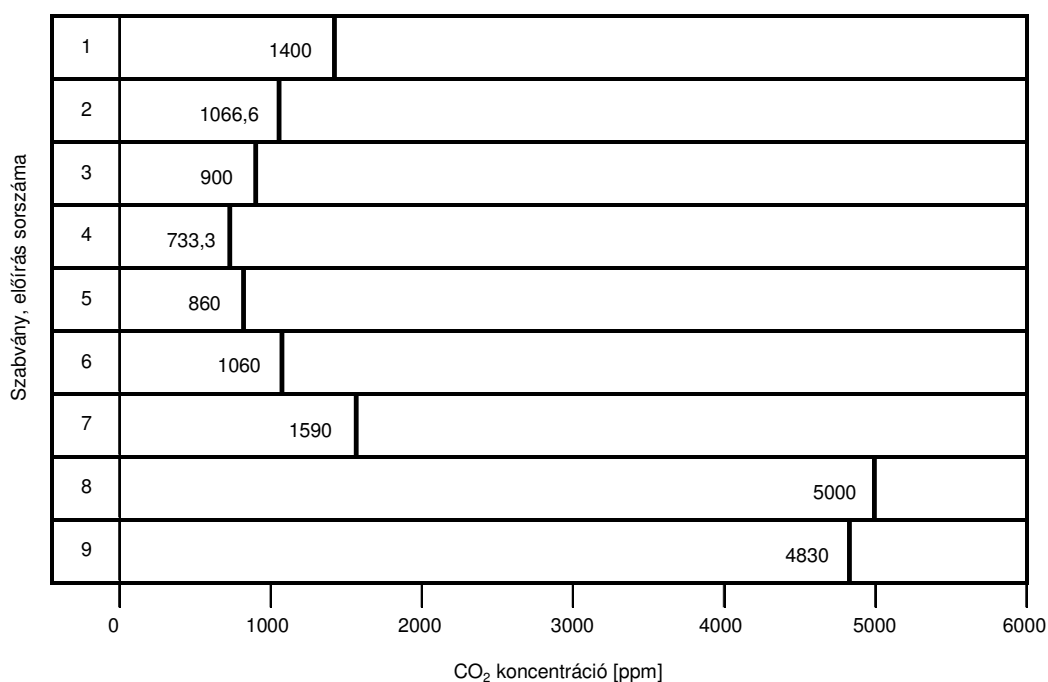
Tekintettel a nagyon hiányos külföldi és hazai kutatási és mérési eredményekre, célul tűztem ki, hogy laboratóriumi körülmények között megvizsgálom a szén-dioxid hatását a szellemi munkavégzésre és a közérzetre. Ezzel a problémával elsősorban irodaházak klimatizálása és az irodai munkavégzés során találkozunk.

A hazai és a nemzetközi szabványok és előírások által zárt terekben megengedett maximális CO₂ koncentrációt tartalmazza a 2.1. táblázat és diagram.

2.1. táblázat

A zárt terekben megengedett maximális CO₂ koncentráció

Sorszám	Szabvány, előírás megnevezése	Megengedett CO ₂ koncentráció [ppm]
Komfortterek előírásai		
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
Munkahelyek előírásai		
8	MAK érték	5000
9	MSZ 21461 1-2	4830

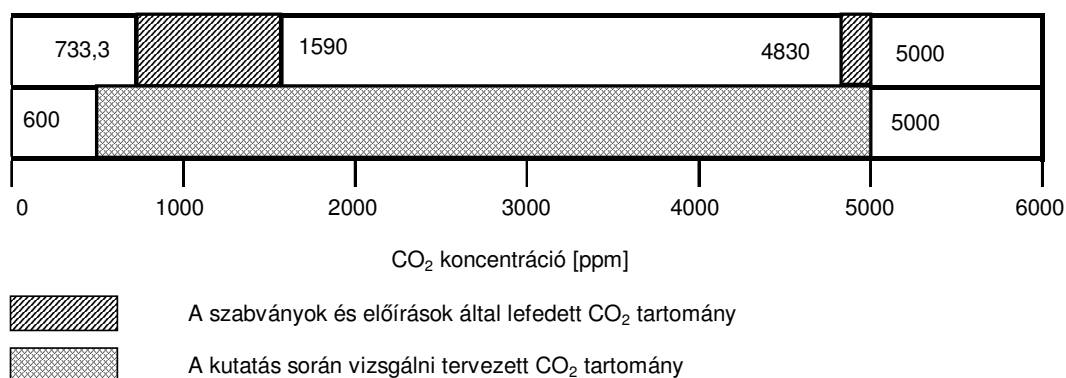


2.1. ábra

A zárt terekben megengedett maximális CO₂ koncentráció

A fenti táblázatból és diagrammból 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. ELMÉLETI ALAPOK

3.1. A szén-dioxid élettani hatásai

A komfortterekben tartózkodó ember metabolizmusának (anyagcsere) feltétele a szervezet oxigén felvétele és széndioxid leadása. A kilélegzett levegőben a széndioxid tartalom nagyobb mint a külső levegőben. Emiatt a zárt tér széndioxid koncentrációja növekszik.

A légzés során a levegő a felső légutakon, majd az alsó légutakon keresztül jut a tüdőbe. A tüdő két tüdőfélből áll, a jobboldali tüdőfélből három, a bal oldali tüdőfélből kettő tüdőleány található. A felső légút részei az orr-illetve szájüreg, a garat és a gége. Nyugodt légzés során csukott szájjal lélegzünk, fokozott légzés során a belélegzett levegő a nyitott szájon át is a garatba juthat. A felső légutak a belélegzett levegőt megszűrik. A nagyobb szennyeződések az orrlyuk szőrszálain rakódnak le, a kisebbeket ($d > 10 \mu\text{m}$) pedig az ornyálkahártyája köti meg. A még kisebb részecskék ($2 \mu\text{m} < d < 10 \mu\text{m}$) pedig a garat, gége és a tracheák nyálkahártyájában tapadnak meg. A felső légutak további feladata a belélegzett levegő megfelelő hőmérsékletének és nedvességtartalmának biztosítása. [19]

A légzési folyamat során a mellkas térfogata megváltozik a légzőizmok hatására. A tüdő mozgása passzívan követi a mellkas térfogatváltozását.

Az oxigén felvétel a tüdő alveolusaiban történik. Nyugodt légzés esetén a légzési levegő térfogata (respiratio) kb. 500 ml. Percenként az átlagos légzésszám 14-18. Így a légzési perctérfogat (1 perc alatt belélegzett levegő) értéke 7-9 l. Az alveolusok átmérője 150-300 μm , darabszámuk 300 millió és a légzőhólyagocskák összfelülete így 70-80 m^2 .

Az oxigén felvétele és szállítása két módon történik:

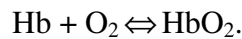
- oldódás a vérben:

$$p_{\text{O}_2 \text{ foly}} < > p_{\text{O}_2 \text{ levegő}},$$

- haemoglobin oxigénfelvétele során.

A tüdőből a vér szállítja az oxigént a szövetekbe, illetve a széndioxidot vissza. Az oxigén a parciális nyomáskülönbségnek megfelelően az alveolaris térből ($p_{O_2} = 13,3$ kPa) a tüdő kapillárisokban áramló vénás jellegű vérbe ($p_{O_2} = 5,3$ kPa) diffundál. A tüdő oxigéndiffúziós konstansa 167 ml/min. kPa. Erős izommunka esetén a fokozott oxigén-szállítást a diffúziós konstans emelkedése (600 ml/min. kPa) teszi lehetővé. A szövetekhez jutó artériás vérben a parciális oxigén nyomás 12,6 kPa. [17]

A vér lényegesen több oxigént tartalmaz, mint a parciális nyomások alapján számolható. Ennek oka a haemoglobin. A haemoglobin (Hb) molekulatömege 68 000. Egy Hb-molekula négy atom vasat tartalmaz és négy molekula oxigént képes megkötni. A haemoglobin egyedülálló tulajdonsága, hogy reverzibilis módon képes oxigént felvenni és leadni. A folyamat leíró egyenlete:



Parciális oxigénnyomás a vérben és a vér oxigén-tartalma:

	Artériás vér	Vénás vér
p_{O_2} ; kPa	12,6	5,3
O_2 tartalom tf %		
teljes	20	15
fizikailag oldott	0,3	0,15
Telítettség tf %	97	70

Az adatok is jól szemléltetik, hogy a vérben oldott oxigén részaránya mindössze ~ 10%. [19]

A széndioxid felvétele és szállítása szintén két módon történik:

- oldódás a vérben:

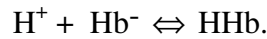
$$p_{\text{CO}_2 \text{ foly}} < > p_{\text{CO}_2 \text{ levegő}},$$

- kémiai kötés.

A tüdőbe érkező vénás vérben a széndioxid parciális nyomása 6,1 kPa, az alveolaris levegőben a széndioxid parciális nyomása 5,3 kPa. A diffúziós állandó értéke 3 000 ml/min kPa.

A vérben a széndioxid részaránya szintén nagyobb, mint a diffúzió folyamat alapján számolható. Ennek oka, hogy az izommunka során a szövetekben keletkezett széndioxid a vörös vércellékbe diffundál.

A lejátszódó kémiai folyamatok:



A vörös vércellékben a széndioxidból és a vízből szénsav képződik. A reakció eredményeképpen a vörös vércellékben belül megnő a HCO_3^- koncentráció. A tüdőben az ellenkező irányú folyamatok játszódnak le, az alsó nyílaknak megfelelően.

A vér széndioxid tartalma és a parciális nyomás értékek [19]:

	Artériás vér	Vénás vér
pCO_2 ; kPa	5,3	6,1
CO_2 tartalom tf %		
teljes	48	52
fizikailag oldott	2,6	3,0

Az ember CO_2 kibocsátására vonatkozó adatokat a 3.1. táblázat tartalmazza.

3.1. táblázat

Az ember széndioxid termelése [19]

Tevékenység	$\sum \dot{Q}$ W/fő	légzési \dot{V} m^3/h	\dot{V}_{CO_2} l/h	O_2 fogy. l/h
Nyugalmi állapot	-	0,3	12	14
I. ül, olvas	120	0,375	15	18
II. nagyon könnyű munka	150	0,575	23	27
III. könnyű munka	190	0,75	30	35
IV. nehéz munka	>270	>0,75	>30	>35

Max von Pettenkofer a XIX. század közepén vizsgálta higiéniai szempontból a komfortterek levegőjét. Az 1858-ban megjelent publikációjában a belső levegő minőségét a levegő CO₂ tartalma alapján értékelte. Kimutatta, hogy a lakások, iskolák, előadótermek levegőjének összetétele eltér a külső levegő összetételétől. A külső levegőben a szén-dioxid koncentráció 0,03-0,04 tf % (300-400 ppm). A lakásokban 0,09 tf %, míg előadótermekben lényegesen magasabb értékeket mért. Megállapította, hogy 0,1 tf % (1 000 ppm) maximális CO₂ tartalom a "jó levegő" kritériuma, amit Pettenkofer számnak nevez a szakirodalom [63].

Kutatók vizsgálták a levegő CO₂ koncentrációjának a hatását az emberre. A jellemző értékek [19]:

- | | |
|-------------------------------|--|
| • 1 000 ppm (0,1 tf %) | Pettenkofer szám, |
| • 25 000 ppm (2,5 %) | nincs még hatás, |
| • 30 000 ppm (3 %) | erős mély légzés, |
| • 40 000 ppm (4 %) | órákon át fejfájást, fülzúgást, szívdobogást, szédülésérzetet, pszichikai izgalmat okoz, |
| • 50 000 ppm (5 %) | 0,5-1 órán át halált okozhat, |
| • 80 000-100 000 ppm (8-10 %) | azonnali halál. |

A munkahelyeken megengedett CO₂ koncentráció:

- 5 000 ppm MAK (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration) érték,
- 9 000 mg/m³ 25/2000 EüM-SzCsM r. (ÁK koncentráció).

A CO₂ koncentráció hatását a légzési folyamatra a 3.2. táblázat tartalmazza. [19]

3.2. táblázat
A CO₂ koncentráció hatása a légzési folyamatra [19]

Belélegzett lev. CO ₂ térf. %	Resp. levegő cm ³	Légzésszám 1/min	Légzési perctérfogat l
0,03	440	16	7
1	500	16	8
2	560	16	9
5	1300	20	26
10,4	2500	35	76

3.2. A légzés frisslevegő igénye

Az állandó szennyezőanyag kibocsátású forrás fizikai modell alapján a légzés frisslevegőigénye:

$$V_{\dot{}} = \frac{K_{CO_2}}{k_{meg} - k_k} \quad \left[\frac{m^3}{h, f\ddot{o}} \right]. \quad (1)$$

ahol:

K_{CO_2} ; $\left[\frac{m^3}{h, f\ddot{o}} \right]$: az ember CO₂ kibocsátása,

k_{meg} ; $\left[\frac{m^3}{m^3} \right]$: a CO₂ koncentráció megengedett értéke a komforttérben,

k_k ; $\left[\frac{m^3}{m^3} \right]$: a CO₂ koncentráció a külső levegőben.

Különböző jellegű munkavégzés esetén adódó frisslevegőigényt a 3.3. táblázat tartalmazza.

3.3. táblázat**Frisslevegő igény (m³/h,fő) [19]**

Tevékenységi szint	W/fő	Külső CO ₂ koncentráció Térf. %		
		0,03	0,04	0,05
I. ül, olvas	120	13	14	15
II. nagyon könnyű munka	150	19	21	23
III. könnyű munka	190	25	27	30

A hazai, már nem hatályos MSZ 04. 135/1-1982 szabvány szerint az előírt frisslevegő igény [5]:

20 m³/h,fő dohányzás nélkül,
30 m³/h,fő dohányzás esetén.

A később megjelent, már nem hatályos MSZ 21875-2-1991 szabvány a frisslevegőigényt pontosítja a munkavégzés jellege alapján (3.4. táblázat) [7].

3.4. táblázat**Frisslevegő igény munkavégzés alapján (m³/h,fő) [19]**

Munkavégzés	minimális frisslevegő igény m ³ /h,fő
szellemi munka	30
könnyű fizikai munka	30
közepesen nehéz fizikai munka	40
nehéz fizikai munka	50

A németországi előírások a fejadag mellett figyelembe veszik az egy főre jutó fajlagos alapterületet is (3.5. táblázat) [3].

3.5. táblázat

Fajlagos frisslevegőigény a DIN 1946/2 szerint [3]

Térfajta	Példa	Fejadag szerint m ³ /h	Alapterület szerint m ³ /m ² ,h
Munkatér	Kisterű iroda	40	4
	Nagyterű iroda	60	6
Rendezvény terek	Koncertterem	20	10-20
	Színház		
	Konferencia terem		
Oktatási terek	Olvasóterem	20	12
	Osztályterem	30	15
	Előadóterem		
Közönségforgalmi terek	Előadótér	20	3-12
	Vendéglő	30	8

A fenti értékekből számított frisslevegőigény közül mindig a nagyobbat kell választani! Dohányzás esetén személyenként 20 m³/h,fő -vel növelni kell a "fejadag" értékeket.

A jelenleg érvényben lévő **MSZ CR 1752** szabvány a belső levegőminőségi követelmények és a szennyezőanyag-terhelés alapján határozza meg a levegőminőségi szempontból szükséges frisslevegő térfogatáramot [9]:

$$v_{friss} = 10 \cdot \frac{G}{(c_b - c_k)\epsilon} \text{ [l/s]}, \quad (2)$$

ahol:

- G összes szennyezőanyag-terhelés a térben [olf], mely az ember és a berendezési tárgyak, burkolatok átlagos szennyezőanyag kibocsátásának összege,
- c_b a belső levegő minősége [decipol],
- c_k a külső levegő minősége [decipol],

- ε a szellőzés hatásossága [-].

Egy adott szennyezőanyag esetén, az egészségügyi szempontok figyelembevételével is előírhatjuk a szükséges frisslevegő mennyiségét:

$$V_{friss} = \frac{K}{k_b - k_k} \cdot \frac{1}{\varepsilon} \left[\frac{m^3}{h} \right], \quad (3)$$

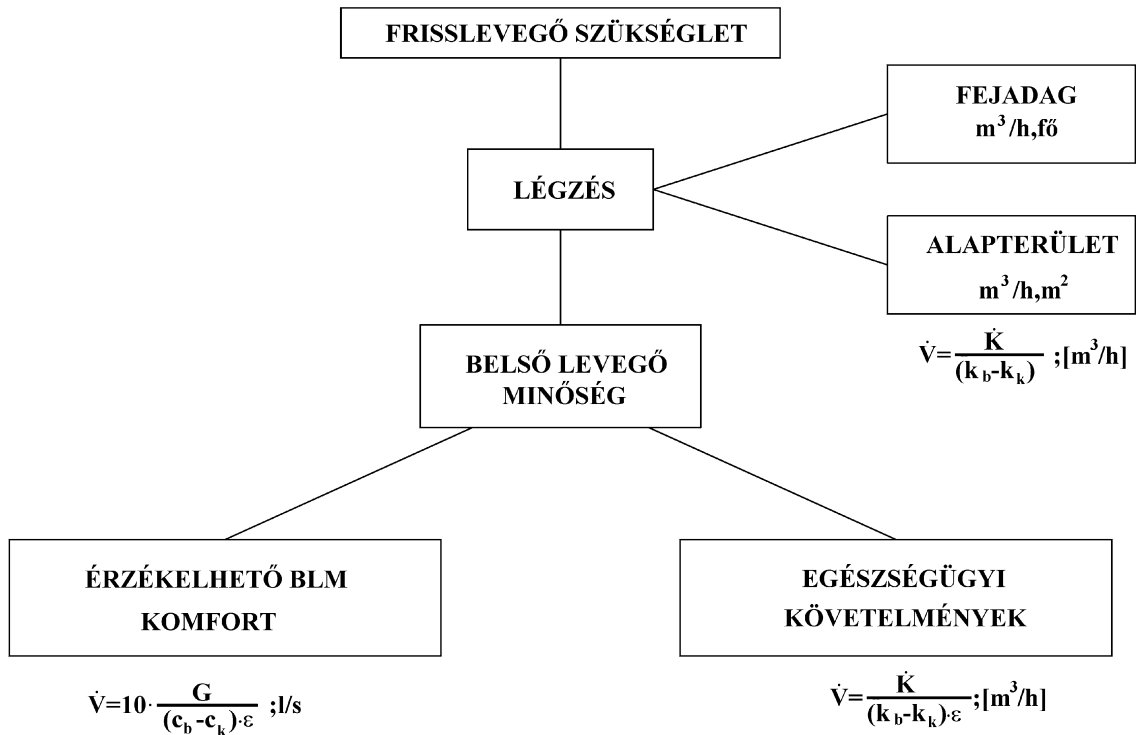
ahol:

- K : belső szennyezőanyag forrás erőssége [mg/h],
- k_b : helyiségben a legkritikusabb szennyezőanyag megengedhető maximális koncentrációja [mg/m^3],
- k_k : külső levegőben a legkritikusabb szennyezőanyag koncentrációja [mg/m^3],
- ε : a szellőzés hatásossága [-].

Összefoglalva, a komfortterek frisslevegő igényét az alábbi szempontok figyelembevételével lehet meghatározni:

- a légzés frisslevegő igénye:
fejadag módszer,
fajlagos alapterületre vonatkoztatott érték.
- a belső levegő minőség:
érezhető belső levegő minőség,
egészségügyi követelmények.

A belső levegő minőség hazai fogalomrendszerét Kajtár László dolgozta ki [19]. A méretezési szempontokat foglalja össze a 3.1. ábra.



3.1. ábra

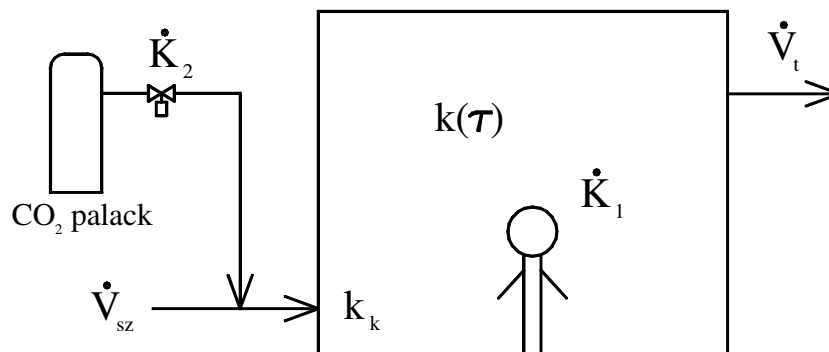
A frisslevegő szükséglet meghatározásának blokkvázlata [19]

3.3. A mérésnél alkalmazott fizikai modell

A vizsgálatok elvégzésénél és kiértékelésénél a zárt térben állandó kibocsátású szennyezőanyag forrás fizikai modelljét használtuk fel. A fizikai modell felépítését a 3.2. ábra szemlélteti, ahol:

- \dot{V}_{sz} : a szellőző levegő térfogatárama,
- \dot{V}_t : a távozó levegő térfogatárama,
- \dot{K}_1 : az ember szennyezőanyag kibocsátása,
- \dot{K}_2 : külső szennyezőanyag bevezetés,
- k_k : külső szennyezőanyag koncentráció,
- n : légcsereszám,

- $k(\tau)$: a szennyezőanyag koncentráció változása a térben.



3.2. ábra
A fizikai modell felépítése

Az alábbi egyszerűsítő feltételek írhatók fel:

- $\dot{V}_{sz} = \dot{V}_t = \text{állandó}$,
- $\dot{K}_1 = \text{állandó}$,
- $k = \text{állandó}$, állandósult állapotban,
- $k_k = \text{állandó}$,
- *tökéletes keveredést feltételezünk fel,*
- *nincsen helyi szennyezőanyag elvitel.*

A $d\tau$ időre vonatkozó szennyezőanyag mérleg:

$$\dot{V}_{sz} \cdot k_k \cdot d\tau + \dot{K}_1 \cdot d\tau - \dot{V}_{sz} \cdot k(\tau) \cdot d\tau = V_h \cdot dk. \quad (4)$$

ha a kezdeti feltétel:

- $\tau = 0$ esetén, $k = k_k$.

A differenciálegyenlet megoldása a változók szétválasztása utáni integrálással:

$$k(\tau) = k_k + \frac{K_1}{V_{sz}} (1 - e^{-n\tau}), \quad (5)$$

a koncentráció változás határértéke $\tau = \infty$ esetén:

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} k(\tau) = k_k + \frac{K_1}{V_{sz}}. \quad (6)$$

3.4. A matematikai modell, statisztikai analízis

A vizsgálat célja az volt, hogy szubjektív komfort-érzet jellemzői, az objektív fiziológiai paraméterek és a szellemi munkavégzés teljesítményének mérőszámai, megváltoznak-e különböző CO₂ koncentrációknál. A mérések eredményeinek kiértékeléséhez szórásanalízist végeztünk.

A szórásanalízis (ANOVA=ANalysis Of VAriance) modellek rugalmas statisztikai eszközök valamely kvantitatív (numerikus vagy intervallum skálájú) változónak (függő változó) egy vagy több nem feltétlenül kvantitatív változóval (független változókkal vagy faktorokkal) való kapcsolata kielemezésére. Arra vagyunk itt kíváncsiak, hogy van-e hatása a független változóknak a függő változóra illetve, hogy ez a hatás egyforma vagy különböző. A hatás, kapcsolat függvényyszerű feltárása akkor sem cél, ha a független változók is kvantitatívak lennének.

Az általunk alkalmazott egyszerű csoportosítás modellben adva van egy folytonos valószínűségi változó, és egyetlen faktorváltozó. Először a faktorváltozó értékei szerint a folytonos változó eseteit részekre bontjuk (cellák). A vizsgálat célja az, hogy ellenőrizzük azt a hipotézist, hogy az egyes csoportok átlagai azonosnak tekinthetők-e [20].

A szórásanalízis módszerek alkalmazásának az alábbi feltételei vannak:

- a függőváltozó eloszlásának *normális* eloszlásúnak kell lennie. Tehát tetszőleges kezeléshez tartozó mintának követnie kell a normális eloszlást;
- a minták szórásnégyzeteinek meg kell egyezniük. Ez azon múlik, hogy a kezelések eredményét azonos módon mérik-e;
- az egyes kezelésekhöz tartozó mintáknak függetleneknek kell lenniük.

A vizsgálatnak két fázisa van:

- először a minták várható értékeinek egyezésére vonatkozó null-hipotézist ellenőrizzük;
- másodsor, ha a null-hipotézist el kellett vetni, megvizsgáljuk, milyen kezelések között mutatkozik szignifikáns eltérés, és mi lehet ennek az oka.

A folytonos függő változót a módszer leírásában ξ -vel jelöltük. A változóra vett mintaelemek x_1, x_2, \dots, x_n , az η nominális változó értékei (a faktorszintek) az $1, 2, \dots, L$ kódszámok közül kerülnek ki. Az η segítségével az x_1, x_2, \dots, x_n mintát L csoportba osztjuk: $\left\{x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \dots, x_{n_1}^{(1)}\right\}, \left\{x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, \dots, x_{n_2}^{(2)}\right\}, \dots, \left\{x_1^{(L)}, x_2^{(L)}, \dots, x_{n_L}^{(L)}\right\}$. Pl. az első mintához ξ azon realizációi tartoznak, ahol $\eta=1$. A null-hipotézis az, hogy az L db minta várható értékei között nincs különbség. Tehát $H_0 : a_1 = a_2 = \dots = a_L$, ahol a_i az i -edik rész minta elméleti várhatóértéke. Az alapsokaságok eloszlását normálisnak tételezzük fel ismeretlen de azonos nagyságú szórásokkal. (A szórások egyezésének vizsgálatára *Bartlett*- vagy *Levene*-tesztek végezhetők.) Ha a minták normalitása nem tehető fel, akkor meg lehet próbálkozni a minta valamilyen transzformációjával, ami után az eloszlás már normálissá válik.

A próba végrehajtásához az alábbi statisztikák számolandók ki:

- $\bar{x}^{(i)} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_j^{(i)}$ ($i=1,2,\dots,L$) az egyes csoportok átlagai,
- $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{n_i} x_j^{(i)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^L n_i \bar{x}^{(i)}$ a teljes mintaátlag,
- $Q = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{n_i} (x_j^{(i)} - \bar{x})^2$ a teljes négyzetösszeg,
- $Q_k = \sum_{i=1}^L n_i (\bar{x}^{(i)} - \bar{x})^2$ a csoportok közötti négyzetösszeg (k =közötti),
- $Q_b = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{n_i} (x_j^{(i)} - \bar{x}^{(i)})^2$ a csoportokon belüli négyzetösszeg (b =belüli).

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

eloszlású $(L-1, n-L)$ szabadságfokokkal. Ez alapján F -próba szerkeszthető a null-hipotézisre. Ha a próbastatisztika érték túl nagy, azaz a szignifikancia-szint közel van 0-hoz, a csoportok átlagértékei között jelentős különbségek vannak. Ha a szignifikancia-

szint elég nagy, pl. nagyobb mint 0.1, a null-hipotézis, miszerint a csoportok átlagai között nincs különbség, elfogadható. (Heurisztikusan: azt vetettük össze, hogy a csoportok közötti szóródás sokkal kisebb-e, mint a csoportokon belüli szóródás.)

Ha H_0 -át el kell vetni, akkor lehetőség van az eltérések nagyságának megbecslésére pl. közösleges *Student*-próbateljesítményével. Az alapmintára vonatkozó normalitási feltételből következik, hogy az i -edik és j -edik csoportok elméleti várhatóértékei különbségére $a_i - a_j$ az alábbi konfidencia-intervallum szerkeszthető:

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

ahol t_{ε} a *Student* táblázatból az $1-\varepsilon$ szignifikancia-szinthez

és $n-L$ szabadsági fokhoz tartozó kritikus érték. A konfidencia intervallum éppen $1-\varepsilon$ valószínűséggel fedi le az $a_i - a_j$ eltérést. Ha a 0-t is körbefogja a konfidencia intervallum, akkor a két csoport várhatóértékei között nem tehetünk különbséget.

A fent említett klasszikus páronkénti t -próbateljesítmény mellett más tesztek is alkalmazhatóak pl. *Bonferroni*, *Tukey*, *Sidan*, *Sceffe*, *Duncan* stb. A post hoc vizsgálat megfelelő próbateljesítményének megválasztásához előzetesen meg kell állapítani *Bartlett*- vagy *Levene*-próbateljesítményével, hogy az L db minta szórásai egyenlőnek vagy különbözőnek tekinthetők-e [20].

A két mérésorozat során összesen tizenhatszor végeztük el az elemzést, különböző indexelt ξ függő változó esetében. Az ülések során mért jellemzők, melyeket normális eloszlású valószínűségi változókként értékeltünk ki, az alábbiak voltak:

A szubjektív komfort-érzet jellemzői:

- a Fanger skála szavazatai: ξ_1 ,
- a Hedonic skála szavazatai: ξ_2 ,
- a Levegőminőségi skála szavazatai: ξ_3 ,
- a Frissesség skála szavazatai: ξ_4 ,
- a Fáradtság skála szavazatai: ξ_5 ,
- a Koncentráció képesség skála szavazatai: ξ_6 ,
- a bőrfelületi hőérzet szubjektív pontszámok: ξ_7 ,

- az általános hőérzet szubjektív pontszámai: ξ_8 .

Az objektív fiziológiai paraméterek:

- szisztolés vérnyomás: ξ_9 ,
- diasztolés vérnyomás: ξ_{10} ,
- pulzusszám: ξ_{11} ,
- szív periódus: ξ_{12} ,
- szív periódus variancia: ξ_{13} ,
- bőrhőmérséklet: ξ_{14} .

A szellemi munkavégzés teljesítményének mérőszámai:

- elolvasott sorok száma: ξ_{15} ,
- talált hibák százalékos aránya: ξ_{16} .

A mérések során az η faktorváltozó a CO₂ koncentráció volt, amelynek $L=4$ szinten az alapbeállítási értékei:

- 2001-ben végzett méréseknél: η : 600, 1500, 2500, 5000 ppm,
- 2002-ben végzett méréseknél: η : 600, 1500, 3000, 4000 ppm.

A mérési körülményeket rögzítő objektív mikroklímás jellemzők, melyek a mérések során állandóak maradtak az alábbiak voltak:

- a belső levegő hőmérséklete,
- a belső levegő relatív nedvességtartalma,
- a falhőmérsékletek,
- a PMV érték.

A mérések kiértékelése során az ülések közötti, valamint az ülések folyamán jelentkező változások (azonos ülések mérései közötti különbségek) vizsgálatára egyszempontú szórásanalízist és általános lineáris modell kontraszt elemzését alkalmaztuk.

A kiértékelésnél tehát a nullhipotézis az, hogy a különböző CO₂ koncentrációk (η) nincsenek hatással a függő változóra (ξ), azaz:

$$H_0 : E[\xi_i|\eta = 600] = E[\xi_i|\eta = 1500] = E[\xi_i|\eta = 2500] = E[\xi_i|\eta = 5000] \quad (7)$$

az első mérésorozat esetén, és

$$H_0 : E[\xi_i|\eta = 600] = E[\xi_i|\eta = 1500] = E[\xi_i|\eta = 3000] = E[\xi_i|\eta = 4000] \quad (8)$$

a második mérésorozat esetén, ha $i = 1, \dots, 16$.

Az alternatív hipotézis minden esetben:

$$H_1 = \bar{H}_0, \quad (9)$$

a nullhipotézis logikai tagadása volt.

A nullhipotézis elvetése esetén, mivel a minták szórásai azonosaknak tekinthetők, *LSD* (**L**east **S**ignificant **D**ifference „*t*” test) kontrasztelemezést végeztünk a páronkénti eltérésekre, azaz a *t*-próbával teszteltük minden *i* index esetén az alábbi nullhipotéziseket:

$$E[\xi_i|\eta = k] = E[\xi_i|\eta = l], \quad (10)$$

ahol:

- $k, l \in \{600, 1500, 2500, 5000\}$ az első mérésorozat esetén,
- $k, l \in \{600, 1500, 3000, 4000\}$ a második mérésorozat esetén.

A mérési eredmények kiértékelésénél az eloszlásvizsgálatot elvégeztük, a minták eloszlását normálisnak vehetjük. A várható értékeknél a különbségeket akkor fogadtuk el szignifikánsnak, amikor a szignifikancia szint $p \leq 0,05$ volt. A fenti vizsgálatokat az SPSS 10 statisztikai programcsomag segítségével végeztük.

4. A LABORATÓRIUMI MÉRÉSEK TERVEZÉSE

4.1. A mérőállás felépítése [19]

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

A levegő minőségi követelmények miatt olyan falszerkezetet kell alkalmazni, melynek alacsony a szennyezőanyag (szag) kibocsátása. Erre a feladatra a nemzetközi gyakorlatban az alábbi anyagokat alkalmazzák:

- biztonsági üveg,
- rozsdamentes acéllemez,
- teflon bevonatú lemez,
- speciális műtő falszerkezet.

Ezek közül mi a műtőfalat alkalmaztuk.

A megfelelő tisztaságú szellőző levegő előállításához legalább kétfokozatú szűrést (G4 és F7) kell alkalmazni. A szűrőház anyaga a második fokozatnál rozsdamentes acéllemez és a légcsatornák is ebből készülnek. Igény esetén beépítésre kerülő harmadik szűrőfokozat steriliszűrő (H10-H11).

A magas légcsereszám ($n=50-90 \text{ h}^{-1}$) teszi lehetővé, hogy a különböző vizsgálatok esetén sem romlik a vizsgálókamrában érezhetően a levegő minőség. A levegő szagtalan marad. A létrehozott túlnyomás akadályozza meg a szennyezőanyag bejutását a külső, illetve körülvevő térből.

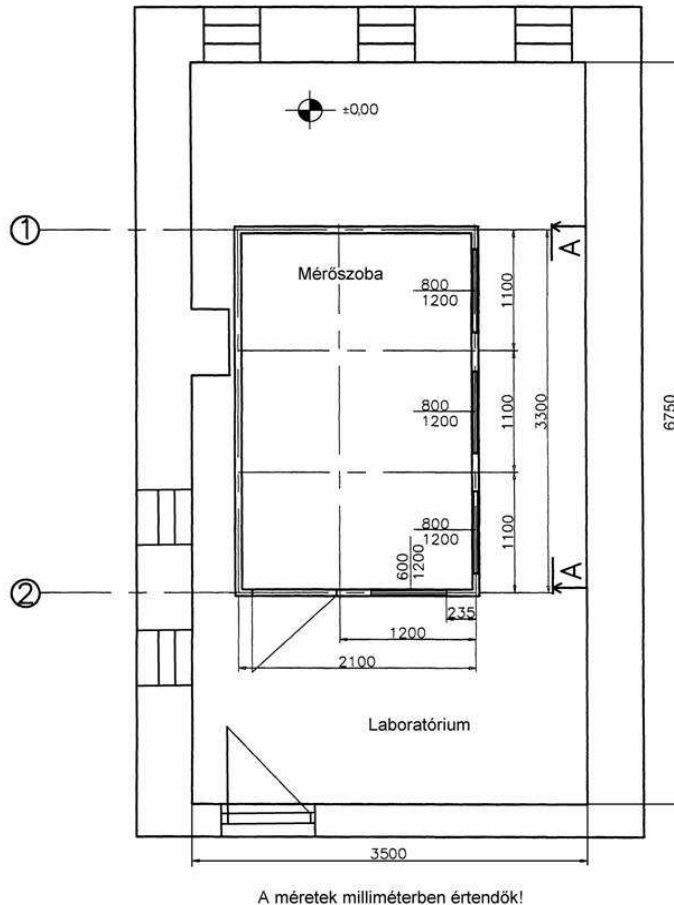
Mindezek figyelembevételével és a nemzetközi tapasztalatokra támaszkodva, építettük fel a Tanszéken a laboratóriumot. A tervezés során sokat segítettek Fanger, Fitzner professzorokkal és munkatársaikkal folytatott konzultációk és a helyszíni bejárások tapasztalatai.

A felépített vizsgáló kamra fő adatai:

- alapterület: $2,1 \times 3,3 \text{ m} = 6,9 \text{ m}^2$,

- belmagasság: 2,5 m,
- térfogat: 17,3 m³,
- szellőző levegő térfogatáram: 1 000 m³/h (maximum),
- légcsereszám: 57,8 l/h (maximum),
- szűrő fokozatok: G3, F7, H10.

A laboratórium alaprajzi elrendezését a fő méretekkel a 4.1. ábra mutatja.



A méretek milliméterben értendők!

4.1. ábra

A laboratórium alaprajzi elrendezése

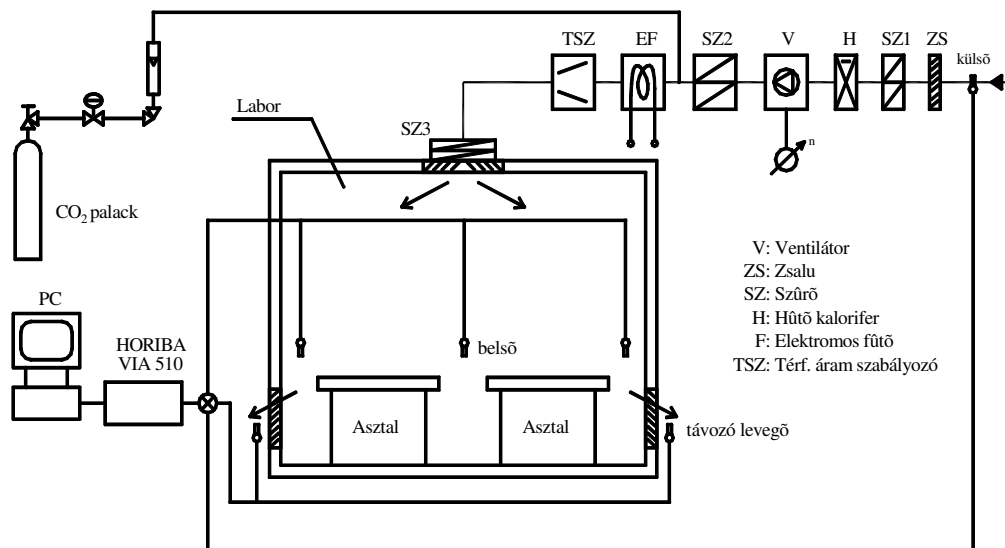
A kutatómunka feltételeit tovább javította egy HORIBA VIA-510 infravörös CO₂ gázanalizátor beszerzése. A műszer fő műszaki paraméterei:

- mérési tartományok: 0 - 1 000 ppm,
 0 - 2 500 ppm,
 0 - 6 000 ppm,
 0 - 10 000 ppm,

mérési pontosság: ± 1,0% a mérési tartomány felső határára vonatkoztatva. A mérés két párhuzamosan üzemelő infravörös sugárnyaláb segítségével történik. A fényforrás által

kibocsátott infravörös sugárnyaláb áthalad egy megszakítón (sopper) és a mérő, illetve referencia cellán. A mérés szempontjából közömbös hullámhosszú infravörös sugarakat a detektorba épített szűrők választják le. A mérőcellán áthaladó sugár részben elnyelődik a mérendő gázban és ezért a detektorba bejutó fény különbözik a referencia cellán áthaladó fénytől. Az interferencia hatások kiküszöbölését teszi lehetővé a fő és összehasonlító detektorok üzeme. A mérés automatikusan adatgyűjtővel történik. Így a helyszíni mérés eredményei tárolhatók és a kiértékelés PC-n elvégezhető.

A laboratóriumi mérés kapcsolási vázlatát az 4.2. ábra szemlélteti. A mérések során a befújt levegő mennyiségét állandó ($120 \text{ m}^3/\text{h}$) értéken tartottuk és a megfelelő CO_2 koncentráció beállítását a kapcsolási vázlat szerinti pontba juttatott belélegzésre alkalmas, 4.5-ös tisztaságú CO_2 gázzal állítottuk be. A laborban a CO_2 koncentráció értéke 600 ppm és 5000 ppm között változott.



4.2. ábra
A laboratóriumi mérőberendezés felépítése

4.2. A vizsgálat menete, vizsgálati személyek

A kutatómunka keretében a szén-dioxid koncentráció hatását vizsgáltuk a közérzetre és az irodai munka teljesítményére.

Az előző pontban bemutatott mérőálláson két méréssorozatot végeztünk:

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

A laboratóriumi mérések során az alábbi CO₂ 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 m³/h frisslevegőhöz (60 m³/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 4.1. táblázat tartalmazza. A külső levegő szén-dioxid koncentrációja 360 ppm volt.

4.1. táblázat

Szén-dioxid források a mérőszobában

Mérőszoba CO ₂ 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 (O₂ ≤ 25 vpm, N₂ ≤ 25 vpm, HC ≤ 1 vpm, CO ≤ 1 vpm, H₂O < 5 vpm) nagyon kis részarányuk miatt a mérés

eredményét nem befolyásolták. A nyomáscsökkentő és a többi armatúra nem szennyezték a szén-dioxid gázt, 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 légsebesség 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 Testotor 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 (részletes leírás a III. Mellékletben),
- vérnyomásmérő: csuklóra szerelhető,
- bőrfelület hőmérséklet mérő: TESTO T2.

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, ízületi 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 mérőalanynál ugyanaz volt a sorrend. A sorrend hatásának 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 CO₂ 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 CO₂ utánpótlás, az alanyok által kielégzett 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 CO₂ koncentráció helyett 3000 ppm, illetve 4000 ppm CO₂ 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 CO₂ 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.

4.3. Objektív és szubjektív paraméterek analízise

4.3.1. Objektív mikroklímás jellemzők mérése

Az objektív mikroklímás paraméterek közül az alábbiakat vizsgáltuk.

- CO₂ koncentráció: a vizsgálatot egy HORIBA VIA 510 infravörös gázanalizátorral folytattuk, melyhez a Tanszék kifejlesztett egy számítógéphez illeszthető adatgyűjtőt. A mérés az ülés teljes időtartama alatt folyt, 30 másodperces mintavételezési intervallumokkal. A beállított koncentrációk: 600 ppm (nincs CO₂ utánpótlás), 1500 ppm, 2500 ppm, 3000 ppm és 4000 ppm, 5000 ppm.
- PMV, PPD értékek vizsgálata: a hőérzetre vonatkozó objektív mérést egy PMV mérővel végeztük. A mérés folyamatos volt, a mérési adatokat 70 percenként regisztráltuk.
- Levegő hőmérséklet és relatív nedvességtartalom vizsgálatát két hőmérséklet és egy hőmérséklet és nedvességtartalom adatgyűjtővel végeztük. A műszerek közül egy a szellőző levegő, egy a távozó levegő hőmérsékletét mérte, továbbá a tartózkodási zóna hőmérsékletét és nedvességtartalmát mértük. A mérés az ülések teljes időtartama alatt folyt, 30 másodperces mintavételezési intervallumokkal.
- Falfelületi hőmérséklet mérését egy lézeres felületi hőmérsékletmérővel végeztük, mértük a fal, a padló és a födém hőmérsékletét. A mérés folyamatos volt, a mérési adatokat 70 percenként regisztráltuk.

4.3.2. 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. Egy ülés alatt háromszor (elején, szünet előtt, végén) végeztek értékelést a Fanger skálán. A kérdőívet a 4.3. ábra szemlélteti.

KÉRDŐÍV

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

+1 — egyértelműen elfogadható

+0 — még éppen elfogadható
-0 — még éppen nem fogadható el





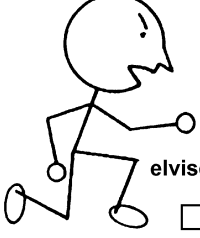
-1 — egyértelműen nem fogadható el

4.3. ábra
Fanger skála kérdőíve

- Hedonic skálás vizsgálat során az alanyok ülés alatti érzetét vizsgáltuk kellemes (5) és elviselhetetlen (1) tartományok között. A mérést háromszor (ülés elején, szünetek előtt, végén) végeztük el. A kérdőívet a 4.4. ábra szemlélteti.

1. Érzékel Ön valamit? igen nem

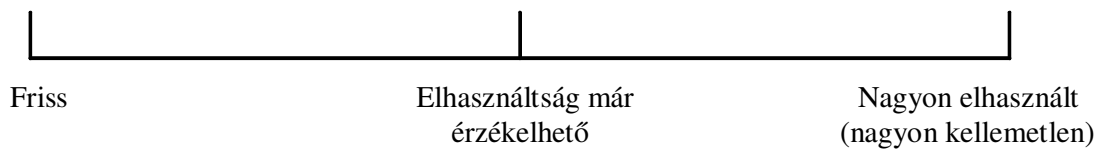
Ha igen, akkor jelölje a megfelelő ábra alatt, melyik fejezi ki legjobban az Ön érzetét.

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

4.4. ábra

Hedonic skála kérdőíve

- Levegőminőségi skála alapján a levegő minősítése. Analóg skála segítségével értékeltük az aktuális levegő frissességét. A skála végpontjaihoz a friss és nagyon kellemetlen érzet társult és háromszor (mérés elején, szünetek előtt, végén) rögzítettük egy ülés alatt. A kérdőívet a 4.5. ábra szemlélteti.



4.5 ábra

Levegőminőségi skála kérdőíve

- Közérzeti állapot vizsgálata során vizsgáltuk az alanyok frissességének, fáradtságának és koncentráció képességének változását az ülés során. A mérést 70 percenként végeztük 3 különböző skálán. A kérdőívet a 4.6. ábra szemlélteti.

1.



Nagyon frissnek,
élénknek,
tettrekésznek
érezem magam.

Nagyon levertnek,
kedvetlennek,
lehangoltnak
érezem magam.

2.



Nagyon lazának,
nyugodtnak
érezem magam.

Nagyon feszültnak,
idegesnek
érezem magam.

3.



Egyáltalán nem vagyok,
fáradt, kimerült.

Nagyon fáradt,
kimerült vagyok.

4.



Könnyen tudok a
munkára
koncentrálni.

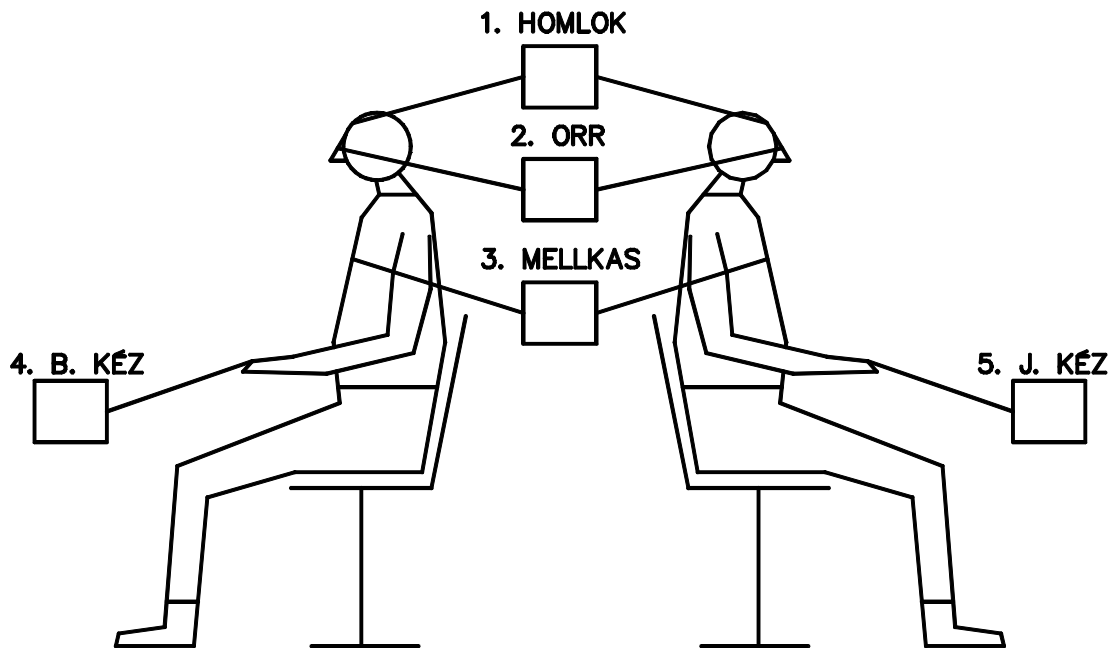
Alig tudok a
munkára
koncentrálni.

4.6. ábra

Közérzeti skála kérdőíve

- 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. A kérdőívet a 4.9. ábra szemlélteti.
- Általános hőérzet szubjektív vizsgálata során az alanyok hőérzetére kérdeztünk rá, ülésenként kétszer (elején és a végén). A kérdőívet a 4.7. ábra szemlélteti.

Kérem jelölje be az ábrán a jelölt testrészére a hőérzetének megfelelő számértéket:



Milyennek találja a környezetét hőérzeti szempontból?

A válaszok számértékei:

nagyon meleg	+3
meleg	+2
kellemesen meleg	+1
kellemes	0
kellemesen hűvös	- 1
hideg	- 2
nagyon hideg	- 3

4.7. ábra

Szubjektív hőérzeti vizsgálat kérdőíve

4.3.3. *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.

Valamennyi ülésnél a vérnyomást és pulzus- számot három alkalommal mértük (az ülés kezdetén, a végén, és a munkaperiódusok közötti szünetben) digitális vérnyomásmérő segítségével. A bőrhőmérsékletet ülésenként kétszer mértük (az ülés kezdetén és végén). Hőmérséklet mérési pontjai: homlok, orr, mellkas, és mindkét kéz.

A kutatómunka során, az egyes ülések alatt folyamatosan regisztráltuk az u.n. szívperiódusokat (SzP) azaz RR-intervallumokat (Az SzP az elektrokardiogram két szomszédos R hulláma között eltelt idő, amely gyakorlatilag két szomszédos szívdobbanás között eltelt időt jelenti). Az egymásután következő szívperiódusok varianciáját (SzPV) gyakorlatilag a szívet beidegző szimpatikus ill. paraszimpatikus (vágusz) idegek aktivitása, aktivitásának egyensúlya határozza meg. A SZPV spektrális analízise lehetővé teszi a szívre ható szimpatikus ill. paraszimpatikus hatások szétválasztását, így betekintést enged az autonóm idegrendszer aktuális egyensúlyába. A 70-es években írták le először, hogy az SzP rövid távú ingadozásai (másodperc-perc nagyságrend) az SzPV spektrum három spektrális csúcsában koncentrálnak. [15] [28] [50] [51] [68] [79]

Az RR intervallumok sorozatában a légzéssel szinkron lezajló oszcilláció a spektrumban egy csúcsot eredményez, az un. magasfrekvenciás (MF) vagy légzési csúcsot, e komponens centrális frekvenciája a légzési frekvenciának felel meg. Embernél ez jellegzetesen a 150-450 mHz tartományban található. Ez az MF csúcs a jól ismert légzési szinusz aritmia jelenséget tükrözi. A légzés szaporaságának változásával ez a szinuszaritmia megfelelő spektrális komponens is változtatja a helyét. Pl. percenként 12 légzésszámnál a csúcs központi frekvenciája 200 mHz-nél helyezkedik

el. Alacsonyabb légzés számnál balra, magasabb légzés számnál jobbra tolódik e komponens (percenként 24-es légzés számnál az MF csúcs központi frekvenciája 400 mHz nál van. Az SzPV magasfrekvenciás (MF) komponensét (150-450 mHz) kizárólag a vagusz ideg mediálja.

Az SzPV középfrekvenciás (KF) komponensét (70-150 mHz) a szimpatikus idegek és a vagusz ideg közösen mediálják. [13] [15] [49] [61] [65] [77] Mivel e két spektrális komponens közül az egyik kizárólag a vagusz, a másik vagusz és szimpatikus ideg közvetítésével jön létre, a komponensek arányából a szimpatikus - paraszimpatikus kimenetek egymáshoz viszonyított aktivitására lehet következtetni. [49] [61]

Az SzPV alacsonyfrekvenciás (AF) komponense (10 -70 mHz) valószínűleg a termoregulációban játszik szerepet, valamint a renin-angiotenzin rendszerrel áll kapcsolatban. Mediációjában a vagusz idegnek nincs szerepe. Az SZPV spektrális analíziséről részletesebben lásd: Láng és Szilágyi (1991) [41], Eckber és mts.(1997) [21].

Mentális terhelésnél, különösen döntést igénylő feladatok megoldásakor, erőteljesen csökken a szívritmus varianciája. [39] [50] [51] [67] Sayers a szívperiódus spektrum 50-től 150 mHz-ig terjedő sávját, Mulder pedig 70-140 mHz-ig terjedő sávját találta a szellemi terhelés iránt a legérzékenyebbek. [55] [68] [69]

A munkalélektan területén az SzPV-át immár két évtizede használják a szellemi erőfeszítés mércéjéül. Mivel a KF-komponens depressziója a befektetett mentális erőfeszítést tükrözi. [30] [31] [32] [42] [64] [78] Feltételeztük, hogy kedvezőtlen körülmények között (a levegő magasabb CO₂ koncentrációja) szellemi feladat nagyobb szellemi erőfeszítést igényelhet.

A CO₂ koncentrációnak a közérzetre és az irodai munka teljesítményére gyakorolt hatásának vizsgálatánál az ISAX rendszert és a SzPV középfrekvenciás komponensének elemzését még nem használták, ez egy teljesen új módszer, amit mi próbáltunk ki.

4.3.4. 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 (menyiségi szempont), részben a talált hibáknak a tényleges hibákhoz viszonyított aránya (minőségi szempont) határozta meg.

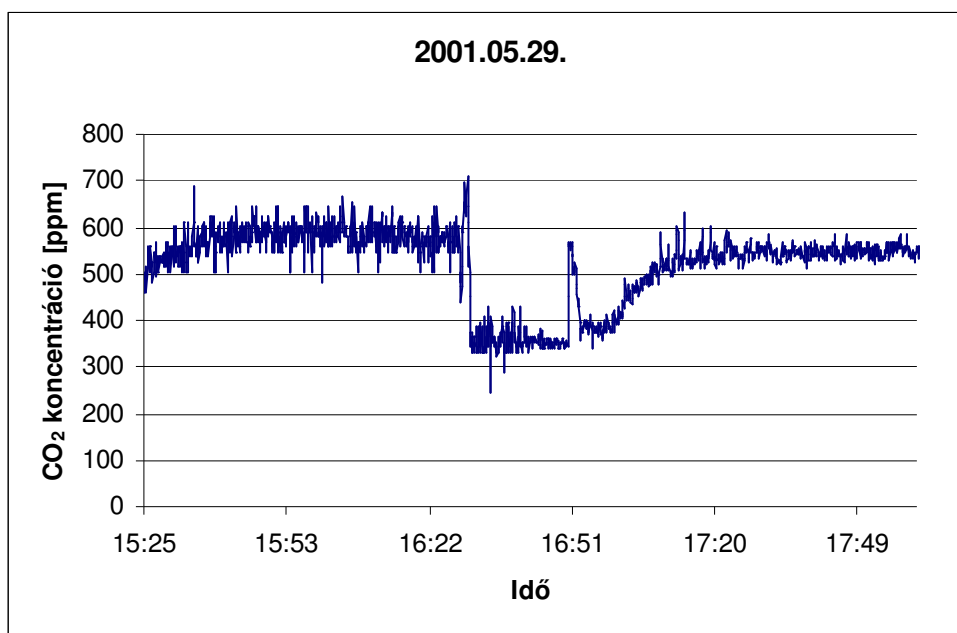
5. AZ ELSŐ, 2001-BEN VÉGZETT MÉRÉSSOROZAT EREDMÉNYEI

5.1. Objektív mikroklímás jellemzők méréseinek eredményei

CO₂ koncentráció

A vizsgálatok során négy különböző CO₂ koncentrációt (600-5000 ppm) állítottunk be, mellyel 5 napon keresztül folytattunk vizsgálatokat. Az ábrákon jól láthatóak az egyes munkaperiódusok és szünetek váltakozása (magas és alacsony CO₂ koncentráció értékek).

A 600 ppm CO₂ koncentrációhoz tartozó mérési eredményeket egy napra az alábbi ábra, egész hétre a táblázat tartalmazza.



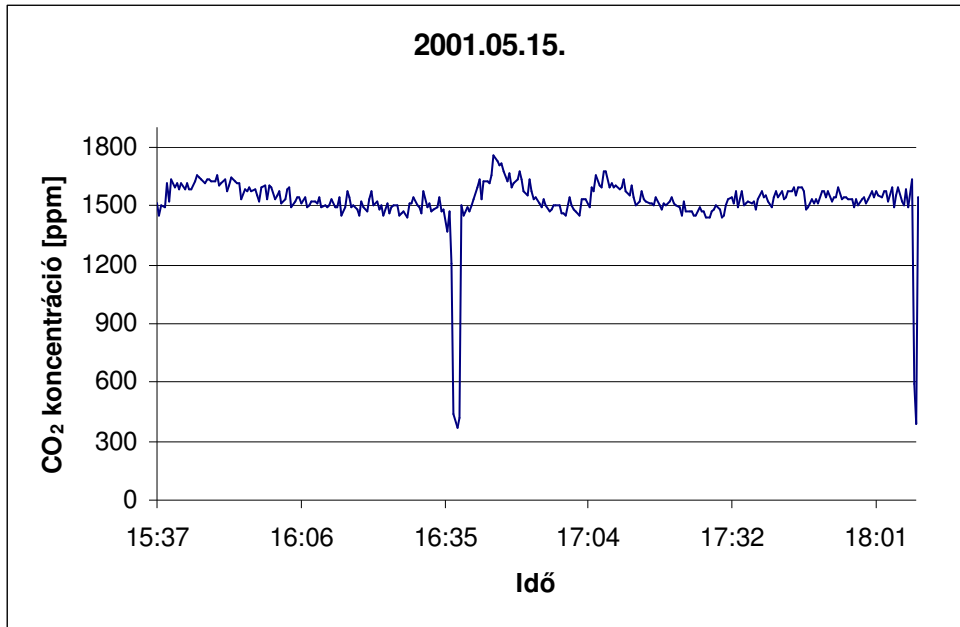
Dátum	CO ₂ koncentráció [ppm]			
	III. ülés első fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.29	575,80	32,65	461,91	687,50
2001.05.30	590,39	32,03	360,94	657,42
2001.05.31	589,03	25,19	356,64	635,94
2001.06.01	695,63	54,36	352,34	807,81
2001.06.11	665,18	77,03	335,16	825,00

Dátum	CO ₂ koncentráció [ppm]			
	III. ülés második fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.29	534,36	31,29	403,91	631,64
2001.05.30	580,73	39,02	391,02	648,83
2001.05.31	563,35	34,07	421,09	635,94
2001.06.01	707,80	76,83	421,09	902,34
2001.06.11	631,69	98,60	335,16	825,00

5.1. ábra

CO₂ koncentráció mérési eredmények (alapérték 600 ppm)

Az 1500 ppm CO₂ koncentrációhoz tartozó mérési eredményeket egy napra az alábbi ábra, egész hétre a táblázat tartalmazza.



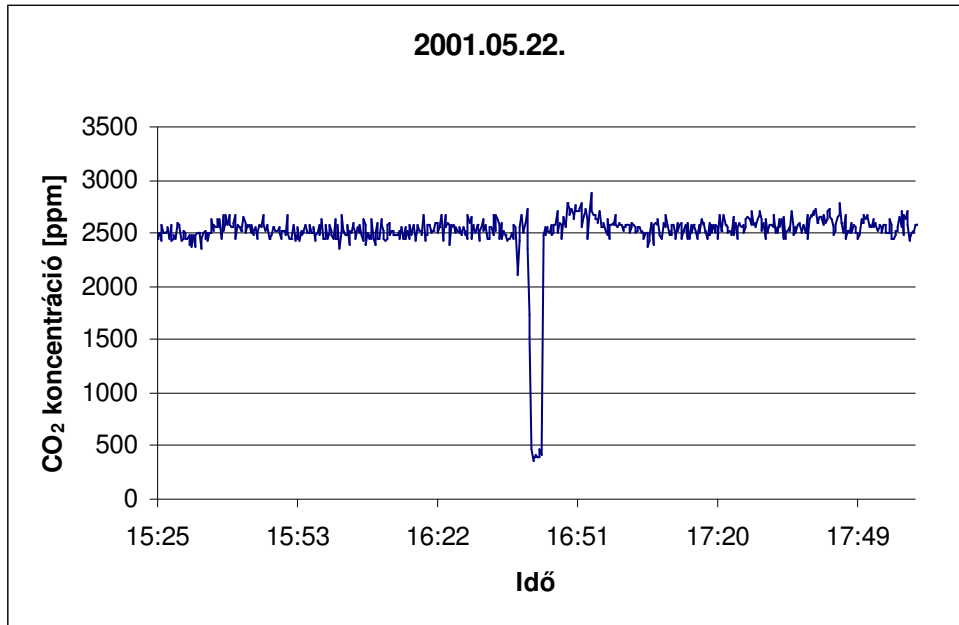
Dátum	CO2 koncentráció [ppm]			
	I. ülés első fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.15	1543,97	55,52	1439,45	1654,30
2001.05.16	1525,48	41,89	1450,20	1643,55
2001.05.17	1543,98	89,79	1353,52	1804,69
2001.05.18	1506,13	39,71	1332,03	1589,84
2001.05.21	1498,15	60,21	1292,07	1646,78

Dátum	CO2 koncentráció [ppm]			
	I. ülés második fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.15	1513,32	140,01	386,72	1632,81
2001.05.16	1511,27	42,18	1439,45	1622,07
2001.05.17	1489,48	57,46	1267,58	1686,52
2001.05.18	1504,22	51,47	1364,26	1622,07
2001.05.21	1479,10	66,00	1309,69	1646,78

5.2. ábra

CO₂ koncentráció mérési eredmények (alapérték 1500 ppm)

A 2500 ppm CO₂ koncentrációhoz tartozó mérési eredményeket egy napra az alábbi ábra, egész hétre a táblázat tartalmazza.



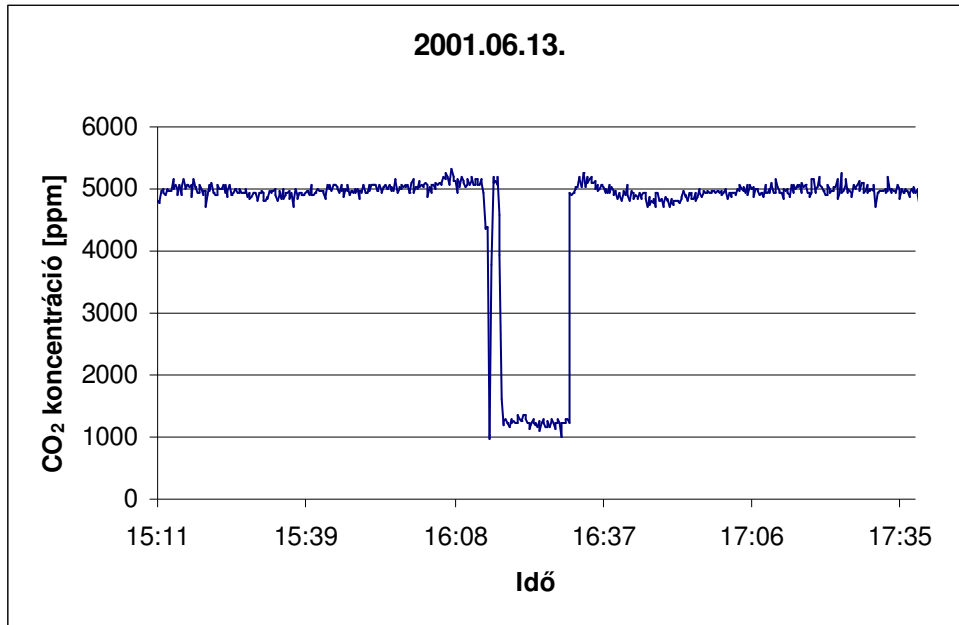
Dátum	CO2 koncentráció [ppm]			
	II. ülés első fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.22	2527,95	68,66	2346,09	2681,25
2001.05.23	2522,18	144,52	2088,28	2835,94
2001.05.24	2463,55	101,66	2139,84	2707,03
2001.05.25	2480,99	85,33	2165,63	2681,25
2001.05.28	2512,92	81,35	2346,09	2784,38

Dátum	CO2 koncentráció [ppm]			
	II. ülés második fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.22	2560,58	75,02	2346,09	2784,38
2001.05.23	2583,05	84,71	2346,09	2810,16
2001.05.24	2386,53	92,58	2036,72	2681,25
2001.05.25	2494,04	100,00	2165,63	2707,03
2001.05.28	2547,74	91,81	2242,97	2887,50

5.3. ábra

CO₂ koncentráció mérési eredmények (alapérték 2500 ppm)

Az 5000 ppm CO₂ koncentrációhoz tartozó mérési eredményeket egy napra az alábbi ábra, egész hétre a táblázat tartalmazza.



Dátum	CO2 koncentráció [ppm]			
	IV. ülés első fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.06.05	4986,00	125,56	4453,61	5241,63
2001.06.07	4901,11	148,26	4511,72	5362,50
2001.06.08	5037,23	179,88	4622,66	5430,88
2001.06.13	4987,12	91,63	4717,97	5310,94
2001.06.14	4871,27	100,82	4614,84	5182,03

Dátum	CO2 koncentráció [ppm]			
	IV. ülés második fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.06.05	5098,12	210,35	4645,52	5614,23
2001.06.07	5072,81	220,27	4614,84	5594,53
2001.06.08	5101,47	207,92	4655,52	5717,42
2001.06.13	4950,32	91,38	4717,97	5259,38
2001.06.14	4862,71	69,96	4692,19	5001,56

5.4. ábra

CO₂ koncentráció mérési eredmények (alapérték 5000 ppm)

A hőérzet értékelése

A PMV mérés eredményeit az alábbi táblázat tartalmazza. A levegő hőmérsékletére és relatív nedvességtartalmára, továbbá a falfelületi hőmérsékletre vonatkozó eredményeket az I. Melléklet tartalmazza. Az eredmények alapján látható, hogy a mérőalanyok minden alkalommal kellemes hőkönyezetben voltak.

**5.1. táblázat
PMV mérés eredményei**

Dátum	PMV (600 ppm)			
	III. ülés első fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.29	0,11	0,21	-0,34	0,32
2001.05.30	0,11	0,17	-0,21	0,27
2001.05.31	-0,01	0,12	-0,20	0,13
2001.06.01	-0,04	0,07	-0,18	0,02
2001.06.11	-0,31	0,17	-0,66	-0,14

Dátum	PMV (600 ppm)			
	III. ülés második fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.29	0,02	0,18	-0,27	0,23
2001.05.30	0,08	0,23	-0,43	0,27
2001.05.31	0,27	0,07	0,11	0,34
2001.06.01	-0,04	0,07	-0,19	0,02
2001.06.11	-0,14	0,14	-0,40	0,06

Dátum	PMV (1500 ppm)			
	I. ülés első fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.15	-0,27	0,08	-0,44	-0,20
2001.05.16	-0,11	0,07	-0,24	-0,05
2001.05.17	0,15	0,10	-0,04	0,25
2001.05.18	-0,06	0,20	-0,38	0,15
2001.05.21	-0,39	0,18	-0,70	-0,20

Dátum	PMV (1500 ppm)			
	I. ülés második fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.15	-0,19	0,03	-0,25	-0,15
2001.05.16	0,00	0,06	-0,13	0,05
2001.05.17	0,02	0,20	-0,32	0,21
2001.05.18	-0,18	0,15	-0,38	0,06
2001.05.21	-0,37	0,18	-0,64	-0,17

Dátum	PMV (2500 ppm)			
	II. ülés első fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.22	-0,36	0,08	-0,49	-0,22
2001.05.23	-0,63	0,37	-1,50	-0,42
2001.05.24	-0,14	0,12	-0,40	-0,05
2001.05.25	0,02	0,06	-0,09	0,08
2001.05.28	0,15	0,12	-0,07	0,28

Dátum	PMV (2500 ppm)			
	II. ülés második fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.22	-0,25	0,03	-0,30	-0,20
2001.05.23	-0,18	0,15	-0,38	0,06
2001.05.24	-0,01	0,05	-0,12	0,03
2001.05.25	0,13	0,07	-0,03	0,19
2001.05.28	0,09	0,13	-0,08	0,28

Dátum	PMV (5000 ppm)			
	IV. ülés első fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.06.05	-0,33	0,16	-0,72	-0,21
2001.06.07	0,06	0,10	-0,19	0,12
2001.06.08	-0,03	0,19	-0,42	0,18
2001.06.13	0,15	0,12	-0,07	0,28
2001.06.14	0,11	0,21	-0,34	0,32

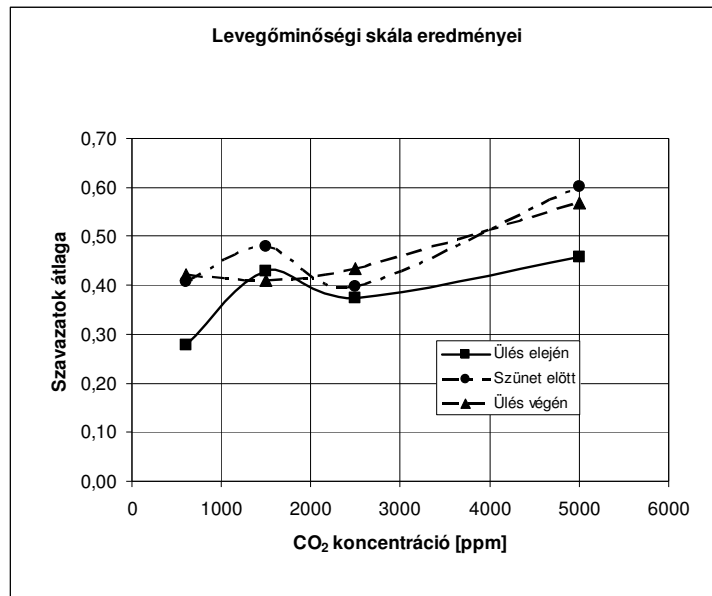
Dátum	PMV (5000 ppm)			
	IV. ülés második fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.06.05	-0,22	0,04	-0,32	-0,18
2001.06.07	0,15	0,06	0,01	0,22
2001.06.08	0,17	0,09	-0,03	0,24
2001.06.13	0,09	0,13	-0,08	0,28
2001.06.14	0,02	0,18	-0,27	0,23

5.2. A szubjektív komfort- érzéssel kapcsolatos eredmények

A levegőminőség értékelésével kapcsolatos skálák

Levegőminőségi skála

- Az első mérések szerint a 3. (600 ppm) és 4. (5000 ppm) ülés szignifikánsan különbözik egymástól ($F=6.67$, $p=0.03$).
- A második mérések szerint a 3. (600 ppm) és 4. (5000 ppm) ülés szignifikánsan különbözik egymástól ($F=5.88$, $p=0.038$).
- A harmadik mérések szerint 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 ($F=9.48$, $p=0.013$).



Megjegyzés

Levegőminőség (friss - elhasznált)

0 friss

+1 elhasznált

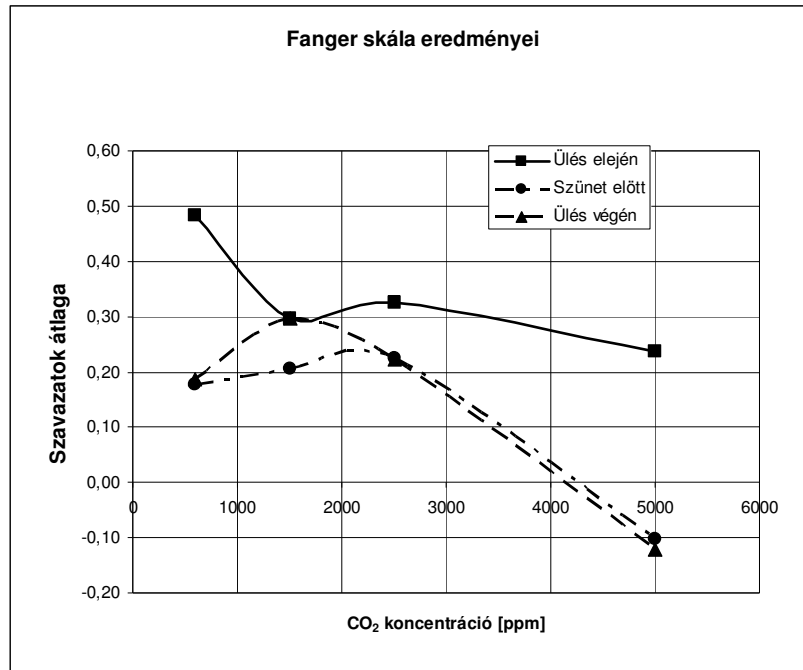
5.5. ábra

Levegőminőség értékelése a Levegőminőségi skála szerint

1. ülés – 1500 ppm, 2. ülés – 2500 ppm, 3. ülés – 600 ppm, 4. ülés – 5000 ppm
CO₂ koncentráció

Fanger skála

- A 4. (5000 ppm) ülés 3. (600 ppm) mérése szignifikánsan különbözik az 1. (1500 ppm) ülés 3. mérésetől ($F=8.5$, $p=0.017$).
- 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

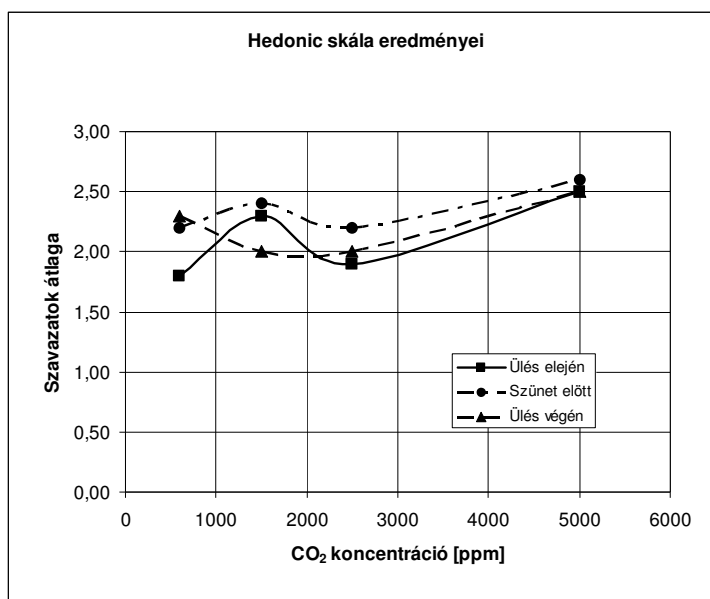
5.6. ábra

Levegőminőség értékelése a Fanger skála szerint

1. ülés – 1500 ppm, 2. ülés – 2500 ppm, 3. ülés – 600 ppm, 4. ülés – 5000 ppm
 CO₂ koncentráció

Hedonic skála

- Az első mérések szerint 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 mérések szerint 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 ($F=24.9$, $p=0.001$).



Megjegyzés:

Közérzet:

1 kellemes

5 elviselhetetlen

5.7. ábra

Levegőminőség értékelése a Hedonic skála szerint

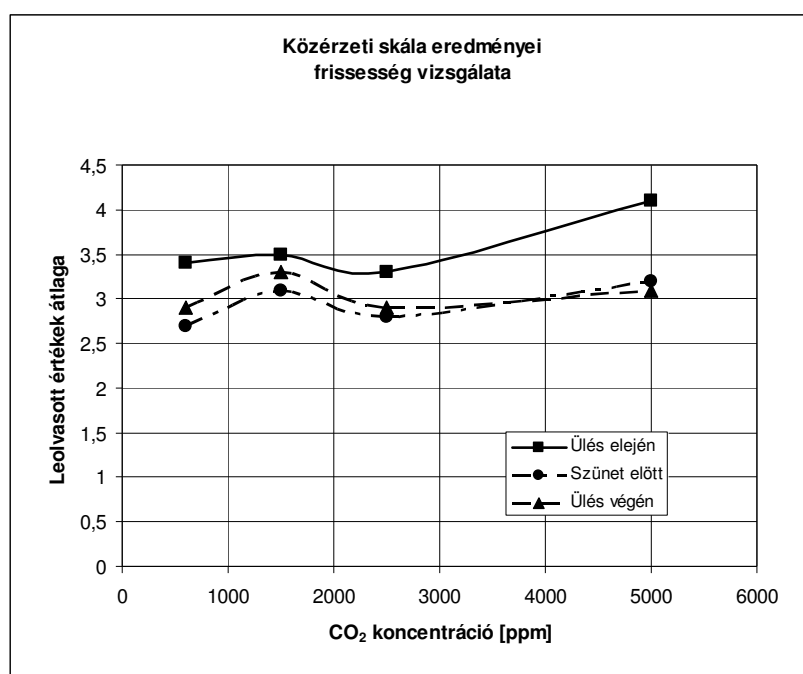
1. ülés – 1500 ppm, 2. ülés – 2500 ppm, 3. ülés – 600 ppm, 4. ülés – 5000 ppm
CO₂ koncentráció

Valamennyi 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 (CO₂=5000 ppm) levegőminőségét szignifikánsan rosszabbnak ítélték meg mint a 3. ülés (CO₂=600 ppm) levegőminőségét. A részletes kiértékelést az I. Melléklet tartalmazza.

A közérzettel kapcsolatos skálák

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

5.8. ábra

A frissesség skála eredményei

1. ülés – 1500 ppm, 2. ülés – 2500 ppm, 3. ülés – 600 ppm, 4. ülés – 5000 ppm
CO₂ 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.

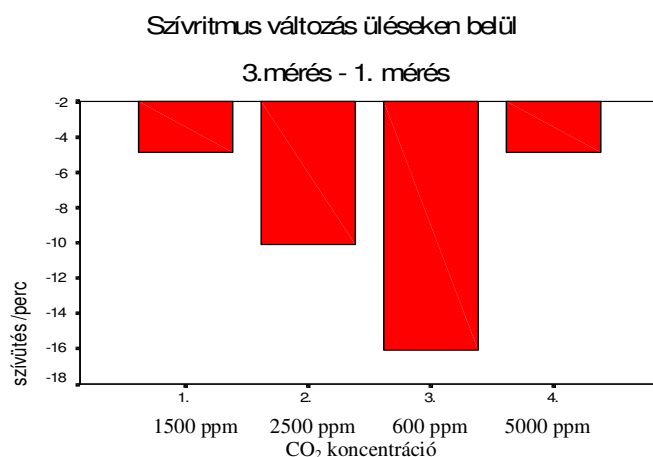
A Frissesség és Fáradtság skálák pontszámain végzett variancia analízis kimutatta, hogy mikor a levegő CO₂ koncentrációja 5000 ppm volt, a vizsgált személyek jobban elfáradtak, kevésbé maradtak frissek és élénkek az ülés végére, mint amikor a levegő CO₂ koncentrációja alacsonyabb volt. Az elfáradás mértékét illetően a 4. ülés (levegő CO₂ koncentrációja=5000 ppm) és 3. ülés (levegő CO₂ koncentrációja=600 ppm) közötti különbség elérte a szignifikancia szintjét. A részletes kiértékelést az I. Melléklet tartalmazza.

5.3. Objektív fiziológiai paraméterekkel kapcsolatos eredmények

Pulzus frekvencia

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 pulzusfrekvencia (szívritmus) valamennyi ülés alatt csökkenő tendenciát mutat az ülés elejétől a végéig. Néhány óráig tartó nyugodt helyzetben (ülő testhelyzet), amikor nem terheli a szervezetet izommunka, és a szellemi feladat sem kíván meg nagyobb mentális erőfeszítést, s mindeközben a környezet hőmérséklete nem emelkedik a komfort tartomány fölé – általában lassul a pulzus. Ez a pulzusfrekvencia lassulás a 4. ülés (CO₂ koncentráció=5000 ppm) alatt szignifikánsan kisebb mértékű volt, mint a többi ülésnél, amikor a levegő CO₂ koncentrációja alacsonyabb volt (5.9. ábra).



5.9. ábra

A szívritmus változása üléseken belül

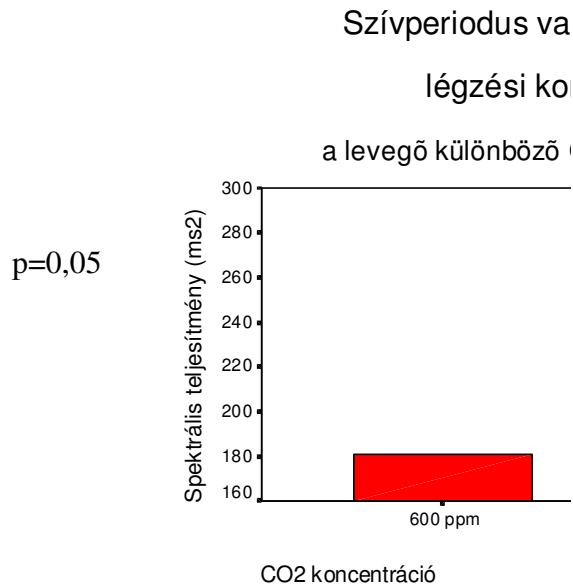
Diasztolés vérnyomás

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 közel szignifikánsan különbözik az 1. (1500 ppm) és a 3. (600 ppm) üléstől ($F=3.7, p=0.08, F=4.08, p=0.07$).

A variancia analízis a 4. ülés (levegő CO₂ koncentrációja 5000 ppm) folyamán csekély mértékű de szignifikáns diasztolés vérnyomás emelkedést mutatott ki. Az ülés folyamán fellépő diasztolés vérnyomás változás mértékét illetően a 3. ülés (CO₂ koncentráció=600 ppm) és 4. ülés (CO₂ koncentrációja 5000 ppm) szignifikánsan különböznek egymástól. A diasztolés vérnyomás emelésében elsősorban a teljes perifériás ellenállás emelkedése játszik szerepet, mely a vazokonstriktor (érösszehúzó) tónus fokozódásának tudható be. Feltételezhető, hogy a levegő 5000 ppm CO₂ koncentrációja kis mértékben fokozza a vazokonstriktor tónust.

Szívperiódus variancia

Az ISAX rendszer segítségével kimutattuk, hogy a vizsgált személyek többsége mélyebben és szaporábban lélegzett a levegő 5000 ppm CO₂ koncentrációjánál, mint a 600 ppm-nél. Az 5.10. ábra mutatja, hogy a szívperiódus spektrum légzési komponensének spektrális teljesítménye szignifikánsan nagyobb a levegő 5000 ppm CO₂ koncentrációjánál mint 600 ppm-nél.



5.10. ábra

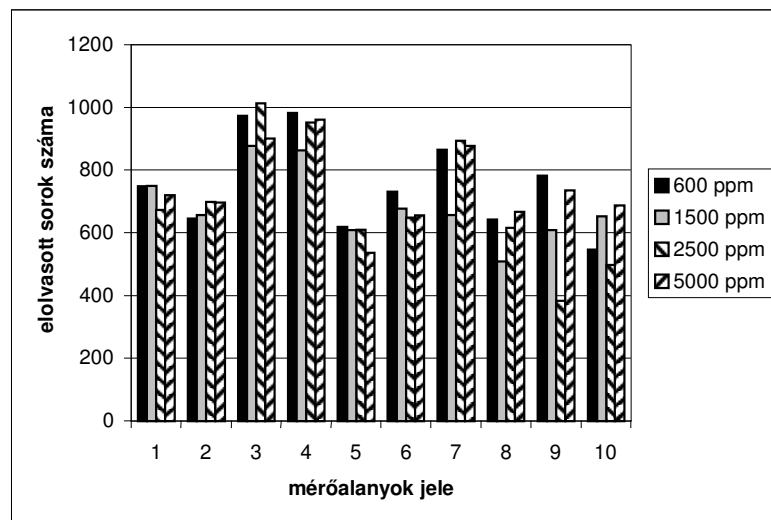
Szívperiódus variancia spektrum légzési komponense

Azon kísérleti személyek esetében, akik igen kimerültté váltak a „frissesség, fáradtság” skálák alapján, ugyanakkor nem mutattak romlást a szellemi teljesítmény vonatkozásában 5000 ppm CO₂ koncentrációnál, az SzPV (szívperiódus-variancia) analízise nagyobb szellemi erőfeszítésre utaló jelet mutatott ki a mentális terhelés alatt 5000 ppm CO₂ koncentrációnál. Az SzPV KF (középfrekvenciás) komponensének szuppressziója a személyek feladatba investált szellemi erőfeszítését jelzi. **Ezért, azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a fenti személyektől a feladat több erőfeszítést igényelhetett olyan kedvezőtlen körülmények között, mint a magasabb CO₂ koncentráció a levegőben.**

Ami a bőrhőmérsékletet, a bőrhőmérséklet szubjektív megítélését ill. az általános hő-komfort érzését illeti, a variancia - analízis nem mutatott szignifikáns eltérést a különböző CO₂ koncentrációjú levegőben végzett vizsgálatok között. A részletes kiértékelést az I. Melléklet tartalmazza.

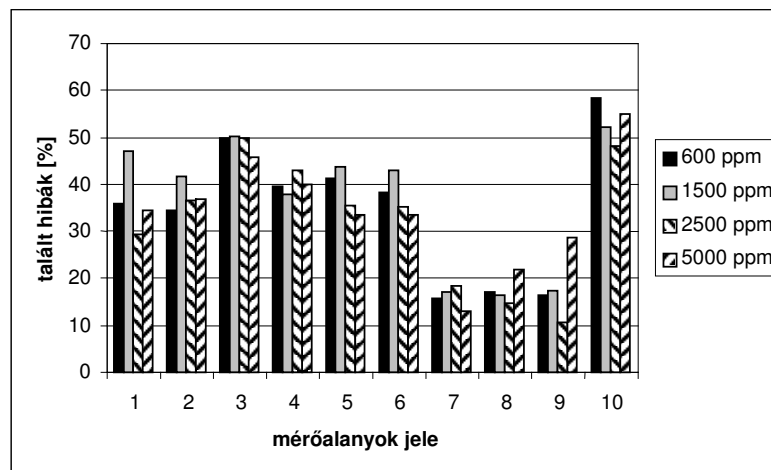
5.4. A szellemi munkavégzés teljesítményének eredményei

A vizsgálat során a különböző CO₂ 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 az 5.11. és 5.12. ábrák tartalmazzák.



5.11. ábra

A CO₂ koncentráció hatása az irodai munka teljesítményére (az elolvasott sorok száma alapján)



5.12. ábra

A CO₂ 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 CO₂ koncentráció függvényében. **A laboratóriumi mérések eredményei azt mutatták, hogy a választott szellemi munkavégzés módja és mennyisége mellett a CO₂ 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 CO₂ koncentrációjától független egyéni sajátosság. A megtalált hibák száma is alapvetően az egyén sajátosságaitól függ.**

5.5. Az első kísérlet-sorozatban kapott eredmények összefoglalása

A levegőminőség, valamint közérzet értékelésével kapcsolatos skálák vonatkozásában szignifikáns különbséget találtunk a 600 ppm ill. 5000 ppm CO₂ koncentrációjú levegőben végzett vizsgálatok között. Ez azt mutatja, hogy mikor a levegőben a CO₂ koncentrációja eléri 5000 ppm-t a személyek közérzete romlik. Ugyanakkor nem találtunk szignifikáns különbséget mentális teljesítmény vonatkozásában a különböző CO₂ koncentráció mellett végzett vizsgálatok között. A SzPV analízis (KF komponens) kimutatta azonban, hogy 5000 ppm CO₂ koncentrációnál a feladat több mentális erőfeszítést igényelt mint 600 ppm CO₂ koncentrációnál. Továbbá, a SzPV légzési komponense a légzési térfogat és frekvencia emelkedését mutatta a levegő 5000 ppm CO₂ koncentrációjánál.

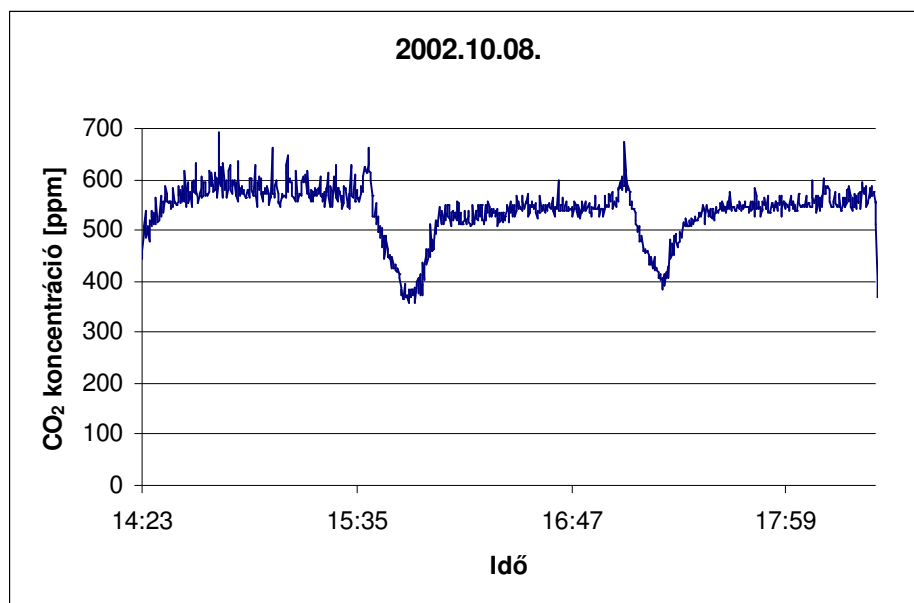
6. A MÁSODIK, 2002-BEN VÉGZETT MÉRÉSSOROZAT EREDMÉNYEI

6.1. Objektív mikroklímás jellemzők méréseinek eredményei

CO₂ koncentráció

A vizsgálatok során négy különböző CO₂ koncentrációt (600-4000 ppm) állítottunk be, mellyel 5 napon keresztül folytattunk vizsgálatokat. Az ábrákon jól láthatóak az egyes munkaperiódusok és szünetek váltakozása (magas és alacsony CO₂ koncentráció értékek).

A 600 ppm CO₂ koncentrációhoz tartozó mérési eredményeket egy napra az alábbi ábra, egész hétre a táblázat tartalmazza.



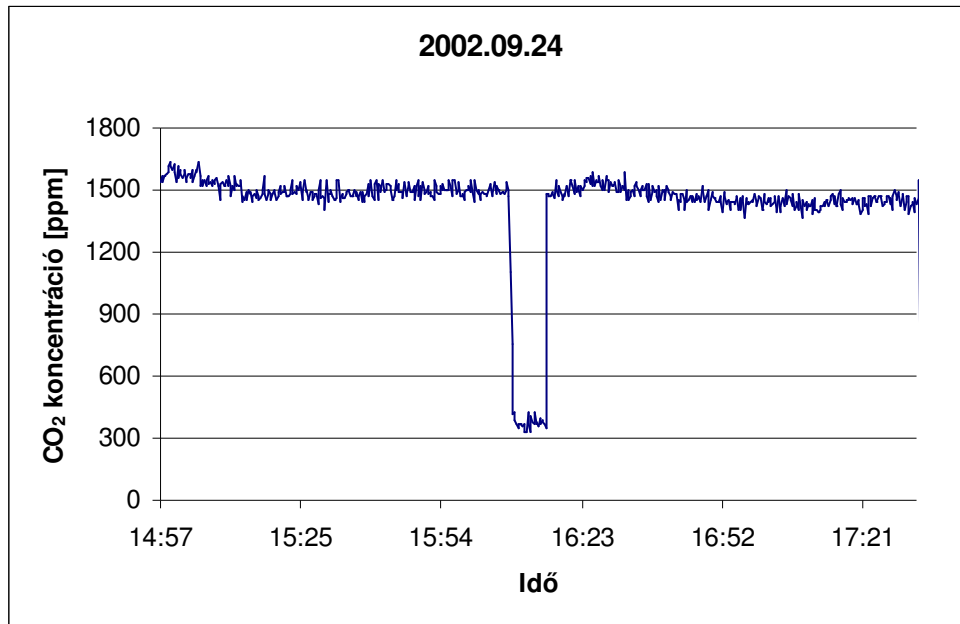
Dátum	CO ₂ koncentráció [ppm]			
	I. munkaperiódus			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2002.10.07	566	49	425	688
2002.10.08	572	30	451	692
2002.10.09	572	9	548	600
2002.10.10	434	108	331	662
2002.10.11	547	16	477	602

Dátum	CO ₂ koncentráció [ppm]			
	II. munkaperiódus			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2002.10.07	541	30	447	602
2002.10.08	517	53	357	597
2002.10.09	578	9	557	604
2002.10.10	605	45	430	713
2002.10.11	547	25	447	602

Dátum	CO ₂ koncentráció [ppm]			
	III. munkaperiódus			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2002.10.07	528	13	477	567
2002.10.08	543	29	408	602
2002.10.09	545	19	455	602
2002.10.10	545	33	400	619
2002.10.11	509	49	357	567

6.1. ábra
CO₂ koncentráció mérési eredmények (alapérték 600 ppm)

Az 1500 ppm CO₂ koncentrációhoz tartozó mérési eredményeket egy napra az alábbi ábra, egész hétre a táblázat tartalmazza.



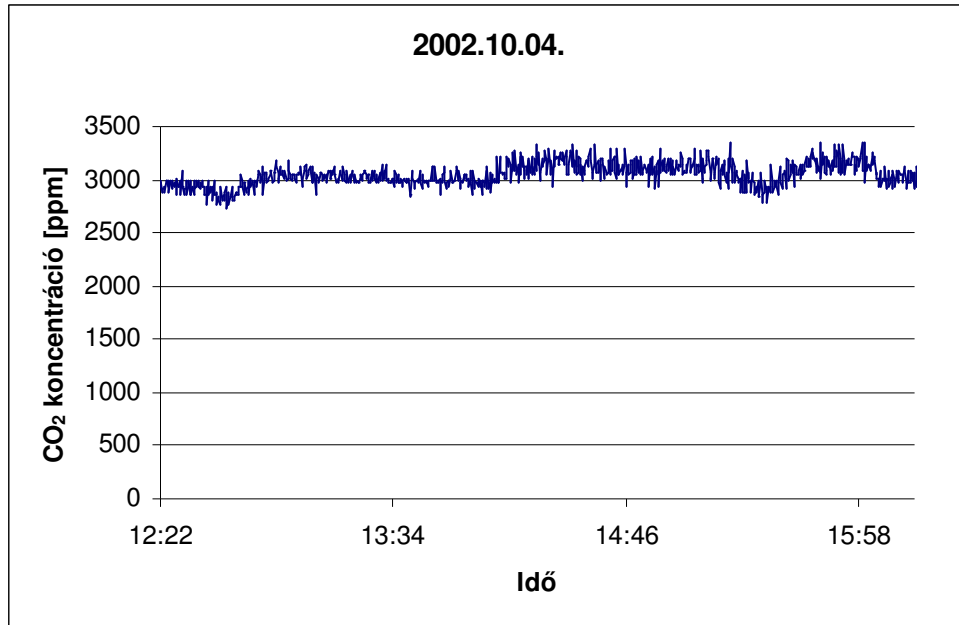
Dátum	CO ₂ koncentráció [ppm]			
	I. munkaperiódus			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2002.09.23	1555	70	1439	1762
2002.09.24	1506	41	1407	1633
2002.09.25	1438	51	1300	1547
2002.09.26	1483	39	1386	1654
2002.09.27	1480	61	1321	1590

Dátum	CO ₂ koncentráció [ppm]			
	II. munkaperiódus			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2002.09.23	1531	46	1439	1676
2002.09.24	1463	42	1364	1590
2002.09.25	1491	35	1396	1590
2002.09.26	1504	54	1407	1665
2002.09.27	1478	32	1364	1547

6.2. ábra

CO₂ koncentráció mérési eredmények (alapérték 1500 ppm)

A 3000 ppm CO₂ koncentrációhoz tartozó mérési eredményeket egy napra az alábbi ábra, egész hétre a táblázat tartalmazza.



Dátum	CO ₂ koncentráció [ppm]			
	I. munkaperiódus			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2002.09.30	2989	134	2655	3352
2002.10.01	2835	114	2449	3120
2002.10.02	2973	100	2733	3171
2002.10.03	3103	189	2707	3532
2002.10.04	2983	85	2733	3171

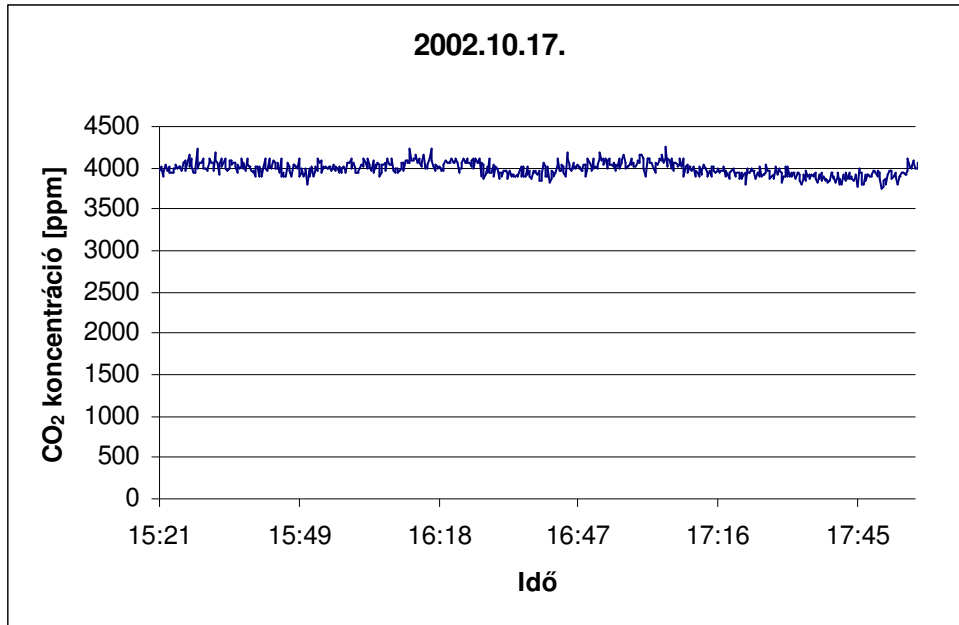
Dátum	CO ₂ koncentráció [ppm]			
	II. munkaperiódus			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2002.09.30	2972	66	2810	3197
2002.10.01	2896	74	2655	3068
2002.10.02	3005	55	2836	3145
2002.10.03	3120	96	2888	3377
2002.10.04	3085	100	2862	3326

Dátum	CO ₂ koncentráció [ppm]			
	III. munkaperiódus			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2002.09.30	2975	91	2655	3145
2002.10.01	2846	63	2655	3068
2002.10.02	2873	81	2630	3094
2002.10.03	3106	115	2784	3352
2002.10.04	3075	113	2784	3352

6.3. ábra

CO₂ koncentráció mérési eredmények (alapérték 3000 ppm)

A 4000 ppm CO₂ koncentrációhoz tartozó mérési eredményeket egy napra az alábbi ábra, egész hétre a táblázat tartalmazza.



Dátum	CO ₂ koncentráció [ppm]			
	I. munkaperiódus			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2002.10.14	3938	69	3755	4125
2002.10.15	4069	91	3764	4228
2002.10.16	3933	84	3675	4151
2002.10.17	4026	70	3790	4110
2002.10.18	3949	109	3584	4280

Dátum	CO ₂ koncentráció [ppm]			
	II. munkaperiódus			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2002.10.14	3914	75	3695	4125
2002.10.15	3904	85	3691	4228
2002.10.16	4155	110	3764	4538
2002.10.17	3967	91	3738	4254
2002.10.18	3964	95	3687	4177

6.4. ábra
CO₂ koncentráció mérési eredmények (alapérték 4000 ppm)

PMV értékelése

A PMV mérés eredményeit az alábbi táblázat tartalmazza. A levegő hőmérsékletére és relatív nedvességtartalmára, továbbá a falfelületi hőmérsékletre vonatkozó eredményeket a II. Melléklet tartalmazza. Az eredmények alapján látható, hogy a mérőalanyok minden alkalommal kellemes hőkönyezetben voltak.

**6.1. táblázat
PMV mérés eredményei**

Dátum	PMV			
	I. ülés elején	I. ülés végén	II. ülés elején	II. ülés végén
2002.09.23	-0,67	-0,53	-0,63	-0,51
2002.09.24	-0,28	-0,13	-0,20	-0,07
2002.09.25	0,02	0,20	0,20	0,18
2002.09.26	0,36	0,36	0,37	0,36
2002.09.27	0,50	0,62	0,61	0,71

Dátum	PMV					
	I. ülés elején	I. ülés végén	II. ülés elején	II. ülés végén	III. ülés elején	III. ülés végén
2002.09.30	0,23	0,51	0,51	0,64	0,58	0,66
2002.10.01	0,27	0,71	0,71	0,77	0,63	0,75
2002.10.02	0,25	0,32	0,36	0,60	0,58	0,36
2002.10.03	0,71	0,62	0,61	0,56	0,61	0,75
2002.10.04	0,72	0,72	0,76	0,85	0,86	0,65

Dátum	PMV					
	I. ülés elején	I. ülés végén	II. ülés elején	II. ülés végén	III. ülés elején	III. ülés végén
2002.10.07	0,19	0,38	0,37	0,41	0,40	0,10
2002.10.08	0,00	0,29	0,23	0,25	0,25	0,28
2002.10.09	0,10	0,40	0,42	0,40	0,41	0,30
2002.10.10	0,24	0,37	0,28	0,43	0,41	0,43
2002.10.11	-1,00	0,29	0,36	0,28	0,32	0,29

Dátum	PMV			
	I. ülés elején	I. ülés végén	II. ülés elején	II. ülés végén
2002.10.14	-0,32	0,15	0,18	0,22
2002.10.15	0,11	0,23	0,19	0,25
2002.10.16	0,12	0,25	0,22	0,31
2002.10.17	0,30	0,36	0,32	0,44
2002.10.18	0,08	0,22	0,20	0,28

6.2. A szubjektív komfort- érzéssel kapcsolatos eredmények

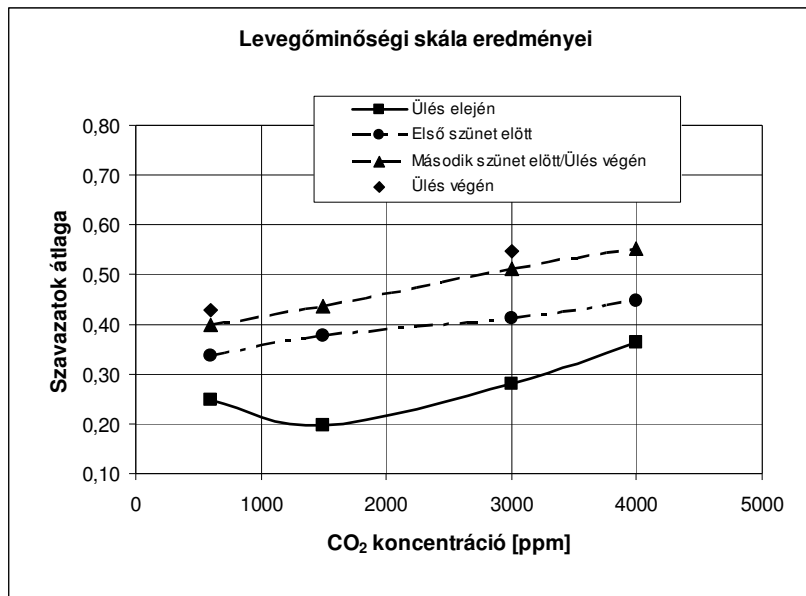
A levegőminőség értékelésével kapcsolatos skálák

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) ($F=8,044$, $p=0,020$).

Valamennyi ülésnél egyre rosszabbnak ítélték meg a levegőminőséget az idő előrehaladtával: az ülések kezdetén jelzett értékek szignifikánsan különböztek a 70 perc munkaperiódus után, ill. az ülés végén jelzett értékektől. A 3. ülésnél (600 ppm CO₂) csak a második 70 percben érezték rosszabbnak a levegőt.

Az ülések összehasonlításánál a variancia analízis kimutatta, hogy az ülések közötti különbségek 70 perc után még nem jelentkeztek. 140 perc után azonban már megjelentek a szignifikáns különbségek: mind a 3000, mind a 4000 ppm CO₂ koncentrációjú levegőt szignifikánsan rosszabbnak ítélték meg, mint a 600 ppm, ill. 1500 ppm CO₂ koncentrációjú levegőt. A Levegőminőségi skála méréseinek átlagát a 6.5. ábra mutatja be. A részletes kiértékelést a II. Melléklet tartalmazza.



Megjegyzés
 Levegőminőség (friss - elhasznált)
 0 friss
 +1 elhasznált

6.5. ábra

Levegőminőségi skála méréseinek átlaga

1. ülés – 1500 ppm, 2. ülés – 3000 ppm, 3. ülés – 600 ppm, 4. ülés – 4000 ppm
 CO₂ koncentráció

Fanger skála

- Az 1. mérések tekintetében a 3. ülés (600 ppm) 1. mérése szignifikánsan különbözik a 4. ülés (4000 ppm) 1. méréstől ($F=8,840$, $p=0,016$).
- 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.ülés (3000 ppm) és a 3. ülés (600 ppm) - ezeknél az üléseknél négy mérés volt - között szignifikáns a különbség a 3. mérést illetően ($t=-2,25$, $p=0,051$).

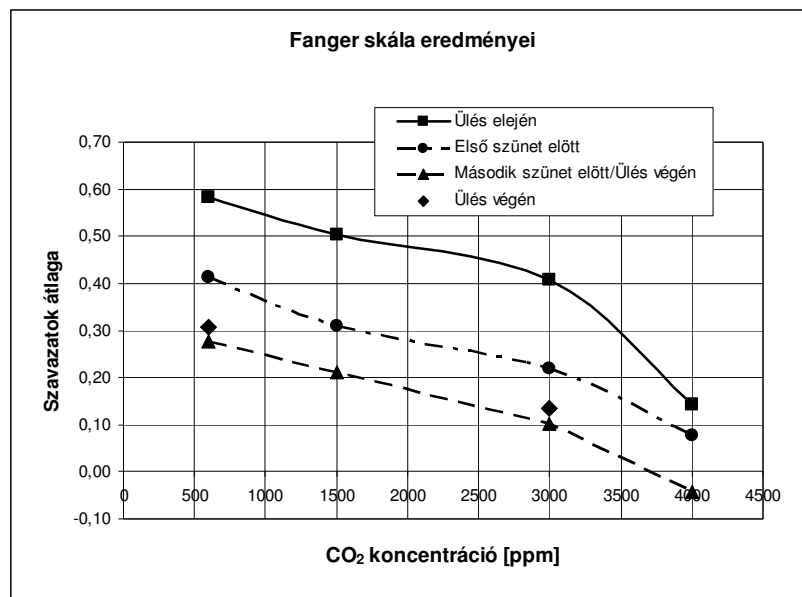
Valamennyi ülésnél (kivéve a 4. ülést 4000 ppm CO₂ koncentrációval) egyre rosszabbnak ítélték meg a levegőminőséget az idő előrehaladtával: az ülések kezdetén felvett a Fanger skála pontszámok szignifikánsan különböztek az ülés végén mért pontszámoktól. Kivételt képezett a 4. ülés (4000 CO₂ ppm), amikor már az első

mérésnél igen rossznak ítélték meg a levegő minőségét. A 3. ülésnél (600ppm CO₂) csak a második 70 perctől érezték rosszabbnak a levegőt.

Az ülések összehasonlításánál a variancia analízis kimutatta, hogy az ülések közötti különbségek 70 perc után még nem jelentkeztek, 140 perc után azonban már megjelentek a szignifikáns különbségek: mind a 3000 ppm, mind a 4000 ppm CO₂ koncentrációjú levegőt szignifikánsan rosszabbnak ítélték meg, mint a 600 ppm CO₂ koncentrációjú levegőt. Az 1500 ppm CO₂ koncentrációjú levegőt 140 perc után csak a 4000 ppm CO₂ koncentrációjú levegőnél ítélték meg jobbnak.

A 2. (3000 ppm CO₂) és 3. ülésnél (600 ppm CO₂) három 70 perces munkaperiódust alkalmaztunk. 210 perc eltelte után szignifikánsan rosszabbnak találták a 3000 ppm CO₂ koncentrációjú levegőt, mint a 600 ppm CO₂ koncentrációjút. Ez azonban már 140 perc után megfigyelhető volt. A részletes kiértékelést a II. Melléklet tartalmazza.

A Fanger skála méréseinek átlagát a 6.6. ábra mutatja be.



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

6.6. ábra

Fanger skála méréseinek átlaga

1. ülés – 1500 ppm, 2. ülés – 3000 ppm, 3. ülés – 600 ppm, 4. ülés – 4000 ppm
 CO₂ koncentráció

A közérzettel kapcsolatos skálák

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 ($t=-2,236$, $p=0,052$).

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 CO₂) és harmadik ülés (600 ppm CO₂) szignifikánsan különbözik egymástól: 600 ppm CO₂ koncentrációnál frissebbnek érezték magukat az ülés végén, mint 3000 ppm CO₂ koncentrációnál. A részletes kiértékelést a II. Melléklet tartalmazza.

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 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 CO₂) és harmadik ülés (600 ppm CO₂) szignifikánsan különbözik egymástól: 600 ppm CO₂ koncentrációnál kevésbé voltak fáradtak az ülés végén, mint 3000 ppm CO₂ koncentrációnál.

A frissesség és a fáradtság skála pontszámai alapján hasonló következtetésre lehet jutni (a frissesség skála mutatja kifejezettebben): csak a 600 ppm CO₂ koncentrációjú levegőnél maradtak frissek a személyek, ill. hosszabb idő kellett, hogy fáradtság fokozódást jelezzenek. A részletes kiértékelést a II. Melléklet tartalmazza.

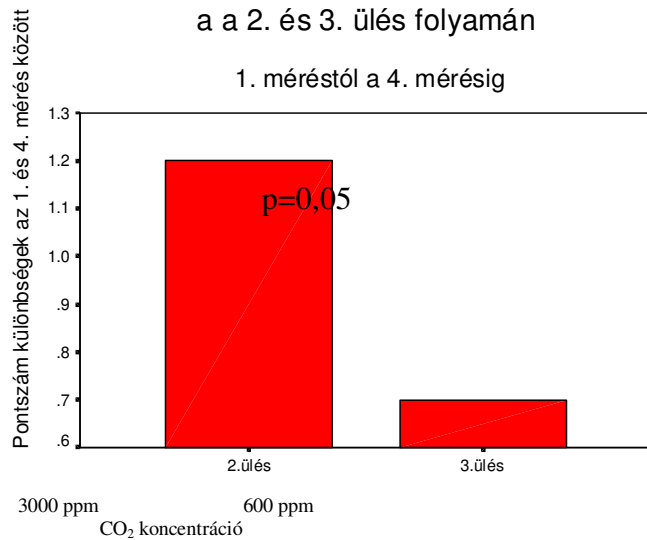
Koncentráls skála

Valamennyi ülésnél az ülés folyamán a kísérleti személyek úgy ítélték meg, hogy csökkent a koncentráls képességük az ülés elejétől a végéig. A koncentrálsképesség skála nem különbözteti meg egymástól a magas és alacsonyabb CO₂ koncentrációjú levegőjű üléseket, amint ezt a fáradtság és frissesség skálánál tapasztaltuk. Mindössze trend figyelhető meg, hogy a két hosszabb ideig folytatott vizsgálatnál (2. és 3. ülés) az ülés elejétől a végéig a magasabb CO₂ koncentrációjú (3000 ppm) levegőnél valamivel jobban csökkent a koncentrálsképesség (3,7 pontról 2,5 pontra), mint az alacsonyabb (600 ppm) CO₂ koncentrációnál (3,7 pontról 3,0 pontra). Ez a különbség, azonban, csak közelíti a szignifikancia szintet. A koncentráls skála eredményeit a 6.7. ábra szemlélteti. A részletes kiértékelést a II. Melléklet tartalmazza.

A koncentrációképeség csökkenése

a 2. és 3. ülés folyamán

1. méréstől a 4. mérésig



Megjegyzés

Frissesség (friss - levert)

5 nem fáradt

0 fáradt

6.7. ábra

A koncentrációképeség csökkenése a 2. és a 3. ülés folyamán

6.3. Objektív fiziológiai paraméterekkel kapcsolatos eredmények

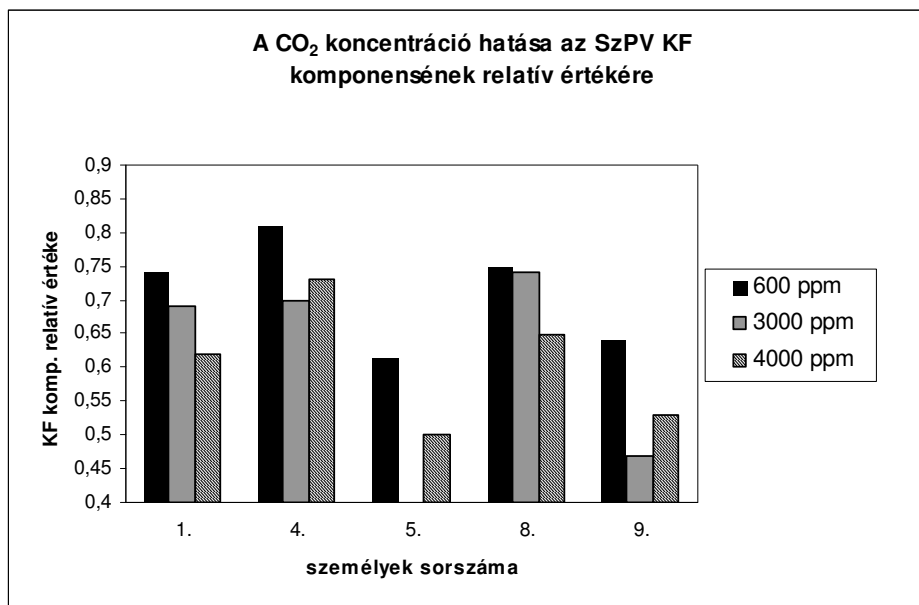
A kontrasztok kimutatták:

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.

A variancia analízis kimutatta, hogy a szív-periódusok (SzP: két szív-ütés között eltelt idő) hosszabbodtak minden ülés alatt az elejétől a végéig. Vagyis a pulzusfrekvencia (szívritmus) valamennyi ülés alatt csökkenő tendenciát mutatott az ülés elejétől a végéig. Ez teljesen megszokott jelenség, amikor a személyek nyugodtan ülnek néhány óra hosszat. A CO₂ koncentráció változásnak nem volt hatása a szívperiódusok hosszára.

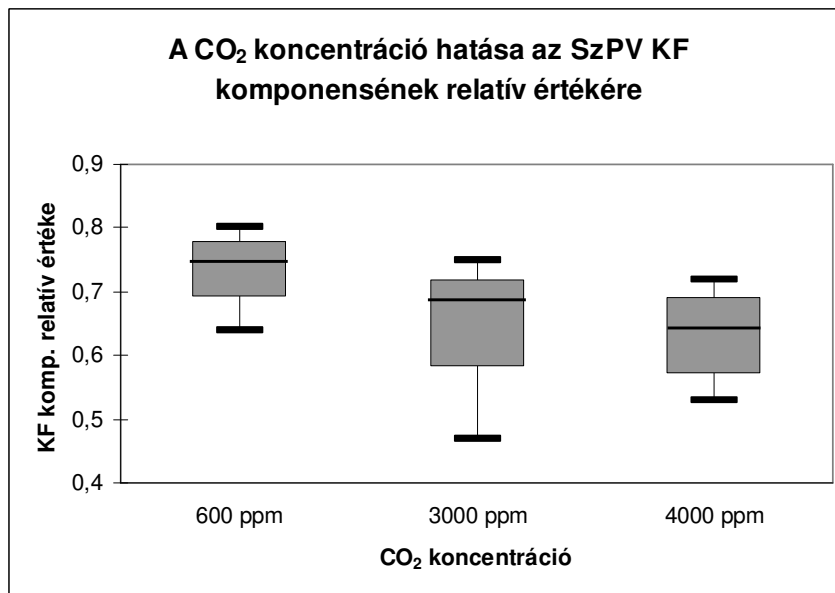
Az SzPV (szívperiódus variancia) KF (középfrekvenciás) komponensét használják a feladatba investált szellemi erőfeszítés mércéjéül. Minél kisebb a KF komponens, annál nagyobb a vizsgált személy szellemi erőfeszítése. A kísérletek során a KF komponenset alkalmaztuk a vizsgált személyek aktuális szellemi erőfeszítésének objektív pszichofiziológiai indexeként. Azt a trendet találtuk, hogy a KF komponens legalacsonyabb értékei 4000 ppm CO₂ koncentrációnál, míg a legmagasabbak 600 ppm CO₂ koncentrációnál voltak megfigyelhetők. 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 CO₂ koncentráció alatt végzett mérések között. Az MF komponens növekedése fokozott légzési térfogatra és légzés-frekvenciára mutat 4000 ppm CO₂ koncentrációnál. A KF komponens és KF/MF ráció csökkenése fokozott szellemi erőfeszítésre utal 4000 ppm CO₂ koncentrációnál. Ez teljesen összhangban van azzal, hogy 4000 ppm CO₂ mellett romlott a szellemi teljesítmény, valamint a "frissesség", és „fáradtság” skálák pontszámai szerint hamarabb fáradtak el a személyek és csökkent a koncentráció képességük.



6.8. ábra.

CO₂ koncentráció hatása az SzPV KF komponens relatív értékére 5 személynél.

A 6.8. és a 6.9. ábra mutatja, hogy valamennyi személynél a KF komponens relatív értéke a legmagasabb értéket 600 ppm-nél, a legalacsonyabbat pedig 4000 ppm-nél éri el.



6.9. ábra.

Az SzPV KF komponensének relatív értéke különböző CO₂ koncentrációnál.

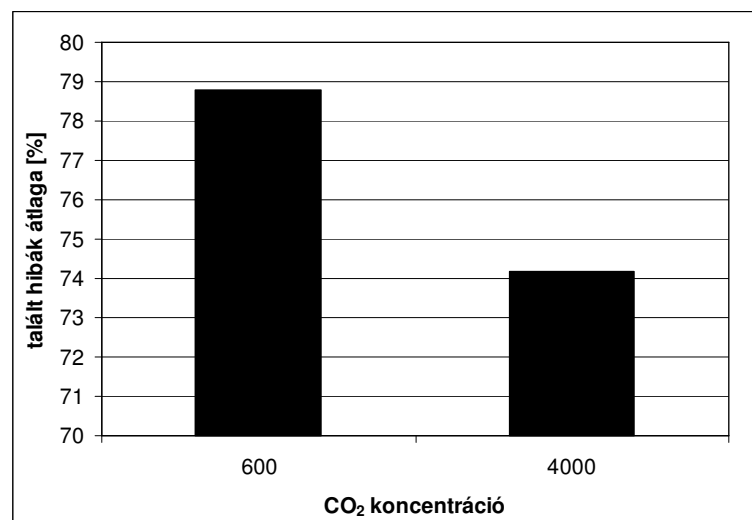
Ami a bőrhőmérsékletet, a bőrhőmérséklet szubjektív megítélését ill. az általános hő-komfort érzését illeti, a variancia - analízis nem mutatott szignifikáns eltérést a

különböző CO₂ koncentrációjú levegőben végzett vizsgálatok között. A részletes kiértékelést a II. Melléklet tartalmazza.

6.4. A szellemi munkavégzés teljesítményének eredményei

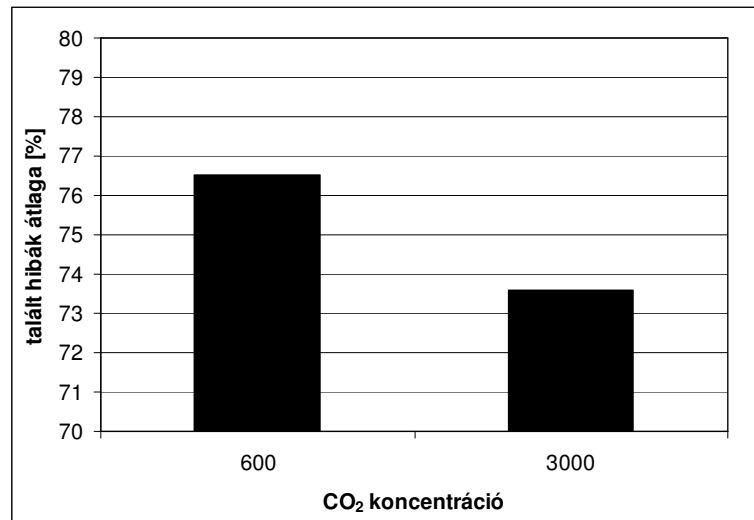
A szellemi munkavégzés teljesítményét az ülés alatt elolvasott sorok számával (mennyiségi szempont) mértük, de a különböző beállított CO₂ koncentrációknak nincs szignifikáns hatása ezekre a paraméterekre. Ezeknél a változóknál viszont jelentkezik a tanulási hatás: az alanyok teljesítménye folyamatosan növekedett az egyes ülések alatt.

A megtalált hibák száma (minőségi szempont) sokkal érzékenyebb volt a CO₂ koncentráció változtatására. A variancia analízis azt mutatta, hogy 140 perc munka után az alanyok által megtalált hibák százaléka szignifikánsan alacsonyabb volt 4000 ppm CO₂ koncentráció mellett, mint 600 ppm CO₂ koncentrációnál (6.10. ábra) ($t=2,687$, $p=0,025$). Továbbá, a 600 ppm CO₂ koncentráció mellett végzett ülés harmadik munkaperiódusának végén (210 perc után) talált hibák százaléka közel szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a 3000 ppm CO₂ koncentráció mellett végzett ülés harmadik munkaperiódusának végén (6.11. ábra) ($t=-1,950$, $p=0,083$). Az elolvasott sorok száma is csökkent 3000 ppm CO₂ koncentráció mellett, ami azt jelenti, hogy a 600 ppm CO₂ koncentráció sokkal előnyösebb az emberi munkavégzés mennyiségi és minőségi szempontjából. A minőségi szempont az alanyok koncentráló képességére utal.



6.10. ábra

Az alanyok által talált hibák százaléka a CO₂ koncentrációfüggvényében 140 perc után



6.11. ábra

Az alanyok által talált hibák százaléka a CO₂ koncentráció függvényében 210 perc után

6.5. A második kísérlet-sorozatban kapott eredmények összefoglalása

A levegőminőség, valamint közérzet értékelésével kapcsolatos skálák vonatkozásában szignifikáns különbséget találtunk a 600 ppm ill. 4000 ppm CO₂ koncentrációjú levegőben végzett vizsgálatok között 140 perc után. E skálákkal kapcsolatban 210 perc elteltével már 3000 ppm ill. 600 ppm CO₂ koncentrációjú levegő mellett végzett vizsgálatok között is szignifikáns különbséget találtunk. Ez azt mutatja, hogy zárt térben 3000 ppm CO₂ koncentrációnál a személyek közérzete romlik. Ugyanez igaz a szellemi terhelésre: a második 70 perces munkaperiódus alatt szignifikánsan magasabb volt a megtalált hibák százaléka 600 ppm CO₂ koncentrációnál, mint 4000 ppm-nél. Ami a harmadik 70 perces munkaperiódust illeti, a levegő 600 ppm-es CO₂ koncentrációja a szellemi teljesítmény mindkét aspektusára (mennyiségi és minőségi) előnyösebb volt mint a 3000 ppm CO₂ koncentráció. Ezek az eredmények összhangban vannak az aktuális mentális erőfeszítés SzPV spektrumból származó objektív pszichofiziológiai markerével.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgálat céljára speciális laboratóriumot, mérőállást alakítottunk ki, melyben a szén-dioxid koncentráció 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, melyeknél **két különböző mérőcsoporton** (10-10 fő) vizsgáltuk a **különböző értékekre beállított CO₂ koncentráció hatását**.

A kísérleti személyek kérdőíveket töltöttek ki, melyekben a levegőminőséggel kapcsolatos szubjektív komfort-érzésüket, valamint frissességükkel kapcsolatos közérzetüket határozták meg különböző standard skálák alapján, és mértük a fiziológiai állapotukat tükröző objektív mutatókat. 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 CO₂ koncentrációja 3000 ppm-t eléri. A levegő 3000 ppm CO₂ 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 CO₂ koncentrációja 3000 ppm-re emelkedett.

Kimutattuk, hogy a személyek közérzete romlik és koncentrálóképessége hanyatlak, mikor 2-3 órát töltenek olyan zárt térben, ahol a levegő CO₂ 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 CO₂ koncentráció hatásának együttes vizsgálata a közérzetre és a szellemi munkavégzésre laboratóriumi mérésekkel,
- a fenti kutatások eredményeinek ellenőrzése helyszíni mérések elvégzésével,
- CO₂ koncentráció folyamatos változásának hatása.

8. TÉZISEK

8.1. A CO₂ 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 $p \leq 0,05$.

8.2. A CO₂ 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 CO₂ hatásának a közérzetre és az irodai munka teljesítményére vizsgálatánál még nem alkalmazott műszer és módszer a belső levegő minőség vonatkozó területén is sikeresen alkalmazható.

8.3. A CO₂ koncentráció hatása az irodai munka teljesítményére és minőségére 3000 ppm CO₂ koncentráció alatt

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

Megállapítom, hogy 3000 ppm szén-dioxid koncentrációig a 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 $p \leq 0,05$.

8.4. A szükséges frisslevegő igény meghatározása

A laboratóriumi vizsgálatok eredménye alapján meghatároztam, hogy irodai munkavégzés esetén az emberek közérzete és teljesítménye $7,7 \text{ m}^3/\text{h},\text{fő}$ -nél kevesebb frisslevegő bevezetés esetén jelentősen romlik. A kapott eredményt irodai munkavégzés, $k_b=3000 \text{ ppm}$ és $k_k=400 \text{ ppm}$ szén-dioxid koncentráció alkalmazásával határoztam meg. A szignifikancia vizsgálatnál alkalmazott feltétel $p \leq 0,05$.

9. SUMMARY

A specific laboratory and measuring stand was constructed to investigate the impact of CO₂ concentration in the air on human well-being and office work intensity, and to determine the necessary fresh air demand. Air of appropriate cleanliness, thermal comfort, as well as appropriate acoustic conditions were ensured in the laboratory.

Objective microclimatic characteristics were measured during experimental sessions. Two series of experiments were conducted with different pre-set CO₂ concentration in the air.

Various standard scales were used in the evaluation of subjective comfort concerning air quality and human well-being changes concerning subjects' freshness, tiredness and concentration. Subjects participating in the investigations were performing a mental task in order to measure their mental effort and efficiency. In addition objective physiological variables were measured. Data were processed and statistically analyzed. Experience gained from the 1st series of experiments was taken into consideration when designing the 2nd series of experiments.

It was shown that subjects evaluated air quality less acceptable, more unpleasant and became more exhausted when CO₂ concentration increased up to 3000 ppm. 3000 ppm CO₂ concentration in the air proved to be less advantageous for mental performance than 600 ppm. Several physiological measures (spectral components of HPV) show that the mental task required more effort from the subjects when CO₂ concentration in the air reached 3000 ppm. It was shown that human well-being as well as the capacity to concentrate attention decline when subjects spend 2 to 3 hours in a closed space with 3000 ppm or higher CO₂ concentration in the air.

According to the result of the research marginal value of indoor air was defined for the comfort spaces. Exceeding this value human well-being and office work intensity significantly declines. This is with a considerable effect on the volume flow of fresh air, and it has an impact on the energy use of the air conditioning system.

Applying to the results of the research additional researches might be made in this topic:

- examination of indoor used materials together with the impact of CO₂ concentration on human well-being and intensity of office work,
- checking the results of the above researches with field measurements,
- examination the effect of continuous change of CO₂ concentration.

10. THESISSES

10.1. The impact of CO₂ concentration on human well-being in case of office work

The impact of CO₂ concentration on human well-being was examined with objective and subjective indexes by laboratory measurements.

I point out that the well-being of young healthy persons declines rapidly in closed space over 3000 ppm carbon-dioxide concentration after 2x70 minutes. Differences were considered significant when $p \leq 0.05$.

10.2. The effect of CO₂ concentration on the objective physiological parameters of the human body

Applying to laboratory measurements the impermissible load of human organisms of young healthy persons was confirmed by the objective physiological parameters in closed space over 3000 ppm carbon-dioxide concentration after 2x70 minutes. Differences were considered significant when $p \leq 0.05$.

According to the ISAX system and the heart period variability is successfully applicable for the examined scope of indoor air although these has never used as instrument and method for impact of CO₂ concentration on human well-being and office work intensity.

10.3. The effect of CO₂ concentration on the intensity and the quality of mental work under 3000 ppm CO₂ concentration

I was examined the intensity and the quality of office work during laboratory measurements.

I find till 3000 ppm the change of CO₂ concentration results lower variance in the difference between the intensity and the quality of mental work than the difference of mental capacity of the examined persons.

I point out that the intensity and the quality of mental work of healthy, young persons declines significantly staying over 3000 ppm CO₂ concentration in closed space. Differences were considered significant when $p \leq 0.05$.

10.4. The determination of the necessary fresh air

According to the laboratory measurements I specified that during office work the well-being and the mental workload of humans declines rapidly when there is supplied less than 7.7 m³/h, person fresh air. To determine this result I have used following circumstances: office work, $k_{indoor}=3000$ ppm and $k_{outdoor}=400$ ppm CO₂ concentration. Differences were considered significant when $p \leq 0.05$.

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 CO₂ 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 CO₂ Concentration on Office Work Intensity and Human Well-being. Strbské 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ concentration by scientific methods in the laboratory. Singarore, 2003. december 7-11. Healthy Buildings 2003, 7th 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.: CO₂ 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] Klímatisztalt terek levegőminőségének biztosítása, klímatechnikai rendszerek levegőminőségi követelményei, értékelési módszere. Bp. 2002, OTKA zárójelentés T 029451, Témavezető: Kajtár László
- [11] Belső levegő minőség és szennyezőanyag kibocsátás értékelési és mérési módszerének kidolgozása. Bp. 2005, OTKA zárójelentés T 037596, Témavezető: 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, Strbské 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, 7thInternational 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., Météneki, 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 Part 1, 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 22nd 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. Mancina, G. Parati, A.Pedotti, and A. Zachetti (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 Luftweschel 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 in 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.

I. MELLÉKLET

Az első, 2001-ben végzett mérési sorozat részletes eredményei

Objektív mikroklímás jellemzők méréseinek eredményei

Légállapot paraméterek mérési eredményei (alapérték 600 ppm)

Dátum	Levegő hőmérsékletek (600 ppm)											
	ülés első fele											
	átlag			szórás			minimum			maximum		
	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő
2001.05.29	23,80	23,03	24,06	0,65	0,51	0,70	22,43	21,99	22,63	24,71	23,72	24,99
2001.05.30	23,72	23,11	24,06	0,76	0,56	0,69	22,18	21,99	22,63	24,71	23,85	24,92
2001.05.31	23,21	22,52	23,38	0,75	0,56	0,72	21,50	21,29	21,83	24,14	23,15	24,28
2001.06.01	23,58	23,01	23,78	0,45	0,29	0,41	22,62	22,41	22,88	24,14	23,40	24,28
2001.06.11	21,19	n.a.	21,35	0,58	n.a.	0,51	19,98	n.a.	20,32	21,93	n.a.	22,05

Dátum	Levegő hőmérsékletek (600 ppm)											
	ülés második fele											
	átlag			szórás			minimum			maximum		
	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő
2001.05.29	23,66	23,09	23,92	0,41	0,41	0,37	23,07	22,47	23,47	24,35	23,72	24,64
2001.05.30	23,82	23,19	24,17	0,73	0,68	0,64	22,62	21,81	22,82	24,77	23,98	24,92
2001.05.31	24,84	23,94	24,91	0,25	0,14	0,23	24,28	23,65	24,42	25,14	24,11	25,21
2001.06.01	23,92	23,28	24,06	0,26	0,19	0,22	23,53	22,90	23,61	24,28	23,52	24,35
2001.06.11	21,95	n.a.	22,10	0,33	n.a.	0,31	21,38	n.a.	21,62	22,43	n.a.	22,61

Dátum	Relatív nedvességtartalom (600 ppm)			
	ülés első fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.29	55,00	3,45	50,60	61,80
2001.05.30	29,94	1,16	28,50	32,30
2001.05.31	38,26	1,15	36,90	41,00
2001.06.01	35,18	0,42	34,30	35,90
2001.06.11	55,18	1,51	53,10	58,10

Dátum	Relatív nedvességtartalom (600 ppm)			
	ülés második fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.29	55,04	3,01	45,80	60,30
2001.05.30	29,20	0,97	27,90	30,70
2001.05.31	38,50	0,80	36,90	40,30
2001.06.01	34,67	0,78	32,20	35,70
2001.06.11	49,76	0,97	47,40	50,80

Légállapot paraméterek mérési eredményei (alapérték 1500 ppm)

Dátum	Levegő hőmérsékletek (1500 ppm)											
	ülés első fele											
	átlag			szórás			minimum			maximum		
	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő
2001.05.15	22,71	21,74	22,99	0,39	0,29	0,38	21,80	21,03	22,26	23,20	22,12	23,48
2001.05.16	22,89	21,94	23,39	0,51	0,51	0,39	21,75	20,97	22,64	23,53	22,66	23,88
2001.05.17	23,93	22,63	24,34	0,57	0,52	0,51	22,62	21,70	23,22	24,64	23,34	24,99
2001.05.18	22,97	22,41	23,27	0,78	0,62	0,80	21,32	21,08	21,60	24,01	23,15	24,36
2001.05.21	22,37	21,46	22,67	0,58	0,44	0,57	21,09	20,47	21,48	23,14	22,05	23,41

Dátum	Levegő hőmérsékletek (1500 ppm)											
	ülés második fele											
	átlag			szórás			minimum			maximum		
	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő
2001.05.15	23,26	22,35	23,79	0,17	0,08	0,13	22,94	22,24	23,55	23,47	22,48	24,08
2001.05.16	23,71	22,90	24,12	0,18	0,20	0,14	23,40	22,48	23,81	23,94	23,15	24,29
2001.05.17	23,57	22,76	23,86	0,52	0,43	0,50	22,69	22,12	23,09	24,42	23,46	24,71
2001.05.18	22,65	22,01	22,96	0,60	0,61	0,52	21,63	20,86	22,01	23,53	22,83	23,74
2001.05.21	22,99	21,95	23,26	0,27	0,23	0,27	22,43	21,46	22,70	23,40	22,29	23,74

Dátum	Relatív nedvességtartalom (1500 ppm)			
	ülés első fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.15	40,11	0,17	39,70	40,50
2001.05.16	39,16	1,25	36,90	41,30
2001.05.17	44,94	0,97	43,70	46,70
2001.05.18	56,77	5,23	50,10	66,60
2001.05.21	39,21	1,85	36,70	42,70

Dátum	Relatív nedvességtartalom (1500 ppm)			
	ülés második fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.15	40,71	0,11	40,40	41,00
2001.05.16	38,00	0,49	36,80	38,70
2001.05.17	52,38	3,84	47,80	60,10
2001.05.18	59,38	4,52	43,40	64,20
2001.05.21	37,95	23,48	36,70	39,20

Légállapot paraméterek mérési eredményei (alapérték 2500 ppm)

Dátum	Levegő hőmérsékletek (2500 ppm)											
	ülés első fele											
	átlag			szórás			minimum			maximum		
	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő
2001.05.22	22,34	21,76	22,66	0,39	0,22	0,34	21,44	21,19	21,90	22,82	22,05	23,09
2001.05.23	22,43	21,68	22,65	0,49	0,36	0,46	21,32	20,80	21,65	23,00	22,11	23,21
2001.05.24	22,96	21,96	23,06	0,50	0,47	0,51	21,80	20,97	21,95	23,53	22,59	23,68
2001.05.25	23,62	22,54	23,76	0,41	0,41	0,37	22,69	21,64	22,96	24,14	23,09	24,28
2001.05.28	24,22	23,26	24,28	0,59	0,45	0,61	23,00	22,35	22,95	24,99	23,92	25,06

Dátum	Levegő hőmérsékletek (2500 ppm)											
	ülés második fele											
	átlag			szórás			minimum			maximum		
	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő
2001.05.22	23,01	22,29	23,26	0,09	0,06	0,05	22,88	22,16	23,15	23,14	22,41	23,35
2001.05.23	23,09	22,35	23,33	0,15	0,13	0,14	22,82	22,11	23,08	23,27	22,53	23,54
2001.05.24	23,77	22,90	23,96	0,18	0,18	0,18	23,40	22,53	23,61	24,01	23,15	24,22
2001.05.25	24,40	23,35	24,50	0,21	0,17	0,19	24,01	23,02	24,15	24,64	23,59	24,77
2001.05.28	24,25	23,42	24,35	0,31	0,30	0,27	23,74	22,90	23,94	24,77	23,92	24,85

Dátum	Relatív nedvességtartalom (2500 ppm)			
	ülés első fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.22	37,75	1,15	36,20	40,00
2001.05.23	22,42	0,32	21,70	23,10
2001.05.24	26,55	0,83	25,20	28,00
2001.05.25	32,04	1,25	30,30	34,40
2001.05.28	51,33	1,31	49,60	53,50

Dátum	Relatív nedvességtartalom (2500 ppm)			
	ülés második fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.22	36,43	0,21	35,80	36,70
2001.05.23	20,80	0,14	20,40	21,10
2001.05.24	23,64	0,11	23,40	23,90
2001.05.25	27,68	0,38	26,90	28,40
2001.05.28	57,23	2,72	52,80	61,40

Légállapot paraméterek mérési eredményei (alapérték 5000 ppm)

Dátum	Levegő hőmérsékletek (5000 ppm)											
	ülés első fele											
	átlag			szórás			minimum			maximum		
	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befújt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befújt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befújt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befújt levegő
2001.06.05	22,46	n.a.	n.a.	0,25	n.a.	n.a.	21,83	n.a.	n.a.	22,95	n.a.	n.a.
2001.06.07	22,62	n.a.	22,96	0,27	n.a.	0,22	21,93	n.a.	22,43	22,94	n.a.	23,20
2001.06.08	23,21	n.a.	23,54	0,57	0,55	0,55	21,99	n.a.	22,42	23,94	n.a.	24,28
2001.06.13	22,03	21,36	22,09	1,02	0,70	0,99	20,32	20,26	20,48	23,40	22,33	23,53
2001.06.14	21,13	20,83	21,27	0,72	0,46	0,73	20,32	20,32	20,42	22,36	21,68	22,55

Dátum	Levegő hőmérsékletek (5000 ppm)											
	ülés második fele											
	átlag			szórás			minimum			maximum		
	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befújt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befújt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befújt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befújt levegő
2001.06.05	23,28	n.a.	n.a.	0,22	n.a.	n.a.	22,57	n.a.	n.a.	23,45	n.a.	n.a.
2001.06.07	23,11	n.a.	23,40	0,18	n.a.	0,14	22,69	n.a.	23,07	23,34	n.a.	23,60
2001.06.08	24,16	n.a.	24,48	0,31	n.a.	0,33	23,60	n.a.	23,94	24,57	n.a.	24,85
2001.06.13	24,04	23,00	24,19	0,10	0,11	0,10	23,87	22,70	23,94	24,21	23,27	24,35
2001.06.14	23,47	22,55	23,66	0,18	0,19	0,18	23,07	22,16	23,26	23,74	22,76	23,94

Dátum	Relatív nedvességtartalom (5000 ppm)			
	ülés első fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.06.05	43,58	1,29	38,50	45,20
2001.06.07	38,56	0,80	37,70	40,90
2001.06.08	42,06	1,70	39,20	44,90
2001.06.13	39,54	2,79	35,20	45,50
2001.06.14	52,24	1,84	48,80	54,70

Dátum	Relatív nedvességtartalom (5000 ppm)			
	ülés második fele			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.06.05	41,53	0,48	40,60	42,70
2001.06.07	36,67	0,33	36,00	37,30
2001.06.08	37,32	0,38	36,60	38,10
2001.06.13	33,22	0,67	32,20	34,80
2001.06.14	44,74	0,92	43,90	46,90

Falhőmérsékletek mérési eredményei

Dátum	Falhőmérsékletek											
	ülés elején				szünet előtt				ülés végén			
	átlag	szórás	minimum	maximum	átlag	szórás	minimum	maximum	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.15	19,92	0,49	19,00	20,50	21,58	0,86	20,00	22,50	21,42	0,80	20,00	22,50
2001.05.16	20,33	0,98	19,00	22,00	22,08	0,86	20,50	23,00	22,67	1,21	20,50	24,00
2001.05.17	21,17	0,68	20,00	22,00	22,33	0,68	21,00	23,00	23,08	1,02	21,00	23,50
2001.05.18	19,75	0,61	19,50	21,00	22,75	0,88	21,00	23,50	22,92	0,97	21,00	23,50
2001.05.21	17,50	0,32	17,00	18,00	21,58	1,11	19,50	22,50	21,67	1,13	19,50	22,50

Dátum	Falhőmérsékletek											
	ülés elején				szünet előtt				ülés végén			
	átlag	szórás	minimum	maximum	átlag	szórás	minimum	maximum	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.22	19,50	0,32	19,00	20,00	21,58	0,86	20,00	22,50	21,92	0,74	20,50	22,50
2001.05.23	19,58	0,38	19,00	20,00	22,00	0,84	20,50	23,00	21,67	1,03	20,00	22,50
2001.05.24	19,25	0,69	18,50	20,50	22,17	0,88	20,50	23,00	22,25	0,88	20,50	23,00
2001.05.25	19,08	0,38	18,50	19,50	23,42	0,86	22,00	24,50	24,00	0,89	22,50	25,00
2001.05.28	21,50	0,55	20,50	22,00	23,75	1,51	21,00	25,50	23,75	1,13	21,50	24,50

Dátum	Falhőmérsékletek											
	ülés elején				szünet előtt				ülés végén			
	átlag	szórás	minimum	maximum	átlag	szórás	minimum	maximum	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.05.29	20,58	0,49	20,00	21,50	23,92	0,97	22,00	24,50	23,50	0,77	22,00	24,00
2001.05.30	21,25	0,52	20,50	22,00	23,33	0,93	21,50	24,00	23,75	1,13	21,50	24,50
2001.05.31	19,67	0,26	19,50	20,00	23,25	1,13	21,00	24,00	24,08	1,07	22,00	25,00
2001.06.01	21,00	0,32	20,50	21,50	23,25	0,69	22,00	24,00	23,50	0,84	22,00	24,50
2001.06.11	16,33	0,52	16,00	17,00	20,83	0,75	19,50	21,50	21,17	0,88	19,50	22,00

Dátum	Falhőmérsékletek											
	ülés elején				szünet előtt				ülés végén			
	átlag	szórás	minimum	maximum	átlag	szórás	minimum	maximum	átlag	szórás	minimum	maximum
2001.06.05	17,75	0,42	17,50	18,50	20,17	0,61	19,00	20,50	19,92	0,80	18,50	20,50
2001.06.07	19,17	0,61	18,00	19,50	21,25	1,13	19,00	22,00	21,42	1,02	19,50	22,50
2001.06.08	19,00	0,32	18,50	19,50	22,42	1,24	20,00	23,50	23,33	1,25	21,00	24,50
2001.06.13	18,92	0,58	18,50	20,00	22,42	1,24	20,00	23,50	22,75	1,17	20,50	24,00
2001.06.14	18,92	0,38	18,50	19,50	22,58	0,80	21,00	23,00	22,42	0,74	21,00	23,00

A szubjektív komfort- érzéssel kapcsolatos eredmények

Levegőminőségi skála

Ülésen belüli változások

- Az 1. (1500 ppm) és 2. (2500 ppm) ülésen belül nincs szignifikáns változás. A harmadik ülés első mérése szignifikánsan különbözik a 3. (600 ppm) méréstől ($F=9.06$, $p=0.015$). A 4. (5000 ppm) ülésen belül az 1. (1500 ppm) mérés szignifikánsan különbözik a 2. (2500 ppm) méréstől ($F=14.5$, $p=0.004$).

Ülések közötti különbségek

- Az első mérések szerint a 3. (600 ppm) és 4. (5000 ppm) ülés szignifikánsan különbözik egymástól ($F=6.67$, $p=0.03$).
- A második mérések szerint a 3. (600 ppm) és 4. (5000 ppm) ülés szignifikánsan különbözik egymástól ($F=5.88$, $p=0.038$).
- A harmadik mérések szerint 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 Közérzeti skála esetében a 3. (600 ppm) és 4. (5000 ppm) ülés különbözött egymástól szignifikánsan ($F=9.48$, $p=0.013$).

Fanger skála

Ülésen belüli változások

- Az 1. (1500 ppm) és 2. (2500 ppm) ülésen belül nincs szignifikáns változás. A harmadik ülés első mérése szignifikánsan különbözik a 2. és 3. méréstől ($F=4.9$, $p=0.054$, $F=5.3$, $p=0.046$), míg a 2. és 3. mérések nem különböznek egymástól. A 4. (5000 ppm) ülésen belül az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 2. és 3. méréstől ($F=12.5$, $p=0.006$, $F=8.4$, $p=0.018$), ez utóbbiak nem különböznek egymástól szignifikánsan.

Ülések közötti különbségek

- A 3. (600 ppm) és 4. (5000 ppm) ülés valamennyi megfelelő mérésének különbsége közel szignifikáns ($p = 0.07$)
- A 4. (5000 ppm) ülés 3. (600 ppm) mérése szignifikánsan különbözik az 1. (1500 ppm) ülés 3. mérésétől ($F=8.5$, $p=0.017$)

- 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 Fanger skála esetében szintén a 3. (600 ppm) és 4. (5000 ppm) ülés különbözött egymástól szignifikánsan ($F=6.59$, $p=0.03$).

Hedonic skála

Ülésen belüli változások

- Az 1. (1500 ppm) és 2. (2500 ppm) ülésen belül nincs szignifikáns változás. A harmadik ülés első mérése szignifikánsan különbözik a 3. méréstől ($F=5$, $p=0.052$) A 4. (5000 ppm) ülésen belül sincs szignifikáns változás.

Ülések közötti különbségek

- Az első mérések szerint 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 mérések szerint az 1. (1500 ppm) és 2. (2500 ppm) ülés szignifikánsan különbözik a 4. (5000 ppm) üléstől ($F=9.0$, $p=0.015$, $F=5.0$, $p=0.05$)
- 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 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

Ülésen belüli változások

- Az 1. (1500 ppm) és 2. (2500 ppm) ülés mérései között nincs szignifikáns különbség.
- A 3. (600 ppm) ülés 1. és 2. mérése között szignifikáns a különbség ($F=7.2$, $p=0.025$).
- A 4. (5000 ppm) ülés 1. és 2. között szignifikáns a különbség ($F=14.8$, $p=0.004$), valamint 1. és 3. mérése között magasan szignifikáns a különbség ($F=22.0$, $p=0.001$). Igen frissen kezdik az ülést, s folyamatosan levertté válnak.

Ülések közötti különbségek

- 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 ($F=10.28$, $p=0.01$), és közel szignifikánsan a 3. (600 ppm) üléstől. Vagyis a 4. (5000 ppm) ülés estében ez a különbség nagyobb, azaz az ülés végére fokozottabban levertté váltak, mint a többi ülésnél.

Fáradtság skála

Ülésen belüli változások

Valamennyi (1. (1500 ppm), 2. (2500 ppm), 3. (600 ppm) és 4. (5000 ppm)) ülés folyamán fáradtabbá válnak:

- az 1. (1500 ppm) ülésnél az 1. mérés értéke szignifikánsan különbözik a 3. (600 ppm) méréstől ($F=10.5$, $p=0.01$),
- a 2. (2500 ppm) ülésnél az 1. mérés értéke szignifikánsan különbözik a 2. méréstől ($F=16$, $p=0.003$) és a 3. méréstől ($F=7.2$, $p=0.025$),
- a 3. (600 ppm) ülésnél az 1. mérés értéke szignifikánsan különbözik a 3. méréstől ($F=5$, $p=0.052$),
- a 4. (5000 ppm) ülésnél az 1. mérés értéke magasan szignifikánsan különbözik a 2. méréstől ($F=16$, $p=0.003$) és 3. méréstől ($F=15.7$, $p=0.003$).

Ülések közötti különbségek

- 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.

Koncentráció skála

Ülésen belüli változások

- Valamennyi (1. (1500 ppm), 2. (2500 ppm), 3. (600 ppm) és 4. (5000 ppm)) ülés folyamán koncentráció képességük csökkent:
- az 1. (1500 ppm) ülésnél az 1. mérés értéke szignifikánsan különbözik a 3. méréstől ($F=6$, $p=0.037$),
- a 2. (2500 ppm) ülésnél 1. mérés értéke szignifikánsan különbözik a 3. méréstől ($F=5$, $p=0.051$),
- a 3. (600 ppm) ülésnél az 1. mérés értéke szignifikánsan különbözik a 2. és 3. méréstől ($F=14.8$, $p=0.004$, $F=16$ $p=0.003$),
- a 4. (5000 ppm) ülésnél az 1. mérés értéke szignifikánsan különbözik a 2. és 3. méréstől ($F=25$, $p=0.001$, $F=11.1$, $p=0.009$).

Ülések közötti különbségek

- Az ülések nem különböznek egymástól szignifikánsan a koncentráció képesség csökkenés szempontjából. 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 ezek a különbségek nem különböznek egymástól szignifikánsan

Objektív fiziológiai paraméterekkel kapcsolatos eredmények

Diasztolés vérnyomás

Ülésen belüli változások

- Az 1. (1500 ppm) és 3. (600 ppm) ülés mérései között nincs szignifikáns különbség,
- A 2. (2500 ppm) ülés folyamán egy keveset emelkedett a vérnyomás: az 1. és 2. mérések között szignifikáns a különbség ($F=6.6$, $p=0.03$).
- A 4. ülés folyamán emelkedett a vérnyomás: az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 2. és 3. méréstől ($F=5.38$, $p=0.045$, $F=9.0$, $p=0.015$).

Ülések közötti különbségek

- 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 közel szignifikánsan különbözik az 1. (1500 ppm) és a 3. (600 ppm) üléstől ($F=3.7$, $p=0.08$, $F=4.08$, $p=0.07$).

Szisztolés vérnyomás

Ülésen belüli változások

- Az 1. (1500 ppm) és 2. (2500 ppm) ülés folyamán csökkent a szisztolés vérnyomás:
- az 1. (1500 ppm) ülés 1. és 3. mérése különbözik egymástól szignifikánsan ($F=7.09$, $p=0.026$);
- a 2. (2500 ppm) ülés 1. és 2. mérése különbözik szignifikánsan egymástól ($F=8.14$, $p=0.019$).
- A 3. (600 ppm) ülés mérései között nincs szignifikáns különbség.
- A 4. (5000 ppm) ülés folyamán egy keveset emelkedett a vérnyomás: az 1. és 3. mérések között szignifikáns a különbség ($F=5.49$, $p=0.044$).

Ülések közötti különbségek

- 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 valamennyi üléstől. (az 3-1 mérést tekintve a 4. (5000 ppm) ülés szignifikánsan különbözik az 1. (1500 ppm) ($F=13.0$, $p=0.006$) valamint a 3. (600 ppm) üléstől ($F=6.52$, $p=0.03$), a 2-1 mérést tekintve a 4. (5000 ppm) ülés szignifikánsan különbözik a 2. (2500 ppm) üléstől. Vagyis az 1. (1500 ppm) és 2. (2500 ppm) ülés folyamán kissé csökkent a vérnyomás, a 3. (600 ppm) ülés folyamán gyakorlatilag nem változott, míg a 4. (5000 ppm) ülés alatt kissé nőtt.

Szívritmus (pulzus frekvencia)

Ülésen belüli változások

Valamennyi ülés folyamán csökkent a pulzusszám:

- az 1. (1500 ppm) ülés 1. és 2. mérése különbözik egymástól szignifikánsan ($F=47.2$, $p=0.000$),
- a 2. (2500 ppm) ülés 1. és 3. mérése különbözik szignifikánsan egymástól ($F=23.2$, $p=0.001$),
- a 3. (600 ppm) ülés 1. és 2., valamint 1. és 3. mérése különbözik szignifikánsan egymástól ($F=42.2$, $p=0.000$, $F=23.2$, $p=0.001$). A 3. (600 ppm) ülés 1. mérésének értéke kiemelkedően magas. A 4. (5000 ppm) ülés 1. és 2. mérése különbözik szignifikánsan egymástól ($F=9.78$, $p=0.12$).

Ülések közötti különbségek

- Az első mérés tekintetében a 3. (600 ppm) ülés értéke magasabb, szignifikáns a különbség az 1. (1500 ppm) ill. 4. (5000 ppm) üléshez képest. 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 ($F=4.8$, $p=0.05$, $F=6.5$, $p=0.03$), s az 1. (1500 ppm) ülés a 3. (600 ppm) üléstől. A legnagyobb szívritmus csökkenés a 3. (600 ppm) ülés alatt, míg a legkisebb a 4. (5000 ppm) ülés alatt volt megfigyelhető.

II. MELLÉKLET

**A második, 2002-ben végzett mérési sorozat részletes
eredményei**

Objektív mikroklímás jellemzők méréseinek eredményei

Légállapot paraméterek mérési eredményei (alapérték 600 ppm)

Dátum	Levegő hőmérsékletek (600 ppm)											
	I. munkaperiódus											
	átlag			szórás			minimum			maximum		
	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő
2002.10.07	23,85	n. a.	n. a.	0,29	n. a.	n. a.	23,20	n. a.	n. a.	24,28	n. a.	n. a.
2002.10.08	23,63	23,49	24,20	0,30	0,34	0,42	23,07	22,65	23,26	24,01	23,87	24,64
2002.10.09	23,52	23,56	23,97	0,28	0,35	0,41	23,00	22,77	23,14	23,94	24,00	24,50
2002.10.10	24,22	23,42	24,56	0,12	0,47	0,22	23,94	22,65	23,97	24,35	24,00	24,85
2002.10.11	24,01	23,19	24,04	0,29	0,41	0,56	23,34	22,07	22,58	24,35	23,62	24,58

Dátum	Levegő hőmérsékletek (600 ppm)											
	II. munkaperiódus											
	átlag			szórás			minimum			maximum		
	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő
2002.10.07	24,50			0,11			24,28			24,64		
2002.10.08	24,26	23,88	24,54	0,03	0,11	0,06	24,21	23,68	24,43	24,35	24,00	24,64
2002.10.09	24,26	24,17	24,72	0,10	0,09	0,06	24,08	24,00	24,64	24,42	24,26	24,85
2002.10.10	24,49	24,20	24,86	0,15	0,17	0,21	24,28	23,94	24,50	24,71	24,39	25,13
2002.10.11	24,46	23,13	24,58	0,05	0,15	0,03	24,35	22,83	24,50	24,50	23,51	24,71

Dátum	Levegő hőmérsékletek (600 ppm)											
	III. munkaperiódus											
	átlag			szórás			minimum			maximum		
	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő
2002.10.07	24,16			0,25			23,74			24,64		
2002.10.08	24,38	23,98	24,63	0,09	0,08	0,09	24,21	23,81	24,50	24,50	24,06	24,77
2002.10.09	24,50	24,27	24,85	0,06	0,02	0,03	24,42	24,26	24,77	24,57	24,32	24,92
2002.10.10	24,76	23,96	25,10	0,02	0,21	0,06	24,71	23,57	25,05	24,77	24,45	25,19
2002.10.11	24,55	23,57	24,54	0,03	0,11	0,04	24,50	23,38	24,50	24,57	23,75	24,64

Dátum	Relatív nedvességtartalom (600 ppm)			
	I. munkaperiódus			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2002.10.07	20,21	0,21	19,80	20,60
2002.10.08	25,65	0,36	24,50	26,40
2002.10.09	26,18	0,22	25,60	26,70
2002.10.10	32,30	0,50	30,00	33,10
2002.10.11	41,35	0,44	40,60	42,20

Dátum	Relatív nedvességtartalom (600 ppm)			
	II. munkaperiódus			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2002.10.07	19,82	0,76	18,20	21,00
2002.10.08	25,58	0,20	25,20	25,90
2002.10.09	26,12	0,17	25,60	26,40
2002.10.10	33,14	0,37	32,10	33,50
2002.10.11	40,19	23,48	39,90	40,30

Dátum	Relatív nedvességtartalom (600 ppm)			
	III. munkaperiódus			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2002.10.07	18,81	0,24	18,40	19,30
2002.10.08	25,32	0,23	24,60	25,80
2002.10.09	26,38	0,18	26,00	26,70
2002.10.10	33,18	0,34	32,10	33,60
2002.10.11	40,52	23,48	40,00	40,90

Légállapot paraméterek mérési eredményei (alapérték 1500 ppm)

Dátum	Levegő hőmérsékletek (1500 ppm)											
	I. munkaperiódus											
	átlag			szórás			minimum			maximum		
	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő
2002.09.23	20,24	19,53	20,60	0,07	0,19	0,22	20,11	19,14	20,09	20,39	19,75	20,80
2002.09.24	21,27	20,91	22,01	0,25	0,27	0,27	20,79	20,37	21,36	21,69	21,28	22,37
2002.09.25	23,83	23,38	24,17	0,05	0,08	0,07	23,74	23,20	23,97	23,87	23,51	24,23
2002.09.26	24,59	24,25	25,03	0,05	0,08	0,10	24,50	24,13	24,85	24,64	24,39	25,13
2002.09.27	25,14	24,93	25,62	0,17	0,26	0,22	24,85	24,39	25,19	25,43	25,25	25,91

Dátum	Levegő hőmérsékletek (1500 ppm)											
	II. munkaperiódus											
	átlag			szórás			minimum			maximum		
	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő
2002.09.23	20,36	19,80	20,76	0,09	0,07	0,12	20,21	19,69	20,58	20,50	19,89	20,91
2002.09.24	22,01	21,54	22,54	0,13	0,10	0,11	21,80	21,40	22,43	22,24	21,73	22,74
2002.09.25	23,87	23,44	24,17	0,00	0,02	0,02	23,87	23,38	24,10	23,87	23,44	24,23
2002.09.26	24,61	24,32	25,09	0,03	0,01	0,04	24,57	24,32	25,05	24,64	24,39	25,13
2002.09.27	25,52	25,28	25,98	0,04	0,10	0,02	25,43	25,17	25,91	25,57	25,52	25,99

Dátum	Relatív nedvességtartalom (1500 ppm)			
	I. munkaperiódus			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2002.09.23	62,49	0,64	60,40	63,30
2002.09.24	51,35	0,45	50,60	52,00
2002.09.25	40,54	0,54	39,30	41,00
2002.09.26	28,91	0,53	27,40	29,40
2002.09.27	32,45	0,22	32,00	32,80

Dátum	Relatív nedvességtartalom (1500 ppm)			
	II. munkaperiódus			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2002.09.23	61,39	0,48	60,40	62,20
2002.09.24	50,01	0,32	49,30	50,50
2002.09.25	38,49	0,51	37,70	39,30
2002.09.26	28,53	0,16	27,70	28,90
2002.09.27	31,16	23,48	30,40	31,90

Légállapot paraméterek mérési eredményei (alapérték 3000 ppm)

Levegő hőmérsékletek (3000 ppm)												
I. munkaperiódus												
Dátum	átlag			szórás			minimum			maximum		
	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő
2002.09.30	23,79	24,02	24,75	0,48	0,42	0,41	22,75	23,20	23,63	24,42	24,65	25,20
2002.10.01	25,01	25,11	25,87	0,36	0,33	0,36	24,28	24,45	24,98	25,50	25,58	26,28
2002.10.02	24,71	25,04	25,78	0,20	0,11	0,16	24,21	24,65	25,19	24,92	25,11	25,91
2002.10.03	25,69	25,42	26,31	0,04	0,26	0,06	25,57	24,97	26,20	25,72	25,71	26,43
2002.10.04	26,33	26,31	26,62	0,10	0,11	0,14	26,11	25,99	26,35	26,41	26,42	26,81

Levegő hőmérsékletek (3000 ppm)												
II. munkaperiódus												
Dátum	átlag			szórás			minimum			maximum		
	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő
2002.09.30	25,06	25,15	25,76	0,25	0,24	0,23	24,64	24,77	25,41	25,43	25,52	26,07
2002.10.01	25,92	25,92	26,56	0,18	0,14	0,17	25,57	25,71	26,21	26,17	26,13	26,81
2002.10.02	25,38	25,70	26,30	0,25	0,29	0,30	24,99	25,17	25,84	25,80	26,13	26,73
2002.10.03	25,64	25,46	26,10	0,05	0,12	0,10	25,57	25,24	25,91	25,72	25,58	26,28
2002.10.04	26,46	26,42	26,78	0,11	0,13	0,18	26,33	26,20	26,50	26,64	26,63	27,04

Levegő hőmérsékletek (3000 ppm)												
III. munkaperiódus												
Dátum	átlag			szórás			minimum			maximum		
	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő
2002.09.30	25,54	25,41	26,00	0,11	0,17	0,13	25,43	25,17	25,85	25,80	25,65	26,21
2002.10.01	26,02	25,78	26,47	0,07	0,12	0,09	25,95	25,65	26,29	26,17	26,07	26,66
2002.10.02	25,92	25,85	26,60	0,04	0,14	0,04	25,88	25,58	26,50	26,03	26,13	26,66
2002.10.03	25,78	25,72	26,24	0,16	0,22	0,20	25,57	25,38	25,91	26,03	26,07	26,50
2002.10.04	26,41	26,19	26,63	0,19	0,23	0,27	26,17	25,92	26,28	26,72	26,56	27,11

Relatív nedvességtartalom (3000 ppm)				
I. munkaperiódus				
Dátum	átlag	szórás	minimum	maximum
2002.09.30	27,06	0,35	26,40	27,80
2002.10.01	26,83	0,22	26,50	27,30
2002.10.02	27,01	0,67	26,10	28,00
2002.10.03	30,40	0,58	28,10	31,40
2002.10.04	35,98	0,21	35,50	36,40

Relatív nedvességtartalom (3000 ppm)				
II. munkaperiódus				
Dátum	átlag	szórás	minimum	maximum
2002.09.30	26,65	0,31	25,80	27,10
2002.10.01	25,63	0,21	25,10	26,10
2002.10.02	26,14	0,24	25,70	26,60
2002.10.03	30,06	0,31	29,10	30,60
2002.10.04	36,42	23,48	35,90	36,80

Relatív nedvességtartalom (3000 ppm)				
III. munkaperiódus				
Dátum	átlag	szórás	minimum	maximum
2002.09.30	25,44	0,38	24,80	26,30
2002.10.01	22,78	0,69	21,70	24,00
2002.10.02	25,68	0,29	25,20	26,10
2002.10.03	30,63	0,27	29,80	31,20
2002.10.04	36,87	23,48	35,50	37,80

Légállapot paraméterek mérési eredményei (alapérték 4000 ppm)

Dátum	Levegő hőmérsékletek (4000 ppm)											
	I. munkaperiódus											
	átlag			szórás			minimum			maximum		
	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő
2002.10.14	22,81	22,95	23,53	0,40	0,42	0,48	21,99	21,96	22,39	23,40	23,51	24,10
2002.10.15	24,03	23,83	24,38	0,18	0,14	0,15	23,67	23,57	24,04	24,28	24,00	24,64
2002.10.16	24,41	24,31	24,77	0,11	0,13	0,09	24,21	24,06	24,58	24,57	24,45	24,92
2002.10.17	25,99	26,17	26,82	0,28	0,26	0,33	25,43	25,65	26,06	26,41	26,48	27,19
2002.10.18	23,62	23,00	23,79	0,25	0,38	0,51	23,14	21,90	22,58	23,94	23,51	24,37

Dátum	Levegő hőmérsékletek (4000 ppm)											
	II. munkaperiódus											
	átlag			szórás			minimum			maximum		
	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő	tartozkodási zónában	bokamagasságban	befűjt levegő
2002.10.14	23,78	23,70	24,25	0,15	0,11	0,14	23,53	23,51	23,97	24,01	23,87	24,43
2002.10.15	24,29	23,63	24,55	0,03	0,37	0,06	24,28	22,77	24,43	24,35	23,94	24,64
2002.10.16	24,59	24,18	24,84	0,03	0,08	0,06	24,57	24,06	24,71	24,64	24,39	24,92
2002.10.17	26,65	26,57	27,23	0,12	0,08	0,05	26,48	26,42	27,11	26,80	26,63	27,28
2002.10.18	24,18	23,69	24,67	0,08	0,10	0,05	24,08	23,51	24,58	24,28	24,00	24,71

Dátum	Relatív nedvességtartalom (4000 ppm)			
	I. munkaperiódus			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2002.10.14	33,62	0,61	32,80	35,00
2002.10.15	36,06	0,21	35,00	36,50
2002.10.16	40,03	0,51	38,40	40,60
2002.10.17	41,49	0,31	41,10	42,10
2002.10.18	33,67	0,60	32,40	34,40

Dátum	Relatív nedvességtartalom (4000 ppm)			
	II. munkaperiódus			
	átlag	szórás	minimum	maximum
2002.10.14	32,63	0,35	31,90	33,40
2002.10.15	36,22	0,14	35,80	36,50
2002.10.16	39,86	0,30	39,30	40,30
2002.10.17	41,91	0,38	40,90	42,50
2002.10.18	31,81	23,48	30,80	33,50

Falhőmérsékletek mérési eredményei

Dátum	Falhőmérsékletek		
	I. ülés elején	I. ülés végén	II. ülés végén
2002.09.23	17,5	20,0	20,0
2002.09.24	20,0	21,5	22,5
2002.09.25	23,0	24,0	24,0
2002.09.26	23,5	25,0	25,0
2002.09.27	23,5	26,5	26,0

Dátum	Falhőmérsékletek			
	I. ülés elején	I. ülés végén	II. ülés végén	III. ülés végén
2002.09.30	20,5	25,5	25,5	26,0
2002.10.01	22,0	26,5	26,5	26,5
2002.10.02	22,5	25,5	26,5	26,5
2002.10.03	25,5	25,5	25,0	26,5
2002.10.04	23,5	26,0	27,0	26,0

Dátum	Falhőmérsékletek			
	I. ülés elején	I. ülés végén	II. ülés végén	III. ülés végén
2002.10.07	23,0	24,5	25,0	23,5
2002.10.08	21,5	24,5	24,0	24,0
2002.10.09	20,0	24,5	24,5	24,0
2002.10.10	21,5	24,5	24,5	24,5
2002.10.11	20,0	23,5	24,0	23,5

Dátum	Falhőmérsékletek		
	I. ülés elején	I. ülés végén	II. ülés végén
2002.10.14	19,5	23,0	24,0
2002.10.15	23,5	24,5	24,0
2002.10.16	22,5	24,5	25,0
2002.10.17	25,0	26,5	27,0
2002.10.18	21,0	24,0	24,5

A szubjektív komfort- érzéssel kapcsolatos eredmények

Levegőminőségi skála

Ülésen belüli változások

- Az ismételt mérésen alapuló variancia analízis (3 szint) kontrasztokkal kimutatta, hogy az 1. ülés (1500 ppm) 1. mérése szignifikánsan különbözik a 2. (F=15,117, p=0,004), a 3. (F=17,028, p=0,003) méréstől és a 2. mérés szignifikánsan különbözik a 3. méréstől 2. (F=7,602, p=0,022): az ülés folyamán egyre rosszabbnak ítélik meg a levegő minőségét.
- Az ismételt mérésen alapuló variancia analízis (4 szint) kontrasztokkal kimutatta, hogy a 2. ülés (3000 ppm) 2. (F=14,077, p=0,005), 3. (F=12,244, p=0,007) és 4. (F=9,339, p=0,014) mérése szignifikánsan különbözik az 1. méréstől: az ülés folyamán egyre rosszabbnak ítélik meg a levegő minőségét (a harmadik és negyedik mérés már nem különbözik egymástól szignifikánsan).
- Az ismételt mérésen alapuló variancia analízis (4 szint) kontrasztokkal kimutatta, hogy a 3. ülés (600 ppm) alatt csak a második 70 perces periódus után jelzik szignifikánsan rosszabbnak a levegő minőségét az ülés kezdetéhez viszonyítva. Tehát 1 mérés szignifikánsan különbözik a 3. (F=6,541, p=0,031) és 4. (F=9,310, p=0,014) méréstől és a 2. a 4. méréstől (F=5,730, p=0,040).
- Az ismételt mérésen alapuló variancia analízis (3 szint) kontrasztokkal kimutatta, hogy az 4. ülés (4000 ppm) 1. mérése szignifikánsan különbözik a 2. (F=7,754, p=0,021) és a 3. (F=10,103, p=0,011) méréstől, és a 2. mérés szignifikánsan különbözik a 3. méréstől (F=5,316, p=0,047): az ülés folyamán egyre rosszabbnak ítélik meg a levegő minőségét.

Valamennyi ülésnél egyre rosszabbnak ítélték meg a levegőminőséget az idő előrehaladtával: az ülések kezdetén jelzett értékek szignifikánsan különböztek az ülések végén mért értékektől. A 3. ülésnél (600 ppm) később (csak a második 70 perces periódust követően) jelezték szignifikánsan rosszabbnak a levegő minőségét.

Ülések közötti különbségek

Ismételt mérésen alapuló variancia analízisnek vetettük alá valamennyi ülés megfelelő méréseit:

- az 1. mérések tekintetében az 1. ülés (1500 ppm) 1. mérése szignifikánsan különbözik a 4. (4000 ppm) ülés 1. méréstől (F=9,093, p=0,015),
- a 2. mérések tekintetében nem különböznek egymástól az ülések,
- 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).

A 2. (3000 ppm) és 3. ülésnél (600 ppm) 4 mérést alkalmaztunk (3x70 perc munkaperiódus). Ezek az ülések a negyedik mérést illetően csak közel szignifikánsan különböznek egymástól ($F=4,202$, $p=0,071$).

Fanger skála

Ülésen belüli változások

- Az ismételt mérésen alapuló variancia analízis kontrasztokkal kimutatta, hogy az 1. ülés (1500 ppm) 1. mérése szignifikánsan különbözik a 2. ($F=8,245$, $p=0,018$) és a 3. ($F=21,339$, $p=0,001$) méréstől és a 2. mérés szignifikánsan különbözik a 3. méréstől ($F=6,513$, $p=0,031$).
- Az ismételt mérésen alapuló variancia analízis kontrasztokkal kimutatta, hogy a 2. ülés (3000 ppm) 1. mérése szignifikánsan különbözik 2. ($F=6,094$, $p=0,036$), a 3. ($F=9,012$, $p=0,015$) és a 4. ($F=8,692$, $p=0,016$) méréstől
- Az ismételt mérésen alapuló variancia analízis kontrasztokkal kimutatta, hogy a 3. ülés (600 ppm) 1. mérése szignifikánsan különbözik a 3. ($F=9,589$, $p=0,013$) és 4. ($F=5,694$, $p=0,041$) méréstől és 2. mérése a 3. ($F=7,784$, $p=0,021$) és 4. ($F=7,161$, $p=0,025$) méréstől, míg azok nem különböznek egymástól szignifikánsan.
- Az ismételt mérésen alapuló variancia analízis kontrasztokkal kimutatta, hogy a 4. ülés (4000 ppm) mérései nem különböznek egymástól szignifikánsan.

Ülések közötti különbségek

Ismételt mérésen alapuló variancia analízisnek vetettük alá valamennyi ülés megfelelő méréseit:

- az 1. mérések tekintetében a 3. ülés (600 ppm) 1. mérése szignifikánsan különbözik a 4. ülés (4000 ppm) 1. méréstől ($F=8,840$, $p=0,016$),
- a 2. mérések tekintetében nem különböznek egymástól az ülések,
- 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 ($t=-2,25$, $p=0,051$).

Hedonic skála

Ülésen belüli változások

- Az ismételt mérésen alapuló variancia analízis kontrasztokkal kimutatta, hogy az 1. (1500 ppm), a 2. (3000 ppm) és a 3. ülésnél (600 ppm) nincs szignifikáns különbség a mérések között.

- A 4. ülésnél (4000 ppm) az első és második mérés között közel szignifikáns a különbség (a második mérésnél rosszabbnak ítélik a levegőt) ($F=5,000$, $p=0,052$).

Ülések közötti különbségek

Ismételt mérésen alapuló variancia analízisnek vetettük alá valamennyi ülés megfelelő méréseit:

- az 1. mérések tekintetében nem különböznek egymástól az ülések,
- a 2. mérések tekintetében nem különböznek egymástól az ülések,
- a 3. mérés esetében szignifikáns különbség van az 1. ülés (1500 ppm) és a 3. ülés (600 ppm) között (az 1. ülésnél rosszabbnak ítélik a levegőt) ($F=6,000$, $p=0,037$).

A 2. (3000 ppm) és 3. ülés (600 ppm) közötti különbségek (ezeknél az üléseknél négy mérés volt):

A 4. mérések tekintetében nem különböznek egymástól az ülések.

Frissesség skála

Ülésen belüli változások

A páros Student T teszt kimutatta, hogy:

- az első ülés (1500 ppm) esetében az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 2. ($t=2,25$, $p=0,051$) és 3. méréstől ($t=3,857$, $p=0,004$);
- második ülés (3000 ppm) esetében az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 3. ($t=3,28$, $p=0,010$) és 4. ($t=2,703$, $p=0,024$) méréstől, valamint a 2. mérés a 4. méréstől ($t=2,862$, $p=0,019$);
- a harmadik ülés (600 ppm) esetében a mérések nem különböznek egymástól szignifikánsan;
- a negyedik ülés (4000 ppm) esetében az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 2. ($t=2,714$, $p=0,024$) és 3. ($t=6,128$, $p=0,00$) méréstől, valamint a 2. mérés a 3. méréstől ($t=3,00$, $p=0,015$).

Ülések közötti különbségek

Ismételt mérésen alapuló variancia analízisnek vetettük alá valamennyi ülés megfelelő méréseit:

- 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

Ülésen belüli változások

A páros Student T teszt kimutatta, hogy:

- az első ülés (1500 ppm) esetében az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 2. ($t=6,00$, $p=0,00$) és 3. ($t=3,207$, $p=0,011$) méréstől;
- második ülés (3000 ppm) esetében az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 3. ($t=2,449$, $p=0,037$) és 4. ($t=4,811$, $p=0,001$) méréstől, valamint a 2. mérés a 3. ($t=2,236$, $p=0,052$) és 4. ($t=5,014$, $p=0,001$) méréstől;
- a harmadik ülés (600 ppm) esetében az 1. mérés csak a 4. méréstől különbözik szignifikánsan ($t=2,753$, $p=0,022$);
- a negyedik ülés (4000 ppm) esetében az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 2. ($t=3,28$, $p=0,010$) és 3. ($t=8,573$, $p=0,00$) méréstől, valamint a 2. mérés a 3. méréstől ($t=3,28$, $p=0,010$).

Ülések közötti különbségek

Ismételt mérésen alapuló variancia analízisnek vetettük alá valamennyi ülés megfelelő méréseit.

- A kontrasztok kimutatták, hogy az 1. mérések tekintetében az ülések nem különböznek egymástól szignifikánsan.
- 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 kontrasztok kimutatták, hogy a 3. mérések tekintetében az ülések nem különböznek egymástól szignifikánsan.

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 ($t=-2,714$, $p=0,020$).

Koncentráció skála

Ülésen belüli változások

A páros Student T teszt kimutatta, hogy:

- az első ülés (1500 ppm) esetében az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 2. ($t=2,449$, $p=0,037$) és 3. ($t=2,703$, $p=0,024$) méréstől;
- második ülés (3000 ppm) esetében az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 3. ($t=2,333$, $p=0,045$) és 4. ($t=3,087$, $p=0,013$) méréstől, valamint a 2. mérés a 3. ($t=2,236$, $p=0,052$) és 4. ($t=4,743$, $p=0,001$) méréstől;
- a harmadik ülés (600 ppm) esetében az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 3. ($t=2,753$, $p=0,022$) és 4. ($t=2,689$, $p=0,025$) méréstől;
- a negyedik ülés (4000 ppm) esetében az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 2. ($t=3,498$, $p=0,007$) és 3. méréstől ($t=8,573$, $p=0,00$), valamint a 2. mérés a 3. méréstől ($t=0,896$, $p=0,394$),.

Ülések közötti különbségek

Ismételt mérésen alapuló variancia analízisnek vetettük alá valamennyi ülés megfelelő méréseit.

- A kontrasztok kimutatták, hogy az 1. mérések tekintetében az ülések nem különböznek egymástól szignifikánsan.
- A kontrasztok kimutatták, hogy a 2. mérések tekintetében az első ülés (1500 ppm) szignifikánsan különbözik a második üléstől (3000 ppm) ($F=9,00$, $p=0,015$).
- A kontrasztok kimutatták, hogy a 3. mérések tekintetében az ülések nem különböznek egymástól szignifikánsan.

A 4. mérések esetében Student T tesztet végeztünk, mivel csak a második (3000 ppm) és harmadik ülésnél (600 ppm) történt négy mérés. A teszt kimutatta, hogy 4. mérések tekintetében a második ülés nem különbözik szignifikánsan a harmadik üléstől.

Objektív fiziológiai paraméterekkel kapcsolatos eredmények

Diasztolés vérnyomás

Ülésen belüli változások

A páros Student T teszt kimutatta, hogy:

- az első ülés (1500 ppm) esetében a mérések nem különböznek egymástól szignifikánsan;
- második ülés (3000 ppm) esetében az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 3. méréstől ($t=-3,759$, $p=0,004$);
- a harmadik ülés (600 ppm) esetében az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 4. méréstől ($t=-2,572$, $p=0,030$), és a 2. mérés a 3. ($t=-2,929$, $p=0,014$) és 4. ($t=-4,204$, $p=0,002$) méréstől;

- a negyedik ülés (4000 ppm) esetében a mérések nem különböznek egymástól szignifikánsan.

Ülések közötti különbségek

Ismételt mérésen alapuló variancia analízisnek vetettük alá valamennyi ülés megfelelő méréseit.

- A kontrasztok kimutatták, hogy az 1. mérések tekintetében az első ülés (1500 ppm) szignifikánsan különbözik a második (3000 ppm) ($F=8,353$, $p=0,018$) és harmadik (600 ppm) ($F=4,773$, $p=0,057$) üléstől.
- A kontrasztok kimutatták, hogy a 2. mérések tekintetében az első ülés (1500 ppm) szignifikánsan különbözik a második (3000 ppm) ($F=5,474$, $p=0,044$) és harmadik (600 ppm) ($F=5,492$, $p=0,044$) üléstől.
- A kontrasztok kimutatták, hogy a 3. mérések tekintetében nincs az ülések között szignifikáns különbség.

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 az ülések nem különböznek egymástól szignifikánsan.

Szisztolés vérnyomás

Ülésen belüli változások

A páros Student T teszt kimutatta, hogy:

- az első ülés (1500 ppm) esetében az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 2. ($t=3,154$, $p=0,012$) és a 3. ($t=6,763$, $p=0,00$) méréstől;
- második ülés (3000 ppm) esetében a mérések nem különböznek szignifikánsan egymástól;
- a harmadik ülés (600 ppm) esetében az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 2. ($t=2,79$, $p=0,021$) és a 4. ($t=2,749$, $p=0,023$) méréstől;
- a negyedik ülés (4000 ppm) esetében a mérések nem különböznek szignifikánsan egymástól.

Ülések közötti különbségek

Ismételt mérésen alapuló variancia analízisnek vetettük alá valamennyi ülés megfelelő méréseit.

- A kontrasztok kimutatták hogy az 1. mérések tekintetében az első ülés (1500 ppm) szignifikánsan különbözik a második (3000 ppm) ($F=22,769$, $p=0,001$) és negyedik (4000 ppm) ($F=9,156$, $p=0,014$) ülésektől, valamint a második ülés (3000 ppm) a harmadiktól (600 ppm) ($F=4,682$, $p=0,059$).
- A kontrasztok kimutatták, hogy a 2. mérések tekintetében nincs az ülések között szignifikáns különbség.
- A kontrasztok kimutatták, hogy a 3. mérések tekintetében az első ülés (1500 ppm) szignifikánsan különbözik a második (3000 ppm) ($F=9,088$, $p=0,015$) és negyedik üléstől (4000 ppm) ($F=8,394$, $p=0,018$).

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 az ülések nem különböznek egymástól szignifikánsan.

Szívritmus (pulzus frekvencia)

Ülésen belüli változások

A páros Student T teszt kimutatta, hogy

- az első ülés (1500 ppm) esetében az 1. mérés közel szignifikánsan különbözik a 2. méréstől ($t=2,16$, $p=0,059$);
- második ülés (3000 ppm) esetében az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 2. ($t=5,346$, $p=0,00$), a 3. ($t=3,83$, $p=0,004$) és a 4. ($t=4,443$, $p=0,002$) méréstől;
- a harmadik ülés (600 ppm) esetében az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 2. ($t=5,469$, $p=0,00$), a 3. ($t=3,256$, $p=0,010$) és a 4. ($t=9,344$, $p=0,00$) méréstől;
- a negyedik ülés (4000 ppm) esetében az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 2. ($t=2,944$, $p=0,016$) és a 3. ($t=2,794$, $p=0,021$) méréstől.

Valamennyi esetben az ülés elején magasabb volt a szívfrekvencia, mint a további méréseknél.

Ülések közötti különbségek

Ismételt mérésen alapuló variancia analízisnek vetettük alá valamennyi ülés megfelelő méréseit.

- A kontrasztok kimutatták, hogy az 1. mérések tekintetében nincs az ülések között szignifikáns különbség.
- A kontrasztok kimutatták, hogy a 2. mérések tekintetében nincs az ülések között szignifikáns különbség.
- A kontrasztok kimutatták, hogy a 3. mérések tekintetében nincs az ülések között szignifikáns különbség.

A 4. mérések esetében Student T tesztet végeztünk, mivel csak a második (3000 ppm) és harmadik ülésnél (600 ppm) történt négy mérés. A teszt kimutatta, hogy 4. mérések tekintetében az ülések nem különböznek egymástól szignifikánsan.

Szívperiódus (RR-intervallum)

Ülésen belüli változások

- az első ülés (1500 ppm) esetében az 1. mérés közel szignifikánsan különbözik a 2. méréstől ($t=-4,039$, $p=0,027$);
- második ülés (3000 ppm) esetében az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 2. ($t=-3,084$, $p=0,054$) és a 3. ($t=-8,897$, $p=0,003$) méréstől;
- a harmadik ülés (600 ppm) esetében az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 2. ($t=-4,802$, $p=0,009$) és a 3. ($t=-4,017$, $p=0,016$) méréstől;

- a negyedik ülés (4000 ppm) esetében az 1. mérés szignifikánsan különbözik a 2. ($t=-3,276$, $p=0,031$) méréstől.

Valamennyi esetben az ülés elején rövidebbek voltak az RR-intervallumok (vagyis magasabb volt a szívfrekvencia), mint a további méréseknél.

Ülések közötti különbségek

Ismételt mérésen alapuló variancia analízisnek vetettük alá valamennyi ülés megfelelő méréseit.

- A kontrasztok kimutatták, hogy az 1. mérések tekintetében nem különböznek egymástól az ülések.
- A kontrasztok kimutatták, hogy a 2. mérések tekintetében nem különböznek egymástól az ülések.
- A kontrasztok kimutatták, hogy a 3. mérések tekintetében nincs az ülések között szignifikáns különbség.

A szívperiódus variancia (SzPV) magasfrekvenciás spektrális komponense (MF)

Ülésen belüli változások

A páros Student T teszt kimutatta, hogy az üléseken belüli mérések nem különböznek egymástól szignifikánsan.

Ülések közötti különbségek

Ismételt mérésen alapuló variancia analízisnek vetettük alá valamennyi ülés megfelelő méréseit.

- A kontrasztok kimutatták, hogy az 1. mérések tekintetében nem különböznek egymástól az ülések.
- A kontrasztok kimutatták, hogy a 2. mérések tekintetében az első ülés (1500 ppm) szignifikánsan különbözik a harmadiktól (600 ppm) ($F=18,969$, $p=0,049$), valamint a második ülés (3000 ppm) a negyedik üléstől (4000 ppm) ($F=23,154$, $p=0,041$).

A 3. mérések esetében Student T tesztet végeztünk, mivel csak a második (3000 ppm) és harmadik ülésnél (600 ppm) történt 3 mérés. A teszt kimutatta, hogy 4. mérések tekintetében az ülések nem különböznek egymástól szignifikánsan.

A szívperiódus variancia (SzPV) középfrekvenciás spektrális komponense (KF)

Ülésen belüli változások

A páros Student T teszt kimutatta, hogy az üléseken belüli mérések nem különböznek egymástól szignifikánsan.

Ülések közötti különbségek

Ismételt mérésen alapuló variancia analízisnek vetettük alá valamennyi ülés megfelelő méréseit.

- A kontrasztok kimutatták, hogy az 1. mérések tekintetében az első ülés (1500 ppm) szignifikánsan különbözik a második üléstől (3000 ppm) ($F=35,557$, $p=0,027$).
- A kontrasztok kimutatták, hogy a 2. mérések tekintetében az ülések nem különböznek egymástól szignifikánsan.

A 3. mérések esetében Student T tesztet végeztünk, mivel csak a második (3000 ppm) és harmadik (600 ppm) ülésnél történt 3 mérés. A teszt kimutatta, hogy 4. mérések tekintetében az ülések nem különböznek egymástól szignifikánsan.

A szívperiódus variancia (SzPV) középfrekvenciás komponensének relatív értéke(KFrel)

A szívperiódus variancia (SzPV) középfrekvenciás komponensének relatív értékét (KFrel) a középfrekvenciás komponens (KF) és a közép- (KF) és magasfrekvenciás komponens (MF) hányadosából képezzük [$KF/(KF+MF)$].

Ülések közötti különbségek

Ismételt mérésen alapuló variancia analízisnek vetettük alá valamennyi ülés megfelelő méréseit.

- A kontrasztok kimutatták, hogy az 1. mérések tekintetében a második ülés (3000 ppm) szignifikánsan különbözik a negyedik üléstől (4000 ppm) ($F=79,147$, $p=0,012$).
- A kontrasztok kimutatták, hogy 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. A harmadik és negyedik ülés között a szignifikáns különbség számottevő mértékű is. Tehát a legkisebb koncentrációjú (600 ppm) ülés a legnagyobb mértékben különbözik a legnagyobb koncentrációjú (4000 ppm) üléstől. Az MFrel a legnagyobb értéket 600 ppm koncentrációnál veszi fel, a legkisebbet pedig 4000 ppm koncentrációnál. E paraméter csökkenő értéke fokozott szellemi erőfeszítésre utal.

A 3. mérések esetében Student T tesztet végeztünk, mivel csak a második (3000 ppm) és harmadik (600 ppm) ülésnél történt 3 mérés. A teszt kimutatta, hogy 4. mérések tekintetében az ülések nem különböznek egymástól szignifikánsan.

III. MELLÉKLET

Az ISAX rendszer ismertetése

Az autonóm idegrendszer egyensúlyának monitorozására egy számítógéppel segített mérő - és adatfeldolgozó rendszert (ISAX) alkalmaztunk, mely a vegetatív idegrendszeri aktivitás természetes körülmények között történő nyomon követését teszi lehetővé az SZPV spektrális analízise segítségével. [43] [44] [45]

A rendszer részei:

- egy többcsatornás miniatürizált, ambuláns mérő és jelfeldolgozó műszer, mellyel 24 órán keresztül szív-dobbanásról szívdobbanásra mérhető és tárolható a szívperiódus (RR-intervallum), és opcionálisan, más biológiai jelek, és
- programcsomag, mellyel a rögzített biológiai jelek spektrális analízisnek (Autoregresszív modell) vethetők alá IBM PC-ben, a tárolt adatok PC - be való beolvasásához szükséges programok, algoritmusok az SZPV teljesítménysűrűség spektrum-komponensek különböző paramétereinek értékelésére, statisztikai feldolgozás számára alkalmas szöveg-file kimenet. [46]

A hordozható adat-rögzítő egység a vizsgálandó személy övére csíptethető s a szenzorokhoz csatlakoztatható. A regisztrált adatokat beépített NVRAM tárolja. 2 csatorna szolgál jelzésre ill. szinkronizációra, hogy meghatározott helyzetekben regisztrált adatsorokat megjelöljünk, akár egy nyomógommbal, akár távolról külső trigger - bemenet segítségével. Az adatgyűjtés után az adatrögzítő egységet IBM PC-hez csatlakoztatjuk és az adatokat a számítógépbe olvassuk. Ez után futtathatjuk az „ISAX” programot, amely a spektrális analízist végzi.

A program működésének lépései:

- Lineáris interpoláció segítségével időfüggvényt készít az RR- intervallumokból. Az időfüggvényt 1 Hz-el mintavételezi.
- A számítógép képernyőjén megjeleníti az RR-időfüggvényt és opcionálisan a szinkron regisztrált egyéb jeleket. Opcionális artefaktum-korrekciónálisan interaktív módon stacionárius és reprezentatív szakaszokat választunk ki további analízisre /analízis-keret/. Az analízis keretbe foglalt adatsorhoz az ISAX program módosított Burg-algoritmust [26] alkalmazó autoregresszív (AR) modellt illetve [12] [29] [40] Konvencionális analízis-módszerekkel való

összehasonlíthatóság céljából a program kiszámolja az SzPV-spektrum meghatározott frekvenciahatárok közötti sávjainak teljesítményét. Így kiszámításra kerül:

- P_{mf} [msec^2]: magasfrekvenciás spektrális sáv (150 mHz-45mHz) spektrális teljesítménye,
- P_{kf} [msec^2]: középfrekvenciás spektrális sáv (70 mHz - 150 mHz) spektrális teljesítménye, és a P_{af} [msec^2]: alacsony frekvenciás sáv (10 mHz - 70 mHz) spektrális teljesítménye. Opcionálisan az AR modell biztosította dekompozíció végezhető el és további spektrális paraméterek kerülhetnek kiszámításra. A program valamennyi kívánt paramétert textfile-ba rendez további statisztikai feldolgozás számára standard statisztikai programok segítségével.

Az egyes komponensek relatív spektrális teljesítményét normalizált egységekben fejeztük ki: az egyes komponensek spektrális teljesítményét teljesítményük összegével (összeg = MF-teljesítmény + KF- teljesítmény) osztottuk. Tehát, MF- relatív = MF-teljesítmény/összeg, KF relatív = KF-teljesítmény/összeg.

A spektrál-analízis egyik feltétele az idősorok stacionaritása. Ez ritkán valósul meg biológiai jelek esetében. Hogy folyamatában szemlélhessük a spektrális komponensek változását az un. "spektrális profil" módszert alkalmaztuk. [56] Az analizálandó jelsorozaton rövid (30-60 mp) szakaszokon végzi a program a spektrál - analízist, s ezt a szakaszt gördíti végig az időfüggvényen meghatározott fedéssel (90%). Így spektrális paraméterek sorozatát kapjuk. Adott frekvenciasáv spektrális teljesítménye az idő függvényében az un. "spektrális profil". [31] [32] [47]