



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Doktori Tézisfüzetei
Gépészmérnöki Kar Doktori Tanácsa
Doktori Tézisfüzet**

Készítette:

Hrustinszky Tamás

**Komfortterek belső levegőminőség emisszióforrásainak
vizsgálata**

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

Témavezető: Dr. Kajtár László

Budapest, 2012

1. ELŐZMÉNYEK

Az emberiség napjainkban az élete közel 90%-át belső terekben, épületekben tölti. Az épületek az egyre magasabb színvonalú hőszigetelésnek és légzárásnak köszönhetően elszigetelődtek a külső tértől. A természetes légcseréje jelentősen lecsökkent, a belső levegő ennek következtében áporodottá, szennyezetté válik. A bent tartózkodók számára a rossz levegőminőség egészségügyi problémákat, szellemi fáradtságot, rossz közérzetet eredményezhet. Az épületek belső levegőminősége ezért nemzetközi szinten egyre nagyobb jelentőséggel bír.

A definíció értelmében a belső levegőminőség magába foglalja a komforttér levegőjének minden olyan nem termikus jellemzőjét, mely az ember közérzetét befolyásolja.

A 80-as években az energiatakarékossági megfontolások miatt foglalkoztak az épületek légcseréjének csökkentésével. Ugyanakkor a helyiségek károsanyag terhelése nem csökkent, sőt újabb burkoló- és építőanyagok alkalmazása miatt (pl. formaldehid) növekedett. A komfortterekben megszorodtak a levegőminőség miatti panaszok: fejfájás, kábultság, fáradtság, koncentrációs zavarok, a szem és a felső légúti nyálkahártya izgalmi panaszai. A tünetek együttesen "Sick Building Syndrome" néven ismertek. A felsorolt tünetekből is következik, hogy a problémakör vizsgálata orvosi, orvoshigiéniai, épületgépészeti stb. szakterületet érint. Az elmúlt évek során sok kutató foglalkozott ezzel a témakörrel. A vizsgálatok tartalmaztak szubjektív és objektív mérési és vizsgálati módszereket. A témakör széles nemzetközi szakirodalommal rendelkezik. Ennek ellenére még nem állítható, hogy a probléma teljeskörűen megoldott.

A Dán Műszaki Egyetemen dolgozó Fanger professzor kutatásainak központjában a belső levegő minőség vizsgálata állt és 1983-ban megdöntötte Yaglou téziseit. A kutatásai eredményei alapján vezette be Fanger [5] az érzékelhető belső levegőminőség meghatározását.

2. CÉLKITŰZÉSEK, A MŰSZAKI PROBLÉMA FELVETÉSE ÉS MEGOLDÁSÁNAK DEFINIÁLÁSA

A zárt terek komfortja alatt általában a hőérzeti, levegőminőségi, akusztikai és világítástechnikai, valamint rezgési komfortot értjük. A megfelelő komfort biztosításában 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.

Külföldi előírások és szabványok a hőérzeti komfort biztosítása mellett a levegő szükséges minőségét is rögzítik. A tartózkodási zónában a levegő minőségének a biztosítása alatt elegendő mennyiségű és elegendő tisztaságú frisslevegő bevezetését értjük a benttartózkodó személyek számára. A magyarországi műszaki előírások ezen szempontokra még nem teljeskörűek. Ezzel függnek össze a klimatizált terekben dolgozóktól hallott gyakori panaszok: a levegő "szagát" kellemetlennek tartják, "levegőhiányuk" van, esetleg fejfájással küszködnek.

Kutatási területemnek az érzékelhető belső levegőminőséget (Perceived Indoor Air Quality) választottam, mely a komfortterek levegőjének szaglással, mint érzékszervvel megkülönböztethető alkotóira terjed ki. A kutatási terület alapjait Fanger dolgozta ki, ő definiálta a szennyezőforrás erősségének mértékegységét az olfot és az érzékelhető levegőminőség mértékegységét a decipolt. A belső levegő minőség hazai terminológia rendszerét Kajtár (2000) dolgozta ki. [1]

A levegőben számtalan olyan gáz található, mely szagtalan, az emberi érzékszervvel (orr) nem érzékelhető. Ilyenek például a CO₂, CO, 1,2- Propandiol. A felsorolásból látszik, hogy köztük vannak az emberi egészséget károsító, az emberre veszélyes gázok is. A kutatómunkám során ezekkel nem foglalkoztam, ez a témakör azon kívül esik. Az egészségre veszélyes gáznemű levegőszennyező anyagok a munkahelyi egészségvédelem témakörébe tartoznak, emiatt külön ezekre nem térek ki.

A belső terek szennyezőanyagai a különböző szerves vagy szervetlen gázok, gőzök, kémiai porok, radioaktív gázok, biológiai lebegő porok. A szennyezőanyagok kültéri forrásokból, irodai eszközökből, fogyasztási cikkekből, építőanyagokból, bútorokból és a szellőzőrendszer elemeiből kerülhetnek a komfortterek levegőjébe. Az európai uniós épületenergetikai direktívák egyre alacsonyabb energiafogyasztást írnak elő, az épületek szigetelése, légzárása egyre javul. A létesítmények fűtési igényében - a transzmisszió csökkenésével - egyre nagyobb részt képez a frisslevegő felmelegítése. Az energiafogyasztás mérséklésének egyik módja lehetne a frisslevegő mennyiség csökkentése, de ez nem megfelelő megoldás, hiszen így a szigorú belső levegőminőségi előírásoknak nem lehet megfelelni. Ez alapján nagyon fontos, hogy a belső terekbe bevezetett frisslevegőt optimálisan méretezzük. A szennyezőforrások csökkentésével (pl.: alacsony emissziójú belsőépítészeti anyagok alkalmazása), megszüntetésével a levegőkezelés energiaigénye is csökkenthető. Kutatási témámban a belsőépítészeti anyagok érzékelhető belső levegőminőségi emisszióforrás vizsgálatát tűztem ki.

Jó lenne már az épület tervezésekor ismerni az egyes anyagok emisszió kibocsátását, így a belsőépítészetet a szellőzés energiaigénye alapján optimálisan lehetne megválasztani. Jelenleg a belsőépítészeti anyagokat gyártó cégek a termékeik adatlapján a szennyezőanyag kibocsátásukat és érzékelhető belső levegőminőségi emisszióforrás- erősségüket nem adják meg. A jelenleg érvényes uniós előírások nem teljeskörűek, nem egységesek.

Az érzékelhető belső levegőminőség mérése napjainkban az egész világon csak szubjektív érzékeléssel közvetlenül emberi orral, mérőalanyokkal történik. A levegő egyes alkotóelemeinek imissziója szelektív módon megfelelő műszerek segítségével meghatározható. Olyan berendezés, mely a belső levegő szennyezőanyagainak szubjektív emberre gyakorolt együttes hatását teljeskörűen mérné, még nem áll rendelkezésre. Kísérleteztek kombinációs eljárásokkal (ODP) is, ahol gázkromatográf és emberi orr együtt vett részt a mérésekben. A kutatások során a gázkromatográf mérése és a szubjektív emberi szagérzékelés közötti kapcsolatot nem sikerült megtalálni.

Érzékelhető belső levegőminőségi kutatások kezdetén tréningelt személyekkel (olf tester) végezték a méréseket. Egy csoport jellemzően 6 főből állt. Az olf-teszterek kiképzése, tréningje költséges és hosszadalmas, a mérőalanyok folyamatos rendelkezésre állását nehezen lehetett megoldani. Ennek következtében egyre gyakrabban nem tréningelt személyekkel (naiv panel) végezték el a levegőminőségi szubjektív méréseket. A mérőcsoportok létszáma 40-60 fő.

A belső levegőminőségi kutatásokban egyetértés van abban, hogy a levegőminőség mértékét acetongőz etalonokhoz rendelik, ezért én is ezt választottam. Az acetongőz koncentrációja és a levegőminőség decipol mértékegysége közötti kapcsolatot Bluysen határozta meg [29]. A levegőminőségi etalonok előállítására jelenleg nincs egységes, nemzetközileg elfogadott eljárás, így a mérések elvégzéséhez szükségesé vált az etalonokat magába foglaló olf-box elkészítése.

A kutató munkám célkitűzései:

- mérési és értékelési módszer kidolgozása a hazai adottságokhoz illeszkedően a belső levegőminőség mérésére, ill. a belsőépítészeti anyagok hatásának vizsgálatára szubjektív nem tréningelt mérőcsoportok segítségével,
- szubjektív érzékelés mérési eredmények matematikai eloszlásának vizsgálata,

- mérőcsoport létszámának hatása a mérés pontosságára, optimális létszám meghatározásának lehetőségei,
- szaganyagkoncentráció hatásának vizsgálata az érzékelésre.

Célkitűzésben szerepel olyan mérési metodika kidolgozása, amely alkalmas a hazai gyakorlatban alkalmazott belsőépítészeti anyagok esetében a szagmisszió méretezési alapadatok meghatározására. A mérési adatok alapján célként fogalmaztam meg általános következtetések meghatározását a mérőcsoport létszámára, illetve a mérés várható hibájára vonatkozóan. A vizsgálatokat öt független mérőcsoporttal végeztem el a 2005., 2006. 2007. években. Korábban 6 mérőcsoporttal előméréseket végeztem (2000-2004.). Az előzetes mérések célja a mérési metodika és kiértékelési módok tesztelése és tökéletesítése volt.

A mérési eredmények közvetlenül alkalmazhatók a belső levegőminőség tervezéséhez az épületgépészeti gyakorlatban. Így a belsőépítészeti anyagok megválasztásával, a belső levegőminőség méretezésével, a szükséges frisslevegő mennyiségének optimális megválasztásával jó levegő minőséget tudunk biztosítani zárt terekben. A megfelelő levegőminőség különösen fontos irodai környezetben, mert a rossz levegő a szellemi munkavégzés hatásosságát is csökkenti. Ezen kívül az optimálisan megválasztott frisslevegő mennyiség lehetővé teszi a levegőkezelő központok energiaigényének csökkentését.

A kutatási munkát OTKA (T 029451, T 037596, T 49598 , témavezető: Dr. Kajtár László) pályázatok keretében végeztem.

3. SZAKIRODALMI ÖSSZEFOGLALÓ

3.1. Belső terek szennyezőforrásai

3.1.1. Szennyezőanyagok

A belső terek levegőjében lévő szennyezőanyagok két fő csoportra oszthatók: kémiai, biológiai (lásd 1. táblázat). A kémiai csoport tovább osztható gázokra, gőzökre és porokra. A biológiai csoport mikrobiológiai lebegő porokból áll, melyek vírusokból, baktériumokból, protozoákból, penészből, atkákból, rovarokból, madarakból, emlősökből és pollenekből keletkezik.

1. táblázat

Belső levegő szennyezőanyagok főbb csoportjai [4]

Csoport	Alcsoport	
Kémiai	Gázok, gőzök	Szervetlen: CO, CO ₂ , NO _x , SO _x , O ₃ Szerves: szerves illékony vegyületek (VOC-k), formaldehid
	Porok:	Szálás anyagok: azbeszt, üvegyapot (szintetikus), kerámia por (üveg és kristály szerkezetű) Belélegezhető lebegő porok Szerves porok (POM): biocidok és összetett aromás szénhidrogének
	Radioaktív gázok	
Biológiai		Mikroorganizmusok, penész, gombák, mikotoxinok, pollenek, atkák, spórák, allergének, baktériumok, légúti fertőzések, sejtmagok, házi por.

Szervetlen gázok, mint a nitrogén dioxid (NO₂), kéndioxid (SO₂) és az ózon (O₃) minden épületben jelen van. Ózon lézerprinterek és másoló gépek működése közben képződhet. Nitrogén oxidok és kéndioxid égési folyamatok során keletkeznek.

Fontos szerves gázok a szénmonoxid (CO) – a tökéletlen égésből- ,a széndioxid (CO₂) – az emberek és állatok légzéséből- és az illékony szerves vegyületek (VOC-k).

A WHO az illékony szerves belső levegőminőségi szennyező anyagokat négy kategóriába (WHO, 1989) sorolja (lásd 2. táblázat):

1. nagyon illékony szerves vegyületek (VVOC-k: **V**ery **V**olatile **O**rganic **C**ompounds),
2. illékony szerves vegyületek (VOC-k: **V**olatile **O**rganic **C**ompounds),
3. részben illékony szerves vegyületek (SVOC-k: **S**emi-**V**olatile **O**rganic **C**ompounds),
4. szerves porok (POM: **P**articulate **O**rganic **M**atter).

2. táblázat

Szerves belső levegőminőségi szennyező anyagok négy kategóriája [4]

	Forrás pont tartomány (°C)	Példák
VVOC-k	<0 - 50 - 100	Formaldehid és más karbonil vegyületek
VOC-k	50 - 100 - 240 - 260	Illékony szerves oldószerek
SVOC-k	240 - 260 - 380 - 400	Rovarirtók és lágyító szerek
POM	>380	Biocidok és összetett aromás szénhidrogének

3.1.2. A belső levegő szennyezőanyag forrásai

Szennyező források, melyek anyagokat juttatnak közvetett vagy közvetlen módon a belső terek levegőjébe, a következő kategóriákba sorolhatók:

- kültéri források (pl. forgalom, ipar);
- bent tartózkodókkal összefüggő tevékenységek és termékek (pl. dohány füst, berendezések: lézernyomtató és más irodai eszközök; fogyasztási cikkek: tisztító, higiénias, szépségápolási termékek);
- építő anyagok és bútorok: szigetelések, rétegelt lemez, festék, bútortalap, fal és padlóburkoló anyagok, stb.;
- szellőző rendszer elemei.

3.1.3. A szennyező anyag emisszió keletkezése

Az építőanyag, bútor anyagokat bocsát ki (részecskéket és/ vagy gázokat) a belső térben, ami magából az termékből keletkezik, és ami létrejöhet az által is, hogy más termékekkel kerül kapcsolatba vagy a használatuk során keletkezik valamilyen külső hatásra.

Magából a termékből keletkező emisszió (elsődleges emisszió):

- Szerves vegyületek: VVOC-k, VOC-k és SVOC-k pl.: ftalát a PVC termékekből, pentachlorophenol az impregnált padló burkolókból; formaldehid forgácslapokból (hosszú idejű párolgás a száraz anyagból); VOC-k a nem víz bázisú festékekből (rövid idejű, gyors kipárolgás a nedves anyagból); összetett aroma szénhidrátok a bevonatokból és bitumenes termékekből.
- lebegő részecskék: azbeszt és ásvány gyapot részecskék a szigetelő anyagokból.

Valamilyen külső hatásra keletkező emisszió:

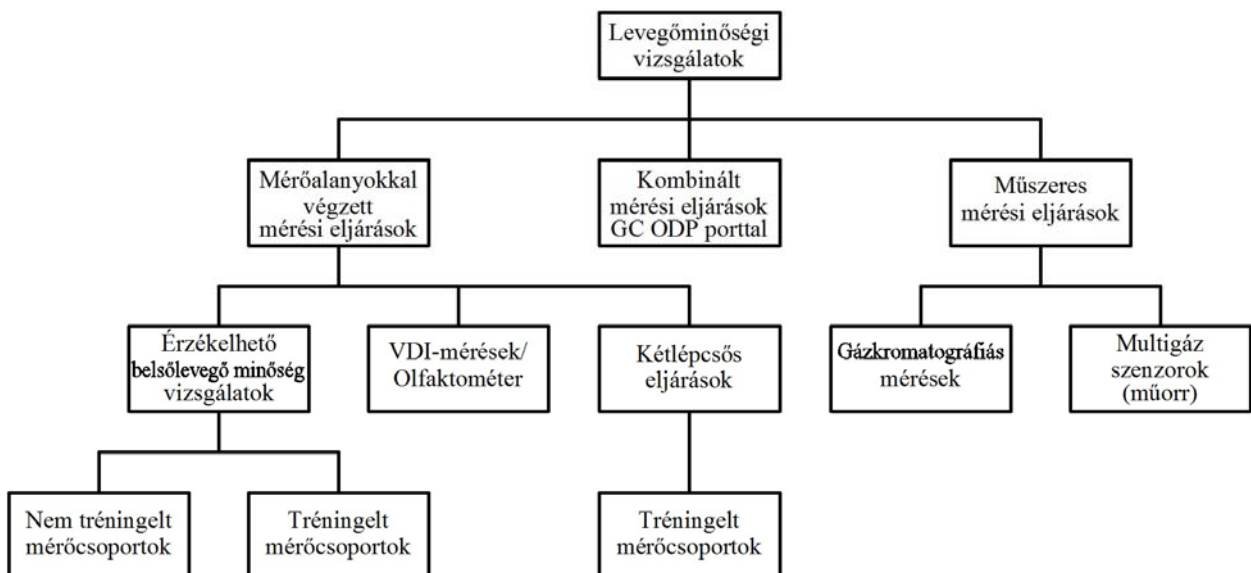
- Az építőanyag, termék valamilyen más anyaggal kerül kölcsönhatásba, melynek eredményeképpen szennyező anyag emisszió keletkezik, pl: ózon vagy víz.

A termék használata során keletkező emisszió (másodlagos emisszió):

- Külső anyagok elnyelődhetnek a termékek felületén, melyek később kipárologhatnak (pl. bizonyos tisztítószer). A mosogató is egy ilyen emisszió forrás, mely elnyeli, majd kibocsátja a szennyező anyagokat. A termékek felületén vagy a termékekben növekedő gombák és mikotoxinok is szennyezőforrásként működhetnek.

3.2. Levegő minőség mérése

A levegőminőség mérésére különböző mérési eljárásokat fejlesztettek ki. A mérési módok két fő csoportja, ahogy az 1. ábrán látható, a mérőalanyokkal végzett és a műszeres mérési eljárások. A mérőalanyos vizsgálatoknál számos mérési metodikát dolgoztak ki, melyek eredményei csak ritkán hasonlíthatók össze.



1. ábra
Mérési eljárások a levegőminőség meghatározására [2]

Levegőminőségi mérések felhasználási területe

Levegőminőség belső terekben:

Közvetlen értékeléseknél a mérő alanyok a vizsgálandó terembe belépnek és végrehajtják a levegőminőség értékelését. Mivel sokféle külső körülmény (vizuális, akusztikai hatások, általános közérzet) befolyásolhatja a mérést, ezért az objektív eredményekhez közvetett mérést alkalmaznak. Egy megfelelő berendezéssel a vizsgálandó levegőt egy tárolóba töltik és ellenőrzött laboratóriumi körülmények között értékelik.

Szagforrások értékelése:

A belső terekben található szaganyagok rendszerint sok különböző forrásból keletkeznek. Az egyes belsőépítészeti anyagok szag emissziója laboratóriumi körülmények között meghatározható. A belső terekben az emisszió mértékét és időbeli lefutását befolyásolhatja a belső légállapot. Egy mérőkamrával állandó körülmények biztosíthatók.

Levegőkezelő központok részeinek értékelése:

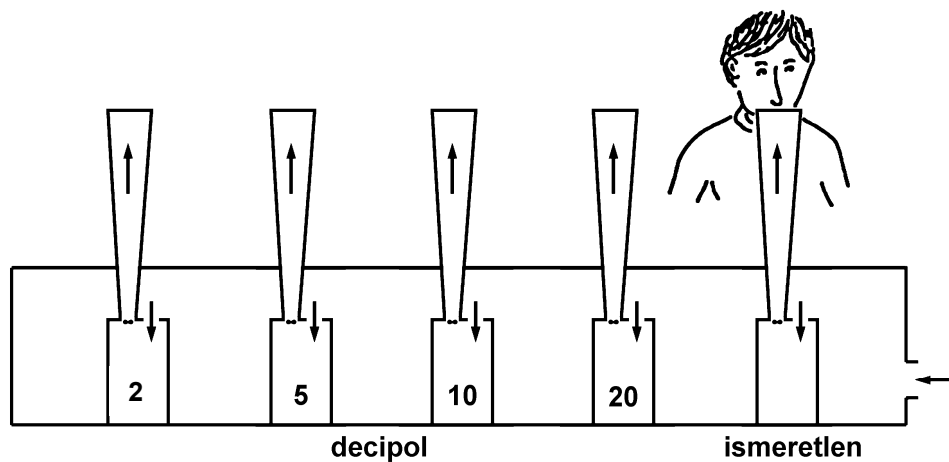
A levegőkezelő központok modulokból épülnek fel, melyeket első sorban funkciójuknak megfelelően optimaláltak. Az optimalizálásnál csak rövid ideje veszik figyelembe a beépített anyagok (fém, műanyag, gumi) szag emisszióját. Közvetlen értékelés nehezen végezhető el, mivel a berendezések rendszerint nem ideális környezetben vannak és a mintavételezés az egyes modulokból aránytalanul nagy költségekkel járna. Modellekkel az egyes modulok laboratóriumi körülmények között értékelhetők.

4. A LABORATÓRIUMI MÉRÉSEK TERVEZÉSE

4.1. A mérőállások felépítése

- olf-box mérőállás:

A laboratóriumi kutatómunkához szükség volt egy olf-box berendezésre, melyet a nemzetközi irodalomban található ajánlások, leírások alapján terveztem meg és gyártattam le. A mérőalanyok a mérések során az olf-box berendezéssel ismeretlen acetonszint koncentrációkat határoztak meg a levegőminőségi etalonok segítségével (2. ábra). A mérések az Épületgépészeti Tanszék Levegőminőség Laboratóriumában történtek. A vizsgálat folyamán a mérőalanyok egyesével 8 db ismeretlen acetonszint forrást értékelték. Egy-egy alkalommal 4-6 fő vett részt a mérésen.

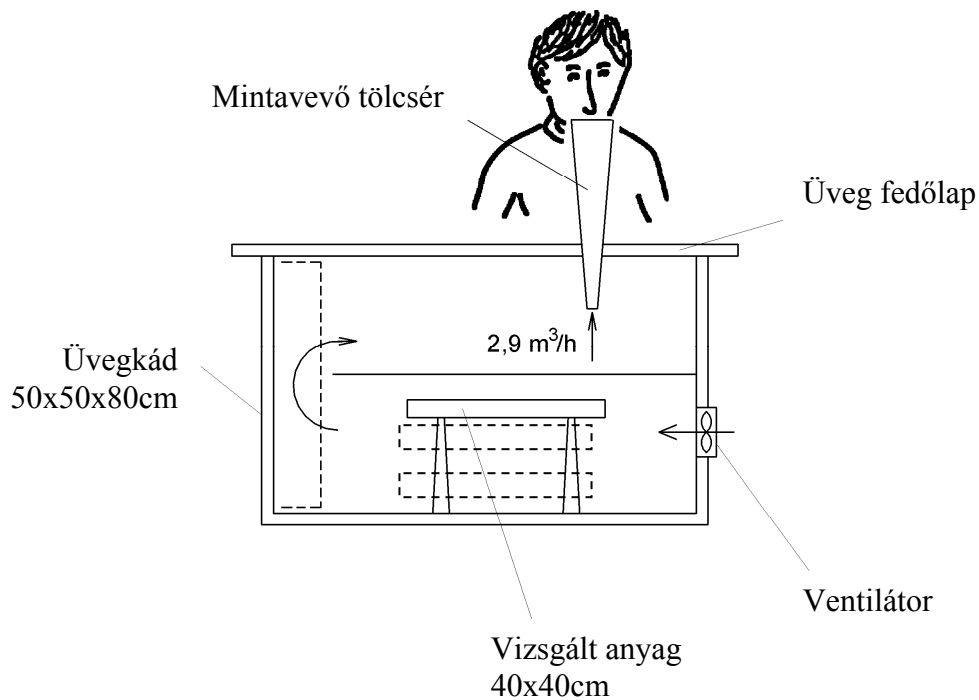


2. ábra
A levegő minőségi etalonok (olf-box)

- Belsőépítészeti anyagok emisszió vizsgálata:

A mérőállás elvi vázlatát a 3. ábrán látható. A tervezésnél figyelembe kellett venni, hogy a felhasznált anyagok alacsony szennyezőanyag emisszióval rendelkezzenek. Így a kád üvegből, az áramlás egyenletesítő és a terelő lemez rozsdamentes acélból készült.

Az 50x50x80 cm-es üvegcádba helyeztem be a mérendő szennyezőanyag forrást. A mintákat úgy alakítottam ki, hogy csak a használatban lévő felületein kipárolgó szennyezőanyagokat mérjük. Az oldalsó és hátsó felületeket alumínium szalaggal takartam le. Az üvegcád oldalára rögzített 12 V-os ventilátor segítségével levegő áramlik a vizsgált anyag körül, mely a mintavevő tölcseren át távozik. A kiáramlott levegőt a mérőalany az orra segítségével szubjektív módon értékeli. A tölcseről kiáramló levegő térfogatárama egyenáramú tápegység segítségével szabályozható. A beállított érték: 2,9 m³/h.



3. ábra
A belsőépítészeti anyag emisszió mérőállás elvi vázlata

4.2. A vizsgálat menete, vizsgálati személyek

A mérések folyamán a mérőalanyok először a BME Épületgépészeti Tanszék Levegőminőség Laboratóriumában a mérőcsoport hibájának meghatározására szolgáló olf-box vizsgálatot végezték el, majd rövid pihenőt követően belsőépítészeti mintákat értékelték. Az értékelés szubjektív skálák segítségével történt (olf-box vizsgálatok: kérdőív+ Hedonic skála, belsőépítészeti anyagok emisszióvizsgálata: Fanger+ Hedonic skála). Az alanyok a mérések előtt és között a jól átszellőztetett laboratóriumi előtérben tartózkodtak. Megfelelő termikus és akusztikai körülményeket biztosítottam, hogy a levegőminőségi értékelést a hő- és akusztikai komfort ne befolyásolja. A mérőszobában a mérések alatt a hangnyomásszint 36,6-37,0 dB(A) volt. A vizsgálatok 22-25 év közötti egyetemisták segítségével történtek. Az alanyok korábban nem vettek részt levegőminőségi tréningben. A mérőcsoportok összetételét a 3. táblázat foglalja össze.

3. táblázat A mérőcsoportok összetétele

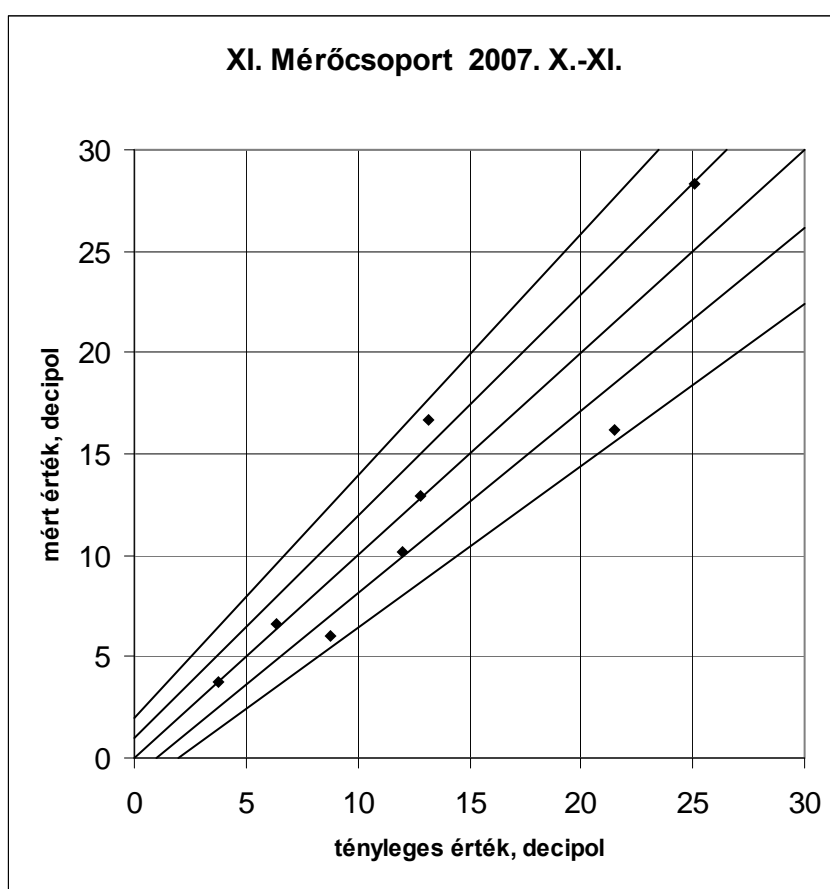
A mérőcsoport sorszáma	Dátum	Létszám, fő		
		Férfi	Nő	Összesen
VII.	2005. X.-XI.	39	6	45
VIII.	2006. IV.	39	5	44
IX.	2006 X.-XI.	37	6	43
X.	2007 IV.-V.	33	10	43
XI.	2007 X.-XI.	32	1	33

5. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

5.1. Az acetongőz etalonokkal végzett mérések kiértékelése

5.1.1. A mérés pontossága a kiértékelési diagram alapján

A 4. ábrán látható kiértékelő diagram segítségével elvégeztem az etalonokkal végzett mérések grafikus kiértékelését. Vizsgáltam az egyes mérőszemélyeket és a csoport átlagát is. Példaképpen a 4. ábrán a XI. mérőcsoport eredményeit szemléltettem. A diagram alapján elmondható, hogy a XI. csoport megfelel a tréningelt alanyokra előírt követelményeknek.



4. ábra

A XI. mérőcsoport (33fő) átlagos mérési eredményei

5.1.2. Az levegőminőségi etalonokkal végzett mérések normalitás vizsgálata

Az olf-box mérések normalitásának kiértékelését Kolgomorov-Szmirnov próbával végeztem el, az SPSS 15.0 program segítségével. Amennyiben a szignifikancia-szint 0.1-nél nagyobb, az illeszkedés jónak mondható. 0.01 alatti szignifikancia (Asymp. Sig.) esetén pedig nem jó az illeszkedés. A vizsgálat eredményeit, a szignifikancia-szinteket a 4. táblázat foglalja össze. A 0,1

és 0,01 közötti szignifikancia-szintet a kis elemszám és a szubjektív érzékelés sajátossága miatt a vizsgálat során elfogadtam.

4. táblázat Olf-box mérések Kolgomorov-Szmirnov próbával végzett vizsgálatának szignifikancia-szintjei

Mérőcsoport	1. Minta	2. Minta	3. Minta	4. Minta	5. Minta	6. Minta	7. Minta	8. Minta
VII.	0,138	0,071	0,775	0,191	0,201	0,533	0,701	0,956
VIII.	0,241	0,18	0,206	0,027	0,598	0,28	0,229	0,52
IX.	0,193	0,244	0,433	0,156	0,323	0,54	0,375	0,47
X.	0,902	0,433	0,714	0,22	0,302	0,068	0,865	0,73
XI.	0,879	0,409	0,376	0,094	0,25	0,113	0,255	0,864

5.1.3. A mérési eredmények egymintás t-próba vizsgálata

Az olf-box mérések további kiértékelését t- próbával végeztem el, az SPSS 15.0 program segítségével. Amennyiben a szignifikancia-szint 0.1-nél nagyobb, az illeszkedés jónak mondható. 0.01 alatti szignifikancia esetén pedig nem jó az illeszkedés. A kiértékelés alapján megállapítható, hogy 40 mérésből 16 nem volt pontos, 7 még elfogadható, 17 pedig pontosnak mondható. A szignifikancia-szintek összefoglalása az 5. táblázatban található.

5. táblázat Az egymintás t-próba eredményei, szignifikancia-szintjei

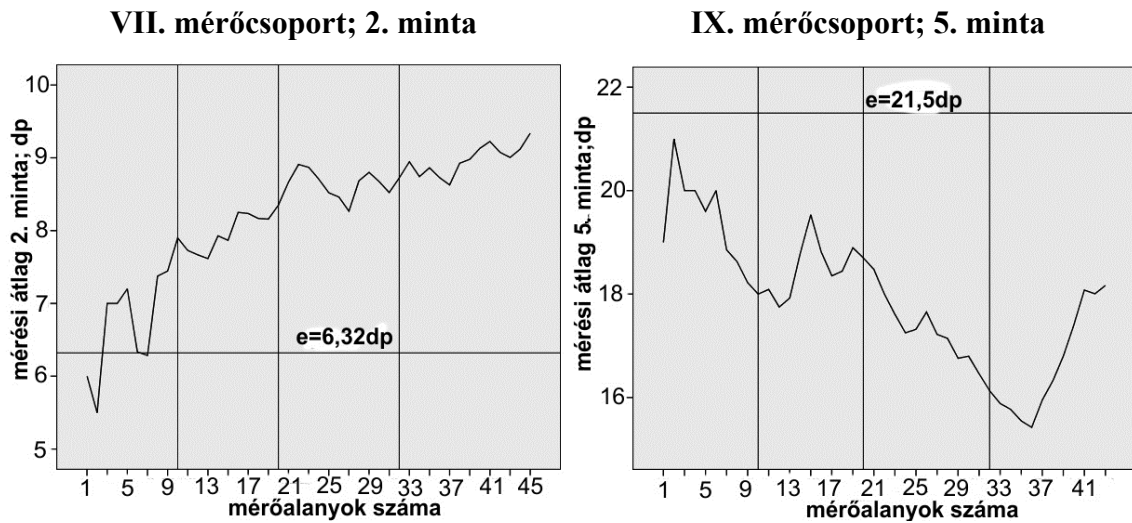
Mérőcsoport	1. Minta	2. Minta	3. Minta	4. Minta	5. Minta	6. Minta	7. Minta	8. Minta
VII.	0,046	0	0	0	0	0,149	0,501	0,594
VIII.	0,919	0	0,006	0	0	0,518	0,534	0,301
IX.	0,720	0	0,404	0	0,028	0,926	0,085	0,027
X.	0,833	0,001	0	0,002	0	0,075	0,459	0,082
XI.	0,931	0,761	0,154	0,970	0,009	0,002	0,163	0,025

5.1.4. A mérőcsoport létszámának hatása a mérés pontosságára

Megvizsgáltam, hogy ha kevesebb, de jobb mérőszeméllyel végezzük el a méréseket, hogyan alakul a mérési pontosság. Egy mérést akkor tekintünk pontosnak, ha az egymintás t-próba szignifikánsan elfogadható, azaz a mintaátlag közel esik a tesztértékhez. A „jó” mérőszemélyeket úgy választottam ki, hogy három metrika -az Euklideszi-, City-block- és Csebisev-metrikák- segítségével meghatároztam a 8 etalonérték által meghatározott pont és a mérőszemélyek által észlelt adatok 8 dimenziós pontok távolságait, majd a legkisebb rangszámösszegek alapján sorba rendeztem a mérőszemélyeket. Ezután megnéztem, hogyan alakulna a t-próbák pontossága, ha legjobb 10, vagy a legjobb 20 mérőszemély mért volna csak. A kiértékeléseket az SPSS 15.0 program segítségével végeztem el.

A vizsgálati eredmények azt igazolták, hogy a nem tréningelt legalább 40 fős csoportból kiválasztott legjobb 10 fővel el lehet végezni ugyanolyan pontossággal a méréseket, mint a teljes csoporttal.

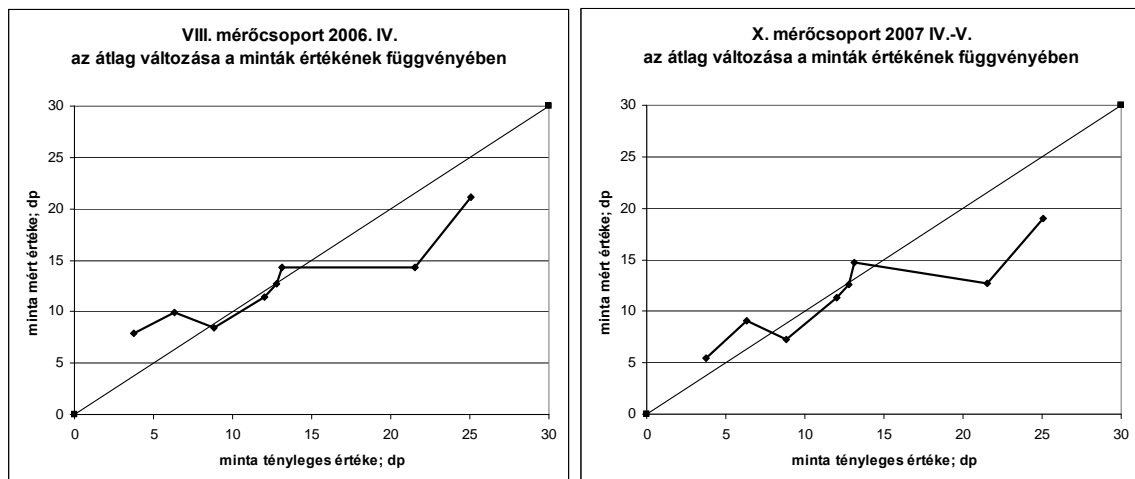
A rangsorszám szerint rendezett alanyok létszámának hatását a mérés átlagára diagram segítségével is ábrázoltam. A vízszintes tengelyen a létszámot, a függőlegesen az adott létszámhoz tartozó mérési átlagot vettem fel. Az 5. ábrán példaképpen két mérés mutatok be.



5. ábra
A mérőcsoport létszámának hatása a mérés átlagára

5.1.5. A szagintenzitás hatása a mérés pontosságára

Grafikusan, diagramok segítségével vizsgáltam, hogy az alanyok a laboratóriumi vizsgálatok során a levegőminőségi etalonokat alá vagy fölé értékelték-e. Az ábrákról általánosságban leolvasható, hogy a kis értékek esetében felé-, nagy értékeknél alá becsülték a mérőszemélyek, a pontosság pedig csökken az intenzitás növekedtével. Az átlag változása a minták értékek függvényében két mérőcsoport esetén a 6. ábrán látható.

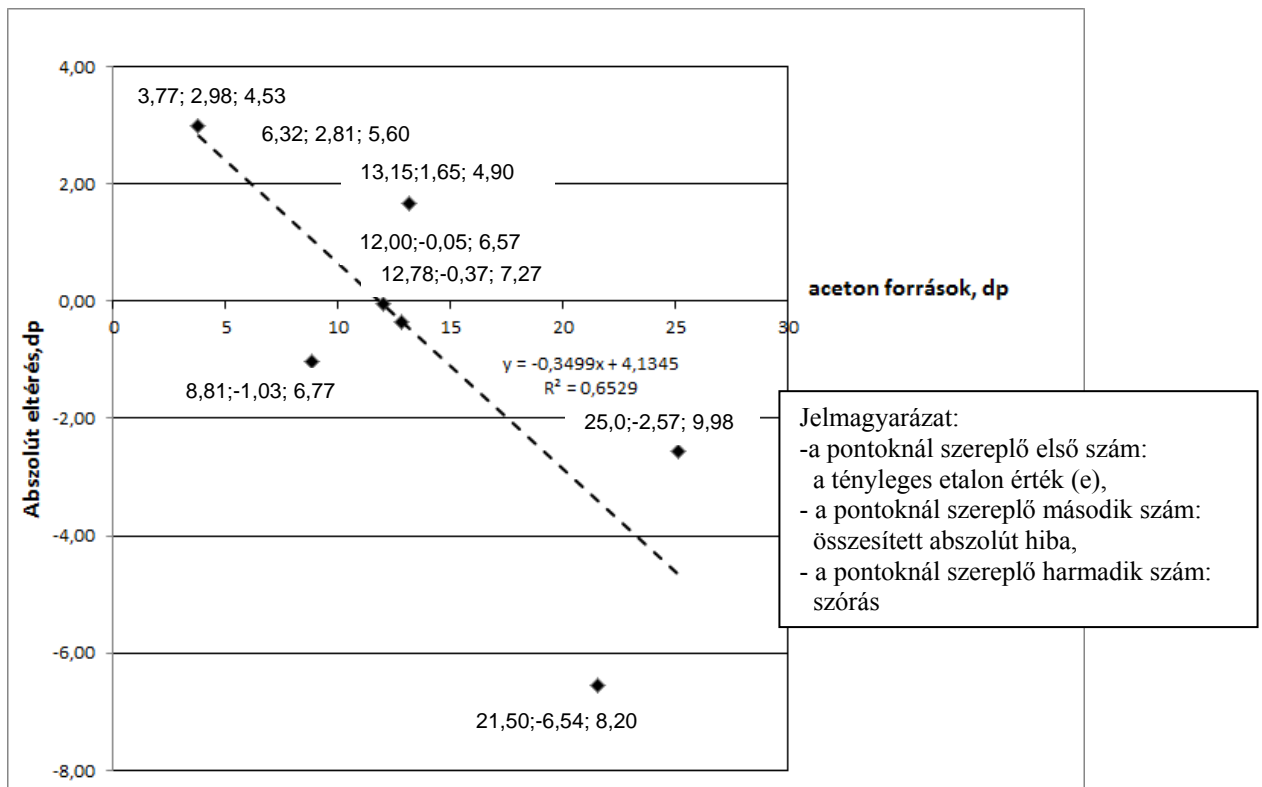


6. ábra
A mérési átlag változása a minták értékének függvényében

A 7. ábrán összesítettem az öt mérőcsoport eredményét. A nyolc vizsgált acetonforrásnál meghatároztam a 208 mérőszemély összesített abszolút hibáját. Az egyes pontokat diagramban ábrázoltam a tényleges értékek függvényében és kiszámítottam a pontok regressziós egyenesét.

A meghatározottsági mutató (R^2) értéke (65,29%) arra utal, hogy a legpontosabb paramétereket a kísérlet jól meghatározta. A nem értelmezett mintegy 34,7%-os variancia okai a következők lehetnek:

- az egyes személyek közötti variancia;
- személyeken belüli variancia (pl.: lappangó betegség);
- külső fiziológiai hatások (pl.: frontváltozás.).



7. ábra
Az öt mérőcsoport összesített abszolút hibája a tényleges értékek függvényében

5.2. A belsőépítészeti anyagmintákkal végzett mérések eredményei

Az öt mérőcsoport által vizsgált belsőépítészeti anyagok érzékelhető szennyezőanyag forráserejét foglalja össze a 6. táblázat. Az emisszió vizsgálatok során a levegő hőmérséklete 20°C, páratartalom 40-50%, a bevezetett frisslevegő térfogatárama $\dot{V}_{\text{friss}}=1560 \text{ m}^3/\text{h}$ volt. Az anyagok felületén a légsebesség egészen alacsony, 0,007 m/s volt.

6. táblázat

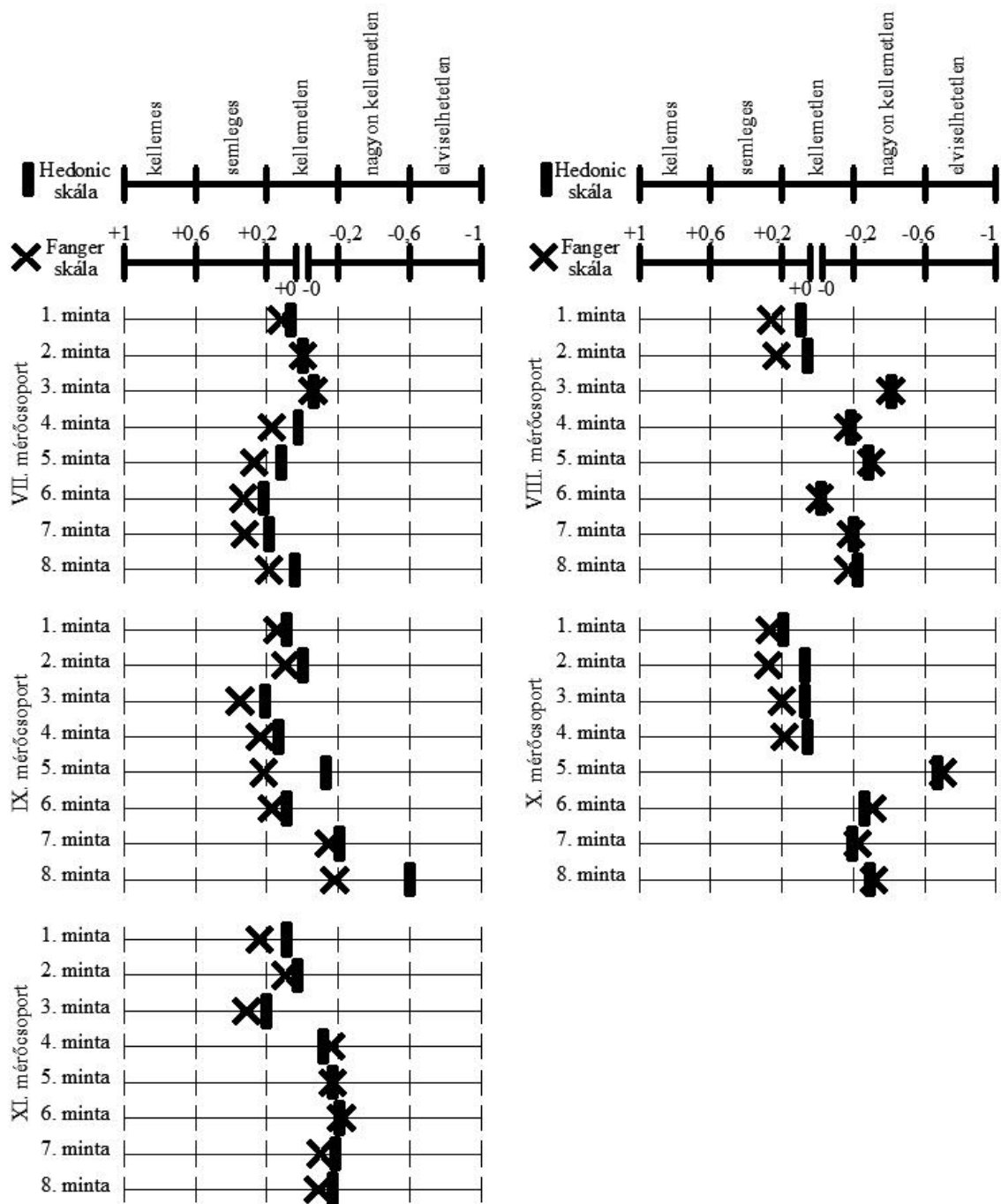
Az öt mérőcsoport által vizsgált belsőépítészeti anyagok forrásereje

Sorszám	Mérő csoport	Megnevezés	Forráserej G, olf/m ²	Forráserej 95% konf. tart. alsó határa G, olf/m ²	Forráserej 95% konf. tart. felső határa G, olf/m ²
1	VII	vastag szőnyegpadló piros „Orion” 5 mm vtg.	0,61	0,28	1,24
2	VII	vékony szőnyegpadló „Rome” 3 mm vtg.	1,79	0,88	3,14
3	VII	vastag szőnyegpadló beige „Viper” 5 mm vtg.	0,23	0,08	0,57
4	VII	ipari filc fekete „New Orleans”	0,39	0,12	1,11
5	VIII	vastag szőnyegpadló, filc hátoldal, 5 mm vtg.	5,46	4,31	6,34
6	VIII	vékony szőnyegpadló „Rambo” juta hátoldal, 100% PP, 3 mm vtg	4,42	3,14	5,55
7	VIII	filc „Jupiter” 100% PP.	2,80	1,38	4,53
8	VIII	szőnyeg „Lugano” 100% PP, 12 mm vtg.	2,37	1,04	4,19
9	IX	rongyszőnyeg „Multi color” 100% Pamut	0,65	0,30	1,31
10	IX	vastag szőnyegpadló bézs „Sound scroll”, juta hátlap+filc	0,34	0,11	0,93
11	IX	szőnyeg „Napoli”	0,39	0,19	0,78
12	X	futó szőnyeg, „Westa”, 3 mm vtg.	0,23	0,09	0,54
13	X	vastag szőnyegpadló, filc hátoldal, 5 mm vtg.	3,26	1,79	4,86
14	XI	vastag szőnyegpadló „Dublin Twist” VLIES háttal 4 mm vtg.	2,07	1,11	3,38
15	VII	forgácslap natúr 18 mm vtg	1,11	0,54	2,07
16	VII	laminált forgácslap 18 mm vtg	0,14	0,04	0,39
17	VIII	laminált parketta, 6 mm vtg.	0,25	0,11	0,51
18	VIII	laminált forgácslap 18 mm vtg	0,26	0,11	0,57
19	VIII	rétegelt lemez 12 mm vtg.	2,80	1,38	4,53
20	VIII	natúr forgácslap 18 mm vtg.	1,17	0,47	2,48
21	IX	természetes parafa, lakozott 4 mm vtg.	0,51	0,20	1,17
22	IX	laminált parketta 6 mm vtg. enyvmentes	0,13	0,04	0,32
23	IX	természetes parafa, viaszolt 4 mm vtg.	2,69	1,24	4,53
24	X	natúr fenyőfa lambéria vízzel hígítható oldószermentes fabevonó lazúrral lefestve, Polifarbe mahagóni	0,28	0,14	0,54
25	X	laminált forgácslap 18 mm vtg.	0,37	0,18	0,73
26	X	natúr fenyőfa lambéria oldószerrel hígítható vastag lazúrral lefestve, Xyladecor dió	8,23	7,88	8,47
27	X	natúr forgácslap 18 mm vtg.	4,31	3,03	5,46

Sorszám	Mérő csoport	Megnevezés	Forráserősség G, olf/m ²	Forráserősség 95% konf. tart. alsó határa G, olf/m ²	Forráserősség 95% konf. tart. felső határa G, olf/m ²
28	X	natúr fenyőfa lambéria oldószerrel hígítható vékony lazúrral lefestve, Xyladecor fenyőzöld	4,13	2,48	5,79
29	XI	natúr fenyőfa lambéria vízzel hígítható oldószermentes fabevonó lazúrral lefestve, Polifarbe mahagóni 2007 tavaszi festés	0,34	0,16	0,70
30	XI	természetes parafa, viaszolt 4 mm vtg.	0,51	0,20	1,17
31	XI	laminált forgácslap 18 mm vtg.	0,16	0,06	0,39
32	XI	natúr fenyőfa lambéria oldószerrel hígítható vastag lazúrral lefestve, Xyladecor dió 2007 tavaszi festés	2,71	1,19	4,79
33	XI	természetes parafa, lakozott 4 mm vtg.	3,38	1,97	4,86
34	XI	natúr fenyőfa lambéria oldószerrel hígítható vékony lazúrral lefestve, Xyladecor fenyőzöld 2007 tavaszi festés	2,15	0,89	4,13
35	VII	PVC padló „Acapulco” 1,3 mm vtg.	0,44	0,15	1,17
36	VII	tarket padló 5 mm vtg	0,15	0,04	0,44
37	X	öntapadós ragasztott PVC	0,74	0,27	1,86
38	XI	PVC „Dynamic Csempe” 1,3 mm vtg.	2,48	1,17	4,19
39	IX	függöny, narancssárga 100% Pamut	0,32	0,11	0,83
40	IX	függöny, piros 100% Polisztírol	2,48	0,99	4,53

5.2.1. A Hedonic skála kiértékelése

A mérőcsoportok Hedonic skálán leadott szavazatait hisztogramok formájában, grafikusán ábrázoltam. Ezután az öt mérőcsoport 8-8 db különböző mintákra leadott Hedonic és Fanger skálás szavazatainak átlagát együttesen értékeltem. A Hedonic skála „kellemes” értékéhez a Fanger skála +1, az elviselhetetlen értékéhez a -1 értékét rendeltem. Ez alapján a mérőalanyok fokozatos és a fokozat mentes skálára adott szavazata összehasonlítható. Az értékelés alapján elmondható, hogy a 40 független mérés során 2 esetben fordult elő, hogy a két skálára leadott szavazatok átlaga nincs szinkronban. Ebben a két esetben az alanyok a Hedonic skálán egy értékkel rosszabbnak értékelték a vizsgált mintát, mint a fokozatmentes kérdőíven. Az öt mérőcsoport 8-8 db különböző mintákra leadott Hedonic és Fanger skálás szavazatainak átlagát a 8. ábrán foglaltam össze.



8. ábra
Az öt mérőcsoport Hedonic és Fanger skálára adott
szavazatainak összehasonlítása

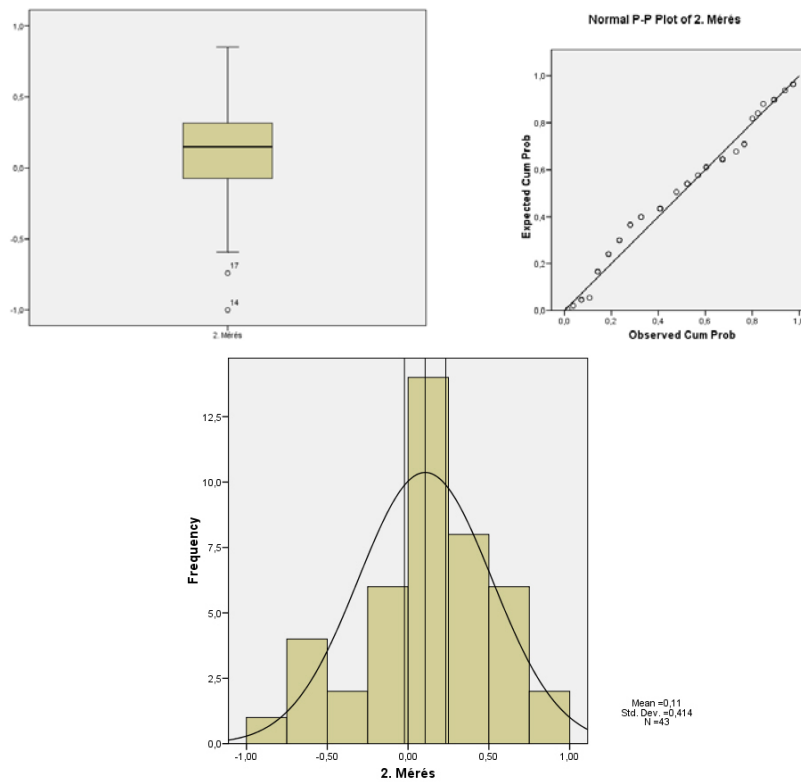
5.2.2. A mérési eredmények homogenitása

A belső építészeti anyagok emisszió mérési eredményeinek homogenitás vizsgálatát Friedman próbával végeztem el, az SPSS 15.0 program segítségével. Megállapítottam, hogy valamennyi mérőcsoport esetén el kell vetni a minták homogenitására vonatkozó nullhipotézist (az aszimptotikus szignifikancia-szint 0,000 lett): azaz az egy-egy építőanyagra adott szavazatok

össességében különbözőek, a mérőalanyok a mintákat különbözőnek érzékelték. Azt, hogy konkrétan melyek különböznek jelentősen páronkénti Wilcoxon- próbákkal ellenőriztem.

5.2.3. A minták normalitás vizsgálata

A minták mérési eredmények normalitás vizsgálata során az SPSS 15.0 programmal elkészítettem az eloszlásgörbéket, PP-görbéket és box-plot ábrákat. A grafikus kiértékelés során megállapítható a minták megfelelnek a normális eloszlásnak. Egy minta grafikus kiértékelése a 9. ábrán látható.



9. ábra
Normalitás vizsgálat 2. minta IX. mérőcsoport (43fő) 2006. X.-XI.

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A kutatások eredményei alapján az alábbi téziseket határoztam meg.

- 6.1. A nemzetközi gyakorlatban alkalmazott érzékelhető levegőminőségi mérési eljárások szakirodalmát áttanulmányoztam és a hazai és nemzetközi gyakorlatban is alkalmazható új mérési módszert dolgoztam ki, mérőberendezést építettem. Ehhez elkészítettem a levegőminőségi etalonokat.**

Kutatásaim alapján, mint új tudományos eredményt megállapítottam, hogy Magyarországon a hazai környezetben az aceton gázzal olf-box laboratóriumi mérőálláson végzett vizsgálatok, szubjektív emberi szagérzékelési eredményei megfelelnek a normál eloszlásnak.

A méréseknél 8 féle acetonforrást használtam, összesen 5 mérési sorozatban, 208 fő részvételével. Elvégeztem a mérési eredmények Kolmogorov- Szmirnov normalitás vizsgálatát. Ellenőriztem a szignifikancia-szintet 5 egymástól független mérési sorozatnál a 8-féle acetonforrás esetén. Így összesen 40 független adatbázist tudtam vizsgálni. Valamennyi esetben a Kolmogorov- Szmirnov vizsgálat szignifikancia-szintje nagyobb volt 0,027-nél, 36 esetben pedig még 0,1-nél is.

A tézisponthoz kapcsolódó saját publikáció: [P1, P2, P3, P4, P5, P6]

- 6.2. Az öt független mérőcsoport tagjainak aceton gózzal végzett vizsgálati eredményeit elemeztem a mérés pontossága alapján, matematikai kritérium rendszerek (Euklideszi-, City-block- és Csebisev-metrikák) szerint értékeltem. Külön értékeltem a legjobb 10, 20, 32 és a teljes csoport eredményeit.**

A vizsgálati eredmények azt igazolták, hogy a nem tréningelt legalább 40 fős csoportból kiválasztott legjobb 10 fővel el lehet végezni ugyanolyan pontossággal a méréseket, mint a teljes csoporttal. Az összehasonlításnál 0,01 szignifikancia-szintet alapul véve az elfogadott tesztek aránya 95%; 0,1 szignifikancia-szintnél pedig 60% volt.

Évente egymástól függetlenül szervezett öt különböző mérőcsoporttal (33-45 fő) végzett mérési sorozatok eredményei alapján kijelenthető, hogy a legjobb 10, 20 és 32 fős csoport 0,1-es szignifikancia-szinten, egymintás t-próbás vizsgálat esetén 60%, 52,5% és 32,5%-on felelt meg.

A tézisponthoz kapcsolódó saját publikáció: [P3]

6.3. A kutatási eredményeim alapján matematikai statisztikai módszerekkel meghatároztam, hogy a mérőalanyok 12 decipol szagintenzitás alatt fölül értékelik, 12 decipol fölött alul értékelik a levegőminőségi etalont. Az eltérés regressziós függvénye egyenest ad, egyenlete:

$$y=-0,3499x+4,1345 (R^2=0,6529)$$

A tézisponthoz kapcsolódó saját publikáció: [P2, P3]

6.4. Az acetonforrásokkal végzett laboratóriumi vizsgálatok eredményei alapján a hazai viszonyok között mérési eljárást dolgoztam ki a belsőépítészeti anyagok szagemissziójának meghatározására az olf- decipol rendszerben. A módszer része a kidolgozott egyedi, laboratóriumban elkészített mérőállás, mérési és értékelési metodika matematikai statisztikai hibaanalízissel.

Öt független mérőcsoporttal, 208 fő részvételével 40 darab belsőépítészeti anyag mintát vizsgáltam. Az eredmények alapján hazai gyakorlatban alkalmazott anyagok esetében méretezési alapadatok állnak rendelkezésre 95%-os konfidencia szintnek megfelelően. Kutatási eredményeim a méréseknél rögzített peremfeltételek mellett érvényesek.

A tézisponthoz kapcsolódó saját publikáció: [P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7]

6.5. Belsőépítészeti anyagok szagemissziójának laboratóriumi vizsgálatával meghatároztam, hogy a szubjektív emberi érzékeléssel a Magyarországon alkalmazott belsőépítészeti anyagokra vonatkozó mérési eredmények grafikus tesztek - normális eloszláshoz tartozó P-P grafikon, box-plot ábra és eloszlásgörbe - alapján megfelelnek a normál eloszlásnak.

A tézisponthoz kapcsolódó saját publikáció: [P2, P3]

7. AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTHATÓSÁGA, TOVÁBBI KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK:

- Tetszőleges belsőépítészeti anyag vizsgálható a kidolgozott mérési eljárással és további emissziós adatok határozhatók meg.
- Az emissziós mérési eredmények tervezési alapadatként használhatók.
- Kidolgozott vizsgálati módszerrel a szagérzékelés függésének meghatározása lehetséges más anyagok esetében is.

8. TÉZISEKHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

a., Lektorált tudományos folyóirat cikkek:

- P1. KAJTÁR L.-HRUSTINSZKY T.: A belső levegő minőség. A szükséges frisslevegő – igény vizsgálata. Bp. 2004. *HKL Hűtő-, klíma-és légtechnikai épületgépészeti szaklap*, II. évfolyam 8. szám, 16-19 p.
- P2. KAJTÁR L. - HRUSTINSZKY T.: Investigation and influence of indoor air quality on energy demand of office buildings; *WSEAS Transactions on Heat and Mass Transfer*, Issue 4, Volume 3, October 2008. 219-228 p.
- P3. KAJTÁR L. - HRUSTINSZKY T.: Indoor air quality analysing with naive panels; Bp. *Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering*; elfogadott cikk

b., Lektorált konferencia előadások, konferencia kiadványokban is megjelentek:

- P4. KAJTÁR L.-HRUSTINSZKY T.: Measurements of Indoor Air Quality and Emission of Indoor Materials; Bp. 2002. Proceedings of the third conference on mechanical engineering, *GÉPÉSZET 2002*, Volume 1. 362-366 p.
- P5. KAJTÁR L.-HRUSTINSZKY T.: Belső levegő minőség és a szükséges frisslevegő arány vizsgálata; 16. Fűtés- és légtechnikai konferencia; Bp. 2004. Márc. 4-5. CD kiadvány 9p.
- P6. KAJTÁR L. - HRUSTINSZKY T. - HERCZEG L. - KETSKEMÉTY L. - LEITNER A. : Indoor air quality investigation with naive panels; Copenhagen, 2008. Indoor Air 2008 - 11th International Conference 6p. CD
- P7. KAJTÁR L. - HRUSTINSZKY T.: Influence of indoor air quality on energy performance of HVAC systems; 2008. Rodosz, 6th IASME/WSEAS International Conference 360.-364.p. ISBN: 978-960- 6766-97-8

IRODALOMJEGYZÉK A TÉZISFÜZETBEN

1. BÁNHIDI, KAJTÁR: *Komfortelmélet*. Műegyetemi Kiadó, 2000
2. BITTER, F.; BÖTTCHER, O.; DACHMS, A.; KASCHE, J., MÜLLER, B.; MÜLLER, D.: *Handbuch zur Messung der empfundenen Luftqualität*. Technische Universität Berlin, Hermann- Rietschel- Institut, 2004.
3. BLUYSSSEN, P.M.: *Air Quality Evaluated by a Trained Panel*, Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark, 1990
4. BLUYSSSEN, P.M.: *The Indoor Environment Handbook, How to Make Buildings Healthy and Comfortable*, Earthscan, 2009
5. FANGER, P.O.: *Introduction of the Olf and Decipol Units to Quantify Air Pollution Perceived by Humans Indoors and Outdoors*. *Energy and Buildings*, 1988.