

Doktori (PhD) értekezés
Nyugat-magyarországi Egyetem
Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar
Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola
Vezető: Prof. Dr. Tolvaj László egyetemi tanár

Program: Faszerkezetek
Vezető: Prof. Dr. Divós Ferenc
Tudományág: anyagtudomány és technológiák

Passzív és alacsony energiaigényű (favázás) épületek belső légterében kialakuló légparaméterek mérése és vizsgálata

Készítette:
Patkó Csilla

Témavezető:
Dr. Pásztory Zoltán

Sopron
2014

**Passzív és alacsony energiaigényű (favázis) épületek belső légterében
kialakuló léghparaméterek mérése és vizsgálata**

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében

Írta:
Patkó Csilla

a Nyugat-magyarországi Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori
Iskolája
Faszerkezetek programja keretében.

Témavezető: Dr. Pásztory Zoltán

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

.....
(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton %-ot ért el,

Sopron, 2013.

.....
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr.) igen /nem

.....
(aláírás)

Második bíráló (Dr.) igen /nem

.....
(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....%-ot ért el

Sopron, 2013.

.....
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

.....
Az EDHT elnöke

Tartalomjegyzék

Kivonat	5
Abstract	6
1. Doktori értekezés témája	7
1.1. A doktori értekezés célja	8
1.2. A kutatás módszere	9
1.3. A doktori értekezés feladatai	9
2. A kutatáshoz tartozó tudományterületek áttekintése a szakirodalomból	10
2.1. A beltéri levegőminőség	10
2.1.1. Fogalma	10
2.1.2. Történeti háttér	11
2.1.3. Szabályozások	12
2.2. Általános légszennyező anyagok a beltéri levegőben	13
2.2.1. Illékony szerves anyagok (Volatile Organic Compounds - VOC)	15
2.2.2. Formaldehid	18
2.3. Épületbiológia	20
2.3.1. Az épületbiológia fogalma	20
2.3.2. Jelenlegi épületbiológiai kutatások	22
2.3.3. Levegőanalitikai esettanulmányok	24
2.4. Építésökológia	26
2.4.1. Az ökológia és építésökológia fogalmai	26
2.4.2. Építőanyagok	30
2.4.3. Kutatások az építőanyagok környezeti terhelésére	31
2.5. Fa, mint egy lehetséges ökológus építőanyag	34
2.5.1. Kutatások a fa és faalapú építőanyagok területén	34
2.5.2. Alacsony emissziójú, faalapú építőanyagok	36
2.5.3. Összegzés	39
2.6. A tudományterületek összefüggésrendszere	39
3. A konkrét mérési vizsgálat bemutatása	44
3.1. A beltéri levegőminőség vizsgálatának ismertetése	44
3.2. A vizsgált épület funkcionális és szerkezeti ismertetése	44
3.3. A mérési program ismertetése	47
3.3.1. A mintavételi eljárás, és laboratóriumi analitika bemutatása	47
3.3.2. A mintavétel menete	49
4. Mérési eredmények értékelése	49
4.1. Mérés I.	51
4.2. Mérés II.	55
4.3. Mérés III.	58
4.4. Mérés IV.	61
4.5. Mérés V.	64
4.6. Mérés VI.	68
4.7. Mérési eredmények összesített értékelése	71
4.7.1. A TVOC értékek változása	71
4.7.2. A formaldehid koncentrációjának változása	72
4.7.3. Az benzol, toluol, sztirol és naftalin koncentrációinak változása	73
4.7.4. Az alfa-pinén és 3-karén koncentrációinak változása	75
4.7.5. Konklúzió	77

5.	Eredmények összevetése levegőanalitikai esettanulmányok méréseivel	77
5.1.	Hagyományos, újjépítésű / felújított házak	78
5.1.1.	Esettanulmány I.....	79
5.1.2.	Esettanulmány II.	79
5.2.	Hagyományos házak	79
5.2.1.	Esettanulmány I.....	80
5.2.2.	Esettanulmány II.	80
5.3.	"Beteg épület tünetcsoportot" mutató házak	80
5.3.1.	Esettanulmány I.....	81
5.3.2.	Esettanulmány II.	81
5.4.	Környezettudatos, újjépítésű házak	81
5.4.1.	Esettanulmány I.....	82
5.4.2.	Esettanulmány II.	82
5.4.3.	Esettanulmány III.....	83
6.	Új tudományos eredmények összefoglalása.....	83
7.	Tézisek	86
	Tézis I.....	86
	Tézis II.....	87
	Tézis III.....	87
	Tézis IV.....	88
	Tézis V.....	88
	Publikációs lista.....	89
	Köszönetnyilvánítás	90
	Irodalomjegyzék.....	91
	Melléletek.....	97
	1. Illékony szerves anyagok anyagjellemzői.....	97
	2. Szakirodalmi esettanulmányok	100
	3. AgBB által megadott LCI-értékek	105

Kivonat

A doktori értekezés a beltéri levegőminőség témájával foglalkozik. Ez egy új, interdiszciplináris tudományterület, mely nem vizsgálható önállóan. A megszokott lineáris, részleteket elemző kutatási módszer helyett egy holisztikus szemléletmódú megközelítést igényelt. Több más tudomány is kapcsolódik a beltéri levegőminőséghez: az épületbiológia, építésökológia, és humánökológia. A kapcsolódó szakirodalmakból kinyert információkat szintetizálása után következett a kutatási témát leszűkítése a konkrét vizsgálati esettanulmány köré.

Az építésökológia területén több tanulmány is kimutatta, hogy az építőanyagok életciklus elemzése (*Life Cycle Assessment - LCA*) nem ad valós tájékoztatást az anyagok környezeti és egészségügyi terheléséről. A passzív és alacsonyenergia felhasználású (ún. energiatudatos) házak nem minden esetben számítanak ökológikus, környezettudatos, vagyis "egészséges" házaknak. Az épületbiológia tudományterületén publikált tanulmányok közt számottevőek voltak a laboratóriumban végzett levegőanalitikai, és káros anyag emissziós mérések. Mellettük egyre több – országokra, városokra kiterjedő – felmérések találhatóak, melyekben a beltéri levegőminőség mérésével párhuzamosan, a lakók egészségügyi állapotát is felmérték. Megállapítottam, hogy itthon nincsenek az ökológikus építőanyagokra vonatkozó szabályozások, adatbázisok. Kiemelten tanulmányoztam a fához – mint az egyik ökológikus építőanyaghoz – kapcsolódó kutatási eredményeket, és a faanyagú építőlemezek káros anyag kibocsátásának csökkentési lehetőségeit.

A kutatásaim keretén belül – tudomásom szerint elsőként – vizsgáltam egy passzív, alacsonyenergia felhasználású, favázis ház beltéri levegőminőségét. Illékony szerves anyagok (Volatile Organic Compounds - VOC) és formaldehid koncentrációit mértem a beltéri levegőben egy éven keresztül. A mérési eredményeimet a szakirodalomban közölt kutatási eredményekkel, valamint az itthoni és külföldi szabályozásokkal vettem össze. Megállapítottam, hogy a formaldehid, benzol, toluol, naftalin, formaldehid és sztirol értékei az átlagos értékeknek megfelelően voltak jelen, és hosszú távon – a ma érvényes előírások szerint – nem jelentenek egészségügyi kockázatot. Ebből az a következtetés is levonható, hogy a házban felhasznált fa építőanyagok ökológikusaknak (alacsony-emissziójúnak) számítanak. Továbbá megállapítottam, hogy az anyagok koncentrációit nagyrészt a beltéri levegő hőmérséklete, páratartalma, a szellőztetés valamint az emberi tevékenységek befolyásolták.

A beltéri levegőminőség vizsgálata jelentős mennyiségű, új, és jól használható információt ad az épületről, mind a tervezők, mind a bent-lakók számára. Nagy jelentőséggel bírhat épület-rekonstrukciónál az épületdiagnosztikában, újépítésű házaknál – átadás előtt – egészségügyi kockázatok megállapításában, valamint "beteg épület tünetcsoportot" mutató házaknál a káros anyagok forrásainak kimutatásában.

Abstract

Indoor air quality, which is the main research area of the current dissertation, is a new scientific area. In this work, an alternative approach has been presented that considers buildings as a whole system whose main goals are providing people with high indoor comfort conditions and lessening the environmental impacts. The conclusions showed after examining the connecting areas of building biology and building ecology that the *Life Cycle Assessment (LCA)* of the buildings does not give proper information about the health impacts and environmental impacts of the building materials. The so-called "passive" housing systems are not equal with ecologically "healthy" buildings. This conclusion is based on the case studies made in the field of building biology that measure the indoor air quality and survey the health conditions of the people as well. Another conclusion is that those databases, which would summarize the low-emitting materials, are still not available for the designers and the building contractors in Hungary. This work focuses on researching wood as a low-emitting building material.

The presented case study, which is the first made in Hungary, shows the measurements of the indoor air quality in a passive, low-energy, wooden, light frame house. Concentrations of Volatile Organic Compounds (VOC) and formaldehyde were measured and compared with data from other case studies made in this subject and with the current Hungarian and international regulations of adverse chemicals. The results showed that the concentrations of benzene, toluene, naphthalene, formaldehyde and styrene were not deviant from the average values measured by other case studies. The conclusion is that the wooden materials applied in the house are low-emitting materials and do not pose a health risk for people. The observations showed that the main influencing factors of indoor air quality were the changes in indoor temperature, relative humidity, air exchange rate, and human activities.

The measurements of indoor air quality are providing the designers and the building occupants with essential information about the state of the building and the health impacts. They can be used in many type of the architectural procedure, e.g. in building diagnostics for renovations, in measuring the health impacts of a newly built house, and in finding the main sources of adverse chemicals of buildings with "sick building syndrome".

1. Doktori értekezés témája

"Nem könnyű mondanivalónknak a közlése, mert az újat is a régi analógiájára fogják fel."
Francis Bacon (1561 - 1626)

A kutatás területének fő témaköre a következő kérdés köré szerveződik: Melyek azok az építőanyagok, amelyeket egy ház felújításához vagy tervezéséhez felhasználva, egészséges életkörüzetet biztosítanak a bent-lakók számára? Az építész feladata ugyanis olyan környeztet tervezni és kivitelezni, melyek megfelelnek a környezeti, műszaki, társadalmi követelményeknek és egyéni igényeknek.

Az értekezés fő tudományterülete a **beltéri levegőminőség**, mely a 70-es, 80-as évek óta egyre nagyobb figyelmet kapott a kutatók körében. Az épületek belső tereiben kialakuló légállapotok, és komforttényezők jelentősen befolyásolhatják a bent-tartózkodók egészségi állapotát, közérzetét. Nem sorolható be egyértelműen egyik tudományterület kategóriájába sem, ezért ún. határterületi tudománynak felel meg.

A beltéri levegőminőség az alábbi tudományterületekhez kapcsolódik:

- építéstudomány,
- építésbiológia,
- építésökológia,
- humánökológia.

Építéstudomány

"Az építészet a társadalom akaratának térbeli kifejeződése" (Mies Van der Rohe, 1924)
Fontos, hogy az épületek tervezésénél meglegyen az a szaktudás, mely egy "egészséges", környezettudatos épület tervezését segíti elő. Ehhez az ökológikus szemléletmód elsajátítása elkerülhetetlen tényező.

Építésbiológia

Az építésbiológia – vagy épületbiológia – az ember és a ház kapcsolatrendszerét vizsgálja, valamint az építéstechnológiák egészségügyi rizikóját kutatja. "Részei a belső téri komfortjellemzők optimalizálása, az épület beltéri levegőjének minősége, a belső-külső terek jellegzetességeinek hatása az emberi pszichére, az emberi szervezetre kedvező és az egészségre káros belső és külső környezeti tényezők hatásának vizsgálata, számszerűsítése, befolyásolása" (Lányi, 2011).

Az épületbiológiai alapelveknek nemcsak az újonnan épülő lakóépületeknél lehet nagy jelentősége, hanem olyan épületek szanalásánál, átalakításánál is, amelyekkel szemben – funkciójukból fakadóan – magas higiéniai követelményeket támasztanak (pl. kórházak, iskolák, óvodák, stb.).

Építésökológia

Az ökológia tudománya az élőlények, és környezetük közötti kölcsönhatás-rendszert vizsgálja. Ehhez a tudományhoz szervesen kapcsolódik az építésökológia, mely az épített környezet és a természet viszonyát, és azok összefüggés rendszereit vizsgálja.

Definíciója: a ház és a környezet kapcsolata. Az építésökológia az épített környezet és természeti környezet összefüggéseinek feltárását célzó tudományterület (Lányi, 2011).

Humánökológia

A humánökológia, mely tudományág az 1920-as években jött létre, a természet és ember kapcsolatával foglalkozik. Nem egy önálló tudományterület, szervesen kapcsolódik a természettudományokhoz és a társadalomtudományhoz. Itt merült fel először az igény a transz-diszciplináris – vagyis több tudományterületet felölelő és szintetizáló – gondolkodásmód kialakítására. A jelenlegi szaktudományokban a partikuláris gondolkodás a jellemző, vagyis az egész részekre való bontása, és a részek egyenkénti vizsgálata. Ez a gondolkodásmód azonban a határterületek vizsgálatára nem alkalmas. Az 1970-es években a globális problémák vizsgálatánál alkalmazták a humánökológia transz-diszciplináris felfogását. A különböző tudományterületek saját határait átlépve, egymással kölcsönhatásba kerülve egy teljesen új szinergiát hoznak létre, mely visszahat az Egészre. Ebben az Egészben egy újfajta minőség születik, melynek tulajdonságai már nem egyeznek az őt alkotó részek tulajdonságaival, hanem túlmutatnak rajtuk (Nánási, 2005).

1.1. A doktori értekezés célja

A szakirodalmi kutatás során cél volt feltárni a transz-diszciplinaritáson keresztül azt a szaktudást, amely egy építész számára az "egészséges épületek" tervezéséhez szükséges. Az eddigi lineáris, részleteket elemző gondolkodásmód helyett a holisztikus látásmód alkalmazása teret ad egy sokkal szerteágazóbb tervezési folyamat kialakulásához, amiben az összefüggések rendszere az "Egészet" veszi figyelembe. Elsődleges cél, hogy az épületekben tartózkodók egészségi állapotát akár rövidtávon akár hosszútávon ne éri káros hatások. A megfelelő építőanyagok, és technológiák kiválasztásával már a tervezési folyamat során ki lehet szűrni azokat a forrásokat, melyek később hatással vannak az épület beltéri levegőminőségére. Továbbá a tervezés meghatározó eleme a természethez való alkalmazkodás gondolatisága, vagyis az épület ne egy idegen testként viselkedjen, hanem a természeti körfolyamatokba illeszkedve éljen együtt környezetével. Ehhez egy fontos lépés, hogy a tervezők, és kivitelezők számára könnyen elérhető legyen az ökológikus építőanyagokról és technológiákról egy adatbázis, mint az a nyugati országokban már meg is valósult bizonyos szempontból. A lehetséges ökológikus építőanyagok közül kiemelten tanulmányoztam a fához – mint az egyik ökológikus építőanyaghoz – kapcsolódó kutatási eredményeket, és a faanyagú építőlemez káros anyag kibocsátásának csökkentési lehetőségeit.

A kutatás keretén belül végzett levegőminőségi mérések jelentőségét az a felismerés indokolta, hogy az abból kapott eredmények jelentős mennyiségű, új, és jól használható információt adnak az épületről, mind a tervezők, mind a bent-lakók számára. Épület-rekonstrukciónál az épületdiagnosztikában, újjépítésű házaknál – az átadás előtt – egészségügyi kockázatok megállapításában, valamint "beteg épület tünetcsoportot" mutató házaknál a káros anyagok forrásainak kimutatásában bírhat nagy jelentőséggel.

Tudomásom szerint, Magyarországon elsőként végeztem beltéri levegőminőség méréseket újjépítésű, passzív, alacsonyenergia felhasználású, favázás házban, amely környezettudatos elvű tervezés és kivitelezés eredményeként valósult meg. Ez az épület szerkezetében és burkolataiban kezeletlen fa építőanyagokat tartalmaz. A vizsgálat azon kémiai anyagok

meghatározására fókuszált – a ház beltéri levegőjében – , amelyek alapvetően befolyásolják a beltéri levegő minőségét, és ezáltal hatással lehetnek a bent-tartózkodók egészségére.

1.2. A kutatás módszere

A beltéri levegőminőség vizsgálatának tudományterülete nem egy önálló terület. A megszokott lineáris, részleteket elemző kutatási módszer helyett egy holisztikus szemléletmódú megközelítést igényel. Így első lépésként a kapcsolódó szakirodalmat kell áttanulmányozni, és a kinyert információkat szintetizálni, majd a kutatási témához leszűkíteni az adott tudományterületeket.

A kiinduló pont a humánökológia területe, mely a jelenlegi "civilizációs válság" jelenségét kutatja, vagyis milyen hatással van az ember / emberi tevékenység Bolygónk bioszférájára, és ezeknek a hatásoknak mik az okai. A kialakuló káros anyagok forrása a folyamatosan változó, és egyre intenzívebb emberi tevékenységekkel függ össze. Ezek a káros anyagok jutnak el az épített környezetbe is, melyek nemcsak a természetes környezetet alakítják át, hanem az emberek egészségére is hatással vannak. Ezzel foglalkozik az építésökológia és épületbiológia területe. Valamint ebbe tartozik bele az építőanyagok egészségre gyakorolt hatása is, és azok káros anyag emisszióinak meghatározása, számszerűsítése, amivel a beltéri levegőminőség tudományterülete foglalkozik.

A szakirodalmi kutatás második lépése a szakirodalomban publikált levegőanalitikai esettanulmányok rendszerbe helyezése, mely lehetőséget ad később a kutatás konkrét mérési eredményeinek összevetésével.

1.3. A doktori értekezés feladatai

1. A beltéri levegőminőség területéhez tartozó szakirodalom felkutatása, az eddigi kutatási eredmények összegzése.
2. A beltérben lévő leggyakoribb káros anyagok közül az illékony szerves anyagok (Volatile Organic Compounds - VOC) és a formaldehid bemutatása
3. A fa, mint egy lehetséges ökológikus építőanyag bemutatása a faipar jelenlegi kutatásain keresztül.
4. A beltéri levegőminőség területéhez kapcsolódó tudományterületek megvizsgálása, és a köztük lévő összefüggések bemutatása.
5. A kutatás keretein belül egy kísérleti, passzív, alacsonyenergia felhasználású, favázis ház belső tereiben a káros anyagok koncentrációinak mért értékeinek az összevetése a szakirodalomban publikált levegőanalitikai mérések eredményeivel. Valamint megvizsgálni az épületben fellépő, lehetséges egészségügyi kockázatokat.

2. A kutatáshoz tartozó tudományterületek áttekintése a szakirodalomból

2.1. A beltéri levegőminőség

2.1.1. Fogalma

A tiszta levegő életünk egyik legalapvetőbb feltétele. A beltéri levegőminőség egy új interdiszciplináris szakterület, mellyel épületgépészek, orvosok, biológusok, kémikusok mellett építészek is egyre inkább foglalkoznak. Angol megfelelője az "*Indoor Air Quality*", német megfelelője, pedig a "*Raumluftqualität*" (Bánhídi és tsai, 2000).

Definíció I.

"A belső levegőminőség alatt a komfortterek levegőjének minden olyan nem termikus jellemzőjét értjük, melyek az ember közérzetét és egészségét befolyásolják." (Bánhídi és tsai, 2000). Természetesen a beltéri levegő további légparaméterei a hőmérséklet, páratartalom és légcsere is jelentős hatással bír a komfortérzetre, viszont ezek számszerűsített vizsgálatával az épületenergetika foglalkozik. A beltéri levegőminőség a levegőben lévő légszennyező anyagok vizsgálatára és számszerűsítésére koncentrálódik. A beltéri levegő minőségét befolyásoló nem termikus tényezők a gázok, aeroszolok, vírusok, baktériumok. A legjellemzőbb anyagok (Bánhídi és tsai, 2000):

- illékony szerves anyagok (*Volatile Organic Compounds - VOC*)
- formaldehid
- széndioxid
- radon
- dohányfüst
- nitrogén-dioxidok
- azbeszt
- porok

Definíció II.

Az ASHREA (*American Society of Heating, Refrigerating, and Air conditioning engineers*) által megfogalmazott definíciója az elfogadható beltéri levegőminőségnek: Olyan levegő, amely nem tartalmaz semmilyen ismert káros, fertőző anyagot bizonyos koncentráció felett, aminek a határértékét a megfelelő hivatalos szervek határozzák meg, és az emberek 80%-a elfogadhatónak ítéli meg (Frontczak, 2011).

2.1.2. Történeti háttér

Már a 18. században foglalkoztak a kellemetlen szagok és azok egészségre gyakorolt hatásával. Az ipari forradalom idejében nagy hangsúlyt fektettek a beltéri környezet higiénijára, például Thomas Tredgold könyve, mely a megfelelő szellőztetés kérdéseit feszegette (Tredgold, 1824). 1858-ban a német higiénikus, Max von Pettenkoffer határozta meg a beltéri levegőben lévő CO₂ maximális értékét (0,1 térfogat%), mely érték még mára sem veszítette el aktualitását (Wohnbauforschung, 2005). Amerikában John Shaw Billings (1889) publikált először a szellőztetés témájában, de csak 1915-ben hozott szabályozást erre vonatkozólag az *American Society of Heating and Ventilating Engineers* (ASHVE). A beltéri levegőminőség tudományterületének alapjait a nemzetközileg elismert kutató, P.Ole Fanger (1934 - 2006), dán professzor dolgozta ki 1982-ben. Ehhez a területhez kapcsolódnak még a levegő tisztaságának védelme, valamint a munkahelyi egészségvédelem. James N. Pitts Jr. volt az első, aki felismerte és mérte a beltéri levegőben az NO₂ koncentrációt. A 2000-ben megjelent *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere* című könyvében már egy külön fejezetet szentelt a beltéri levegőminőség vizsgálatának, ezzel is jelezve a téma fontosságát (Pitts és tsai, 1999). Amerikában a 80-as évek elején került az érdeklődés középpontjába a beltérben megjelenő káros anyagok vizsgálata. Ezek a vizsgálatok a formaldehid, radon, azbeszt, és illékony szerves anyagok, azaz *Volatile Organic Compounds (VOC)* kimutatásával, mérésével foglalkoztak (Weschler, 2011). A laboratóriumi technika fejlődésével, az érzékenyebb mérőeszközök segítségével egyre több vegyületet tudtak kimutatni, és meghatározni.

Az elmúlt évtizedekben egyre több egészségügyi kérdést kapcsoltak össze a beltéri levegőminőséggel. Svédországban már a 80-as években felismerték és kutatták a "Beteg épület tünetcsoport" (*Sick Building Syndrome - SBS*) jelenségét, mely során az érzékszervek irritációja volt megfigyelhető, főleg irodaépületekben. A kifejezés egyre elterjedtebbé vált azokban az esetekben is, ahol a penész, üvegszálas hőszigetelés, radon, azbeszt, valamint a formaldehid által előidézett egészségügyi tüneteket tapasztaltak.

Charles J. Weschler, vegyész professzor munkásságának nagy részét áldozta a beltéri levegőminőség vizsgálatára. Egyik publikációjában az elmúlt 50 év kutatásait foglalta össze a beltéri levegőminőség témájában (Weschler, 2008). Kihangsúlyozza azt a tényt, hogy azon kémiai anyagok, melyek megtalálhatók nemcsak a beltéri környezetben, hanem az emberi szervezetben is, 50 évvel ezelőtt még nem voltak jelen a környezetben. Az elmúlt fél évszázadban jelentősen megváltozott az építkezési kultúra, fejlődtek az építőanyagok, a háztartási termékek, valamint az épületek műszaki és gépészeti rendszerei. Az épületek átszellőzöttsége egyre kisebb, a légkondicionált helyiségek száma, pedig növekszik, valamint az emberi tevékenységek is sokat változtak az évtizedek alatt. Az emberek egyre több háztartási gépet használnak a házimunka során. Illetve az informatika világának elterjedésével egyre több elektronikai eszköz került a háztartásokba. Ezeknek a változásoknak az összessége járul hozzá a beltérben jelentkező káros anyag koncentráció emelkedéséhez, melynek már jelentős egészségügyi hatása is lehet a bent-tartózkodókra. A káros anyagok közül Weschler megemlíti a formaldehidet, az aromás szénhidrogéneket, valamint a PCBs (poli-krómozott-bifenilek) alapú oldószereket, és rovarirtó szereket, melyek koncentrációja az elmúlt 50 év során hol növekvő, hol csökkenő tendenciát mutatott. Viszont további kémiai anyagok, például: ftalátok, észterek, brómozott égéskésleltetők koncentrációja az elmúlt években folyamatosan emelkedett. Összegyűjtötte azokat a lehetséges indikátorokat, melyek hatással lehettek a káros anyagok koncentrációira az elmúlt 50 év alatt (Amerikában). Ezek közül néhány példa:

- 1950-es évek:
 - a természetes szálú, szőtt szőnyegetek felváltják a szintetikus szálú, rojtos szőnyegek
 - gyorsan terjednek a CFCs (chlorofluorocarbons) alapú, aeroszolos légfrissítők
 - engedélyezték a felhőkarcolók strukturális homlokzatán azbeszt spray használatát
- 1953:
 - több mint egy millió légkondicionálót adtak el az Államokban
- 1954:
 - az OSB lapok éves termelése elérte a 0,4 millió m²-et
- 1962:
 - az amerikai családok 90%-ának van televíziója
- 1960-as évek:
 - a légfrissítők használata nő, egyre több háztartási termékhez adagolnak illatanyagot
- 1975:
 - elterjednek a karbamid-formaldehid alapú hőszigetelő anyagok a családi házaknál
 - az OSB lapok éves termelése elérte a 1,5 millió m²-t
- 1979:
 - az amerikai családok 25%-nak van beépítve légkondicionáló berendezés
- 1979:
 - az OSB lapok piaci részesedést nyertek
- 1984:
 - több publikáció jelenik meg a Beteg épület szindróma jelentőségéről
- 1997:
 - az amerikai családok 50%-nak van beépítve légkondicionáló berendezés
- 1998:
 - határértékeket szabnak az építőanyagokból származó VOC anyagok kibocsátásainak
- 2000:
 - az amerikai családok 50%-nak van otthon számítógépe (Weschler, 2008)

Konklúziójában kihangsúlyozza, hogy – a téma fontosságához viszonyítva – a szakirodalomban fellelhető tesztkamrás mérések mellett feltűnően kevés a helyszínen mért adatok száma, a káros anyagok valós koncentrációjáról az épületek belső tereiben (Weschler, 2008).

A történeti áttekintésből azt a következtetést vontam le, hogy a beltéri levegőminőség kutatása világszerte növekvő tendenciát mutat. Egyre több új anyagot találnak fel, és alkalmaznak, melyeknek azonban nem ismertek a hosszú távú hatásaik. Csak utólag ismerik fel, hogy egy-egy anyag – bizonyos koncentráció felett – káros hatást gyakorol a környezetre és az egészségre is. Ezért nagy jelentősége van a folyamatos beltéri levegőanalitikai mérések elvégzésének, és az új anyagok laboratóriumi vizsgálatának.

2.1.3. Szabályozások

A beltéri levegőminőség tudományterületének ismerete az elmúlt 40-50 év alatt egyre fontosabb szerephez jutott. Mivel az emberek életük 70-90%-át épületekben töltik, az egyre több egészségügyi panasz jelentkezését, a kutatók a beltéri levegőben lévő káros anyagok emelkedő koncentrációjával hozzák összefüggésbe (WHO, 2010). Ezek az anyagok az építőanyagokból emittálódnak, valamint a természetes szellőztetés hiányában, és az elégtelen

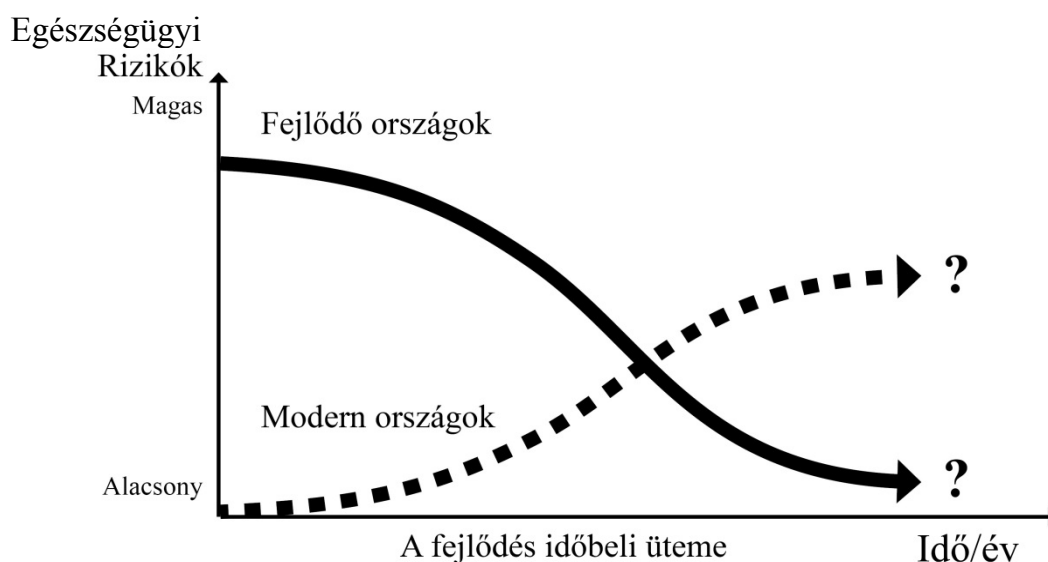
mesterséges szellőztetés hatására feldúsulnak a beltéri levegőben. A jelenlegi építőanyagokra vonatkozó előírások nem térnek ki kellő terjedelemben az egészségügyi kockázatokra. Az építész illetve kivitelező számára nem áll rendelkezésre olyan információ az anyagok kiválasztásánál ami megadná, hogy melyeknek alacsony a káros anyag kibocsátásuk.

Jelenleg az általános komfortterekre (lakás, középület) sincsenek itthon szabályozások, határértékek, egyedül a WHO által közölt ajánlásokra lehet hivatkozni. Az ún. "Munkahelyi egészségvédelem" ad határértékeket a munkahelyek tereiben lévő káros anyagok koncentrációira (MSZ 21461 1-2 szabvány). Azon belül három értéket határoz meg: általános koncentráció egy műszak alatt (ÁK), maximális koncentráció egy műszak alatt (MK), és csúcs koncentráció egy műszak alatt 30 percig (CK). Külföldön az ún. MAK-érték (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration) határozza meg ezeket a határértékeket. A dimenziójuk $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vagy ppm (parts per million) (Bánhídi és tsai, 2000).

2.2. Általános légszennyező anyagok a beltéri levegőben

A beltéri levegőminőség vizsgálata egy összetett folyamat, melyet több tényező is befolyásol. Fontos felismerni azt a tényt, hogy nem lehet egy általános érvényű szabályrendszert alkalmazni minden egyes épület vizsgálatnál. Az épületek belső tereiben megjelenő légszennyező anyagok épületszerkezetenként, városenként, országonként és földrészenként változhatnak. Az éghajlati viszonyok, a gazdasági fejlettség, a kulturális szokások, az adott régióra vonatkozó helyi, építésügyi szabályozások, és nem utolsósorban az emberi tevékenységek összessége az, ami meghatározhatja egy épület beltéri levegőminőségét.

Zhang és Smith (2003) tanulmányukban a légszennyező anyagok – mint globálisan megjelenő, de lokálisan kezelendő egészségügyi probléma – történeti alakulását mutatják be a fejlődő és modern országok szempontjából.



2.2.a. Grafikon: A fejlődő és modern országokban mért légszennyező anyagok egészségügyi rizikóinak alakulása (Wallace, 1993)

A legveszélyesebb beltéri források közé tartoznak – a fejlődő országokban – a széntüzelésű rendszerekből származó beltéri füst és a dohányfüst. A modern, fejlett országok

háztartásaiban a széntüzelés helyett többnyire gázalapú rendszereket alkalmaznak. Bár ezekből is származhatnak káros anyagok (pl. CO, NO₂, PM), de ezek sokkal kisebb mennyiségben fordulnak elő. A 2.2.a. grafikon jól érzékelteti a két terület egészségügyi rizikóinak fejlődési irányait, nyitva hagyva azt a kérdést, hogy vajon a beltéri levegőminőség alakulása mennyire fogja követni a jövőbeli trendeket. Bár azt meg lehet állapítani, hogy a fejlődő országokban az egészségügyi rizikó jelentősen csökkent, és ez a tendencia tartja magát. A fejlett országok beltéri levegőminőségének jövője viszont nagyban függ attól, hogy a jelenlegi építési szokások mennyire lesznek tartósak. Az újabbnál újabb anyagok, melyek a piacra kerülnek, nagyban befolyásolják ezt a folyamatot, hiszen nagyon keveset tudnak azok hatásairól. A beépítésük után mérhető a beltéri levegőben azoknak a káros anyagoknak a koncentrációja, melyek az idő múlásával kipárolognak az anyagokból. A 2.2.a. táblázat gyűjti össze a lehetséges káros anyagokat és forrásaikat.

Káros anyagok	Forrásaik
Szálló por	Tüzelőanyag/dohányfüst, takarítás, főzés
CO	Tüzelőanyag/dohányfüst
Polciklikus aromás szénhidrogének (PAH)	Tüzelőanyag/dohányfüst, főzés
NO ₂	Tüzelőanyag
SO ₂	Szén tüzelés
Arzén és flór	Szén tüzelés
Illékony szerves anyagok (VOC)	Tüzelőanyag/dohányfüst, takarítószer, bútortisztító, építőanyagok, főzés
Aldehidek	Bútortisztító, építőanyagok, főzés
Rovarirtószer	Takarítószer, kültéri por
Azbeszt	Épületek lebontása / átalakítása
Ólom	Festék anyagok
Biológiai szennyezők	Párás felületek, szellőző rendszerek, bútortisztító
Radon	Alapozás alatti talaj, építőanyagok

2.2.a. Táblázat: A beltéri levegőben koncentrálandó lehetséges káros anyagok és forrásaik (Zhang és Smith, 2003)

Főleg a régi épületek felújításánál lehet találkozni azbeszttel, és ólom tartalmú falfestéssel, melyek nem megfelelő kezelése további egészségkárosodást okozhat. A 70-es évektől elterjedt energiatudatos épületeknél a légcseré csökkenése folytán ezek az anyagok még jobban feldúsulnak a beltérben. A bútorokból, textilekből, takarítószerből jelentős mennyiségű káros anyag származik.

Vizsgálataim során a beltérben megjelenő kémiai légszennyező anyagok közül az illékony szerves anyagokkal (Volatile Organic Compounds - VOC) és a formaldehiddel foglalkoztam, azok koncentrációit mértem a beltéri levegőben, és vettem össze a publikált esettanulmányokban közölt értékekkel.

2.2.1. Illékony szerves anyagok (Volatile Organic Compounds - VOC)

A következőkben megvizsgálom a VOC anyagok közül, azokat melyek a mérési eredmények alapján nagymértékben befolyásolták a beltéri levegő minőségét (2.2.1.a. Táblázat). Azon anyagokat emeltem ki, melyek értékei jelentős mértékű eltéréseket mutattak az átlagos és szabványokban megadott határértékektől. Az 1. Mellékletben részletesen megadom anyagjellemzőiket és ismertetem a környezetre gyakorolt hatásaikat.

Aromás szénhidrogének	Benzol
	Toluol
	Etilbenzol
	1,3-Xilol és 1,4-Xilol
	1,2-Xilol
	Sztirol
	Naftalin
Alifás szénhidrogén	n-Heptán
	n-Dekán
	n-Undekán
	n-Dodekán
	n-Tridekán
	n-Tetradekán
	n-Pentadekán
	n-Hexadekán
	n-Oktadekán
Terpének	3-Karén
	alfa-Pinén
	Limonén
Aldehydekek	Hexanal
	Benzaldehid
	Formaldehid
Alkoholok	1-Butanol
	Fenol
Ketonok	Aceton /Acetofenon
Karbonsav	Ecetsav

2.2.1.a. Táblázat: A kutatási munka keretén belül végzett beltéri levegőminőség vizsgálatok során mért legjellemzőbb VOC anyagok

A World Health Organisation (WHO) 1989-ben kategorizálta a VOC anyagokat forráspontjuk szerint:

1. nagyon illékony szerves anyagok (*Very Volatile Organic Compounds, VVOC*) csoportja, forráspontjuk 0°C és 50-100°C között van,
2. illékony szerves anyagok (*Volatile Organic Compounds, VOC*), forráspontjuk: 50-100°C és 240-260°C között,

3. közepesen illékony szerves anyagok (*Semi Volatile Organic Compounds, SVOC*) forráspontjuk: 240-260°C fölött van (WHO, 1989).

Aromás szénhidrogének

A **benzol**, **toluol**, etilbenzén, és xilol (BTEX) az összes VOC közül a leggyakrabban monitorozottak (Zalel és tsai, 2008). Legfőbb forrásaik az építőanyagok, tisztító szerek, bútorok, festékek, ragasztók, lakkok, textilek (Samfield, 1992) (Sterling, 1985) (Wallace, 2001). A koncentrációjukat befolyásoló további tényezők a városi környezet, a garázs és ház kapcsolata, lakásban lévő gáz készülékek valamint a beltéri dohányzás (Dodson és tsai, 2008) (Kwon és tsai, 2007) (Edwards és tsai, 2006).

2000-ben határozta meg az EU direktíva a benzol határértékét $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -ben (Legislation, 2000). A tőrés határhoz a következő meghatározást írták: " 2000. december 31-én $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (100 %), ezt kell 2006. január 1-jén és minden azt követő 12 hónap után $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ értékkel csökkenteni, hogy 2010. január 1-jére a 0 %-ot érje el. " A WHO által közölt legfrissebb tanulmányban (2010) továbbra is kihangsúlyozták rákkeltő hatását, valamint heveny mieloid leukémia kialakulásának lehetőségét. Mivel nincs egészségügyi határérték meghatározva a benzolra, ezért a rizikó tényező leukémia kialakulásához $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ koncentrációnál 6×10^{-6} egy életciklus alatt, illetve egy életen át való kitettség esetén $0,17 - 17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ értékeket ad meg (WHO, 2010).

A **Sztirol** többnyire műanyagok, főként polisztirol gyártására használják. Szem- és bőrirritáló, belélegezve ártalmas. 100 ppm koncentrációnál jelentkezik torok és szemirritáló. 800 ppm felett álmoság, fémés íz, fokozódó nyáleválasztás tapasztalható.

A **Naftalint** az iparban különféle festékanyagok készítéséhez, a háztartásban pedig a ruhamolyok ellen használják. Hosszú távon a naftalin súlyosan károsítja a vörösvértesteket és fokozza a rögzépződést.

Terpének

Az **alfa-pinén** a terpének közé tartozó szerves vegyület, azaz nem szintetikus, hanem valódi növényi kivonat. A felületkezelt fából, aeroszolókból, festékekből, vízálló oldószerekből származhat. Kis koncentrációban anti-bakteriális hatású, viszont magasabb koncentrációban már irritációt okozhat.

A **3-karén** a természetben, a terpentiben fordul elő, a forrástól függően akár 42%-os mennyiségben is. Nem toxikus anyag.

Szabályozások

Több tanulmány is feltételezi a "Beteg Épület Szindróma" (Sick Building Syndrome) lehetséges kiváltó okának a beltéri levegő VOC koncentrációját. Főbb tünetei: fejfájás, hányinger, szem és orrnyálka irritáció, asztmás szimptomák (Norrback és tsai., 1995). Továbbá több tanulmányban is feltételezik, hogy mérgező vagy potenciálisan mérgező VOC anyagok okoznak egészségkárosodást új épületek esetén (IARC, 2004). Az észlelt tünetek főként a felső légúti szervekben, az érzékszervi rendszerekben jelentkeznek, valamint nagy hányadban okozhatják allergia vagy asztma kialakulását (Koren és tsai, 1992)(Wieslander és tsai, 1997)(Herbarth és tsai, 2000)(Diez és tsai, 2003). Az *Agency for Research on Cancer*

(IARC) 2004-ben a formaldehidet és benzolt besorolta az emberi szervezetre karcinogén hatású anyagok csoportjába (IARC, 2004).

Csak néhány országban léteznek szabályozások, előírások a beltéri levegőminőség értékelésére, és az anyagok besorolására emissziós rátájuk alapján. A 89/106/EEC európai direktívában megfogalmazták, hogy az építményeket úgy kell megvalósítani, hogy a bennük létrejövő emissziók ne jelentsenek veszélyt a bent-tartózkodók egészségére (Katsoyiannis, és tsai, 2012).

Források

A 2.2.1.b. táblázat összegzi a VOC anyagok lehetséges forrásait egy háztartásban.

Források	Tipikus káros anyagok	
	Osztályok	Anyagok
Építőanyagok	alifás szénhidrogének	<i>n</i> -dekán, <i>n</i> -dodekán
	aromás szénhidrogének	tolul, sztirol, etilbenzén
	halogénezett szénhidrogének	vinil-klorid
	aldehidek	formaldehid
	ketonok	aceton, butanon
	észterek	uretán, etilacetát
	Fűtő berendezés	éterek
alifás szénhidrogének		propán, bután, izobután
Festékek, oldószerek, lakkok	aldehidek	acetaldehid, akrolein
	alifás szénhidrogének	<i>n</i> -hexán, <i>n</i> -heptán
	aromás szénhidrogének	toluol
	halogénezett szénhidrogének	metilén klorid, propilén diklorid
	alkoholok	
	ketonok	metil etil keton
	észterek	etil acetát
Ragasztók	éterek	metil éter, etil éter, butil éter
	alifás szénhidrogének	hexán, heptán
	aromás szénhidrogének	
	halogénezett szénhidrogének	
	alkoholok	
	aminók	
	ketonok	aceton, metil etil keton
	észterek	vinil acetáz
	éterek	

Bútorok, textilek	éterek	
	aromás szénhidrogének	sztírol, brominált aromások
	halogénezett szénhidrogének	vinil klorid
	aldehidek	formaldehid
	észterek	
Kereskedelmi és fogyasztási cikkek	éterek	
	alifás szénhidrogének	<i>n</i> -dekán, alkánok
	aromás szénhidrogének	tolul, sztírol
	halogénezett szénhidrogének	metilén klorid, propilén diklorid
	alkoholok	aceton, metil etil keton
	aldehidek	formaldehid
	észterek	alkil etoxilát
	éterek	glikol éterek
	terpének	limonén, alfa-pinén

2.2.1.b. Táblázat: VOC anyagok és lehetséges forrásaik (Maroni, 1995)

Fontos megemlíteni, hogy ezek az anyagok, nemcsak kipárologva jelentenek egészségügyi kockázatot. Egymással vagy más anyagokkal reakcióba lépve, újabb légszennyező anyagok keletkezhetnek. Például a beltéri levegő ózon koncentrációja lehet, hogy nem lépi túl a megengedett határértéket, viszont reakcióba tud lépni más, jelenlévő anyagokkal. Ezek a másodlagos légszennyező anyagok akár veszélyesebbek is lehetnek (Weschler, 2001). A továbbiakban a formaldehiddel kiemelten foglalkozom.

2.2.2. Formaldehid

A formaldehid (CH₂O) egy szerves vegyület, a legegyszerűbb aldehid. Először egy orosz kémikus, Alekszandr Butlerov fedezte fel, de azonosítását August Wilhelm von Hofmannnak is tulajdonítják. Mindenütt jelen van a környezetben, elsődlegesen természetes folyamatok (föld légkörében található metán, szénhidrogén, napfény és oxigén hatására keletkezik) és emberi tevékenységek gerjesztik (kipufogógáz, cigaretta füst, erdőtüzek, szmog). Természetes úton létrejön növényi és állati szervezetek anyagcseretermékeként, sőt az emberi szervezetben is megtalálható ilyen formában (Breuer, 1995).

Jelentős mértékű az ipari előállítása. Sok háztartási termék tartalmaz formaldehidet, pl. folyékony szappanok, a fogkrémek, körömlakk lemosók, gombaölő szerek, a folyékony tisztító- / fertőtlenítőszer (Könczey és tsa, 1997). Az építőiparban kötőanyagként és hőszigetelő anyagként, valamint ragasztók előállításához használják. Fenol, karbamid vagy melamin jelenlétében vízálló műgyanta keletkezik belőle. Az összes előállított formaldehid több mint felét műgyanta előállításánál használják fel. Hab formájában kitűnő hőszigetelő. Mindezeket túl festékekben, és egyes robbanóanyagokban is megtalálható.

A faiparban a furnérlemezek, bútorok és egyéb fatermékek ragasztóanyagaként a II. világháború után terjedt el alacsony előállítási költsége miatt. Beltérben ezek jelentik a

legfőbb légszennyező forrásokat. További források lehetnek: textilek, festékek, tapéták, ragasztók, felületkezelő anyagok, lakkok, háztartási szerek, tisztítók, fertőtlenítők, kozmetikai termékek (Emery, 1986).

A formaldehid beltéri emisszióját már a 70-es években mérték. Megállapították, hogy jóval magasabb koncentrációban van jelen, mint külső térben, ezért biztos, hogy nem kültéri forrásból származik (Anderson és tsai,1975). Ennek oka a jelentős mennyiségű agglomerált falemez használata belsőépítészeti építőanyagként, ami karbamid-formaldehid (UF) gyantát tartalmaz. Másik fő forrása a karbamid-formaldehid hab hőszigetelő anyagok (Namiesnik és tsai, 1992). Több tanulmány is foglalkozik az UF és fenol mügyantát tartalmazó agglomerált falemezek formaldehid emissziójával (Sumin és tsai, 2005a, 2005b)(Kelly és tsai, 1999). A karbamid-formaldehid (UF) gyanta egy amin-plasztikus gyanta, mely a formaldehid és karbamid monomerek reakciójából származik. A 90-es évek végén 6 millió tonnát állítottak elő belőle – a világon – évente (Dunkey, 1998). A formaldehid kétféleképpen emittálódhat az építőlemezektől: (1) szabad formaldehidként kipárolog, (2) az UF mügyanta polimer rendszeréből hidrolízis útján. Az első folyamat főként új anyagoknál jellemző, míg a második hosszabb ideig tartó folyamat. A kibocsátásra nagy hatással van a beltéri levegő hőmérséklete és relatív páratartalma, a légcserre, az épület kora (mivel a formaldehid kibocsátás idővel csökken), valamint az évszakok (Gammage és tsai, 1984).

A formaldehid belélegezve, bőrrel érintkezve és lenyelve mérgező. Nem érintkezik a belső szervekkel, hatása korlátozódik a levegővel közvetlenül érintkező szövetekre. A beltéri levegőben megtalálható formaldehid irritálja a szem és a felső légutak nyálkahártyáját. Továbbá fejfájás, fáradtság, rossz közérzet alakul ki hosszabb kitettség után. A szaglásérzékelés határa: 0,05 ppm–1,00 ppm, 0,3 ppm-től szemirritációt okozhat, hatása 1,00 ppm felett jelentős (Bundesamt, 2010).

Nagyobb koncentráció asztmás embereknél a tünetek erősödését, fulladást, valamint fejfájást okozhat. Újabb kutatások alapján ismertté vált, hogy a formaldehid nemcsak a – ritkán előforduló – orr-rákhoz, hanem a gyakrabban előforduló leukémia kialakulásához is hozzájárul. Egy hónapokon vagy éveken át tartó magas formaldehid-terhelés befolyásolja a tüdő funkcióit, és növeli a légúti megbetegedések rizikóját. Az Egészségügyi Világszervezet Nemzetközi Rákkutatási Hivatala 2004-ben emberi rákkeltő hatású anyaggá minősítette (WHO, 2010). A *Bundesamt für Gesundheit* (svájci egészségügyi tartományi hivatal) ajánlásai alapján a formaldehid-koncentráció legnagyobb mértéke 0,1 ppm (125 µg/m³) (Bundesamt, 2010).

Az Egészségügyi Világszervezet (World Health Organisation - WHO) 2010-es szabályozásában részletesen kitér a formaldehid vizsgálatára, és megadja, hogy mekkora lehet a különböző funkciójú, belső terekben mért legmagasabb koncentráció. (2.2.2.a.Táblázat):

Forrás	Koncentráció mg/m ³
Kültér	< 0,01
Beltér	
Családi ház	0,01 - 0,1
Iskola	< 0,05
Középület	< 0,0025

2.2.2.a. Táblázat: Formaldehid koncentrációjának határértékei (WHO, 2010)

Több európai országban végeztek széleskörű felmérést, és vizsgálták különböző funkciójú épületekben a formaldehid koncentrációját. A WHO ezekből a tanulmányokból gyűjtötte ki a minimális és maximális mért értékeket (WHO, 2010) (2.2.2.b. Táblázat).

Ország	Kutatás	Év	Formaldehid koncentráció ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Anglia	Building Research Establishment (BRE)	1997 - 1999	22,2 - 171
Németország	GerES IV	2203 - 2006	23,3 - 68,9
Finnország	EXPOLIS	2003	8,1 - 77,8
Ausztria	Hutter et al.	2006	25 - 115
Franciaország	French Observatory on Indoor Air Quality	2003 - 2005	19,6 - 86,3
Kanada	Gilbert et al.	2005	9,6 - 90
Arizona	National Human Exposure Assessment Survey	1999	21 - 46
Japán	National Institute of Health Sciences	1996	5 - 600

2.2.2.b. Táblázat: A WHO által összegyűjtött formaldehid koncentráció mért határértékei több európai ország beltéri levegőjében

Magyarországon a munkahelyek levegőtisztasági követelményeiről szóló szabvány, MSZ 21461 1-2, ad a formaldehidre határértéket:

- MI: erős mérég
- V-A: kifejezetten veszélyes
- CK: $0,6 \text{ mg}/\text{m}^3$: rövid ideig megengedett legnagyobb koncentráció 30 percig (Bánhidi és tsa. 2000)

2.3. Épületbiológia

2.3.1. Az épületbiológia fogalma

Az épületbiológia – a biológia tudományának részterülete – egy transz-diszciplináris tudományterület, mely több társtudományra alapozva, azokat összekötve, velük együttműködve született meg. Definíciója: az épített környezet és a lakói közötti egységes viszonyok tana. Az ember az épület és annak használata közötti kapcsolattal foglalkozó tudományterület (Lányi, 2011). Nemcsak önmagában az épülethez kapcsolódó műszaki kérdéseket vizsgálja, hanem az egészségügyi, ökológiai, ökonómiai valamint szociális/társadalmi igényeket is figyelembe veszi. Alapítója, dr. Hubert Palm orvos, és Hinrich Bielenberg állatorvos professzor. Hubert Palm orvos – az 1960-as években lett ismert a témában tartott több előadása kapcsán. Könyvében, "Das gesunde Haus" (ford.: Az egészséges ház), helyezi le az építésbiológia alapjait. Az "egészséges épület" akkor tud létrejönni, ha az élettani, pszichológiai, építészeti és építés-technológiai összefüggések egészét vizsgáljuk. Ennek eredményeképpen az épület, annak használója/lakója, valamint az épület közvetlen környezete egymással folytonos kölcsönhatásba kerülnek.

Bielenberg professzor a Braunschweig-i egyetemen az 1960-as években végzett egészségügyi állatkísérleteket. Eredményei kimutatták, hogy azon házi állatok egészségi állapota, melyek természetes anyagokból épült istállókban voltak tartva, sokkal jobb volt, mint azoké, melyek istállója szintetikus építőanyagokat tartalmazott. Dr. Ernst Hartmann a geobiológia területén belül vizsgálta a földrajzi környezet emberi egészségre való hatását. 1973-ban alakult meg az egészséges épületek munkaközössége (*Arbeitsgemeinschaft Gesundes Bauen und Wohnen - AGBW*), majd később az épületbiológiai intézet (*Institut für Baubiologie*) Rosenheimban. 1996-ban megszűnt ki az Épületbiológia – Építészet – Környezetorvoslás intézettel, melynek keretében további kutatásokat és szemináriumokat tartottak.

Az épületbiológia kutatásainak célja, hogy az ember – természet – építészet eredeti egysége újra összhangba kerüljön. Az épületbiológia alaptételei áttekintést adnak az ideális épület vagy település állapotáról:

1. Az építési terület legyen mentes akár természetes akár mesterséges sugárzástól
2. Az épületet ne érje közvetlenül káros anyagterhelés
3. Decentralizált, laza beépítés, zöldfelületek arányának növelésével
4. Önállóság, természet közelség, ember és társadalom centrikusság
5. Természetes építőanyagok használata
6. A beltéri légparaméterek természetes szabályozhatósága (pára, hőmérséklet, légcseré, stb.)
7. A szerkezetek hőtároló és hőszigetelő képessége optimális arányú legyen
8. Egészséges beltéri levegőminőség biztosítása természetes szellőztetéssel
9. Alacsony kibocsátású építőanyagok használata
10. Gombák, baktériumok, por elterjedésének megakadályozása
11. Jó ivóvíz biztosítása
12. Az épület a környezetre ne hasson károsan
13. Megújuló energiák alkalmazása
14. Lokálisan fellelhető építőanyagok használata
15. Természetes megvilágítás biztosítása
16. A belső terek ergonómiai kialakítása

(Schneider, 2013)

Az emberek egészségét elsősorban tiszta és nyugodt környezetük biztosítja, vagyis az egészséges beltéri levegőminőség. Az Egészségügyi Világszervezet (*World Health Organisation - WHO*) az egészséget az ember testi, lelki és szociális jólétének tekinti. Az egészség egy olyan erőforrás, mely az emberek számára a mindennapokban elérhető. Az egészségnek több dimenziója van, melyek együttes működése biztosítja az egészség fenntarthatóságát:

1. biológiai egészség
2. lelki egészség
3. mentális egészség

4. emocionális egészség
5. szociális egészség (WHO, 1948).

Az Agenda 21 (az 1992-ben tartott Rio-i konferencia akció programja a fenntartható fejlődésről) irányelvei szerint évek óta kutatják a fenntartható fejlődésen belül a fenntartható építés lehetőségeit, melyet C. Kibert a CIB 1994-ben Tampában rendezett szimpóziumán a következőképp fogalmazott meg: "Egészséges épített környezet létesítése és felelős fenntartása az erőforrások hatékony kihasználásával, ökológiai elvek alapján". Az Agenda 21 az ember egészségét a fenntartható fejlődés alapvető feltételének tekinti. A dokumentum az egészséget, mint az embert meghatározó tényezők összességét fogalmazza meg. Az egészség a következő módon határozható meg a fenntartható fejlődés szempontjából: "Az ember egészsége a globális ökológiai rendszer része." Az ember egészségét a globális ökológiai rendszer tartja fenn. Minden, az ökológiai rendszerre károsan ható tényezők közvetlen és negatív hatással vannak az emberi egészségre az egész világon.

"Az emberi lények a fenntartható fejlődéshez kapcsolódó gondolkodás középpontjában állnak. Joguk van az egészséges, termékeny élethez, amely harmóniában van a természettel. Az egészség javítása és a fejlődés együtt kell, hogy járjanak" (Agenda 21, 1992).

Az épületbiológia tudományterületén publikált tanulmányok közt számottevőek voltak a laboratóriumban végzett levegőanalitikai, és káros anyag emissziós mérések. Mellettük egyre több – országokra, városokra kiterjedő – felmérések találhatók, melyekben a beltéri levegőminőség mérésével párhuzamosan, a lakók egészségügyi állapotát is felmérték. A továbbiakban a szakirodalomból kigyűjtött épületbiológiai tanulmányokat ismertetem.

2.3.2. Jelenlegi épületbiológiai kutatások

Környezet-egészségügyi kutatók kiemelkedő intenzitással vizsgálják újonnan épülő házak, meglévő, átalakított lakások beltéri levegőminőségét (Järnström és tsai, 2006) (Park és tsai, 2006) (Järnström és tsai, 2007). A szigorodó energetikai szabályozások miatt az épületek légtömörsege és szigeteltsége hatványozottan nőtt. A csökkent légcsera következtében az épület beltéri levegőjében felhalmozódnak légszennyező anyagok. A beltéri levegőben lévő szennyező anyag koncentrációra jelentős hatással vannak a hőmérséklet, relatív páratartalom, légcsera, az épület kora, az évszakok, az épület légzárásának mértéke, valamint a beltérben végzett emberi tevékenységek. A szintetikus építőanyagok, a beltérben használt festékek, oldószerek, a belsőépítészeti anyagok (szőnyeg, kárpit, OSB lap, bútorlap, stb.), valamint az emberi tevékenységek (főzés, dohányzás, stb.) közül több számít a káros anyagok forrásának (Schmidt és tsai, 1994)(Wallace és tsai, 1987)(Sack és tsai, 1992).

Az ezredfordulón kutatók megerősítették a beltéri levegőminőség negatív hatását a bent-tartózkodók egészségére (Wallace, 2001). Az illékony anyagok lassú emissziója nemcsak az emberi szervezetre hat, hanem a beépített anyagok élettartamát is befolyásolja (Jantunen és tsai, 1998).

Az egészségügyi hatások alapján csak a 90-es években kezdték besorolni veszélyességi fokozatokba a káros anyagokat. 1992-ben Seifert három kategóriába sorolta az építési anyagokból és termékekből származó illékony szerves anyagokat:

1. hosszú távú egészségre gyakorolt hatásuk alapján (rákkeltő, mutagén, teratogén, allergén),

2. rövid távú egészségre gyakorolt hatásuk alapján (nyálkahártya irritáció, stb.),
3. kellemetlen szaghatások alapján (Seifert, 1992).

Németországban az Építőanyagok Egészségügyi Értékelő Bizottságának munkacsoportja (*Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten - AgBB*) határozta meg 2000-ben az építőanyagok kibocsátásából származó VOC anyagokat, melyek az egészségre károsak lehetnek, és melynek listáját évről-évre bővítik új vegyületekkel. Ma már 180 VOC anyagot tudnak detektálni (AgBB, 2012).

A tervezésnél fontos figyelembe venni az építőanyagok VOC kibocsátását. Azok alapján szükséges kiválasztani olyan építőanyagokat, melyek beépítve nem jelentenek veszélyt az egészségre. Fontos megemlíteni azt a vizsgált tény is, hogy a beltéri illékony szerves anyag mért koncentrációja magasabb, mint a külső térben mért koncentráció (De Bortoli és tsai, 1986)(Yocom és tsai, 1982). Ezt a tény az Európai Expozíciós tanulmány (EXPOLIS) tárta fel (Saarela és tsai, 2003)(Edwards és tsai, 2001). Ebből következik, hogy a köz-egészségre a beltéri káros anyagok jelenléte nagyobb hatással bír a kültérinél, mivel az emberek napjuk 80-90%-át épületekben töltik. Több tanulmányban a beltéri káros anyagok koncentrációjának szezonális változását vizsgálták. Megállapították, hogy a téli és a nyári időszakban végzett VOC mérések eredményei között eltérések vannak (Seifert és tsai, 1989) (Reponen és tsai, 1991) (Schlink és tsai, 2004).

Levegő analitikai mérési eljárások, szabályozások

A beltéri levegő káros anyag koncentrációjának meghatározására különböző mérési eljárásokat fejlesztettek ki. Az európai országokban 1992-től kezdődően elfogadják, és magukra nézve kötelezővé teszik az amerikai Építőanyagok Vizsgálatának Szabályzata (*American Society of Testing and Materials Standard - ASTM*) által kiadott szabványt a tesztkamrás mérésekre vonatkozóan. A tesztkamrás mérések célja, hogy már az építőanyagok előállításánál ki lehessen szűrni azon anyagokat, melyek káros anyag kipárolgást eredményezhetnek (ECA-IAQ, 1989) (ECA-IAQ, 1991) (ECA-IAQ, 1993) (ASTM, 1997). A beltéri levegőminőség mérésére az ASHRAE (*American Society of Heating and Air Conditioning Engineers*) ad előírásokat a 62-1989 szabványban (Weschler, 2008).

Az 2. számú mellékletben található táblázatok tartalmazzák – a teljesség igénye nélkül – a helyszíni (*in-situ*), tesztkamrás, valamint áttekintő (*review*) tanulmányok felsorolását, melyeket az elmúlt 20 évben publikáltak. A tanulmányok témájukban a következők szerint csoportosíthatóak:

1. Helyszíni, (*in-situ*) tanulmányok:
 - a. Országokra kiterjedő, összegyűjtött felmérések és mérési adatok a lakóépületek, közintézmények beltéri levegőminőségére vonatkozóan, és azok összevetése az egészségügyi adatokkal (egészségügyi állapotfelmérés kérdőívek kitöltésével).
 - b. Egy országon belül bizonyos területekre kiterjedő egészségügyi felmérések, és a lakóépületek légállapotának mérései.
 - c. Több-lakásos lakóépületben az egyes lakások légállapotának mérése, az épület szerkezetének, valamint az építőanyagoknak megvizsgálása, és a beltéri levegőben mért káros anyagok lehetséges forrásainak beazonosítása.

- d. Ökológikus, környezettudatos házak légállapotának mérése, és összevetése hagyományos építésű házakban mért eredményekkel. Épületszerkezetek, építőanyagok összehasonlítása, és a lehetséges káros anyagok forrásainak beazonosítása.
- e. "Beteg épület tünetcsoportot" mutató házak beltéri levegőminőségének vizsgálata, a káros anyagok forrásainak meghatározása, a bent-lakók egészségügyi állapotának felmérése. A források kiiktatása után újabb állapot-felmérés.
- f. Városon belül, meghatározott, egészségre káros anyagok (pl. benzol, formaldehid) lakásokban mérhető koncentrációinak, és az emberi expozíció mértékének meghatározása.
- g. Lakáson belül, meghatározott, egészségre káros anyagok (pl. benzol, formaldehid) koncentrációinak változását befolyásoló tényezők vizsgálata.
- h. Újépítésű lakások légparamétereinek vizsgálata több lépcsőben (beköltözés előtt beköltözés után), és az eredmények összevetése, a káros anyagok lehetséges forrásainak beazonosítása.

2. Tesztkamrás mérések:

- a. Különböző mérési eljárások hatékonyságának összevetése.
- b. Különböző építési anyagok emissziójának meghatározása tesztkamrás méréssel.
- c. Alacsony-emissziójú építőanyagok szabvány-értékeinek a meghatározása.

3. Áttekintő (*Review*) tanulmányok:

- a. A beltéri levegőminőség témakörében kiadott cikkek, és tanulmányok összegzése.
- b. A jelenlegi hatályos szabályozások összegzése országonként.
- c. Az egészségügyi felmérések alapján különböző betegségek egészségügyi rizikóinak meghatározása a beltéri káros anyag koncentrációval összefüggésben.

A következőekben ismertetek néhány, a beltéri levegőminőség témájában publikált esettanulmányt.

2.3.3. Levegőanalitikai esettanulmányok

1. Egy országon belül bizonyos területekre kiterjedő egészségügyi felmérés, és a lakóépületek légállapotának mérése:

Az Országos Környezetegészségügyi Intézetben dr. Rudnai Péter és szaktársai több környezet-epidemiológiai vizsgálatot is készítettek az elmúlt 15 évben Magyarország különböző térségeiben. 1998-ban hat városból kiválasztott lakások levegőjét vizsgálták, passzív levegőanalitikai mérések elvégzésével: formaldehid, NO₂, benzol, xilol, toluol anyagokat mértek. Cél volt megtalálni ezeknek az anyagoknak a szennyező forrását, valamint a beltéri levegőminőség és a bentlakó gyerekek egészségi állapota közötti összefüggést. Az eredmények kimutatták, hogy NO₂ a konyhai gáztűzhelyből (75 µg/m³), gázkonvektorból (80 µg/m³), és dohányzásból (27 µg/m³) származik. Benzolt a padlófűtéses lakásoknál detektáltak,

míg formaldehidet a gápszilikát építőanyagú lakásokból. Kérdőíves felmérésből származó eredményeik: 1768 gyerek 14,2%-nál fordulnak elő krónikus bronchitiszre utaló tünetek. A PVC padlóburkolat 66%-kal növelte az asztmás tüneteket, a lakás zsúfoltság 49%-kal. Léghőszigetelő, szőnyeg a panellakásokban hatványozottan emelte az allergiás tüneteket. A háztartási gázkészülékek égéstermék elvezetésének biztonságos megoldása, penészedés megakadályozása, dohányzás elkerülése, valamint a lakosság felvilágosításának szükségessége volt a konklúziója a vizsgálatnak (Rudnai és tsai, 1999).

2. Városon belül, meghatározott, egészségre káros anyagok (pl. benzol, formaldehid) lakásokban mérhető koncentrációinak, és az emberi expozíció mértékének meghatározása.

Az *Université Paris Descartes, Laboratoire Santé Publique et Environnement* egyik környezeti felmérésében újszülöttek allergiás tüneteinek lehetséges forrásait kutatták. Elsődlegesen a beltéri levegő aldehid szintjének változását figyelték egy éves szakaszban, 196 párizsi újszülött otthonában. Formaldehidet találtak $19.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ koncentrációban, főleg az újjépítésű lakásokban. A fűtés és dohányfüst nem volt rá hatással, de azt megfigyelték, hogy nyáron magasabb volt a koncentráció. Az acetaldehid koncentrációját ($8.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) viszont már befolyásolta a beltéri nikotin, a relatív páratartalom, és a szén-dioxid szint. A végkövetkeztetés az volt, hogy a szellőztetés vagy légcseré növelésével lehetett csökkenteni az aldehid koncentrációt. Valamint hivatkoznak más tanulmányokra is, ahol kimutatták, hogy az első egy évben nagyarányú a formaldehid koncentráció (Raw és tsai., 2004) (Dassonville és tsai., 2009).

3. "Beteg épület tünetcsoportot" mutató házak beltéri levegőminőségének vizsgálata, a káros anyagok forrásainak meghatározása, a bent-lakók egészségügyi állapotának felmérése. A források kiiktatása után újabb állapot-felmérés.

Koreában a kritikussá vált "Beteg Épület Tünetcsoport" miatt, nagy hangsúlyt fektetnek a lakások beltéri levegőminőségére. A rossz anyaghasználat, és a nem elegendő légcseré arány miatt, ami a tömegépítkezés következménye, valamint a magas légzárás, és hőszigetelés hatására jelentős mértékben emelkedett az illékony szerves anyagok (VOC) koncentrációja a beltéri levegőben. Koreában a formaldehid beltéri koncentrációjának szabályozásokban megadott határértéke $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a mérési eredmények viszont ennél magasabb értékeket is mutattak ($300-400 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Megoldásként a szellőztetés javításával, illetve légtisztító szerek használatával csökkentik a magas légszennyező anyagok koncentrációját (Sun-Sook et al., 2006).

4. Ökológikus, környezettudatos házak légállapotának mérése, és összevetése hagyományos építésű házakban mért eredményekkel. Épületszerkezetek összehasonlítása, és a lehetséges káros anyagok forrásainak beazonosítása

Finnországban több esettanulmány is foglalkozik környezettudatos házak kutatásával. Salonvaara és tsai. (2004) tanulmányában egy alacsony-energiájú faház beltéri levegőminőségét vizsgálták. Nemcsak helyszíni méréseket folytattak, hanem az egyes építőanyagok kipárolgásainak tesztkamrás mérését is elvégezték. Vizsgálták a fa és faalapú építőanyagok higroszkopikus tulajdonságát, és ennek befolyásoló hatását a beltéri levegő klímájára, a páratartalom alakulására. Megállapították azt a tényt, hogy a "lélegző" falazattal épített házak beltéri levegőminőségét a természetes átszellőztettség pozitívan befolyásolja. Kiemelik a fontosságát további kutatásoknak a témában, az építőanyagok tulajdonságainak

vizsgálatát, és az eredményekre alapozva új tervezési irányelvek megfogalmazását (Salonvaara és tsai., 2004).

2.4. Építésökológia

2.4.1. Az ökológia és építésökológia fogalmai

Ökológia

Az ökológia kifejezése görög eredetű: oikos = ház, logos = tan. Ökológia = háztartástan. Definíciója: "Az élőlény és környezete közötti kölcsönhatás-rendszert, a fizikai, kémiai és biológiai ismereteket hasznosítva, rendszerelméleti alapon elemző tudomány. Több tudomány részismereteit ötvözi, interdiszciplináris. Alapegysége az ökoszisztéma, melyben anyagkörforgalom és energiaáramlás történik." (Széky, 1983) Az ökológiát E. Haeckel 1870-ben háztartástantként definiálta, mint az élőlényeket és a környezetüket összekötő kapcsolatrendszert.

Építésökológia definíciója és kialakulása

Az építésökológia, az ökológia meghatározásából eredeztetve: a ház és a környezet kapcsolata. Az építésökológia az épített környezet és természeti környezet összefüggéseinek feltárását célzó tudományterület (Lányi, 2011).

Az ipari forradalom után, a technikai fejlődések robbanásával, az építőipar is jelentős átalakuláson ment át. A felmerülő gazdasági, energetikai és környezeti problémákra első megoldásként jelentkeztek az alacsony energiafelhasználású épületek. Ezekben a hőszigetelés és légzárás fontos szerepet kapott, főként szintetikus anyagok felhasználásával. Miután a tömeges építkezések hatására, a hulladékok kezelése egyre nagyobb gondot okozott (főleg a szintetikus anyagok környezet-terhelése), a kutatások az alacsony energia felhasználású, ún. energiatudatos épületek tervezésére irányultak. Németországban például létrehozták a passzívház (németül: *Passivhaus*) minősítési rendszert. Definíciója: A passzívház olyan épület, amelyben a kényelmes hőmérséklet biztosítása (ISO 7730) megoldható kizárólag a levegő frissen tartásához (DIN 1946) megmozgatott légtömeg után-fűtésével vagy után-hűtésével, további levegő visszaforgatása nélkül (Feist, 2006). Azért hívják őket passzívnak, mert a hőigény nagy részét "passzív" energiaforrásokból nyerik (pl. megújuló források).

Fontos szempont volt az épületek környezet-terhelésének (energia-áramok, anyag-áramok) vizsgálata, valamint az építőanyagok életciklusának elemzése (*Life Cycle Assessment - LCA*). Itt azonban fontos kiemelni, hogy nem az egyes anyagok hatása a kiemelkedő, hanem a folyamatokban kumulálódó káros hatások. Ezek a folyamatok pedig nemcsak az épület élettartama alatt vizsgálandók, hanem a nyersanyagok feldolgozásától kezdve az lebontott épületből származó hulladékok kezeléséig. Az egészség és az élővilág védelme kiemelt szerepet kapott. Az így létrejött fenntartható épületeknek azonban a természet védelmén túl egy újfajta gondolkodásmódot és életvezetési módot is közvetíteniük kell az emberek számára. Az épületek, és ahogy élnek bennük, hatással van a környezetre. A fenntarthatóság, egészséges élettér kialakítása és a szociális igények egymásnak megfeleltetése azonban nem megy egyedül az építőipar teljes átalakításával. A hosszú távú megoldás eléréséhez minden egyes szereplő együttműködésére szükség van (Diel és tsai, 1998).

Tudományos publikációk

Egyre több tudományos tanácskozás témájává vált az építésökológia területéhez kapcsolódó problémák feltárása, és megoldások keresése.

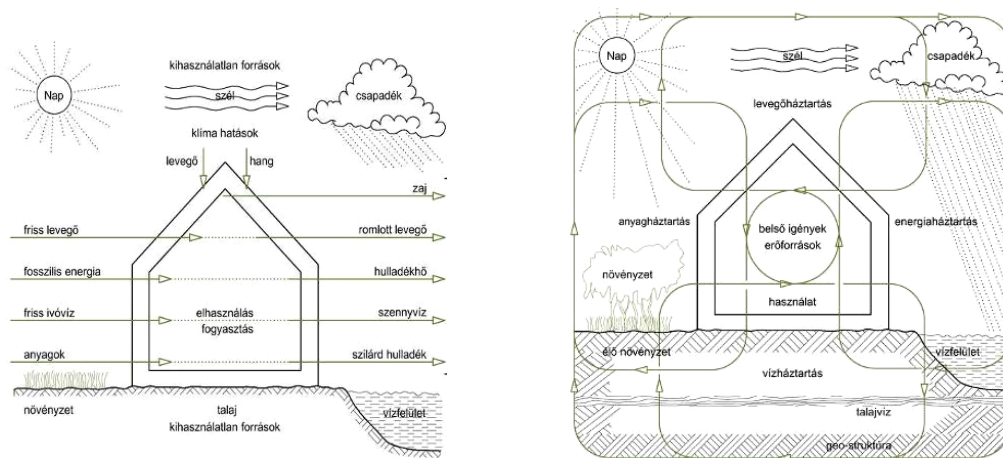
1997-ben, a Párizsban megtartott *Épület és környezet, II. Nemzetközi Konferencián* Grammenos előadásában kihangsúlyozta, hogy az épületek tervezésének alkalmazkodása az alacsony környezeti behatásokhoz egyre fontosabb elv. Ezek az elvek azonban nem jelentek meg a kivitelezés területén. A régi épületek esetében a tartósság és az alkalmazkodás elve érvényesült. A kérdés az, hogy a mai nemzetközi tervezés is képes-e a változásokhoz alkalmazkodó épületeket létrehozni. Az épületek egyre nagyobb, káros hatással vannak a környezetre. A társadalmi viselkedésben és gondolkodásmódban egyre dominánsabbá válik egyfajta impermanens világlátás, vagyis a tartósság hiánya. Ez felveti a következő kérdést: hogy lehet úgy jobb és hatékonyabb épületeket tervezni, ha a jövőt egyre nehezebben lehet meghatározni? Az állandó demográfiai, társadalmi és technológiai változások csak nehezítik a helyzetet. Ha egy épület nem 100%-osan alkalmazkodó-képes a folyamatosan változó körülményekhez, hamar szegényessé, elavulttá válik és képtelen lesz befogadni a folyamatosan fejlődő technológiákat. Ennek következtében képtelen lesz kielégíteni a felhasználók igényeit, de magát a fenntarthatóság elvi/gyakorlati rendszerét sem (Grammenos, 1997).

Ugyanezen a konferencián Olive megfogalmazta, hogy az épület maga a külső környezettel szemben való védelmet jelenti, mely létrehoz elfogadható beltéri körülményeket. Egész idáig ezeknek a körülményeknek a fontossága volt a célkitűzés, és kevés figyelem fordult magára a külső környezetre. Azonban a külső környezetet érő hatásokat nem lehet tovább figyelmen kívül hagyni. Nemcsak a különböző folyamatok életciklus elemzése a fontos. Maguk a használók is hatással vannak az épületre, annak működésére. Ezért fontos megvizsgálni az ott-élők kapcsolatát a környezettel, és az egyének közvetett/közvetlen hatását a környezetre. A következő célokat tűzte ki megoldásként:

- Külső környezet védelme: ökológikus kivitelezés, harmonikus kapcsolat az épület és közvetlen környezete között, kihasználva a helyi és szomszédos területek adottságait, a terület károsításának minimalizálásával, integrált építési folyamat és termékválasztással, adaptálódással.
- Ökológiai menedzsment: hatékony energiafelhasználás, vízfelhasználás, szürke víz, esővíz, hulladékkezelés, hulladék megelőzés (előkészítési munkálatok), üzemeltetés, R.C.R. (*Reduce-Conserve-Recycle* - elve).
- Kielégítő belső környezet kialakítása: akusztikai, és vizuális komfort, olfaktorikus komfort, higiénia, hulladék higiénia, beltéri levegőminőség (építőanyagok, eszközök, takarítás), víz minőség, szellőztetés (Olive és tsai, 1997).

Egyre többen ismerik fel azt a tényt, hogy az épített környezet folyamatosan növekvő volumene a világon jelentős beavatkozásként jelenik meg a természetes környezetben. A házak egyre kevésbé veszik figyelembe a körülöttük lévő természeti viszonyokat. Teljesen szeparált entitások, melyek uniformizált, mesterséges eszközökkel vannak fenntartva. A 2.4.1.a. ábra mutatja a ház és környezete közötti kapcsolatokat. Az első esetben a ház, mint egy önálló egység, a természettől elzártan, saját rendszerén belül működik. Valamennyit hasznosít a természeti erőforrásokból, de a belső folyamatok során kialakuló felesleget hulladékként bocsátja a környezetébe. A második eset mutatja azt az ideális állapotot, mely során a ház beleilleszkedik a természeti körfolyamatokba, annak részeként funkcionál. A házban lévő folyamatok 100%-osan hasznosítják a természeti erőforrásokat, és a felesleget

visszajuttatják úgy a külső körfolyamatokba, hogy az nem jelent terhelést a környezetre (Lányi, 2011).



2.4.1.a Ábra: Ház és környezetének kapcsolata ökológikus szemléletben (Lányi, 2011)

Kutatások, értékelő rendszerek az építésökológia területén

Az ökológikus épületek tervezéséhez egyre több értékelési rendszer születik. Minden egyes építőipari terméknek az életciklusát és annak a környezetre való hatását lehet már elemezni (*Life Cycle Assessment* - életciklus elemzés). Felmerül azonban a kérdés, hogy ezek az értékelő rendszerek a valós hatásokat mutatják? Több tanulmány megállapítja, hogy nemcsak a beépített anyagok életciklusa van befolyással a környezetre, hanem maguk a folyamatok is. Az előkészítő, helyszíni munkálatok, a közlekedés, infrastruktúra, szállítás, energia, vízfelhasználás, ásványi anyagok kinyerése. Fontos lenne a környezeti hatások szisztematikus csoportosítása, ami a tervezők és a kliensek számára is megfelelő információt szolgáltat (Beetstra, 1997).

Több országban hoztak létre az ökológikus épületek fejlesztésére úgynevezett "zöld" értékelő rendszereket:

- *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM),
- *Green Star*,
- *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency* (CASBEE),
- *Building and Environmental Performance Assessment Criteria* (BEPAC),
- *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED)

Ezek az értékelő rendszerek azonban a folyamatokban lévő egyes elemeket vizsgálják és értékelik külön-külön. Egy olasz tanulmányban ezt a rendszert vetik össze egy holisztikus megközelítéssel (Franzitta és tsai, 2010). Ez a szemlélet az épületet, mint "Egész"-et vizsgálja, és az egyes részek összeadódó hatását kezeli. Következtetésükben kifejtik, hogy az épület környezetre való hatását nehéz, időigényes és összetett az egyes részek vizsgálatával elemezni. A végeredmény nem ad továbbra sem pontos képet. Ezzel szemben a holisztikus megközelítés három csoportba sorolja az épület teljesítményét:

1. Az épület környezetre való hatása teljes élettartama alatt (emissziók, vízháztartás, hulladékkezelés, stb.),
2. energia felhasználása (energia-háztartás, megújuló energiák, újrahasznosítható anyagok, stb.),
3. beltéri környezetre való hatása (beltéri levegőminőség, szellőztetés, hőérzet, komfort érzet, stb.) (Franzitta és tsai, 2010).

A tanulmány arra a következtetésre jut, hogy a passzív házak és az energiatudatos házak nem minden esetben "egészséges" házak, mivel a "by-components" - alapú tervezés során csak az egyes részek hatását vizsgálják a környezetre. Egy ház annál sokkal bonyolultabb, és egyedibb, mint hogy a részei alapján lehessen elemezni a környezetre való hatását. A vizsgálatot ezért az "Egésztől" kell indítani, mely során kiderül, hogy a ház és a benne zajló folyamatok milyen hatással bírnak a környezetre, mennyi energiát használ az épület és milyen beltéri környezetet biztosít (Franzitta és tsai, 2011).

Szalay (2009) tanulmánya az alábbi bizonytalanságokat emeli ki az épületek életciklus elemzésével kapcsolatban:

1. a beépített anyagok sokfélesége,
2. a szállítási távolságok,
3. a karbantartás gyakorisága,
4. az épület élettartama,
5. a hulladékkezelési megoldások,
6. a bent-lakók szokásai, és a tevékenységükkel okozott környezetterhelésük (Szalay,2009).

Egy 2013-as tanulmány már összeköti az életciklus elemzést (*LCA - Life Cycle Assessment*) a beltéri környezet minőség (*IEQ - Indoor Environmental Quality*) vizsgálatával. Ez annyit jelent, hogy az életciklus elemzést kibővítették a beltérben jelenlévő kémiai tényezők egészségügyi hatásvizsgálatával. A vizsgálatot egy LEED (amerikai értékelő rendszer) kiváló minősítésű, energiatudatos házban végezték. Az értékelés eredménye, hogy a beltéri levegőben találtak olyan mérgező (rákkeltő) anyagokat, melyek koncentrációi a beltérben magasabbak voltak, mint a külső térben. Ennek oka lehet a nem megfelelő szellőztetés, illetve a beltérben felhalmozódó szálló por. A következtetésükben kihangsúlyozták, hogy energiatudatos épületek életciklus elemzésénél is elengedhetetlen a beltéri környezeti hatások egészségügyi vizsgálata. Meghatározó tényező lehet az épület elhelyezkedése, így valószínűsíthetően minden esetről egyedi megoldásokra van szükség (Collinge és tsai, 2013). Egy másik megközelítés szerint a modern életvitelnek túl magasak a komfort-igényei, amikhez hatalmas mennyiségű energiafelhasználás párosul. Ennek következményei a környezetre már globális szintűek. A régi rendszerek – a helyi éghajlathoz alkalmazkodva – sokkal energiahatékonyabban működtek. Bár több emberi munkát igényeltek, és néha problémák is adódtak, mégis nagyon hatékonyan működtek. Ezek a rendszerek mára szinte teljesen elhomályosultak, és előtérbe kerültek a gombnyomásra működő, *high-tech* technológiák. Ahogy a természetben megfigyelhető az élőlények teljes adaptációja élőhelyük klímájához, az építészetnek is követnie kellene ezt az ökológikus elvet. Ez az elmélet persze koránt sem új, hiszen minden nép kultúrájában a vernakuláris építészet ezen elveken alapult.

Azonban nem lehet 100%-osan visszatérni a korábbi elvekhez, hiszen a mai modern világtól már eltávolodtak, de vannak szemléletmódok, amik átmenthetőek a mai építészetbe. A bioklimatikus design tulajdonképpen egy olyan tervezési minta, mely felkutatja és alkalmazkodik a környezeti elemekhez, azokkal együtt élve hozza létre az ember számára lakható, épített környezetet (Kimura, 1994).

Az építésökológiában meghatározó szerepe van az építőanyagok vizsgálatának. A továbbiakban bemutatom az építőanyagok jelenlegi tervezési eljárásban elfoglalt helyét, valamint azokat a kutatásokat, melyek az építőanyagok elemzésével foglalkoznak.

2.4.2. Építőanyagok

Magyarországon az építőanyagok használatára több szabályozás is létezik. A 89/106/EGK Építési Termék Direktíva (*Construction Product Directive – CPD*) alapján megalkotott 3/2003. (I.25). BM-GKM-KvVM rendelet előírta, hogy Magyarországon forgalomba hozni (továbbforgalmazni) vagy beépíteni csak megfelelőségi igazolással rendelkező, építési célra alkalmas építési terméket szabad. A rendelet melléklete sorra veszi az összes építőanyagot, és közli műszaki jellemzőit (pl. tűzállóság, hőszigetelő képesség, páraáteresztő képesség). 2013. július 1.-től, az Európai Parlament rendelete alapján a *CPD* irányelv hatályon kívül került. Helyette a 305/2011/EU Építési Termék Rendelet (*Construction Product Regulation – CPR*) lép életbe. Benne az építési terméket így definiálták: "bármely olyan termék vagy készlet, amelyet azért állítottak elő és hoztak forgalomba, hogy építményekbe vagy építmények részeibe állandó jelleggel beépítsék, és amelynek teljesítménye befolyásolja az építménynek az építményekkel kapcsolatos alapvető követelményeinek tekintetében nyújtott teljesítményét".

Tervezési lépések algoritmusa:

1. Követelmények meghatározása (OTÉK, OTSZ, stb.)
2. Terhek, hatások meghatározása, kiszámítása, mérése
3. A szerkezetbe építendő építési termékek elvárt műszaki teljesítményének meghatározása
4. Az elvárt műszaki teljesítménynek megfelelő építési termék kiválasztása

A fenti szempont rendszer csak a műszaki teljesítménynek alárendelt feltételeket, tulajdonságokat kéri számon az anyagok kiválasztásánál.

Az "egészséges ház" tervezésénél nagy jelentősége van az "egészséges" anyagválasztásnak (építőanyagok, bútorok, lakástextilek, stb.). Az építőanyagokra vonatkozó előírások és szabályozások nem térnek ki kellő terjedelemben és mélységben az egészség védelmére.

Az alábbi alapvető követelmények lennének a holisztikus anyagválasztás szempontjai (Fülöp, 2007):

- Mechanikai szilárdság és állékonyság,
- Tűzbiztonság,
- **Higiénia, egészség és környezetvédelem,**

- Biztonságos használat és akadálymentesség,
- Zajvédelem,
- Energiatakarékosság és hő-védelem,
- A természeti erőforrások fenntartható használata.

Az emberek számára biztosítani kell azt az alapvető jogukat, hogy egészségüket ne érje kár otthonaikban. Ezért javaslom – az ökológiai elővigyázatosság elvét alkalmazva – építőipari gyártók és fejlesztők számára egy új szabályozási rendszerben megszabni, hogy csak olyan építőanyagokat vihetnek piacra, melyek nem károsítják teljes életciklusuk alatt a környezetet, illetve a házban tartózkodók egészségét.

1995. évi LIII. Általános környezetvédelmi törvény 6-12.§ tartalmazza a környezeti jog alapelveit:

- Az elővigyázatosság elve: a környezeti kockázatok mérsékléséhez, a környezet jövőbeni károsodásának megelőzéséhez vagy csökkentéséhez szükséges döntés és intézkedés.

További alapelvek:

- Az információ elve (az információhoz jutás joga és az információadás kötelezettsége),
- Az egészséghez és az egészséges környezethez való jog alapvető és elidegeníthetetlen emberi jog.
- A környezetvédelem érdekeit a tervezésnél és a döntéshozatali eljárásban a lehető legkorábban figyelembe kell venni.
- Mindenki felelős a természet védelméért
- Tekintettel kell lenni a környezet teherbíró képességére.

Az egyre szigorodó energetikai előírások ellenére, Magyarországon jelenleg nincsen olyan átfogó adatbázis az építőanyagokról, melyből a káros anyag kibocsátásukról, az egészségre való hatásukról a tervezők hozzáférhető, tényleges ismeretet szerezhetnének.

2.4.3. Kutatások az építőanyagok környezeti terhelésére

Külföldön már vannak alacsony-emissziójú anyagok kategorizálására vonatkozó rendszerek. Az Európai Unió által létrehozott "*Eco-label*" rendszer tartalmazza azokat az építőanyagokat, melyek életciklus elemzésük alapján nem okoznak jelentős környezet-terhelést.

Több kutatás is foglalkozik azzal, hogy lehet egy minél teljesebb adatbázist létrehozni ökológikus, alacsony-emissziójú építőanyagokról. Egyre több országban kezdték el megszervezni az ökológikus anyagokat:

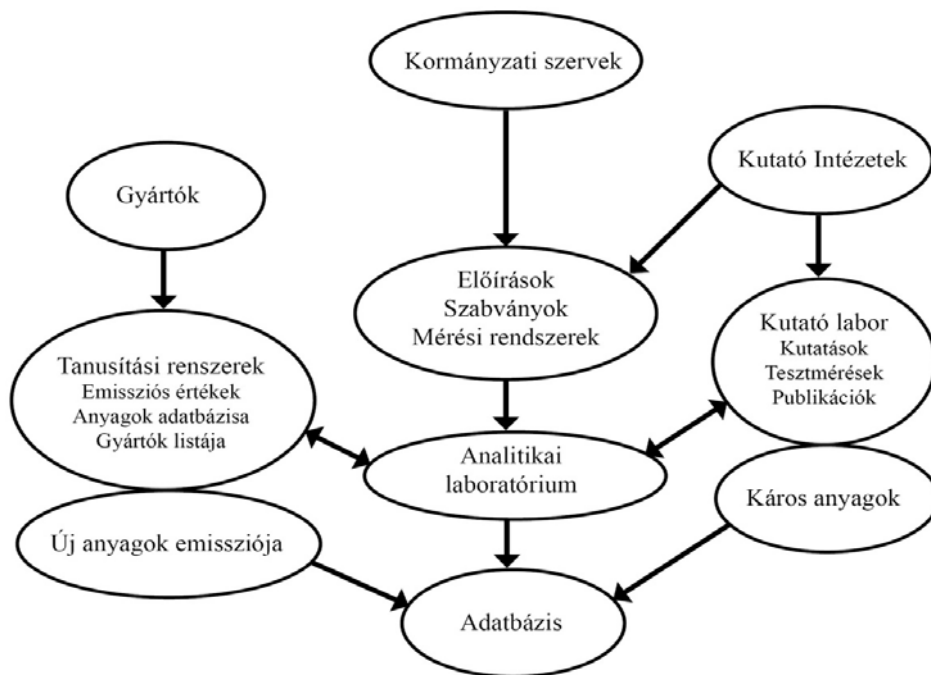
- EMICODE
- Blue Angel

- M1 Classification
- Ecolabel
- Nordic Swan
- PANDORA
- BUMA

A Willem és tsai. tanulmány felvázol egy lehetséges építőanyag emissziós adatbázist, melynek folyamatos frissítése valós képet adna az összes új anyagról, ami a piacra kerül. Ennek elvi felépítését a következőképpen képzelték el:

1. Általános anyagleírás
2. Emissziós mérések eredményei
3. Engedélyeztetési eljárás
4. Alkalmazási feltételek meghatározása
5. Életciklus elemzés

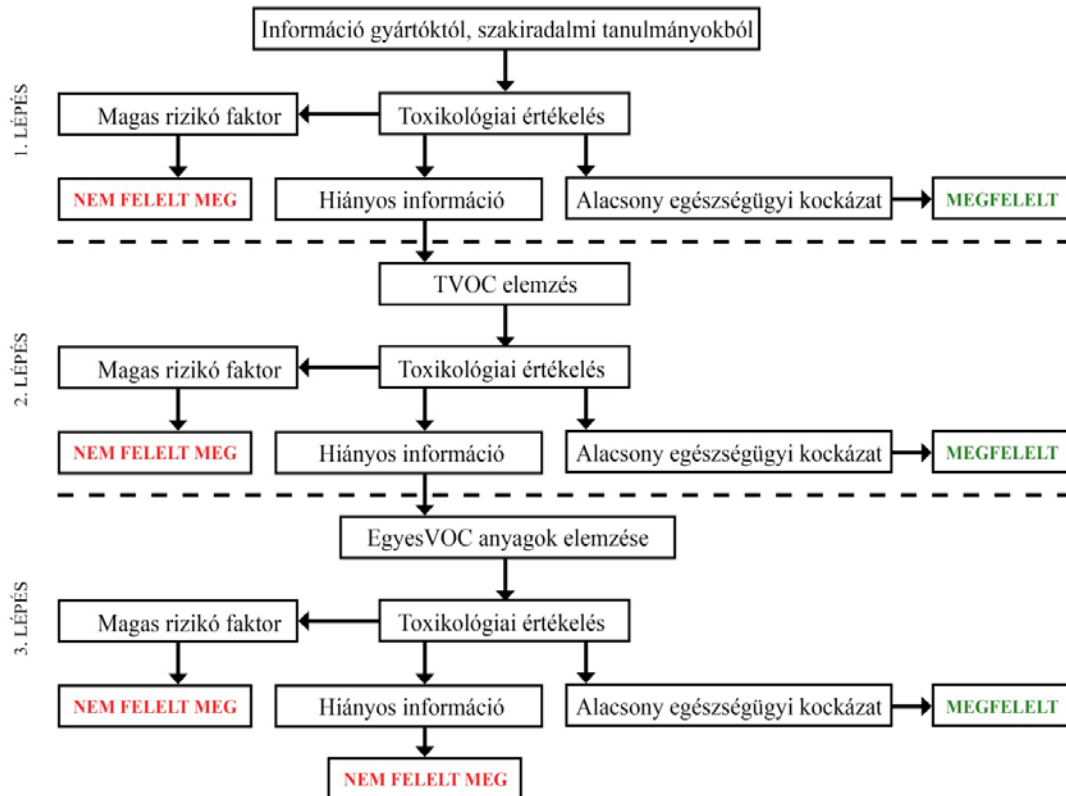
Az adatbázisok kialakítása mellett a másik fontos feladat egy szervezeti struktúra kialakítása, amely biztosítja az építőanyagok kivizsgálását, majd az engedélyeztetési eljárást, és végül a gyártókon keresztül az értékesítést. A 2.4.3.a. Ábra mutatja be az egyes résztvevők kapcsolódását.



2.4.3.a. Ábra:
Építőanyagok emissziós adatbázisának kialakításához tartozó szervezeti
(Willem és tsai, 2010)

Egyre több laborban mérik az építőanyagok kipárolgását testkamrákban, és töltik fel az eredményeket a különböző adatbázisokba. A 2.4.3.b. ábra mutatja az alacsony-emissziójú

anyag kiválasztásához szükséges szempontrendszereket. A három lépcső folyamatosan szűkíti a vizsgálati módszert, kezdve a gyártásból fakadó toxikológiai értékeléstől, az összesített illékony szerves anyagok (TVOC) koncentrációjának mérésén keresztül az egyes VOC anyagok meghatározásáig. Mindegyik esetben az egészségügyi rizikó mértéke szabja meg az a vizsgált anyag megfelelésségét.



2.4.3.b. Ábra:

Alacsony-emissziójú anyag kiválasztásához szükséges szempontrendszer
(Guo és tsai, 2003)

Magyarországon is egyre több tanulmány foglalkozik az építőanyagok környezettudatos életciklus elemzésével. Az életciklus elemzést így fogalmazzák meg az egyik tanulmányban:

1. "A környezeti terhelések objektív értékelési folyamata, amely termékhez, technológiához vagy bármely tevékenységhez kapcsolódhat."
2. "Az ISO 14040:2006 szabvány szerint olyan szisztematikus eljárás sorozat, amely a bölcsőtől a sírig számba veszi és értékeli a környezeti hatásokat." (Szita, 2009)

A Független Ökológiai Központ 2004-2006 között végzett kutatási eredményeit közölte az "Épületszerkezetek építésökológiai és -biológiai értékelő rendszerének összeállítása az építési anyagok hazai gyártási/ előállítási adatai alapján" című jelentésében. Ebben összegezte az akkori nemzetközi és hazai életciklus elemző rendszereket, amik alapján felállított egy saját értékelő rendszert. "Az épületszerkezetek elemzése során a beépítéskor jelentkező abszolút értékben vett környezetterhelés mellett figyelembe vettük az építőanyagok életciklusra leosztott relatív környezetterhelését is, és ugyanebben a relatív léptékben vizsgáltuk a

használat során jelentkező környezetterhelést is. " A konklúziójukban kiemelték, hogy " a humán- és az öko-toxicitás szempontjából minden épületszerkezetnél a gyártás környezetterhelése a legjelentősebb". Valamint a gyakorlati tervezés számára hasznosítható ajánlásokat fogalmazott meg, ami a klímaváltozáshoz való adaptáció szempontjából (Tiderenczl és tsai, 2006).

A továbbiakban leszűkítem az alacsony-emissziójú építőanyagok kutatási területét a fa és faalapú építőanyagok vizsgálatára.

2.5. Fa, mint egy lehetséges ökológikus építőanyag

Az építőanyagok közül a fa, mint megújuló anyag rendelkezik – természetes tulajdonságainál fogva - több ökológiai előnnyel is. "A bioszféra egyensúlyát fenntartó hatalmas anyagáramok közül a szenciklusban a növények, és köztük a fák, fontos szerepet töltenek be". A fakitermelés során a faanyagban tárolódik a légkörből megkötött szén, egészen addig, amíg elégetésre nem kerül. Ezért a globális problémák részben egyik megoldását (CO₂ csökkentése a légkörben) látják a fenntartható erdőgazdálkodásban (Molnár, 2011). Egy soproni tanulmány keretében (TÁMOP 4.2.2 projekt) vizsgálták a fatermékek széntároló képességét. Megállapították, hogy az erdők élő fakészletében (térfogatában) 87 millió, a fatermékekben 31 millió tonna szén tárolódik. Ezen készletek együttesen a hazai szénkibocsátás 10-12%-ának tartós megkötését biztosítja évente. Mindemellett – a műanyagokhoz viszonyítva – a hulladékkezelési megoldások jóval több környezetbarát technológiát sorakoztatnak fel. A már elhasznált természetes, kezeletlen fa termékeket 100%-osan újra lehet hasznosítani, sőt csak többszöri újrahasonosítás után érdemes energiatermelésre fordítani (Molnár, 2011).

A fa építészeti felhasználása egyre inkább felértékelődik. Az elmúlt években felismerték azt a tényt, hogy az innovatív építéstechnológiák és (sokszor szintetikus) építőanyagok által felépített épületek nem illeszkednek az ökológiai körfolyamatokba (lásd: 2.4.1.a Ábra: Ház és környezetének kapcsolata (Lányi, 2011)). A fa építőanyagok előállításához kevesebb fosszilis energia szükséges, mint más építőanyagok esetében. Feldolgozása után tovább- és újrahasonosítható, akár újabb alapanyagként, akár fűtőanyagként. Az elmúlt években jelentős kutatások folytak a magyarországi fahasznosítás, fafeldolgozás területén. A cél környezetbarát gyártási technológiák fejlesztése, a fafeldolgozás környezetkárosító hatásának csökkentése, illetve a termékek ökológiai mérlegének meghatározása és összegyűjtése egy adatbázisba (Molnár, 2004).

2.5.1. Kutatások a fa és faalapú építőanyagok területén

A kompozit faalapú anyagok széles körben elterjedt építőanyagok. Fa alapanyagot kevernek gyantával vagy ragasztóval és magas hőmérsékleten préseléssel állítanak elő építőanyagokat (OSB lap, faforgácslemez, MDF, furnér stb.). Egy 2005-ös norvég-svéd összehasonlító tanulmány vizsgálta a fa építőanyagok ökológiai hatását más építőanyagokhoz képest. Megállapítja, hogy a természetes fa építőanyagok üvegházhatású gázok kibocsátása jóval kisebb a többi anyaghoz viszonyítva, valamint kevesebb hulladék képződik belőle. Ez a megállapítás már nem érvényes a faalapú építőanyagok és a kezelt fa építőanyagokra. Hangsúlyozza, hogy további kutatások szükségesek a faanyagok életciklus elemzéséről és annak összevetéséről más anyagokkal (Petersen és tsa, 2005).

Több magyar kutatás is fellelhető a faforgácslemez gyártás témájában (Takáts,1994a) (Takáts,1994b) (Takáts,1994c) (Takáts és tsai, 2000a) (Takáts és tsai, 2000a)(Alpár és tsai,

2012). A faipari termékek gyártása során a hozzáadott kémiai anyagokból (adalékanyagot, műgyantát, kezelőanyagot, stb.) a későbbiekben több káros anyag emittálódhat (pl.: formaldehid, VOC anyagok, stb.). Ezek az anyagok lehetnek még: terpének, aromás szénhidrogének és alifás szénhidrogének, C₁ - C₄ alkáli-benzolok, alkánok, néhány cyclo-alkán (Kostiainen, 1995)(Guo és tsa, 2002)(EPA, 1996).

A továbbiakban ismertetek néhány esettanulmányt, mely ezeket a káros anyag kipárolgásokat mérte.

Esettanulmány I.

Ze-Li 2013-as tanulmányában 13 db, különböző méretű, minőségű és korú faalapú építőanyag emisszióját vizsgálták tesztkamrás mérésekkel. Az MDF formaldehid koncentrációjának értéke (0,63 mg/m³) magasabb volt a WHO által megengedett értéknél (0,1 ppm). A furnérlemezek emisszióinál aldehidek, aromás szénhidrogének, terpének (pentánál, hexánál, alfa-pinén, 3-karén, benzaldehid és nonánál) koncentrációi voltak kiemelkedők. Az MDF-ből ugyanezen anyagok emisszióját detektálták. A fenyőnek (900 µg/m³) és az új faforgácslapnak (450 µg/m³) voltak a legmagasabb TVOC értékei. A két-hetes faforgácslapban aldehidek (pentánál, benzaldehid, nonánál) és terpének (alfa-pinén, 3-karén) voltak kiemelkedő koncentrációban (2.5.1.a. Táblázat).

Faanyag	Vastagság (mm)	TVOC (µg/m ³)	Aldehidek (%)	Terpének (%)	Egyéb (%)
Kemény préselt farost lemez	3.5	80	4	96	
Furnérlemez	9	150	8	25	67
MDF	16	110	8	18	74
Fenyő	25	900	1	81	18
Faforgácslap (2 hetes)	16	450	32	22	46
Faforgácslap (10 éves)	12	110	6	19	75

2.5.1.a. Táblázat

Építőanyagok TVOC emissziói, aldehidek és terpének százalékos arányai (Ze-Li, 2013)

A 10 éves faforgácslapban ugyanazok az anyagok voltak detektálhatóak, viszont jelentősen kisebb koncentrációban (TVOC=110 µg/m³). Ez alátámasztja azt a korábbi feltételezést, hogy a VOC anyagok koncentrációi a faalapú építőanyagokból idővel folyamatosan csökkennek.

A legalacsonyabb összesített VOC anyagok (TVOC) értéke a préselt farost lemeznek (80µg/m³) volt. A tanulmányban megállapítják, hogy az MDF és farostlemezek hő-préselése során (180–220 °C között 5-15 percig) nagy mennyiségben távoznak formaldehid és VOC anyagok. Terpének és aldehidek maradnak a kész építőlemezekben.

Esettanulmány II.

Több tanulmány is foglalkozik a fában szárítás és hőkezelés hatására történő kémiai változásokkal (Milota, 2000). A hőkezelési eljárást a faanyag tulajdonságainak módosítására alkalmazzák (230°C-on gőzölik), ezzel növelve hőszigetelő képességét, ellenálló képességét nedves környezetben, és csökkentve a deformációs folyamatokat nedvesség hatására. Egyik legjellemzőbb hatása a fa színének megváltozása (sötétedése). Nem kívánt hatása a fa szilárdságának valamint gomba- és rovarjárást elleni védelmének csökkenése.

Finnországban 1920 és 1990 között tanulmányozták és fejlesztették az eljárást. Mivel ehhez az eljárásához nem használnak semmilyen kémiai anyagot, egy lehetséges környezetbarát eljárásnak tekintették a faimpregnálás mellett. Az így létrejött fa építőanyagot nemcsak szerkezeti építőanyagként használják, hanem belsőépítészeti elemként is (padlóburkolat, nyílászáró, stb.).

Feltételezik, hogy illékony szerves anyagok (VOC) emittálódhatnak az eljárások közben. Manninena tanulmányban két fajta fakezelési eljárását vizsgálnak: fenyőfa szárítását és hőkezelését. A hőkezelt és szárított faanyagokból emittálódó VOC anyagok koncentrációját hasonlították össze. A szárított fából 7-szer magasabb a TVOC anyagok koncentrációja, mint a hőkezelt fából. A terpének 77%-át, míg az aldehidek 20,9-át képezték az összesített VOC (TVOC) koncentrációnak. Alacsony koncentrációban voltak jelen az alkoholok, ketonok és aromás szénhidrogének, míg alifás szénhidrogéneket nem detektáltak (2.5.1.b. Táblázat).

Vegyületek	Légszárított fa (%)	Hő-kezelt fa (%)
Alkoholok	0,28	5
Aldehidek	20,9	34,54
Ketonok	0,55	16,2
Alifás szénhidrogének	0,05	1,82
Aromás szénhidrogének	0,38	2,11
Terpének	77	9,69

2.5.1.b. Táblázat: VOC anyagok mért koncentrációjának százalékos aránya légszárított és hőkezelt fa esetén (Manninena és tsai, 2002)

Összesen 41 db illékony szerves anyagot detektáltak, amiből 14 db volt azonos a két eljárásnál. A szárított fánál a terpének közül az alábbiak voltak kiemelkedők: alfa-pinén, 3-karén, az aldehidek közül pedig a hexanál. A hőkezelt fánál az aldehidek, karbonsavak és ketonok közül a 2-furan karbox-aldehyd, ecetsav és 2-propanone tette ki a TVOC értékének a 60%-át. Összegzésként megállapították, hogy a monoterpének szoba-hőmérsékleten alacsonyabb koncentrációban emittálódnak a hőkezelt fából (Manninena és tsai, 2002).

2.5.2. Alacsony emissziójú, faalapú építőanyagok

A faalapú építőanyagok VOC emissziója függ a fa alapanyagtól. Keményfa, mint például bükkfa és tölgyfa magas koncentrációban emittál ecetsavat és hangyasavat, viszont kevesebb terpént. A puha fáknál (fenyőfa, lucfa, stb.) ez az arány fordítva működik, legmagasabb koncentrációban az alfa-pinén, béta-pinén, 3-karén emittálódik (Risholm-Sundman és tsai, 1998). Továbbá a kipárolgás mértéke függ a fa életkorától, a kivágásának idejétől (Roffael, 2006). A természetes fa is tartalmaz VOC anyagokat, amiket figyelembe vesznek a TVOC számításánál.

Egyre több országban fektetnek hangsúlyt az anyagok újrahasznosítására (*reuse*), amiben nagy szerepet kap a fahulladék kiválogatása, feldolgozása és újra nyersanyagként való felhasználása (*recycling*) burkolatok, bútorok, válaszfal-elemek, stb. számára. A folyamatban nem szabad figyelmen kívül hagyni a fahulladéknak a lehetséges maradék formaldehyd kipárolgását a karbamid formaldehyd (UF), melamin formaldehyd (MF), fenol-formaldehyd

(PF) műgyanta tartalmából. A faalapú építőanyagok káros anyag kibocsátásának csökkentésére folyamatosan végeztek tanulmányokat az elmúlt évtizedekben, például nem formaldehid alapú műgyanták használata, alacsonyabb moláris tömegű UF gyanta használata, a préselési hőmérséklet hatása, stb. (Minemura, 1976)(Wang és tsai, 2003).

Esettanulmány I.

Song-Yung tanulmányában alacsony emissziójú faforgácslap előállítását tanulmányozták újrahasznosított farostból (MDF lapokból). Ragasztóként vízbázisú PF műgyantát, és PMDI (Polymeric 4, 40-methylenediphenyl isocyanate) gyantát használtak, felületére pedig MF műgyantával impregnált papírt. A PMDI egy aromás izocianát, poliuretán előállításához használják. A világon ez a legelterjedtebb izocianát, évente 5 millió tonnát állítanak elő. A legkevésbé veszélyes izocianátnak számít, de bizonyos esetekben okozhat irritációt.

A mérések eredményeiből kimutatták, hogy a formaldehid koncentráció lineárisan csökkent a növekvő PMDI/PF arányában. Továbbá az MF impregnált papír felület is csökkentette a formaldehid kipárolgást. A tanulmány konklúziója, hogy a PMDI gyanta használata előnyösen befolyásolja a formaldehid kipárolgást. Feltételezhetően a PMDI molekulák vízzel való reakciójának eredményeként keletkező aminok újra reakcióba lépnek PMDI molekulákkal, így létrehozva polimereket. Továbbá a PMDI/PF aránya jelentősen növelte a belső kötési szilárdágát az MDF lapnak (Song-Yung és tsai, 2007).

Esettanulmány II.

Több tanulmányban is bemutatják az ún. "bake-out" (kiégetés) eljárást, mely során az épület légterében 32 - 40°C-ra növelik a beltéri levegő hőmérsékletét, valamint gyorsítják a légcserét. Ennek eredményeképpen a beltérben található bútorok, építőanyagok VOC kipárolgását jelentősen meggyorsítják. Az egész procedura 2 hetet vesz igénybe. Néhány kísérleti tanulmány azt mutatja, hogy 60-94%-os csökkenést tudtak elérni a VOC koncentrációkban (Sumin és tsai, 2010).

Esettanulmány III.

Több kísérlet született a ragasztott építőlemezek (MDF, faforgácslap, furnérlemez, stb.) gyártásánál környezetbarát ragasztóanyag alkalmazására, UF és MF műgyanták helyettesítésére. Fő célja a különböző faalapú padló burkolatok formaldehid és VOC anyagok kipárolgásának csökkentése (laminált fa padló, rétegelt ragasztott fa padló). A laminált fa padló (*high density fiberboard - HDF*), magasan préselt farostból készül, míg a rétegelt, ragasztott fa padló furnérlemezből, amire egy rétegborítás kerül UF és MF műgyantával ragasztva. Az előnye ezeknek a ragasztóknak, hogy nagyon magas a kötő szilárdságuk és alacsony a bekerülési költségük. Sumin tanulmányában a természetes és megújuló csersavat használták ragasztóként. Három fő forrása: Mimosa, Quebracho és Monterey fenyő. Hőre keményedő, szobahőmérsékleten folyós, jó a ragasztó képessége, víztaszító, és kevesebb a formaldehid kipárolgása. A kísérlet során 40%-os, vizes csersav kivonatot készítettek. A viszkozitása 200 cP 21°C-on. Ehhez az oldathoz 8% paraformaldehidet keverték a száraz csersav kivonat arányában. A kapott csersav ragasztóhoz további PVAc-t (polyvinyl acetát) adagoltak 5, 10, 20, 30 % arányban. A PVAc szénhidrogén láncból álló műanyag (vinilpolimer). A természetes csersav felületi tapadó képessége nem elegendő a megfelelő kötéshez. Viszont a PVAc adalékkal ez a tulajdonsága jelentősen növekedett. 20% PVAc tartalom után ez a növekedés megállt. A PVAc hozzáadásával a formaldehid kipárolgás nem emelkedett (Sumin, 2009a).

Esettanulmány IV.

Egy másik sikeres megoldás a formaldehid kipárolgásának csökkentésére, amikor vulkáni tufát (pozzolán) adtak MDF laphoz, és figyelték a fizikai-mechanikai tulajdonságok változását (Sumin, 2009b). A pozzolán anyag egy vulkanikus eredetű, természetes anyag. Ez a legősibb adalékszer, amit régen agyaghoz adagoltak építőanyag előállításának céljára. A görög Santori szigeten található egy nagy kiterjedésű pozzolán lelőhely. A mai napig használják építőanyagok, pl. beton előállításánál (Turanli és tsai, 2004). Nagyfokú szilárdságot és tartósságot kölcsönöz a betonnak (Davraz és tsa, 2005). A pozzolán gazdag szilícium-oxidban (SiO_2) és alumínium-oxidban (Al_2O_3), porózus anyagú, nagy mennyiségben tartalmaz abszorbált vizet. Ezzel a tulajdonságával képes elnyelni az MDF-ben lévő VOC anyagokat. A pozzolánt az UF gyantához adagolták az MDF gyártása során. Növekvő pozzolán tartalommal a fizikai és mechanikai tulajdonságai az MDF-nek nem változtak jelentősen, viszont a formaldehid és TVOC koncentrációja csökkent (2.5.2.a. Táblázat) (Sumin, 2009b).

Pozzolán (%)	Formaldehid ($\text{mg}/\text{m}^2 \text{ h}$)	TVOC ($\text{mg}/\text{m}^2 \text{ h}$)
0	1,27	3,7
1	0,94	2,42
3	0,5	1,97
5	0,27	1,6
10	0,18	1,47

2.5.2.a. Táblázat:

TVOC és formaldehid koncentrációja MDF lapban növekvő pozzolán arány mellett (Sumin, 2009b)

Esettanulmány V.

Egy másik megújuló anyagnak számít a kesudió ipari feldolgozásából származó melléktermék, a kesudió héj folyadék (Cashew nut shell liquid - CNSL) (Sumin, 2010). Közel 1 millió tonna termelődik belőle évente. Ez egy vöröses, viszkózus folyadék, ami a kesudió héjának a szerkezetében található, annak egyharmadát teszi ki. Több kutatás vizsgálta a kivonatát, kémiai tulajdonságait (Bhunia és tsai, 1999). Négy fő komponensből áll: (1) 3-pentadecenyl fenol (kardanol), (2) 5-pentadecenyl resorcinol (kardol), (3) 6-pentadecenyl szalicil sav (indusdió sav), (4) 2-methyl, 5-pentadecenyl resorcinol (2-methyl kardol). A szintetikus gyanták helyettesítésül szolgálhat, a formaldehid emissziója feltételezhetően alacsonyabb az UF gyanta formaldehid emissziójánál. A CNSL-formaldehid (CF) és PVAc keveréke hasonlóan az előzőekben leírtakhoz jóval magasabb kötési szilárdságot eredményez, és alacsonyabb formaldehid kipárolgást. A CF/PVAc gyantát környezetbarát ragasztóként sikeresen használják ragasztott faalapú építőanyagok gyártásánál (Sumin, 2010).

A feltárt esettanulmányok alapján megállapítom, hogy a faalapú építőanyagokból származó formaldehid csökkentésével ezek az anyagok újrahasznosíthatókká válnak. Ez megfelel az építésökológia R.C.R. (*Reduce - Conserve - Recycle*) elvének, mely hangsúlyozza a káros anyagok kibocsátásának csökkentését, a régi anyagok megőrzését valamint a felhasznált

anyagok visszaforgatásának lehetőségét, ezzel is csökkentve a környezetet terhelő hulladékok képződését.

2.5.3. Összegzés

Összegezve a 2.1. - 2.5. fejezetekben leírtakat, látszódik, hogy a beltéri levegőanalitikai mérésekhez kapcsolódó tudományterületek elég széles spektrumon mozognak. A beltéri levegőminőség tudományterülete az épületbiológia területéhez kapcsolódik, ahol az egyes építőanyagok egészségügyi hatásait vizsgálják. Azonban ehhez szorosan kapcsolódik az építésökológia területe, hiszen a felhasznált építőanyagok nemcsak az emberre gyakorolnak hatást, hanem az épület közvetlen környezetére is. A szakirodalmi kutatásaim során arra a következtetésre jutottam, hogy ezek a tudományterületek még továbbra is csak "okozatok" egy "ok-okozati" rendszeren belül. Így folytatva a kutatást ismertem fel, hogy a humánökológia tudományterülete foglalkozik, azokkal az "okokkal", melyek vezettek az előbbi tudományterületek kialakulásához, valamint a beltéri levegőminőséget meghatározó káros anyagok elterjedéséhez.

2.6. A tudományterületek összefüggésrendszere

Kutatásomat az egészséges beltéri levegő vizsgálatával kezdtem. A kapcsolódó szakirodalom feltárása közben felismertem azt a tényt, hogy az épületbiológia tudomány területe – melyhez a beltéri levegőminőség területe tartozik – egy transz-diszciplináris terület, melyet az elmúlt 30 év alatt kezdtek el vizsgálni. Az Épületbiológiai Intézet (Institute für Baubiologie) által megfogalmazott tervezési irányelvek egy holisztikus szemléletmódon alapulnak. Ez a szemléletmód az "Egészet" – vagyis az épületet, mint egy összetett, sok részből álló egységet – és ennek hatását vizsgálja a környezetére, valamint a beltéri levegőre.

A kutatást több fogalom megjelölésével kezdtem, amikből egy hálózatot építettem fel. A beltéri levegőminőség, mint kiindulópont, csak egy kis "Része az Egésznek". A rendszer, tulajdonképpen, egy 3-dimenziós hálózat, amiben a részek összekapcsolódnak, és hatnak egymásra. Ezt a kapcsolati rendszert ábrázoltam a 2.6.a. ábrán, feltüntetve a kutatásaim során nyert ismeretek fő halmazainak az összességét. Valamint kiemeltem azokat a részkapcsolatokat, melyek a dolgozat számára vezérfonalként szolgálnak.

- Milyen okok húzódnak meg a változások mögött?
- Hogyan mérsékelhetnénk a változásokat?
- Hogyan alkalmazkodhatunk a változásokhoz?

A humánökológia fejlődéstörténete:

Az ókori társadalmak szemléletében az ember a természet részeként jelent meg. Az ún. intuitív ökológia első képviselői Teophrasztosz és Arisztotelész, akik az élőlények és a környezetük kapcsolatát vizsgálták. Ez a gondolkodásmód azonban elkezdett változni, és a kereszténység elterjedésével egy időben, az ember kikerült a természetből, és Isten képmásaként az ún. "alacsonyabb lények" fölé helyeződött. Descartes gondolatisága is erre épül, az emberben lévő Isteni, az "ész" mindenek-felettségével különbözteti meg az embert a többi élőlénytől ("*Cogito ergo sum*", "Gondolkodom, tehát vagyok"). A természet felett való uralom az újkori gondolkodásnak is az alapját képezte. A. von Humboldt (1769-1859) volt az, aki hosszú idő után újra felismerte a holisztikus szemléletmód fontosságát a tudományok területén. T.R. Malthus (1766-1834) ismerte fel, hogy az emberi tevékenységnek vannak korlátai, a természet nem egy kimeríthetetlen erőforrás, az ész nem mindenható. Korunk egyik problémája, hogy a szaktudományokban a partikuláris gondolkodás a jellemző. A 20. században fellépő globális problémák megoldásához ez a fajta szemléletmód nem elegendő. Az emberi lét egyszerre tartozik a bioszférához és az általa létrehozott közvetítő rendszerekhez (társadalmi, kulturális struktúra) (Nánási, 2005).

A 18.századtól kezdődően az emberi tevékenységek által indított folyamatok egyre gyorsuló tendenciát mutattak. A II. Világháború után jelentős méreteket öltött a környezet szennyezése. A bioszférára gyakorolt hatása globális szinten is jelét mutatta. Ezért ennek az időszaknak már egy új földtörténeti nevet adtak, ez az *antropocén*. A legnagyobb hatással a vegyipar fejlődése illetve az energetikai forradalom bírt. A 19. században egyre több új, szintetikus anyagot állítottak elő a vegyi laborok, amiket olcsón, tömeges szinten lehetett gyártani. Ezek hatását azonban csak később realizálták, sőt néhány anyag toxikus tulajdonságait még ma sem ismerik. Ezek közül a legelterjedtebb anyag, a műanyag, ami jelenleg hulladékként okozza a legnagyobb problémát.

A környezeti változások mellett végbe ment egy társadalmi szintű változás is. A tömeges és olcsó termelés hatására a fejlett országok társadalmában kialakult egy mértéktelen fogyasztói kultúra. A kapitalizmus által új hatalmi rendszerek alakultak ki a világon, melyek érdekütközéseinek az eredménye a legtöbb háború. Az országok számára a legfőbb cél a minél nagyobb gazdasági növekedés. Az emberek számára a pénz, tőke és hatalom lettek a vezérelvek, melyek a természettől függetlenítették őket, legyőzve azt. Ennek ellenére a 21. század egyik legégetőbb kérdése, hogy tud az emberiség kikerülni ebből a civilizációs válságból? Hogy kell építenie a jövőjét, hogy a következő nemzedékek számára is egy élhető Föld maradjon hátra? (Nánási, 2005)

Fenntarthatóság

A "civilizációs" válság egyik megoldásaként született meg a fenntarthatóság, mely az emberiség jelen szükségleteinek kielégítése, a környezet és a természeti erőforrások jövő generációk számára történő megőrzésével egyidejűleg (Világ Tudományos Akadémiáinak Deklarációja, Tokió, 2000). A fenntartható fejlődés egy globális fogalom, mely az emberi civilizáció egészére kiterjed. A fenntartható fejlődésről, a környezet védelméről egyre több

globális szintű vita folyt az elmúlt 30 évben. Viszont magának a fenntartható fejlődésnek a megvalósítása lokális szinten történik meg (Agenda 21, 1992).

Fenntartható fejlődés:

- "A fejlődés olyan formája, amely a jelen igényeinek kielégítése mellett nem fosztja meg a jövő generációit saját szükségleteik kielégítésének lehetőségétől" (ENSZ – Közös jövőnk jelentés, 1987).

Fenntartható építés:

- "Egészséges épített környezet létesítése és felelős fenntartása az erőforrások hatékony kihasználásával, ökológiai elvek alapján" (Kibert, 1994).

Az építőipar szerepe a fenntartható erőforrások használatában jelentős. Ezért az építészek és tervezők felelőssége is nagy, hiszen egy-egy tervezési döntés determinálja évszázadokra egy környezet sorsát. Azonban a fenntartható fejlődés és építés meghatározott alapelvei még a mai napig nem váltak általánossá a gyakorlatban. Továbbra is a fogyasztás-központú szemlélet az uralkodó, valamint a jólét igényének mindenáron való kielégítése. Az emberek még mindig úgy gondolják, hogy a gazdaság irányítja a társadalmat, és azon belül a természetet. Ehhez járul hozzá az ágazatokra osztott igazgatási és intézményrendszer egyre átláthatatlanabb hálózata, és az összefüggéseket nem megfelelő módon bemutató tantárgy-központú, tudomány-alapú oktatás is.

Az emberi tevékenységet kell ökológiailag fenntarthatóan kialakítani, hogy a globális problémák megoldódjanak. A haszonközpontú fogyasztási modell nyersanyagigénye és hulladéktermelése rendkívül nagy. Az anyaggazdálkodás pazarló és nem hatékony. Egyik megoldás a fogyasztási modell megváltoztatása, anyagtakarékos technológiák fejlesztése, a természet körfolyamataiba beépülő anyagok használata, káros anyagok kibocsátásának csökkentése (McDonough, Braungart, 2007).

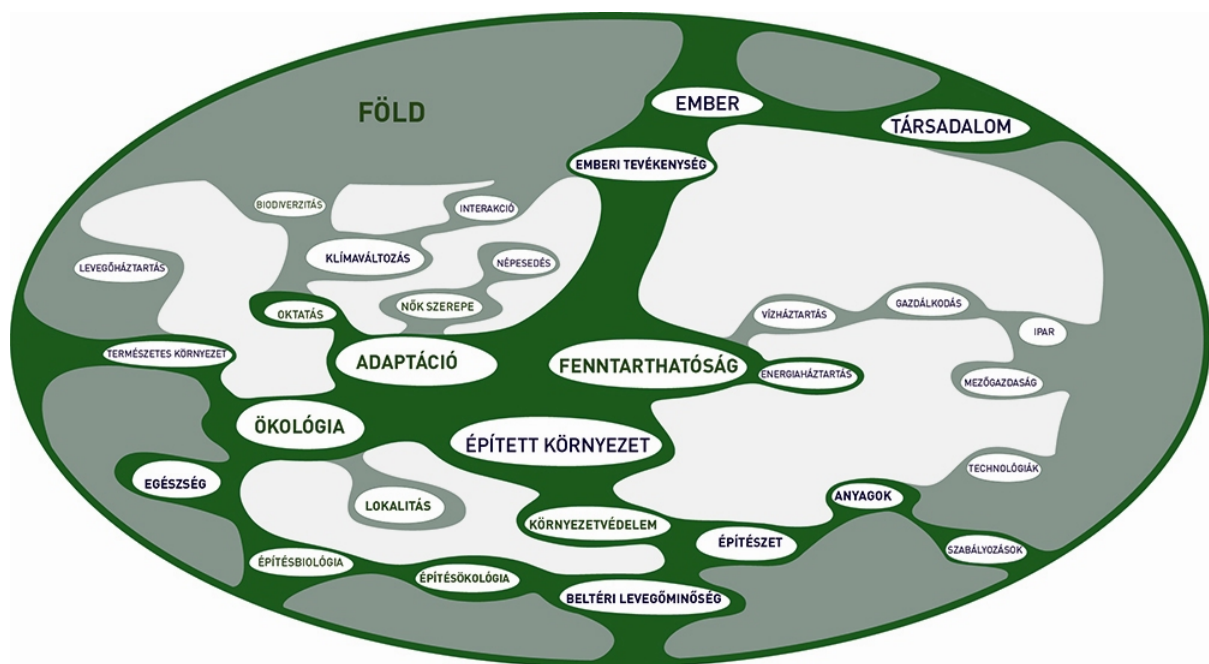
Ahogy csökkent a diverzitás a természetben, ugyanez a jelenség mutatkozik meg az épített környezetben is. Univerzális tervezési megoldások alakultak ki, tömegesen és olcsón gyártható építőanyagokból. A gyártók pedig ezeket az anyagokat egységesen a legmagasabb műszaki követelményeknek feleltetik meg (ez az ún. "*worst-case scenario*" elve, vagyis a lehetséges legrosszabb körülményekre terveznek), így optimalizálják a folyamatokat. Ennek a tervezési elvnek a következménye a hulladékok felhalmozódása és a nagyfokú környezetszennyezés. "A silány tervezés túllép saját életünk ívén, és hatásain keresztül a jövő nemzedékeire erőszakosan hat" (McDonough, Braungart, 2007).

Összegzés

A 2.6.b. Ábrán mutatom be azt a hálózatot, mely felvázolja az épített környezet és a humánökológiai területek kapcsolatát.

A beltéri levegőminőségtől kiindulva, látszódik, hogy fenntarthatóság és ökológikus szemléletmód köré szerveződnek azok a kapcsolatok, melyek hatással vannak az épített környezetre, a természetes környezetre és rajtuk keresztül az egészségre. Az adaptáció egy lényeges eleme a rendszernek, hiszen hosszú távon ez tudja majd biztosítani az új gondolkodásmód továbbfejlődését, mely hatással lesz a jövőbeni emberi tevékenységekre, és általa az egész társadalomra. Ennek a holisztikus szemléletmódnak az elsajátítása,

alkalmazása és továbbadása az, ami elindíthatja a változást, és egy új "Egész" kialakulását fogja eredményezni.



2.6.b. Ábra: A humánökológiai összefüggésrendszer hálózata az épített környezet és a kapcsolódó területek között

Ehhez járult hozzá az általam végzett kutatás, melynek eredményei a magyarországi beltéri levegőminőség vizsgálatának területén újak számítanak. A téma aktualitását több szakirodalom is kihangsúlyozza, valamint további kutatások és mérések szükségességét sürgetik (Weschler, 2008).

Az épületek tervezésénél az építőanyagok kiválasztása nagy hatással bír a későbbiekben az épület környezetterhelésének nagyságára, valamint a bent-tartózkodók egészségére. Ezért további kutatások, fejlesztések szükségesek ezen a területen is. A fa, mint az egyik lehetséges ökológikus, és megújuló építőanyag fontos szerepet játszhat az "egészséges" épületek tervezésénél. Viszont nem áll a tervezők rendelkezésére megfelelően használható ismeretanyag róla. Ezért tartottam fontosnak a kutatási témán belül a fa és faalapú építőanyagok vizsgálatával foglalkozni, és magához a mérési vizsgálathoz is egy favázis, többségében faburkolatú házat kiválasztani.

A továbbiakban ismertetem a konkrét mérési vizsgálat helyszínét, a mérés menetét, valamint a mért eredmények kiértékelését, és azok összevetését a szakirodalomban publikált, levegőanalitikai mérések eredményeivel.

3. A konkrét mérési vizsgálat bemutatása

3.1. A beltéri levegőminőség vizsgálatának ismertetése

A kutatómunkám során, Magyarországon – tudomásom szerint – elsőként végeztem beltéri levegőminőség méréseket újépítésű, faváz szerkezetű épületben, amely környezettudatos elvű tervezés és kivitelezés eredményeként valósult meg. Ez az épület szerkezetében kezeletlen vagy természetes anyaggal kezelt fa építőelemeket tartalmaz, valamint a belső terekben megjelenő faburkolatok is kezeletlen faanyagból készültek. Vizsgálatunk arra fókuszált, hogy meghatározzuk azon kémiai anyagokat – a ház beltéri levegőjében – amelyek alapvetően befolyásolják a beltéri levegő minőségét, és ez által hatással lehetnek a bent-tartózkodók egészségére.

Az elmúlt években, nagyszámban épültek alacsonyenergia-felhasználású, ún. energiatudatos házak Magyarországon. Ezek nemcsak épületenergetikai kialakításaikban törekednek ökológikus megoldásokra, hanem egyre inkább előtérbe került az ökológikus építőanyagok megválasztása is.

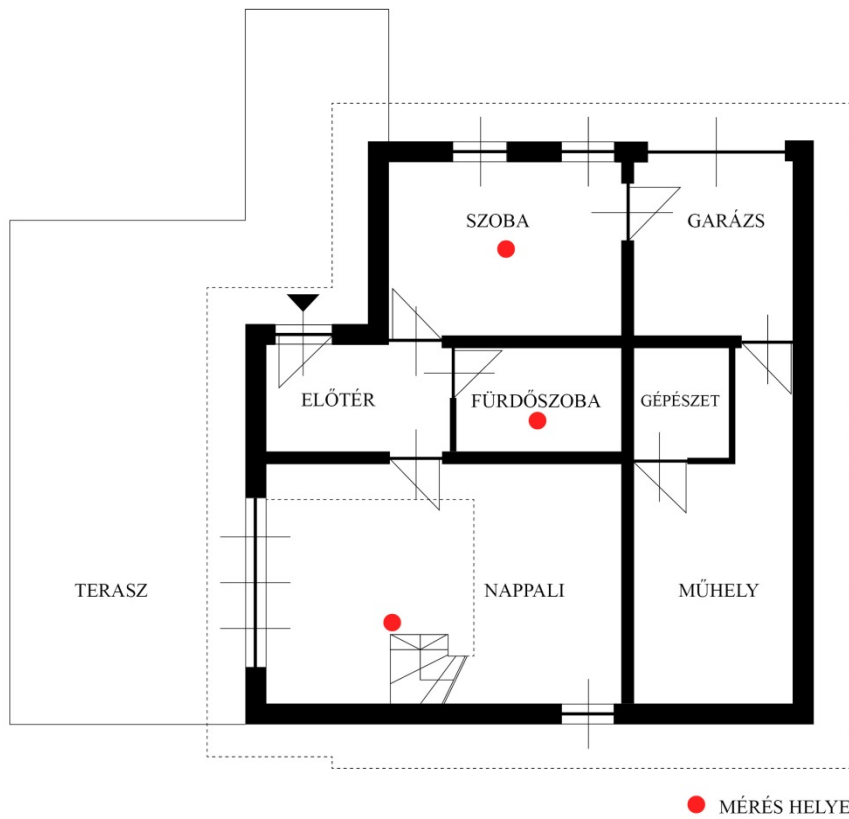
3.2. A vizsgált épület funkcionális és szerkezeti ismertetése

A vizsgált házba a kivitelezés befejezése után nem költöztek be, csak kísérleti jellegű mérések folytak. Az épület kulcsrakész kivitelezését 2012 nyarán fejezték be (lásd 3.2.a. Kép).

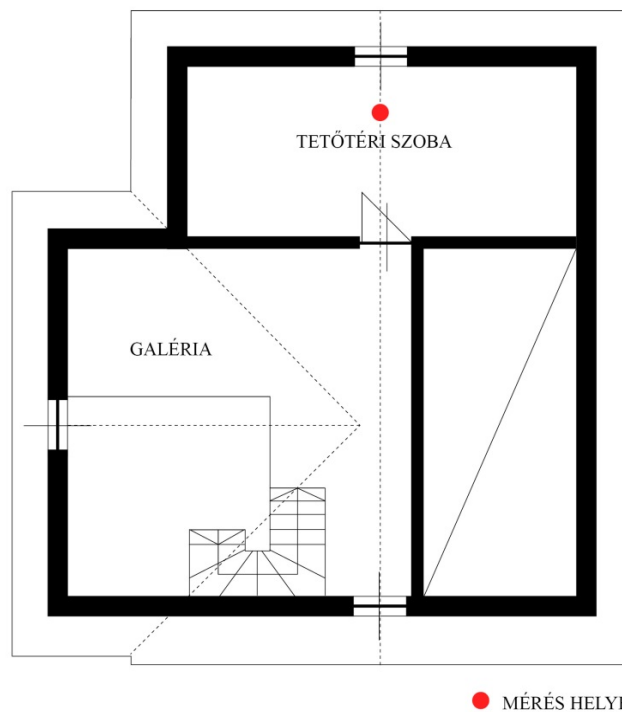


3.2.a. Kép: A mintavételi helyszín (Forrás: Ubrankovics Kft.)

Alapterülete 120 m², földszint plusz tetőtérrel. A földszinten található előszoba, nappali és konyha, szoba, fürdőszoba. A nappaliból vezet fel egy lépcső a galériába, ahonnan nyílik egy szoba a tetőtérben (lásd: 3.2.a, 3.2.b. ábrák)



3.2.a. Ábra: A mintavételi ház földszinti alaprajza (Forrás: Ubrankovics Kft.)



3.2.b. Ábra: A mintavételi ház emeleti alaprajza (Forrás: Ubrankovics Kft.)

Az épület egy kutatási projekt (TÜKÖRPANEL - hőszigetelő rendszer) prototípusa, amely fő célja, hogy új épület-hőszigetelési és épületgépészeti megoldásokat lehessen tesztelni. Az épület tervezése és kivitelezése során az egyik fő szempont a hőveszteség minimalizálása volt.

Ennek érdekében sík alapra épült, hogy a lábazati és a talaj irányú hőveszteség minimális legyen. A favázis falszerkezet vázközeiben részben az új tükörpanel hőszigetelő rendszer, részben pedig utólag befűjt cellulóz hőszigetelés van. A külső falak kívülről vakoltak, belül pedig gipszrost lapokkal burkoltak. A beltéri válaszfalak mind tömör, kezeletlen, szárított fapanelek. A tetőszerkezet dupla szarufás rendszer, egymás fölött elhelyezve, szintén a jobb hőszigetelés érdekében. A külső fal rétegrendjét a 3.2.a. Táblázat tartalmazza. Az ajtók, és ablakok vastagított tok és szárny keresztmetszettel készültek és minden esetben háromrétegű üvegezésűek. A kivitelezés során nagy gondot fordítottak a filtrációs hőveszteségek minimalizálására is, így szellőztető rendszer biztosítja a friss levegő utánpótlást. Az épület fűtése a szellőztető levegőre „ültetett” légfűtés, ahol az energiát egy speciális szezonális hőtároló biztosítja. Emellett a földszinten elektromos padlófűtés segít rá télen a légfűtésre. A mintavétel helyiségeinek a paramétereit a 3.2.b. Táblázat tartalmazza, külön kiemelve az egyes helyiségben lévő fa burkolatok arányát.

Vastagság (mm)	Anyag	Hővezetési tényező (W/mK)
5	lélegző vakolat	0,6
60	farost hőszigetelő tábla	0,05
160	60x160 mm lucfenyő, bordaváz	0,1
	közötte 160 mm cellulóz hőszigetelés	0,039
12	MFP faforgács szerelőlemez	0,13
160	60x160 mm lucfenyő, bordaváz	0,1
	160 mm cellulóz hőszigetelés	0,039
15	gipszrost	0,22
0,25	ökologikus párafékező papír	
30	gyalult, szárított lucfenyő, lécváz	-
12,5	impregnált gipszrost	0,24

3.2.a. Táblázat: A mintavételi ház külső falának rétegrendje kívülről - befelé haladva (Ubrankovics Kft.)

Helyiség	Szerkezet	Burkolat	Felület (m ²)	Felületek aránya (%)
Nappali	Padló	Kőlap	25,4	17
	Falak	Gipszrost	50,0	32
		Fa	30,0	51
Mennyezet		48,5		
Szoba	Padló	Kőlap	12,0	21
	Falak	Gipszrost	17,0	30
		Fa	16,0	28
Mennyezet	Vakolat	12	21	
Fürdőszoba	Padló	Kőlap	5,04	15
	Falak	Fa	24,1	70
	Mennyezet	Vakolat	5,04	15
Tetőtéri szoba	Padló		12,0	100
	Falak	Fa	34,0	
	Mennyezet		8,5	

3.2.b. Táblázat: A mintavételi ház helyiségeinek jellemző burkolatai, kiemelten az egyes helyiségben lévő fa burkolatok aránya

3.3. A mérési program ismertetése

A ház kísérleti jellegéből fakadóan a mérések célja egy idealizált állapot vizsgálata volt. A mérések egy éven belül zajlottak, a téli időszakban 4 mintavételre, a nyári időszakban 2 mintavételre került sor. A mérések során a helyszíni körülmények és légparaméterek dokumentálása fontos szerepet játszott a mért eredmények későbbi összevetése során. A kísérletünk része volt megfigyelni, hogy az egyes mérések eredményeit miként befolyásolják a belsőépítészeti utómunkálatok (beltéri ajtók behelyezése, faburkolat szegélyezése, stb.), a szobák bebútorozása, valamint az egy év alatt az évszakok váltakozásából fakadó különböző légparaméterek (hőmérséklet, páratartalom változása).

A mérés három lépcsőből állt:

1. helyszíni mintavétel
2. a minták levegőanalitikai laboratóriumban történő vizsgálata (Wessling Hungary Kft.)
3. a kapott értékek kiértékelése, és egészségügyi kockázatuk elemzése

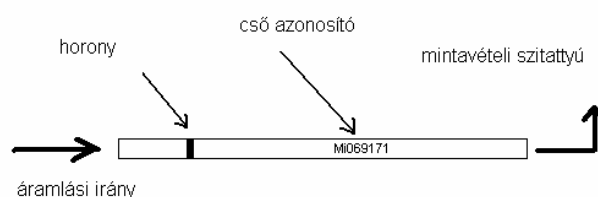
3.3.1. A mintavételi eljárás, és laboratóriumi analitika bemutatása

A levegő mintavétel során több feltételnek biztosítottak kell lennie, egészen a mintavétel kezdetétől a laboratóriumi analitikáig. Az értékelés szempontjából fontos a mintavétel helye, pontos ideje, valamint a minta tárolása és szállítási körülménye. A mintavétel aktív eszközzel történt (3.3.1.a. Kép), melynél egy kalibrált pumpa biztosítja a kényszeráramoltatást. A mintavétel egy szorbens csőre történik. Ez a cső rozsdamentes acélból vagy üvegből készül, a szorbens anyaga pedig a minta minőségétől függ.



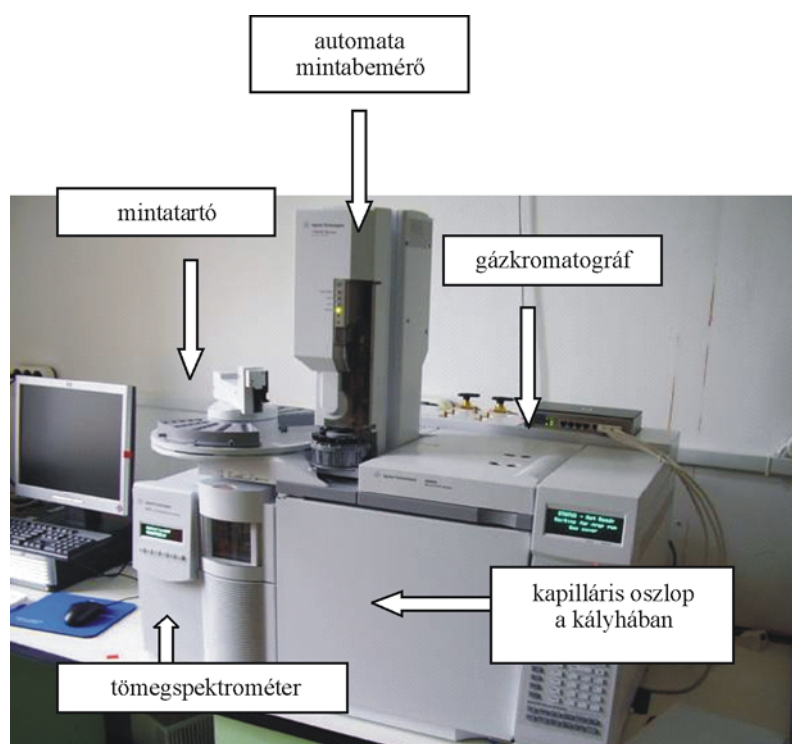
3.3.1.a. Kép: Beltéri levegőminőség vizsgálatánál használt aktív mintavételi levegőszivattyú

A légszennyező anyagok meghatározására többféle szabvány létezik. Ezek közül az ISO16000-as sorozat foglalkozik a beltéri levegőminőséggel. Az ISO 16000-1:2004 szabvány pontosan meghatározza a mintavétel menetét, és a komponensek osztályozását. Az ISO 16000-11:2006 szabvány pedig az építőanyagokból származó illékony szerves anyagok mintavételének eljárást írja le. Kétféle eljárás létezik a beltéri káros anyagok mérésére: (1) közvetlenül a helyszínen aktív mérőeszközzel Tenax töltetű csőbe, vagy (2) az építőanyag-minta tesztkamrában való elhelyezése, és a kipárolgó komponensek szorbens csőre való gyűjtése (3.3.1.a. Ábra). A mérési vizsgálat során az (1) eljárást alkalmaztam.



3.3.1.a. Ábra: Aktív mérőeszközzel használt Tenax töltetű cső

A levegőanalitikai laborban a mintáról a komponenseket termodeszorpció során juttatják gázkromatográf (GC) oszlopra, ahonnan tömegspektrometria (MS) együttes alkalmazásával történik az anyagok detektálása, majd egy kromatogramon való ábrázolása. Ezt a folyamatot GC-MS technikának hívják. Elterjedten használják a szerves vegyiparban, a környezetanalitikában, stb. Kifejezetten az illékony minták mennyiségi és minőségi elemzésére alkalmas technika (3.3.1.b. Kép).



3.3.1.b. Kép: Gázkromatográf - tömegspektrométer berendezései illékony anyagok elemzésére

(Forrás: Pécsi Tudományegyetem, 2010)

A folyamat során 180 különböző komponenst tudnak detektálni, melyeket szerves kémiai csoportokba sorolnak be: alifás, aromás vegyületek, alkoholok, ketonok, aldehidek, terpének, karbonsavak, stb. A jegyzőkönyvben az eredményeket ismert átszívott levegő térfogat alapján $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -ben adják meg. Ez egy nagyon hatékony eljárás, mivel nem szükséges hozzá oldószer, így a minta nem szennyeződik, és tág tartományban képes kimutatni a komponenseket (Sipos, 1987).

3.3.2. A mintavétel menete

A helyszínen aktív mintavételi eszközt alkalmaztunk. A mintavételezés során, a laboratóriumi mérések pontosságának érdekében, a beltéri levegő fizikai jellemzőit már 24 órával a mintavételezést megelőzően beállítottuk. Így a mintavételt stacioner állapotban végeztük el. A mérés ideje alatt a nyílászáró szerkezetek zárva voltak. A mintavételnél felhasznált aktív mérőeszközre két mintavételi csövet csatlakoztattunk. Az egyik mintavételi cső típusa Tenax TA 200 mg-os rozsdamentes acél cső, 90 mm hosszú a VOC anyagok mintavételezésére. A másik 150/300 ml dinitrofenil-hidrazinnal impregnált szilika géles töltetű cső formaldehid mintavételére. A szorbens csöveket alufóliába csomagolva szállítottuk, nyári időszakban a szilika géles töltetű csövet mélyhűtött akkut tartalmazó táskában tároltuk. A mintákat a Wessling Hungary Kft levegőanalitikai laboratóriumában analizáltattuk.

Tenax cső (VOC anyagok):

Szívási idő: 60 min
 Szívási sebesség: 100 ml/min
 Átszívott levegő térfogata: 6000 ml

Szilika géles töltetű cső (Formaldehid):

Szívási idő: 240 min
 Szívási sebesség: 200 ml/min
 Átszívott levegő térfogata: 48000 ml

4. Mérési eredmények értékelése

A beltéri levegőből vett minta VOC tartalmának meghatározása során 180 komponens koncentrációját vizsgálták a Wessling Kft. Laboratóriumában ISO 16000-6:2004, és ISO 16000-3:2001 szabványok szerint. Az egyes méréseknél azon VOC komponensek mért koncentrációit tüntettük fel a 180 darab mérési eredményből, amelyek értéke szignifikánsan nagyobb volt a detektálási határértéknél, és mindegyik helyiségben jelen voltak. Feltehetően ezek azok az anyagok, amelyek meghatározzák az épület beltéri levegőjének minőségét.

A mérési eredményeket háromféle módon értékeltem.

- I. Az alábbi, legjellemzőbb anyagok értékét összevettem a Sarigiannis 2011-es tanulmányában szereplő középértékekkel, melyek az Európai Unió országok beltéri levegőjében, az elmúlt húsz évben megfigyelt és publikált átlag értékek voltak. A közép-európai lakóépületek belső tereire az alábbi középértékeket adta meg:

1. Benzol	3,1	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2. Toluol	20,6	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
3. Sztírol	1,1	$\mu\text{g}/\text{m}^3$

4. Formaldehid 29,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
5. Naftalin 1,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
6. Limonén 17,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
7. Alfa-pinén 12,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Sarigiannis, 2011)

A tanulmány szerint a benzol, naftalin és formaldehid kiemelt prioritású, a toluol, sztirol másodlagos prioritású kemikáliák, míg a limonén és alfa-pinén további megfigyelés és vizsgálat alatt lévő kemikáliák közé sorolódnak (Kotzias és tsai, 2005a, 2005b) (Sarigiannis, 2011).

II. Ezeknek az anyagoknak az értékeit összehasonlítottam a magyarországi szabványokban megadott határértékekkel, illetve az Egészségügyi Világszervezet (WHO) által közölt egészségügyi határértékekkel. A limonén és alfa-pinén anyagokhoz nem voltak megadva értékek, mivel nem számítanak toxikus anyagoknak. A magyarországi szabványok:

- MSZ 21461-1 1988 Munkahelyek levegőtisztasági követelményei: Vegyi anyagok szabvány
- MSZ 21461-2 1992 Munkahelyek levegőtisztasági követelménye: Szálló porok szabvány

A 4.a. táblázat mutatja a Magyarországon érvényes káros anyag értékeket munkahelyi környezetre.

Szennyező anyag	Megengedett határérték (mg/m^3)	
	ÁK	CK
Benzol	-	3k
Toluol	190	760
Sztirol	50	50
Fomaldehid	0,6	0,6
Naftalin	50	-
Limonén	-	-
Alfa-pinén	-	-

4.a. Táblázat: munkahelyek levegőtisztaságának követelményei Magyarországon (MSZ 21461-2 1992)

- ÁK: általános koncentráció,
- CK: csúcs koncentráció
- k: karcinogén

A 4.b. táblázat mutatja a WHO által közölt egészségügyi határértékeket.

Szennyező anyag	WHO érték $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Benzol	0,17 - 17
Toluol	-

Sztirol	-
Formaldehid	100
Naftalin	10
Limonén	-
Alfa-pinén	-

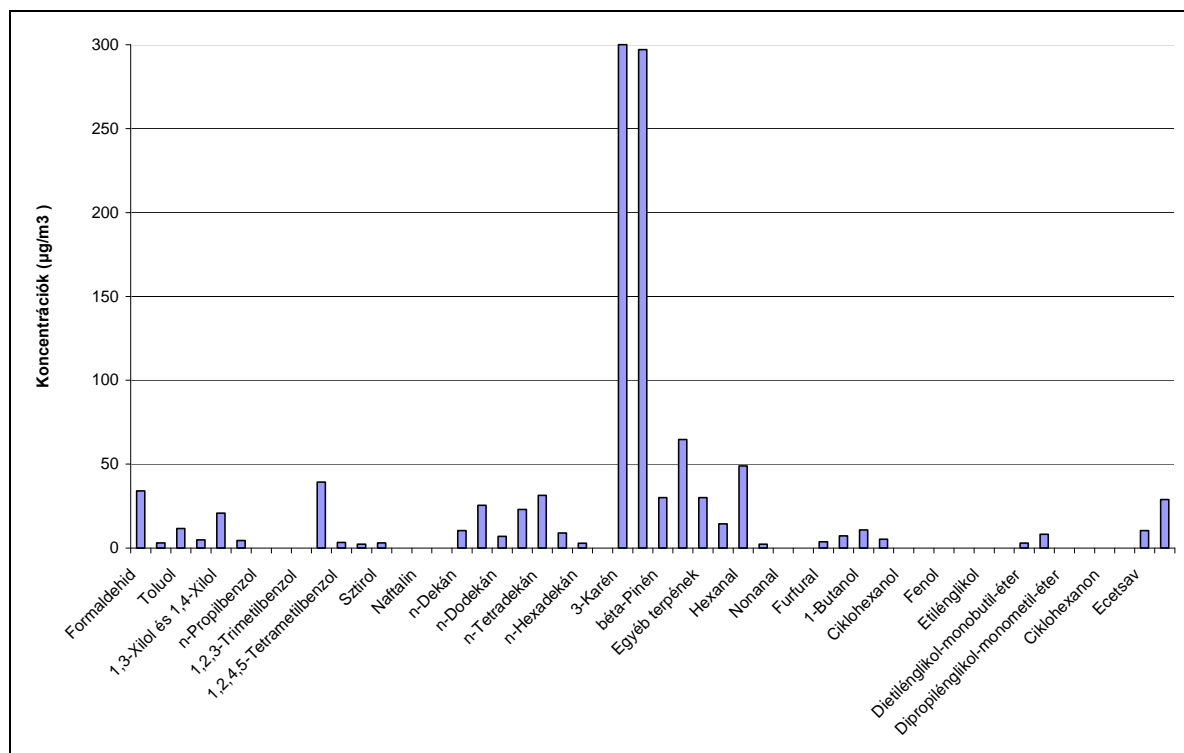
4.b. Táblázat: Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) által közölt egészségügyi határértékek

III. Végül meghatároztam az összes mért anyag német szabvány szerinti egészségügyi kockázatát az ún. Legalacsonyabb Kockázatú Koncentráció (*Lowest Concentration of Interest - LCI*) elemzés alkalmazásával. Német törvények meghatározzák, hogy az építőanyagok VOC emisszióját hosszútávon addig kell csökkenteni, hogy az ne jelentsen veszélyt az épületben tartózkodók egészségére. A német Építőanyagok Egészségügyi Értékelő Bizottságának (*Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten - AgBB*) munkacsoportja létrehozta a beltéri levegő minőségét meghatározó VOC anyagok jegyzékét, és egyben megadta a levegő minőséget károsító VOC anyagok koncentrációjának határértékét. Ha a vizsgált VOC anyag koncentrációja nem éri el a megadott határértéket, akkor nem jelent egészségügyi kockázatot az épületben tartózkodó emberekre. Az egészségügyi kockázat mértékét egy viszonyszámmal fejezik ki, a mért koncentráció értékét elosztják az AgBB szerinti határértékkel. Ha ez a viszonyszám egynél kisebb, a vizsgált anyag nem jelent egészségügyi kockázatot. Ha a viszonyszám egynél nagyobb, akkor az anyag által okozott egészségügyi kockázat értéke arányos a viszonyszám értékével (AgBB, 2012). Minden mérési eredménynél elvégeztem ezt a vizsgálatot. A mérések LCI táblázata tartalmazza az általunk mért VOC anyagokat, ezek listaszámát (CAS), a koncentráció megadott LCI határértékét, a mért koncentrációt, valamint azok hányadosát. A 3. számú melléklet tartalmazza az AgBB által megadott LCI értékeket az egyes anyagokra.

4.1. Mérés I.

Az épület kivitelezésének befejezése után, a fűtés beindítása előtt végeztük az első mérést. Ebben a szakaszban a beltéri ajtók még nem voltak beszerelve, a hidegburkolat és faburkolat elkészült. A nappaliban végeztük a mérést, mivel ez a legnagyobb légtérű helyiség.

A 4.1.a. Grafikonból látszódik, hogy a mért értékek nagy része jóval $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alatt marad. Kivéve a limonén ($64,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), hexanál ($48,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) valamint az alfa-pinén ($297 \mu\text{g}/\text{m}^3$) és 3-karén ($300 \mu\text{g}/\text{m}^3$) értékeit, melyek lényegesen eltérnek a többi értéktől.



4.1.a. Grafikon: A fűtés megkezdése előtt, a nappali helyiségében végzett Mérés I. eredményei

A 4.1.a. táblázat mutatja a fűtés megkezdése előtt, decemberben végzett mérési eredményeket, valamint a légparamétereket. A VOC anyagok értékének az összegét ($2150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mutatja a TVOC (Total Volatile Organic Compounds).

Mérés időpontja	Téli időszak	December
Légparaméterek	Hőmérséklet (°C)	18
	R.Pára (%)	41
	Komponensek ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nappali
Aromás szénhidrogének	Benzol	3,11
	Toluol	11,6
	Etilbenzol	4,8
	1,3-Xilol és 1,4-Xilol	20,8
	1,2-Xilol	4,47
	n-Propilbenzol	0
	1,2,4-Trimetilbenzol	0
	1,2,3-Trimetilbenzol	0
	1-Isopropil-4-metilbenzol	39,3
	1,2,4,5-Tetrametilbenzol	3,36
	n-Butilbenzol	2,28
	Sztírol	3,06
	Egyéb alkilbenzolok	0
	Naftalin	0
Alifás szénhidrogén	n-Heptán	0
	n-Dekán	10,4
	n-Undekán	25,4

	n-Dodekán	6,96
	n-Tridekán	22,9
	n-Tetradekán	31,3
	n-Pentadekán	8,94
	n-Hexadekán	2,82
	n-Oktadekán	0
Terpének	3-Karén	300
	alfa-Pinén	297
	béta-Pinén	30
	Limonén	64,7
	Egyéb terpének	30
Aldehidek	Pentanal	14,4
	Hexanal	48,9
	Heptanal	2,24
	Nonanal	0
	Dekanal	0
	Furfural	3,66
	Benzaldehid	7,27
	Formaldehid	34
Alkoholok	1-Butanol	10,8
	1-Pentanol	5,24
	Ciklohexanol	0
	2-Etil-1-hexanol	0
	Fenol	0
	Propilénglikol	0
	Etilénglikol	0
	Etilénglikol-monobutil-éter	0
	Dietilénglikol-monobutil-éter	2,9
	1-Metoxi-2-propanol	8,11
	Dipropilénglikol-monometil-éter	0
	2-Etoxietanol	0
Ketonok	Ciklohexanon	0
	Acetofenon	0
Karbonsav	Ecetsav	10,4
	TVOC	2150

4.1.a. Táblázat: A fűtés megkezdése előtt végzett Mérés I. eredményei

A 4.1.b. Táblázat mutatja a mért értékeket, a közép-európai átlag értékeket (Sarigiannis, 2011), a Magyarországi szabvány értékeket munkahelyi levegőre (MSZ 21461-2 1992), valamint az Egészségügyi Világszervezet (WHO) által közölt egészségügyi határértékeket (WHO, 2012). A Sarigiannis 2011-es tanulmányában Közép-Európára érvényes átlag értékeket adott meg az elmúlt 20 évben publikált levegőanalitikai mérések feldolgozása után. A mért értékek közül a limonén és alfa-pinén koncentrációja jelentősen nagyobb a középértéknél, míg a sztirol és formaldehid csak kis mértékben lépi túl a megadott értéket. A munkahelyi levegőre megadott szabvány értékeket egyik koncentráció sem lépte túl (MSZ 21461-2 1992). A WHO által megadott értékek közül egyiket sem lépték túl a mért értékek (4.1.b. táblázat).

	Mért érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Közép-Európai átlag érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MSZ Szabvány érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	WHO érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Benzol	3,11	3,1	3000	0,17 - 17
Toluol	11,6	20,6	190000	-
Sztirol	3,06	1,1	50000	-
Formaldehid	34	29,8	600	100
Naftalin	0	1,1	5000	10
Limonén	64,7	17,2	-	-
Alfa-pinén	297	12,9	-	-

4.1.b. Táblázat: mért értékek, Közép-Európára érvényes, publikált átlag értékek (Sarigiannis, 2011), a Magyarországi szabvány értékek munkahelyi levegőre (MSZ 21461-2 1992), a WHO által közölt egészségügyi határértékek (WHO, 2012)

A német Építőanyagok Egészségügyi Értékelő Bizottsága (AgBB) által megadott szabvány szerinti egészségügyi kockázat (LCI) elemzés elvégzése után megállapítottam, hogy egyik komponens hányadosa (mért érték / LCI érték) sem nagyobb, mint 1, így nem jelentenek egészségügyi kockázatot. Ezen belül a benzol egészségügyi kockázata (0,622) kiemelkedik a vizsgált anyagok közül. A 3-karén (0,2), furfurál (0,183) és az alfa-pinén (0,198) egészségügyi kockázata azonosnak tekinthető, de még ezek sem jelentenek kockázatot az bent-tartózkodók egészségére (4.1.c. Táblázat).

Komponens	CAS szám	LCI érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mért érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hányados
Benzol	71-43-2	5	3,11	0,622
Toluol	108-88-3	1900	11,6	0,006105
Etilbenzol	100-41-4	4400	4,8	0,001091
1,3-Xilol és 1,4-Xilol	106-42-3; 108-38-3	2200	20,8	0,009455
1,2-Xilol	95-47-6	2200	4,47	0,002032
1-Isopropil-4-metilbenzol	99-87-6	1100	39,3	0,035727
1,2,4,5-Tetrametilbenzol	95-93-2	1100	3,36	0,003055
n-Butilbenzol	104-51-8	1100	2,28	0,002073
Sztirol	100-42-5	860	3,06	0,003558
n-Dekán	124-18-5	6000	10,4	0,001733
n-Undekán	1120-21-4	6000	25,4	0,004233
n-Dodekán	112-40-3	6000	6,96	0,00116
n-Tridekán	629-50-5	6000	22,9	0,003817
n-Tetradekán	629-59-4	6000	31,3	0,005217
n-Pentadekán	629-62-9	6000	8,94	0,00149
n-Hexadekán	544-76-3	6000	2,82	0,00047
3-Karén	498-15-7	1500	300	0,2
alfa-Pinén	80-56-8	1500	297	0,198
béta-Pinén	127-91-3	1500	30	0,02
Limonén	5898-27-5	1500	64,7	0,043133
Egyéb terpének		1500	30	0,02

Pentanal	110-62-3	1700	14,4	0,008471
Hexanal	66-25-1	890	48,9	0,054944
Heptanal	111-71-7	1000	2,24	0,00224
Furfural	98-01-1	20	3,66	0,183
Benzaldehid	100-52-7	90	7,27	0,080778
1-Butanol	71-36-3	3100	10,8	0,003484
1-Pentanol	71-41-0	730	5,24	0,007178
Dietilénglikol-monobutil-éter	124-17-4	850	2,9	0,003412
Ecetsav	64-19-7	500	10,4	0,0208

4.1.c. Táblázat: Mérés I. értékeinek a német szabvány szerinti egészségügyi kockázat (LCI) elemzése (Agbb, 2012)

4.2. Mérés II.

A második mérés 1 hónap elteltével történt. A beltéri ajtókat még nem szerelték be, viszont a légfűtést már bekapcsolták. A ház három, legjellegzetesebb pontján történt a mintavétel. A nappali a legnagyobb légtérű helyiség (123m³), a szoba egy átlagos méretű helyiség (33m³), mely nincs közvetlen kapcsolatban a nappalival, a tetőtéri szoba pedig 45 m³. A kültéri levegőből is vettünk mintát, hogy lássuk, melyek azok az anyagok, amik forrása onnan származhat. A 4.2.a. táblázat mutatja a januárban végzett mérési eredményeket, valamint a légparamétereket. Az egyes helyiségekben mért VOC anyagok értékének az összegét mutatja a TVOC (Total Volatile Organic Compounds).

Mérés időpontja	Téli időszak	Január			
Légparaméterek	Hőmérséklet (°C)	18			
	R.Pára (%)	37			
	Komponensek (µg/m ³)	1. Nappali	2. Szoba	3. Tetőtér	4. kültér
Aromás szénhidrogének	Benzol	2,79	2	2,16	3,5
	Toluol	4,92	4,78	5,09	2,9
	Etilbenzol	1,96	1,81	1,86	0
	1,3-Xilol és 1,4-Xilol	8,59	7,57	8,23	1,1
	1,2-Xilol	2,08	1,89	1,82	0
	n-Propilbenzol	0	0	0	0
	1,2,4-Trimetilbenzol	0,91	1,52	0	0
	1,2,3-Trimetilbenzol	1,66	1,81	1,43	0
	1-Isopropil-4-metilbenzol	13,1	10,4	10,4	0
	1,2,4,5-Tetrametilbenzol	0,93	1,01	0	0
	n-Butilbenzol	1,19	1,18	0,96	0
	Sztirol	0,96	1,2	1,32	0
	Egyéb alkilbenzolok	0	0	0	0
	Naftalin	0	0	0	0
Alifás szénhidrogének	n-Heptán	0	0	0	0
	n-Dekán	5,09	4,92	4,5	0
	n-Undekán	10,8	18,9	7,07	0
	n-Dodekán	0	34,7	0	0
	n-Tridekán	19	15,7	13,3	0

	n-Tetradekán	39,4	28,1	26,8	0
	n-Pentadekán	14,7	11,9	10,4	0
	n-Hexadekán	5,41	5,48	4,27	0
	n-Oktadekán	0	1,24	1,36	0
Terpének	3-Karén	133	97,3	109	0
	alfa-Pinén	170	122	157	2,6
	béta-Pinén	15,2	11,8	15,3	0
	Limonén	21	16,1	17,5	0
	Egyéb terpének	10	7	9	0
Aldehidek	Pentanal	6,83	5,53	5,49	0
	Hexanal	23,8	19	21,3	0
	Heptanal	0	0	0	0
	Nonanal	0	2,33	0	0
	Dekanal	0	0	0	0
	Furfural	0	0	0	0
	Benzaldehid	0	3,87	0	0
	Formaldehid	11	0	10	0
Alkoholok	1-Butanol	5,79	5,22	5,34	0
	1-Pentanol	2,56	1,91	1,67	0
	Ciklohexanol	0	0	0	0
	2-Etil-1-hexanol	0	0	0	0
	Fenol	0	0	0	0
	Propilén-glikol	0	0	0	0
	Etilén-glikol	0	0	0	0
	Etilén-glikol-monobutil-éter	0	0	0	0
	Dietilén-glikol-monobutil-éter	0	0	0	0
	1-Metoxi-2-propanol	5,94	5,56	5,34	0
	Dipropilén-glikol-monometil-éter	0	0	0	0
	2-Etoxi-etanol	0	3,29	0	0
	Ketonok	Ciklohexanon	0	0	0
Acetofenon		0	0	0	0
Karbonsav	Ecetsav	17,6	26,9	26,9	13,6
	TVOC	1710	1350	1300	25

4.2.a. Táblázat: A fűtési időszakban, januárban végzett Mérés II. eredményei

A kültéri levegőben a benzol értéke ($3,5\mu\text{g}/\text{m}^3$) magasabb volt a beltérben mért koncentráció értékénél ($2,79\mu\text{g}/\text{m}^3$). A beltérben vett mintában a 3-karén ($133\mu\text{g}/\text{m}^3$) és alfa-pinén ($170\mu\text{g}/\text{m}^3$) koncentrációinak értékei az előző méréshez képest jelentősen csökkentek, feltehetőleg a légfűtés hatására. A formaldehid ($11\mu\text{g}/\text{m}^3$) valamint a benzol értéke ($2,79\mu\text{g}/\text{m}^3$) is csökkent.

	Mért érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Közép-Európai átlag érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MSZ Szabvány érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	WHO érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Benzol	2,79	3,1	3000	0,17 - 17
Toluol	5,09	20,6	190000	-
Sztirol	1,32	1,1	50000	-
Formaldehid	11	29,8	600	100
Naftalin	0	1,1	5000	10
Limonén	21	17,2	-	-
Alfa-pinén	170	12,9	-	-

4.2.b. Táblázat: mért értékek, Közép-Európára érvényes, publikált átlag értékek (Sarigiannis, 2011), a Magyarországi szabvány értékek munkahelyi levegőre (MSZ 21461-2 1992), a WHO által közölt egészségügyi határértékek (WHO, 2012)

A 4.2.b táblázat mutatja a mért értékeket, a közép-európai átlag értékeket, a Magyarországi szabvány értékeket munkahelyi levegőre, valamint az Egészségügyi Világszervezet (WHO) által közölt egészségügyi határértékeket. A sztirol és limonén mért értéke kis mértékben lépi túl a megadott középértéket (Sarigiannis, 2011). A munkahelyi levegőre megadott szabvány értékeket egyik koncentráció sem lépte túl (MSZ 21461-2 1992). A WHO által megadott értékek közül egyiket sem lépték túl a mért értékek.

A német Építőanyagok Egészségügyi Értékelő Bizottsága (AgBB) által megadott szabvány szerinti egészségügyi kockázat (LCI) elemzés elvégzése után megállapítottam, hogy egyik komponens hányadosa (mért érték / LCI érték) sem nagyobb, mint 1, így nem jelentenek egészségügyi kockázatot. Ezen belül a benzol egészségügyi kockázata (0,558) csökkent, de kiemelkedik a 2-Etoxietanol (0,41) értékével együtt a többi vizsgált anyagok közül (4.2.c. táblázat).

Komponens	CAS szám	LCI érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mért érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hányados
Benzol	71-43-2	5	2,79	0,558
Toluol	108-88-3	1900	5,09	0,002678947
Etilbenzol	100-41-4	4400	1,96	0,000445455
1,3-Xilol és 1,4-Xilol	106-42-3; 108-38-3	2200	8,59	0,003904545
1,2-Xilol	95-47-6	2200	2,08	0,000945455
1,2,4-Trimetilbenzol	108-67-8	1000	1,52	0,00152
1,2,3-Trimetilbenzol	526-73-8	1000	1,66	0,00166
1-Isopropil-4-metilbenzol	99-87-6	1100	13,1	0,011909091
1,2,4,5-Tetrametilbenzol	95-93-2	1100	1,01	0,000918182
n-Butilbenzol	104-51-8	1100	1,19	0,001081818
Sztirol	100-42-5	860	1,32	0,001534884
n-Dekán	124-18-5	6000	5,09	0,000848333
n-Undekán	1120-21-4	6000	18,9	0,00315
n-Dodekán	112-40-3	6000	34,7	0,005783333
n-Tridekán	629-50-5	6000	19	0,003166667
n-Tetradekán	629-59-4	6000	39,4	0,006566667
n-Pentadekán	629-62-9	6000	14,7	0,00245

n-Hexadekán	544-76-3	6000	5,48	0,000913333
n-Oktadekán	593-45-3	6000	1,36	0,000226667
3-Karén	498-15-7	1500	133	0,088666667
alfa-Pinén	80-56-8	1500	170	0,113333333
béta-Pinén	127-91-3	1500	15,3	0,0102
Limonén	5898-27-5	1500	21	0,014
Egyéb terpének		1500	10	0,006666667
Pentanal	110-62-3	1700	6,83	0,004017647
Hexanal	66-25-1	890	23,8	0,026741573
Nonanal	124-19-6	1300	2,33	0,001792308
Benzaldehid	100-52-7	90	3,87	0,043
1-Butanol	71-36-3	3100	5,79	0,001867742
1-Pentanol	71-41-0	730	2,56	0,003506849
1-Metoxi-2-propanol	107-98-2	3700	5,94	0,001605405
2-Etoxi-etanol	110-80-5	8	3,29	0,41125
Ecetsav	64-19-7	500	26,9	0,0538

4.2.c. Táblázat: Mérés II. értékeinek a német szabvány szerinti egészségügyi kockázat (LCI) elemzése (Agbb, 2012)

4.3. Mérés III.

A 3. mérés egy hónap elteltével történt. A beltéri ajtókat beszerelték, kivéve a tetőtéri szobánál, ezért ennél a mérésnél a 3. mintát a fürdőszoba helyiségéből vettük. A ház gazdaságos működése miatt a légfűtést jóval kevesebbszer kellett bekapcsolni a 18 °C átlagos hőmérséklet eléréséhez. A mérés előtti napokban belsőépítészeti utómunkálatokat végeztek. A 4.3.a. táblázat mutatja a februárban végzett mérési eredményeket, és légparamétereket. Az egyes helyiségekben mért VOC anyagok értékének az összegét mutatja a TVOC (Total Volatile Organic Compounds).

Mérés időpontja	Téli időszak	Február		
Légparaméterek	Hőmérséklet (°C)	15		
	R.Pára (%)	37		
	Komponensek (µg/m ³)	1. Nappali	2. Szoba	3.fürdő
Aromás szénhidrogének	Benzol	0	0	0
	Toluol	5,16	4,74	6,13
	Etilbenzol	1,66	1,27	1,46
	1,3-Xilol és 1,4-Xilol	6,72	5,36	5,31
	1,2-Xilol	1,97	1,48	1,56
	n-Propilbenzol	0	0	0
	1,2,4-Trimetilbenzol	2,07	1,15	1,22
	1,2,3-Trimetilbenzol	1,63	1,09	0,94
	1-Isopropil-4-metilbenzol	6,05	4,96	6,72
	1,2,4,5-Tetrametilbenzol	1,84	0	0
	n-Butilbenzol	1	0	0
	Sztírol	0	0	0
	Egyéb alkilbenzolok	0	0	0

	Naftalin	0	0	0
Alifás szénhidrogének	n-Heptán	20,9	17,8	17,7
	n-Dekán	0	0	0
	n-Undekán	14,8	8,73	7,91
	n-Dodekán	17,4	2,48	4,17
	n-Tridekán	15,2	7,08	5,48
	n-Tetradekán	22,3	12	8,65
	n-Pentadekán	8,53	4,56	3,93
	n-Hexadekán	3,42	1,98	2,1
	n-Oktadekán	1	0	0
Terpének	3-Karén	85,8	64,4	233
	alfa-Pinén	162	119	>300
	béta-Pinén	16,9	9,33	33,1
	Limonén	15,8	10,7	23
	Egyéb terpének	0	0	0
Aldehydekek	Pentanal	0	0	0
	Hexanal	16,4	9,88	20,7
	Heptanal	0	0	0,96
	Nonanal	4,07	1,66	2,87
	Dekanal	1,6	0	0
	Furfural	15,5	0	0
	Benzaldehyd	3,37	1,67	5,35
	Formaldehyd	130	10	23
Alkoholok	1-Butanol	10,3	8,9	7,17
	1-Pentanol	1,63	1,07	1,8
	Ciklohexanol	2,67	1,49	1,46
	2-Etil-1-hexanol	1,62	0,82	0,88
	Fenol	1,34	0	0
	Propilén-glikol	9,16	0	1,75
	Etilén-glikol	0	0	0
	Etilén-glikol-monobutil-éter	43,6	16,5	17
	Dietilén-glikol-monobutil-éter	0	0	0
	1-Metoxi-2-propanol	0	0	0
	Dipropilén-glikol-monometil-éter	35,1	2,9	6,95
	2-Etoxietanol	0	0	0
Ketonok	Ciklohexanon	0	0	0
	Acetofenon	0	0	0
Karbonsav	Ecetsav	138	8,29	22,6
	TVOC	2000	794	>1190

4.3.a. Táblázat: A fűtési időszak alatt, februárban végzett Mérés III. eredményei

A beépített faáru méretre szabása miatt a formaldehyd értéke $130\mu\text{g}/\text{m}^3$, mely meghaladja a WHO által megadott $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ -t (WHO, 2000). Az ecetsav értékének ($138\mu\text{g}/\text{m}^3$) jelentős növekedése pedig a szilikonos fugázó anyagból származtatható. A benzol a detektálható érték alá csökkent. A 3-karén maximális értéke ($233\mu\text{g}/\text{m}^3$). Az alfa-pinén ($300\mu\text{g}/\text{m}^3$) is jelentősen megemelkedett az előző mérésekhez képest.

	Mért érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Közép-Európai átlag érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MSZ Szabvány érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	WHO érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Benzol	0	3,1	3000	0,17 - 17
Toluol	6,13	20,6	190000	-
Sztirol	0	1,1	50000	-
Formaldehid	130	29,8	600	100
Naftalin	0	1,1	5000	10
Limonén	15,8	17,2	-	-
Alfa-pinén	300	12,9	-	-

4.3.b. Táblázat: mért értékek, Közép-Európára érvényes, publikált átlag értékek (Sarigiannis, 2011), a Magyarországi szabvány értékek munkahelyi levegőre (MSZ 21461-2 1992), a WHO által közölt egészségügyi határértékek (WHO, 2012)

A 4.3.b. táblázat mutatja a mért értékeket, a közép-európai átlag értékeket, a Magyarországi szabvány értékeket munkahelyi levegőre, valamint az Egészségügyi Világszervezet (WHO) által közölt egészségügyi határértékeket. A benzol és sztirol mért értéke a detektálás határa alá csökkent, valamint a limonén értéke is a középérték alá csökkent. A formaldehid és alfa-pinén értéke viszont jelentősen megemelkedett (Sarigiannis, 2011). A munkahelyi levegőre megadott szabvány értékeket egyik koncentráció sem lépte túl (MSZ 21461-2 1992). A WHO által megadott értékek közül egyedül a formaldehid mért értéke lépte túl a megengedett határértéket.

A német Építőanyagok Egészségügyi Értékelő Bizottsága (AgBB) által megadott szabvány szerinti egészségügyi kockázat (LCI) elemzés elvégzése után megállapítottam, hogy egyik komponens hányadosa (mért érték / LCI érték) sem nagyobb, mint 1, így nem jelentenek egészségügyi kockázatot. Ezen belül kiemelkedik a furfurál (0,775) értéke a többi vizsgált anyagok közül. Az alfa-pinén (0,2), fenol (0,134) és ecetsav (0,276) egészségügyi kockázata azonosnak tekinthető, de még ezek sem jelentenek kockázatot az emberekre (4.3.c. Táblázat).

Komponens	CAS szám	LCI érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mért érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hányados
Toluol	108-88-3	1900	6,13	0,0032263
Etilbenzol	100-41-4	4400	1,66	0,0003773
1,3-Xilol és 1,4-Xilol	106-42-3; 108-38-3	2200	6,72	0,0030545
1,2-Xilol	95-47-6	2200	1,97	0,0008955
1,2,4-Trimetilbenzol	108-67-8	1000	2,07	0,00207
1,2,3-Trimetilbenzol	526-73-8	1000	1,63	0,00163
1-Isopropil-4-metilbenzol	99-87-6	1100	6,72	0,0061091
1,2,4,5-Tetrametilbenzol	95-93-2	1100	1,84	0,0016727
n-Butilbenzol	104-51-8	1100	1	0,0009091
n-Undekán	1120-21-4	6000	14,8	0,0024667
n-Dodekán	112-40-3	6000	17,4	0,0029
n-Tridekán	629-50-5	6000	15,2	0,0025333
n-Tetradekán	629-59-4	6000	22,3	0,0037167
n-Pentadekán	629-62-9	6000	8,53	0,0014217
n-Hexadekán	544-76-3	6000	3,42	0,00057

n-Oktadekán	593-45-3	6000	1	0,0001667
3-Karén	498-15-7	1500	85,8	0,0572
alfa-Pinén	80-56-8	1500	300	0,2
béta-Pinén	127-91-3	1500	33,1	0,0220667
Limonén	5898-27-5	1500	15,8	0,0105333
Hexanal	66-25-1	890	20,7	0,0232584
Heptanal	111-71-7	1000	0,96	0,00096
Nonanal	124-19-6	1300	4,07	0,0031308
Dekanal	112-31-2	1400	1,6	0,0011429
Furfural	98-01-1	20	15,5	0,775
Benzaldehid	100-52-7	90	5,35	0,0594444
1-Butanol	71-36-3	3100	10,3	0,0033226
1-Pentanol	71-41-0	730	1,8	0,0024658
Ciklohexanol	108-93-0	2100	2,67	0,0012714
2-Etil-1-hexanol	104-76-7	1100	1,62	0,0014727
Fenol	108-95-2	10	1,34	0,134
Propilénglikol	57-55-6	2500	9,16	0,003664
Etilénglikol-monobutil-éter	111-76-2	980	43,6	0,0444898
Dipropilénglikol-monometil-éter	34590-94-8	3100	35,1	0,0113226
Ecetsav	64-19-7	500	138	0,276

4.3.c. Táblázat: Mérés III. értékeinek a német szabvány szerinti egészségügyi kockázat (LCI) elemzése (Agbb, 2012)

4.4. Mérés IV.

A 4. mérés egy hónap elteltével történt. A beltéri ajtókat már korábban beszerelték, kivéve a tetőtéri szobánál, ezért a 3. mintát a fürdőszoba helyiségéből vettük. Kísérletképpen a légfűtés és a padlófűtés bekapcsolásával a beltéri levegő hőmérsékletét 21°C -ra növeltük. Ez volt a legfontosabb része a kísérletnek, hiszen ez a hőmérséklet felel meg átlagosnak egy téli időszakban (Frontszak és tsai, 2011). A 4.4.a. táblázat mutatja a márciusban végzett mérési eredményeket. Az egyes helyiségekben mért VOC anyagok értékének az összegét mutatja a TVOC (Total Volatile Organic Compounds).

Mérés időpontja	Téli időszak	Március		
Légparaméterek	Hőmérséklet (°C)	21		
	R.Pára (%)	40		
	Komponensek (µg/m ³)	1. Nappali	2. Szoba	3. fürdő
Aromás szénhidrogének	Benzol	0	1,66	0
	Toluol	4,97	6,85	19,7
	Etilbenzol	4,14	4,38	33
	1,3-Xilol és 1,4-Xilol	11,6	12,5	104
	1,2-Xilol	0	0	0
	n-Propilbenzol	1,62	1,99	2,49
	1,2,4-Trimetilbenzol	2,08	0	5,5

	1,2,3-Trimetilbenzol	1,91	1,69	2,66
	1-Isopropil-4-metilbenzol	0	0	0
	1,2,4,5-Tetrametilbenzol	0	3,32	1,87
	n-Butilbenzol	0	1,11	1,46
	Sztirol	3,52	4,98	0
	Egyéb alkilbenzolok	33	42	35
	Naftalin	1,13	1,06	1,81
Alifás szénhidrogének	n-Heptán	0	0	0
	n-Dekán	4,84	3,24	17,1
	n-Undekán	21,1	13,7	18,8
	n-Dodekán	10,3	9,72	6,47
	n-Tridekán	41	19,5	21,6
	n-Tetradekán	43,3	33,2	30,9
	n-Pentadekán	15,4	13,1	11,6
	n-Hexadekán	8,12	5,8	5,4
	n-Oktadekán	2,61	1,53	1,43
Terpének	3-Karén	300	244	274
	alfa-Pinén	300	300	300
	béta-Pinén	55,9	52,9	47,8
	Limonén	59,7	51,9	46,3
	Egyéb terpének	81	56	48
Aldehidek	Pentanal	17,6	22,7	<0,8
	Hexanal	79	57,8	65,9
	Heptanal	4,67	5,45	4,64
	Nonanal	12,7	7,66	7,56
	Dekanal	3,53	3,14	1,88
	Furfural	1,55	0	0
	Benzaldehid	9,87	10,4	16,8
	Formaldehid	32	21	49
Alkoholok	1-Butanol	10,7	11,6	15
	1-Pentanol	4,67	5,64	6,11
	Ciklohexanol	0	0	0
	2-Etil-1-hexanol	9,74	6,24	8,7
	Fenol	0	0	0
	Propilén-glikol	5,67	1,92	7,7
	Etilén-glikol	0	0	0
	Etilén-glikol-monobutil-éter	16,9	12,5	10,2
	Dietilén-glikol-monobutil-éter	0	0	0
	1-Metoxi-2-propanol	17,6	15,6	17,8
	Dipropilén-glikol-monometil-éter	11,1	5,66	6,52
2-Etoxietanol	0	0	0	
Ketonok	Ciklohexanon	7,06	10,5	6,47
	Acetofenon	1,53	1,64	3,72
Karbonsav	Ecetsav	0	0	0
	TVOC	2970	2270	2410

4.4.a. Táblázat: A fűtési időszak alatt, márciusban végzett Mérés IV. eredményei

Itt jelentkeztek a legmagasabb mért koncentrációk: 3-karén ($300\mu\text{g}/\text{m}^3$), alfa-pinén ($300\mu\text{g}/\text{m}^3$) jelentősen magasabb az átlagnál, a hexanál ($79\mu\text{g}/\text{m}^3$), és acetát ($110\mu\text{g}/\text{m}^3$) közepesen eltérő értékek. A xilol értéke a fürdő helyiségében viszont jelentősen emelkedett ($104\mu\text{g}/\text{m}^3$). A formaldehid, béta-pinén, limonén értékei közelítik meg az $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ értéket. A formaldehid értéke viszont $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ alá csökkent. A benzol ($1,66\mu\text{g}/\text{m}^3$) viszont mérhető volt újra az egyik helyiségben, de értéke nem jelentős.

A 4.4.b. táblázat mutatja a mért értékeket, a közép-európai átlag értékeket, a Magyarországi szabvány értékeket munkahelyi levegőre, valamint az Egészségügyi Világszervezet (WHO) által közölt egészségügyi határértékeket. A benzol értéke enyhén emelkedett, míg a toluol mért értéke megközelítette a középértéket. A többi anyag mért értéke mind túl lépte a középértéket (Sarigiannis, 2011). A munkahelyi levegőre megadott szabvány értékeket egyik koncentráció sem lépte túl (MSZ 21461-2 1992). A WHO által megadott értékek közül egyiket sem lépték túl a mért értékek.

	Mért érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Közép-Európai átlag érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MSZ Szabvány érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	WHO érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Benzol	1,66	3,1	3000	0,17 - 17
Toluol	19,07	20,6	190000	-
Sztirol	4,98	1,1	50000	-
Formaldehid	49	29,8	600	100
Naftalin	1,81	1,1	5000	10
Limonén	59,7	17,2	-	-
Alfa-pinén	300	12,9	-	-

4.4.b. Táblázat: mért értékek, Közép-Európára érvényes, publikált átlag értékek (Sarigiannis, 2011), a Magyarországi szabvány értékek munkahelyi levegőre (MSZ 21461-2 1992), a WHO által közölt egészségügyi határértékek (WHO, 2012)

A német Építőanyagok Egészségügyi Értékelő Bizottsága (AgBB) által megadott szabvány szerinti egészségügyi kockázat (LCI) elemzés elvégzése után megállapítottam, hogy egyik komponens hányadosa (mért érték / LCI érték) sem nagyobb, mint 1, így nem jelentenek egészségügyi kockázatot. Ezen belül a benzol (0,332), naftalin (0,181), 3-karén (0,2), alfa-pinén (0,2) és benzaldehid (0,186) értékei azonosnak tekinthető, de nem jelentenek egészségügyi kockázatot (4.4.c. Táblázat).

Komponens	CAS szám	LCI érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mért érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hányados
Benzol	71-43-2	5	1,66	0,332
Toluol	108-88-3	1900	6,85	0,003605263
Etilbenzol	100-41-4	4400	4,38	0,000995455
1,3-Xilol és 1,4-Xilol	106-42-3; 108-38-3	2200	12,5	0,005681818
n-Propilbenzol	103-65-1	1000	2,49	0,00249
1,2,4-Trimetilbenzol	108-67-8	1000	5,5	0,0055
1,2,3-Trimetilbenzol	526-73-8	1000	2,66	0,00266
1,2,4,5-	95-93-2	1100	3,32	0,003018182

Tetrametilbenzol				
n-Butilbenzol	104-51-8	1100	1,46	0,001327273
Sztirol	100-42-5	860	4,98	0,005790698
Egyéb alkilbenzolok		1000	42	0,042
Naftalin	91-20-3	10	1,81	0,181
n-Dekán	124-18-5	6000	4,84	0,000806667
n-Undekán	1120-21-4	6000	21,1	0,003516667
n-Dodekán	112-40-3	6000	10,3	0,001716667
n-Tridekán	629-50-5	6000	41	0,006833333
n-Tetradekán	629-59-4	6000	43,3	0,007216667
n-Pentadekán	629-62-9	6000	15,4	0,002566667
n-Hexadekán	544-76-3	6000	8,12	0,001353333
n-Oktadekán	593-45-3	6000	2,61	0,000435
3-Karén	498-15-7	1500	300	0,2
alfa-Pinén	80-56-8	1500	300	0,2
béta-Pinén	127-91-3	1500	55,9	0,037266667
Limonén	5898-27-5	1500	59,7	0,0398
Egyéb terpének		1500	81	0,054
Pentanal	110-62-3	1700	17,6	0,010352941
Hexanal	66-25-1	890	79	0,088764045
Heptanal	124-19-6	1300	5,45	0,004192308
Nonanal	124-19-6	1300	12,7	0,009769231
Dekanal	112-31-2	1400	3,53	0,002521429
Furfural	98-01-1	20	1,55	0,0775
Benzaldehid	100-52-7	90	16,8	0,186666667
1-Butanol	71-36-3	3100	15	0,00483871
1-Pentanol	71-41-0	730	6,11	0,008369863
2-Etil-1-hexanol	104-76-7	1100	9,74	0,008854545
Propilénglikol	57-55-6	2500	7,7	0,00308
Etilénglikol- monobutil-éter	111-76-2	980	16,9	0,017244898
1-Metoxi-2-propanol	107-98-2	3700	17,8	0,004810811
Dipropilénglikol- monometil-éter	34590-94-8	3100	11,1	0,003580645
Ciklohexanon	108-94-1	410	10,5	0,025609756

4.4.c. Táblázat: Mérés IV. értékeinek a német szabvány szerinti egészségügyi kockázat (LCI) elemzése (Agbb, 2012)

4.5. Mérés V.

Az 5. mérést júniusban végeztem, amikor a legmelegebb volt a kinti hőmérséklet (40°C). A házban nem működött szellőztető rendszer, csak természetes szellőztetés által cserélődött a levegő. A beltéri hőmérséklet nem emelkedett 24°C fok fölé, még a tetőtéri szobában sem. Ez köszönhető a megfelelő tetőszigetelésnek. Az 5. mérésnél már jelentős emelkedés volt látható a mért eredményeknél. A 4.5.a. táblázat mutatja a júniusban végzett mérési eredményeket, és légparamétereket. Az egyes helyiségekben mért VOC anyagok értékének az összegét mutatja a TVOC (Total Volatile Organic Compounds).

Mérés időpontja	Nyári időszak	Június		
Légparaméterek	Hőmérséklet (°C)	24		
	R.Pára (%)	43		
	Komponensek (µg/m ³)	1. Nappali	2. Szoba	3.fürdő
Aromás szénhidrogének	Benzol	1,71	1,8	2,35
	Toluol	34,4	37,1	38,4
	Etilbenzol	102	61,6	66,5
	1,3-Xilol és 1,4-Xilol	76,8	90,5	96,8
	1,2-Xilol	16,5	17,3	16,4
	n-Propilbenzol	38,2	38,4	35
	1,2,4-Trimetilbenzol	4,15	6,21	5,81
	1,2,3-Trimetilbenzol	3,48	5,41	2,94
	1-Isopropil-4-metilbenzol	27,9	62,9	59,7
	1,2,4,5-Tetrametilbenzol	2,4	3,67	3,17
	n-Butilbenzol	2,72	4,1	3,75
	Sztírol	134	147	127
	Egyéb alkilbenzolak	57	99	83
	Naftalin	0	1,15	1,04
	Alifás szénhidrogének	n-Heptán	7,07	7,41
n-Dekán		10,6	9,07	16,6
n-Undekán		44,1	61,8	34,4
n-Dodekán		15,5	63,2	49
n-Tridekán		75,1	59,8	93,2
n-Tetradekán		67,6	70,6	84,1
n-Pentadekán		21,1	36,2	20,1
n-Hexadekán		7,8	15,2	13,9
n-Oktadekán		1,58	2,1	1,94
Terpének	3-Karén	2120	468	1500
	alfa-Pinén	1130	1520	2710
	béta-Pinén	157	145	187
	Limonén	178	118	289
	Egyéb terpének	132	195	221
Aldehydekek	Pentanal	0	0	0
	Hexanal	0	0	0
	Heptanal	0	0	0
	Nonanal	0	0	0
	Dekanal	0	0	0
	Furfural	0	0	0
	Benzaldehid	0	0	0
	Formaldehid	41	35	51
Alkoholok	1-Butanol	30,5	27,1	33
	1-Pentanol	21,5	20,5	27,7
	Ciklohexanol	0	0	0
	2-Etil-1-hexanol	3,08	0	6
	Fenol	3,5	2,2	6,4
	Propilénglikol	6,19	7,51	12
	Etilénglikol	0	0	0

	Etilénglikol-monobutil-éter	25,9	25,9	34,1
	Dietilénglikol-monobutil-éter	0	0	0
	1-Metoxi-2-propanol	29,3	35,7	20,3
	Dipropilénglikol-monometil-éter	5,46	5,95	6,73
	2-Etoxietanol	0	0	0
Ketonok	Ciklohexanon	0	0	0
	Acetofenon	9,17	7,12	9,25
Karbonsav	Ecetsav	65,5	41,3	141
	TVOC	7130	6610	9480

4.5.a. Táblázat: a nyári időszak alatt, júniusban végzett Mérés V. eredményei

Az aromás szénhidrogének (toluol, sztirol, etil-benzol) és az aldehidek (hexanál, benzaldehid) értékei duplájára emelkedtek az előző értékekhez képest. A legkritikusabb emelkedés a terpéneknél (alfa-pinén, limonén, 3-karén) jelentkezett, amik értéke megtízszereződött. A legmagasabb értékek a fürdőszobában jelentkeztek, mivel ennek a helyiségnek nincs ablaka, így a természetes levegő keringése kevésbé volt hatékony.

A 4.5.b. táblázat mutatja a mért értékeket, a közép-európai átlag értékeket, a Magyarországi szabvány értékeket munkahelyi levegőre, valamint az Egészségügyi Világszervezet (WHO) által közölt egészségügyi határértékeket. A benzol értéke továbbra is enyhén emelkedett, míg a toluol mért értéke most már túl lépte a középértéket. A többi anyag mért értéke továbbra is mind túl lépte a középértéket, a formaldehid duplájára emelkedett, és a legkritikusabb emelkedés az alfa-pinénél és a sztirolnál jelentkezett, az alfa-pinén 10-szeresére emelkedett, míg a sztirol 30-szorosára az előző értékekhez képest (Sarigiannis, 2011). A munkahelyi levegőre megadott szabvány értékeket egyik koncentráció sem lépte túl (MSZ 21461-2 1992). A WHO által megadott értékek közül egyiket sem lépték túl a mért értékek, a formaldehid értéke viszont megközelítette a megadott határértéket.

	Mért érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Közép-Európai átlag érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MSZ Szabvány érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	WHO érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Benzol	2,35	3,1	3000	0,17 - 17
Toluol	38,4	20,6	190000	-
Sztirol	147	1,1	50000	-
Formaldehid	99	29,8	600	100
Naftalin	1,15	1,1	5000	10
Limonén	289	17,2	-	-
Alfa-pinén	2710	12,9	-	-

4.5.b. Táblázat: mért értékek, Közép-Európára érvényes, publikált átlag értékek (Sarigiannis, 2011), a Magyarországi szabvány értékek munkahelyi levegőre (MSZ 21461-2 1992), a WHO által közölt egészségügyi határértékek (WHO, 2012)

A német Építőanyagok Egészségügyi Értékelő Bizottsága (AgBB) által megadott szabvány szerinti egészségügyi kockázat (LCI) elemzés elvégzése után megállapítottam, hogy a 3-karén (1,41), alfa-pinén (1,8) hányadosa (mért érték / LCI érték) nagyobb, mint 1, így ezek

egészségügyi kockázatot jelentenek. A benzol (0,47), fenol (0,64) értékei kiemelkedők, de nem jelentenek kockázatot. A sztirol (0,17), naftalin (0,11), a béta-pinén (0,12), limonén (0,19) és egyéb terpének (0,14) valamint az ecetsav (0,28) értékei azonosnak tekinthető, de nem jelentenek kockázatot (4.5.c. Táblázat).

Komponens	CAS szám	LCI érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mért érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hányados
Benzol	71-43-2	5	2,35	0,47
Toluol	108-88-3	1900	38,4	0,02021053
Etilbenzol	100-41-4	4400	66,5	0,01511364
1,3-Xilol és 1,4-Xilol	106-42-3; 108-38-3	2200	96,8	0,044
1,2-Xilol	95-47-6	2200	16,5	0,0075
n-Propilbenzol	103-65-1	1000	38,4	0,0384
1,2,4-Trimetilbenzol	108-67-8	1000	6,21	0,00621
1,2,3-Trimetilbenzol	526-73-8	1000	5,41	0,00541
1-Isopropil-4-metilbenzol	99-87-6	1100	62,9	0,05718182
1,2,4,5-Tetrametilbenzol	95-93-2	1100	3,67	0,00333636
n-Butilbenzol	104-51-8	1100	4,1	0,00372727
Sztirol	100-42-5	860	147	0,17093023
Egyéb alkilbenzolok		1000	99	0,099
Naftalin	91-20-3	10	1,15	0,115
n-Dekán	124-18-5	6000	16,6	0,00276667
n-Undekán	1120-21-4	6000	61,8	0,0103
n-Dodekán	112-40-3	6000	63,2	0,01053333
n-Tridekán	629-50-5	6000	93,2	0,01553333
n-Tetradekán	629-59-4	6000	84,1	0,01401667
n-Pentadekán	629-62-9	6000	36,2	0,00603333
n-Hexadekán	544-76-3	6000	15,2	0,00253333
n-Oktadekán	593-45-3	6000	2,1	0,00035
3-Karén	498-15-7	1500	2120	1,41333333
alfa-Pinén	80-56-8	1500	2710	1,80666667
béta-Pinén	127-91-3	1500	187	0,12466667
Limonén	5898-27-5	1500	289	0,19266667
Egyéb terpének		1500	221	0,14733333
1-Butanol	71-36-3	3100	33	0,01064516
1-Pentanol	71-41-0	730	27,7	0,03794521
2-Etil-1-hexanol	104-76-7	1100	6	0,00545455
Fenol	108-95-2	10	6,4	0,64
Propilénglikol	57-55-6	2500	12	0,0048
Etilénglikol-monobutil-éter	111-76-2	980	34,1	0,03479592
Dipropilénglikol-monometil-éter	34590-94-8	3100	6,73	0,00217097
Ecetsav	64-19-7	500	141	0,282

4.5.c. Táblázat: Mérés V. értékeinek a német szabvány szerinti egészségügyi kockázat (LCI) elemzése (Agbb, 2012)

4.6. Mérés VI.

A 6. mérést júliusban végeztem, amikor a kinti hőmérséklet továbbra is magas volt (40°C), és a belső hőmérséklet megemelkedett 26°C fokra. A mért eredmények jelentős javulást mutattak. Ennek oka feltételezhetően, hogy a belső hőmérséklet nem emelkedett 26°C fok fölé, és az esetenkénti természetes szellőztetés elegendő volt a beltéri levegő minőségének javítására. Szinte az összes mért érték vissza csökkent az első mérés értékeire. A 4.6.a. táblázat mutatja a júliusban végzett mérési eredményeket, és légparamétereket. Az egyes helyiségekben mért VOC anyagok értékének az összegét mutatja a TVOC (Total Volatile Organic Compounds).

Mérés időpontja	Nyári időszak	Július		
Légparaméterek	Hőmérséklet (°C)	26		
	R.Pára (%)	43		
	Komponensek (µg/m ³)	1. Nappali	2. Tetőtér	3. fürdő
Aromás szénhidrogének	Benzol	0	1,65	0
	Toluol	4,81	6,21	3,36
	Etilbenzol	6,64	3,22	5,09
	1,3-Xilol és 1,4-Xilol	7,09	4,19	5,14
	1,2-Xilol	1,7	1	1,22
	n-Propilbenzol	3,14	1,27	2,53
	1,2,4-Trimetilbenzol	0	0	0
	1,2,3-Trimetilbenzol	0	0	0
	1-Isopropil-4-metilbenzol	6,93	5,67	6,16
	1,2,4,5-Tetrametilbenzol	0	0	0
	n-Butilbenzol	0	0	0
	Sztirol	7,93	6,27	4,29
	Egyéb alkilbenzolok	4,6	0	5,4
	Naftalin	0	0	0
Alifás szénhidrogének	n-Heptán	1,08	0	1,27
	n-Dekán	1,43	0,97	1,36
	n-Undekán	4,71	3,25	3,79
	n-Dodekán	4,83	3,41	4,42
	n-Tridekán	16,5	12	11,3
	n-Tetradekán	23,4	18,1	17,6
	n-Pentadekán	9,84	8,14	10,8
	n-Hexadekán	5,52	4,54	7,87
	n-Oktadekán	1,38	1,69	1,49
Terpének	3-Karén	232	157	171
	alfa-Pinén	284	211	217
	béta-Pinén	34,9	23,7	28,4
	Limonén	30,2	21,9	25,1
	Egyéb terpének	17,2	10	10,1
Aldehydekek	Pentanal	14,6	8,95	20
	Hexanal	57,1	42	66,9
	Heptanal	3,52	2,76	3,65
	Nonanál	13,8	11,1	14,9

	Dekánál	7,38	6,71	6,78
	Furfurál	1,7	0,95	2,44
	Benzaldehid	11,7	10,1	9,18
	Formaldehid	32	24	40
Alkoholok	1-Butanol	7,66	3,36	9,24
	1-Pentanol	5,85	3,89	7,92
	Ciklohexanol	0	0	0
	2-Etil-1-hexanol	5,4	3,91	3,89
	Fenol	0	0	1,76
	Propilén-glikol	11,1	6,29	11,4
	Etilén-glikol	0	0	0
	Etilén-glikol-monobutil-éter	7,68	5,05	10,8
	Dietilén-glikol-monobutil-éter	0	0	0
	1-Metoxi-2-propanol	0	0	0
	Dipropilén-glikol-monometil-éter	3,37	1,19	6,45
	2-Etoxietanol	0	0	0
Ketonok	Ciklohexanon	2,35	1,62	1,34
	Acetofenon	2,15	2,08	1,74
Karbonsav	Ecetsav	34,9	23,2	83,4
	TVOC	1600	1190	1440

4.6.a. Táblázat: a nyári időszak alatt, júliusban végzett Mérés VI. eredményei

A 4.6.b. táblázat mutatja a mért értékeket, a közép-európai átlag értékeket, a Magyarországi szabvány értékeket munkahelyi levegőre, valamint az Egészségügyi Világszervezet (WHO) által közölt egészségügyi határértékeket. A benzol és toluol értéke lecsökkent, a naftalin nem volt detektálható. A sztirol, limonén és alfa-pinén mért értékei lépték túl jelentősebben a közép-európai értékeket, míg a formaldehid a középérték közelében maradt. (Sarigiannis, 2011). A munkahelyi levegőre megadott szabvány értékeket egyik koncentráció sem lépte túl (MSZ 21461-2 1992). A WHO által megadott értékek közül egyiket sem lépték túl a mért értékek.

	Mért érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Közép-Európai átlag érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MSZ Szabvány érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	WHO érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Benzol	1,65	3,1	3000	0,17 - 17
Toluol	4,81	20,6	190000	-
Sztirol	7,93	1,1	50000	-
Formaldehid	32	29,8	600	100
Naftalin	0	1,1	5000	10
Limonén	30,2	17,2	-	-
Alfa-pinén	284	12,9	-	-

4.6.b. Táblázat: mért értékek, Közép-Európára érvényes, publikált átlag értékek (Sarigiannis, 2011), a Magyarországi szabvány értékek munkahelyi levegőre (MSZ 21461-2 1992), a WHO által közölt egészségügyi határértékek (WHO, 2012)

A német Építőanyagok Egészségügyi Értékelő Bizottsága (AgBB) által megadott szabvány szerinti egészségügyi kockázat (LCI) elemzés elvégzése után megállapítottam, hogy egyik komponens hányadosa (mért érték / LCI érték) sem nagyobb, mint 1, így nem jelentenek egészségügyi kockázatot. Ezen belül a benzol értéke (0,33) kiemelkedőbb, de nem jelent kockázatot. A 3-karén (0,15), alfa-pinén (0,18), furfural (0,12), benzaldehid (0,13) és fenol (0,17) valamint az ecetsav (0,16) értékei azonosnak tekinthető, de nem jelentenek kockázatot (4.6.c. Táblázat).

Komponens	CAS szám	LCI érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mért érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hányados
Benzol	71-43-2	5	1,65	0,33
Toluol	108-88-3	1900	6,21	0,003268421
Etilbenzol	100-41-4	4400	6,64	0,001509091
1,3-Xilol és 1,4-Xilol	106-42-3; 108-38-3	2200	7,09	0,003222727
1,2-Xilol	95-47-6	2200	1,7	0,000772727
n-Propilbenzol	103-65-1	1000	3,14	0,00314
1-Isopropil-4- metilbenzol	99-87-6	1100	6,93	0,0063
Sztirol	100-42-5	860	7,93	0,00922093
Egyéb alkilbenzolok		1000	5,4	0,0054
n-Dekán	124-18-5	6000	1,43	0,000238333
n-Undekán	1120-21-4	6000	4,71	0,000785
n-Dodekán	112-40-3	6000	4,83	0,000805
n-Tridekán	629-50-5	6000	16,5	0,00275
n-Tetradekán	629-59-4	6000	23,4	0,0039
n-Pentadekán	629-62-9	6000	10,8	0,0018
n-Hexadekán	544-76-3	6000	7,87	0,001311667
n-Oktadekán	593-45-3	6000	1,69	0,000281667
3-Karén	498-15-7	1500	232	0,154666667
alfa-Pinén	80-56-8	1500	284	0,189333333
béta-Pinén	127-91-3	1500	34,9	0,023266667
Limonén	5898-27-5	1500	30,2	0,020133333
Egyéb terpének		1500	17,2	0,011466667
Pentanal	110-62-3	1700	20	0,011764706
Hexanal	66-25-1	890	66,9	0,075168539
Heptanal	124-19-6	1300	3,65	0,002807692
Nonanal	124-19-6	1300	14,9	0,011461538
Dekanal	112-31-2	1400	7,38	0,005271429
Furfural	98-01-1	20	2,44	0,122
Benzaldehid	100-52-7	90	11,7	0,13
1-Butanol	71-36-3	3100	9,24	0,002980645
1-Pentanol	71-41-0	730	7,92	0,010849315
2-Etil-1-hexanol	104-76-7	1100	5,4	0,004909091
Fenol	108-95-2	10	1,76	0,176
Propilén-glikol	57-55-6	2500	11,4	0,00456
Etilén-glikol-monobutil-	111-76-2	980	10,8	0,011020408

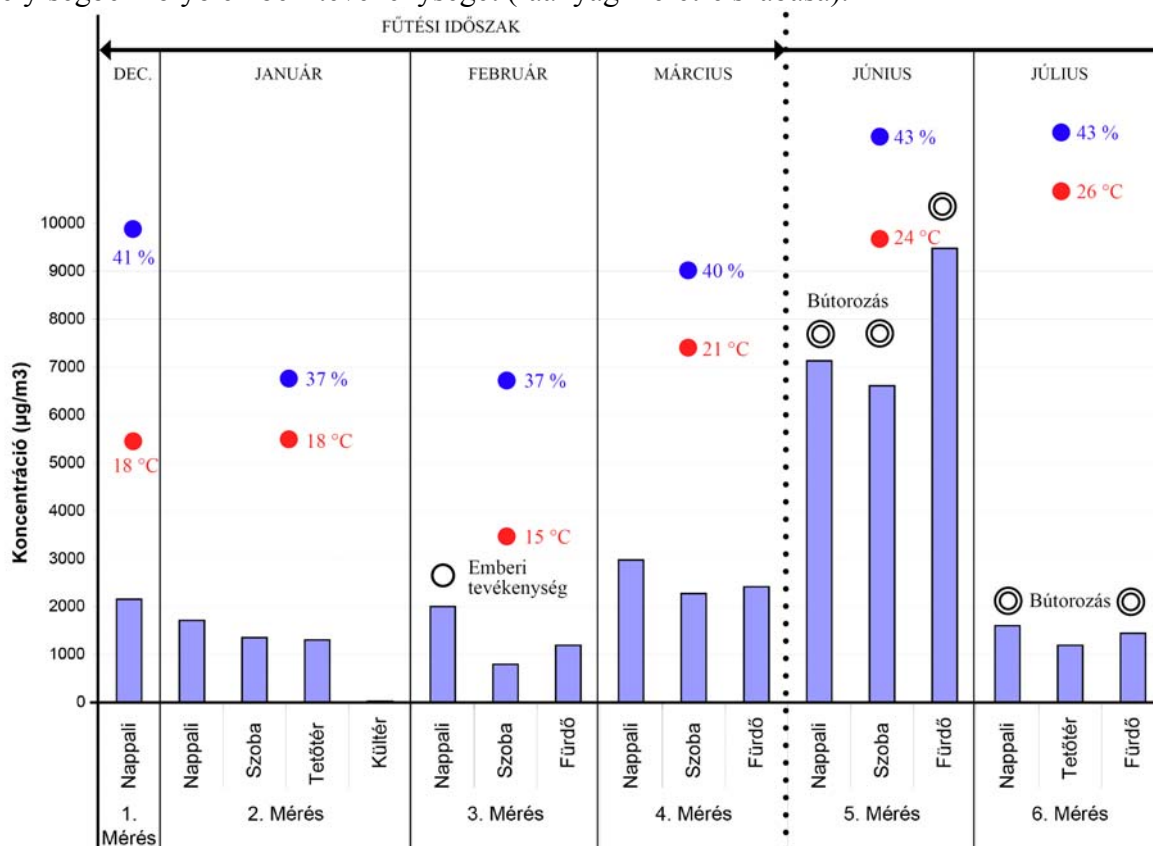
éter				
Dipropilénglikol-monometil-éter	34590-94-8	3100	6,45	0,002080645
Ciklohexanon	108-94-1	410	2,35	0,005731707
Ecetsav	64-19-7	500	83,4	0,1668

4.6.c. Táblázat: Mérés VI. értékeinek a német szabvány szerinti egészségügyi kockázat (LCI) elemzése (Agbb, 2012)

4.7. Mérési eredmények összesített értékelése

4.7.1. A TVOC értékek változása

A beltérben mért illékony szerves anyagok koncentrációinak összegzésével kapjuk meg a TVOC (Total Organic Volatile Compounds) értékeket. A TVOC értékek mozgása összefüggött a beltéri levegő hőmérséklet és relatív páratartalmának változásával, továbbá a helyiségekben végzett emberi tevékenységekkel, és a bútorozás. Ezeket az értékeket ábrázoltam a 4.7.1.a. Grafikonon. A kék pontok jelölik a beltéri levegő hőmérsékletét az egyes méréseknél, a piros pontok jelölik a beltéri levegő relatív páratartalmát az egyes méréseknél, a fekete duplakörök jelölik az adott helyiség bebútorozását, a szíla kör a helyiségben folyó emberi tevékenységet (faanyag méretre szabása).



4.7.1.a. Grafikon: A beltéri levegőminőség méréseinek összesített TVOC értékei a beltéri levegő hőmérsékletének és relatív páratartalmának összefüggésében

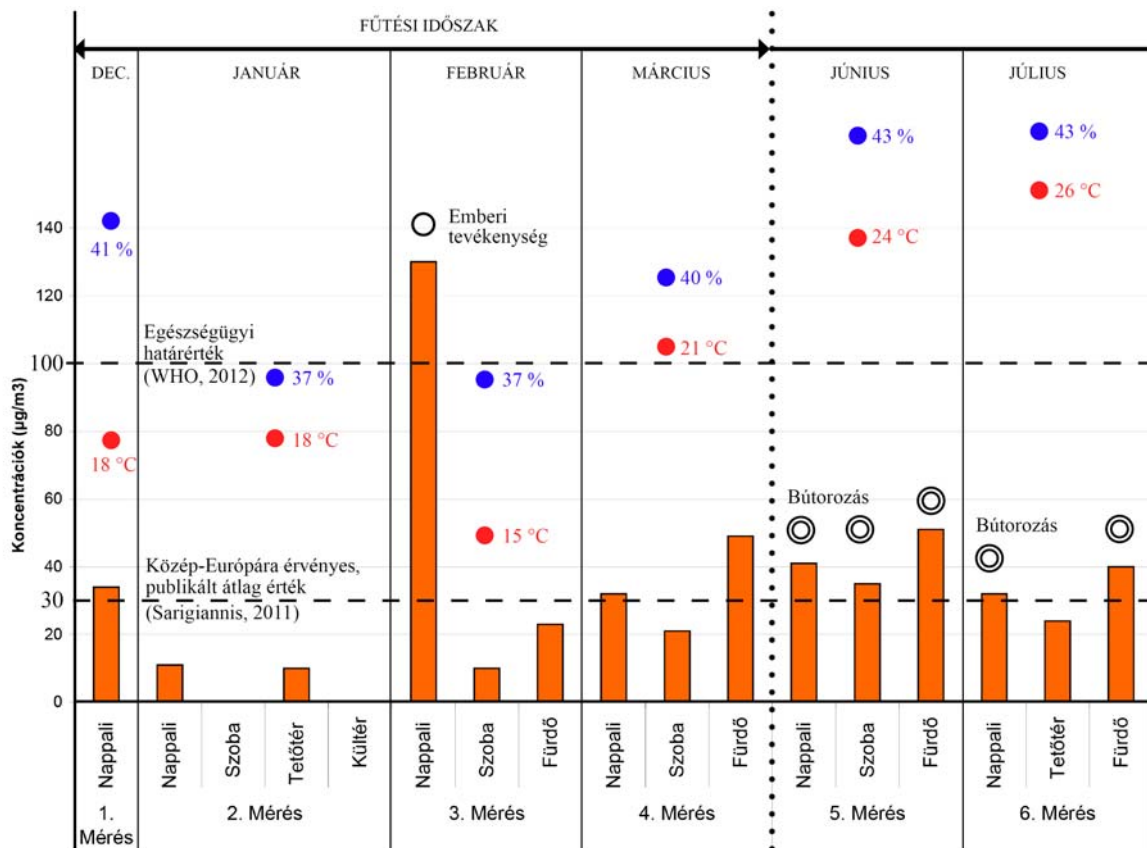
Az első mérés TVOC értéke $2150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ volt, ami az utolsó mérésnél lecsökkent $1190 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re. A legalacsonyabb érték a téli időszak 3. mérésénél volt megfigyelhető, a legmagasabb érték pedig az 5. mérésnél a nyári időszak alatt.

- I. Az első mérés után bekapcsolt légkeveréses fűtés hatására a TVOC koncentrációk lecsökkennek. Ez azzal is magyarázható, hogy – bár a hőmérséklet nem emelkedett – a beltérben mesterségesen kialakított légmozgás homogén koncentráció eloszlást hozott létre.
- II. A 2. mérésnél vett kültéri levegőminta eredményei alapján ($\text{TVOC} = 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) megállapítható, hogy a káros anyagok 93% -a nem származik a kültéri levegőből. Egyedül a benzol kültéri értéke ($3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) volt magasabb a beltérben mért koncentrációnál ($2,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Így feltételezhető, hogy a ház közvetlen környezetében van benzol forrás. A toluol ($2,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) és xilol ($1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) külső térben mért értékei alacsonyabbak voltak a beltérben mért koncentrációiknál, ezért megállapítható, hogy a beltérben is vannak forrásaik.
- III. A fűtési időszak 4. mérése során a 21°C -ra történő felfűtésnél már a padlófűtést is bekapcsolták. Ebből arra lehet következtetni, hogy a padlófűtés üzeme eredményezte a megnövekedett TVOC koncentrációt a 3. mérés alacsony értékeihez képest. Ezt a feltételezésünket a (Young és tsa, 2012) tanulmány is igazolni látszik.
- IV. A júniusban végzett 5. mérésnél megállapítható, a megemelkedett belső hőmérséklet, valamint a szobák bebútorozása okozták az értékek drasztikus növekedését.
- V. A júliusi mérésnél a természetes szellőztetés hatására a kritikus értékek lecsökkentek, és a beltéri levegő minősége a kezdeti állapothoz képest egy jobb szintet ért el.

4.7.2. A formaldehid koncentrációjának változása

A formaldehid értéke csak egy esetben lépte túl a WHO által közölt egészségügyi határértéket ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{-t}$) (WHO, 2012). A 3. mérésnél $130 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{-t}$ detektáltak. Ennek oka a nappali helyiségben végzett utólagos munkálatok, melynek során faanyagot szabtak méretre a nappali helyiségében. Ez az emelkedés azonban csak átmeneti volt. A 4. - 5. mérésnél mindkét esetben, a fürdőszobában volt a legmagasabb mért érték ($49\text{-}51 \mu\text{g}/\text{m}^3$). A beltéri hőmérséklet folyamatos emelkedése okozhatta a formaldehid értékének lassú emelkedését a 3. méréstől. A 6. mérésnél tapasztalható volt egy kisebb csökkenés, feltételezhetően a természetes szellőztetés hatására. Mivel a fürdőszoba helyisége az egyedüli, aminek nincs külső térre nyíló ablaka, így ott a formaldehid koncentrációja nem változott (4.7.2.a. Grafikon). A Közép-Európára érvényes, publikált átlag értéket ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{-t}$) (Sarigiannis, 2011) főként a fürdőszobában mért koncentrációk lépték túl.

A 4.7.2.a. Grafikonon a kék pontok jelölik a beltéri levegő hőmérsékletét, a piros pontok jelölik a beltéri levegő relatív páratartalmát az egyes méréseknél, a fekete duplakörök jelölik az adott helyiség bebútorozását, a szíplá kör a helyiségben folyó emberi tevékenységet (faanyag méretre szabása).



4.7.2.a. Grafikon: A formaldehid beltérben mért koncentrációi a beltéri levegő hőmérsékletének és relatív páratartalmának, valamint a Közép-Európára érvényes, publikált átlag érték (Sarigiannis, 2011), és a WHO által közölt egészségügyi határérték összefüggésében (WHO, 2012)

4.7.3. Az benzol, toluol, sztirol és naftalin koncentrációinak változása

Benzol, toluol

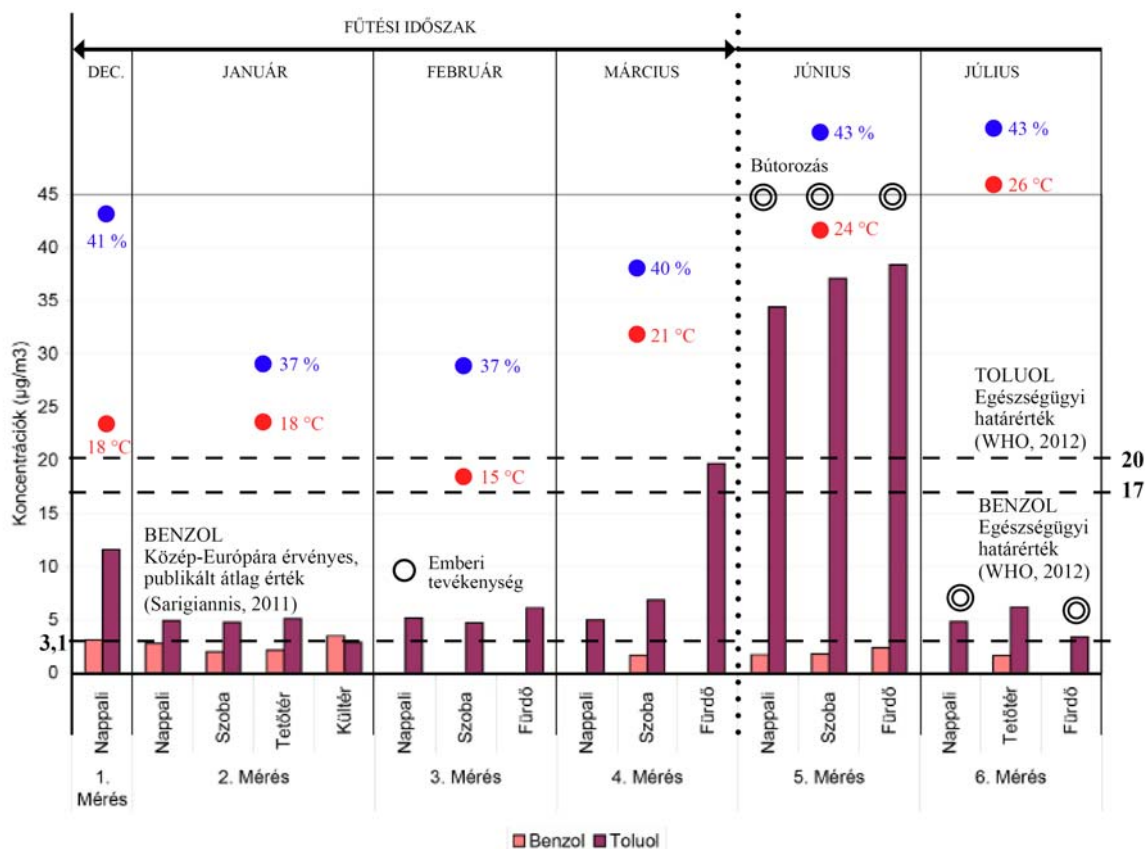
Az aromás szénhidrogének közül a leggyakoribban mérték a benzol, toluol. A benzol legnagyobb koncentrációja $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ volt, mely alatta maradt a Közép-Európában mért átlag értéknek, valamint a WHO által megadott egészségügyi határértéknek is. Megállapítottam, hogy a ház közvetlen környezetében van forrása, mert a külső térben mért értéke ($3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) magasabb volt a beltérben mért koncentrációnál ($2,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

A toluol koncentrációja $2,9 - 38,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ között volt a mérések alatt. Megfigyelhető volt egy jelentősebb csökkenés az első mérés után ($11,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) majd az 5. mérésnél ($34,4 - 38,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mindhárom helyiségben négyszeresére emelkedtek a beltéri koncentrációk. Ez a drasztikus növekedés a beltéri levegő hőmérséklet és relatív páratartalmának változásával, valamint a helyiségek bebútorozásával hozható összefüggésbe. Itt már a WHO által megadott egészségügyi határértéket is túllépte ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). A toluol ($2,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) külső térben mért értéke alacsonyabb volt a beltérben mért koncentrációnál ($5,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ezért megállapítható, hogy a beltérben is van forrása.

Továbbá megállapítható, hogy sem a benzolra, sem a toluolra nem voltak hatással a 3. mérés alatt végzett utólagos munkálatok.

A német Építőanyagok Egészségügyi Értékelő Bizottsága (AgBB) által megadott szabvány szerinti egészségügyi kockázat (LCI) elemzés elvégzése után megállapítottam, hogy egyik anyag hányadosa (mért érték / LCI érték) sem nagyobb, mint 1. Ezért nem jelentenek hosszútávon egészségügyi kockázatot.

A 4.7.3.a. Grafikonon a kék pontok jelölik a beltéri levegő hőmérsékletét, a piros pontok jelölik a beltéri levegő relatív páratartalmát az egyes méréseknél, a fekete duplakörök jelölik az adott helyiség bebútorozását, a szíla kör a helyiségben folyó emberi tevékenységet (faanyag méretre szabása).

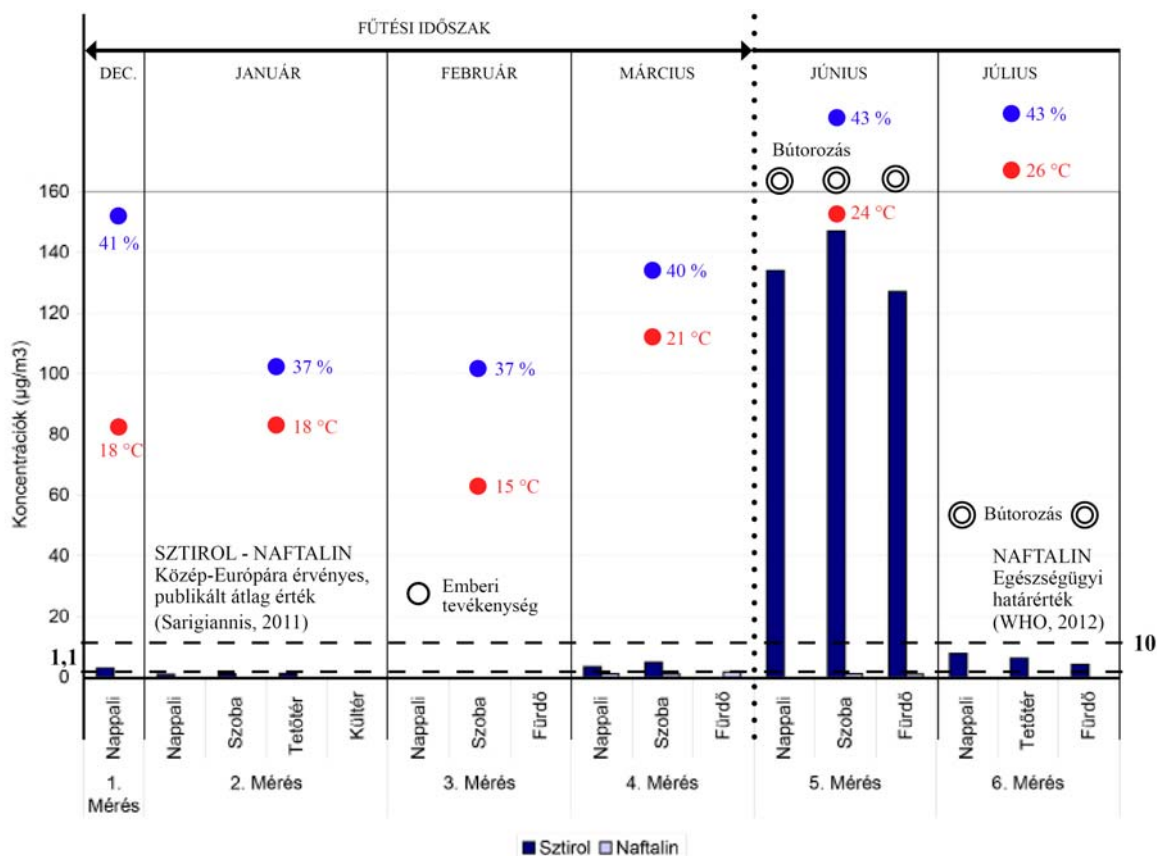


4.7.3.a. Grafikon: A benzol, toluol beltérben mért koncentrációi a beltéri levegő hőmérsékletének és relatív páratartalmának, valamint a Közép-Európára érvényes, publikált átlag érték (Sarigiannis, 2011), és a WHO által közölt egészségügyi határérték összefüggésében (WHO, 2012) összefüggésében

Sztirol, naftalin

A sztirol és naftalin mért koncentrációinak grafikonjából megállapítható, hogy egyedül az 5. mérésnél volt jelentős eltérés megfigyelhető. A drasztikus növekedés a beltéri levegő hőmérséklet és relatív páratartalmának változásával, valamint a helyiségek bebútorozásával hozható összefüggésbe. A sztirol koncentrációja ($147 \mu\text{g}/\text{m}^3$) az 5. mérésnél tért el jelentősen a Közép-Európában mért átlag értéktől ($1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). A naftalin koncentrációja végig a WHO által megadott egészségügyi határérték ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) alatt maradt.

A 4.7.3.b. Grafikonon a kék pontok jelölik a beltéri levegő hőmérsékletét, a piros pontok jelölik a beltéri levegő relatív páratartalmát az egyes méréseknél, a fekete duplakörök jelölik az adott helyiség bebútorozását, a szíla kör a helyiségben folyó emberi tevékenységet (faanyag méretre szabása).



4.7.3.b. Grafikon: A sztirool és naftalin beltérben mért koncentrációi a beltéri levegő hőmérsékletének és relatív páratartalmának, valamint a Közép-Európára érvényes, publikált átlag érték (Sarigiannis, 2011), és a WHO által közölt egészségügyi határérték (WHO, 2012) összefüggésében (WHO, 2012) összefüggésében

4.7.4. Az alfa-pinén és 3-karén koncentrációinak változása

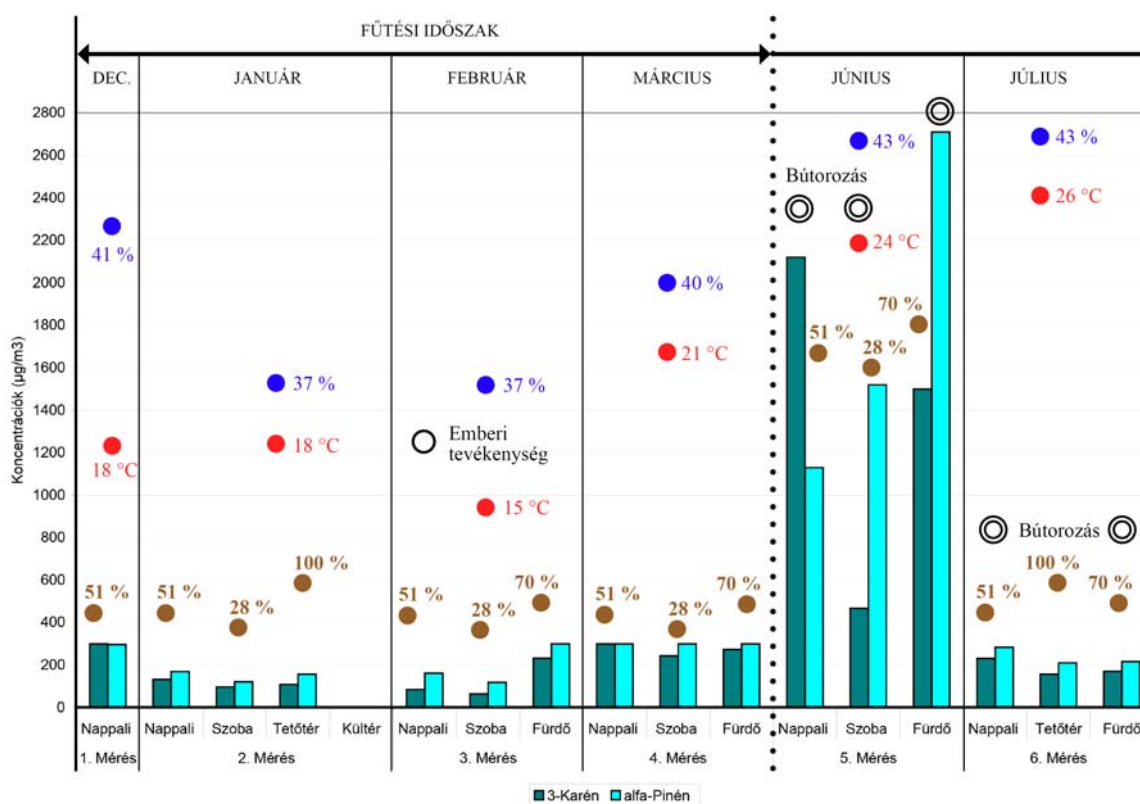
Az alfa-pinén és 3-karén két természetes anyag, nem számítanak toxikusnak. Forrásuk a szárított faanyag, amelyből kimutathatóan magas koncentrációban emittálódnak (Manninen és tsai, 2002) (lásd: 2.4.3. fejezet, Esettanulmány II.). Valamint a puha fáknál (pl. lucfenyő) szintén megfigyelhetően magas az alfa-pinén és 3-karén természetes kipárolgásának koncentrációja, mely függ a fa életkorától és kivágásának idejétől is (Risholm-Sundman és tsai, 1998) (lásd: 2.4.4. fejezet). Ezek alapján megállapítható, hogy a helyiségekben lévő lucfenyő faburkolatok aránya és az anyagok koncentrációja között van összefüggés (4.7.4.a. Táblázat).

Helyiség	Fa felületek aránya (%)
Szoba	28
Nappali	51
Fürdőszoba	70
Tetőtéri szoba	100

4.7.4.a. Táblázat: A helyiségekben lévő fa felületek arányai

A 4.7.4.a. Grafikon mutatja az anyagok mért koncentrációinak és a beltéri levegő hőmérsékletének, valamint relatív páratartalmának összefüggését. Megállapítható, hogy a légparaméterek emelkedése hatással volt a koncentrációkra. A 3. mérésnél történt utólagos munkálatok (faanyag méretre vágása) nem voltak hatással a koncentrációkra, azonban az 5. mérést megelőzően történt bútorozás már valószínűleg befolyásolta a két anyag koncentrációit. A 6. mérés eredménye kimutatja, hogy a koncentrációk a kezdeti értékek alá csökkentek, ami a természetes szellőztetés hatására történhetett.

A 4.7.4.a. Grafikonon a kék pontok jelölik a beltéri levegő hőmérsékletét, a piros pontok jelölik a beltéri levegő relatív páratartalmát az egyes méréseknél, a fekete duplakörök jelölik az adott helyiség bebútorozását, a szíjla kör a helyiségben folyó emberi tevékenységet (faanyag méretre szabása).



4.7.4.a. Grafikon: alfa-pinén és 3-karén mért koncentrációi a fa felületek arányának (jelölése: barna kör) , a beltéri levegő hőmérsékletének és relatív páratartalmának összefüggésében

A német Építőanyagok Egészségügyi Értékelő Bizottsága (AgBB) által megadott szabvány szerinti egészségügyi kockázat (LCI) elemzés elvégzése után megállapítottam, hogy a 3-karén, alfa-pinén hányadosa (mért érték / LCI érték) csak az 5. mérésnél voltak nagyobbak, mint 1, így ennél a mérésnél egészségügyi kockázatot jelentenek. Mivel azonban ezek a magas értékek a következő mérésnél jelentősen lecsökkentek, megállapítható, hogy hosszú távon nem jelentenek egészségügyi kockázatot.

4.7.5. Konklúzió

Az alábbi következtetéseket vontam le a mérések eredményei alapján:

1. A TVOC értékek változása összefüggött a beltéri levegő hőmérséklet és relatív páratartalmának változásával, továbbá a helyiségekben végzett emberi tevékenységekkel. Legnagyobb mértékben a helyiségek bebútorozása gyakorolt hatást a beltéri levegőminőségre.
2. A toxikusnak számító anyagok közül a benzol, toluol, sztirol, naftalin mért értékei nem haladták meg az itthoni vagy külföldi szabványok által megadott határértékeket, így hosszútávon nem jelentenek egészségügyi kockázatot.
3. A formaldehid koncentrációja egy esetben túllépte a WHO által közölt egészségügyi határértéket ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{-t}$). Ennek oka a beltérben végzett utólagos munkálatok, melyek során faanyagot szabtak méretre a nappali helyiségében. Ez az emelkedés azonban csak átmeneti volt. A beltéri hőmérséklet folyamatos emelkedése okozhatta a formaldehid értékének lassú emelkedését.
4. Az egyes helyiségekben lévő faburkolatok aránya befolyásolták a 3-karén, alfa-pinén mért koncentrációit. Ezek az anyagok nem számítanak toxikusnak, így nem jelentenek egészségügyi kockázatot.

5. Eredmények összevetése levegőanalitikai esettanulmányok méréseivel

A mérési eredményeket a szakirodalomban talált esettanulmányok mérési eredményeivel vettem össze, melyeket négy fő szempont-rendszer alapján kategorizáltam:

1. Hagyományos újjépítésű/felújított házak
 - beköltözés előtt
 - beköltözés után
2. Hagyományos építésű házak
3. Beteg épület tünetcsoportot mutató házak
 - felújítás előtt
 - felújítás után
4. Környezettudatos újjépítésű házak
 - beköltözés előtt
 - beköltözés után

Az összesített VOC (TVOC) értékek, illetve az 5.a. Táblázatban megnevezett anyagok alapján végeztem az összevetést. A saját mérési eredmények közül kiválasztottam minden anyag, valamint TVOC legkisebb és legmagasabb mért értékeit.

Komponensek	Min. érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Max. érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Benzol	1,65	3,11
Toluol	4,81	38,4
Sztirol	1,32	147
Formaldehid	11	130
Naftalin	1,15	1,81
Limonén	15,8	289
Alfa-pinén	170	300
TVOC	795	7130

5.a. Táblázat: VOC anyagok és TVOC értékek saját mérés alapján meghatározott minimális és maximális értékei

A szakirodalomban talált esettanulmányok mért koncentrációi változó módon voltak megadva. Általában a minimális és maximális mért érték mellett, a mért koncentrációk középtételei szerepeltek. Mivel nem lehetett egyértelműen az összes esettanulmányból ugyanazokat az eredményeket kigyűjteni, így ez az összehasonlítás csupán tájékoztató jellegű információkat közöl. A pontosabb következtetések levonásához egy következő kutatómunka keretén belül megvalósított mélyebb, részletesebb feltárás ad lehetőséget.

5.1. Hagyományos, újépítésű / felújított házak

A 5.1.a. táblázatban összegeztem azokat az esettanulmányokat, amelyekben újépítésű vagy felújított házakban végeztek beltéri levegőminőség vizsgálatot. Pirossal jelöltem az egyes anyagokhoz tartozó legmagasabb értékeket. A két esettanulmány értékeihez viszonyítva a mért értékek alacsonyak. Kivéve a terpének (limonén, és alfa-pinén) koncentrációi, mivel a vizsgált épületben nagy százalékban van jelen faburkolat.

Mért eredmények ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Újépítésű házak	
			Rothweiler és tsai (1992)	Seung H. és tsa (2012)
Komponensek	Min. érték	Max. érték	Max. érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Közép érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Benzol	1,65	3,11	20,00	3,90
Toluol	4,81	38,40	9741,00	184,00
Sztirol	1,32	147,00	167,00	2,70
Formaldehid	11,00	130,00	1200,00	62,00
Naftalin	1,15	1,81	219,00	0,80
Limonén	15,80	289,00	224,00	4,30
Alfa-pinén	170,00	300,00	867,00	9,00
TVOC	795,00	7130,00	31696,00	-

5.1.a. Táblázat: Mért VOC anyagok és TVOC értékek összevetése szakirodalmi adatokkal hagyományos, újépítésű / felújított házaknál

5.1.1. Esettanulmány I.

Rothweiler és tsai. (1992) svájci tanulmányában vizsgálták a beltéri levegőminőséget újépítésű és felújított lakóházakban. Mérési eredményeik emelkedett értékeket mutattak bizonyos anyagok koncentrációinál (aldehidek, ketonok, alkoholok). Feltételezik, hogy a magas koncentrációk, valamint a tapasztalt elégtelen szellőztetés miatt akár egészségügyi tünetek is jelentkezhetnek (fejfájás, szemirritáció, stb.) már a beköltözés után. Továbbá feltételezik, hogy a bútorozás és egyéb emberi tevékenységek csak tovább növelik az anyagok koncentrációját. A jelentkező egészségügyi tünetek fő forrásának az aldehideket feltételezik (Rothweiler és tsai., 1992).

5.1.2. Esettanulmány II.

Seung H. és tsa (2012) tanulmányában 107 koreai, újépítésű lakás beltéri levegőjét vizsgálták beköltözés előtt. Az illékony szerves anyagok közül 40 darabot detektáltak. Formaldehid, aromás szénhidrogének, alkoholok, terpének és ketonok koncentrációi voltak dominánsak. Egyes lakásoknál feltételezték, hogy a magas formaldehid koncentráció a nem betartott előírásoknak lehet a következménye. A lehetséges forrásoknak a PVC padló burkolat mellett, a faalapú építőlemezeket, a festékeket és ragasztókat feltételezték (Seung H. és tsa, 2012).

5.2. Hagyományos házak

A 5.2.a. táblázatban összegeztem azokat az esettanulmányokat, amelyekben hagyományos építésű, régebbi házakban végeztek beltéri levegőminőség vizsgálatot. Pirossal jelöltem az egyes anyagokhoz tartozó legmagasabb értékeket. A két esettanulmány értékeihez viszonyítva a mért minimális értékek alacsonyak, míg a maximálisak jelentősen magasabbak. A TVOC érték viszont a második tanulmányban a legmagasabb.

Mért eredmények ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Hagyományos építésű házak			
			KOSTIAINEN (1995)		Tuomainen és tsai (2000)	
Komponensek	Min. érték	Max. érték	Min. érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Max. érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Beköltözés előtt ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Beköltözés után 5 hónappal ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Benzol	1,65	3,11	0,21	38,55	-	-
Toluol	4,81	38,40	0,60	70,36	-	84,00
Sztirol	1,32	147,00	0,08	3,87	-	-
Formaldehid	11,00	130,00	-	-	12,0 - 27,0	5,0 - 19,0
Naftalin	1,15	1,81	0,00	1,63	-	-
Limonén	15,80	289,00	1,34	51,56	-	19,00
Alfa-pinén	170,00	300,00	1,05	36,41	-	51,00
TVOC	795,00	7130,00	40,84	235,85	1290,0 - 9580,0	170,0 - 1335,0

5.2.a. Táblázat: Mért VOC anyagok és TVOC értékek összevetése szakirodalmi adatokkal hagyományos házaknál

5.2.1. Esettanulmány I.

Kostiainen (1995) tanulmányában 50 normál házban végeztek beltéri levegő vizsgálatot. Eredményeikben kimutatták, hogy a mért TVOC értékek megfelelnek korábbi esettanulmányok eredményeivel. Az egyes házakban mért VOC anyagok koncentrációi között viszont jelentős eltérések mutatkoztak. Ennek alapján vonták le azt a következtetést, a beltéri levegőminőséget jelentősen befolyásolják a beépített építőanyagok, a bútorozás, és az emberi tevékenységek. Legnagyobb arányban aromás szénhidrogéneket (toluol, benzol, sztirol), terpéneket (alfa-pinén, limonén) és aldehideket találtak. Annak ellenére, hogy az értékek nem lépték túl a munkahelyi levegőminőséget szabályozó határértékeket, felhívják a figyelmet arra, hogy minden ember szervezete más reakciókat produkál (Kostiainen, 1995).

5.2.2. Esettanulmány II.

Tuomainen és tsai. (2000) finn tanulmányában két épületet vizsgáltak: az egyik épület hagyományos módon épült, a másikat a hatályos finn beltéri levegőminőségre vonatkozó szabványok szerint (*Finnish Classification of Indoor Climate, Construction and Finishing Materials*) kiviteleztek. A méréseket a lakók beköltözése előtt, valamint a beköltözés után 5 hónappal is elvégezték. A hagyományos háznál a TVOC értékek látványosan magasabbak voltak, amit az elégtelen szellőztetés, és a magas emissziójú építőanyagok magyarázhatnak. A formaldehid értéke a beköltözés után is magas maradt, és esetekben emelkedett is (Tuomainen és tsai., 2000).

5.3. "Beteg épület tünetcsoportot" mutató házak

A 5.3.a. táblázatban összegeztem azokat az esettanulmányokat, amelyekben "beteg épület tünetcsoportot" mutató házakban végeztek beltéri levegőminőség vizsgálatot. Pirossal jelöltem az egyes anyagokhoz tartozó legmagasabb értékeket. A két esettanulmány értékeihez viszonyítva a mért minimális értékek alacsonyak, míg a maximálisak közül a terpének jelentősen magasabbak.

Mért eredmények ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			"Beteg épület szindrómás" házak			
			KOSTIAINEN (1995)		Sun-Sook és tsai (2008)	
Komponensek	Min. érték	Max. érték	Min. érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Max. érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Min. érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Max. érték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Benzol	1,65	3,11	1,96	21,20	9,00	14,00
Toluol	4,81	38,40	4,60	2326,24	170,00	416,00
Sztirol	1,32	147,00	0,56	6,20	27,00	39,00
Formaldehid	11,00	130,00	-	-	209,00	457,00
Naftalin	1,15	1,81	0,24	26,26	-	-
Limonén	15,80	289,00	1,18	86,63	-	-
Alfa-pinén	170,00	300,00	1,64	45,12	-	-
TVOC	795,00	7130,00	102,10	9538,20	517,00	1920,00

5.3.a. Táblázat: Mért VOC anyagok és TVOC értékek összevetése szakirodalmi adatokkal "Beteg épület tünetcsoportot" mutató házaknál

5.3.1. Esettanulmány I.

Kostiainen és tsai. (1995) tanulmányában 35 "beteg épület tünetcsoportot" mutató házban vizsgálták a beltéri levegőminőséget. A normál épületekben mért anyagok koncentrációihoz képest jelentős eltérések mutatkoztak. Egyes VOC anyagok 10 - 200-szoros, illetve 200-1000-szeres eltérést mutattak a normál épületekben mért átlag értékekhez viszonyítva. A toluol, benzol, sztirol anyagok értékei növekedtek a legdrasztikusabban, a terpének koncentrációi csak 5-10-szeres mértékben emelkedtek. A források eredetét nehezen tudták minden esetben pontosan megállapítani. Az esettanulmányok egy részében a külső környezetben detektálták a VOC anyagok forrását, amelyek a belső térbe jutva megemelték a káros anyag mért koncentrációját. Más esetekben a bútorozás illetve a háztartási cikkek bizonyultak az illékony anyagok forrásának (pl. bőr kanapé). Miután eltávolították a lakásból a feltételezett forrást, a bent-lakók tünetei megszűntek. Olyan esetekben, ahol nemrégiben történt valamilyen felújítási munkálat, ott az emelkedett koncentrációt a nem jól elvégzett kivitelezésnek tulajdonították (Kostiainen és tsai., 1995).

5.3.2. Esettanulmány II.

Sun-Sook és tsai. (2008) tanulmányukban koreai, újépítésű apartman-lakások beltéri levegőminőségét vizsgálták. A gyenge minőségű épületek tömeges megjelenése miatt egyre elterjedtebbek lettek a lakók között a "beteg épület tünetcsoport" tünetei. A mérések eredményei kimutatták, hogy a TVOC értékek mindenhol kiemelkedően magasak. A VOC anyagok közül a toluol és a formaldehid értékei voltak kimagaslóak, melyek forrásai a beltérben használt burkolatok és bútorok. Ezért kihangsúlyozzák a fontosságát annak, hogy már a tervezési szakaszban az építész alacsony-emissziójú anyagokat válasszon. Ha ez nem elegendő a kipárolgások csökkentéséhez, akkor megfelelő szellőztető rendszer kiépítése szükséges (Sun-Sook és tsai., 2008).

5.4. Környezettudatos, újépítésű házak

Az 5.4.a. táblázatban összegeztem azokat az esettanulmányokat, amelyekben környezettudatos újépítésű házakban végeztek beltéri levegőminőség vizsgálatot. Pirossal jelöltem az egyes anyagokhoz tartozó legmagasabb értékeket. A két esettanulmány értékeihez viszonyítva a mért minimális értékek alacsonyak, míg a maximálisak jelentősen magasabbak.

Mért eredmények ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Környezettudatos, újépítésű házak						
			Tuomainen és tsai (2000)			Guo és tsai (2003)	Jarnstrom és tsai (2006)		
Komponensek	Min	Max	Szellőztetés előtt ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Szellőztetés után 1 héttel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Beköltözés után 5 hónappal ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1 év ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0 hó ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	6. hó ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12. hó ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Benzol	1,65	3,11	-	-	-	-	0	0	3
Toluol	4,81	38,4	-	19,00	12,00	-	-	-	-
Sztirol	1,32	147	-	-	-	-	3	2	3

Formaldehid	11,0	130	1,0 - 20,0	6,00 - 15,00	2,00 - 21,0	-	19	21	26
Naftalin	1,15	1,81	-	-	-	-	-	-	-
Limonén	15,8	289	-	140,00	23,00	-	12	10	12
Alfa-pinén	170	300	89,00	46,00	-	-	61	37	35
TVOC	795	7130	210,0 - 1800,0	100,0 - 1100,0	61,0 - 410,0	0 - 43,0	780	329	247

5.4.a. Táblázat:

Mért VOC anyagok és TVOC értékek összevetése szakirodalmi adatokkal környezettudatos, újjépítésű házaknál

5.4.1. Esettanulmány I.

Tuomainen és tsai. (2000) finn tanulmányában két épületet vizsgáltak: az egyik épület hagyományos módon épült, a másikat a hatályos finn szabványok szerint (*Finnish Classification of Indoor Climate, Construction and Finishing Materials*) kiviteleztek. A méréseket a lakók beköltözése előtt, valamint a beköltözés után 5 hónappal is elvégezték. A beköltözés előtt két mérést végeztek, a szellőztetés beindítása előtt, majd a szellőztető rendszer beüzemelése után 1 héttel. Az eredményekből kimutatták, hogy a szellőztetés hatására jelentősen csökkentek a VOC anyagok mért koncentrációi, melyek feltételezhetően a festékekből és oldószerekből párologtak ki. Kihangsúlyozták, hogy más tanulmányokban a szellőztetéssel elért alacsony koncentrációk csökkenése azonban nem maradtak tartósak, hanem a beköltözés után újra megemelkedtek (Valicenti és tsai., 1997). Az aldehidek (pl. formaldehid) szintje a beköltözés után is kiemelkedő volt, ezért feltételezték, hogy azok koncentrációi az emberi tevékenységekkel függenek össze. A konklúzióban kihangsúlyozzák, hogy a jobb beltéri levegőminőség indoka az alacsony-emissziójú építőanyagok megválasztása, a hatékony szellőztetés megoldása, és a szerkezetek páratartalmának figyelembe vétele a végső burkolatok kivitelezése előtt (Tuomainen és tsai., 2000).

5.4.2. Esettanulmány II.

Guo és tsai. (2003) tanulmányukban egy alacsony-emissziójú házat építettek meg, és vizsgálták annak beltéri levegőminőségét. A belső terekben használt festékek és ragasztók, illetve burkolatok kipárolgásait a beépítés előtt tesztkamrában végzett mérésekkel tesztelték. Így csak olyan anyagok kerültek beépítésre, amelyek egyáltalán nem vagy csak kis mérték tartalmaztak illékony szerves anyagokat. A nyílászárók úgy lettek pozícionálva a helyiségekben, hogy a természetesen kialakuló keresztthuzatot maximalizálják. Ezen kívül egy önálló szellőztető rendszer is beépítésre került. Az épületben nincs gázkészülék. Mivel a VOC anyagok a háztartási szerekből is származhatnak, ezért a bent-lakók minimalizálták azokat a szereket. A méréseket a ház elkészülte után 1, 3 és 5 hónap elteltével végezték. A TVOC értékek rendkívül alacsonyak lettek (0-43, ami bizonyítja, hogy a megfelelő anyagválasztás és magas arányú szellőztetés biztosítja a jó beltéri levegőminőséget (Guo és tsai., 2003).

5.4.3. Esettanulmány III.

Jarnstrom és tsai. (2006) finn tanulmányukban újépítésű, alacsony-emissziójú lakóházakban vizsgálták a beltéri levegőminőséget. A méréseket az első 6 hónap, majd az első 1 év elteltével végezték. Összesen 240 VOC anyagot detektáltak, amik közül a xilol és alfa-pinén koncentrációja emelkedett ki. Már az első hat hónap eltelte után jelentős csökkenés mutatkozott a TVOC értékeknél. Viszont egyes VOC anyagok koncentrációja nőtt az idő előrehaladtával, aminek a lakók beköltözése lehet az indoka. A formaldehid koncentrációja a nyári időszakban emelkedett meg jelentősen, feltételezhetően a beltéri levegő magasabb páratartalma miatt (Jarnstrom és tsai., 2006).

6. Új tudományos eredmények összefoglalása

Az értekezésem fő tudományterülete a **beltéri levegőminőség**, mely egy új, interdiszciplináris tudományterület. Több más tudomány is kapcsolódik hozzá, az épületbiológia, építésökológia, és humánökológia. A megszokott lineáris, részleteket elemző kutatási módszer helyett egy holisztikus szemléletmódú megközelítést alkalmaztam. A kapcsolódó szakirodalmakból kinyert információkat szintetizáltam, majd a kutatási témát leszűkítettem a konkrét vizsgálati esettanulmányom köré.

A kiinduló pont a humánökológia területe, mely a jelenlegi "civilizációs válság" jelenségét kutatja, vagyis milyen hatással van az ember / emberi tevékenység Bolygónk bioszférájára, és ezeknek a hatásoknak mik az okai. A kialakuló káros anyagok forrása a folyamatosan változó, és egyre intenzívebb emberi tevékenységekkel függ össze. Ezek a káros anyagok jutnak el az épített környezetbe is, melyek nemcsak a természetes környezetet alakítják át, hanem az emberek egészségére is hatással vannak. Ezzel foglalkozik az építésökológia és épületbiológia területe. Ebbe tartozik bele az építőanyagok egészségre gyakorolt hatása is, és azok káros anyag emisszióinak meghatározása, számszerűsítése. Ezzel foglalkozik a beltéri levegőminőség tudományterülete. Megállapítottam, hogy a beltéri levegőminőség vizsgálata egy összetett folyamat, melyet több tényező is befolyásol. Az éghajlati viszonyok, a gazdasági fejlettség, a kulturális szokások, az adott régióra vonatkozó helyi, építésügyi szabályozások, és nem utolsósorban az emberi tevékenységek összessége az, ami meghatározhatja egy épület beltéri levegőminőségét. Vizsgálataim során a beltérben megjelenő kémiai légszennyező anyagok közül az illékony szerves anyagokkal és a formaldehiddel foglalkoztam.

A megfelelő építőanyagok, és technológiák kiválasztásával már a tervezési folyamat során ki lehet szűrni azokat a forrásokat, melyek később hatással vannak az épület belső téri levegőminőségére. Az építőanyagok közül kiemelten tanulmányoztam a fához – mint az egyik ökológikus építőanyaghoz – kapcsolódó kutatási eredményeket, és a faanyagú építőlemez káros anyag kibocsátásának csökkentési lehetőségeit. Az elmúlt években jelentős kutatások folytak a magyarországi fahasznosítás, fafeldolgozás területén. A cél, környezetbarát gyártási technológiák fejlesztése, a fafeldolgozás környezetkárosító hatásának csökkentése, illetve a termékek ökológiai mérlegének meghatározása és összegyűjtése egy adatbázisba. Több magyar és külföldi kutatás is fellelhető a faforgácslemez gyártás témájában. A faipari

termékek gyártása során a hozzáadott kémiai anyagokból (adalékanyagot, műgyantát, kezelőanyagot, stb.) a későbbiekben több káros anyag emittálódhat (pl.: formaldehid, VOC anyagok, stb.). Ezen káros anyagok csökkentésére több kísérleti tanulmányt tártam fel. Megállapítottam, hogy a faalapú építőanyagokból származó formaldehid csökkentésével ezek az anyagok újrahasznosíthatóak. Ez megfelel az építésökológia R.C.R. (*Reduce - Conserve - Recycle*) elvének, mely hangsúlyozza a káros anyagok kibocsátásának csökkentését, a régi anyagok megőrzését valamint a felhasznált anyagok visszaforgatásának lehetőségét, ezzel is csökkentve a környezetet terhelő hulladékok képződését. Továbbá a tervezés meghatározó eleme a természethez való alkalmazkodás gondolatisága, vagyis az épület ne egy idegen testként viselkedjen, hanem a természeti körfolyamatokba illeszkedve éljen együtt környezetével. Ehhez egy fontos lépés, hogy a tervezők, és kivitelezők számára könnyen elérhető legyen az ökológikus építőanyagokról és technológiákról egy adatbázis, mint az a nyugati országokban már meg is valósult szempontból.

A szakirodalmi kutatásaim keretében feltártam a transz-diszciplinaritáson keresztül azt a szaktudást, amely egy építész számára az "egészséges épületek" tervezéséhez szükséges. Ennek konklúziójaként bemutattam azt a hálózatot, mely felvázolja az építészeti tervezés és a humánökológiai területek kapcsolatát. A fenntarthatóság és ökológikus szemléletmód köré szerveződnek azok a kapcsolatok, melyek hatással vannak az egészségre, és a természetes környezetre. Az adaptáció egy lényeges eleme a rendszernek, hiszen hosszú távon ez tudja majd biztosítani az új gondolkodásmód továbbfejlődését, mely hatással lesz a jövőbeli emberi tevékenységekre, és általa az egész társadalomra. Megállapítottam, hogy ennek a holisztikus szemléletmódnak az elsajátítása, alkalmazása és továbbadása az, ami elindíthatja a változást, ami egy új "Egész" kialakulását fogja eredményezni.

Kutatási munkám keretén belül, tudomásom szerint, Magyarországon elsőként végeztem beltéri levegőminőség méréseket újépítésű, passzív, alacsonyenergia felhasználású, favázis házban, amely környezettudatos elvű tervezés és kivitelezés eredményeként valósult meg. Ez az épület szerkezetében és burkolataiban kezeletlen fa építőanyagokat tartalmaz. Meghatároztam azon kémiai anyagokat – a ház beltéri levegőjében – amelyek alapvetően befolyásolják a beltéri levegő minőségét, és ezáltal hatással lehetnek a bent-tartózkodók egészségére. Az egy év során elvégzett hat mérésből az első 4 mérés a fűtési időszak alatt történt, míg további két mérés a nyári időszakban. A mérési eredmények kiértékelése után az alábbi következtetéseket állapítottam meg:

1. A TVOC értékek változása összefüggött a beltéri levegő hőmérséklet és relatív páratartalmának változásával, továbbá a helyiségekben végzett emberi tevékenységekkel. Legnagyobb mértékben a helyiségek bebútorozása gyakorolt hatást a beltéri levegőminőségre.
2. A toxikusnak számító anyagok közül a benzol, toluol, sztirol, naftalin mért értékei nem haladták meg az itthoni vagy külföldi szabványok által megadott határértékeket, így hosszútávon nem jelentenek egészségügyi kockázatot.
3. A formaldehid koncentrációja egy esetben túllépte a WHO által közölt egészségügyi határértéket ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{-t}$). Ennek oka a beltérben végzett utólagos munkálatok, melyek során faanyagot szabtak méretre a nappali helyiségében. Ez az emelkedés azonban csak átmeneti volt. A beltéri hőmérséklet folyamatos emelkedése okozhatta a formaldehid értékének lassú emelkedését.

4. Az egyes helyiségekben lévő faburkolatok aránya befolyásolták a 3-karén, alfa-pinén mért koncentrációit. Ezek az anyagok nem számítanak toxikusnak, így nem jelentenek egészségügyi kockázatot.

Eljutva a szakirodalomból kinyert levegőanalitikai eredmények összegzéséhez, ezeket rendszerbe rakva, össze lehet őket hasonlítani a konkrét mérések eredményeivel, melyek a kutatás keretein belül készültek. Mivel nem lehetett egyértelműen az összes esettanulmányból ugyanazokat az eredményeket kigyűjteni, így ez az összehasonlítás csupán tájékoztató jellegű információkat közöl. Megállapítottam, hogy a pontosabb következtetések levonásához egy következő, részletesebb kutatómunka szükséges.

A kutatás keretén belül végzett levegőminőségi mérések jelentőségét mutatja, hogy az abból kapott eredmények nagy mennyiségű, új, és jól használható információt adnak az épületről, mind a tervezők, mind a bent-lakók számára. Fontos következtetés, hogy beépített építőanyagok káros anyag emisszióit jelentősen befolyásolják a beltéri levegő légparamétereinek (hőmérséklet, relatív páratartalom, szellőztetés) a változása, valamint az emberi tevékenységek. A levegőanalitika nagy jelentőséggel bírhat különböző tervezési feladatoknál, pl.: épület-rekonstrukciónál az épületdiagnosztikában, újjépítésű házaknál – az átadás előtt – egészségügyi kockázatok megállapításában, valamint "beteg épület tünetcsoportot" mutató házaknál a káros anyagok forrásainak kimutatásában.

7. Tézisek

Tézis I.

Szakirodalmi kutatásaim során arra a következtetésre jutottam, hogy az épületbiológia és építésökológia tudományterületek összefüggéseinek vizsgálata és a belőlük nyert szaktudás fontos szerepet játszik az "egészséges ház" tervezésénél.

Megállapítottam, hogy az épületbiológia és építésökológia tudományterületeinek kialakulása az ok-okozati rendszeren belül már az okozatok közé tartozik. Vagyis magát az okot is fel kell tární, amihez alapot adott a humánökológia területének kutatása. A vizsgálat, egy holisztikus rendszeren alapuló modellre épül, mely az "Egészet" vizsgálva következtet a lehetséges okokra, és szükség esetén a "Részek" felülvizsgálatával, és azok korrigálásával javít az "Egész " minőségén, állapotán. Ezen tudományterületek megismerése, az onnan szerzett tudásanyag szintetizálása, és az így kialakított új szemléletmód alkalmazása fontos az "egészséges épületek" tervezésénél.

I.1.

Szakirodalmi kutatásaim eredményeiből azt a következtetést vontam le, hogy a passzív házak, valamint az alacsonyenergia felhasználású házak nem minden esetben "egészséges" házak. A "by-components" -alapú tervezés (vagyis a részek elkülönített vizsgálatán alapuló tervezés) során csak az egyes részek hatását vizsgálják a környezetre, nem veszik figyelembe az anyagok későbbi, kumulatív hatását. Arra a következtetésre jutottam, hogy a jelenlegi passzív és energiatudatos házak nem adnak választ az alábbi kérdésre: képes-e a mai nemzetközi építészeti trend a változásokhoz alkalmazkodó – a környezetet nem terhelő – épületeket létrehozni, mint ahogy a korábbi idők épületei a tartósságukból, és anyaghasználatukból kifolyólag a mai napig ezt teszik?

I.2.

Kutatásaim során megállapítottam, hogy az építőanyagokra vonatkozó előírások és szabályozások nem térnek ki kellő terjedelemben és mélységben az egészség védelmére. Az "egészséges" ház tervezésénél nagy jelentősége van az "egészséges" anyagok kiválasztásának (építőanyagok, bútorok, lakástextilek, stb.). Az emberek számára biztosítani kell azt az alapvető jogukat, hogy egészségüket ne érje kár otthonaikban. Ezért javaslom – az Általános környezetvédelmi törvény 6-12.§-ából az ökológiai elővigyázatosság elvére hivatkozva – az építőipari gyártók és fejlesztők számára egy új szabályozási rendszerben megszabni, hogy csak olyan építőanyagokat vihetnek piacra, melyek nem károsítják teljes életciklusuk alatt a környezetet, illetve a házban tartózkodók egészségét. Több tanulmány eredményei alapján megállapítom, hogy a jelenlegi életciklus elemző rendszerek az építészetben nem adnak valós tájékoztatást a beépített építőanyagok környezeti és egészségügyi terheléseiről.

Tézis II.

A kutatómunka keretében végzett mérési eredmények kiértékelése alapján azt állapítottam meg, hogy a beltéri levegőminőség vizsgálata jelentős mennyiségű új, jól használható információt ad az épületben jelenlévő káros anyagok koncentrációiról, az építőanyagokról, valamint a lehetséges egészségügyi kockázatokról. A beltéri levegőminőség témájában publikált szakirodalmi tanulmányok feltárása alapján feltételezhető, hogy Magyarországon elsőként végeztem beltéri levegőminőségi méréseket újépítésű, passzív, alacsonyenergia felhasználású, favázas házban, amely környezettudatos elvű tervezés és kivitelezés eredményeként valósult meg.

Ezek az információk nemcsak új épületek esetén lehetnek fontosak, hanem meglévő épületek átalakításánál, rekonstrukcióknál. Továbbá a mérések eredményei összevethetők a szakirodalomban fellelhető hasonló levegőanalitikai mérésekkel, és azok konklúzióival.

A szakirodalmi kutatásaim során megállapítottam, hogy a magyarországi esettanulmányok mennyisége nem számottevő. A tisztánlátás és a tudományterület továbbfejlesztése/pontosítása miatt elengedhetetlenül szükséges a jelenlegi magyarországi lakóépület-állomány beltéri légállapotainak – keretek közé helyezett – felülvizsgálata. A vizsgálati eredmények összegyűjtését, és elemzését régióként kell elvégezni, és következtetések levonni.

Továbbá javaslom épület rekonstrukcióknál, illetve új-építésű házaknál a kulcsrakész átadás után, de a permanens beköltözés előtt a beltéri levegőminőség vizsgálatát levegő analitikai szakértők bevonásával. "Beteg épület tünetsoportot" mutató építmények esetén a beltéri káros anyagok lehetséges forrásainak felkutatásával és megszüntetésével kell biztosítani a megfelelő beltéri levegőminőséget.

Tézis III.

Szakirodalmi kutatásom során, és a végzett mérések eredményeiből azt a következtetést vontam le, hogy a természetes, kezeletlen faanyag környezettudatos anyagnak számít, mely nem terheli a beltéri levegőminőséget, és ezáltal a bent-tartózkodók egészségére sem jelent kockázatot. A kísérleti, passzív, alacsonyenergia felhasználású, favázas ház belső tereiben végzett, beltéri levegőminőség vizsgálata alapján megállapítottam, hogy a levegőben jelenlévő összes VOC (TVOC) anyagok koncentrációja egy év alatt csak kis mértékben változott, és nem jelentenek hosszú távon egészségügyi kockázatot a jelenleg érvényes szabályozások szerint.

A TVOC koncentrációk változására hatással volt a beltéri levegő hőmérsékletének és relatív páratartalmának változásai, a szellőztetés mértéke, valamint a helyiségek bebútorozása.

Tézis IV.

Méréseim eredményeként megállapítható, hogy a toxikusnak számító anyagok közül a benzol, toluol, sztirol, naftalin mért értékei hosszú távon nem haladták meg az itthoni vagy külföldi szabványok által megadott határértékeket, így nem jelentenek egészségügyi kockázatot.

Ezen VOC anyagok forrása nemcsak az építőanyagokból származhat, hanem a helyiségekben elhelyezett más tárgyaktól is.

A formaldehid koncentrációja egy esetben túllépte a WHO (Egészségügyi Világszervezet) által közölt egészségügyi határértéket. Ennek oka a beltérben végzett utólagos munkálatok, melyek során faanyagot szabtak méretre a nappali helyiségében. Ez az emelkedés azonban csak átmeneti volt. A beltéri hőmérséklet folyamatos emelkedése okozhatta a formaldehid értékének lassú emelkedését.

Tézis V.

A szakirodalmi kutatásaim és a mérési eredményeim alapján megállapítottam, hogy az egyes helyiségekben lévő faburkolatok arányai, valamint a helyiségekben elhelyezett bútorok befolyásolták a 3-karén, alfa-pinén koncentrációját.

Az alfa-pinén és 3-karén, melyek nem számítanak toxikusnak, forrásai a szárított faanyag, amelyből kimutathatóan magas koncentrációban emittálódnak. Valamint a puha fáknál (pl. lucfenyő) szintén megfigyelhetően magas az alfa-pinén és 3-karén természetes kipárolgásának koncentrációja, mely függ a fa életkorától és kivágásának idejétől is. Ezek alapján megállapítható, hogy a helyiségekben lévő lucfenyő faburkolatok aránya és az alfa-pinén és 3-karén beltéri levegőben lévő koncentrációi között van összefüggés.

Publikációs lista

1. Patkó Cs. (2013):

Evaluation of volatile organic components of indoor air of a newly-built wooden frame house in the last four seasons.

Conference Proceedings Part (A) 4th INTERNATIONAL CONFERENCE "TO PROTECT OUR GLOBAL ENVIRONMENT FOR FUTURE GENERATIONS" ICEEE-2013, 20 – 21 November 2013, Óbuda University Budapest, Hungary, 229-237pp

ISBN: 978-615-5018-93-0

2. Patkó Cs., Pásztor Z. (2013):

Formaldehid koncentráció egy új építésű vázszerkezetes épületben.

Faipar, LXI 2013/3:23-29

3. Patkó Cs., Pásztor Z. (2013):

Fa és faalapú építőanyagok emissziója.

Faipar, LXI. 2013/4:12-21

4. Patkó Cs., Patkó I., Pásztor Z. (2013):

Indoor Air Quality testing in Low-Energy wooden houses: Measurement of formaldehyde and VOC-s.

Acta Polytechnica Hungarica, Volume 10, Issue Number 8/ 2013, 105-116pp

DOI: 10.12700/APH.10.08.2013.8.6

IF:0,58

5. Patkó Cs., Patkó I., Pásztor Z. (2013):

The presence of volatile organic compounds (VOCs) indoors during the heating season: in situ emission study of a frame-house.

Acta Mechanica Slovaca, Volume 17, Issue Number 3/ 2013, 70-79pp

DOI: 10.2478/mecslo-2013-0031

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani azoknak, akik munkájukkal, tanácsukkal hozzájárultak ahhoz, hogy kutatásomat sikeresen befejezzem. Külön köszönöm a **Wessling Hungary Kft.**-nek, hogy díjmentesen elvégezték az általam begyűjtött levegőminták levegő analitikai értékelését, valamint a kiértékelések értelmezésénél Filep Zoltán osztályvezető által nyújtott hasznos segítséget.

Témavezetőmnek, dr. Pásztory Zoltánnak köszönöm, hogy segítségével, útmutatásaival hozzájárult dolgozatom elkészítéséhez.

Professzor dr. Molnár Sándor és professzor dr. Winkler Gábor tanár uraknak, hogy értékes tanácsaikkal segítették munkámat.

Ez a tanulmány a Környezettudatos energia hatékony épület című TÁMOP-4.2.2.A–11/1/KONV-2012-0068 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

1. ASTM-D5116-97 (1997) Standard Guide for Small-Scale Environmental Chamber Determinations of Organic Emissions from Indoor Materials/Products,
2. AGBB (2012) Updated List of LCI values 2012 in Part 3, Health-related Evaluation Procedure for Volatile Organic Compounds Emissions (VOC and SVOC) from Building Products; http://www.umweltbundesamt.de/produkte-e/bauprodukte/archive/agbb_evaluation_scheme_2012.pdf
3. Agenda 21 (1992) United Nations Conference on Environment & Development Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June 1992. SECTION I. SOCIAL AND ECONOMIC DIMENSIONS, 6.1-8.54
4. Alpár T., Németh R., Takats P. (2012): Megújuló Kompozitok, anyagok, K+F+I a Faipari Mérnöki Karon, Inno-Lignum 2012.09.06-08.
5. Anderson, I., Lundqvist, G. R., and Molhave, L. (1975) Indoor air pollution due to chipboard used as a construction material, *Atmos. Environ.* 9, 21.
6. Bakács, T., (1998) Environmental law. Kluwer Law International. The Hague - London - Boston, 1998. 102 o. http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=99500053.TV
7. Bánhidi, L., Kajtár, L. (2000) Komfortelmélet. Műegyetmi Kiadó, ISBN 963 420 633 6;
8. Beetsma, F.(1997) 7. Beyond LCA: Building related environmental decisions. Building and the environment, Second International Conference, June 9-12, 1997, Paris France, Proceedings Vol.2. Environmental management, Environmental strategies
9. Bhunia, H.P., G.B. Nando, A. Basak, S. Lenka, P.L. Nayak, (1999) Synthesis and characterization of polymers from cashew nut shell liquid (CNSL), a renewable resource. III. Synthesis of a polyether, *Eur. Polym. J.* 35, 1713–1722.
10. Bluysen, M.P. (2009) Towards an integrative approach of improving indoor air quality, *Building and Environment* 44 (2009) 1980–1989
11. Breuer, H.: SH Atlasz - Kémia (1995) Springer Verlag ISBN 963 8455 68 3, 264 - 369 oldal
12. Bundesamt für Gesundheit (2010) Abteilung Chemikalien FORMALDEHYD in der Innenraumluft. <http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/05381/index.html>
13. Collinge, W., Landis, A., Jones, A., Schaefer, A., Bilec, M. (2013) Indoor environmental quality in a dynamic life cycle assessment framework for whole buildings: Focus on human health chemical impacts. *Building and Environment* 62 (2013) 182e190
14. Dassonville, C., Demattei, C., Laurent, A.-M., Le Moullec, Y., Seta, N., Momas, I. (2009) Assessment and predictor determination of indoor aldehyde levels in Paris newborn babies' homes; *Indoor Air* 2009; 19: 314–323
15. Davraz M, Gunduz L. (2005) Engineering properties of amorphous silica as a new natural pozzolan for use in concrete. *Cem Concr Res* 2005;35(7): 1251–61.
16. De Bortoli M., Kniappel H., Pecchio E., Peil A., Rogora L., Schauenburg H., Schlitt H. and Vissers H. (1986) Concentrations of selected organic pollutants in indoor and outdoor air in northern Italy. *Environ. Int.* 12, 343.
17. Diel, Feist, Krieg, Linden (1998) *Ökologisches Bauen und Sanieren*. C.F. Müller Verlag Heidelberg. ISBN 3-7880-9901-1
18. Diez, U., Rehwagen, M., Rolle-Kampezyk, U., Wetzig, H., Schulz, R., Richter, M., Lehmann, I., Borte, M., Herbarth, O., (2003). Redecoration of apartments promotes obstructive bronchitis in atopy risk infants—results of the LARS Study. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 3, 173–179.
19. Dodson, R.E., Levy, J.I., Spengler, J.D., Shine, J.P., Bennett, D.H., (2008). Influence of basements, garages, and common hallways on indoor residential volatile organic compound concentrations. *Atmospheric Environment* 42, 1569–1581.
20. Dunky, M., (1998) Urea - formaldehyde (UF) adhesive resins for wood. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 18 (1998) 95 - 107
21. ECA-IAQ Report No.13, Determination of VOCs emitted from indoor materials and products—inter laboratory comparison of small chamber measurements, Brussels, 1993.
22. ECA-IAQ Report No.2, Guideline for the determination of steady state concentrations in test chambers, Luxembourg, 1989.
23. ECA-IAQ Report No.8, Guideline for the characterization of Volatile Organic Compounds Emitted from Indoor Materials and Products Using Small Test Chambers, Brussels, 1991.
24. Edwards, R., Jurvelin, J., Saarela, K., Jantunen, M., 2001. VOC concentrations measured in personal samples and residential indoor, outdoor and workplace microenvironments in EXPOLIS- Helsinki, Finland. *Atmospheric Environment* 35, 4531–4543.

25. Edwards, R.D., Schweizer, C., Llacqu, V., Lai, H.K., Jantunen, M., Bayer-Oglesby, L., Kunzli, N., (2006). Time–activity relationships to VOC personal exposure factors. *Atmospheric Environment* 40, 5685–5700.
26. Emery J.(1986) Formaldehyde release from wood panel products with phenol formaldehyde adhesives. In: Meyer B et al., editors. Formaldehydes release from wood products. ACS symposium series, 316. Washington, DC: American Chemical Society, 1986. p. 26–39.
27. ENSZ – Közös jövőnk jelentés (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. United Nations 1987 (conspect.nl/pdf/Our_Common_Future-Brundtland_Report_1987.pdf)
28. EPA (Environmental Protection Agency).(1996) Sources and factors affecting indoor emissions from engineered wood products: summary and evaluation of current literature. EPA-600/R-96-067. North Carolina: Research Triangle Park, 1996.
29. Franzitta V, Gennusa M, Peri G, Rizzo G, Scaccianoce G. (2011) Toward a European Eco-label brand for residential buildings: Holistic or by-components approaches? *Energy* 36 (2011) 1884-1892
30. Frontczak, M., Wargocki P., (2011) Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and Environment* 46, 922e937
31. Fülöp, Zs., (2007) Épületszerkezetek teljesítmény elvű, holisztikus szemléletű tervezése. Phd Dolgozat
32. Gammage, R.B.; Gupta, K.C.Walsh, P.J.; Dudney, C.S.; Copenhaver, E.D., eds.(1984) Indoor air quality. Boca Raton, FL: CRC Press, Inc.; 1984:109-142.
33. Glasenapp, H. (1977) Az öt világvallás. Gondolat Kiadó, Budapest
34. Grammenos, F., Russel, P. 1. Building adaptability: a view from the future. Building and the environment, Second International Conference, June 9-12, 1997, Paris France, Proceedings Vol.2. Environmental management, Environmental strategies
35. Feist, W. (2006) http://www.passivhaustagung.de/Passive_House_E/passivehouse_definition.html
36. Guo, H.; Murraya, F., Lee, S.-C. (2002) Emissions of total volatile organic compounds from pressed wood products in an environmental chamber. *Building and Environment* 37 (2002) 1117 – 1126
37. Guo,H., Murray,F., Lee, S.C. (2003) The development of low volatile organic compound emission house—a case study. *Building and Environment* 38 (2003) 1413 – 1422
38. Herbarth, O., Diez, U., Fritz, G., Rehwagen, M., Kroessner, T., Borte, M., Wetzig, H., Lehmann, I., Mueller, A., Metzner, G., Richter, M., Schulz, R., (2000). Effect of indoor chemical exposure on the development of allergies in newborn—LARS study. *Proc. Healthy Build.* 1, 281–286.
39. IARC (International Agency for Research on Cancer), (2004). Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risks of Chemicals to Man. WHO, Geneva
40. Jantunen, M.J., Hanninen, O., Katsouyanni, K., Knoppel, H., Kuenzli, N., Lebre, E., Maroni, M., Saarela, K., Sram, R., Zmirou, D., (1998) Air pollution exposure in European cities: The “expolis” study. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 8 (4), 495–518.
41. Järnström, H., Saarela, K., Kalliokoski, P., Pasanen, A.-L., (2006). Reference values for indoor air pollution concentrations in new residential buildings in Finland. *Atmos. Environ.* 40, 7178–7191;
42. Järnström, H., Saarela, K., Kalliokoski, P., Pasanen, A.-L., (2007). Reference values for structure emissions measured on site in new residential buildings in Finland. *Atmos. Environ.* 41, 2290–2302;
43. Katsoyiannis,A., Leva,P., Barrero-Moreno,J., Kotzias, D. (2012) Building materials. VOC emissions, diffusion behaviour and implications from their use. *Environmental Pollution* 169 (2012) 230 - 234
44. Kelly,T.J., D.L. Smith, J. Satola, (1999) Emission rates of formaldehyde from materials and consumer products found in California homes, *Environ. Sci. Technol.* 33, 81.
45. Kibert,C. (1994) A fenntartható építés fogalma. (<http://fenntarthato.hu/epites/leirasok/szakmapolitika>)
46. Kimura, k: (1994) Vernacular technologies applied to modern architecture for sustainable environment *Healthy Buildings '94 - Proceedings of the third International Conference Vol.1.*
47. Koren, H.S., Devlin, R.B., 1992. Human upper respiratory tract responses to inhaled pollutants with emphasis on nasal lavage. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 641, 215–224.
48. Kostianen,R. (1995) VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN THE INDOOR AIR OF NORMAL AND SICK HOUSES. *Atmospheric Environment Vol. 29, No. 6, pp. 693-702, 1995*
49. Kotzias D, Geiss O, Tirendi S. (2005a) The AIRMEX (European Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment) Project report. European Commission; <http://web.jrc.ec.europa.eu/project/airmex/index.htm>.
50. Kotzias D, Koistinen K, Kephelopoulos S, Schlitt C, Carrer P, Maroni M, (2005b). The INDEX project: critical appraisal of the setting and implementation of indoor exposure limits in the EU. Ispra (VA) Italy: European Commission, JRC;
51. Könczey R.S., Nagy A. (1997): Zöldköznapi kalauz. Harmadik, átdolgozott kiadás. Föld Napja Alapítvány, Budapest 69,124,125,149,170 p.
52. Környezetten - Természet és társadalom globális szempontból / Kerényi Attila, ISBN

53. Kwon, K.D., Jo, W.K., Lim, H.J., Jeong, W.S., (2007). Characterization of emissions composition for selected household products available in Korea. *Journal of Hazardous Materials* 148, 192–198
54. Lányi, E. (2011) *Környezettudatos Épített Környezet - A Modellváltás Elvei és Építészeti Eszközei*. (<http://www.doktori.hu/index.php?menuid=193&vid=7763>)
55. Legislation, 2000. EU Directive 2000/69/EC. <http://eur-lex.europa.eu/>.
56. Maroni, M., Seifert, B., Lindvall, T. (Eds.), (1995). *Indoor Air Quality: a Comprehensive Reference Book*. Elsevier, Amsterdam
57. McDonough, W., Braungart, M., (2007) *Bölcsőtől bölcsőig. Környezettudatosság - a tervezéstől a gyártásig*. HVG Kiadó Zrt. Budapest, ISBN 978-963-9686-30-4
58. McGraw-Hill, (1999) *Genium's handbook of safety, health, and environmental data for common hazardous substances*. New York, NY,
59. Milota, M.R., (2000). Emissions from wood drying. The science and the issues. *Forest Products Journal* 50, 10–20.
60. Minemura N. (1976) To lessen formaldehyde liberation from the urea resin glued plywood. *Wood Industry* 1976;31(12):8–12.
61. Molnár, S, Dr, (2011) *Örök társunk a fa*. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó
62. Molnár, S., Dr. (2005): *Erdő - fahasznosítás Magyarországon*. NYME Erdészeti Tudományos Intézet, 344 o.
63. MSZ 21461-2 (1992) 25/2000. (IX. 30.) EÜM-SZCSM EGYÜTTES RENDELET A MUNKAHELYEK KÉMIAI BIZTONSÁGÁRÓL
64. Namiesnik, J., Gorecki, T., Kozdron-Zabiegala, B., Lukasiak J., (1992) *Indoor Air Quality (IAQ), Pollutants, Their Sources and Concentration Levels*. *Building and Environment*, Vol. 27, No. 3, pp. 339-356
65. Nánási, I., (2005) *Humánökológia. A természetvédelem, a környezetvédelem és az embervédelem tudományos alapjai és módszerei*. Medicina könyvkiadó Rt, Budapest, ISBN 9632429605;
66. Norrback, D., Bjornsson, E., Janson, C., Widstrom, J., Boman, G., (1995). Asthmatic symptoms and volatile organic compounds, formaldehyde and carbon dioxide in dwellings. *Occupational and Environmental Medicine* 52, 388–395.
67. Olive, G., Duchene-Marullaz, P., Lavelle, B. (1997) 3. About the definition of environmental quality of buildings. *Building and the environment, Second International Conference, June 9-12, 1997, Paris France, Proceedings Vol.2. Environmental management, Environmental strategies*
68. Országos Munkahigiénés és Foglalkozás-egészségügyi Intézet - http://www.omfi.hu/icsc/PDF/PDF00/icsc0073_HUN.PDF
69. Park, J.S., Ikeda, K., (2006). Variations of formaldehyde and VOC levels during 3 years in new and older homes. *Indoor Air* 16, 129–135.
70. Patkó, Cs., (2013a) Evaluation of volatile organic components of indoor air of a newly-built wooden frame house in the last four seasons. *Conference Proceedings Part (A) 4th INTERNATIONAL CONFERENCE "TO PROTECT OUR GLOBAL ENVIRONMENT FOR FUTURE GENERATIONS" ICEEE-2013, 20 – 21 November 2013, Óbuda University Budapest, Hungary, 229-237pp ISBN: 978-615-5018-93-0*
71. Patkó, Cs., Pásztory, Z., (2013a) Formaldehyd koncentráció egy új építésű vázszerkezetes épületben. *Faipar, LXI* 213/3:23-29
72. Patkó, Cs., Pásztory, Z., (2013b) Fa és faalapú építőanyagok emissziója. *Faipar, LXI. 2013/4:12-21*
73. Patkó, Cs., Patkó, I., Pásztory, Z., (2013c) Indoor Air Quality testing in Low-Energy wooden houses: Measurement of formaldehyde and VOC-s. *Acta Polytechnica Hungarica, Volume 10, Issue Number 8/ 2013, 105-116pp, DOI: 10.12700/APH.10.08.2013.8.6, IF:0,58*
74. Patkó, Cs., Patkó, I., Pásztory, Z., (2013d) The presence of volatile organic compounds (VOCs) indoors during the heating season: in situ emission study of a frame-house. *Acta Mechanica Slovaca, Volume 17, Issue Number 3/ 2013, 70-79pp DOI: 10.2478/mecslo-2013-0031*
74. Petersen, A., Solberg, B. (2005) Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of micro-level analyses from Norway and Sweden. *Forest Policy and Economics* 7 (2005) 249– 259
75. Pécsi Tudományegyetem, (2010) *Gázkromatográfia – tömegspektrometria (GC-MS) 10. fejezet - Kapcsolt technikák* (<http://ttk.pte.hu/analitika/letoltesek/jegyzet/ch10s01.html>)
76. Pfeiffer, Á., Dr.: *Kémia II.* (1994) ISBN 963 5765 4. 19 - 133 oldal
77. Pitts B. J., Pitts, J. N. Jr., (1999) *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere*, Academic Press, 1999, pp. 969;
78. Raw, G.J., Coward, S.K., Brown, V.M. and Crump, D.R. (2004) Exposure to air pollutants in English homes, *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.*, 14(Suppl 1), S85–S94.

79. Reponen, T., Raunemaa, T., Savolainen, T., Kalliokoski, P. (1991) THE EFFECT OF MATERIAL AGEING AND SEASON ON FORMALDEHYDE LEVELS IN DIFFERENT VENTILATION SYSTEMS. *Environant International*, Vol. 17, pp. 349-355, 1991
80. Risholm-Sundman, M. Lundgren, E. Vestin, P. Herder, (1998) Emission of acetic acid and other volatile organic compounds from different species of solid wood, *Holz RohWerkst.* 56 (1998) 125–129.
81. Roffael, E., (2006) Volatile organic compounds and formaldehyde in nature, wood and wood based panels. *Holz RohWerkst.* 64 144–149.
82. Rothweiler, H., Wager, P., Schlatter, C. (1992) VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS AND SOME VERY VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN NEW AND RECENTLY RENOVATED BUILDINGS IN SWITZERLAND. *Atmospheric Environment Vol 26A No 12* pp 2219 2225 1992
83. Rudnai P., Virágh Z., Vaskövi B. (1999) Egyes lakótéri tényezők szerepe iskolás gyermekek légzőszervi panaszainak és allergiás tüneteinek gyakoriságában. *Egészségtudomány* 43, 196-209
84. Saarela, K., Tirkkonen, T., Laine-Ylijoki, J., Jurvelin, J., Nieuwenhuijsen, M.J., Jantunen, M., (2003). Exposure of population and microenvironmental distributions of volatile organic compound concentrations in the EXPOLIS study. *Atmospheric Environment* 37, 5563–5575.
85. Sack, T.M., Steele, D.H., (1992). A survey of household products for volatile organic compounds. *Atmospheric Environment* 26A, 1063–1070.
86. Salonvaara, M., Ojanen, T., Simonson, C. (2004) Indoor Air Quality in a Wooden House. www.ewpa.com/archive/2004/jun/paper_170.pdf
87. Salthammer, T., (2011) Critical evaluation of approaches in setting indoor air quality guidelines and reference values. *Chemosphere* 82 1507–1517
88. Samfield M. M. (1992) Indoor air quality data base for organic compounds, 'EPA-600/13 (1992)
89. Sarigiannis, D.A., Karakitsios, S.P., Gotti, A., Liakos, I.L., Katsoyiannis, A. (2011) Exposure to major volatile organic compounds and carbonyls in European indoor environments and associated health risk. *Environment International* 37 (4), 743 - 765.
90. Schlink, U., Rehwagen, M., Damm, M., Richter, M., Borte, M., Herbarth O. (2004) Seasonal cycle of indoor-VOCs: comparison of apartments and cities. *Atmospheric Environment* 38 (2004) 1181–119
91. Schmidt-Etkins D. (1994) Walls and IAQ: Health Impacts. Prevention and Mitigation. *Indoor Air Quality, Update*. Cutter Information Corp. Arlington, U.S.A.
92. Schneider, A. (2013) *Der Baubiologe in der Praxis*. Institut für Baubiologie + Ökologie, 83115 Neubeuern, www.baubiologie.de
93. Seifert B. (1992) Guidelines for material and product evaluation. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 641, 125-136.
94. Seifert, B., Mailahn, W., Schulz, C., Ullrich, D., (1989) SEASONAL VARIATION OF CONCENTRATIONS OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN SELECTED GERMAN HOMES. *Environment International*, Vol. 15, pp. 397-408, 1989
95. Seung H., Wan, K. (2012) Volatile organic compound concentrations, emission rates, and source apportionment in newly-built apartments at pre-occupancy stage. *Chemosphere* 89 (2012) 569–578
96. Sipos, Z. (1987) *Ipari levegőtisztaság-védelem*. Bp. Műszaki Könyvkiadó
97. Song-Yung, W., Te-Hsin, Y., Li-Ting, L., Cheng-Jung, L., Ming-Jer, T. (2007) Properties of low-formaldehyde-emission particleboard made from recycled wood-waste chips sprayed with PMDI/PF resin. *Building and Environment* 42 (2007) 2472–2479
98. Sterling D. A. (1985) *Indoor Air and Human Healths. Volatile Organic Compounds in Indoor Air: An Overview of Sources, Concentrations, and Health Effects* (edited by Gammage R. B., Kave S. B. and Jacobs V. A.). D. 387
99. Sumin, K., (2009a) Environment-friendly adhesives for surface bonding of wood-based flooring using natural tannin to reduce formaldehyde and TVOC emission. *Bioresource Technology* 100 (2009) 744–748
100. Sumin, K., (2010) The reduction of formaldehyde and VOCs emission from wood-based flooring by green adhesive using cashew nut shell liquid (CNSL). *Journal of Hazardous Materials* 182 (2010) 919–922
101. Sumin, K., Yoon-Ki, C., Kyung-Won, P., Jeong Tai, K. (2010) Test methods and reduction of organic pollutant compound emissions from wood-based building and furniture materials. *Bioresource Technology* 101 (2010) 6562–6568
102. Sumin, K., (2009b) The reduction of indoor air pollutant from wood-based composite by adding pozzolan for building materials. *Construction and Building Materials* 23 (2009) 2319–2323
103. Sumin, K., Jin-A, K., (2005a) Effect of addition of polyvinyl Acetate to melamine-formaldehyde resin on the adhesion and formaldehyde emission in engineered flooring, *Int. J. Adhes. Adhes.* 25, 456.
104. Sumin, K., Jin-A, K., (2005b) Comparison of standard methods and gas chromatography method in determination of formaldehyde emission from MDF bonded with formaldehyde-based resins, *Bioresource Technol.* 96, 1457.

105. Sun-Sook, K., Dong-Hw, K., Dong-Hee, C., Myoung-Souk, Y., Kwang-Woo, K. (2008) Comparison of strategies to improve indoor air quality at the pre-occupancy stage in new apartment buildings. *Building and Environment* 43 (2008) 320–328
106. Szalay, Zs. (2009) Életciklus-elemzés az építészetben. *ECO-Matrix* 1. évfolyam 1. szám 2009. Ősz
107. Széky, P. (1983) *Ökológia - Kislexikon*. Natura, ETO 581.5. ISBN 963 233 095 1
108. Szita, T., K. (2009) Az életciklus-elemzés kialakulása, fejlődése, értelmezése dióhéjban. *ECO-Matrix* 1. évfolyam 1. szám 2009. Ősz
109. Takáts Péter (1994a): Faalapú kompozit lemezek formaldehid tartalma I. *Magyar Asztalos* IV: 5, 48–49
110. Takáts Péter (1994b): Faalapú kompozit lemezek formaldehid tartalma. II. *Magyar Asztalos* IV: 7, 47
111. Takáts Péter (1994c): Kompozit lemezek emissziós határértékei. *Magyar Asztalos* IV: 9, 56
112. Takats, P., Winkler A., Albert, L. Nemeth Zs. I. (2000a): Formaldehyde Contents of Particleboard: Comparing WKI-Method and with FESYP Perforator Test Method, „5th International, Jubilee Conference on Role of Formaldehyde in biological systems, October 9–13. 2000. Sopron, Hungary, 54–58
113. Takáts P., Szabadhegyi Gy., Alpár T. (2000b): A forgácsolóipar fejlődése I., *Magyar Asztalos és Faipar* X: 3, 38–42
114. Tiderenczl G., Medgyasszay P., Szalay Zs., Zorkóczy Z. (2006) Épületszerkezetek építésökölógiai és -biológiai értékelő rendszerének összeállítása az építési anyagok hazai gyártási/ előállítási adatai alapján. *Független Ökológiai Központ, OTKA T/F 046265*
115. Tredgold, T., 1824. *The Principles of Warming and Ventilating Public Buildings*. J. Taylor, London.
116. Turanlı L, Uzal B, Bektas F. (2004) Effect of material characteristics on the properties of blended cements containing high volumes of natural pozzolans. *Cem Concr Res* 2004;34(12):2277–82.
117. Ubrankovics Kft. (<http://www.faepiteszet.hu/hu/fooldal.html>)
118. Valicenti, J.A., Wenger, J., 1997. Air quality monitoring during construction and initial occupation of a new building. *Journal of Air and Waste Management Association* 47, 890–897.
119. Wallace L. (1993) A decade of studies of human exposure: what have we learned? *Risk Anal* 1993; 13: 135–43
120. Wallace, L.A. (2001) Human exposure to volatile organic pollutants: implications for indoor air studies. *Annual Review of Energy and the Environment* 26, 269–301.
121. Wallace, L.A., Pellizzari, E., Leaderer, B., Zelon, H., Sheldon, L., (1987). Emissions of volatile organic compounds from building materials and consumer products. *Atmospheric Environment* 21, 385–393
122. Wang WL, Gardner DJ, Baumann MGD. (2003) Factors affecting volatile organic compound emissions during hot-pressing of southern pine particleboard. *Forest Products Journal* 2003;53(3):65–72.
123. Weschler, C.J. (2001) Reactions among indoor air pollutants. *Sci World* 2001; 1: 443–57
124. Weschler, C.J. (2008) Changes in indoor pollutants since the 1950s, *Atmospheric Environment* 43 (2009) 153–169;
125. Weschler, C.J. (2011) Commemorating 20 years of Indoor Air - Chemistry in indoor environments: 20 years of research, *Indoor Air* 2011; 21: 205–218;
126. Wieslander, G., Norback, D., Bjornsson, E., Jansom, C., Bomann, G., (1997). Asthma and the indoor environment: the significance of emissions of formaldehyde and volatile organic compounds from newly painted indoor surfaces. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 69, 115–124.
127. Willem, H., Singer, B.C., (2010) *Chemical Emissions of Residential Materials and Products: Review of Available Information*. Environmental Energy Technologies Division. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. LBNL - 3938E
128. Wohnbauforschung, AGU: Hutter, H., Moshhammer, H., Wallner, P., IMB: Tappler, P., Twrdik, F., ÖÖI: Dr. Ganglberger, E., Geissler, S., Wenisch, A. (2005) Auswirkungen energiesparender Maßnahmen im Wohnbau auf die Innenraumluftqualität und Gesundheit, *Forschungsvorhaben F 1469*, 15;
129. World Health Organisation (WHO) (1948), Preamble of the Constitution of the World Health Organisation as adopted by the International Health Conference, (Official Records of the WHO, No.2, p. 100)
130. World Health Organisation (WHO), (1989) *Indoor Air Quality: Organic Pollutants*, EURO Reports and Studies No III, World Health Organisation, Copenhagen, Denmark
131. World Health Organisation (WHO), (2000). *Air Quality Guidelines for Europe*, second ed. WHO Regional Publication. European Series, No. 91.
132. World Health Organisation (WHO), (2010) *Guidelines for indoor air quality: selected pollutants Denmark*: WHO Regional Office for Europe, ISBN 978 92 890 0213 4;
133. Yocom J. (1982) Indoor-outdoor air quality relationships. I. *Air Polk Control Assoc.* 32, 500.

134. Young-Kyu, L., Hyun-Joong, K., (2012) The effect of temperature on VOCs and carbonyl compounds emission from wooden flooring by thermal extractor test method. *Building and Environment* 53 (2012) 95 - 99
135. Yu, C., Crump, D., (1998) Review of the Emission of VOCs from Polymeric Materials used in Buildings. *Building and Environment*, Vol 33, No. 6, pp. 357-374, 1998
136. Zalel, A., Yuval, Broday, D.M., (2008). Revealing source signatures in ambient BTEX concentrations. *Environmental Pollution* 156, 553 - 562.
137. Ze-Li, Q., Fei-Bin, W., Jian-Zhang, L., Takeshi, F., (2013) Assessment on emission of volatile organic compounds and formaldehyde from building materials. *Composites: Part B* 49 (2013) 36–42
138. Zhang, J., Smith, K. (2003) Indoor air pollution: a global health concern. *British Medical Bulletin* 2003; 68: 209–225

Mellékletek

1. Illékony szerves anyagok anyagjellemzői

Telítetlen szénhidrogének:

1. **Diének:** C_nH_{2n-2} nyíltláncú szénhidrogének, melyekben kettő darab kettős kötés található a szénlánc szénatomjai között. A diének legnagyobb részéből műkaucsuk készül.

Terpének: $(C_5H_8)_n$ összegképletű, izoprén egységekből álló vegyületeket. Különféle növényekből (citrusfélék) desztillálás útján kaphatók. Fontosabb terpének a citromolajban előforduló limonén, a korianderolajban előforduló terpinén, a terpentín-olajban előforduló pinén stb. Az illatszeripar egyik fontos nyersanyagcsoportja.

Limonén: $C_{10}H_{16}$ a terpének közé tartozó szerves vegyület, azaz nem szintetikus, hanem valódi növényi kivonat. Színtelen folyadék, szobahőmérsékleten erős narancsszaggal. A citrom és más citrusfélék nagy mennyiségben tartalmazzák. Használják íz és illat adaléknak ételekben, háztartási tisztítószerekben, parfümökben. Allergiás tüneteket is okozhat, például szem, orr, torok, bőr irritációt, de általánosan nem számít egészségre káros anyagnak. Az átlagos koncentráció, melyet háztartásokban mértek kevesebb, mint $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ volt.

Alfa-pinén: $C_{10}H_{16}$ szintén a terpének közé tartozó szerves vegyület, valódi növényi kivonat. Megtalálható sok tűlevelű fenyőben, de a rozsmaringban is. A növényekből származó emissziót a hőmérséklet, valamint a napsugárzás intenzitása befolyásolja. A légkörbe jutva az ózonnal reakcióba tud lépni, és újabb illékony anyagok keletkeznek. Antibakteriális hatású.

3-karén: $C_{10}H_{16}$ biciklusos monoterpén, amely a természetben a terpentínben fordul elő, a forrástól függően akár 42%-os mennyiségben is. A karén édes és szúrós szagú. Vízben nem oldódik, de zsírokkal és olajokkal elegyedik. Magasabb koncentrációban bőr irritációt okozhat.

Aromás szénhidrogének:

Nyílt láncú vagy elágazó láncú telített és telítetlen szénhidrogének, szénből és hidrogénből álló vegyületek, pl. paraffinok. Éghetők és gyúlékonyak, az illékonyak gőze a levegővel robbanó elegyet alkot. Belégzésük narkotikus hatású, a bőrre jutva bőrgyulladást, hólyagosodást okoznak. Az illékony ~ esetén a szagküszöbértéket sokszáz mg/m^3 -ben adják meg.

- **Benzol:** C_6H_6 telítetlen, gyűrűs szénhidrogén, színtelen, jellegzetes szagú, könnyen párologó, alkohollal, éterrel és szerves oldószerekkel vegyül, vízzel nem. Nagyon veszélyes mérgező, károsítja a csontvelőt, hajszálereket, fejfájást, hányingert, eszméletvesztést okoz. Szaglási küszöb érték: 1,5 ppm, kábult állapot 150 ppm. Rákkeltő hatású. Legnagyobb beltéri koncentráció: 5 ppm. Reakcióképessége alacsony (650°C fölött). Előállítás hexánból ciklizálással majd aromatizálással történik. A (német) MAK-érték $3000 \text{ mg}/\text{m}^3$.
- **Toluol** (metil-benzol): C_7H_8 ($C_6H_5CH_3$) kitűnő oldószer, fontos ipari kiindulási anyag. Benzolhoz hasonló szagú, mérgező folyadék. Könnyen meggyullad.

Bőrre, idegrendszerre izgató hatással van. Beltérben megengedett maximális koncentráció 0,02%. Benzaldehyddé alakul oxidálással.

- **Etil-benzol:** C_8H_{10} fontos ipari anyag. Dehidrogénezéssel állítják elő belőle a polisztirol monomerjét, a sztirolt. Víziszta, éghető, aromás szagú folyadék. Bőrre, idegrendszerre izgató hatással van. Adalékanyagként jelen van műgyantákban, oldószerekben, viaszokban, stb.
- **Sztirol** C_8H_8 egy telítetlen oldalláncú aromás szénhidrogén. Színtelen, kellemes szagú, erősen fénytörő folyadék. Vízben nem oldódik, de sok szerves oldószer jól oldja, alkohollal és éterrel korlátlanul elegyedik. Megtalálható a kőszénkátrányban. Régóta ismert vegyület. Egyes meleg égővön honos fák (Styrax-fajok, például Styrax benzoin: benzoefa) gyantájából annak vízgőz-desztillációjakor a gőzzel együtt távozik. A sztirolt iparilag leginkább etil-benzol dehidrogénezésével állítják elő. Többnyire műanyagok, főként polisztirol gyártására használják. Tűzveszélyes, egészségkárosító anyag, 700 ppm azonnal veszélyt jelent az egészségre. Szem- és bőrirritáló hatású, belélegezve ártalmas. Lehetséges hatásai: dermatitis, fáradtság, hányás, szédülés, fejfájás, eszméletlenség. Hatása lehet a központi idegrendszerre. A folyadék lenyelése közben előfordulhat a tüdőbe való aspiráció, ami kémiai (toxikus) tüdőgyulladást okozhat. Már 100 ppm koncentrációnál is jelentkezik torok és szemirritáló hatása. 800 ppm felett álmoság, fémés íz, fokozódó nyáleválasztás tapasztalható (Forrás: Országos Munkahigiénés és Foglalkozás-egészségügyi Intézet).
- **Naftalin** $C_{10}H_8$ a legegyszerűbb policiklusos aromás szénhidrogén, legnagyobb mennyiségben a kőszénkátrányban fordul elő. A naftalint az iparban különféle festékanyagok készítéséhez, a háztartásban pedig különösen a ruhaneműk védelmében a molyok ellen használják. Hosszú távon a naftalin súlyosan károsítja és rombolja a vörösvértesteket és fokozza a rögzépződést. A mérgezés tünetei: levertség, étvágytalanság, nyugtalanság, sápadt bőr, súlyos esetben hányinger, hányás, véres vizelet, hallucináció, sárgaság és hasmenés. Az IARC korlátozott mértékben rákkeltőnek minősítette (Forrás: <http://hu.wikipedia.org/wiki/Naftalin>).

Heteroatomos, oxigén tartalmú vegyületek:

- **Alkoholok:** R-OH nyílt láncú szénhidrogének, amelyek egy vagy több hidroxil csoportot tartalmaznak. Csoportjai: primer, szekundér, terciér. Forráspontjuk magas, szilárd anyagok.
 - Metanol:** CH_3OH faecetből állították elő. Semleges, színtelen, mérgező, alkohol szagú folyadék. Zsírban, olajban nehezen oldódik. Ketonokkal, vízzel, aromás szénhidrogénekkal elegyedik. Energiaforrásnak használják 90%-ban, formaldehyd, alkének, aromás vegyületek, benzaldehyd előállításához.
 - Etanol:** C_2H_5OH Színtelen, jellegzetes szagú és ízű, könnyen folyó folyadék. Forráspontja viszonylag magas. Az alkoholtartalmú italokon kívül az etanolt széles körben használják. Oldó, hígító, extraháló szer, stb. Az etil-alkohol 70%-os oldatát, valamint egyéb etanol-tartalmú oldatokat fertőtlenítőként s ezen belül bőrfertőtlenítőként is alkalmazzák. Májrák kezelésére alkalmazható tömény etanol-oldat injektálása a daganatba. Az idegsebészetben neuralgiák kezelésére használják, idegkárosító hatása miatt.

Butanol: $C_4H_{10}O$ színtelen, jellegzetes szagú folyadék, olajok, viaszok, gyanták, műanyagok oldószerei, lágyítószer.

Fenol: C_6H_5OH az egyik legegyszerűbb aromás vegyület, színtelen, jellegzetes szagú folyadék, reakcióképes. Vízben kis mértékben oldódik, vizes oldata gyengén savas. Szerves oldószerekben jól oldódik. Bőrre és nyálkahártyára mérgező hatásúak, bénuláshoz vezethetnek. Előfordulnak barnaszénben, természetes illatanyagokban. Rovarirtó szerek, lakkok, műgyanták, Fenol-formaldehid gyanták, szigetelő habok, detergensok alapanyaga.

- **Aldehidek:** Éghető, színtelen folyadékok, szúrós szagúak, alkoholban oldódnak. Nyálkahártyát irritálják, altató hatásúak. Levegőn nem stabilak. Természetben, kis koncentrációban fordulnak elő. Szerves szintézisekhez használják.

Formaldehid: lásd 2.2.2.-es fejezet.

Acetaldehid: CH_3CHO gyúlékony, jellegzetes szagú szerves vegyület. Alacsony forráspontú ($20\text{ }^\circ\text{C}$) folyadék, tehát már szobahőmérsékleten gáz halmazállapotú. Hígított állapotban almára emlékeztető szagú gáz. A vegyiparban az acetaldehid az ecetsav, egyes észterek és más vegyületek gyártásának köztiterméke. Megengedett legnagyobb koncentráció: 0,02%.

Benzaldehid: C_6H_5CHO legegyszerűbb és egyben a legfontosabb aromás aldehid. Az elsőként felfedezett aromás aldehid. Színtelen, keserűmandula illatú folyadék. A természetben a keserűmandula-olajban fordul elő amigdalín alakjában. A mandula fontos illatanyaga. Vízben alig oldódik. Szerves oldószerekkel (alkohollal és éterrel) korlátlanul elegyedik. Jelenleg a benzaldehidet legnagyobb mennyiségben toluol oxidációjával állítják elő. Bizonyos termékek illatosítására, egyes szerves festékek szintéziséhez, illetve oldószerként használják.

- **Ketonok:** R_1-CO-R_2 oxigéntartalmú szerves vegyületek. Víziszta, éghető, jellegzetes szagú folyadék. A kis szén atomszámú ketonok jól oldódnak vízben, a szén atomszám növekedésével az oldhatóság egyre csökken, az ötös szén atomszámú ketonok már vízben gyakorlatilag nem oldódnak. Az összes keton jól oldódik alkoholban és éterben. A ketonok előállítása a nekik megfelelő szekunder alkohol oxidációjával történhet. Előállíthatók továbbá a megfelelő karbonsavak kalcium sóinak hevítésével is. Zsírok, olajok, gyanták oldószerei, színezékek, rovarirtó szerek alapanyaga.

Aceton: CH_3COCH_3 Színtelen, az éterekéhez hasonló szagú folyadék. Mind poláris, mind apoláris oldószerekben kitűnően oldódik (vízzel, alkohollal, éterrel, benzollal és kloroformmal korlátlanul elegyedik), ezért magát az acetont is oldószerként alkalmazzák. Tűzveszélyes (lobbanáspont $-17...-20\text{ }^\circ\text{C}$), alacsony forráspontú folyadék, szobahőmérsékleten is erősen párolog. Jó tulajdonságai miatt az élet legkülönbözőbb területein használják: körömlakklesz, ill. műanyagok készülnek belőle. A vegyipar általános oldószerként alkalmazza.

Karbon savak:

A karbonsavak az oxigéntartalmú szerves vegyületek egyik csoportját alkotják. A karbonsavak savjellegű vegyületek. A forráspontja magas. Reakcióképes vegyületek. Karbonsavak a növény- és állatvilágban is előfordulnak. A kisebb szénatom-számúak szabadon vagy sók alakjában találhatóak meg. Nagy

biológiai jelentősége van a karbonsavak amino származékainak, az aminosavaknak. Az aminosavak a fehérjék építőkövei. Más karbonsavak (például citromsav, tejsav) az anyagcsere-folyamatokban játszanak szerepet.

Ecetsav: CH₃COOH. Könnyen felismerhető, mert ez adja az ecet savanyú ízét és átható szagát. Fontos kémiai reagens és ipari nyersanyag. Az élelmiszeriparban az ecetsavat E260-nal jelölik, és a savanyúság szabályozására használják (Breuer, 1995).

2. Szakirodalmi esettanulmányok

Helyszíni, <i>in-situ</i> tanulmányok			
Év	Szerzők	Cím	Publikálás
1.	1989 Seifert és tsai	SEASONAL VARIATION OF CONCENTRATIONS OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN SELECTED GERMAN HOMES	Environment International, Vol. 15, pp. 397-408, 1989
2.	1991 Reponen és tsai	The effect of material ageing and season on formaldehyde levels in different ventilation systems	Environment International, Vol. 17, pp. 349-355, 1991
3.	1992 Lewis és tsai	APPORTIONMENT OF RESIDENTIAL INDOOR AEROSOL, VOC AND ALDEHYDE SPECIES TO INDOOR AND OUTDOOR SOURCES, AND THEIR SOURCE STRENGTHS	Atmospheric Environment Vol 26A No 12 pp 2179 - 2184 1992
4.	1992 Rothweiler és tsai	VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS AND SOME VERY VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN NEW AND RECENTLY RENOVATED BUILDINGS IN SWITZERLAND	Atmospheric Environment Vol 26A No 12 pp 2219 2225 1992
5.	1995 KOSTIAIN EN	VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN THE INDOOR AIR OF NORMAL AND SICK HOUSES	Atmospheric Environment Vol. 29, No. 6, pp. 693-702, 1995
6.	1996 Moriske és tsai	Indoor air pollution by different heating systems: coal burning, open fireplace and central heating	Toxicology Letters 88 (1996) 349-354
7.	2001 Wolkoff és tsai	Organic compounds in indoor air - their relevance for perceived indoor air quality?	Atmospheric Environment 35 (2001) 4407-4417
8.	2001 Edwards és tsai	Benzene exposure in Helsinki, Finland	Atmospheric Environment 35 (2001) 1411-1420
9.	2001 Tuomainen és tsai	Usefulness of the Finnish classification of indoor climate, construction and finishing materials: comparison of indoor climate between two new blocks of flats in Finland	Atmospheric Environment 35 (2001) 305-313
10.	2001 Hayashi és tsai	Annual characteristics of ventilation and indoor air quality in detached houses using a simulation method with Japanese daily schedule model	Building and Environment 36 (2001) 721-731
11.	2001 Edwards és tsai	VOC concentrations measured in personal samples and residential indoor, outdoor and workplace microenvironments in EXPOLIS-Helsinki, Finland	Atmospheric Environment 35 (2001) 4531-4543

12.	2001	Simonson és tsai	Improving indoor climate and comfort with wooden structures	VTT Publications 431, ISBN 951-38-5846-4
13.	2002	Shun Cheng és tsai	Investigation of indoor air quality at residential homes in Hong Kong - case study	Atmospheric Environment 36 (2002) 225–237
14.	2002	Funch és tsai	Indoor climate of single-family house constructed by use of glued solid wood elements - In-situ measurements and calculations	Wood Technology – Træteknik
15.	2003	Guo és tsai	The development of low volatile organic compound emission house—a case study	Building and Environment 38 (2003) 1413 – 1422
16.	2004	Weschler és tsai	Cleaning products and air fresheners: exposure to primary and secondary air pollutants	Atmospheric Environment 38 (2004) 2841–2865
17.	2004	Sakai és tsai	A comparison of indoor air pollutants in Japan and Sweden: formaldehyde, nitrogen dioxide, and chlorinated volatile organic compounds	Environmental Research 94 (2004) 75–85
18.	2004	Schlink és tsai	Seasonal cycle of indoor-VOCs: comparison of apartments and cities	Atmospheric Environment 38 (2004) 1181–1190
19.	2004	Salonvaara és tsai	Indoor Air Quality in a Wooden House	www.ewpa.com/archive/2004/jun/paper_170.pdf
20.	2005	Coelho és tsai	Indoor air pollution in old people's homes related to some health problems: a survey study	Indoor Air 2005; 15: 267–274
21.	2006	Jarnstrom és tsai	Reference values for indoor air pollutant concentrations in new, residential buildings in Finland	Atmospheric Environment 40 (2006) 7178–7191
22.	2006	Edwards és tsai	Time–activity relationships to VOC personal exposure factors	Atmospheric Environment 40 (2006) 5685–5700
23.	2006	Hippelein, M.	Analysing selected VVOCs in indoor air with solid phase microextraction (SPME): A case study	Chemosphere 65 (2006) 271–277
24.	2008	Chau és tsai	Valuing the health benefits of improving indoor air quality in residences	Science of the total environment 394 (2008) 25–38
25.	2008	Sun-sook és tsai	Comparison of strategies to improve indoor air quality at the pre-occupancy stage in new apartment buildings	Building and Environment 43 (2008) 320–328
26.	2008	Wang és tsai	Symptom definitions for SBS (sick building syndrome) in residential dwellings	Int. J. Hyg. Environ. Health 211 (2008) 114–120
27.	2008	Jia és tsai	Distributions of personal VOC exposures: A population-based analysis	Environment International 34 (2008) 922–931
28.	2009	Dassonville és tsai	Assessment and predictor determination of indoor aldehyde levels in Paris newborn babies homes	Indoor Air 2009; 19: 314–323
29.	2009	D'Souza és tsai	Ethnicity, housing and personal factors as determinants of VOC exposures	Atmospheric Environment 43 (2009) 2884–2892
30.	2010	Indraganti és tsai	Effect of age, gender, economic group and tenure on thermal comfort: A field study in residential buildings in hot and dry climate with seasonal variations	Energy and Buildings 42 (2010) 273–281
31.	2010	Kang és tsai	Effect of bake-out on reducing VOC emissions and concentrations in a residential housing unit with a radiant floor heating system	Building and Environment 45 (2010) 1816-1825
32.	2010	Missia és tsai	Indoor exposure from building materials: A field study	Atmospheric Environment 44 (2010) 4388-4395
33.	2011	Sarigiannis és tsai	Exposure to major volatile organic compounds and carbonyls in European indoor environments	Environment International 37 (2011) 743–765

			and associated health risk	
34.	2011	Walgraeve és tsai	Diffusive sampling of 25 volatile organic compounds in indoor air: Uptake rate determination and application in Flemish homes for the elderly	Atmospheric Environment 45 (2011) 5828-5836
35.	2012	Lisa C. Ng és tsai	Indoor air quality analyses of commercial reference buildings	Building and Environment 58 (2012) 179-187
36.	2012	Shin és tsai	Volatile organic compound concentrations, emission rates, and source apportionment in newly-built apartments at pre-occupancy stage	Chemosphere 89 (2012) 569–578
37.	2013	Hamidin és tsai	Volatile aromatic hydrocarbons (VAHs) in residential indoor air in Brisbane, Australia	Chemosphere xxx (2013) xxx–xxx

2.1.a. Táblázat: Helyszíni, *in-situ* tanulmányok

Tesztkamrás mérések				
Év	Szerzők	Cím		Publikálás
1.	1987	HAWTHORNE és tsai	MODELS FOR ESTIMATING ORGANIC EMISSIONS FROM BUILDING MATERIALS: FORMALDEHYDE EXAMPLE	Atmospheric Environment Vol. 21, No. 2, pp. 419-424
2.	1996	Wolkoff, P.	A NEW APPROACH FOR INDOOR CLIMATE LABELING OF BUILDING MATERIALS--EMISSION TESTING, MODELING, AND COMFORT EVALUATION	Atmospheric Environment Vol. 30, No. 15, pp. 2679-2689, 1996
3.	1998	Chang és tsai	EMISSIONS OF ODOROUS ALDEHYDES FROM ALKYD PAINT	Atmospheric Environment Vol. 32, No. 20, pp. 3581-3586, 1998
4.	1998	Wolkoff, P.	IMPACT OF AIR VELOCITY, TEMPERATURE, HUMIDITY, AND AIR ON LONG-TERM VOC EMISSIONS FROM BUILDING PRODUCTS	Atmospheric Environment Vol. 32, No. 14/15, pp. 2659-2668, 1998
5.	1999	Wolkoff, P.	How to measure and evaluate volatile organic compound emissions from building products. A perspective	The Science of the Total Environment 227 197-213
6.	2001	Niu és tsai	Setting up the criteria and credit-awarding scheme for building interior material selection to achieve better indoor air quality	Environment International 26, 573-580
7.	2002	Huang és tsai	Modelling of volatile organic compounds emission from dry building materials	Building and Environment 37 (2002) 1127 – 1138
8.	2003	Zhang és tsai	Characteristics and correlations of VOC emissions from building materials	International Journal of Heat and Mass Transfer 46 (2003) 4877–4883
9.	2004	Weschler, C.J.	Chemical reactions among indoor pollutants: what we've learned in the new millennium	Indoor Air 2004; 14 (Suppl 7): 184–194
10.	2004	Singer és tsai	Sorption of organic gases in a furnished room	Atmospheric Environment 38 (2004) 2483–2494
11.	2007	Carlsaw, N.	A new detailed chemical model for indoor air pollution	Atmospheric Environment 41 (2007) 1164–1179
12.	2007	Risholm-	Formaldehyde emission—Comparison of	Atmospheric Environment

	Sundman és tsai	different standard methods	41 (2007) 3193–3202
13.	2007 Zhang és tsai	Influence of temperature on formaldehyde emission parameters of dry building materials	Atmospheric Environment 41 (2007) 3203–3216
14.	2007 Singer és tsai	Sorption of organic gases in residential rooms	Atmospheric Environment 41 (2007) 3251–3265
15.	2008 Salthammer és tsai	Comparison of analytical techniques for the determination of aldehydes in test chambers	Chemosphere 73 (2008) 1351–1356
16.	2009 Gminski és tsai	Cytotoxicity and genotoxicity in human lung epithelial A549 cells caused by airborne volatile organic compounds emitted from pine wood and oriented strand boards	Toxicology Letters 196 (2010) 33–41
17.	2009 Chino és tsai	Study on emission of decomposed chemicals of esters contained in PVC flooring and adhesive	Building and Environment 44 (2009) 1337–1342
18.	2011 Jae-Yoon és tsai	Formaldehyde and TVOC emission behavior of laminate flooring by structure of laminate flooring and heating condition	Journal of Hazardous Materials 187 (2011) 44–51
19.	2011 Walgraeve és tsai	Uptake rate behavior of tube-type passive samplers for volatile organic compounds under controlled atmospheric conditions	Atmospheric Environment 45 (2011) 5872–5879
20.	2012 Schripp és tsai	Interaction of ozone with wooden building products, treated wood samples and exotic wood species	Atmospheric Environment 54 (2012) 365–372
21.	2012 Young-Kyu és tsai	The effect of temperature on VOCs and carbonyl compounds emission from wooden flooring by thermal extractor test method	Building and Environment 53 (2012) 95–99
22.	2012 Katsoyiannis és tsai	Building materials. VOC emissions, diffusion behaviour and implications from their use	Environmental Pollution 169 (2012) 230–234
23.	2012 Xiong és tsai	A general analytical model for formaldehyde and VOC emission/sorption in single-layer building materials and its application in determining the characteristic parameters	Atmospheric Environment 47 (2012) 288–294
24.	2013 Gunschera és tsai	Impact of building materials on indoor formaldehyde levels: Effect of ceiling tiles, mineral fiber insulation and gypsum board	Building and Environment 64 (2013) 138–145

2.1.b. Táblázat: Tesztkamrás mérések

Áttekintő, Review tanulmányok			
Év	Szerzők	Cím	Publikálás
1.	1982 Repace, J.L.	INDOOR AIR POLLUTION	Environment International, Vol. 8, pp. 21–36, 1982
2.	1998 HAGHIGHAT és tsai	Material Emission Rates : Literature Review, and the Impact of Indoor Air Temperature and Relative Humidity	Building and Environment Vol. 33, No 5. pp. 261 –277, 1998
3.	1998 Yu és tsai	A Review of the Emission of VOCs from Polymeric Materials used in Buildings	Building and Environment Vol 33, No. 6, pp. 357–374, 1998
4.	2007 Salhammer és tsai	Impact of reaction products from building materials and furnishings on indoor air quality—A review of recent advances in indoor chemistry	Atmospheric Environment 41 (2007) 3111–3128

5.	2009	Weschler,C.J.	Changes in indoor pollutants since the 1950s	Atmospheric Environment 43 (2009) 153–169
6.	2010	Williem és tsai	Chemical Emissions of Residential Materials and Products: Review of Available Information	Office of Energy Efficiency and Renewable Energy under DOE Contract No. DE-AC02-05CH11231
7.	2010	Wolkoff és tsai	Non-cancer effects of formaldehyde and relevance for setting an indoor air guideline	Environment International 36 (2010) 788–799
8.	2011	Zhang és tsai	Can commonly-used fan-driven air cleaning technologies improve indoor air quality? A literature review	Atmospheric Environment 45 (2011) 4329-4343
9.	2011	Salhammer, T.	Critical evaluation of approaches in setting indoor air quality guidelines and reference values	Chemosphere 82 (2011) 1507–1517
10.	2011	Frontczak és tsai	Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments	Building and Environment 46 (2011) 922-937
11.	2011	Weschler,C.J.	Commemorating 20 years of Indoor Air - Chemistry in indoor environments: 20 years of research	Indoor Air 2011; 21: 205–218
12.	2011	Heinrich, J.	Influence of indoor factors in dwellings on the development of childhood asthma	International Journal of Hygiene and Environmental Health 214 (2011) 1–25

2.1.c. Táblázat: Áttekintő, Review tanulmányok

3. AgBB által megadott LCI-értékek

Komponens neve	CAS száma	LCI érték (µg/m ³)
Comment		
Benzene	71-43-2	5
Toluene	108-88-3	1900
Ethyl benzene	100-41-4	4400
p/m-Xylene	106-42-3; 108-38-3	2200
o-Xylene	95-47-6	2200
Cumene	98-82-8	1000
n-Propyl benzene	103-65-1	1000
1-Propenyl benzene	637-50-3	4900
1,3,5-Trimethylbenzene	108-67-8	1000
1,2,4-Trimethylbenzene	95-63-6	1000
1,2,3-Trimethylbenzene	526-73-8	1000
2-Ethyltoluene	611-14-3	1000
1-Isopropyl-2-methylbenzene (a)	527-84-4	1100
1-Isopropyl-3-methylbenzene (a)	535-77-3	1100
1-Isopropyl-4-methylbenzene	99-87-6	1100
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	95-93-2	1100
n-Butylbenzene	104-51-8	1100
1,3-Diisopropylbenzene	99-62-7	1400
1,4-Diisopropylbenzene	100-18-5	1400
1-Phenyloctane	2189-60-8	1600
1-Phenyldecane	104-72-3	1800
1-Phenylundecane	6742-54-7	1900
4-Phenyl cyclohexene (4-PCH)	4994-16-5	1300
Styrene	100-42-5	860
Phenyl acetylene	536-74-3	840
2-Phenylpropene	98-83-9	2500
3-Methyl styrene	100-80-1	4900
4-Methyl styrene	622-97-9	4900
Other alkylbenzene (d)		
Other alkylbenzene (d)		1000
Naphthalene	91-20-3	10
Indene	95-13-6	450
Sum of listed aromatic hydrocarbons		
n-Hexane	110-54-3	72
Cyclohexane	110-82-7	7000
Methyl cyclohexane	108-87-2	8100
n-Heptane	142-82-5	21000
1,4-Dimethylcyclohexane(c,t mix)	589-90-2	
n-Octane	111-65-9	6000
n-Nonane	111-84-2	6000
n-Decane	124-18-5	6000
n-Undecane	1120-21-4	6000
n-Dodecane	112-40-3	6000
n-Tridecane	629-50-5	6000
n-Tetradecane	629-59-4	6000

n-Pentadecane	629-62-9	6000
n-Hexadecane	544-76-3	6000
n-Octadecane	593-45-3	6000
n-Eicosane	112-95-8	6000
Other aliphatic hydrocarbon (>C6-C8) (d)		6000
Other aliphatic hydrocarbon (>C8-C16) (d)		6000
Other aliphatic hydrocarbon (>C16-C22) (d)		6000
Sum of listed aliphatic hydrocarbon		
3-Carene	498-15-7	1500
alpha-pinene	80-56-8	1500
beta-Pinene (b)	127-91-3	1500
Limonene	5898-27-5	1500
Longifolene	475-20-7	1500
Other terpene (d)		1500
Sum of listed terpenes		
Pentanal	110-62-3	1700
Hexanal	66-25-1	890
Heptanal	111-71-7	1000
2-Ethylhexanal	123-05-7	1100
Octanal	124-13-0	1100
Nonanal	124-19-6	1300
Decanal	112-31-2	1400
trans-2-Butenal	123-73-9	1
trans-2-Pentenal	1576-87-0	12
trans-2-Hexenal	6728-26-3	14
trans-2-Heptenal	18829-55-5	16
trans-2-Octenal	2548-87-0	18
trans-2-Nonenal	2463-53-8	20
trans-2-Decenal	3913-81-3	22
trans-2-Undecenal	53448-07-0	24
Furfural	98-01-1	20
Glutardialdehyde	111-30-8	2
Benzaldehyde	100-52-7	90
Sum of listed aldehydes		
tert-Butanol	75-65-0	620
2-Methyl-1-propanol	78-83-1	3100
1-Butanol	71-36-3	3100
1-Pentanol	71-41-0	730
1-Hexanol	111-27-3	2100
Cyclohexanol	108-93-0	2100
2-Ethyl-1-hexanol	104-76-7	1100
1-Octanol	111-87-5	1100
4-Hydroxy-4-methylpentan-2-on (Diacetone alcohol)	123-42-2	960
Other C4-C10 saturated alcohols (d)		1100
Phenol	108-95-2	10
BHT (2,6-Di-tert-butyl-4-metilfenol)	128-37-0	100
Benzyl alcohol	100-51-6	440
Propylene glycol (1,2-Dihydroxypropane)	57-55-6	2500
Ethylene glycol (1,2-Ethanediol)	107-21-1	260
Ethylene glycol monobutyl ether	111-76-2	980
Diethylene glycol	111-46-6	440

Diethylene glycol monobutyl ether	112-34-5	670
2-Phenoxyethanol	122-99-6	1100
Ethylene carbonate	96-49-1	370
1-Methoxy-2-propanol	107-98-2	3700
2,2,4-Trimetil-1,3-pentanediol-monoizobutyrate	25265-77-4	600
Butyl glycolate	7397-62-8	550
Diethylene glycol monobutyl ether acetate	124-17-4	850
Dipropylene glycol monomethyl ether (c)	34590-94-8	3100
2-Methoxyethanol	109-86-4	3
2-Ethoxyethanol	110-80-5	8
2-Propoxyethanol	2807-30-9	860
2-Methylethoxyethanol	109-59-1	220
2-Hexoxyethanol	112-25-4	1200
1,2-Dimethoxyethane	110-71-4	4
1,2-Diethoxyethane	629-14-1	10
2-Methoxyethyl acetate	110-49-6	5
2-Ethoxyethyl acetate	111-15-9	11
2-Butoxyethyl acetate	112-07-2	1300
2-(2-Hexoxyethoxy)-etanol	112-59-4	740
1-Methoxy-2-(2-etoxymethoxy) ethane	111-96-6	28
2-Methoxy-1-propanol	1589-47-5	19
2-Methoxy-1-propyl acetat	70657-70-4	28
Propylene glycol diacetate	623-84-7	5300
Dipropilén glikol (c)	110-98-5; 25265-71-8	670
Dipropylene glycol monomethyl ether acetate (c)	88917-22-0	3900
Dipropylene glycol mono-n-propyl ether (c)	29911-27-1	740
Dipropylene glycol mono-n-butyl ether (c)	29911-28-2	810
Dipropylene glycol mono-t-butyl ether (c)	132739-31-2	810
1,4-Butanediol	110-63-4	2000
Tripropylene glycol monomethyl ether (c)	20324-33-8	1000
Triethylene glycol dimethyl ether	112-49-2	7
1,2-Propylene glycol dimethyl ether	7778-85-0	25
2,2,4-Trimetil-1,3-pentanediol-diizobutyrate (TXIB)	6846-50-0	450
Ethyldiglykol	111-90-0	350
Dipropylene glycol dimethyl ether	89399-28-0	1300
Methyl ethyl ketone	78-93-3	6000
3-Methyl-2-butanone	563-80-4	7000
Methyl isobutyl ketone	108-10-1	830
Cyclopentanone	120-92-3	900
Cyclohexanone	108-94-1	410
2-Methylcyclopentanone	1120-72-5	1000
2-Methylcyclohexanone	583-60-8	2300
Acetophenone	98-86-2	490
1-Hydroxyacetone (1-Hydroxy-2-propanone)	116-09-6	2400
Acetic acid	64-19-7	500
Propionic acid	79-09-4	310
Isobutyric acid	79-31-2	370
Butyric acid	107-92-6	370
Pivalic acid	75-98-9	420

Valeric acid	109-52-4	420
n-Hexanoic acid	142-62-1	490
n-Heptanoic acid	111-14-8	550
n-Octanoic acid	124-07-2	600
2-Ethylhexanoic acid	149-57-5	50
Isopropyl acetate	108-21-4	4200
Propyl acetate	109-60-4	4200
2-Methoxy-1-ethylmethyl acetate	108-65-6	2700
n-Butyl formate	592-84-7	2000
Methyl methacrylate	80-62-6	2100
Other methacrylates (d)		2100
Isobutyl acetate	110-19-0	4800
1-Butyl acetate	123-86-4	4800
2-Ethylhexyl acetate	103-09-3	1400
Methyl acrylate	96-33-3	180
Ethyl acrylate	140-88-5	210
n-Butyl acrylate	141-32-2	110
2-Ethylhexyl acrylate	103-11-7	380
Other acrylates (acrylic acid ester)		110
Dimethyl adipate	627-93-0	50
Dibutyl fumarate	105-75-9	50
Dimethyl succinate	106-65-0	50
Dimethyl glutarate	1119-40-0	50
Maleic acid dibutyl ester	105-76-0	50
gamma-Butyrolactone	96-48-0	2700
n-Butyl ether	142-96-1	
1,4-Dioxane	123-91-1	73
Sum of listed oxygenated hydrocarbons		
Tetrachloroethene	127-18-4	70
1,1,2,2-Tetrachlorethane	79-34-5	
Sum of listed chlorinated hydrocarbons		
Caprolactam	105-60-2	240
N-Metil-2-pyrrolidon	872-50-4	400
Octamethyl cyclotetrasiloxane	556-67-2	1200
Hexamethylenetetramine	100-97-0	30
2-Butanonoxime	96-29-7	20
Tributyl phosphate	126-73-8	
Triethyl phosphate	78-40-0	17
5-Chlor-2-methyl-4-isothiazolin-3-on (CIT)	26172-55-4	
2-Methyl-4-isothiazoline-3-on (MIT)	2682-20-4	100
Triethylamine	121-44-8	42