

ZÁRT ÉPÍTÉSZETI TEREK LÉGÁLLAPOTA

6. ZÁRT ÉPÍTÉSZETI TEREK LÉGÁLLAPOTA

szerző: Dr. Rudnai Péter

lektor: Schüller Ferenc

6 .1. A BELTÉRI LÉGÁLLAPOTOT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

A beltéri levegő alapvetően a kültéri levegőből származik. Annak minősége tehát döntő mértékben meghatározza a beltéri levegő minőségének korlátjait. Szennyezett környezeti levegő esetén költséges mesterséges eljárásokkal lehet csak tiszta belsőtéri levegőt biztosítani.

Megkülönböztetett figyelmet érdemelnek azonban azok az anyagok, amelyek a belső terekben előforduló szennyező forrásokból szabadulnak fel. Ezek koncentrációja ennek megfelelően a belső (indoor) terekben magasabb lesz, mint a külső (outdoor) környezetben ($C_i/C_o > 1$).

Az, hogy a belső légterek minőségére az utóbbi években egyre nagyobb figyelmet kell fordítanunk, több okkal magyarázható. Először is, hosszú időn keresztül a külső környezeti levegő szennyezettsége meghatározó volt a beltéri levegő minősége szempontjából. Amióta azonban sikerült az outdoor levegő minőségét jelentősen javítani, egyre inkább előtérbe kerültek a belső terekben termelődő, vagy ott felszabaduló szennyező anyagok.

Másfelől, a hagyományos építő- és burkolóanyagok helyett egyre több *műanyagot*, *mesterséges szigetelő és ragasztóanyagot* használnak fel az épületek építésénél és berendezésénél, amelyek többnyire erősen illékonyak és nagyon sok új, korábban nem tapasztalt kipárolgást okoznak.

Harmadszor, a belmagasság - és általában a *belső légtér- csökkentésével*, a belső légtérben felszabaduló szennyező anyagok igen gyorsan olyan koncentrációt érhetnek el, amely már káros lehet az egészségre.

És végül, ehhez járultak hozzá azok az építészeti törekvések, amelyek az épületek jobb hőgazdálkodását célzó tervezéssel, illetve a már meglevő épületekben alkalmazott fokozott szigeteléssel a *légcseré csökkentését* helyezték előtérbe, és így a belső terek fokozott szennyezettségéhez vezettek.

A szennyezőanyagok épületen belüli koncentrációja sok tényezőtől függ és a következő egyszerűsített egyenlettel írható le:

$$V(dC_i/dt)=P-E-Q(C_i-C_o)$$

ahol V a belső légtér összterfогata (m^3), C_i a szennyezőanyag belsőtéri koncentrációja ($\mu g/m^3$), P a szennyezőanyag termelőési vagy kibocsátási hányadosa ($\mu g/h$), E a szennyezőanyag kémiai reakció, felületi megkötődés, kiszűródés vagy leülepedés általi óránkénti eliminációjának hányadosa ($\mu g/h$), Q a külső és belső tér közötti légkicserélődési hányados (m^3/h) és C_o a szennyezőanyag külső koncentrációja ($\mu g/m^3$).

A légkicserélődési hányadost lehet helyettesíteni az egy órára eső teljes légcserék számával, azaz azzal a számmal, amely megadja, hogy a belső térnyi térfogatú levegő mennyiség óránként hányszor cserélődik ki. Ez történhet természetes (ablakon át történő) vagy mechanikus (ventilátoros) szellőztetéssel vagy az épületek falán vagy egyéb szerkezeti elemeinek repedésein keresztüli szivárgással. Erősen szigetelt házakban a légcsere mértéke lecsökkenhet 0,2-re is.

Az egyensúlyi állapot beálltával az egyenlet egyszerűsödik:

$$C_i = C_o + (P - E) / Q$$

Ha a szennyezőanyag főként a belső terekben képződik, akkor a C_o gyakorlatilag nullának tekinthető és a belső koncentráció fordítottan arányos lesz a légkicserélődési hányadossal. Hasonló matematikai leírás használható a külső terek vonatkozásában is. Az alapvető különbség a belső és a külső levegő esetében a keveredési térfogat nagyságrendjében van. Az épületek keveredési volumene sokkal kisebb, mint a külső légrétegeké. Így módon, egy olyan szennyezőanyag, amely a külső terekben nem okoz veszélyes hatásokat, legfeljebb a kibocsátás közvetlen közelében, azonos termelőés esetén a belső terekben már veszélyes koncentrációkat érhet el.

A beltéri légállapot minőségét számos olyan tényező is befolyásolja, amelyeket együttesen az emberi komfortérzéssel szoktunk jellemezni. Ennek meghatározó elemei a levegő hőmérséklete, páratartalma és ionviszonyai.

Hőmérséklet

Az emberi test felszínhez közeli részeinek hőmérséklete a környezet hőmérsékletétől függően többé-kevésbé változik ugyan, de a mélyebben fekvő részek hőmérséklete az emberi szervezet működésének alapját jelentő biokémiai folyamatok zavartalanságának biztosítása érdekében viszonylag állandó. Ezt az állandóságot a szervezet hőszabályozó rendszere a

hőtermelés és a hőleadás egyensúlyának biztosítása útján éri el. Ruha nélküli emberben a semleges hőmérséklet (azaz, amikor a hőszabályozó rendszer aktivitása a legkisebb) 28-30°C.

A *hőtermelés* a mechanikusan aktív izomzat biokémiai folyamatai útján jön létre. A fizikai aktivitást kifejtő egyén hőt termel, amelynek egy része a normál testhőmérséklet fenntartását szolgálja, míg a felesleget a szervezet környezetének leadja.

A *hőleadás* közvetlen vezetés, mozgó levegő útján történő vezetés, sugárzás és párolgás útján mehet végbe. Azt, hogy mikor melyik forma kerül előtérbe, alapvetően a környezeti feltételek határozzák meg. Különösen nagy hővesztést okozhatnak -sugárzás útján- pl. a helyiség hőmérsékleténél lényegesen hidegebb határoló felületek. Ilyen esetben a szervezet nemcsak a bőrfelszínről veszít hőt, hanem a mélyebben fekvő szervek (pl. izmok) is lehűlnek. Ez magyarázza a nedves lakásokban lakók körében gyakrabban előforduló reumás megbetegedéseket. Minél nagyobb a sugárzás részesedése a hőleadási folyamatokban, annál jelentősebb a kiváltott élettani hatás.

Ugyanez fordítva is igaz: mivel a sugárzó hő a szervezet mélyebb rétegeibe is eljut, ugyanaz a hőkomfort érzés érhető el sugárzó fűtés esetén, alacsonyabb átlagos helyiség hőmérséklet mellett, mint mozgó levegővel történő vezetéssel, ú.n. konvekciós fűtés esetén.

A hőszabályozást irányító hőközpont aktivitását a rajta átfolyó vér hőmérséklete befolyásolja, de a bőr hőérzékelő végkészülékeinek is jelentős szerepük van. Alacsony környezeti hőmérséklet esetén a bőr erei összeszűkülnek, ezáltal a bőr hőmérséklete csökken, és a hőmérsékletkülönbség mérséklődése miatt a hővesztés mértéke is csökken. A környezeti hőmérséklet emelkedése esetén viszont a bőrerek kitágulnak és a hőleadás megnő. A bőrhőmérséklet változásainak kompenzálásában a mélyebben fekvő szervek és szövetek vérellátását biztosító erek szűkülése illetve tágulása is részt vesz. Alvás során az alapanyagcsere (hőtermelés) jelentősen lecsökken, és a hőszabályozás beszűkül.

Valószínűleg az erek öregkori rugalmatlansága is szerepet játszik abban, hogy az idős emberek hőszabályozása jelentős mértékben beszűkült. Idős korban a hőtermelés és a párolgási hőleadás egyaránt csökken, így az idős emberek kevésbé tudnak alkalmazkodni a környezeti hőmérséklet változásaihoz.

Kisgyermek és a keringési rendszer betegségeiben szenvedő betegek hőszabályozása ugyancsak korlátozott, ezért ők a mikroklima szempontjából fokozott kockázati csoportot jelentenek. A kisgyermek könnyebben megfázhat, ha hideg éri őket, a szív- és érrendszeri betegségben szenvedők keringési rendszerét pedig az alacsony hőmérséklet kompenzálásaként beinduló fokozott hőtermelés annyira igénybe veszi, hogy megemelkedik a vérnyomásuk, a szívre is fokozott munka hárul, és állapotuk jelentősen romolhat.

A hőszabályozás objektív folyamatát a hőérzés - komfortérzés illetve diszkomfort érzésszubjektív folyamata kíséri. Hőkomforton azt az állapotot értjük, amelyben a hőszabályozási folyamatokat nem éri jelentős terhelés, és így a szervezet valamennyi funkcionális rendszere a legkedvezőbb állapotban működhet, ami egyúttal a legoptimálisabb munkavégzőképességet is biztosítja. Ugyanakkor több szerző arra hívja fel a figyelmet, hogy a modern lakásokban biztosított egyenletes meleg „ellustítja” a hőszabályozó rendszert és a szervezet védekezőképességét, és így könnyebben jön létre megfázás, légúti fertőzés, mint azokban a régen épített városi lakásokban, ahol pl. az előszobában vagy több más helyiségben nincs fűtés, vagy a kertes családi házakban, amelyeknek lakói naponta többször „edzik” a hőszabályozó rendszerüket hosszabb-rövidebb ideig a szabad levegőn.

Az emberi hőérzetet a levegő hőmérséklete, páratartalma, mozgása, valamint a szervezetre ható hősugárzás egyaránt és egyszerre befolyásolja. A lakóépületekben szükséges hőmérsékleti paraméterek meghatározása szerte a világon a komfortérzés figyelembevételével történt, ami egészségügyi szempontból is megfelelő, különösen, ha az Egészségügyi Világszervezet „egészség” megfogalmazását tekintjük mérvadónak: *„Az egészség a teljes testi, szellemi és társadalmi jól-lét állapota és nem csupán a betegség vagy fogyatékoság egyszerű hiánya”*.

Az energiatakarékossági törekvések azonban új formában fogalmazták meg a kérdést: meddig lehet illetve ésszerű csökkenteni a lakások levegőjének hőmérsékletét anélkül, hogy az a bentlakókban valamilyen kórfolyamatot idézne elő?

Kísérleti körülmények között kimutatták, hogy a lakás levegőjének 16°C és 25°C közötti változásához az egészséges szervezet még különösebb nehézségek nélkül tud alkalmazkodni. Ezen tartományon kívül azonban az alkalmazkodáshoz olyan sok energiára van szükség, hogy az az egyéb környezeti tényezőkhez való alkalmazkodás illetve az azokkal szembeni ellenállóképesség lehetőségének jelentős csökkenése miatt kóros folyamatokat indíthat el a szervezetben.

Több olyan orvosi megfigyelést ismerünk, amely szerint a diszkomfort érzéshez vezető körülmények megzavarják a szervezet hőszabályozó mechanizmusát, illetve hőegyensúlyát, és így kórfolyamatokat indíthatnak el: például garatgyulladást, ízületi és izomfájdalmakat vagy neuralgiát (idegfájdalmat) okozhatnak azáltal, hogy lehűtik a szervezetet vagy annak egyes részeit. Ismeretes az is, hogy a felsőlégúti megbetegedéseket gyakran megelőzi a szervezet valamely részének lehűlése.

Az épületek helyiségeinek optimális hőmérséklete nagymértékben függ az alkalmazott fűtés típusától. Lényeges szempont, hogy ne legyenek túl nagy hőmérsékleti különbségek a

helyiségek különböző részei között, így pl. függőleges irányban -a padlótól fejmagasságig- ne haladja meg a $2-3^{\circ}\text{C}$ -t, vízszintes irányban az ablaktól a szemközti falig a 2°C -t, illetve a szoba belseje és a fal között az 1°C -t.

A szervezet sugárzás útján történő hővesztésének megelőzése érdekében fontos, hogy a helyiségek határoló felületeinek (falak, padló, mennyezet) hőmérsékletét -megfelelő szigeteléssel- lehetőleg a helyiség optimális léghőmérsékletének megfelelő szinten kell tartani, de semmiképpen sem szabad, hogy annál 3°C -t meghaladó mértékben hidegebb legyen. Ha a felületi hőmérséklet 6 vagy annál több $^{\circ}\text{C}$ -al hidegebb, mint a helyiség átlaghőmérséklete, az már páralecsapódáshoz (és következményes penészedéshez) is vezethet.

A légmozgás optimális mértéke a téli hónapokban $0,1-0,15\text{ m/sec}$, míg nyáron a $0,3\text{ m/sec}$ is elfogadható. A huzat mértékét egy egyszerű módszerrel magunk is ellenőrizhetjük: a padlóra helyezett égő gyertya lángjának elhajlása már túlzott légáramlást jelez.

A levegő hőmérsékletét, relatív páratartalmát, a légáramlás sebességét és a hőszugárzást is figyelembe vevő ún. *korrigált effektív hőmérséklet* mérése térdmagasságban (a padlósínt felett $0,5\text{ m}$ magasságban) történik. Az erre az értékre vonatkozó követelmények meghatározásánál feltételezzük, hogy a bentlakók szokásosan öltözöttek és nyugalomban vannak. Ennek az értéknek a WHO ajánlása szerint $20-22^{\circ}\text{C}$ között kell lennie a lakóhelyiségekben. Mozgásban korlátozott személyek által lakott szobában legalább 22°C -os korrigált effektív hőmérsékletet kell biztosítani. (Az említett hőmérsékleti értékeket a mindennapi élet viszonyaira lefordítva: ha a relatív páratartalom $40-60\%$ között van, és nincs jelentős légáramlás, illetve hőszugárzás, akkor a szokásos szobahőmérővel mért értékek nagyjából megfelelnek a korrigált effektív hőmérsékletnek).

A fürdőszobában $2-3^{\circ}\text{C}$ -al magasabb hőmérsékletre van szükség, mint a lakóhelyiségekben. Alvásra szolgáló helyiségekben pedig éjszaka a nappalinál $2-3^{\circ}\text{C}$ -kal alacsonyabb hőmérséklet kívánatos a nyugodt alváshoz. Ugyanakkor ennél nagyobb különbség a nappali és az éjszakai hőmérséklet között nem ajánlatos, mert a levegőben lévő páratartalom kicsapódhat a különböző felületeken.

A fentiekből is látható, hogy az épületek egyes helyiségeinek különböző funkciója és a bent tartózkodók egymástól eltérő kora, aktivitása és egészségi állapota miatt a fűtés mértékének helyiségenkénti illetve napszakonkénti szabályozhatósága nagyon fontos az egészséges mikroklíma biztosítása szempontjából.

Páratartalom

A levegő páratartalmán a vízgőz jelenlétét értjük, amelynek mértékét egyaránt jellemezhetjük az abszolút és a relatív nedvességgel és a telítési hiánnyal. Az abszolút nedvesség az 1 m³ levegőben lévő vízgőz g-okban kifejezve. Minden hőmérsékleten van egy meghatározott vízgőz mennyiség, amelynél többet a levegő nem vehet fel (telítési maximum). A relatív nedvesség az a mérőszám, amely megmutatja, hogy az aktuálisan mért abszolút nedvesség a telítési maximum hány százaléka.

A vízpára az emberi és az állati szervezet anyagcsere-, légzési és hőszabályozási folyamatainak normális mellékterméke. Jelentős azonban a háztartási tevékenységek során képződő vízpára mennyisége is (ld 4.1.1. táblázat), és vízpára juthat az épületekbe szigetelési hibák miatt is.

6.1.1. Táblázat. Lakásokban folytatott vízpára termelő tevékenységek *

TEVÉKENYSÉG	NEDVESSÉG (KG)	MEGJEGYZÉS
Vízpára kilégzése (4 fő*12 óra)	2,5	Elsősorban a hálósobában Összes konyhai tevékenység 3,7 kg
Főzés gázzal (napi 3-4 óra)	2,1	
Mosogatás	0,5	
Felmosás	1,1	
Mosás	2,0	
Ruhaszárítás (4 fős családnál)	12,0	
Tisztálkodás: zuhanyozás	0,2	
fürdés kádban	0,1	

*Cocklin nyomán

Komfort hőmérsékleti körülmények (18-24°C) mellett a légnedvesség változásainak viszonylag kisebb hatása van az izzadság elpárolgására vagy a diszkomfort érzésre, mint ettől eltérő viszonyok esetén. 22%-os relatív páratartalom mellett 30°C-ig nem lép fel számottevő izzadás, míg 60%-os relatív páratartalom esetén már 20-25°C mellett megkezdődik az izzadás.

A *magas relatív páratartalom*, különösen, ha magas léghőmérséklethez társul, kedvezőtlenül érintheti a szervezet hőegyensúlyát azáltal, hogy csökken az izzadság elpárolgásának mértéke és így lassul a hőleadás. Különösen érzékenyek a magas

páratartalomra a szívbeteg, akiknél szívritmus zavarok vagy egyéb szív működési rendellenességek léphetnek fel.

Ugyanakkor az *alacsony relatív páratartalom* általában - és magasabb léghőmérséklet mellett különösen nagy mértékben - fokozza a nedvesség elpárolgását a légutakat borító nyálkahártyáról, amely megzavarva ezzel a felső légutak nyálkahártyájának védekező mechanizmusát, a felső légúti hurutok gyakoriságának fokozódásához vezethet.

A relatív páratartalom befolyásolja a levegőben lévő *mikroorganizmusok* túlélését is. Ezek az 50% körüli relatív páratartalmat viselik el a legkevésbé. A jelenség pontos magyarázatát nem ismerjük, de egyes feltételezések szerint ennél a páratartalomnál a legkedvezőbbek a levegőrészecskék agglomerációs lehetőségei, amelyek a baktériumokat hordozó részecskék gyors kiülepedéséhez vezetnek.

A fentiek alapján az 50% körüli relatív nedvességtartalmat tekinthetjük optimálisnak. Ettől az értéktől bármelyik irányban távolodva, a baktériumok túlélési képessége nő és egyéb kedvezőtlen következményekkel is számolni kell: a 30%-nál alacsonyabb páratartalom kedvezőtlenül hat a légúti nyálkahártyák ellenálló-képességére, míg a magasabb, 65-70% feletti páratartalom kedvező feltételeket teremt az allergiás reakciókat kiváltó *atkák* és *gombák* szaporodásához.

Télen a nem kellően fűtött helyiségek harmatpont alá hűlt felületein kicsapódó nedvesség is kedvező életfeltételeket teremt a penészgombáknak. Részben a gombákhoz társultan, részben azoktól függetlenül találkozhatunk az ugyancsak a magas relatív páratartalmat kedvelő házipor-atkákkal, amelyek széklete nagyon erős allergén.

A WHO ajánlása szerint - 18-20°C mellett - ne legyen kisebb a relatív páratartalom 30% - nál és ne haladja meg a 60%-ot, illetve - magasabb hőmérséklet esetén - az 50%-ot.

A nagy páratermelő tevékenységeket (pl. ruhaszárítás, főzés stb.) a funkcionálisan erre szolgáló helyiségekben kell végezni, s ezekből a helyiségekből a vízgőzt megfelelő szellőztetéssel el kell vezetni. (Ennek hiányában fordulnak elő gyakran penészedések a nappali szobában ruhát szárító kisgyermekes családok lakásaiban vagy az ablaktalan fürdőszobákban és konyhákban). A helyiségekben megfelelő mértékű *állandó szellőzést* is biztosítani kell, és a határoló felületek megfelelő hőszigetelésével illetve a helyiségek megfelelő belső téri hőmérsékletének biztosításával *meg kell akadályozni a páralecsapódást*.

Mindamellet, hogy az egész épület mikroklímáját a maga egységében és összetettségében kell értékelni, az egyes helyiségek eltérő hőmérsékleti viszonyai és funkciója miatt azok megfelelő szellőzését külön-külön is biztosítani kell.

Ion viszonyok

Az ionok bizonyos anyagok (pl. gázok) elektromosan töltött részecskéi. A levegő gázainak ionizációját a nap ultraibolya sugarai, a kozmikus sugárzás, a talajlevegővel kiáramló rádium-emanáció stb. okozzák. Az ionizáció egyenlő mennyiségű pozitív és negatív ionokat hoz létre, amelyek egyenletesen oszlanak el, és - nagyságuk szerint - kis, közepes és nagy ionok csoportjába sorolhatók.

A bioaktív hatást a pozitív vagy a negatív ionok uralomra jutása (unipolaritás) és az ionok méreteloszlásának megváltozása váltja ki. Így a légköri nehéz *pozitív* ionok kedvezőtlenül befolyásolják a hangulatot, pszichés feszültséget idéznek elő, elősegítik a kifáradást, rossz közérzetet (szédülést, hányingert) okozhatnak, emelik a vérnyomást, csökkentik a légúti nyálkahártya csillószőr aktivitását és hozzájárulnak a levegő "szárazság"-érzetéhez. Ezzel szemben a *negatív* ionizáció kedvezően befolyásolja a hangulatot, a közérzetet, oldja a pszichés feszültséget, csökkenti a vérnyomást és a fáradékonyságot, és fokozza a légúti csillószőrök aktivitását.

A negatív levegő-ionok jelentősen csökkentik a levegőben lebegő kórokozó mikróbak számát is. Hazánkban Bíró és munkatársai vizsgálták a negatív ionok ez irányú hatását a 70-es években. Erősen szennyezett levegőjű kórteremben negatív levegő ionok segítségével rövid idő alatt 60%-os csíraszám csökkenést értek el. Műtőben ionkondicionálással a megengedett szint alatt tudták tartani a csíraszámot. Az ellenőrző kísérleteket üvegekamrában, szabályozott körülmények között ismételték meg. A negatív ionok hatásának vizsgálatát a baktériumokon kívül a vírus-modellnek tekinthető bakteriofágokra is kiterjesztették és mindkét esetben jelentős csökkenést észleltek.

Olyan zárt helyiségekben, ahol emberek tartózkodnak, a könnyű ionok mennyisége csökken, mivel azok részben a tárgyak felületén megkötődnek, részben pedig káros hatású nehéz ionokká alakulnak át. Ez utóbbi folyamat szennyezett levegőjű helyiségben gyorsabban megy végbe, mint tiszta levegőjű szobában. Japán mérések szerint egy közepes méretű lakószobában két cigaretta füstje három perc alatt eltünteti a levegőből a negatív kis ionokat. Hasonló hatású a legtöbb lebegő szennyeződé, por, aeroszol és korom is. A fűtő és szellőző berendezések növelik az ion veszteséget, mivel a szilárd részecskék mozgásuk közben rendszerint pozitív elektromos töltést kapnak. Ez az egyik oka annak, hogy a zárt helyiségekben általában pozitív ion túlsúly mérhető. A kedvezőtlen helyzeten a klímaberendezések sem segítenek. Mérésekkel kimutatták, hogy a fém légvezetékekben és a különféle szűrőkön

keresztül áramló levegő szinte teljesen ionmentessé válik. Már egy három méter hosszú légcsatorna elegendő, hogy a biológiailag hatékony negatív ionokat semlegesítse.

Irodalmi adatok szerint a ml-enként legalább 1000 - 2000 negatív iont tartalmazó levegőjű helyiségek mikroklímája kedvező hatást gyakorol az egészségi állapotra.

A megfelelő mennyiségű könnyű levegő ionok biztosítása érdekében megfelelő természetes szellőzést kell biztosítani, csökkenteni kell a helyiségek zsúfoltságát és levegőszennyezettségét. Légt Kondicionáló berendezés használata esetén figyelembe kell venni annak ionkoncentráció-csökkentő hatását is, és így esetenként mesterséges ionizáció is szükségessé válhat.

Azoknak az ionizátoroknak vagy egyéb ún. levegőtisztító berendezéseknek azonban, amelyek ózont termelnek, az a veszélyük, hogy a megengedett mennyiségnél nagyobb ózonkoncentráció jön létre, amely a légúti nyálkahártyát izgatja, köhögést idéz elő és asztmás egyéneknél asztma rohamot válthat ki, ezért ezek alkalmazását nem javasoljuk.

6.2. ZÁRT TEREK TOXIKUS EMISSZIÓI ÉS AZOK EGÉSZSÉG-KOCKÁZATA

A belső terekben előforduló szennyező forrásokból felszabaduló szennyező anyagok koncentrációja a belső (indoor) terekben magasabb lesz, mint a külső (outdoor) környezetben ($C_i/C_o > 1$). (ld. 4.2. 1. táblázat)

6.2.1. Táblázat. Elsősorban belső terekből származó légszennyezők

Szennyezőanyag	Belső emissziós forrás
Formaldehid	szigetelések, bútorok, dohányfüst
Radon	építőanyagok, talaj, víz, nyílt lángú gáz
szerves vegyületek	ragasztók, oldószerek, főzés, kozmetikumok, dohányfüst
Ammónia	metabolizmus, tisztítószer
nikotin, akrolein stb. (több mint 4000 vegyület)	Dohányfüst
Higany	fungicidek, festékek, hőmérő törés
Aeroszolok	háztartási termékek
Allergének	házipor, rovarok
Baktériumok	ember, állat, növény

A beltéri levegőben előforduló szennyezőanyagok koncentrációjának mérésében forradalmi változást hoztak az ún. *passzív monitorok*. A régebben alkalmazott ún. aktív mintavétel alkalmával egy elnyelő folyadékot kellett átbuborékoltatni a helyiség levegőjét hosszabb-rövidebb ideig (2-6 órán át), és az elnyelő folyadékban megkötött szennyezőanyag laboratóriumban megmért mennyiségének és a motoros pumpa segítségével átszívott levegő

menyiségének ismeretében lehetett meghatározni az abban az időszakban *aktuálisan mért* koncentrációt. Ezzel szemben a passzív monitorok olyan cső- vagy medálszerű mintavevő eszközök, amelyek nem rendelkeznek pumpával, hanem a levegő diffúziója alkalmával a specifikusan előkezelt felületükön megkötik (adszorbeálják) a szennyező anyagokat, amelyek mennyiségét azután laboratóriumban mérik meg. A passzív mintavétel hosszabb időt igényel, mint az aktív mintavétel. Általában 5-7 napig hagyjuk a mérési helyen nyitott állapotban. Körülbelül ennyi idő kell, hogy mérhető mennyiségű szennyező anyag kötődjön meg az eszközön. (Szennyezett munkahelyi levegő esetén természetesen ennél lényegesen rövidebb idő is elegendő lehet.) A kinyitás és a zárás közötti ún. expozíciós idő ismeretében lehet kiszámítani az 5-7 napos időszakra vonatkozó *átlagos* koncentrációt. Ezzel a módszerrel tehát nem tudjuk mérni az egyes időszakokban jelenlévő csúcskoncentrációkat, viszont a mindennapi tevékenységre jellemző átlagos koncentráció reálisabban meghatározható.

A továbbiakban néhány fontos belsőtéri szennyező anyag forrásait és egészségügyi hatásait tárgyaljuk.

Formaldehid

A formaldehid a szénhidrogén vegyületek oxidációja, égése során keletkezik, pl. a gépkocsik és a repülőgépek üzemanyagának, illetve a tüzelőolaj elégetése, az olajszármazékok lepárlása, hulladékégetés stb. alkalmával. Formaldehid az élő szervezetekben is termelődik a normál anyagcsere folyamatok során, de gyorsan tovább is bomlik. (Bomlásterméke, a hangyasav a vizeletben kimutatható). A környezetben sem halmozódik fel, hanem - elsősorban a fény hatására – széndioxiddá és vízzé bomlik.

A formaldehid szobahőmérsékleten könnyen polimerizálódó, színtelen, gyúlékony gáz. Vízben, alkoholban és más poláros oldószerekben jól oldódik. Mesterséges előállítását polimerizációs képessége, valamint tartósító, szövetkeményítő és fertőtlenítő hatása indokolja. Kereskedelmi célokra 1901-ben kezdték gyártani az USA-ban, elsősorban balzsamozás és fertőtlenítés céljából. A világon évente 10 millió tonnás nagyságrendben termelt formaldehid egy részét közvetlenül, másik részét további feldolgozás útján használják fel. Urea- formaldehid gyanta van a pozdorja lemezekben, a felületbevonó anyagokban, és szigetelőként használják kemény habban. Fenol-formaldehid gyanták szigeteléshez, ragasztáshoz, míg melamin-formaldehid gyanták felszíni bevonatokhoz, illetve a fafeldolgozó iparban kerülnek felhasználásra.

Az épületekben a formaldehid számos műanyagból illetve berendezési tárgyból szabadulhat fel, pl. az urea-, melamin- vagy fenol-formaldehid alapú ragasztóanyaggal

(gyantával) készített pozdorja- és faforgácslapokból és az abból készített bútorokból, a műanyag padlóburkoló anyagokból, az urea-formaldehid szigetelőanyagokból, a padlószőnyegekből és tapétákból, a lakkokból és festékekből stb. Az ezen anyagokból kipárolgó formaldehid mennyisége az anyagok öregedésével csökken. Saját vizsgálati eredményeink szerint a penészedés megelőzésére konzerválószerként formaldehiddel impregnált tapétákból egy év után már nem szabadult fel káros mennyiségű formaldehid. Hasonló célból impregnált – olcsóbb- parketta mintákból hosszú időn keresztül ki lehetett mutatni formaldehid kibocsátást, míg a drágább, jó minőségű parketták esetében nem tapasztaltunk formaldehid előkezelést.

Mind külföldi irodalmi adatok, mind saját vizsgálataink tapasztalatai szerint a lakások életkora és formaldehid szennyezettsége között negatív irányú összefüggés áll fenn, azaz a legmagasabb formaldehid koncentrációk a legújabban épült lakásokban mérhetők, és kb. 8-10 év elteltével csökken csak jelentős mértékben a formaldehid szennyezettség.

További lehetséges formaldehid forrást jelent a dohányzás is. Egy cigaretta elégetésekor kb. 1,5 mg formaldehid szabadul fel, ebből 30 µg van a direkt (leszívott) füstben, a többi pedig a mellékfüstáramban. Ez azt jelenti, hogy egy 30 m³ térfogatú szobában két cigaretta elszívása 100µg/m³ formaldehid koncentrációt eredményezhet – legalábbis addig, amíg azt a szellőzés és a lebomlási folyamat le nem csökkenti.

A formaldehid kibocsátás mértéke az alkalmazott technológiától és a felhasználás körülményeitől függ. A levegő hőmérsékletének illetve relatív páratartalmának növelése és az intenzív UV-sugárzás a kibocsátást a többszörösére emelheti. Ilyen feltételek mellett természetesen fel lehet gyorsítani a kipárolgó formaldehid tartalomtól való megszabadulást is.

A formaldehidet a WHO Nemzetközi Rákkutató Ügynöksége (IARC) 2004-ben az emberi daganatkeltő anyagok 1. kategóriájába sorolta, ami annyit jelent, hogy elegendő bizonyíték gyűlt már össze annak megállapítására, hogy a formaldehid mind állatkísérletekben, mind emberben daganatkeltő hatású. Ugyanis magas formaldehid koncentrációjú levegő belélegeztetése állatkísérletekben orrüregi daganatokat idézett elő. Emberben kifejtett daganatkeltő hatást (az orr- és garatnyálkahártya rosszindulatú daganatát és fehérvérűséget) eddig csak magas formaldehid koncentrációjú körülmények között dolgozó munkások körében figyeltek meg.

A lakásokban általában előforduló, a munkahelyinél legalább egy nagyságrenddel kisebb koncentráció tartományban azonban valószínűleg nem kell a formaldehid daganatkeltő hatásával számolni, sokkal inkább az egyéb, a légzőszerv nyálkahártyáját érintő helyi hatásokkal. A formaldehid nagy része megkötődik a felső légutak nyálkahártyáján, izgatja a légutak nyálkahártyáját (irritáló hatás), gátolja a légutak nyálkahártyáján lévő csillószőrök mozgását, és ezáltal rontja a szervezet helyi védekezőképességét. A formaldehid allergén,

szenzitizáló hatású, ugyanis a sejtfehérjékhez kapcsolódva, azok antigén sajátosságát módosítja. Az irritáló hatás általában $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -t meghaladó koncentráció esetén figyelhető meg, míg a szenzitizáló hatás már ennél alacsonyabb koncentrációk esetén is kimutatható.

Krónikus formaldehid expozíciónak kitett emberek körében gyakrabban fordul elő krónikus nátha és köhögés, krónikus légúti szűkület és nehézlégzés. Allergiás vagy gyulladásos légzőszervi betegségben szenvedők különösen érzékenyen reagálhatnak a formaldehid expozícióra.

Hazai viszonyok között jelenleg az $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -es koncentrációt tartjuk egészségügyi szempontból elfogadhatónak. Ez már egy kicsit magasabb, mint a $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -es szagküszöb, ami annyit jelent, hogy az ennél magasabb koncentrációt az emberek legalább 50 %-a észleli. Tehát ha egy frissen vásárolt bútor elhelyezését követően erősen szúró szagot érzünk a szobában, a formaldehid koncentrációja nagy valószínűséggel magasabb, mint az egészségügyileg megengedhető érték. Az emiatt esetleg kifejlődő allergia megelőzése érdekében ilyenkor gondoskodni kell a szoba fokozott szellőztetéséről, ameddig a szagot már akkor sem érezzük, amikor frissen lépünk be a szobába. (A szaglóideg végkészülékek kifáradása miatt ugyanis egy idő után hajlamosak vagyunk hozzászokni a szagokhoz, ami persze nem jelenti azt, hogy a szag eltűnt, hanem csak mi nem érezzük.)

Benzol

A benzol az illékony szerves szennyezők (VOC) csoportjába tartozik. Fő forrása a dohányfüst, amelynek a főáramában találták a legmagasabb értékeket, de a passzív dohányosokat érő mellékáramban is jelentős mennyiségben fordul elő. A benzinnak is természetes alkotórésze, bár az évek során bevezetett technológiáknak köszönhetően ennek arányát sikerült lényegesen lecsökkenteni. Ennek ellenére forgalmas útvonalak mentén a külső levegőből, vagy a garázsokból beáramló benzol mennyisége számottevő lehet. Széles körben alkalmazzák ragasztó- és oldószerek alkotórészeként, így a különböző építő- és burkolóanyagokból, bútorokból, különösen frissen végzett épület felújítások alkalmával átmenetileg igen magas koncentrációban mutatható ki a belső terekben.

A benzol ismert emberi daganatkeltő, főként fehérvérűséget (leukémiát) okoz. Mint ilyen, olyan biztonságos határértéket nem lehet megállapítani, amelynél kisebb koncentráció esetén nem lenne egészségi kockázat, ezért olyan mértékben kell csökkenteni a beltéri benzol koncentrációt, amennyire csak lehet. Hazai viszonyok között jelenleg a gyakorlati élet számára lefordított ajánlasként mind a rövid (1 hetes), mind a hosszú (éves) expozíció esetén az $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -es koncentrációt tekintjük egészségügyi határértéknek.

Triklóretilén (TCE)

A triklóretilén (TCE) kissé édeskés szagú, színtelen folyadék. A természetben eddig csak néhány algafajtában találták meg, mesterséges előállítását széleskörű ipari felhasználása (fémek zsírtalanítása, textilanyagok tisztítása, extrakciós folyamatok stb.) indokolja. Az évenként előállított triklóretilén 60-90 %-a végülis a környezetbe kerül, részben a levegőbe, részben a vizekbe.

A levegő átlagos triklóretilén koncentrációját falusi környezetben $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, városokban $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alattinak becsülik. Az általános lakosság körében a legtöbb triklóretilén a levegővel jut a szervezetbe. Fafestékek, lakkok, kenő- és zsírozó és ragasztó anyagok, festékeltávolító szerek és egyes tisztítószer, vagy TCE-vel szennyezett víz zuhanyozásra történő használata során kerül leggyakrabban TCE a belsőtéri levegőbe.

A triklóretilénnek a levegőben 10 nap az életideje, anaerob (oxigénmentes) körülmények között még mérgezőbb vegyületekre (pl. vinil-kloridra) bomolhat.

A környezetből elsősorban a levegővel jut a triklóretilén az emberi szervezetbe, de felszívódhat a bőrön és a tápcsatornán keresztül is. Felszívódás után a triklóretilén gyorsan szétoszlik a szervezetben, átjut a méhlepényen és a vér/agy gáton is és a zsírszövetben illetve a májban halmozódik fel. Szervezeten belüli átalakulásának elsődleges helye a máj.

A szervezetbe jutott nagymennyiségű triklóretilén egészségre gyakorolt akut (heveny) hatásait elsősorban központi idegrendszeri és viselkedésváltozási tünetek jellemzik. A kisebb mennyiségű triklóretilénnek hosszú időn keresztül kitett személyekben az idegrendszeri tünetek a legjellemzőbbek (fejfájás, fáradtság, ingerlékenység, alkohol intolerancia), de vese- és májkárosodást is megfigyeltek.

Epidemiológiai vizsgálatokban a születéskörüli halálozás, az alacsony születési súly és a veleszületett szív- és egyéb fejlődési rendellenességek gyakoriságának fokozódását találták.

A triklóretilén legveszélyesebb tulajdonságának daganatkeltő hatását tekinthetjük. A *máj* és az *epeutak daganatának* és a *non-Hodgkin limfómának* a fokozott kockázatát találták legkövetkezetesebben, egyes vizsgálatokban a *méhnyakrák* kockázatát is emelkedettnek találták. Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) Lyon-i Nemzetközi Rákkutató Központja (IARC) a triklóretilént daganatkeltő hatás szempontjából a 2A (lehetséges emberi daganatkeltő) kategóriába sorolta, ami azt jelenti, hogy elegendő bizonyíték áll rendelkezésre a triklóretilén kísérleti állatokban kifejtett daganatkeltő hatására, azonban emberben a daganatkeltő hatásra eddig csak korlátozott mennyiségű bizonyíték gyűlt össze.

Tetraklóretilén (perklóretilén, PCE)

Mesterségesen állítják elő. Vegytisztításnál, zsírtalanításnál és egyéb oldószeres műveleteknél használják. Egészségi hatásai közül az irritáló, izgató (a kötőhártyán, a légutak nyálkahártyáján és a bőrön) és a központi idegrendszeri hatás csak olyan magas koncentrációk esetén jelentkezik, amelyek belsőtéri körülmények között nemigen fordulnak elő. Máj- és vesekárosító hatás már alacsonyabb koncentrációk esetén is előfordul. A nyelőcső és a méhnyakrák, valamint a non-Hodgkin limfóma gyakoriságát fokozó hatása miatt a PCE-t is a lehetséges emberi daganatkeltők (2A) csoportjába sorolta az IARC.

Nitrogén-dioxid (NO₂)

A lakások levegőjében található nitrogén-dioxid mennyiség legnagyobb részét a gázüzemű készülékek használata okozza, ugyanis a gázláng hőmérsékletén a levegő nitrogénje előbb nitrogén-monoxiddá, majd pedig nitrogén-dioxiddá oxidálódik. Ebből a szempontból a legjelentősebb szennyeződést az égéstermék-elvezetés nélküli *gáztűzhelyek* okozzák, de a korszerűtlen *gázkonvektorok* égéstermékei is jelentős mértékben szennyezhetik a szobák levegőjét, amennyiben a készülékek felszerelésekor keletkezett hézagokon vagy az ablakmenti réseken keresztül vissza tudnak áramlani a lakásba. Több száz lakásban végzett vizsgálataink során nem tapasztaltunk lényeges különbséget a kéménybe kötött és az ablak alatti kivezetéssel működtetett gázkonvektorok szennyező hatása között, ami arra mutat, hogy az égéstermékek mindkét esetben megtalálják az utat a szoba levegőjébe való visszatéréshez.

Természetesen a legtöbb égéstermék akkor áramolhat vissza a lakásba, ha a működő konvektor felett kinyitjuk az ablakot. Ezért szellőztetéskor mindig ki kell kapcsolni az ablak alatti gázkonvektort, vagy válasszunk másik ablakot a szellőztetéshez. Olyan többemeletes házban azonban, ahol minden szobában parapet gázkonvektor van, ez sem biztos, hogy jó megoldás, ugyanis vannak olyan hazai tapasztalatok, amelyek szerint az ilyen sokemeletes épületet olyan nitrogén-dioxid köpeny veszi körül, amely miatt szellőztetéskor mindenképpen nitrogén-dioxiddal erősen szennyezett levegő áramlik be a lakásba. Ennek elkerülésére olyan gázkonvektorokat fejlesztettek ki, amelyek ventilátor segítségével az épület síkjától messzebb fújják ki az égéstermékeket. A gázkonvektorok gyártásának korszerűsítése során olyan készülékeket is kifejlesztettek, amelyek alacsonyabb hőmérsékleten működnek, így kevesebb nitrogén-dioxidot termelnek.

A dohányfüst is tartalmaz nitrogén-dioxidot. Ha mindezek az említett belsőtéri szennyező források hiányoznak a lakásból, akkor az ott mérhető nitrogén-dioxid koncentráció alapvetően a

külső környezeti levegőből származik. Annak forrása pedig legtöbbször a gépjárművek kipufogógáza és egyes ipari létesítmények (pl. hőerőművek, égetőművek) kibocsátása.

Az NO_2 szennyezettség iránt az ember érzékszervei mutatják a legnagyobb érzékenységet. A szagküszöb $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re tehető, míg a sötéthez történő adaptációt már a $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -es koncentráció is károsítja. Epidemiológiai vizsgálatokban tartós NO_2 expozíció esetén $94\text{-}282 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -es koncentráció mellett a krónikus alsólégúti megbetegedések gyakoriságának fokozódását figyelték meg. A gyermekek és az asztmás betegek különösen érzékenyek az NO_2 hatásaival szemben.

Fentiek alapján hazai viszonyok között a nitrogén-dioxid belsőtéri 24 órás átlagkoncentrációjaként a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -es határértéket tartjuk megfelelőnek. A gázhasználat eredményeként átmenetileg előfordulhatnak ennél magasabb koncentrációk is: 1 órás határértéknek $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, míg 1 hetes átlagkoncentrációnak a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -es határérték betartását tartjuk szükségesnek.

A határértékek betartását elősegíti, ha a gázkészülékek égéstermékének közvetlen elvezetését biztosítjuk. A lakások tervezésénél illetve a meglévő lakások használata során arra is gondolni kell, hogy a gáztűzhely használata miatt jelentős nitrogén-dioxid tartalmú konyhai levegő lehetőleg ne jusson be a lakószobákba, különösen pedig a gyermekszobába. Angliai vizsgálati eredmények szerint ugyanis azok a 2 éven aluli gyermekek, akik olyan lakásban laktak, ahol a konyhában gáztűzhely volt, sokkal gyakrabban betegedtek meg légzőszervi betegségekből, mint azok, akiknek a lakásában villanytűzhely volt. A gyermekszobai gázkonvektorok használata és a heveny gégehurut közötti összefüggést (nevezetesen 51%-os kockázat növekedést) saját zuglói vizsgálatunk során magunk is megfigyeltük.

Szén-monoxid (CO)

A belsőtéri szén-monoxid koncentráció több forrásból származik: a főként gépkocsi közlekedésből származó környezeti levegőszennyezettség beáramlásából, a gátolt égéstermék-elvezetésű kályhák vagy a rosszul beállított gázkészülékek használatából és a dohányzásból.

A szén-monoxid egészségkárosító hatása elsősorban abban áll, hogy 300-szor erősebben kötődik a haemoglobinhoz, mint az oxigén. Ezáltal megakadályozza, hogy a haemoglobin megkösse és tovább szállítsa az oxigént, és így szervezetszerte oxigénhiányt idéz elő. Ennek következtében elsősorban az oxigénhiány iránt legérzékenyebb szervek (szívizomzat, központi idegrendszer) működésében léphetnek fel zavarok. Különösen érzékenyek erre az ártalomra a károsodott szívizomzatú betegek, a vérszegény és a krónikus

légzőszervi betegségekkel, valamint az agyi keringés zavaraiával küszködő betegek és az idősek. Az oxigénhiány károsan befolyásolhatja a magzatok fejlődését is, amely alacsony születési súlyt eredményezhet.

A szervezetet érő szén-monoxid expozíció jó indikátorának tekinthető a vér karboxi-haemoglobin (COHb) szintje. Annak ellenére, hogy a CO érzékenységekben jelentős egyedi különbségek figyelhetők meg, a COHb koncentráció és a toxikus tünetek között egyértelmű összefüggés áll fenn. 2,5-3,0 % alatti COHb szint mellett még az érzékeny egyénekben sem valószínű egészségkárosító hatás fellépése. Ezen alapszik a WHO irányérték javaslata, amely szerint a szén-monoxid belsőtéri 24 órás átlagkoncentrációja 7 mg/m^3 , míg a rövid idejű, 1 órás határérték 35 mg/m^3 . Hazai vonatkozásban azonban ennél szigorúbb határértékek betartását tartanánk szükségesnek.

Külön kell említést tenni a garázsok szerepéről. Mindenki számára nyilvánvalóan ismert, hogy zárt garázsban nem szabad járatni a motort, mert a szénmonoxid koncentráció rövid idő alatt olyan értéket érhet el, ami halálos mérgezést okozhat. Amennyiben a garázs a lakóépület alatt helyezkedik el, nyitott garázsajtó mellett sem tanácsos a motort járatni, mert a szénmonoxid a lakás helyiségeibe is bejuthat.

Parkolóházaknál, mélygarázsoknál olyan szellőzést kell biztosítani, hogy a szénmonoxid koncentráció a legforgalmasabb 30 percben se haladja meg a 40 mg/m^3 -es értéket.

Érdekességgént és tanulságként érdemes azt is megemlíteni, hogy az USA-ban megfigyelték, hogy nagy viharok után megszorodik a szénmonoxid mérgezésben meghaltak száma. Az okok keresése során kiderült, hogy az említett nagy viharok megrongálták az elektromos vezetékeket és gyakran napokig nem volt villanyáram. A lakosság ilyen esetekre felkészülve, gázolajjal üzemelő házi generátorokat szerzett be és tárolt a garázsban. Amikor pedig szükség volt rá, ugyancsak a garázsban, működtette is azokat. Az eközben termelődött szénmonoxid pedig a lakás alatt vagy mellett lévő garázból bejutott a lakás többi helyiségeibe és a bentlakók – gyakran halálos – mérgezését okozta.

Dohányfüst

A dohányfüst több mint 4000 –részben szilárd részecskékben, részben gőz fázisban előforduló- vegyület komplex keveréke. Alkotórészei között számos ismert vagy feltételezett daganatkeltő (pl. kátrány, arzén, benz(a)pirén, benzol, N-nitrozó-dimetilamin stb.) illetve toxikus vegyület található.

Dohányfüstnek hosszú időn keresztül kitett személyekben az aktív dohányzáshoz hasonló egészségkárosító hatások figyelhetők meg: tüdőrák (pl. dohányzó személyek nem-

dohányzó házastársánál vagy munkatársánál), a kardiovaszkuláris rendszer károsodása, a kötőhártya és a légúti nyálkahártya irritációja, kisgyermekek körében magasabb tüdőgyulladás, bronchitisz, középfül-gyulladás és asztma roham gyakoriság, alacsonyabb születési súly, stb.

Összetettsége miatt a dohányfüst koncentrációja teljességében nem határozható meg, hanem csak egyes jellemző komponenseit (pl. szálló por részecskék, nikotin) szokták mérni. Az utóbbi években bevezetett rendelkezéseknek köszönhetően a középületekben és a munkahelyeken már nem számottevő a dohányfüst expozíció, a lakásokban folytatott dohányzás azonban még mindig jelentős kockázatot jelent, különösen a gyermekek és a várandós kismamák részére.

Azbeszt

Az azbesztet elsősorban kiváló hő- és elektromos szigetelő és tűzálló tulajdonsága miatt alkalmazták évtizedeken keresztül az épületekben. Azonban rostjai a szervezetbe jutva néhány évtized múlva mellhártya illetve hashártya daganatot (mesotheliomát) és tüdőrákot okozhatnak. A már beépített azbeszt hosszú időn keresztül veszélytelen lehet, ha háborítatlanul a helyén hagyják. Az előregedő azbeszt szerkezetekből azonban egyre több rost juthat a levegőbe és így a szervezetbe. A legnagyobb veszélyt azonban az azbeszt eltávolítása jelentheti, ha nem kellő szakértelemmel rendelkező egyén, megfelelő védőfelszerelés nélkül végzi.

Daganatkeltő hatása miatt a WHO az azbeszt belsőtéri határértékeként 1000 rost/m^3 -t javasolt, amennyiben a meghatározást pásztázó elektronmikroszkóppal végzik. (Fénymikroszkópos vizsgálat esetén a határérték ennek fele, azaz 500 rost/m^3).

Radon

Egyes építőanyagok fokozhatják a belsőtéri levegő radon koncentrációját. Az építőanyagok természetes radioaktív anyag tartalmán kívül néhány adalékanyag (hőerőművi pernye, kohósalak) radioaktivitásával is számolnunk kell. Mindez -elégtelen szellőzés esetén- a talajból és egyéb forrásokból (víz, gáz) származó radonnal együtt tüdőrák kialakulásához vezethet. A talajból származó belsőtéri radon koncentráció lényegesen csökkenthető megfelelő szellőzés biztosításával és az alapincézett házakban is kisebb a veszélyes radon koncentráció kialakulásának esélye, mint a pince nélküli épületekben.

Hazai viszonylatban a radon belsőtéri határértékeként 400 Bq/m^3 -es koncentrációt tartanak megfelelőnek.

Egyéb szennyező anyagok

A burkolóanyagok közül a padlószőnyegek számos *illékony szerves vegyületet* (VOC-t) bocsáthatnak ki: mindenekelőtt a jellegzetes szaghatást okozó 4-fenil-ciklohexánt, továbbá

formaldehidet, sztirolt, acetont, metil-ciklopentánt, toluolt, xylolt, különböző benzol-származékokat, n-oktánt, n-undekánt, n-dodekánt stb. Ezeknek a vegyületeknek fontos szerepet tulajdonítanak az ú.n. többszörös kémiai érzékenység (Multiple Chemical Sensitivity, MCS) kialakulásában.

A padlószőnyegek anyagából származó rostokon és vegyületeken kívül meg kell említeni annak ragasztóanyagaiból, festékeiből, az antisztatikus és tűzállósági kezeléshez használt kemikáliákból, a gombaölő szerekből és peszticidekből származó emissziót is. A padlószőnyegek azonban nem csak a belőlük kiáramló vegyületek miatt jelenthetnek veszélyt a bentlakók egészségére, hanem ezek egyúttal gyűjtőhelyei is a különböző kémiai és biológiai szennyezőknek. Az atkák például kiváló tenyészhelyet találhatnak maguknak a rostok között, de a porszemcsékhez kötött baktériumok és a gombák is hosszú ideig megbújhatnak a nem megfelelően takarított padlószőnyegek mélyebb részeiben.

A műanyag padlóburkoló anyagokból a levegőbe kerülő vegyületek közül mindenekelőtt a lágyítószerként alkalmazott *ftalátokat* kell megemlíteni. Az emberi expozíció szempontjából mind a porszemcsékhez kötött formában, mind a gőz fázisban jelenlévő ftalátok igen fontosak, mert krónikus légzőszervi betegségek (pl. asztma) kialakulásához vezethetnek.

A polisztirol alapú anyagok *sztirolt*, a poliuretán habok *di-izo-cianátot* emittálhatnak jelentősebb mennyiségben, s ezek közül az előbbi alsólégúti izgalmi tüneteket és központi idegrendszeri zavarokat okozhat, míg az utóbbi az asztma egyik kiváltó tényezője lehet.

A belsőtéri levegőszennyezettség csökkentésének lehetőségei

Mind az Országos Területfejlesztési és Építési Követelményeket tartalmazó Kormányrendelet (OTÉK, 53 §), mind az annak egyik alapjául szolgáló EU direktíva (89/106.számú EGK Irányelv) az épületekkel szemben támasztott egyik fontos követelményként említi az egészségvédelmet. E szerint az építményt és részeit úgy kell megvalósítani, ehhez az építési anyagot, épületszerkezetet, beépített berendezést és vezetékhálózatot úgy kell megválasztani és beépíteni, hogy a környezet higiéniáját és a rendeltetésszerű használok egészségét ne veszélyeztesse.

A fenti szép elvek teljesüléséhez természetesen szükséges lenne az építő-, burkoló- és szigetelő anyagok egészségügyi minősítésére, illetve annak biztosítására, hogy a beépített anyagokból vagy a belső terekben használt készülékekből felszabaduló szennyező anyagok mennyisége ne érje el vagy haladja meg az egészségügyi szempontból megengedhető határértéket. Az Európai Unió az utóbbi években erőfeszítéseket tett az emissziós vizsgálati

körülmények harmonizálására annak érdekében, hogy a különböző országokban bevezetett minősítési eljárások kölcsönösen elfogadhatók legyenek, és ezek alkalmazásával emissziós határértékeket lehessen bevezetni (ld. 4.2.2. Táblázatban a finn példát), legalább is a pozitív jellegű megkülönböztethetőség (pl. „egészség- ill. környezetbarát termék) érdekében. A szakemberek többsége ugyanis egyetért abban, hogy a beltéri levegő szennyezettségének csökkentését elsősorban az *emisszió csökkentésével* és nem a fokozott ventiláció révén kell megvalósítani.

6.2.2. Táblázat. M1 kategóriájú építőanyagok maximálisan megengedett emissziója (Finnország)

TVOC* 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3, \text{h}$
 Formaldehid* 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3, \text{h}$
 Ammónia 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3, \text{h}$
 Carcinogén vegyületek 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3, \text{h}$
 Bűzhatás <15%
 Vakolat- és csempe anyagok, kitöltő stb. anyagok nem tartalmazhatnak kazeint
 Vizsgálati kritériumok: 4 hetes pihentetés után, $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ -on, 50% $\pm$ 5% relatív páratartalom és <0,3 m/s légsebesség mellett
 *ISO 16000-3:2001 és ISO 16000-6:2004

Mindehhez szükséges a belsőtéri határértékek (vagy irányértékek) meghatározása is. Általánosságban elmondhatjuk, hogy a legtöbb szennyező anyag esetében a külső légtérre vonatkozó egészségügyi határértékek a belső terekre is alkalmazhatóak. A belső terekben (is) felszabaduló szennyező anyagok esetében azonban szükséges az egészségügyi szempontból még megengedhető kockázatot jelentő belsőtéri határértékek meghatározása is. Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) 2010-ben megjelentette néhány fontos belsőtéri szennyező anyag (benzol, szén-monoxid, formaldehid, naftalin, nitrogén-dioxid, policiklusos aromás szénhidrogének –PAH vegyületek-, radon, triklóretilén és tetraklóretilén) egészségi szempontú maximálisan megengedhető irányértékét (guideline values). (4.2.3. Táblázat)

6.2.3. Táblázat. Néhány belsőtéri szennyező anyagra vonatkozó WHO irányértékek
(guideline values) összefoglalása

Szennyező anyag	Az irányérték meghatározásánál figyelembe vett kritikus egészségi hatás	Irányérték
Benzol	Akut mieloid leukémia Genotoxicitás	*Nincs ártalmatlan expozíció *1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -re számított kockázat: 6×10^{-6} leukémia * 10^{-4} , 10^{-5} és 10^{-6} plusz élettartam kockázat megfelel 17; 1,7; ill. 0,17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ konc.nak
Szén-monoxid	Ischemiás szívbetegségben a terhelhetőségi tolerancia akut, expozíció-függő csökkenése és a tünetek fokozódása	*15 perc – 100 mg/m^3 , *1 óra – 35 mg/m^3 , *8 óra – 10 mg/m^3 , *24 óra – 7 mg/m^3 ,
Formaldehid	Érzékszervi irritáció	0,1 mg/m^3 , 30 perces átlag
Naftalin	Állatkísérletekben gyulladáshoz és rosszindulatú daganatokhoz vezető légúti elváltozások	0,1 mg/m^3 , éves átlag
Nitrogén-dioxid	Légzőszervi tünetek, hörgőgörcs, fokozott hörgő reaktivitás, légúti gyulladás és légúti fertőzésekhez vezető immun-védekezés csökkenése,	*200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1órás átlag *40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, éves átlag
Policiklikus aromás szénhidrogének	Tüdőrák	*Nincs küszöbérték, minden belsőtéri expozíció egészségkárosító *1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -re számított kockázat: $8,7 \times 10^{-5}$ tüdőrák * 10^{-4} , 10^{-5} és 10^{-6} plusz élettartam kockázat megfelel 1,2; 0,12; és 0,012 ng/m^3 -nek
Radon	Tüdőrák Egyéb daganatokkal, különösen leukémiával és a mellüregen kívüli légúti tumorokkal való összefüggésre utaló bizonyítékok	*A radon által okozott tüdőrák plusz élettartam kockázata 75 éves korban $0,6 \times 10^{-5}$ Bq/ m^3 -ként soha nem dohányzóknál, és 15×10^{-5} dohányzóknál, * 10^{-2} , és 10^{-3} plusz élettartam kockázat megfelel 67 ill. 6,7 Bq/ m^3 -nek (dohányosoknál), és 1670 ill. 167 Bq/ m^3 -nek soha nem dohányzóknál
Triklóretilén	Genotoxicitással összefüggő karcinogenitás (máj, vese, epe-út és non-Hodgkin limfóma)	*1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -re számított kockázat: $4,3 \times 10^{-7}$ ** 10^{-4} , 10^{-5} és 10^{-6} plusz élettartam kockázat megfelel 230; 23 ill. 2,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -nek
Tetraklóretilén	Veseelváltozás	0,25 mg/m^3 , éves átlag

6.3. ALLERGÉNEK AZ ÉPÍTÉSZETI TEREKBE

Minden olyan szennyező, amely specifikus antitesteket eredményező immunválaszt képes kiváltani, potenciális allergénnek tekinthető. Allergén lehet bármely molekula vagy molekula-keverék, vagy egy olyan részecske, amelyből allergén molekulák kerülhetnek ki. Ez utóbbiak lehetnek élettelen anyagok, mint pl. atka ürülék, vagy életképes részecskék, mint pl. baktériumok vagy gomba spórák. Ily módon az allergéneknek széles skálája fordul elő a belső terekben, az alacsony relatív molekulasúlyú formaldehidtől a magas relatív molekulasúlyú fehérjékig és polimer szénhidrátokig. Nedves építészeti terekben ez utóbbiak közül is különösen a *házi-por atka* allergének és a *gomba allergének* a legfontosabbak.

Önmagában a *házi-por* nem egy önálló antigén, hanem több potenciálisan allergén biológiai anyag (emberi és állati szőr és korpa, atka, penész, baktérium, élelmiszer maradványok, rovar részek, szétbomlott anyagok, stb.) komplex keveréke. Következésképpen a „házi-por” összetétele a helytől függően jelentős különbségeket mutathat. Ezért nem elég általánosságban a házi-porról beszélni, hanem a konkrét összetevők megnevezése és meghatározása is fontos. Leggyakrabban a házi-por atka allergén hatásával találkozunk. A több mint ötvenezer atkafajta közül csak néhány okoz allergiát emberben. Ezek közül is a *Dermatophagoides* (rövidítve D.) *pteronysinus* és a *D. farinae* a legfontosabb. Mint a nevük is mutatja, lehámlott emberi bőrhámsejtekkel táplálkoznak és allergén hatásuk az ürülékükkel áll összefüggésben.. Az atkákból készített kivonattal –mint teszt anyaggal- kifejlesztett immunológiai módszerrel laboratóriumi körülmények között meg lehet határozni egy adott pormennyiségben lévő atka allergének mennyiségét. A *Der p 1 allergénből* készített kivonattal végzett vizsgálatok eredménye szerint a 2 µg/g pornál nagyobb atka allergén (por grammonként 100 atkának megfelelő) mennyiség esetén megnő az asztmás tünetek és egyéb allergiás reakciók kockázata. Hazai viszonylatban is ezt az értéket tekintjük egészségügyi határértéknek, annak ellenére, hogy jogszabály erről még nem rendelkezik.

A házi-por atka legnagyobb mennyiségben az ágyban, a matracban (és következésképpen a hálószobában) fordul elő, de jelentős mennyiségben található a szőnyegben, bútorokban és a ruházatban is. A helyiség levegőjébe leggyakrabban takarításkor és a por egyéb okból történő felkavarása során kerül. Szaporodásának a magas páratartalom kedvez, ugyanakkor a hőmérséklet nem befolyásolja jelentős mértékben. A házi-por atka allergén kockázatának csökkentésére a legfontosabb feladat a helyiség *relatív páratartalmának csökkentése*.

Számos olyan gombafaj van, amely allergiát okozhat. Ezek egy része elsősorban a *külső környezeti levegőben* fordul elő nagyobb mennyiségben (pl. Cladosporium, Alternaria), de természetesen bejuthat a belső terekbe is. Ha ott ezeknek a spóráknak a száma több mint kétszerese a külső levegőben mért koncentrációnak, nagyon valószínű, hogy a belső térben valahol megtelepedett és szaporodik.

Vannak olyan gombafajok, amelyek előszeretettel telepsznek meg a *zárt terekben*, ott élnek és szaporodnak (Aspergillus flavus, Aspergillus fumigatus, Penicillium). Ha ezeknek a spóráknak az együttes száma a belső téri levegőben köbméterenként legalább 800 spórával több, mint a külső levegőben, szinte biztosak lehetünk abban, hogy penész van a lakásunkban.

Allergizáló hatás szempontjából az egyes gombafajok között jelentős különbség van. Leggyakrabban éppen a fekete színű Alternaria, Cladosporium és Aspergillus fumigatus telepekkel találkozunk, amelyeknek igen erős allergizáló hatása van.

A penész kialakulásának alapvető oka a nedvesedés. Ahol a víz megjelenik, előbb-utóbb a penész is megtelepszik. Az épületek nedvesedésének több formája és számos oka lehet:

- Felszálló nedvesedés (A talajvíz kapilláris jellegű felszívódása az épület szerkezeti elemeibe – lényegében az elégtelen szigetelés miatt)
- Áthatoló nedvesedés (a tetőn, falakon vagy az illesztéseken keresztül eső, olvadt hó által történő beázás, csőtörés stb.)
- Kondenzáció (A belsőtéri levegő túlzott páratartalma és az ezzel járó páralecsapódás.) Okai:
 - Fokozott páratermelés (kis szűk helyiségben, sok ember – ami fokozott kilégzési terhelést jelent), lakások esetén fokozott fürdőszoba használat és jelentős főzési tevékenység, továbbá igen gyakran a helytelen lakáshasználat: ruhaszárítás a szobában, fedő nélküli főzés, forralás stb.)
 - A termelődő pára elégtelen elvezetése, azaz a szellőzés hiánya ill. elégtelensége, többek között a fokozottan légzáró nyílászárók, vagy az eltöm(öd)ött szellőző nyílások miatt
 - Csökkentett, gyakran szakaszos fűtés, ami miatt a határoló felületek lehűlnek és a pára ott lecsapódik, vagy éppen a csökkent léghőmérséklet alacsonyabb párabefogadó képessége miatt csapódik ki a felesleggé vált vízmennyiség (Ismeretes, hogy a levegő párabefogadó képessége a hőmérséklettől függ: a levegő magasabb hőmérsékleten nagyobb vízmennyiséget, alacsonyabb hőmérsékleten kisebb vízmennyiséget tud magába foglalni. A különbség az alacsonyabb hőmérsékleten kicsapódik.)

- Építési – kivitelezési hibák (pl. hő-hidak) vagy rossz szigetelés miatt a határoló falak különböző nagyságú területen lehűlnék és rajtuk a pára lecsapódik.

A nedvesedés és a penészedés okai szinte esetről esetre változnak. Ezért minden esetben meg kell találni azt a konkrét okot, aminek az elhárításával meg lehet szüntetni a penészképződés feltételeit.

Beavatkozás nélkül a penész lényegében egész évben megtalálható a penészes lakásban. Tekintettel azonban arra, hogy a kialakulásához szükséges feltételek (elégtelen szellőzés, csökkentett fűtés) elsősorban télen állnak fenn, és akkor tartózkodik az ember legtöbbet a négy fal között, bezárt ablakok mellett, a penész-allergia is leginkább ebben az időszakban várható. Azonban a penész-allergia gyakran előkészíti, érzékenyvé teszi az immunrendszert más allergénnel szembeni találkozásra is, így az orvoshoz fordulást szükségessé tévő erős allergiás reakció gyakran olyan időszakban jelentkezik, amikor már más allergének (pl. pollenek) hatása is érvényesül, azaz a tavaszi-nyári időszakban.

Rendkívül sok közlemény található a nemzetközi szakirodalomban, amelyek a nedvesedés, a penész és azok egészségi hatásai közötti összefüggésekről számolnak be. A WHO felkérésére egy szakértői csoport értékelte ezeket a vizsgálati eredményeket és a 2009-ben megjelent „WHO Guidelines for indoor air quality: dampness and mould” című könyvben foglalta össze. Az épületnedvesedés és a penész, illetve az egészségi állapotban megfigyelt elváltozások közötti kapcsolatok bizonyítottságát a WHO a következő fokozatok szerint értékelte.

A penészedéssel közvetlen *ok-okozati kapcsolatban* lévő egészségi ártalmakra vonatkozó epidemiológiai bizonyítékokat a WHO nem tartja elegendőnek, azonban megállapítja, hogy a nedvesedés és a penészképződés asztmás gyermekeknél az asztma fellángolását eredményezi.

A különböző irodalmi adatok alapján azonban elegendőnek tartja az epidemiológiai bizonyítékot annak megállapítására, hogy a penész jelenlétével szignifikáns *összefüggés mutatkozott* az asztma, valamint az asztma fellángolás, a légzőszervi gyulladások (kivéve a középfülgyulladást), a felső légúti hurutok, a krónikus hörghurut (bronchitisz), a mellkasi sípolás-búgás és a nehézlégzés között. Ugyancsak elegendő klinikai bizonyíték áll rendelkezésre a penész és egyéb nedvesedéssel összefüggő mikrobiológiai ágensek és egyes specifikus tüdőelváltozások (allergiás alveolitisz (léghólyaggyulladás) és gombafertőzés, humidifier fever, inhalation fevers) között.

Korlátozott epidemiológiai bizonyíték szól az allergiás nátha és a nedvesedés és penész jelenléte közötti összefüggés mellett.

A rendelkezésre álló epidemiológiai és klinikai adatok arra engednek következtetni, hogy mind az allergiára hajlamos, mind a nem hajlamos emberek érzékenyek a nedvesedéssel és a penésszel összefüggő egészségi ártalmakra, (bár az allergiára hajlamosakat egy kicsit erősebben érinti az elváltozás), ezért azt feltételezik, hogy a nedvesedéssel és a penésszel összefüggő egészségi állapotváltozásokban allergiás és nem allergiás biológiai mechanizmusok egyaránt szerepet játszanak.

A WHO összegzése végül is megállapítja, hogy az epidemiológia vizsgálatok eredményei alapján arra lehet következtetni, hogy az emberi légzőszervi betegségek jelentős része összefüggésben van a nedvesedéssel járó kockázati tényezőkkel. Például a lakóépületek nedvesedése 50%-kal növelheti az asztmások arányát és fokozhatja egyéb légzőszervi tünetek kockázatát is.

Az egészségi elváltozások mértéke és a penészgombák toxinja, spóráik száma, vagy egyéb alkatrészeik mérhető mennyisége között nem tudtak következetes kvantitatív összefüggéseket találni. Ezért a WHO nem állapított meg a penészedés mértékére vonatkozó egészségügyi határ-, vagy irányértéket, hanem azt ajánlja, hogy a nedvesedést és a penészedést meg kell előzni. Ha pedig ezek mégis fellépnek, akkor azokat meg kell szüntetni, mert növelik a veszélyes expozíció kockázatát.

6.4.4. TERMÉSZETES FRISS LEVEGŐ SZÜKSÉGLET ÉS FRISS LEVEGŐ ELLÁTÁS

A belélegzett légköri levegő általában 21 % oxigént, 78 % nitrogént, 0,97 % nemesgázt és 0,03 % szén-dioxidot (CO₂) tartalmaz. A tüdőben lezajló gázcsere eredményeként a kilégzett levegőben már csak 16 % oxigén van, a szén-dioxid mennyisége pedig 3-5 %-ra nő. A légzés során tehát a levegő elhasználódik, összetétele romlik és vízgőzzel is telítődik.

Az "elhasznált" levegő rossz közérzetet okozó hatásáért elsősorban a vízgőz- és a széndioxid tartalom emelkedése a felelős. Mindamellelt a személyenként és óránként szükséges friss levegő mennyiségét a tevékenység, az életkor és az egészségi állapot is jelentősen befolyásolja.

Max Pettenkoffer (1818-1901) müncheni egyetemi tanár, aki a világ első közegészségtani tanszékét alapította 1865-ben, a lakások szellőztetési szükségletének kiszámítása során a belsőtéri szén-dioxid koncentráció változásából indult ki. Gondolatmenetét

átvéve kiszámítható, hogy egy adott helyiségben tartózkodó egyetlen személy 1 óra alatt hány m³ levegőt tenne 0,1 % CO₂ tartalmú, "elhasznált" levegővé, abban az esetben, ha a helyiség levegője egyáltalán nem cserélődne. Ha egy nyugalomban lévő felnőtt óránként 20 liter széndioxidot termel, és a külső levegő CO₂ koncentrációja maximum 0,04 %, míg a belsőtéri levegőé legfeljebb 0,1 % lehet, akkor a megoldás:

$$V \text{ (m}^3\text{/óra)} = \frac{0,02}{0,001 - 0,0004} = \frac{0,02}{0,0006} = 32 \text{ m}^3\text{/óra}$$

A személyenként és óránként szükséges friss levegő tényleges mennyiségét természetesen a tevékenység, az életkor és az egészségi állapot is jelentősen befolyásolja.

A legújabb kutatási eredmények azonban azt mutatták, hogy a fenti szempontok figyelembevételével tervezett és működtetett szellőzői rendszerek mellett meglehetősen nagy volt az elégedetlen egyének aránya. Kiderült ugyanis, hogy a belső légterekben található szennyeződésnek csak mintegy 13 %-a származik emberi eredetű szennyező forrásból. Az újonnan kialakított szellőztetési filozófia az ember mellett figyelembe veszi az épületen belüli összes szennyező forrást (építőanyagok, bútorzat, szellőztető rendszer), továbbá a dohányzást és a biológiai eredetű szennyezőket is.

A dán Fanger professzor és munkacsoportja az *érezkelt levegőminőség* mérésére két új egységet, az *olf*-ot és a *decipol*-t vezették be. Az *olf* (olfactus= szag) a szennyező források erősségét fejezi ki. 1 *olf*-nak nevezik az egy átlagos személy által kibocsátott szennyeződést. Ez tulajdonképpen egy relatív egység, mert minden szennyező forrást úgy jellemeznek, hogy megadják, hogy az adott szennyező forrás hány átlagos személy (*olf*) emissziójával egyenértékű.

A *decipol* (pollutio= szennyeződés) az észlelt levegőminőség jellemzésére szolgál. 1 *decipol* az a szennyeződés, amelyet egy átlagos ülő személy (*olf*) idéz elő, 10 liter/sec tiszta levegővel való szellőzés mellett. Tehát 1 *decipol* = 0,1 *olf* (l/s)

Ezen új egységek segítségével meghatározható, hogy milyen szellőztetés szükséges ahhoz, hogy egy adott -*decipol*-ban kifejezett- levegőminőséget kapjunk egy olyan helyiségben, ahol adott -*olf*-ban kifejezett- szennyező forrás található.

Ezt az elvet követi az EN 15251-2007 sz. európai szabvány is, amely a szükséges légcseré mértékének kiszámításakor a bent tartózkodó személyek számán kívül az egyéb szennyező forrásokat is figyelembe veszi (ld. Táblázat). A belső terek szellőzésének tehát biztosítania kell legalább a bent tartózkodókból kiáramló anyagok hígulását (emberi

komponens, q_p). Ezen kívül a ventilációt az épületből és a hálózatokból származó emissziók figyelembevételével kell megnövelni (épület komponens, q_B). A kiszámítás egyik módja az egyes kategóriákban szereplő értékek összeadása a 4.4.1. Táblázat szerint. Az emberi komponens függ a bent tartózkodók számától, míg az épület komponens elsősorban az épület típusától függ.

6.4.4.1. Táblázat. Fiktív számú emberek által használt nem-lakóépületek számára ajánlott ventiláció magából az épületből származó szennyezettség két kategóriája szerint. Amennyiben a dohányzás megengedett, az utolsó oszlop értékei még hozzáadódnak az e nélkül számított értékekhez.

Az épület vagy tér típusa	Kategória	Alapterület ($m^2/fő$)	q_p	q_B	q_{tot}	q_B	q_{tot}	q_B	q_{tot}
			l/s, m^2 (ember)	l/s, m^2 (nagyon alacsony szennyezettségű épület)	l/s, m^2 (nagyon alacsony szennyezettségű épület)	l/s, m^2 (alacsony szennyezettségű épület)	l/s, m^2 (alacsony szennyezettségű épület)	l/s, m^2 (nem alacsony szennyezettségű épület)	l/s, m^2 (nem alacsony szennyezettségű épület)
Szimpla iroda	I	10	1,0	0,5	1,5	1,0	2,0	2,0	3,0
	II	10	0,7	0,3	1,0	0,7	1,4	1,4	2,1
	III	10	0,4	0,2	0,6	0,4	0,8	0,8	1,2
Tervező iroda	I	15	0,7	0,5	1,2	1,0	1,7	2,0	2,7
	II	15	0,5	0,3	0,8	0,7	1,2	1,4	1,9
	III	15	0,3	0,2	0,5	0,4	0,7	0,8	1,1
Konferencia terem	I	2	5,0	0,5	5,5	1,0	6,0	2,0	7,0
	II	2	3,5	0,3	3,8	0,7	4,2	1,4	4,9
	III	2	2,0	0,2	2,2	0,4	2,4	0,8	2,8
Előadóterem	I	0,75	15,0	0,5	15,5	1,0	16,0	2,0	17,0
	II	0,75	10,5	0,3	10,8	0,7	11,2	1,4	11,9
	III	0,75	6,0	0,2	0,8	0,4	6,4	0,8	6,8
Étterem	I	1,5	7,0	0,5	7,5	1,0	8,0	2,0	9,0
	II	1,5	4,9	0,3	5,2	0,7	5,6	1,4	6,3
	III	1,5	2,8	0,2	3,0	0,4	3,2	0,8	3,6
Osztályterem	I	2,0	5,0	0,5	5,5	1,0	6,0	2,0	7,0
	II	2,0	3,5	0,3	3,8	0,7	4,2	1,4	4,9
	III	2,0	2,0	0,2	2,2	0,4	2,4	0,8	2,8

Felhasznált irodalom.

Kertai Pál.: Megelőző orvostan. Medicina, Budapest, 1999.

Olesen B.W.: Information paper on EN15251. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. CENSE>P114_EN_CENSE_EN_15251, European Communities, 2010

6.5. AZ EGÉSZSÉGTelen ÉPÜLET TüNETEGYÜTTES (SICK BUILDING SYNDROME)

Mintegy 30 évvel ezelőtt vált ismertté, hogy egyes épületekben a bent tartózkodók közül többen szenvednek olyan, viszonylag enyhe betegségben, amely az adott épülettel (irodaház, többszintes lakóépület, kórház, óvoda, iskola, stb.) hozható összefüggésbe. A tünetek változatosak (ld. táblázat), egyesek a szemben, az orrban és a torokban érzett ingerlő hatásra utalnak, míg mások inkább az idegrendszer funkcionális állapotára utaló általános tünetek, mint pl. fáradékonyság, lehangoltság, fejfájás. A tünetek egyenként nagyon sokféle betegség kísérői lehetnek, és első megközelítésben jelentéktelennek tűnhetnek. Ha azonban egyszerre több jelentkezik egy-egy személynél, akkor már felmerül a gyanú, hogy a rossz közérzet háttérében komolyabb probléma van. Erősíti az egészségtelen épület tünet-együttes fennállásának gyanúját, ha a tünetek az adott épületben eltöltött idővel arányosan rosszabbodnak, illetve távollét esetén csökkennek vagy megszűnnek.

6.5.1. Táblázat. Az egészségtelen épület tünet-együttes fő tünetcsoportjai

1. Kötőhártya izgalom, orr és torok szárazság • csípő, szűrő, irritáló érzés • rekedtség, hangelváltozás 2. Bőr izgalmi tünetek • bőrpír • csípő, szűrő, viszkető érzés • bőrszárazság 3. Neurotikus tünetek • szellemi kimerültség • memóriakapacitás csökkenés • letargia, álmoság • csökkent koncentrációképesség • fejfájás • szédülés • hányinger • fáradtság 4. Nem-specifikus túlérzékenységi reakciók • orr- és szemváladékozás • asztmaszerű tünetek (egyébként nem asztmás személyen) • spasztikus (nehezített) légzés 5. Szaglási és ízérzésbeli panaszok • megváltozott érzékenység • kellemetlen szag- és ízérzés

Az egészségtelen épület tünet-együttes felismerése egy-egy embernél még nem jelenti azt, hogy az épület egészségtelen, hanem utalhat az illető egyén túlzott érzékenységre is az

épületben található valamely körülmény iránt. (Ide kívánczik annak említése, hogy egy korábbi, 2827 emberre kiterjedő budapesti (zuglói) lakásfelmérés során azt tapasztaltuk, hogy míg az irritatív (nyálkahártya izgalmi) tünetek gyakorisága tekintetében nem volt lényeges különbség a férfiak és a nők között, addig több neurotikus jellegű tünet, pl. fejfájás, szédülés, fáradtságérzet, a nők körében jelentősen gyakrabban fordult elő. A fejfájás a középkorú nők körében, míg a többi tünet inkább a 60 éven felüliek között fordult elő a leggyakrabban.) Ha azonban a tünetek több embernél fordulnak elő, akkor már valószínűsíthető az épületre vonatkozó diagnózis. Az egészségtelen épület tünet-együttes, mint kórkép felismerése felveti annak szükségességét, hogy a háttérben lévő lehetséges okokat keressük, lehetőség szerint megtaláljuk és azok kijavításával az egészségtelen épületet és annak lakóit meggyógyítsuk.

Az épület egészségtelenné válhat a tervezés, az építés, illetőleg az üzemeltetés, fenntartás és használat következtében. Egyedi esetekben ritkán határozható meg az egészségtelen épület tünet-együttes sajátos oka, azonban az ezen a téren összegyűlt tapasztalatokat összegezve, az Egészségügyi Világszervezet egy összefoglaló tanulmányában a problémákat négy kategóriába sorolja:

- helyi tényezők;
- az építőanyagok, berendezési tárgyak és az épület funkcióival kapcsolatos gondok (pl. az építőanyagok és a bútorok vegyi anyag kibocsátása, világítás, fűtés);
- az épület szerkezetétől független problémák (pl. a házi-por, a penész vagy a pollen allergia);
- pszichológiai eredetűnek tekinthető problémák, amelyek kiváltásában társadalmi okok, fizikai adottságok és egyéb tényezők játszhatnak szerepet.

A következő – ugyancsak az Egészségügyi Világszervezet tanulmányából származó – lista azokat a jellemzőket sorolja fel, amelyek az egészségtelen épületekben gyakran megtalálhatók. Hangsúlyozni kell azonban, hogy nem minden egészségtelen épületben van jelen minden jellegzetesség, és nem minden épület egészségtelen, amelyekben ezek a jellemzők megtalálhatók:

- a hatvanas években vagy később épült épület
- légkondicionált épület, nyithatatlan ablakok
- nagyon fényes és/vagy villódzó világítás
- kevésbé szabályozható szellőzés, fűtés és világítás
- nagy felületű szőnyeg vagy kárpit
- sok nyitott polc vagy tároló rekesz
- új bútor, szőnyeg vagy festett felület

- elhanyagolt karbantartás és javítás
- elégtelen takarítás
- magas hőmérséklet vagy nagy hőmérsékleti eltérések a nap folyamán
- nagyon alacsony vagy nagyon magas páratartalom
- vegyi szennyező anyagok (pl. dohányfüst, ózon) vagy az építőanyagokból, berendezésekből származó illékony szerves vegyületek
- porszemcsék és rostok a levegőben
- számítógép képernyői

A felsoroltak közül egy-egy tényező önmagában általában nem alkalmas a tünetek kiváltására, ehhez többnyire az oki tényezők egymás hatását erősítő kombinációja szükséges. Erre találunk példát az alábbiakban:

- A szárazság érzetet kiválthatja:
 - alacsony páratartalom
 - magas hőmérséklet
 - vegyi szennyező anyagok
 - por
- A szemben érzett ingerlő érzést okozhatja:
 - vegyi szennyezők a levegőben
 - huzat
 - sugárzó hő
 - helytelen világítás
 - allergizáló részecskék

Megelőzés

Tervezés

Az egészségtelen épület tünet-együttes az épület csaknem minden szerkezeti rendszeréhez kapcsolódhat, de mindenekelőtt az egyes tényezők együtthatásának következménye. Megelőzése érdekében – *új épületeknél* – érdemes alaposan végiggondolni a következő szempontokat:

- A javasolt építési teleknél nem jelentkeznek-e rejtett gondok (pl. magas talajvízállás, magas radon kibocsátás vagy az előző használatból eredő talaj szennyezettség)? Ez utóbbira intő példa az USA-beli Love Canal esete, ahol a 30 évvel korábban betemetett és zöld növényzettel rekultivált toxikus hulladéklerakó területén épített lakóházak lakhatatlannak

bizonyultak a megbolygatott talaj mélyéből feltörő mérgező folyadékok és csurgalékvezek hatása miatt.

- A tervező gondoskodott-e az összes ismert kockázati tényező figyelembevételéről? (megfelelő alaprajz, könnyű tisztántarthatóság, megfelelő hőtényezők stb.)
- Milyen a helyi környezeti levegőminőség? S ha kifogásolható, ezt figyelembe vették-e a szellőzés és a szigetelés tervezése során?

Meglévő épületekben előforduló tünetek megelőzésére vagy megszüntetésére a következő eljárások javasolhatók:

Takarítás

Egyre több a bizonyíték arra, hogy az egészségtelen épület tünet-együttes egyik fő oka a felületek szennyezettsége, amit nem csak a leülepedett por, hanem az épületben tartózkodóktól, az ott folyó tevékenységből és a berendezésekből származó anyagok okoznak. Ebben vannak a felületeken kiülepedő kémiai és mikrobiológiai szennyezők, bőrpikkelyek, élelmiszer maradékok, a dohányzás hulladékai és az utcáról a cipőtalpon behordott szenny.

A jól végrehajtott takarításra különös figyelmet kell fordítani a nyirkos, nedves helyeken, illetve ahol papírt, könyveket tárolnak. Lehetőleg úgy kell takarítani, hogy ne verjék fel a port. A szellőző berendezéseket (vezetékeket, szűrőket, rácsokat), valamint a rejtett zugokat (álmennyezet felett és álpadozat alatt) rendszeresen ki kell takarítani. Ahol nagy felületen van padlószőnyeg, vegyi módszerrel kell a poratkákat elpusztítani.

Mindazt a sok fáradságot és költséget, amellyel a fokozott mértékű és szakszerű takarítás jár, meg lehet spórolni, ha a tervezés, a bútorzat megválasztása és a belső tér elrendezése során a takaríthatósági szempontokat is figyelembe vesszük.

Szellőzés

A szellőztetésnek két célja van: friss levegő biztosítása és a szennyezett levegő eltávolítása. Ehhez megfelelő légáramlás szükséges. Ugyanakkor a túlzott légáramlás huzatot okoz, és egyéb kellemetlenségekkel jár. A szellőző rendszer rossz beállítása és egyéb hiányosságai gyakori okként jelentkeznek az egészségtelen épület tünet-együttes előfordulásakor.

Komfort tényezők szerepe

Számos egyszerre ható fizikai tényező (pl. zaj, kellemetlen hőmérséklet, alacsony páratartalom, rossz világítás) összeadódó hatása megnövelheti az egészségtelen épület tünet-együttes megjelenésének valószínűségét.

A zaj szerepe összetett. A magas zajszint zavarja a beszédet és a figyelem összpontosítást, ezzel hozzájárul a rossz hangulathoz, fejfájást és egyéb kellemetlenségeket is okoz. A kis frekvenciájú – pl. a szellőző rendszerből származó – zaj hatása kevésbé ismert, de valószínűleg társítható az egészségtelen épület tünet-együtteshez.

Valószínűtlen, hogy a magas hőmérséklet közvetlenül tüneteket okozna, de elősegíti a különféle kémiai anyagok felszabadulását, kipárolgását, valamint a baktériumok, a gombák és a poratkák szaporodását. Felmérések bizonyítják, hogy az egészségtelen épület tünet-együttes tünetei rosszabbodnak, ha a hőmérséklet 21°C fölé emelkedik. Esettanulmányok és ellenőrzött vizsgálatok eredményei szerint a 30% feletti relatív páratartalom csökkenti a tüneteket, ugyanakkor a magas páratartalom már azért rossz hatású, mert elősegíti a mikroorganizmusok szaporodását.

A természetes világítás hiánya ugyancsak hozzájárulhat a tünetek kialakulásához. Irodákban végzett vizsgálatok eredményei szerint az ablakhoz közelebb ülők kevésbé szenvednek az egészségtelen épület tünet-együttes tüneteitől. A fénycsövek villódzása bizonyítottan fejfájást és szemfáradást okoz, megszüntetése csökkenti a tüneteket.

Felhasznált irodalom:

Cocklin, G.: The weather-conditioned house. New York, Reinhold, 1958 (Cit. in WHO Guidelines for Healthy Housing, 1988)

ÉTI-OKI-ÉMI: Épületek és berendezések egészségügyi szempontból mértékadó hatásai.

Tervezési Információ 1991/5

Kertai Pál.: Megelőző orvostan. Medicina, Budapest, 1999.

Rudnai P. (szerk).: Lakás és Egészség. Országos Környezetegészségügyi Intézet, Budapest, 2007.

WHO: The Constitution of the World Health Organization, WHO Basic Documents, Geneva, 23rd ed., 1973.

WHO: Guidelines for Healthy Housing. WHO/EURO Environmental Health Series No. 31., WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, 1988.