

2.2 A helyiségek légátöblítésének néhány kérdése



Az alábbiakban megkíséreljük az érdeklődés középpontjába állítani azokat a műszaki kérdéseket, amelyek a helyiségek légátöblítésének mérésekor felmerültek. Ezek a kérdések érintik a megvalósítási lánc valamennyi résztvevőjét, így a beruházót, tervezőt, kivitelezőt, illetve az üzemeltetőt.

Problémafelvetés és megoldásának módjai

A helyiségek levegővel történő átöblítésekor felmerülő problémák zöme két okra vezethető vissza:

- a légátöblítés részleges, vagy egyáltalán nem tervezett voltára,
- az anemosztátok helytelen beépítési körülményeire.

Az említett okok nem kizárólag a tervezőt és kivitelezőt terhelő problémák. A megvalósítási lánc további résztvevői is — akár akaratlanul is — hozzájárulhatnak az okok objektív kialakulásához. Például, ha műszaki információhiány következtében a beruházás nem fektet kellő gondot a légátöblítés számításának elvégzésére (esetleg modellezésre). Vagy például az üzemeltető egyéb megfontolások (energetikai, átszervezés stb.) alapján megváltoztatja a tervezett légátöblítést.

De mi is történik valójában, ha valamely okból elmarad a helyiség átöblítésének méretezése?

A légtechnikai rendszerek egyik eleme a zárt tér (helyiség) és ezen belül a tartózkodási zóna. Működés tekintetében ugyanolyan elem, mint a többi rendszerkomponens, mint például a légcsatorna-hálózat vagy a szellőzőgépház elemei. Azonban a teljes rendszer megítélése szempontjából első helyre sorolható, mivel a tartózkodási zónában érzékelhetők azok a mikroklíma-paraméterek, amelyek az emberből a kellemes hőérzetet kiválthatják. Következésképpen, egy nem, vagy rosszul méretezett helyiségátöblítés negatív véleményt eredményez a rendszer egészére vonatkozóan, annak ellenére, hogy a többi rendszerelem kifogástalanul működik.

Mint ismeretes, a helyiségeket első közelítésben *energiaforgalom* szempontjából méretezzük. Ez azt jelenti, hogy a helyiségek hő- és nedvességegyensúlya biztosított a szabványos belső légállapot mellett. Azonban ez az egyensúly globális jellegű akkor, ha

légátöblítés szempontjából nem méretezzük a helyiséget. Például a magas, 3 m feletti helyiségek légterében — oldalbefűtés esetén — esetleg hőmérséklet-rétegződés lép fel. Ha a tartózkodási zónában biztosítani kívánjuk a belső előírt légállapotot, akkor a felső zónákban törvényszerű a magas léghőmérséklet. Ez utóbbi, téli esetben feleslegesen megnöveli a transzmissziós hőáramot, energiavesztéssel jár. Előállt az a furcsa állapot, hogy bár energiaforgalom szerint méretezett volt a rendszer, légátöblítés szempontjából nem, mégis többlet energia felhasználással kellett megfizetni a hibát.

Amíg az energia viszonylag méretlenül állt rendelkezésre, addig az ilyen rendszerek jelzett működése nem jelentett gondot az üzemeltetőknek. Többek között ez az oka annak, hogy a megváltozott energiahelyzet után relatíve több „rekonstrukció” igénnyel találkozhatunk.

De nemcsak energiavesztéssel kell számolni ebben a példában, hanem azzal a ténnyel is, hogy a tartózkodási zónában nem az előírt légállapot fog létrejönni. Ugyanis nincs garancia arra — számítás nélkül — hogy téli állapotban a szellőző levegő eljut a tartózkodási zónába. A gravitációs felhajtó erő hatására megghiúsulhat a tér teljes átöblítése. Következésképpen a $h-x$ diagramban kiszerezhető folyamatára nem a valóságot fejezi ki. Ebben az esetben nem lehet becsléssel sem meghatározni azt, hogy a tartózkodási zóna légállapotát reprezentáló t és φ értékpár a

helyiségre jellemző: $\frac{\Delta h}{\Delta x}$ peremlépték

félegyenesén a szellőző és távozó légállapotok között hol helyezkedik el.

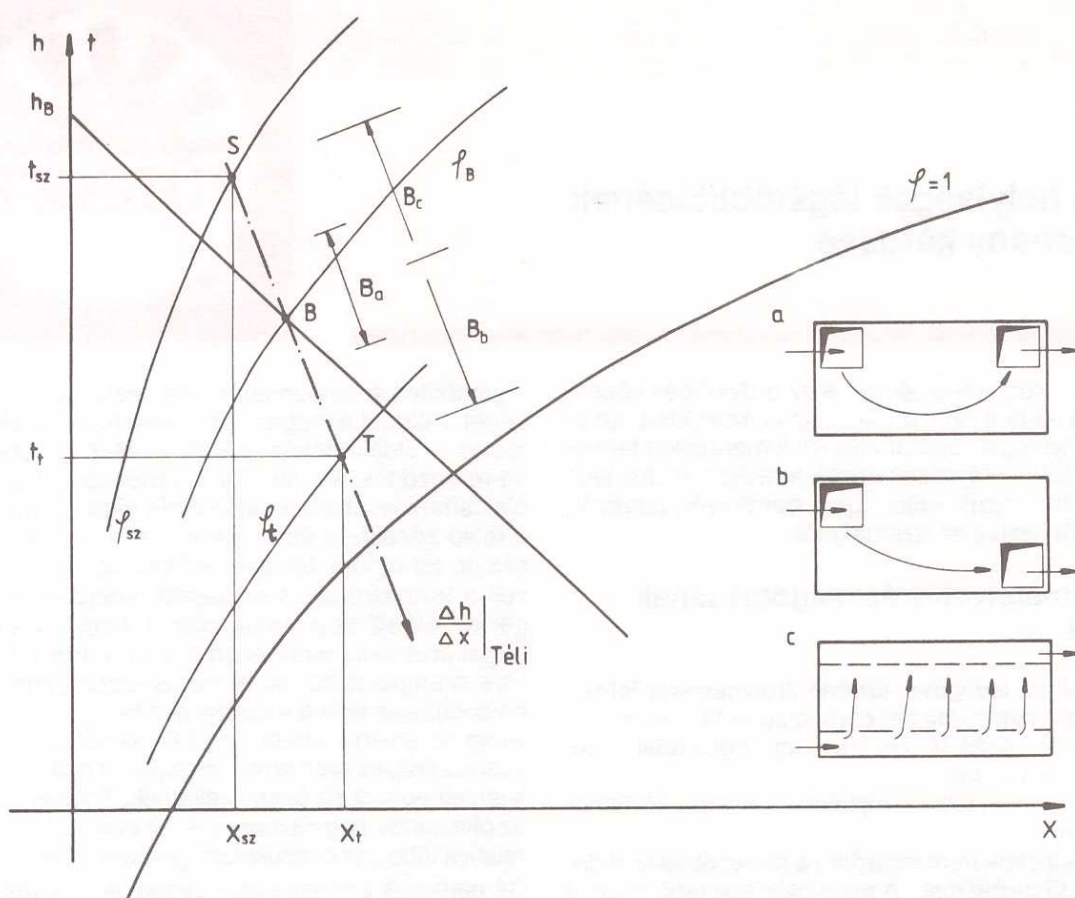
Ilyen eseteket ábrázolunk az 1. ábrán, ahol a B jelzésű pont reprezentálja az energiaforgalomra méretezett légállapotot, míg a B_a , B_b és B_c pontok az ábrán vázolt esetekhez tartozó tartózkodási zóna légállapotát. Feltételezve, hogy a szellőző levegőnyaláb eléri a tartózkodási zónát, téli állapotban az ábrán jelzett légállapot intervallumok valamelyikébe kerül a tartózkodási zóna.

a) esetben: $t_{sz}; \varphi_{sz} < t_B; \varphi_B < t_T; \varphi_T$

b) esetben: $t_B; \varphi_B \rightarrow t_T; \varphi_T$

c) esetben: $t_B; \varphi_B \rightarrow t_{sz}; \varphi_{sz}$

A bemutatott esetek megrajzolhatók nyári esetre is, és hasonló következtetések vonhatók le. Lényege-



1. ábra
A tartózkodási zóna légállapotai

sen megváltozik a helyzet akkor, ha a légsugárnyaláb nem éri el a tartózkodási zónát, illetve ott szekunder légáramlás alakul ki. Ilyen esetekben a helyiség egészére jellemző peremlépték félegyenese nem tartalmazza a tartózkodási zóna légállapotát jelölő B pontot. Tehát a előírt belső légállapot nem valósul meg. Következésképpen a vonatkozó műszaki előírásoknak a klimatizált tér nem felel meg. Hasonló problémához vezet az anemosztátok helytelen beépítése is. Az anemosztátokra vonatkozó katalógus értékek csak a gyártó által közölt beépítések mellett garantáltak. Azoktól történő eltérés megváltoztatja a működésre jellemző egyenletek peremfeltételeit, tehát megváltozik a kialakuló sebesség- és hőmérsékletmező is. A megváltozott sebességmező a tervezett légállapottól eltérőt hoz létre, a tartózkodási zónában. Tehát egy-egy esetben nem egy termék minőségi kifogásolhatóságáról lehet kizárólag szó, hanem megvizsgálandó a betervezett anemosztát rendszerhez történt illesztése.

Felmerül a kérdés, hogy *melyek azok a körülmények, amelyek előidéznek a részletezett okokat?* Mindenekelőtt egy korábbi szemlélet, amely szerint a szellőztető rendszer a befúvó anemosztátnál végződik, illetve az elszívó hálózat a légelvezetés rácsától indul. A korábbi szemlélet következménye, hogy a gyakorlatban a befúvórácsok kiválasztása egyet jelentett az átöblítés megtervezésével. A kiválasztás ugyanakkor levegőkibocsátás és ellenállás-érték alapján történt. Maximális tevékenységként jelentkezett a vetőtávolság meghatározása. A tervezők igen jelentős hányada már az utóbbitól is idegenkedik, ha nincs a tervező irodában valamilyen „házi szabvány”. A reagáláson nem lehet csodálkozni, mivel hivatalos előírásaink e tekintetben kevés konkrétummal rendelkeznek. A szakirodalomban megjelenő ilyen irányú munkák a kutatók munkásságának széles skáláját ismertetik. Ez utóbbi elbizonytalanítja a tervezőket, akiknek nincs arra idejük és módjuk, hogy utánanézzenek az alapszakirodalomban egy-egy összefüggés érvényességének.

Megint mások, katalógus adatait, összefüggéseit „adaptálják” hazai viszonyokra. Több okból téves megoldás, ugyanis a katalógusadatok (összefüggések) félempirikus jellegűek, így azok csak és kizárólag arra a gyártmányra és az ott közölt feltételek mellett igazak. Mivel az alapvető összefüggések nincsenek a tervezők birtokában, ezért adaptálásról szó sem lehet. A vetőtávolságra irányuló számítások azt a tévhitet sugallják, hogy csak sugárszellőzéssel oldható meg egy adott feladat.

Ebből a szemléletből ered az az információhiány is, amely sújtja a szakembereket a helyiségek átöblítését illetően. Célszerűnek látszik e tekintetben olyan összefoglaló tanulmányt készíteni — sajnos helyhiány miatt a teljesség igénye nélkül —, amely eligazítást ad a:

- tartózkodási zóna követelményrendszerében,
- a légvezetési rendszerek fajtáiban és azok alkalmazási korlátjaiban, illetve az anemosztátok és légvezetési rendszerek illesztésének témakörében.

A következőkben e témaköröket külön részletezzük, azonban előljáróban szükségesnek látszik ismertetni a helyiség légátöblítésével kapcsolatos számítási módokat, amelyek az előzőekben vázolt probléma megoldását jelenthetik.

A helyiség légsebesség- és hőmérsékletmezőit meghatározásának következő három módja ismeretes:

- félempirikus számítások,
- matematikai modell,
- háromdimenziós fizikai modell.

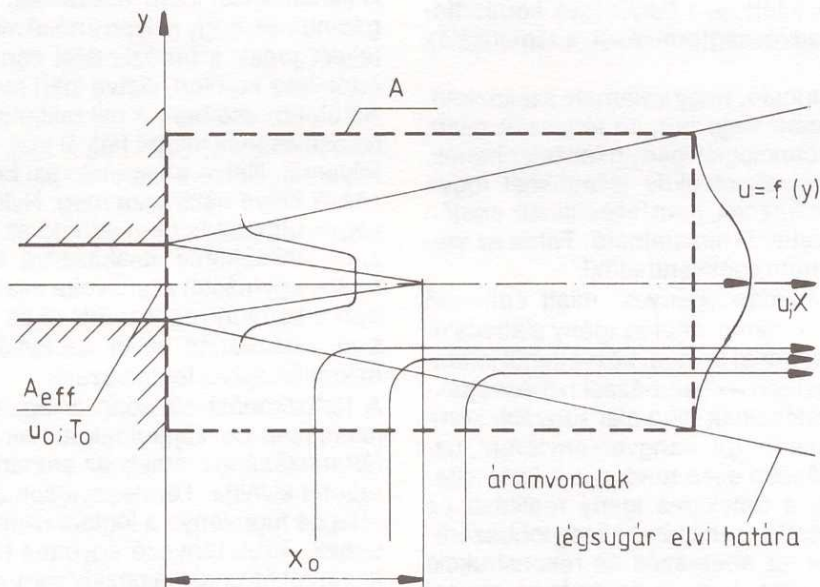
Ez a felsorolás egyben pontossági sorrendet is jelent. A *félempirikus számítások* némely esetben kielégítő pontosságú számítást adnak, minimális ráfordítással. Azonban nem alkalmazhatók általános érvényűen. Ugyanakkor a háromdimenziós légmodellen különböző variánsok elemezhetők kétségkívül nagyobb investálással. Mindig az adott feladat igényessége dönti el azt, hogy mikor, melyik megoldási mód alkalmazható.

A félempirikus számítások a szabad, illetve korlátozott légsugarak viselkedését írják le. Ezek a számítások az alapjai az anemosztát-katalógusokban alkalmazott diagramoknak. Például, izoterm szabad légsugarak esetén:

$$\int_A u \rho u dA = 0$$

Az egyenlet mérések útján történő megoldása — az adott peremfeltételek mellett — képezi a diagramok alapját. Az egyenlet értelmezése a 2. ábra jelölései alapján kézenfekvő. A félempirikus összefüggésekkel (diagramokkal) végzett számítások általában becslések végzésére alkalmasak, mivel a leírt összefüggés nem ad információt a helyiség egyéb impulzustranszportjára. Következésképpen a számítások eredményeit fenntartással lehet csak figyelembe venni.

Kedvezőbb közelítést ad a *matematikai modell* numerikus módszerrel történő megoldása. Az alkalmazott egyenletrendszer a *Navier-Stokes* és a *kontinuitásegyenletek*, illetve az *energiaegyenlet* alapján



2. ábra
Légsugár ábrázolása az egyenlet értelmezéséhez

állították fel. Az egyenletrendszer stabil, kétdimenziós helyiségáramlást tételez fel, amely az esetek többségében elfogadható közelítés. A turbulens mozgás problémáját turbulencia modell alkalmazásával ($k-\epsilon$) lehet megoldani, amely a k turbulens kinetikus energiára vonatkozó transzport egyenletből és az ϵ turbulens kinetikus energia disszipáció egyenletekből áll. Az egyenletek számának csökkentése érdekében az áramfüggvény bevezetésével mód nyílt az örvénytranszport és transzport egyenletek felállítására.

Izoterm esetben, így néhány elliptikus, parciális differencialegyenlet áll a rendelkezésünkre, amelyet differenciaegyenletre alakíthatunk. Ezt követően, véges különbségek módszerével — számítógép felhasználásával — megoldhatjuk az adott feladatot. Végeredményképpen kirajzolható a helyiség sebesség- és hőmérséklettopográfiája egy adott anemosztát elhelyezés mellett.

Egy konkrét feladat tekintetében a legtöbb információt a *háromdimenziós légmodell* adja. A modelltörvények alkalmazásával megépített modellben, megfelelő mérőberendezéssel nyomonkövethető a légsebesség- és hőmérsékletmező alakulása különbözőképpen változtatott peremfeltételek esetén. A tervezés fázisában mód nyílik arra, hogy a különböző paraméterű be- és kiáramló levegő tartózkodási zónára gyakorolt hatását megvizsgáljuk.

A tartózkodási zóna követelményrendszere

Egy légtechnikai rendszer megvalósításának már a kezdeti fázisában elkerülhetetlen a szükséges alapadatokat tisztázni. Ez utóbbi alatt azok a paraméterek értendők, amelyek kifejezik a helyiségek komfortfokozatát, a hő- és nedvességterhelését, a klimatizálás fokát stb.

Általánosan elmondható, hogy valamely szellőztető, illetve klímarendszert, vagy humán tényezők miatt, vagy valamilyen technológiai igény miatt telepítenek. A technológiai igények objektív jellegűknél fogva egyértelműen jelentkeznek, nem teljesülésük esetén az anyagi kár közvetlenül kimutatható. Tehát az igények önkényesen nem csökkenthetők!

Más a helyzet a humán „igények” miatt építendő légtechnikai rendszereknél, ahol az igény alábecslése miatti kár nem azonnal és nem közvetlenül jelentkezik. Nem egy esetben — beruházási nehézségekre hivatkozva — valósulnak meg alacsonyabb komfortfokozatú rendszerek (pl. hangversenyterem, üzletközpont stb.). Később ezen rendszerek üzemeltetése során kiderül a tényleges igény realitása és akkor a „megtakarítást” beruházási költség többszöröse kerül kifizetésre az áttervezés és rekonstrukció folyamán. (Igaz ugyan, hogy a szükséges anyagi eszközráfordítás időben eltolva jelentkezik és esetleg más pénzügyi kereteket terhel, azonban abszolút értékben mindenképpen meghaladja a korábbi „megtakarítást” és műszaki szakszerűtlenséget rejt magá-

ban, ami nemkívánatos jelenség.) Tehát alapvető a tényleges igények felmérése.

Hasonló jelenségeket figyelhetünk meg a számítógépközpontok klimatizálása során. A beruházói oldalról megadott helyiség-hőterhelés a számítógép alapkiépítése mellett talán még realitásnak tűnt. A számítógépközpont korábban nem tervezett kiépítése, bővítése következtében megváltozott a hűtési igény, amelyet az enyhén túlméretezett klímaközpont már nem tud ellátni. Ilyenkor megindul az ún. „rekonstrukció” (ha van rá keret), és a többszörösébe kerül az új klímaközpont, mint amelyet helyes felméréssel tervezhetek volna meg. Tehát a tervszerű bővítési lehetőségek felmérése és figyelembevétele, a kellő időben elengedhetetlen követelmény.

Szükségesnek látszik leszögezni azt, hogy a helyiségek rendeltetése és a ténylegesen támasztható igények között szoros kapcsolat áll fenn. Ez a kijelentés első közelítésben magától értetődik, főleg, ha a légállapot előírásra gondolunk. Nem így jelentkezik akkor, ha helyiségek belső légmozgásának megtervezéséről van szó. Nem egy székházban jelentkező probléma az, hogy a korábban, a tervezés stádiumában irattárként, tárgyalóként szerepeltetett helyiséget az apparátus bővítése miatt irodának rendeznek be. Ilyen esetekben természetes, hogy huzatjelenségek lépnek fel, hiszen a légátöblítés tervezett iránya és volumene más alapadatokra készült. A helyi légtechnikai berendezésekben meglévő tartalékok néhány esetben még fedezhetik a helyiség hő- és nedvességterhelésében beálló minimális változást, azonban az anemosztátok elhelyezkedése, nagysága, befűvott levegő paraméterei adottak. Így eltérő viszonyok mellett, változatlan működéssel a térben diszkomfort zónát hoznak létre.

A klimatizálási igény tisztázását követően megvizsgálandó az, hogy milyen értékű mikroklima-jellemzők teljesüljenek a tartózkodási zónában. Nyilván más érték lesz komfort, illetve ipari rendszereknél.

Az utóbbi esetben, a mikroklima jellemzőit és azok teljesülésének kívánt helyét kizárólag a technológiai folyamat, illetve a technológiai berendezés telepítésének helye határozza meg. Nyilvánvaló, hogy egy-egy útmutatás nem adható az ilyen céllal létrehozandó mikroklima kialakítására, a technológiai folyamatok egymástól eltérő volta miatt. Így a következőkben a komfort rendszerekkel és elsősorban az emberi tartózkodás célját szolgáló helyiségek, terek mikroklimájával foglalkozunk.

A tartózkodási zónában a légtechnikai rendszerek jelentősen hozzájárulnak annak a mikroklimának a létrehozásához, amely az emberből a kellemes közérzetet kiváltja. Természetesen ez utóbbi nem kizárólagos függvénye a légtechnikai rendszer működésének. Több tényező együttes hatására alakul ki a közérzet és annak a pozitív vagy negatív megítélése. Ezek a tényezők három csoportba sorolhatók, úgy mint:

- a) a klímarendszer működésének jellemzői:
- a léghőmérséklet,

- a relatív páratartalom,
- a levegő áramlási sebessége a helyiségben,
- a levegő szennyezettsége,
- a zajszint,
- a frisslevegő-hányad stb.

b) a *benntartózkodók speciális jellemzői*:

- a tevékenység,
- az aktivitási szint,
- a ruházat szigetelő hatása,
- a pszichikai állapot stb.

c) a helyiség jellemzői:

- a helyiség geometriája,
- a helyiség beépítettsége,
- a közepes sugárzási hőmérséklet,
- a megvilágítás stb.

A felsorolt jellemzők egy más szempont szerinti csoportja alapvetően befolyásolja az ember hőérzetét („termálkomfortját”). Mivel az egyes jellemzők különböző intenzitással hatnak az emberre, ezért a kialakuló hőérzetet csak statisztikusan lehet meghatározni. *Fanger* vizsgálatai rámutattak arra, hogy egyes emberek számára — ugyanaz a mikroklíma — kellemes hőérzetet jelent, míg másokból kellemetlen, diszkomfort érzetet vált ki. A kísérletek számszerűsítették a hőkörnyezettel elégedettek és elégedetlenek arányát. A klimatizált helyiségben a személyek várható százalékos hányada 5%, akik termikusan mindig kényelmetlenül érzi magukat.

Ezek a kísérletek vezettek oda, hogy jelenleg két számadattal kifejezhető a tartózkodási zónában várható hőérzet.

- PMV-érték; várható hőérzeti érték,
- PPD-érték; a kedvezőtlen hőérzet várható százalékos valószínűsége.

A PMV-érték és a hőérzet között a következő összefüggés érvényesül:

ha	
PMV = -3	hideg
-2	hűvös,
-1	kissé hűvös,
0	semleges,
+1	kissé meleg,
+2	meleg,
+3	nagyon meleg.

A PVM-érték fizikai paraméterek ismeretében a következő egyenlettel számítható:

$$\begin{aligned} \text{PMV} = & (0,303e^{-0,036M} + 0,028) [(M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3}(5733 - 6,99(M - W) - p) - \\ & - 0,42 \{(M - W) - 58,15\} - 1,7 \cdot 10^{-5} M (5867 - p) - 0,0014 M (34 - t_i) - \\ & - 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \{T_c^4 - T_s^4\} - f_{cl} \cdot \alpha(t_c - t_i)], \end{aligned}$$

ahol a ruházat közepes hőmérséklete impliciten:

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 (M - W) - 0,155 I_{cl} [3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl}$$

$$\{T_c^4 - T_s^4\} + f_{cl} \cdot \alpha(t_c - t_i)],$$

$$\alpha = \begin{cases} 2,38(t_{cl} - t_i)^{0,25} & \text{ha } 2,38(t_{cl} - t_i)^{0,25} > 12,1\sqrt{u}, \\ 12,1\sqrt{u} & \text{ha } 2,38(t_c - t_i)^{0,25} < 12,1\sqrt{u}, \end{cases}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 0,2 I_{cl} & \text{ha } I_{cl} < 0,5c_{lo}, \\ 1,05 + 0,1 I_{cl} & \text{ha } I_{cl} > 0,5c_{lo}. \end{cases}$$

Az előbbi képletsor első látásra bonyolultnak tűnik, azonban a jelenlegi számítástechnikai lehetőségek figyelembevételével a számítás egyszerű programhasználatra korlátozódik.

Az egyes jellemzők mértékegységei megfelelnek az SI mértékrendszerben alkalmazottnak, illetve a fejezet végén közölt jelölésjegyzékben rögzítetteknek.

A PMV- és PPD-értékek közötti összefüggést a 3. ábra szemlélteti. A leírt módon számított PMV-értékhez — az ábra segítségével — meghatározható a kedvezőtlen hőérzet várható százalékos valószínűsége, a PPD-érték, kvantitatíve:

$$\text{PPD} = 100 - 95 e^{-(0,03353 \text{ PMV}^4 + 0,2179 \text{ PMV}^2)} \%$$

Tapasztalataink szerint, a PMV-érték nem minden esetben reagál hűen az intenzív légáramlásra. Vannak olyan esetek, amikor a nem kívánt diszkomfort hatást a légáramlás kompenzálja és ezzel helyi túlűtést eredményez a benntartózkodók testfelületén. Például, ez az eset áll elő — a később tárgyalt — légsugár-, mikroklíma- és érintőleges légvezetési rendszereknel. Ilyenkor szükséges a tartózkodási zóna huzatkritérium szerinti ellenőrzése. Mivel többféle huzatkritérium terjedt el, ezek közül néhányat együtt a 4. ábrán szemléltettünk.

A bemutatott DIN 1946 huzatkritérium egy olyan határgörbe, amely $24^\circ < t_b < 26^\circ$ között maximálja a légsebességet 0,34 m/s értékben. A skandináv államokban használatos SBN 75 norma szigorúbb követelményt ír elő az összetartozó légsebesség-hőmérséklet értékpárookra. A 4. ábrán feltüntetett ADPI (Air Distribution Performance Index) norma főleg a tengeren túl volt eddig használatos, jelenleg igen elterjedten alkalmazzák, az ábrán $t_b = 20^\circ\text{C}$ -ra adaptált változata szerepel. Egy olyan területet határol le, amelyen belül levő értékpárok kellemes hőérzetet reprezentálnak.

A rombusz határai az $u = 0$ és $u = 0,35 \text{ m/s}$ egyenesek mellett az

$$u = \frac{1}{7,66} (\Delta t + 1,67) + 0,15$$

illetve

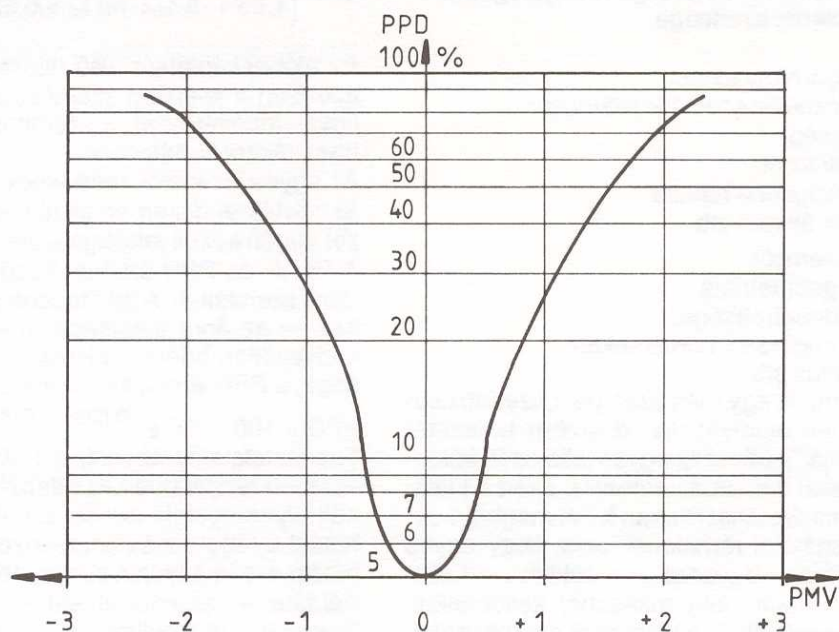
$$u = \frac{1}{7,66} (\Delta t - 1,11) + 0,15$$

további egyenesek alkotják, ahol:

$\Delta t = t_x - t_b$; azaz a tartózkodási zóna vizsgált pontjának hőmérséklet eltérése a tervezett értéktől.

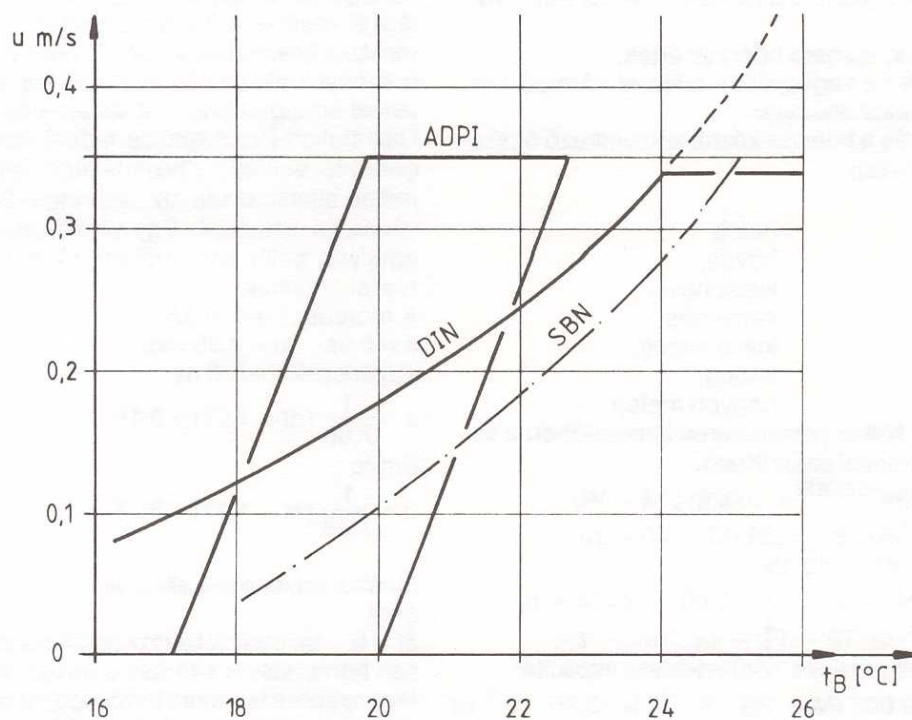
Magasabbra tervezett tartózkodási zónahőmérséklet esetén a rombusz jobbra tolódik.

Meg kell említenünk, hogy az ADPI (légelosztási index vagy szubjektív huzatérzet index) statisztikus adat, amelyet a helyiségek rendeltetéséhez lehet ajánlani, például a következő összeállításban foglaltak szerint:



3. ábra

A várható hőérzeti érték (PMV) és a kedvezőtlen hőérzet várható százalékos valószínűsége (PPD) közötti összefüggés



4. ábra

Huzatkritériumok

Helyiség	ADPI
Koncertterem	90–100
Iroda	80–90
Előadóterem	80–90
Tanterem	70–80
Üzletház	70–80
Előadótér	60–70
Ipari csarnok	60–70

Jelentése szerint: a tartózkodási zónában mérhető sebesség-léghőmérséklet értékpárok közül az ADPI jellemző száma szerinti százaléknak kell a 4. ábrán vázolt komfort területre kerülni.

A légvezetési rendszerek és azok alkalmazásának korlátjai

Alapvető probléma az, hogy hogyan lehet a szellőző-levegőt úgy bejuttatni a helyiségbe, hogy ott sem huzatos, sem átöblítetlen terek ne keletkezzenek. Ugyanakkor a tartózkodási zónában a tervezett mikroklíma jellemzők érvényesüljenek, lehetőleg homogén jelleggel.

A helyiségbe bevezetett kezelt levegő impulzusa a helyiség levegőjét jól érzékelhető, karakterisztikus mozgásba hozza. Ezt a primér és szekunder légáramlásokat a helyiség *légvezetési rendszerének* (LVR) nevezi a szakirodalom.

A szaktudomány jelenleg a következő öt légvezetési rendszert különbözteti meg:

- | | |
|------------------------|------|
| 1. légsugár | LVR, |
| 2. mikroklíma | LVR, |
| 3. érintőleges | LVR, |
| 4. dugattyúhatás szerű | LVR |
| 5. diffúz | LVR. |

Ez a csoportosítás nyilván nem öncélú, mivel minden egyes LVR-hez más típusú anemosztát tartozik, illetve eltérő méretezési módszerek alapján tervezhetők. A levegőátöblítés fajtáinak meghatározott kritériumai vannak. A tervező, egy adott helyiség átöblítésének irányát és fajtáját nem döntheti el szabadon. Meg kell határoznia a helyiségben működő hőforrások, illetve hideg felületek mentén kialakuló konvekciós áramlások nagyságát.

Alapvető szempont: a tervezett átöblítés stabilitása. Abban az esetben, ha a helyiség adott pontján az átöblítés és a konvekciós áram összemérhető nagyságú és egymással ellentétes irányú, megkérdőjelezhető az áramlás stabilitása.

Az energiatakarékos rendszerek ismerete nélkül. A tervező mérnök szabadsága abban, hogy milyen légvezetési rendszert kíván tervezni, nem korlátlan. Döntését befolyásolja az, hogy

- az átöblítéssel milyen célt kíván elérni,
- a helyiség hő- és nedvességterhelése milyen nagyságrendű.

Az első kifejezés alatt a légvezetés *közvetlen célját* értjük, nevezetesen azt, hogy a tartózkodási zónában milyen célból létesítjük a légátöblítést, (pl. a

szennyezőanyag eltávolítása, vagy távoltartása, a hő- vagy a nedvesség elszállítása, a hőérzeti jellemző kedvező értéken tartása). Másfajta légvezetést kell megvalósítani akkor, ha a tartózkodási zónában viszonylag nagy impulzusra van szükség ahhoz, hogy ott lokalizálni lehessen az intenzív hőfelszabadulást. Ilyen esetben előnyben részesítendő az ún. *légsugár-légvezetési rendszer*.

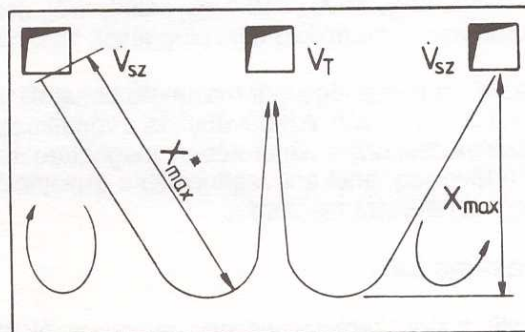
Egy másik esetben, amikor a levegőbevezetés viszonylag közel kerül a tartózkodási zónához, célszerű az ún. *diffúz légvezetési rendszer* alkalmazása. Ez utóbbi légvezetés előnye a viszonylag nagy mennyiségű levegő huzatmentes bevezetésében érvényesül.

A másodikként említett szempont *energetikailag* motiválja a döntést. Nem tisztán arról van szó, hogy egy légvezetési rendszeren belül alulról felfelé vagy fordítva megvalósuló légátöblítés vezet a stabil- és holtzónamentes átöblítéshez, bár ez is fontos momentum. Hanem arról is szó van, hogy jól átgondolt légvezetéssel, hővisszanyerő alkalmazása nélkül is megvalósítható a térben keletkező hő hasznosítása. Például az ipari csarnokok esetében a magasabb hőmérsékletű helyeken való levegőbevezetés, indukciós készülékekkel.

A légsugár LVR

Légsugár-légvezetési rendszeren olyan helyiségen belüli légáramlást értünk, ahol a szellőző levegő fűvókából vagy ahhoz hasonló kialakítású anemosztátból lép ki. Továbbá jellemző az egyes anemosztátokból a viszonylag nagy levegő-térfogatáram kibocsátása. A helyiség alapterületére vonatkoztatott szellőzőlevegő térfogatárama $\dot{V}^+ > 30 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ értékű. A légvezetési rendszert az 5. ábrán szemléltetjük.

A légsugár LVR alapvetően ipari csarnokok, sportlétesítmények, illetve olyan helyiségek légátöblítésére ajánlható, ahol a belmagasság $H > 3,5 \text{ m}$. Fő jellemzői a következők:



5. ábra
Légsugár LVR vázlat

- a tartózkodási zónában a szellőzőlevegő primér áramlása a meghatározó,
- a szellőzőlevegő pontszerű légkibocsátóból lép ki — szinguláris levegő bevezetés,
- légbevezető szerkezetként fali anemosztátok (pl. ANE; ANK: VSZ stb.), illetve fűvókák alkalmazhatók (pl. SF stb.).

A légsugár LVR előnyeként tartják számon azt, hogy a rendszer jól méretezhető a légsugártörvények segítségével és működése kevésbé érzékeny a gravitációs erőkből származó keresztteffektusokra. Azonban minden esetben javasolható a légsugarak pályagörbéjének meghatározása — a már korábban említett módszerekkel. Továbbá, ellenőrizendő az, hogy a légsugarak valóban elérik-e a tartózkodási zónát. Vertikális levegő bevezetés esetén, a felfelé irányított meleg légsugár behatolási távolságának meghatározása, egyértelműen eldönti a LVR használhatóságát, az adott esetre.

Az ellenőrzés alapja az, hogy a befúvó nyílástól x távolságra felírjuk a levegőrészekre ható tehetetlenségi és gravitációs erők egyensúlyát. A levezetés mellőzésével, kör, illetve négyszög alakú levegőbevezetés esetén:

$$X_{\max} = \left(\frac{K_1}{\sqrt{A_{ro}}} - K_2 \right) \sqrt{A_{eff}}$$

összefüggés nyerhető, ahol:

$$A_{ro} = 1,13 \cdot \frac{g \cdot \Delta T_0 \cdot \sqrt{A_{eff}}}{T_B \cdot u_0^2},$$

azaz: a befúvónyílásra vonatkoztatott *archimedesi szám*. Az effektív keresztmetszet a katalógusokban közölt keresztmetszetet jelöli.

A gyors ellenőrzés végett a 6. ábrán lehetőség van az A_{ro} szám gyors meghatározására kör keresztmetszet esetén. A levegőbevezetés paramétereinek ismeretében (A_{eff} ; ΔT_0 ; u_0) kikereshető az *archimedesi szám*. Általános szabály az, hogy ha: $A_{ro} \leq 10^{-4}$, akkor izotermikus összefüggésekkel számolható a helyiség-átöblítés.

Ha az $10^{-4} < A_{ro} < 10^{-3}$

egyenlőtlenség áll fenn, akkor kvázi izotermikus a teremáramlás, így az izotermikus esetre vonatkozó összefüggések csak fenntartással vehetők igénybe. Nyilvánvaló, hogy az $A_{ro} > 10^{-2}$ egyenlőtlenség esetén, csak nem izotermikus összefüggések használhatók.

A 7. ábrán a meleg légsugár maximális behatolásának számítása látható. A befúvónyílásra vonatkoztatott *archimedesi szám* ismeretében, meghatározható az a távolság, ahol a levegőnyaláb a gravitációs felhajtóerő hatására megfordul.

Mikroklíma LVR

Mikroklíma-légvezetési rendszerről akkor beszélünk, ha a szellőzőlevegőt közvetlenül a tartózkodási zónába juttatjuk be, azzal a céllal, hogy ott kedvező

mikroklíma paramétereket hozzunk létre. Ilyen rendszert szemléltetünk a 8. ábrán.

A mikroklíma LVR-t igényes komfort szintű helyeken alkalmazzuk, mint például színházterem, koncertterem, előadóterem, vagy magas komfortú irodák esetében. Jellemzőségeit a következőkben foglaljuk össze:

- a primér szellőzőlevegő a helyiség levegőjével keveredve lép be a tartózkodási zónába,
- a levegőbevezetés speciális (indukciós) anemosztátokon keresztül történik, a tartózkodási zóna alatti komprimált térből,
- nem a teljes tér klimatizálása a cél, így a primér szellőzőlevegő térfogatárama kisebb a hagyományos rendszerekénél,
- a tartózkodási zóna homogén légállapota biztosított (minimális a hőmérséklet rétegződés).

A mikroklíma LVR előnye az említetteken kívül: a kedvező energiafelhasználás, mivel a $V_{primér}/V_{szekunder} \approx 2$ arány betartható. Hátránya, hogy csak ott valószínűsíthető meg, ahol a széksorok, illetve íróasztalok állandó telepítésűek.

Ezt a LVR-t nem szabad összetéveszteni a széksorok alatti levegőbevezetéssel és ily módon lentről felfelé történő légátöblítéssel. Ez utóbbinál a szellőzőlevegő nem keveredve lép be a tartózkodási zónába és nem az emberek légzési síkjában fejt ki hatását.

A mikroklíma LVR tervezésekor szükségesnek látszik néhány tapasztalat figyelembevétele:

- a befúvási irányt úgy célszerű megválasztani, hogy a benttartózkodók feje ne kerüljön a légsugár tartományába; hanem annak indukciós mezőjébe:

— kb. $\dot{q} = 100 \text{ W/m}^2$ fajlagos hűtőterhelés mellett:
 $V_{primér} = 25\text{--}30 \text{ m}^3/\text{h}$,
 $V_{szekunder} = 13\text{--}20 \text{ m}^3/\text{h}$.

előadó- és színházterem esetén;

— kb. $\dot{q} = 120\text{--}200 \text{ W/m}^2$ hűtőterhelés mellett:
 $V_{primér} = 30\text{--}50 \text{ m}^3/\text{h}$,

$V_{szekunder} = 15\text{--}25 \text{ m}^3/\text{h}$

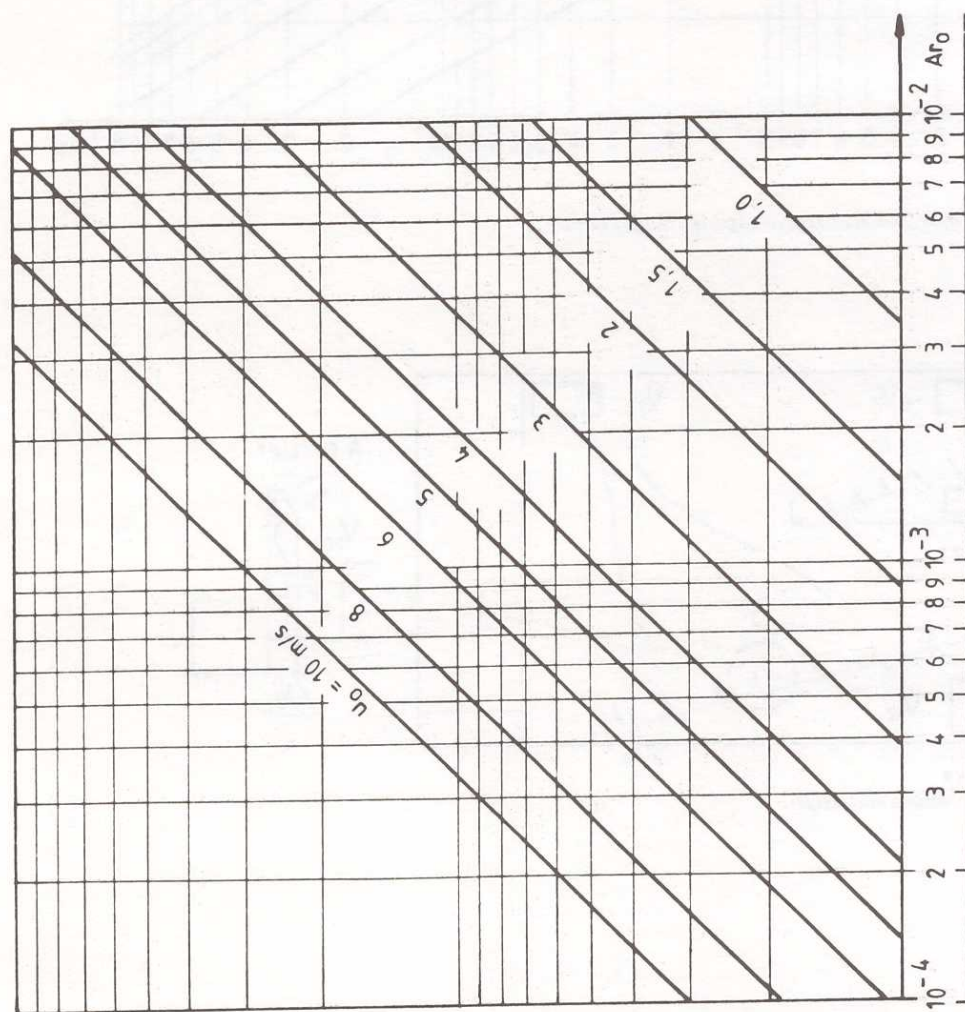
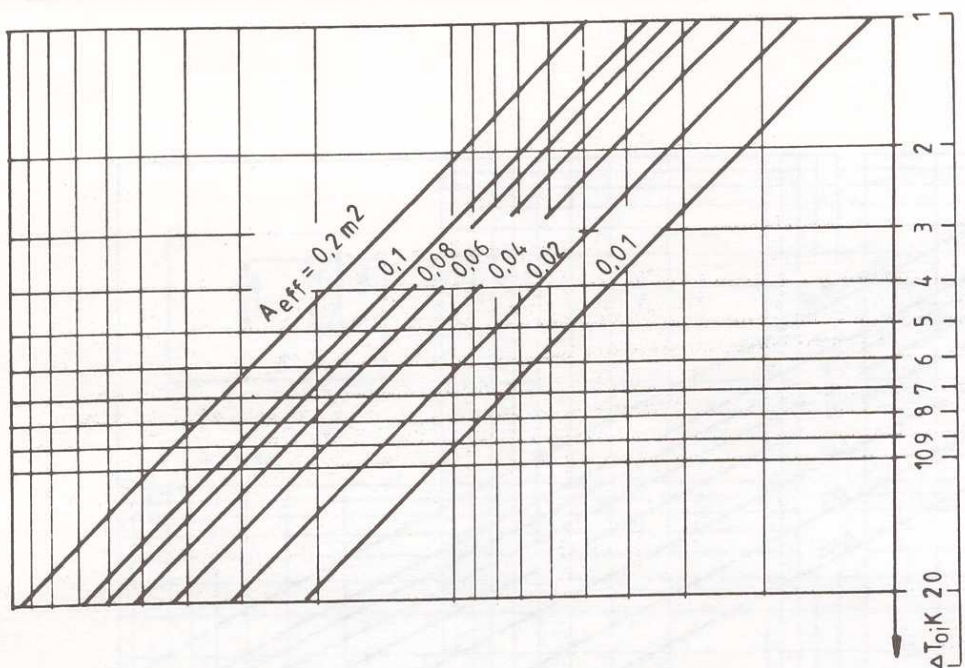
munkahelyek és konferenciatermek esetén.

A bemutatott arányok betartásával alakítható ki a tartózkodási zóna közel homogén hőmérséklete.

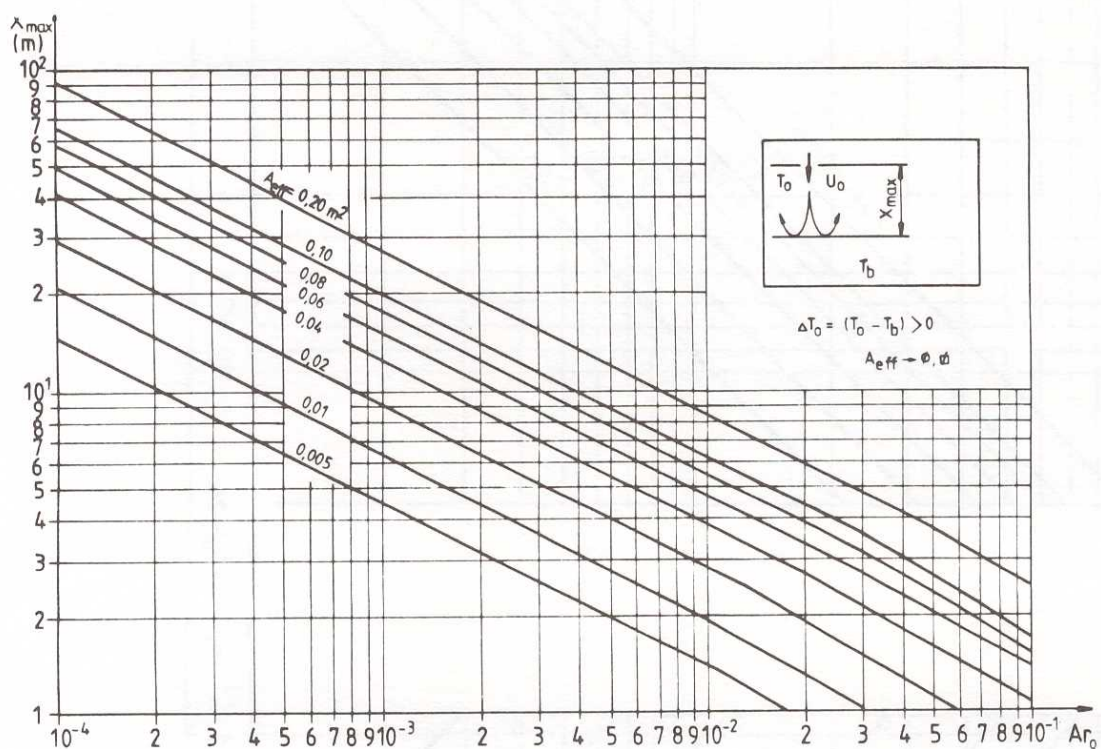
Érintőleges LVR

Az érintőleges légvezetési rendszerek esetében a szellőzőlevegőt vagy a helyiség határoló falai mentén, vagy valamely más légsugár áramlása mentén vezetjük be. Ilyen LVR-t szemléltetünk a 10. ábrán. Fő alkalmazási területe: az irodák, alacsony belmagasságú helyiségek $H < 3 \text{ m}$, eladótér. Jellemzőségeit a következőkben foglaljuk össze:

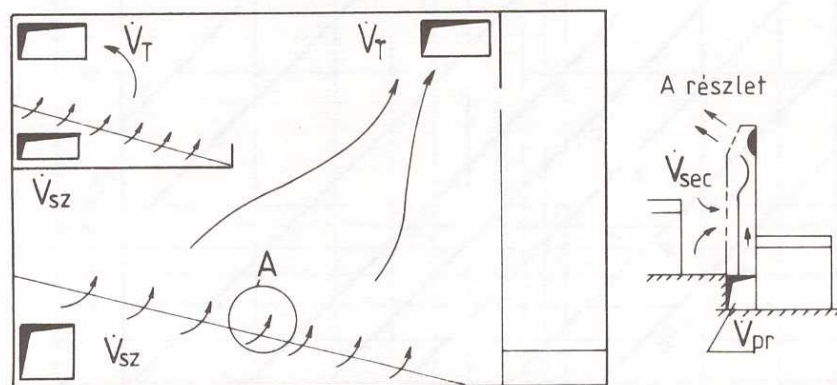
- A klimatizált tér légáramlás szempontjából két részre bontható: a primér áramlás, illetve a szekunder áramlás tereire.
- A primér áramlás a falsíkok és más légsugarak mentén jön létre. A szekunder áramlás általában



6. ábra
Nomogram az archimédési-szám (Ar_0) meghatározásához



7. ábra
 A meleg légsugár max. behatolási távolságának meghatározása



8. ábra
 Mikroklíma LVR vázlat

a helyiség közepén jelentkeznek, a huzat szempontjából nem jelentős forgási sebességgel.

- A levegőbevezetés szerkezete elhelyezéstől függően lehet:
 - fali anemosztát (ANE; ANK falszögletben elhelyezve);
 - mennyezeti anemosztát (pl. NRS; KRS; KRK; 10. ábra);
 - indukciós konvektor 9. ábra;
- a helyiségek maximális fajlagos hőterhelése:

$$\dot{q} < 60 \text{ W/m}^2 : H = 3 \text{ m}; \quad n \leq 7 \text{ 1/h}$$

paraméterek mellett. Hátrányként említhető meg az ún. rövidre zárásra való érzékenység. Mint ismeretes, ez utóbbi alatt a szellőzőlevegő helyiségből való közvetlen elvitelét értjük oly módon, hogy a bevezetett kezelt levegő nem, vagy csak minimális mértékben keveredett a helyiség levegőjével. Következésképpen az így elvezetett szellőző-levegőáram nem vesz részt a helyiség hő- és nedvességtérhelésének forgalmában.

A rövidre zárás veszélye különösen a 10. ábrán szemléltetett esetben áll fenn akkor, ha az elszívó anemosztát is a mennyezetre kerül. A mennyezeti anemosztátok szimmetrikus kiosztásakor — amely a belsőépítész jogosnak nevezhető esztétikai igénye — óvakodni kell a befúvó és elszívó anemosztátok váltakozó alkalmazásától. Ez utóbbi az anemosztát-sorok váltakozó telepítésére is érvényes.

Külön ellenőrizendő, hogy a falra simuló légnyaláb milyen távol válik le a mennyezetről. A távozó levegő elvitelére szolgáló mennyezeti anemosztátokat e távolságon kívül lehet elhelyezni. A levegőnyaláb leválásának feltétele, hogy valamely x távolságban:

$$Ar_x = g \cdot \frac{b}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\Delta T_x}{T_B} = 1$$

kritérium teljesül. Azaz: a légsugár b szélességével, adott síkban mutatkozó hőmérséklet különbségével és a légsugárba beáramló környezeti levegő sebességével kifejezett *archimedesi szám* eggyel egyenlő.

Abban az esetben, ha a szellőzőlevegőt bevezető és elvezető anemosztátok előzőekben említett kedvező elhelyezése nem oldható meg, akkor az indokoltnál nagyobb térfogatárammal kell üzemeltetni a rendszert. Ez utóbbi energiafelhasználás szempontjából rendkívül kedvezőtlen, ezért ez a megoldás rövidre záródó tereknél csak végszükségben jöhet számításba.

Dugattyúhatás-szerű LVR

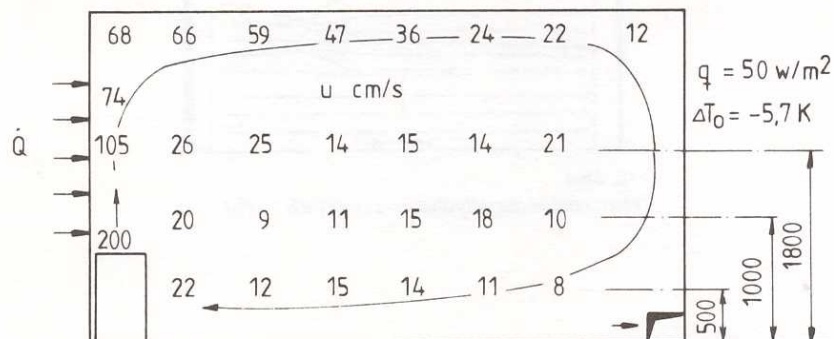
Dugattyúhatás-szerű légvezetési rendszer alatt vertikális vagy horizontális, keresztirányú konvekciótól mentes helyiség levegőáramlást értünk, amelyknél a légáramlás tehetetlenségi erői lényegesen nagyobbak a gravitációs áramlás erőinél.

Ilyen LVR-t ott célszerű alkalmazni, ahol alapkövetelmény a kiemelkedően nagy hőáram elszállítása, vagy higiénikus, illetve más technológiai okokból nagyfinomságú, steril környezetet kívánunk létrehozni. Például: speciális gyártócsarnokok, mikroelektronikai gyártósorok: műtők, intenzív helyiségek, számítógép termék, egyéb nagy tisztaságú helyiségek stb. A felsoroltak közül néhányat szemléltetünk a 12. ábrán.

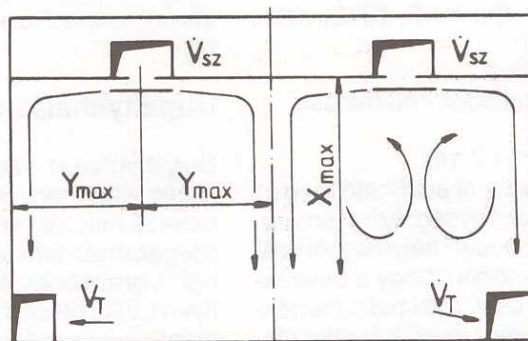
A légvezetési rendszer jellegzetessége:

- viszonylag nagy felületen (perforált lemez) történik a nagy légtérfogatáram bevitel a helyiségbe,
- a helyiség fajlagos hőterhelése $\dot{q} > 250 \text{ W/m}^2$ is lehet,
- nagy légcsereszám valósítható meg, $n > 200 \text{ 1/h}$,
- a helyiségben stabil horizontális vagy vertikális légáramlás alakul ki $0,2 < u < 0,4 \text{ m/s}$ átlagsebesség mellett,
- az alkalmazott levegőbefúvó szerkezet perforált mennyezet, vagy oldalfal, illetve sterilszűrős, kis légsebességű anemosztát.

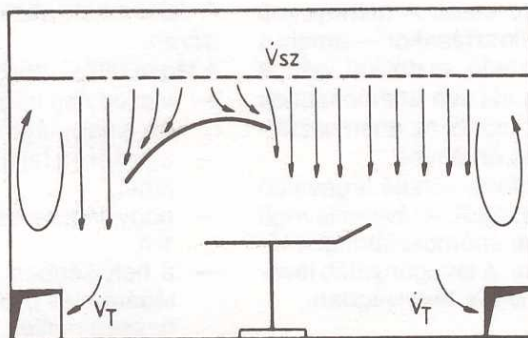
Vertikális légátöblítés esetén külön megvizsgálandó, hogy lentől felfelé vagy fordítva történjen a levegő áramlása. A *Navier-Stokes* differenciálegyenletből



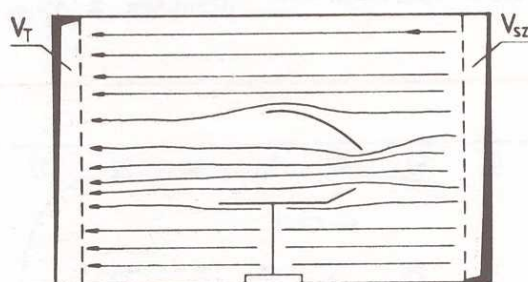
9. ábra
Érintőleges LVR sebességeloszlás



10. ábra
Érintőleges LVR vázlat



11. ábra
Vertikális dugattyúhatás-szerű LVR vázlat



12. ábra
Horizontális dugattyúhatás-szerű LVR vázlat

levezethető, hogy ennek eldöntése a teremre vonatkoztatott *archimedesi számtól* függ.

$$Ar_T = g \frac{H}{U^2} \cdot \frac{\Delta T}{T_B}$$

Ha figyelembe vesszük, hogy a rendelkezésre álló alapadatok $\dot{q}$ fajlagos hőáram illetve az n légcsereszám, akkor a távozó- és szellőzőlevegő hőmérséklet differenciája kifejezhető ezekkel az alapadatokkal és az entalpia segítségével:

$$\dot{q} = \frac{\Sigma Q}{A} = \frac{\rho \cdot \dot{V}_{sz} \Delta h}{A} = \rho \cdot n \cdot H \cdot \Delta h,$$

ahol:

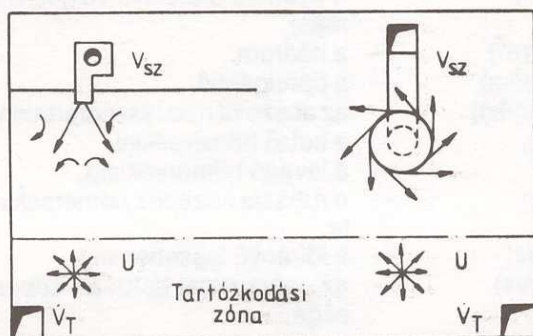
$$\Delta h = c_{pk} \cdot \Delta T + \Delta x \cdot r_0,$$

így:

$$\Delta T = \frac{\dot{q}}{\rho \cdot n \cdot H \cdot c_{pk}} - \frac{\Delta x \cdot r_0}{c_{pk}}$$

Ezzel a teremre vonatkoztatott *archimedesi szám*:

$$Ar_T = \left\{ \frac{\dot{q}}{\rho \cdot n \cdot H \cdot c_{pk}} - \frac{\Delta x \cdot r_0}{c_{pk}} \right\} \left[\frac{g}{T_B n^2 H} \right]$$



13. ábra
Diffúz LVR vázlat

Abban az esetben, ha a helyiségre jellemző peremlépték közel függőleges helyzetű a $h-x$ diagramban:

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} = \pm \infty \cdot \left(\frac{\Delta x}{c_{pk}} \cdot r_0 \right) = 0,$$

akkor az *archimedesi szám* egyszerűsödik:

$$Ar_T = \left[\frac{g}{T_B \cdot \rho \cdot c_{pk}} \right] \cdot \left[\frac{\dot{q}}{n^3 H^2} \right] = 2,778 \cdot 10^{-5} \left[\frac{\dot{q}}{n^3 H^2} \right],$$

ahol:

n — légcsereszám másodpercre vonatkoztatva

helyettesítendő, azaz $\frac{n}{3600}$ értékben,

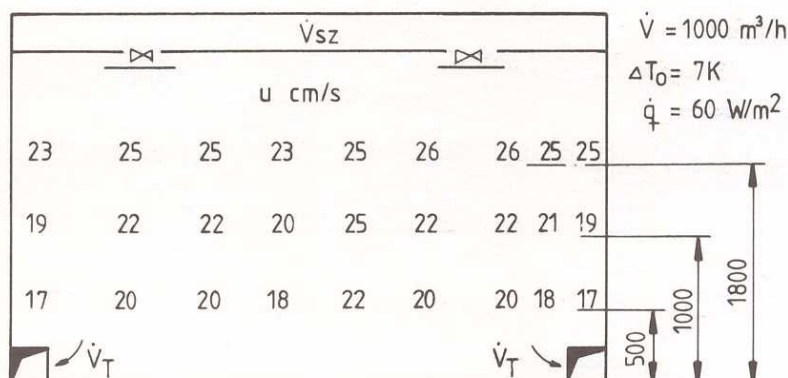
T_B — 293 K.

A modellkísérletek eredményei alapján mennyezeti levegőbevezetés és padlóelszívás akkor alkalmazható, ha az $Ar_T \leq 46$ kritérium fennáll.

Diffúz LVR

Diffúz légvezetési rendszeren olyan helyiségáramlás értendő, ahol a szellőzőlevegő bevezetése a tartózkodási zóna fölött, erősen induktív módon történik. A szellőzőlevegő sebessége — a helyiség levegőjével való intenzív keveredés következtében — annyira lecsökken, hogy a tartózkodási zónában huzatjelenség egyáltalán nem tapasztalható. Így a hőérzet szempontjából kritikus helyeken egyenletes, diffúz légmozgás figyelhető meg. Elvileg, ezzel a légvezetési rendszerrel optimális viszonyok valósíthatók meg a helyiségben. Ilyen esetet ábrázolunk a 13. ábrán, kétféle levegőbevezető szerkezettel. A diffúz LVR fő jellemzői a következők:

- a szellőzőlevegő nagy indukcióval lép be a helyiségbe,
- a szokásostól eltérően nagy hőmérséklet-különbség valósítható meg a szellőzőlevegő és a helyiség levegő hőmérséklete között:
 $0 < T_0 < 15^\circ \text{C}$.



14. ábra
Diffúz LVR sebességeloszlás

- a tartózkodási zóna homogén mozgásintenzitású,
- a levegőbevezető szerkezet lehet: réskifúvós, radiális (pl. ROT-AIR), fúvókacsoport.

Alkalmazási területe nemcsak iroda, üzletház és más igényes komfortfokozatú helyiségek, hanem ipari gyártó- és szerelőcsarnokok is. Azonban különbséget kell tenni a LVR kialakításában, az említett kétféle rendeltetésű terekben.

A tapasztalat alapján, kis belmagasságú helyiségek esetén R

$$\dot{q}_{\max} \leq 60 \text{ W/m}^2; n \leq 8/h; \Delta T_0 \leq 8\text{K}$$

értékek betartása ajánlatos, 22 °C belső hőmérséklet mellett.

A diffúz LVR előnyét — a homogén sebességű tartózkodási zónát — mutatjuk be a 14. ábrán. A kísérlet 3 m belmagasságú helyiségben zajlott le, radiális, induktív anemosztáttal. A tartózkodási zónában tapasztalható viszonylag egyenletes, alacsony légsebesség utal a teljes huzatmentes átöblítésre.

A jelölések jegyzéke

$A \text{ (m}^2\text{)}$	— a felület,
$A_{\text{eff}} \text{ (m}^2\text{)}$	— az effektív felület,
$A_{\text{ro}} \text{ (1)}$	— Archimedes-szám, az anemosztátra vonatkoztatva,
$A_{\text{T}} \text{ (1)}$	— Archimedes-szám, a teremre vonatkoztatva,
$H \text{ (m)}$	— a helyiség belmagassága,
$l_c \text{ (clo)}$	— a ruházat hővezetési ellenállása ($1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ K/W}$),
$M \text{ (kJ/sm}^2\text{)}$	— a metabolikus hő,
$\Sigma \dot{Q} \text{ (W)}$	— a hőterhelés,
$T \text{ (K)}$	— a hőmérséklet (abszolút); T_{sz} a szellőző-, illetve T_{T} a távozó levegő,

$T_{\text{B}} \text{ (K)}$
 $\Delta T_0 \text{ (K)}$

$T_{\text{s}} \text{ (K)}$

$\dot{V} \text{ (m}^3/\text{h)}$

$\dot{V}_{\text{sz}} \text{ (m}^3/\text{h)}$

$W \text{ (kJ/sm}^2\text{)}$

$X \text{ (m)}$

$b \text{ (m)}$

$C_{\text{pK}} \text{ (kJ/kgK)}$

$C_{\text{pvg}} \text{ (kJ/kgK)}$

$d_0 \text{ (m)}$

$f_{\text{cl}} \text{ (1)}$

$g \text{ (m/s}^2\text{)}$

$h \text{ (kJ/kg)}$

$n \text{ (1/h)}$

$p \text{ (Pa)}$

$\dot{q} \text{ (W/m}^2\text{)}$

$r_0 \text{ (kJ/kg)}$

$\Delta x \text{ (kg/kg)}$

$t_{\text{B}} \text{ (}^\circ\text{C)}$

$t_{\text{l}} \text{ (}^\circ\text{C)}$

$t_{\text{cl}} \text{ (}^\circ\text{C)}$

$u \text{ (m/s)}$

$u_0 \text{ (m/s)}$

$v \text{ (m/s)}$

$\alpha \text{ (W/m}^2\text{K)}$

$\varphi \text{ (1)}$

$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$

— a belső hőmérséklet (abszolút),
— a hőmérséklet-differencia) $T_{\text{sz}} - T_{\text{B}}$,

— a közepes sugárzási abszolút hőmérséklet,

— a térfogatáram,

— a szellőzőlevegő térfogatárama,

— a mechanikai munka fajlagos értéke,

— az áramlási főirány koordinátája,

— a légsugár szélessége,

— a levegő fajhője állandó nyomáson:

$$C_p + \Delta X \cdot C_{\text{pvg}}$$

— a vízgőz állandó nyomáson vett fajhője,

— a jellemző átmérő,

— arány a fedett és fedetlen test felületére,

— a gravitációs gyorsulás,

— entalpia,

— a légcsereszám,

— a nyomás (parciális vízgőznyomás),

— a hőáram,

— a párolgáshő,

— az abszolút nedvességtartalom,

— a belső hőmérséklet,

— a levegő hőmérséklete,

— a ruházat közepes hőmérséklete,

— a főirányú légsebesség,

— az anemosztát befúvási sebessége,

— a főirányra merőleges légsebesség,

— a hőátadási tényező,

— a relatív páratartalom,

— a levegő sűrűsége.