

Résbefúvó anemosztátok méréses vizsgálata érintőleges légvezetési rendszer alkalmazása esetén

Both Balázs¹ – Goda Róbert²

Abstract

The use of slot diffusers in tangential air supply systems is widespread not only in HVAC but also in the fields of food and chemical industry. To begin with, it is important to define the velocity and temperature distribution of the air led into the room – no matter what the air supply system is like. In slot diffusers, air usually leaves the outlet cross section as plain free jet, which is a typical feature. In order to provide economic, comfortable and efficient ventilation, we need to be aware of the comportment of the air jet, the description of which can be found in various specialized books. However, the principles these books write about mainly apply to general air jets that are not limited from any sides. Air jets always contact some surface from either side because of the tangential air supply system's special features. In our research, we studied the flow characteristics of a room equipped with slot diffusers in the laboratory of the Department of Building Service and Process Engineering of Budapest University of Technology and Economics, taking into consideration the effect walls have on free air jets. Due to the lack of reference books about the configuration of vertical supply and exhaust in engineering practice, we used measuring investigation.

Bevezetés

Az érintőleges légvezetési rendszerekre (LVR-re) jellemző résbefúvó anemosztátok alkalmazása nemcsak az épületgépészetben, hanem számos vegyipari, élelmiszeripari területen igen elterjedt. Általánosságban elmondható, hogy minden LVR-nél alapvető fontosságú a helyiségbe bevezetett levegőt jellemző sebesség- és hőmérsékletmező ismerete.

A résbefúvó anemosztátok jellegzetessége, hogy a levegő legtöbbször sík szabadsugárként hagyja el a kifúvási keresztmetszetet. Az épületgépészeti alkalmazások jelentős részében ezeket a légsugarakat legtöbbször valamilyen felület korlátozza, így egy ún. „tapadási pont”-tól a sugár feltapad a felületre, majd azon „kúszva” halad tovább, *növelve ezzel a szellőzés hatásosságát*. A hatékony, gazdaságos és komfortos szellőzés biztosítása érdekében ezért lényeges ismernünk a különböző felületek légsugárra gyakorolt hatásait, valamint a tapadási pont helyzetének változását.

¹ MSc I. évf. hallgató, BME,
² egyetemi tanársegéd, BME
Épületgépészeti és Gépészeti El-
járástechnika Tanszék.
A cikket lektorálta: dr. Magyar
Tamás ny. egyetemi adjunktus



Cikkünkben a BME Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszékének Légtechnikai Laboratóriumában található, résbefúvó anemosztáttal ellátott helyiség áramlási viszonyait vizsgáltuk, különös tekintettel a falfelület légsugárra gyakorolt hatásaira. Az általunk vizsgált függőleges befúvás – mennyezet alatti elszívás konfigurációhoz jelenleg igen kevés a referált szakirodalom, így a probléma megoldására első körben a *méréses vizsgálati módszert* alkalmaztuk.

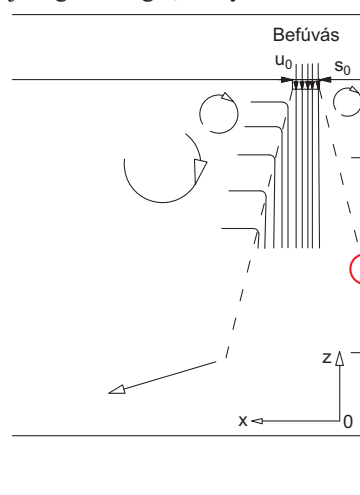
1. A résbefúvó anemosztátok vizsgálatának módszerei és céljai

Az épületgépészeti gyakorlatban alkalmazott anemosztátok mindig egy adott LVR-hez tartoznak, így vizsgálatuk többnyire beépített állapotban, a légvezetési rendszerrel együttesen történik. Mint ismeretes, a főbb vizsgálati módszerek a következők: *analitikus módszer; numerikus szimuláció alkalmazása, méréses módszer* [2]. Tekintettel arra, hogy az általunk vizsgált résbefúvó konfigurációhoz kevés a referált szakirodalom, első körben a méréses módszert alkalmaztuk a falfelület légsugárra gyakorolt hatásának vizsgálatára.

Általánosságban elmondható, hogy minden LVR-nél alapvető fontosságú a helyiségbe bevezetett levegőt jellemző *sebesség- és hőmérsékletmező* ismerete. E fizikai jellemzők főként az *anemosztát*, illetve a *helyiség geometriájától*, a bevezetett levegő *menyiségétől* és *hőmérsékletétől* függenek. Az említett fizikai mennyiségek jelentősen befolyásolják a *légátöblítés hatásosságát*, az adott helyiségben tartózkodók *komfortérzetét*, valamint a *szellőzés gazdaságosságát* [4].

2. A vizsgálati célok megfogalmazása

A Bevezetésben már említettük a résbefúvó anemosztátok azon jellegzetességét, mely szerint a levegő legtöbbször *sík szabadsugárként* hagyja el az s_0 szélességű kifúvási keresztmetszetet (1. ábra) [1].



1. ábra

az s_0 szélességű kifúvási keresztmetszetet (1. ábra) [1].

A mérnöki gyakorlatban alkalmazott résbefúvó anemosztátokat az érintőleges LVR-re tekintettel többnyire *határoló felület* mellett helyezik el. Ez lehet *mennyezet, falfelület* (mint esetünkben is), esetleg egy másik *légsugár határoló felülete* [8].

Az elmondottak alapján definiálható egy „tapa-

dási pont” (síkban), vagy pedig „tapadási zóna” (térben), ahol egy átmeneti tartományt követően érvényesül a *Coanda-effektus*, így a szabadsugár feltapad a felületre, majd azon „kúszva” halad tovább, növelve ezzel a szellőzés hatékonyságát (1. ábra) [1], [5]. A szellőzés hatékonyságának növelése érdekében tehát nagyon lényeges ismernünk a tapadási pont változását a befűjt térfogatáram függvényében. Ennek megfelelően tehát lényeges szempont, hogy ezeket a vizsgálatokat mindig az üzemeltetési állapotban, de legalább az anemosztát beépített helyzetében kell lefolytatni.

A fentiek ismeretében a megvalósítani kívánt vizsgálati céljaink a következők:

- sebesség és hőmérséklet mérése a befűvés környezetében,
- a sebesség- és hőmérsékletprofilok meghatározása a mért adatokból,
- a „tapadási pont” helyzetének vizsgálata a térfogatáram-, befűvási hőmérséklet és a befűvási szög változtatásával, és
- a falra feltapadt levegősugár viselkedésének megfigyelése.

A megvalósítani kívánt céloknak megfelelően vizsgálatainkat a következő metodika szerint végeztük:

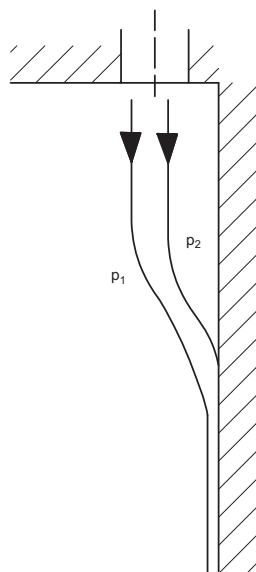
1. Irodalomkutatás, a légttechnikai mérésekre vonatkozó szabványok és műszaki előírások feldolgozása.
2. A vizsgált helyiség geometriai felmérése, a mérőszobát kiszolgáló légttechnikai rendszer kapcsolási rajzának elkészítése, majd a mérések megtervezése.
3. Előmérések lefolytatása izotermikus állapotban. Az előmérések során a helyiség méreteivel arányosan 1071 mérési pontot vettünk fel, majd a kiértékelést elvégezve és szakirodalmi adatokkal összehasonlítva [3], [4] azt tapasztaltuk, hogy a felvett mérési pontok száma **első körben** megfelelő.
4. Az előmérések során kapott eredmények ismeretében különböző mérési sorozatok felvétele *izotermikus*, *anizotermikus* (hűtött) és *ferdeszögű izotermikus légbefűvés* alkalmazása esetén.
5. Kiértékelés, javaslattevél, további vizsgálati célok meghatározása.

3. Elméleti háttér

3.1. Szabadsugarak [1]

A sík szabadsugarak legfontosabb sajátosságai a következőkben foglalhatók össze:

- az áramvonalak görbülete kicsi, ezért a nyomás a szabadsugárban belül közel azonos a külső nyomással;
- vastagsága lineárisan nő a kifűvéstől mért távolság függvényében;
- a szabadsugár kezdeti szakaszában a sebesség a keresztmetszet legalább egy pontjában egyenlő a kifűvási sebességgel;
- a befűvéstől távolodva a sebességek fokozatos leépülése tapasztalható, ugyanakkor a szabadsugárban mért térfogatáram értéke növekszik, hiszen áramlása során adott mennyiségű környezeti levegőt indukál magába. Az így elvont környezeti levegő helyére újabb légmennyiség áramlik, ez pedig elősegíti a szabadsugár körül a *szekunder áramlások* kialakulását;



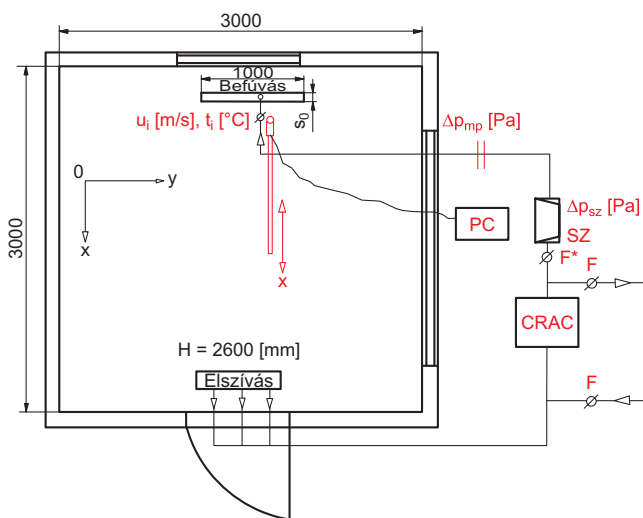
2. ábra

3.2. Coanda – effektus [1]

A résbefűvő anemosztát közelében lévő felület görbíti a belépő légsugár áramvonalait, így azokra merőlegesen a nyomás változik. Az *Euler-egyenlet* áramvonalra megoldva adódik, hogy a görbületi középpont felé haladva csökken a levegő nyomása. Ennek eredményeként a légsugár és a falfelület között a környezetinél kisebb nyomás alakul ki ($p_2 < p_1$), aminek hatására a légsugár feltapad a falfelületre, majd azon kúszva halad tovább (2. ábra).

4. A mérések lefolytatása

A vizsgált helyiség egy 3x3 [m] alapterületű, 2,7 [m] belmagasságú, hőszigetelt mérőszoba a Légttechnikai Laboratóriumban (3. és 4. ábra).

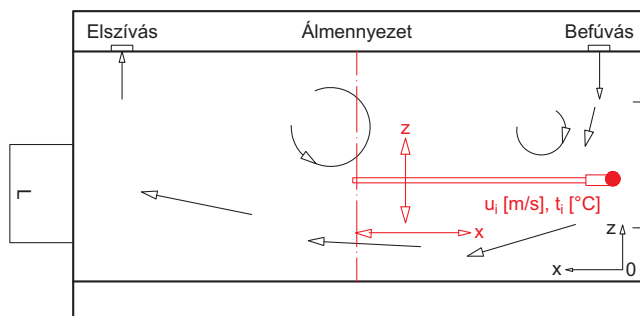


3. ábra. A mérés elrendezése felülnézetben

Jelmagyarázat:

CRAC – Computer Room Air Conditioning (precíziós klímaszekrény); F* – fojtás a szabad áramlási keresztmetszet csökkentésével; F – fojtóelem; SZ – légszűrő; PC – adatgyűjtő számítógép; Δp_{mp} – a mérőperemmel mért nyomáskülönbség [Pa], Δp_{sz} – a szűrőn mért nyomáscsökkenés [Pa]

A levegőellátást biztosító precíziós klímaszekrény névleges térfogatárama 4000 [m³/h]. A mellékágakban lévő pillangószelepeket nyitott állásba helyezve, valamint szűrő előtti fojtást alkalmazva a helyiség méreteinek megfelelően 100...200 [m³/h] mennyiségű levegőt juttatunk a térbe, amelynek pontos értékét mérőperemmel mértük. A légttechnikai rendszer teljes mértékben recirkuláltatott.



4. ábra. A mérés elrendezése oldalnézetben

Az 5. ábrán látható, tanszéki gyártmányú hődrótos mérőszonda pozicionálása az $x - z$ síkban számítógépes szoftver segítségével történik, a beállított lépésközöknek megfelelően, a 4. ábrán látható mérési síkban. A sebesség- és hőmérsékletméréséhez alkalmazott hődrótos mérőműszer megfelel az MSZ EN ISO 5167-1:2003 szabvány követelményeinek. A vizsgált fizikai mennyiségek mérését az MSZ EN 24006:2002 előírásai alapján végeztük.

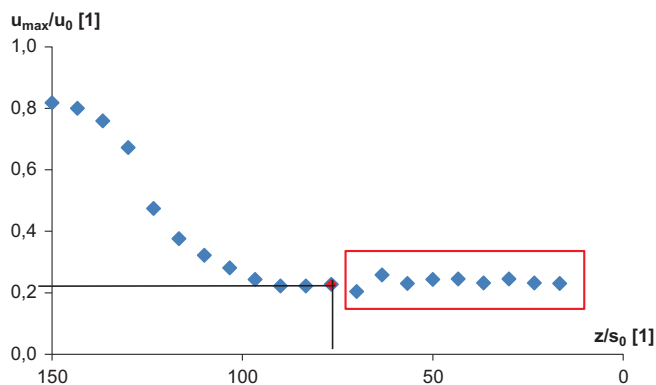


5. ábra. A hődrótos mérőszonda

5. Kiértékelés

5.1. Izotermikus légbevezetés

A mérési síkon belül különböző magasságokban (z irány) mért maximális sebességeket (u_{\max}) osztva a kifűvási keresztmetszetben lévő sebességgel (u_0), a z/s_0 dimenzió nélküli távolság függvényében a 6. ábrán látható dimenzióatlan sebességeloszlást kapjuk [1], [4]. A diagramban megfigyelhető, hogy a befűvés közelében ($z/s_0 \approx 150$) a szabadsugárban mért maximális sebesség közel azonos a befűvási sebességgel (kezdeti szakasz). A belépő éltől távolodva a lassuló szakaszban a dimenzióatlan sebességek csökkenése



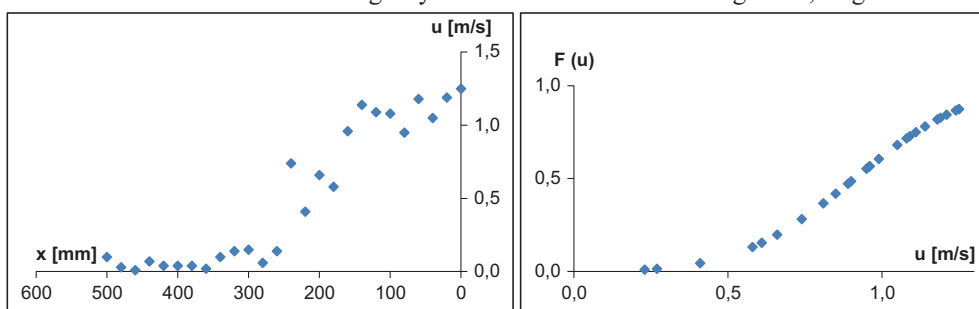
6. ábra. Dimenzióatlan sebességek adott térfogatáram mellett

tapasztalható. A tapadási pontot követően a mért sebességértékek „ingadozása” figyelhető meg, ami többnyire a sugár körül jelentkező *szekunder áramlásoknak*, valamint a közeli fal *hatásának* köszönhető [3]. Utóbbi legfontosabb jellemzője, hogy a falfelület görbíti a belépő légsugár áramvonalait, aminek hatására a 3. pontban leírt módon a fal és a légsugár között csökken a nyomás, majd a tapadási pontban megindul a levegő feltapadása a falfelületre.

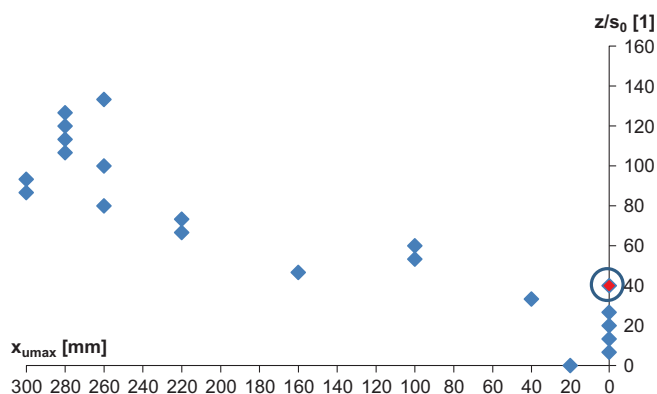
A befűvés közvetlen közelében mért sebességprofil közel ideálisnak tekinthető [1], ebben a keresztmetszetben még nem jelentkezik sem a szekunder áramlások, sem pedig a fal hatása. A tapadási ponthoz tartozó érintkezési keresztmetszetben azonban a 7. ábrán látható aszimmetrikus sebességprofilot kapjuk. Az itt mért sebességértékekre jól illeszthető a normális eloszlás eloszlásfüggvénye.

Igen szemléletes képet kapunk a helyiségben kialakuló sebességmező és a tapadási pont változásáról, ha az egyes keresztmetszetekben mért maximális sebesség helyének változását ábrázoljuk a kifűvástól mért dimenzióatlan távolság függvényében [3]. A 8. ábrán (lásd a következő oldalon) megfigyelhető, hogy a befűvés közelében ($z/s_0 \approx 140$) a maximális sebességek közel egy függőleges egyenesre esnek, tehát a bevezetett levegő itt még szabadsugárként viselkedik. Távolodva a befűvástól, a sebességértékek „szóródása” tapasztalható, a szabadsugár tengelye „elhajlik” $x_{\max} \approx 280 \dots 40$ [mm] között, majd követi a nyomáscsökkenés irányát. Az ábrán pirossal jelölt tapadási pontot követően a levegő a falfelületen kúszva halad tovább.

Valamennyi mérési sorozatra elkészítve a maximális sebesség helyének változását bemutató diagramot, meghatározható

7. ábra
Sebességprofil az érintkezési keresztmetszetben

Az érintkezési keresztmetszetben mért értékek eloszlásfüggvénye



8. ábra. A maximális sebesség helyének változása

a tapadási pont helyének változása a térfogatáram-csökkentés függvényeként (9. ábra). Az ábrán megfigyelhető, hogy a térfogatáram csökkentésével a tapadási pont egyre közelebb kerül a befúvási keresztmetszethez, tehát minél kisebb a bejuttatott levegő mennyisége, annál hamarabb megindul a légsugár feltapadása a falfelületre.

5.2. Anizotermikus légbevezetés

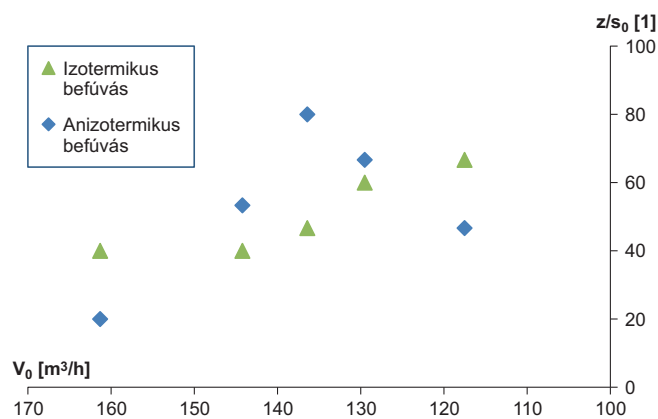
Hűtött levegő befúvása esetén megismételtük az előző pontban bemutatott kiértékelést, amelynek eredményeként a 9. ábrán a tapadási pont változását ábrázoltuk az izotermikus állapottal összehasonlítva. Az ábrán megfigyelhető, hogy a tapadási pont hol közeledik a befúváshoz, hol pedig távolodik attól a térfogatáram csökkenésével. Ennek az „ingadozásnak” egyik oka lehet az előmérésekhez felvett mérési pontok számának nem megfelelő megválasztása, esetleg a sűrűségnövekedés miatti súlyerő hatása. Hűtött légbefúvás esetén a tapadási pont változásának pontosabb meghatározása érdekében javasolni fogjuk a mérési pontok számának növelését.

Anizotermikus légbevezetésnél további érdekesség a befűjt levegő közepes túlhőmérsékletének változása a befúvástól mért dimenziótlan távolság függvényében (10. ábra) [7]. Itt ϑ_0 a befúvási hőmérséklet és a környezeti hőmérséklet közötti különbség, ϑ_{zm} pedig a z irányban mért közepes légsugár-hőmérséklet és a környezeti hőmérséklet különbsége.

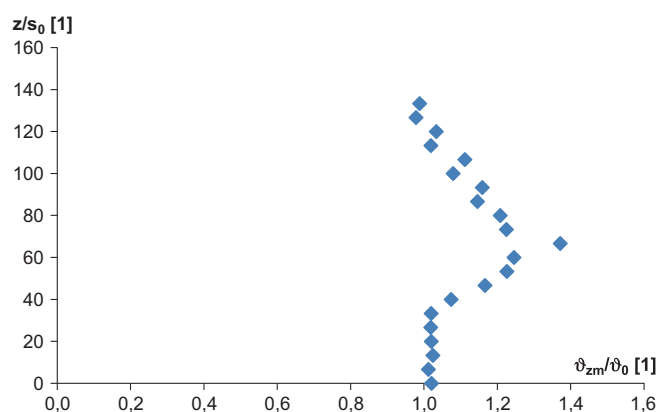
Az ábra alapján a bevezetett légsugár hőmérsékletprofilja a falfelület irányába „elhajlik”, követi a maximális sebesség helyének változását egészen a tapadási pontig, így ennek irányába tehát csökken a hőmérséklet. Látható, hogy a tapadási pont hatása nemcsak a sebesség-, hanem a hőmérsékletprofil segítségével is kimutatható. A $z/s_0 \approx 0 \dots 40$ közötti tartományban a dimenziótlan hőmérsékletek jó közelítéssel függőleges egyenesre esnek, tehát a falra feltapadt levegőrétegben a hőmérséklet eloszlása közel homogén.

5.3. Ferdeszögű izotermikus légbevezetés

Ferdeszögű izotermikus légbefúvásnál a falfelület irányába kényszerített levegő kezdetben a falra feltapadva, azon „kúszva” áramlik (11. ábra). Az izotermikus- és anizotermikus vizsgálatokkal szemben itt nem tapadási-, hanem levá-



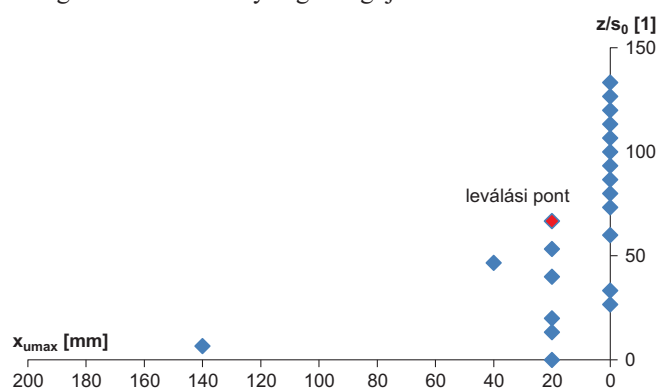
9. ábra. A tapadási pont változása különböző térfogatáramoknál



10. ábra. Anizotermikus szabad légsugár közepes túlhőmérséklete

lasi pontot kell keresnünk, ahol a falon áramló levegőréteg leválik a felületről.

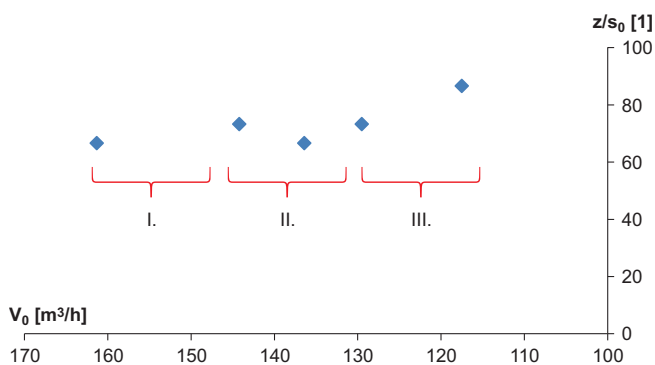
A 11. ábrán megfigyelhető, hogy a befúvástól a leválási pontig a maximum sebességértékek függőleges egyenesre esnek. A leválási pontot követően azonban már kevésbé egyenletes a maximális sebesség eloszlása, a falról levált levegő keveredik a helyiségi levegőjével.



11. ábra. A maximális sebesség helyének változása ferdeszögű izotermikus légbevezetésnél

A maximális sebesség helyének változását bemutató diagram segítségével megfigyeltük a leválási pont változását a térfogatáram függvényében. A 12. ábrán látható, hogy a térfogat-

áram csökkentésével a I. szakaszon a befűvási keresztmetszet felé mozog a leválási pont. A II. szakaszon azonban csökkenő tendencia mutatkozik, majd egészen kis térfogatáramoknál ismételtén a befűvás felé közeledik a leválási pont (III. szakasz). Hasonlóan a hűtött légbefűvásnál tapasztalt ingadozáshoz, a leválási pont változásának ingadozását is okozhatja a mérési pontok számának nem megfelelő megválasztása. Ennek megfelelően a továbbiakban javaslatokat teszünk a mérési pontok és sorozatok számának növelésére a kiértékelés pontosságának és megbízhatóságának javítása érdekében.



12. ábra. A leválási pont változása ferdeszögű izotermikus befűvásnál

6. Javaslatok, további vizsgálati célok

A kiértékelés során láttuk, hogy az előmérések lefolytatásához fölvetett mérési pontok száma ugyan elegendő arra, hogy kimutassuk a szekunder áramlások és a falfelület hatását. Szintén megfelelő volt a mérési pontok száma a tapadási pont változásának vizsgálatára izotermikus állapotban. Mint tapasztaltuk, abban az esetben, ha a leválási pont, illetve az anizotermikus tapadási pont változását szeretnénk vizsgálni, már *finomabb léptékezés* szükséges a mérési pontok fölvételekor. Tovább növelhető a pontosság a *mérési sorozatok számának növelésével*, így a tapadási pont és a leválási pont változásának meghatározása is pontosabbá, megbízhatóbbá válik.

A falsík közelében a mérési pontok számának növelésével lehetőség nyílik a fali légsugár vastagságának tanulmányozására.

A *mérőrendszer alkalmas átalakításával* a fali levegőréteg vizsgálatán túlmenően tanulmányozható a padló közelében kialakuló légáramlás, melynek vizsgálatával meghatározható a sík padló légsugárra gyakorolt torlasztó hatása.

A mérőhelyiség kedvező kialakításából lehetőség adódik további mérési vizsgálatok elvégzésére a résbefűvő anemosztát helyzetének változtatásával. Ebben az esetben vizsgálható, hogy a *résbefűvő faltól különböző távolságokban történő elhelyezésével* hogyan változik a tapadási és a leválási pont, a szabadsugár síkszöge, valamint a fali levegőréteg vastagsága. További céljaink között szerepel a cikkben bemutatott vizsgálatok elvégzése *numerikus szimuláció* alkalmazásával. Ennek során a mérési eredményekkel történő validálást követően lehetőség nyílik olyan vizsgálatok lefolytatására is, amelyek a mérési módszerrel csak körülményesen végezhetőek el. Ezek közé tartozik többek között az *áramlás vizualizációja*, valamint a helyiségben kialakuló *szennyezőanyag-eloszlás vizsgálata*.

Irodalom

- [1] Lajos T.: Az áramlástan alapjai, 4. kiadás. Budapest, Lajos Tamás, 2008.
- [2] Sziics Ervin: A modellezés elmélete és gyakorlata. Forrás: <http://web.t-online.hu/eszucs7/modell/Modell.htm#Tartalom>
- [3] J. Moureh, D. Flick: Airflow characteristics within a slot-ventilated enclosure. International Journal of Heat and Fluid Flow 26 (2005) 12–24.
- [4] Hsin Yua, Chung-Min Liao, Huang-Min Liang: Scale model study of airflow performance in a ceiling slot-ventilated enclosure: isothermal condition. Building and Environment 38 (2003) 1271 – 1279.
- [5] Jean Moureh, Denis Flick: Wall air-jet characteristics and airflow patterns within a slot ventilated enclosure. International Journal of Thermal Sciences 42 (2003) 703–711.
- [6] Fekete – Menyhárt: A légtechnika elméleti alapjai. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975.
- [7] Hsin Yu, Chung-Min Liao, Huang-Min Liang, Kuo-Chih Chiang: Scale model study of airflow performance in a ceiling slot-ventilated enclosure: Non-isothermal condition. Building and Environment 42 (2007) 1142–1150.
- [8] Dr. Bánhidi László: Épületgépészet a gyakorlatban – I. kötet, 6. fejezet. Verlag Dashöfer Kiadó, Budapest, 2001.