



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Áramlástan Tanszék**

# **Szélcsatorna kísérletek környezetvédelmi jelentősége**

**(Tanulmány a Kármán Tódor Szélcsatorna Laboratóriumban tartott  
gyakorlatról)**



Tárgy neve: Áramlások modellezése a környezetvédelemben  
Tárgy kódja: BMEGEÁTMKK4

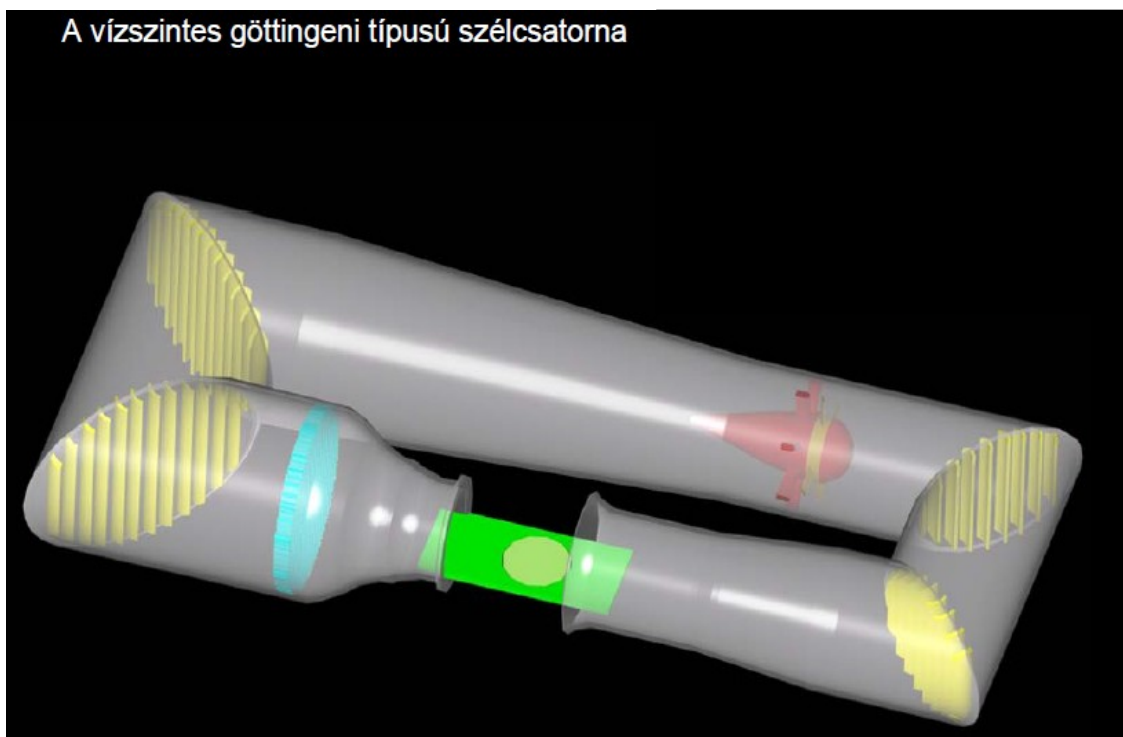
Készítette:  
Jánosik Eszter (SZNUWN)  
Környezetmérnök MSc  
2011. december 3.

## 1. A gyakorlat és a tanulmány célja

A dolgozatban az Áramlások modellezése a környezetvédelemben című kurzus keretében tartott bemutató órán szerzett tapasztalatok összefoglalása és az ehhez kapcsolódó szakirodalom feldolgozása a cél. A kísérletek során megfigyelt jelenségek prezentálása mellett az azok háttérében álló összefüggések magyarázatát is fontosnak tartottam. A munkához a gyakorlaton elhangzott dolgokat, néhány cikket és képet használtam fel.

## 2. A Kármán Tódor Szélcsatorna Laboratórium bemutatása

Az Áramlástan Tanszék 4 szélcsatornával büszkélkedik. Mi ezek közül a vízszintes, zárt rendszerű, göttingeni típusú szélcsatornát ismertük meg részletesebben. Ez a szélcsatorna 1934-38 között épült német standard alapján. 30 m hosszú és egy ugyanilyen hosszúságú recirkulációs cső tartozik hozzá. Nyitott mérőtere kör keresztmetszetű, 4 m hosszú, 2,6 m átmérőjű. A maximális szélsébség 220 km/h. A mérőtér feletti erőmérő szerkezet alkalmas a mérőtérbe helyezett modellekre ható 3 erőkomponens (ellenállás, felhajtó és oldalirányú erő) és 3 nyomatékkomponens (orsózó, bólintó és fordító) mérésére.



Az 1950-es években haditechnikai célokat szolgált, később a járműáramlástan vizsgálatok

kerültek előtérbe. Magyarország ezidőben világelső volt az autóbuszok importálásában, ezt segítették a laboratóriumi fejlesztések. Az egyik cél az áramlás ellenállásának és így a szükséges üzemanyagnak (közvetve a költségeknek) a csökkentése volt, a másik a buszok oldalfalának tisztán tartása. A sárosodás megakadályozása érdekében azt vizsgálták, hogyan lehetne elérni, hogy a vízcsepp csóvák ne érjenek el az ablakokig. Jelenleg az épületekre ható szélérő és a szennyezőanyag-terjedés kutatása áll a középpontban.

Íme néhány projekt a labor legfontosabb hazai és nemzetközi munkáiból:

- ✓ Dallasi repülőtér
- ✓ St. Augustine szabadtéri színpadának tetejére ható szélérő szélesatorna-vizsgálata
  - ◆ A várható szélérő meghatározásához egy membrán két oldalán lévő nyomás különbségének időbeli átlagát és ingadozását mérték meg több mintavételi ponton. Ebből a tető szilárdságára vontak le következtetéseket [2].
  - ◆ Egy amerikai gyerekkórház esetében hasonló vizsgálatokat végeztek a bejárat fölé helyezett pavilonra ható erők jellemzéséhez.

✓ Szegedi autópályahíd – a túllengés csökkentése volt a cél

✓ Budapest Sportaréna – szélkomfort mérés homokeróziós technikával

✓ Raiffeisen tornyok vizsgálata:

Nyomásmegoszlás-mérés segítségével a 2 magas toronyra ható szélérőket 16 széliránynál határozták meg. Adott széliránynál, szélesebségnél és magasságban kb. 200 pontban mérték az időben változó nyomást, amelyből átlagot és egy ingadozásra jellemző értéket számoltak. Ez alapján megállapítható volt az alaki tényező átlagos értéke és így lehetővé vált az épületek szélteherre vonatkozó statikai méretezése [3].

✓ Mammut Bevásárlóközpont (1,2) megépítése és ezzel kapcsolatban a Széna tér metánszennyezésének alakulása

✓ Dunai Vasmű: acélkonverter által kibocsátott szennyezőanyagkoncentráció mérése

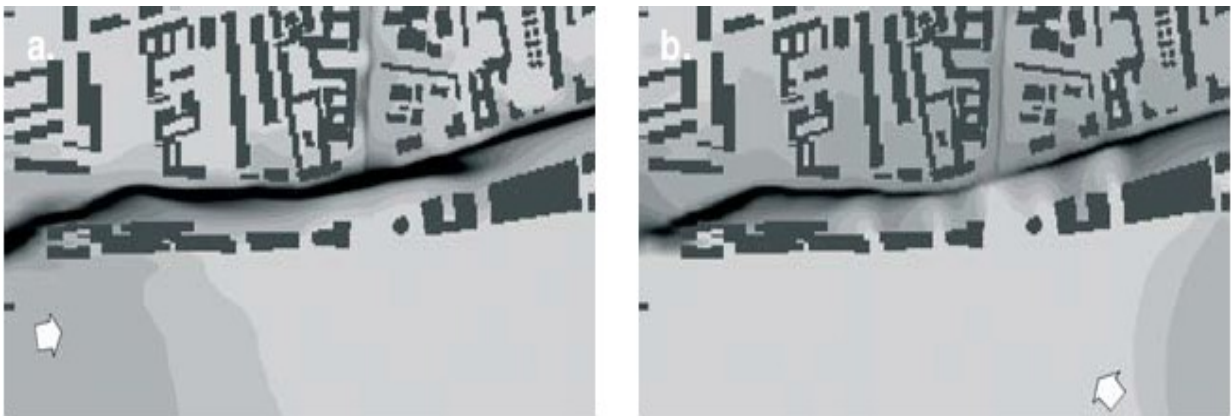
### 3. Megfigyelések a szélcsatornában

A kísérletek során a következő jelenségeket figyeltük meg:

- ✓ utca kanyon hatás
- ✓ magas épületek hatása
- ✓ félgömb épület hatása
- ✓ Budapest Sportaréna típusú épület hatása
- ✓ bonyolult szerkezetű épületek hatása
- ✓ henger körüli áramlás

✓ jármű körüli áramlás

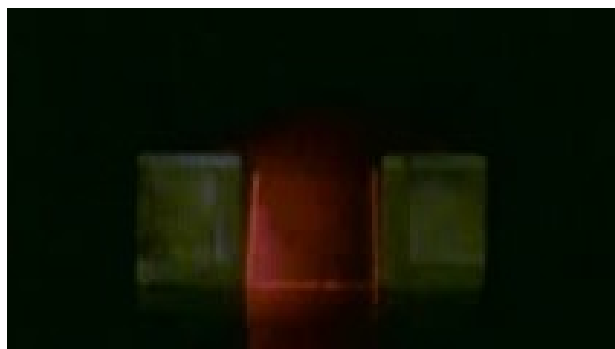
Ha egy szűk utcát zárt épületek határolnak és az utca tengelyével kisebb mint  $45^\circ$ -os szöget zár be a szélirány, *utca kanyon* (vagy utca csatorna) hatás alakul ki: az épületek bezárják és nem engedik távozni a szennyezőanyagokat, így azok megrekednek az utcában. Az utca tengelyével párhuzamos áramlás indul meg, és az áramló levegő magával viszi a szennyezőanyagokat. A széliránytól és a kibocsátás nagyságától függően kialakulhat az utca hossza mentén növekvő koncentráció (1. ábra/a). Magas koncentráció értékeket kapunk akkor is, ha az utca kiszélesedik vagy egy térbe fut ki. Ilyenkor lelassul az áramlás, a keletkező leválási buborékok és örvények koncentrálják a szennyezést. Kisebb értékek akkor lehetnek, ha az épületek között vannak keskeny utcák, ahonnan megfelelő irányból fújó szél esetén tisztább levegő áramolhat be (1. ábra/b) [4].



Ábra 1. Az utca kanyon hatás szemléletesen. a) kép: növekvő koncentráció, b) kép: a keresztutcák hatása.

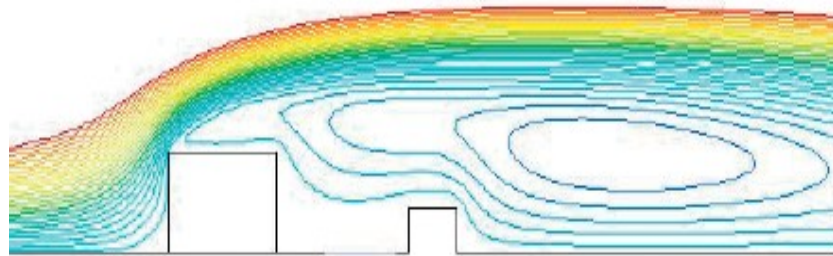
(Dr. Lajos Tamás et al. 2008)

Kicsi rossz felbontásban ugyan, de látható a jelenség a saját filmemből vett pillanatfelvételen is (1. kép):



1. kép. Utca kanyon hatás (olajköddel és lézerefénnyel láthatóvá tett levegő)

Megfelelő szélirány esetén a *magas épületek* felemelik a szennyezőanyagokat, ezért azok nem a talajközeli rétegekben koncentrálnak, és ezzel mintegy „megvédik” a szélárnyékban levő alacsonyabb épületeket a magas koncentrációtól. A szennyeződés a magas épület homlokfala mentén felfelé áramlik és a tető felett fordul szélirányba (2. ábra). Ha az épület homlokzatára merőlegesen érkezik áramlás, akkor az épület lábánál és a felső peremeken is megfigyelhetők patkóörvények, melyek úgy jönnek létre, hogy az áramlás irányában növekvő nyomással szemben leválik a határréteg. A homlokfalon a szélek irányában gyorsul az áramlás, mivel a patkóörvények felett torlópont alakul ki. Az épület tetején és oldalán leválási buborékok keletkeznek. Az épület felett és mellett viszont zavartalan lesz az áramlás [4].



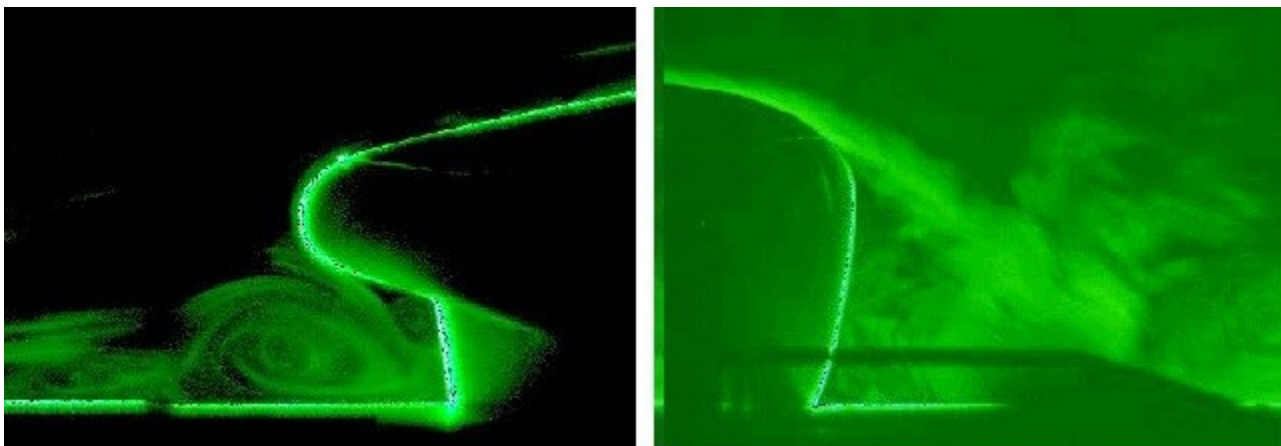
Ábra 2. Magas épület menti szennyezőanyag-terjedés  
(Dr. Lajos Tamás et al. 2008)

*Félgömb alakú épület* esetében (2. kép) az áramvonalas szerkezet miatt az épület előtt nem keletkeznek patkóörvények, mivel nem alakul ki nagy nyomásnövekedés és nem válik le a határréteg. Viszont az épület mögött kialakulnak kisebb leválási buborékok, ami hasznos abból a szempontból, hogy a két nyomás különbségéből következtetéseket lehet levonni az épület terhelésére vonatkozóan. Minél nagyobb a nyomáskülönbség, annál nagyobb a szél és ezzel együtt a szennyezőanyagok terjedése.



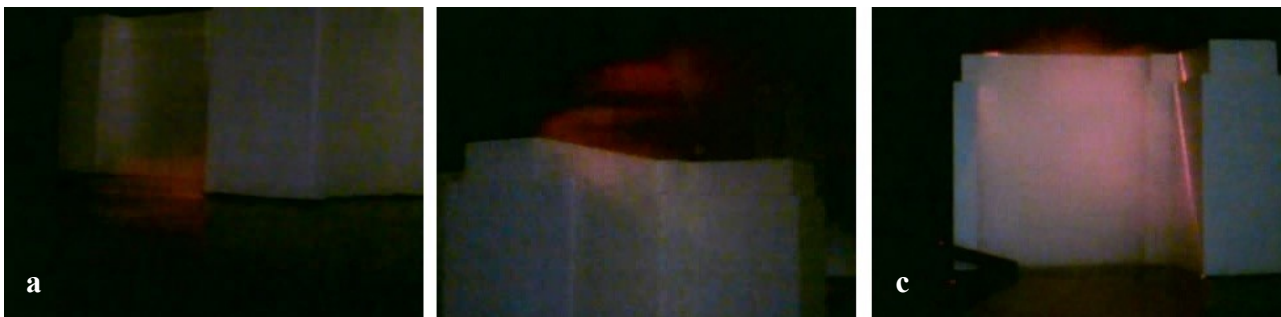
2. kép. Félgömb alakú épület körüli áramlások (bal oldal: az épület előtt, jobb oldal: az épület mögött)

A Budapest Sportaréna típusú épületeknél a homlokfal tetején nincs áramlás, az áramvonalak szépen rásimulnak a tetőre, és az épületet is megkerülik, de a homlokfal alsó részén kialakulhatnak patkóörvények (3. kép). Az épület mögötti visszafekvések is jól megfigyelhetők.



3. kép. A Sportaréna előtt és mögött kialakuló jelenségek  
(Forrás: [www.ara.bme.hu](http://www.ara.bme.hu))

Bonyolult szerkezetű épületek sarkairól függőleges tengelyű buborékok is leválhatnak, amelyekben örvénylik a szennyeződés (4. kép/a és b). L alakú falak között az épület mögött nagy leválási buborék keletkezik mintegy mellékágként és teljesen elnyelődik benne a szennyezés (4. kép/c). Buborékok és örvények összeolvadhatnak és egy sajátos képződmény lesz az eredmény.



4. kép. Különleges geometriájú épületek hatása az áramlásra.

Járművek körüli áramlás vizsgálatához egy személyautót vettünk alapul. Az autó előtt nem figyeltünk meg semmilyen leválást, szépen követi az áramlás a felületet (5. kép/a). A szélvédő feletti kiemelkedő peremen egy kicsit megbicsaklik az áramlás, de aztán hamar visszasimul a

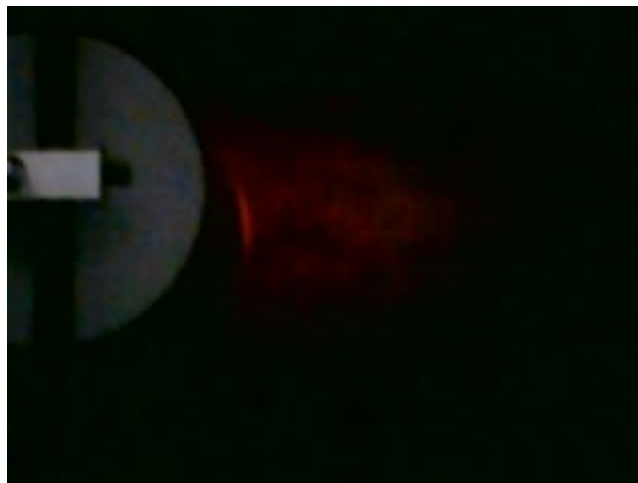


tetejére (5. kép/b). Az autó mögött létrejön leválási buborék (5. kép/c). Járműáramlásban ennek nagyon fontos szerepe van: ez okozza a sárosodást. Ha nagyon intenzív a leválás, az áramlás felcsapja a sárceppeket a csomagtartóra.



5. kép. Jármű körül kialakuló áramlási jelenségek

Henger alakú épületeknél periodikus örvényleválást figyelhetünk meg (6. kép). A henger felett és alatt is kialakul felgöngyölődés, és periodikusan szakítják le egymást. Először az egyik lesz erősebb, az leszakítja a másikat, majd a másik lesz erősebb és az szakítja le az elsőt. Nagy szélsőségeknél a folyamatot hangos rezgés kíséri.



6. kép. Henger körüli épület hatása

#### 4. Pár szó a mérés technikáról

Az áramlási viszonyok jellemzéséhez szükséges lehet a következő paraméterek mérése:

- ✓ nyomás
- ✓ testre ható erő
- ✓ sebesség
- ✓ gázkoncentráció

A koncentráció mérése során meghatározott pontokban ismert mennyiségű gázt engednek be, és mintavételi pontokon egy időben elszívott koncentrációkat mérik. Ábrázolás: monokróm képre színskálát tesznek, ezzel szemléltetve a koncentráció-különbségeket.

Paramétermeghatározás lépései (pl. nyomás):

1. modell megépítése valós áramlási viszonyokkal
2. határréteg beállítása
3. nyomás mérése (analóg vagy digitális mérőműszerekkel)
4. modell elhelyezése a mérőterben miközben forog a panel – változó szélirány reprezentálására

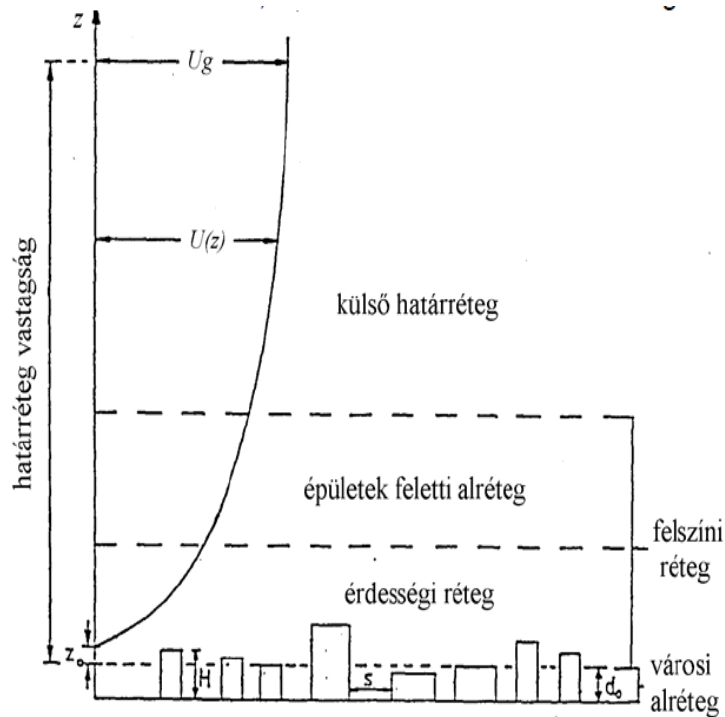
## **5. A határréteg szélsatorna**

Szélsatornában atmoszférikus határréteg modellezésre is lehetőség van, amelyet szélterheléses és szélkomfort vizsgálatok során használnak fel. A szimuláció során a valós határréteg jellemzőit kell leképezni [5].

Atmoszférikus határrétegnek nevezzük a légkörnek azt a 200 m és 2000 m közötti rétegét, amelyet közvetlenül befolyásolnak az alatta elhelyezkedő földfelszín jellemzői. Ez az emberi tevékenység színtere, ebben vannak a szennyezőanyag források. E réteg áramlási rendszere határozza meg a kibocsátási helytől elsodródó szennyeződés mozgását, hígulását, ülepedését [4].

A határrétegben turbulens áramlás jellemző. Szerkezetét az alábbi ábra mutatja:





A szélcsatornában modellezett atmoszférikus határréteg hasonlóságát a leíró differenciálegyenletek és a kezdeti- és peremfeltételek dimenziótlan formáinak azonossága biztosítja. Az atmoszférikus határréteg áramlást tapasztalati összefüggésekkel írjuk le, így a hasonlósági paraméterek is ezekre a dimenziótlan összefüggésekre vonatkoznak. Az alábbi hasonlósági feltételeket kell betartani:

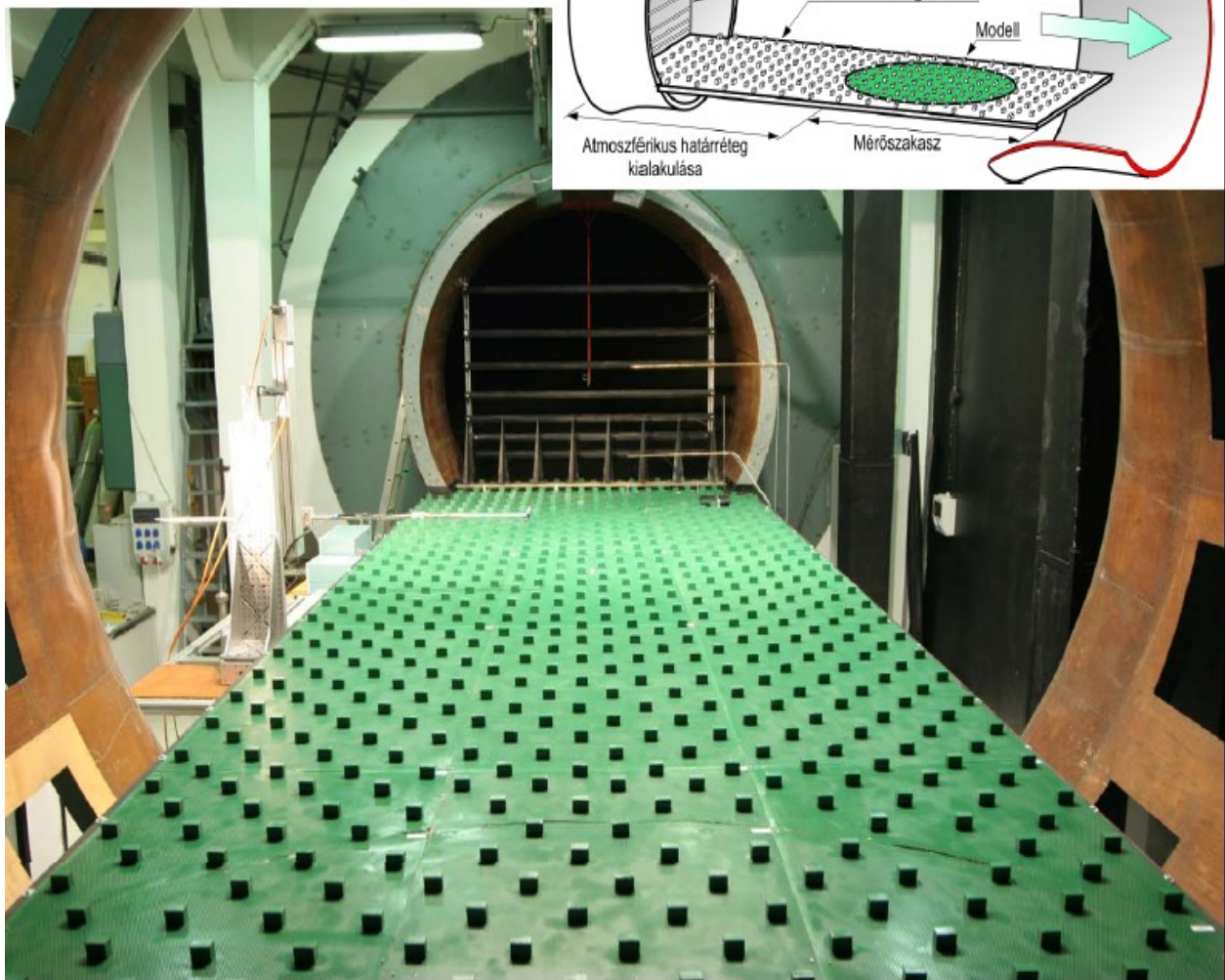
- ✓ geometriai hasonlóság
- ✓ hozzááramlás hasonlósága
- ✓ épületek körüli áramlás hasonlósága
- ✓ szennyezőanyag-források hasonlósága

A gyakorlatban ez úgy zajlik, hogy felületi érdességi elemekkel (szabályosan vagy szabálytalanul elhelyezett téglatestekkel, Lego „kockákkal”) borított előkészítő szakaszt helyeznek el a szélcsatornában.

Az Áramlástan Tanszék határréteg szélcsatornája (7. kép) a következő paraméterekkel rendelkezik [1]:

Mérőtér	zárt
Mérőtér hossza [m]	2
Mérőtér szélessége [m]	2,2
Mérőtér magassága [m]	1,6
Maximális sebesség [m/s]	22
Maximális turbulenciaintenzitás [%]	0,5

## AZ ÁRAMLÁSTAN TANSZÉK SZÉLCSATORNÁI



7. kép. A laboratórium határréteg szélcsatornája.

### 6. A kutatások jelentősége

A járművek által kibocsátott szennyeződés jellemzően városi környezetben, különösen zárt épületekkel határolt utcákon és nagy forgalmú autópályák közelében okoz jelentős környezetterhelést.

Adott koncentráció kialakulása függ a szennyezőanyag terjedésétől és a kibocsátás nagyságától. Mivel a terjedést a levegő áramlási viszonyai határozzák meg, ezért fontos a különböző elemek (épületek, járművek, domborzati elemek, növényzet) körüli jelenségek vizsgálata. Emellett figyelembe kell venni az atmoszférikus határréteg áramlást és a kipufogógázok termikus feláramlását is, mert ezek szintén hatnak a szennyezőanyag-terjedésre.

A kutatások eredményeinek felhasználásával lehetőségünk van a levegőminőség javítására. Amíg járművek közlekednek, a típusuktól függetlenül mindig kell az ebből származó légszennyezéssel számolni (belsőégésű motoroknál szén-monoxiddal, nitrogén-oxidokkal, elektromos autóknál szilárd porral). A koncentráció csökkentésében lehet szerepe a fejlesztéseknek, amelyekhez az áramlástan ismeretek bővülése nagy mértékben hozzájárul.

A vizsgálatok célja lehet a szélerő és szélkomfort meghatározása is. A globális klímaváltozás következtében ugyanis az épületek jelentősen nagyobb szélterhelésnek vannak kitéve. A szél szerepe az épület szellőzőrendszerének működése szempontjából is fontos. Nem lehet figyelmen kívül hagyni, hogy milyen a szennyezőanyag-koncentráció a beszívott levegőben, és hogy az épület felületén uralkodó nyomásmegoszlás hogyan befolyásolja a levegő beszívást. Szellőző berendezések esetén elvégezhető a friss és használt levegő összekeverésének optimális beállítása, így elkerülhető a fagyásveszély és csökkenthető az energiaveszteség. A helyi szélviszonyok a gyalogosok komfortérzetét is befolyásolják – ilyen vizsgálatok esetén kiválasztható a gyalogutak és tartózkodási helyek (pl. játszóterek) kedvező elhelyezése [6].

## Felhasznált források

[1] A Kármán Tódor Szélesatorna Laboratórium honlapja:

[http://www.ara.bme.hu/cms/index.php?option=com\\_frontpage&Itemid=1](http://www.ara.bme.hu/cms/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1)

[2] Dr. Lajos Tamás, Dr. Goricsán István, Balczó Márton (2008): St. Augustine (USA) szabadtéri színpadának és Rhode Islands klubház átriumának sátoortetejére ható szélerő szélesatornavizsgálata – GÉP 2008. (59. évf.) 5-6. sz. 42. old.

[3] Dr. Lajos Tamás, Dr. Goricsán István (2008): A Raiffeisen-torony szélesatorna-vizsgálata – GÉP 2008. (59. évf.) 5-6. sz. 40-41. old.

[4] Dr. Lajos Tamás et al. (2008): Légszennyező anyagok terjedése városokban. A magas épületek hatása a légszennyezettségre – Magyar építőipar 2008/4. szám

[5] Goricsán István (2008): Atmoszférikus határrétegben lejátszódó áramlási és transzportfolyamatok – GÉP 2008. (59. évf.) 5-6. sz. 7-9. old.

Atmoszférikus határréteg modellezése szélesatornában

[6] A CFD.HU Áramlástechnikai Kft honlapja:

<http://www.cfd.hu/>

Az Áramlástan Tanszék honlapjáról vett anyagok:

[https://www.ara.bme.hu/oktatas/tantargy/NEPTUN/BMEGEATMKK2+MKK4/2011-2012-I/ea\\_lecture/](https://www.ara.bme.hu/oktatas/tantargy/NEPTUN/BMEGEATMKK2+MKK4/2011-2012-I/ea_lecture/)

- Épületek körüli áramlás.pdf
- Szennyezőterjedéscikk.pdf
- Hatretmod\_melleklet.pdf