



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar

Szélcsatorna alkalmazási lehetőségei és a laboratóriumi szélcsatorna-bemutató tanulságai

Dolgozat a *Áramlások modellezése a környezetvédelemben* című tantárgyhoz

Készítette:

Kozma Réka, LB6RAR

Környezetmérnök MSc, II. évfolyam

Bevezetés

Az *Áramlások Modellézése a környezetvédelemben* című tantárgy keretein belül lehetőségem volt részt venni a Kármán Todor Szélcsatorna Laboratóriumban szervezett gyakorlati előadáson, ahol csoporttársaimmal együtt megismerkedtünk a laboratórium főbb tevékenységi területeivel, köztük a szélcsatornában végzett kísérletekkel, ami a dolgozatom témája is egyben.

A továbbiakban szeretném általánosan bemutatni a szélcsatorna, és az abban végzett kísérletek jelentőségét, illetve felhasználási területeit (a teljesség igénye nélkül). A dolgozat második részében pedig a laborgyakorlaton látottakat és halottakat fogom összefoglalni a vízszintes szélcsatorna bemutatását követően.

Szélcsatorna általában

A szélcsatorna kísérleti berendezés, melyet elsősorban testek körül áramló közeg hatásainak vizsgálatára fejlesztettek ki. A berendezés azon a feltételezésen alapul, hogy a levegő hatása egy mozgó testen egyenértékű a szélcsatorna által generált szél mozdulatlan testre gyakorolt hatásával. Ezzel a rendszerrel nagyon pontos mérések végezhetőek, amelyek gyakran elképzelhetetlenek lennének valós mozgási körülmények között.

Ezek a vizsgálatok irányulhatnak a következőkre:

- az áramlásba helyezett testre ható légerők (felhajtóerő, közegellenállás illetve a légerők nyomatéka);
- nyomáeloszlás az áramlásba helyezett test körül;
- a határréteg viselkedésének tanulmányozása;
- az áramvonalak alakjának vizsgálata;
- légáramlás keltette rezgés és zaj tanulmányozása;
- áramlásba helyezett test hőátadása.

Műszaki alkalmazások

Ami a műszaki célú szélcsatorna kísérleteket illeti, a felhasználási lehetőségek nagyon tágak, így alkalmazási példákat is nagy számban találunk, elsősorban mérnöki területen. A következő oldalakon csak néhány, számomra különösen érdekes alkalmazást mutatok be.

Időjárási viszonyok szimulálása

Nemcsak az áramlástani, hanem az időjárási viszonyok is modellezhetőek az ún. klimatikus szélcsatornában.

A Franciaországban, Nantes városában megvalósított Jules Verne is ebbe a kategóriába tartozik. A rendszer olyan időjárási események, mint hó, eső, ónos eső, köd,

homokvihár vagy szélsőségesen száraz kánikula modellezésére is alkalmas. A cél: valós mérettartományban vizsgálni épületekre, épületelemekre, járművekre és szállítóeszközökre kifejtett lehetséges hatásokat. A több, mint 5000 m²-es berendezés szinte bármilyen időjárási körülmény reprodukálására képes.

Az AUDI autógyár ingolstadti telepén az aero-akusztikai és a termikus szélcsatornák mellett 2008 óta rendelkezik egy klimatikus szélcsatornával is. Ebben vizsgálják a jeges hideg és a tikkasztó hőség közötti valamennyi hőmérsékleti viszony (-25°C-tól +55°C-ig), és az akár 300 km/h sebességű szél autókra gyakorolt hatását. A vizsgálatok tárgya szerint alapvetően három területet különböztethetünk meg:

1. légkondicionálás az utastérben
2. motorhűtés és a kapcsolódó kiegészítő elemek
3. szennyeződések eltávolítása és jégmentesítés, ablaktörlők vizsgálata.

Hasonló céllal és feltételekkel tart fent klimatikus szélcsatornát Kölnben a Ford cég is.

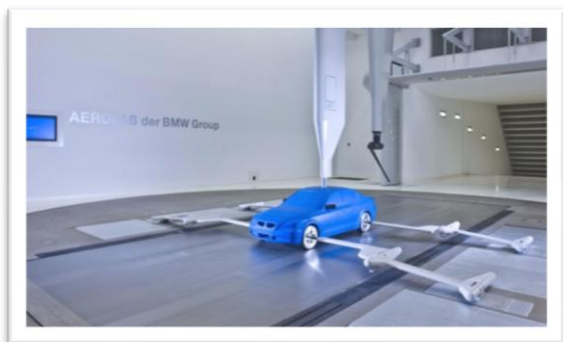
Szélcsatornák használata az autóiparban

Ezen szélcsatornák jellegzetessége és elengedhetetlen felszerelése a futószőnyeg, ami lehetővé teszi, hogy még jobban megközelítsék a valós körülményeket. Ami a gyártókat illeti, két alapvetően különböző vizsgálatípust különböztethetünk meg:

- 1) a klasszikus személyautók vizsgálatát, amelyek esetében a cél a közegellenállás minimalizálása, és ezáltal a motor fogyasztásának csökkentése;
- 2) versenyautók (például Forma 1-es autók) vizsgálatát, amelynél a cél az egy kör megtételéhez szükséges idő minimalizálása a tapadás növelésén keresztül. A tapadás növeléséhez a lehető legnagyobb mértékű leszorító (negatív felhajtó) erőt kell generálni. Ennek egy nagy részét a „földhatás”-nak (ground effect-nek) köszönhetően idézik elő, ami csak közel valós körülmények között (mozgó járművel) modellezhető.

Az említett szélcsatornában a következőket mérik:

- 1) áramlásba helyezett mozgó járműre ható erők;
- 2) aerodinamikai egyensúly (mennyi erő hat az első, illetve a hátsó tengelyre);
- 3) nyomásterek az autó körül;
- 4) levegőáram vizualizálása (a vizsgált részre felvitt festék-szerű, sárga anyag segítségével):
 - a. áramvonalak vizualizálása;
 - b. az autó felszínén kialakuló áramlás megjelenítésével a rétegleválások azonosítása;
- 5) PIV(Particle Image Velocimetry): az örvények elmozdulásának követésére.



A BMW müncheni szélcsatornája alkalmas a felsorolt mérések elvégzésére, ahogyan az Audi Ingolstadtban megépített aerodinamikai szélcsatornája is. Ami a Forma 1-es csapatokat illeti, a Toyota F1 Németországban, Kölnben végez tesztek saját szélcsatornájában, a Mercedes F1 pedig Brackley városában, Angliában épített két saját szélcsatornát.

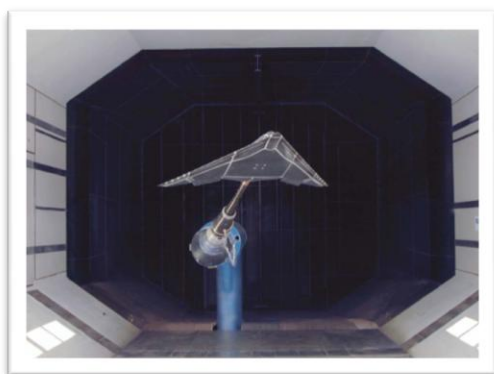
Ezekben 50 és 60%-os méretarányban tesztelnek (a vállalat a kisebbik szélcsatornát magán partnerek számára bérbe is adja).

Az Egyesült Királyság legnagyobb és egyetlen teljes méretarányú szélcsatornája, a MIRA megoldást jelent aerodinamikai tesztek elvégzéséhez, illetve széleskörű fejlesztésekhez: repülőgép- és gépjárműfejlesztéstől, a motorsporton át, egészen az építőipari és sport szektorokig.

Szélcsatornák a repüléstechnikában

Repülőgépek esetén a vizsgált paraméterek a következők:

- szárnyak stabilitása (rezgés a szárnyakon);
- szárnyakra és a géptestre ható erők;
- nyomástér.



Lenyűgöző példa erre a RUAG cég 7 m x 5 m mérőtérrel rendelkező szubszonikus szélcsatornája, amely Emmen városában, Hollandiában található és Európa egyik legnagyobbja. A szélcsatorna alkalmas a legkülönbözőbb tesztek elvégzésére, beleértve repülőgépek fejlesztését, autóiipari kutatásokat, esővizsgálatokat, valamint épületek és hajók aerodinamikáját.



Szélcsatorna, mint rekreációs és sporteszköz

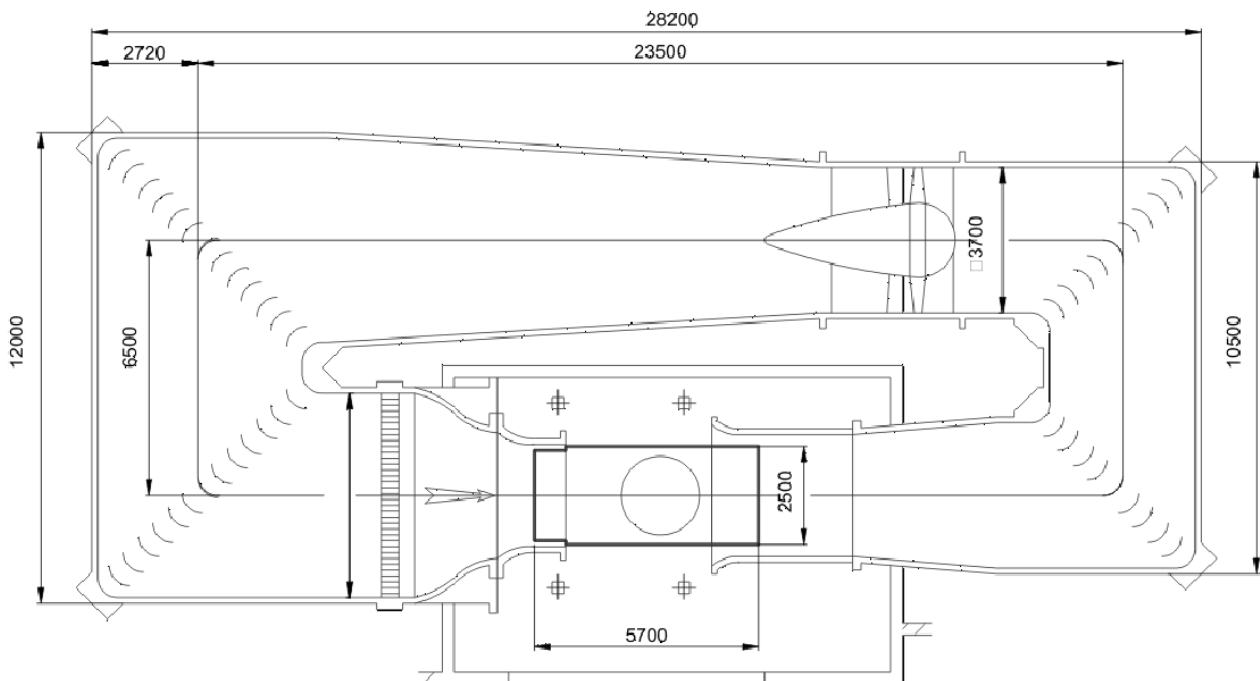
A szélcsatorna függőleges elrendezésben sport vagy rekreációs céllal is használható, például ejtőernyős ugrások szimulálására, valamint versenysportolók (kerékpárversenyzők, sielők, stb.) felkészítése során. Hogy csak néhány példát említsek, ilyen a az angliai (Milton Keynes) Airkix függőleges szélcsatorna.

Kármán Todor Szélcsatorna Laboratórium

A BME Kármán Todor Szélcsatorna Laboratórium összesen négy különböző szélcsatornával rendelkezik, ezek közül a legnagyobbat, a nagy vízszintes szélcsatornát volt alkalmunk megismerni működés közben.

A szélcsatorna 1934 és 1938 között épült, nyitott mérőterű, göttingeni típusú szélcsatorna, amelynek jellemző adatai a következők:

- mérőtér hossza: 4 m
- kör keresztmetszetű mérőtér átmérője: 2,6 m
- a szélcsatorna tényleges hossza: 30 m



A szélcsatorna felhasználási területei:

- atmoszférikus áramlások vizsgálata
- épületek körüli áramlások vizsgálata
- szennyezőanyag-terjedés vizsgálata
- atmoszférikus határréteg modellezés

A következő oldalakon szövegesen és saját képekkel illusztrálva mutatom be, hogy milyen vizsgálatokat végeztünk a vízszintes szélcsatornában.

1. Utcakanyon örvény - két azonos magasságú épület/épülettömb

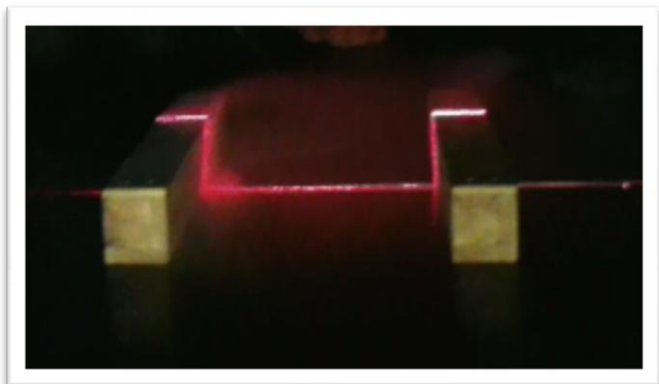
Elsőként két közel azonos méretű épületet vizsgáltunk. Több azonos, vagy hasonló magasságú épület az egész struktúrát nézve negatív hatásokat eredményezhet, mivel az egész



épülettömb átszellőzését csökkenti, teljesen bezáródott leválási buborék, szennyezőanyag-csapda alakulhat ki. Szerencsétlen helyzet, ha két magas épület nagyon közel helyezkedik el egymáshoz, ugyanis a két épülettömb között a szélirányra merőlegesen, az utca szintjén egy zárt visszaáramlás alakul ki:

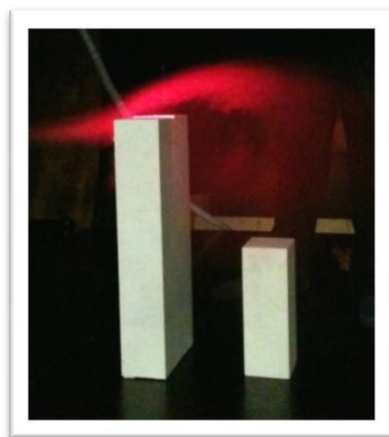
az első épület mögött kialakuló leválási zónát a második épület lehatárolja. Ebből adódóan amit az utca szintjén kibocsátunk az első épület mögött, az visszaáramlik a második épület utcaszintjére, az épületsor bejárati részére. A friss levegő a két épület felett továbbáramlik, nem jut be a két épület közötti térbe. A főáram teljesen elmegegy a két utca felett.

Ez a probléma orvosolható, ha egy kicsit „szétnyitjuk” az épületeket: ekkor az első épület leválási zónája nagyobb lesz, mint a két épület közötti távolság, és a kialakuló keveredés lehetővé teszi a szennyezőanyagok kijuttatását az utcakanyonból.



2. Magas épület hatása egy lényegesen alacsonyabb épület mellett

Ebben az esetben azt láthattuk, hogy a levegő megpróbálja követni az épületek vonalait, de mint tudjuk a levegő nem képes derékszögben fordulni, ezért az épületek sarkánál nem derékszögben, hanem ívesen halad tovább.



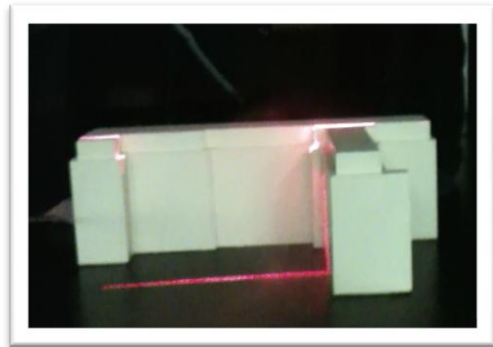
A nagy épület mögött egy ún. leválási buborék alakul ki, ahol alacsonyabb a nyomás, mint a környező nyomás. Emiatt a nagy épület mögötti leválási buborékban a kibocsátott szennyezőanyagok úgymond beragadnak, körbe-körbe járnak. A leválási buborékban egy örvény alakul ki, ami az óramutató járásával megegyező irányú. Mindeközben a nagy épület hátfalán, a torlópont fölött egy felemelkedő áramlás figyelhető meg, a levegő a leválási zóna peremét követi. A levegő az épület tetejénél kiáramlik a főáramlásba,

így nem zárul be teljesen a leválási buborék. A nagy, magas épületek éppen ezért bizonyos szintig ideálisak lehetnek a szennyeződésterjedés, hígulás elősegítésében, ugyanis az utca szintjéről felemelik, és elszállítják a szennyezőanyagokat. Fontos azonban megjegyezni, hogy konkrét esetben sokféle effektus játszik közre, a szennyezőanyag terjedésének modellezése sokkal bonyolultabb is lehet.

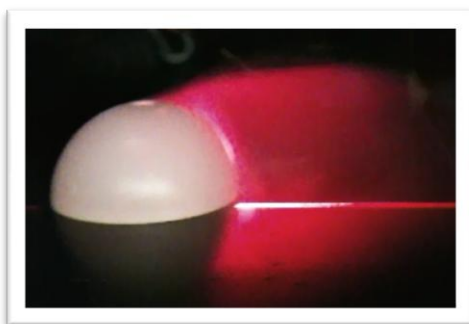
A bemutató kapcsán megtudtuk, hogy a légkondicionáló berendezés légbetáplálási pontjának megválasztásakor is fontos szerepet játszik az áramlástan és a szélcsatorna modellek. Ezeknek köszönhetően tudjuk, hogy nem tanácsos légbetáplálási pontot magas épületek szél felőli oldalán kialakítani, mivel az ott jellemző szennyezőanyag feláramlás által az utcaszintről felemelt kipufogógázokat és egyéb szennyeződések bevezetnénk az épület belsejébe.

3. Kiszögelésekkel rendelkező épület körüli jelenségek

L-alakú szögletes, kiszögelésekkel rendelkező épületet vizsgáltunk, ahol szintén szennyezőanyagok beragadása volt megfigyelhető. A szélek felé a keveredés erősebb ugyan, de minél közelebb vagyunk a kiszögellés tövéhez, annál jobban látszik egy bezáródó örvény, ami az L-alakú kiszögelléshez szállítja az összes kipufogógázt. Az összes kiszögellésnél potenciálisan kialakulnak patkó-örvények vagy örvénycsővek. Ezek abban hasonlítanak a leválási buborékokhoz, hogy bennük is kisebb a nyomás, de a leválási buborékokkal ellentétben ezek dinamikusan változóak, ezért is nehéz őket megjeleníteni.



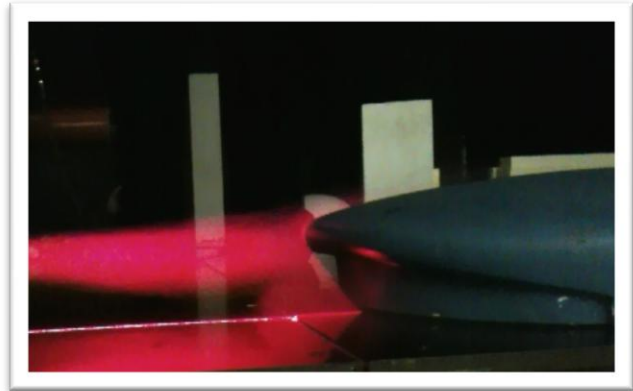
4. Félgömb épület körüli jelenségek



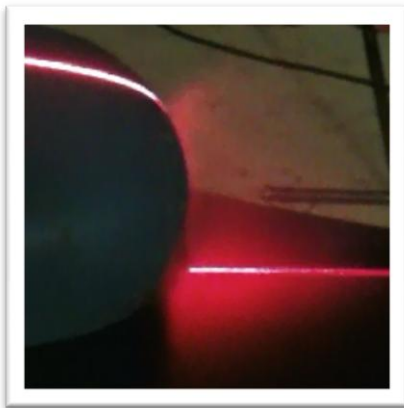
A kísérlet elején az áramvonalak teljesen rásimultak a test formájára, nem láttunk visszaáramlásokat, volt torlópont, de az a félgömb síkjában helyezkedett el. Egy bizonyos pont után azonban az alsó levegőrétegek mozgási energiája sűrűsödés következtében elfogy, elválnak a gömb felületétől, és így kialakul egy leválási örvény. Áramvonalas testeknél a leválási buboréknak a testre gyakorolt hatása sokkal kisebb, mint az ún. tompa testek esetében (pl. téglatest, szabálytalan formák). Habár itt is számításba kell venni a leválást, a nyomástényező megoszlása sokkal nagyobb mértékben befolyásolja a testre ható ellenállási erőt.

5. Budapest Sportaréna vizsgálata

Az egész épület viszonylag áramvonalas alakú, az elején lévő kiszögéléstől eltekintve az épületet a teteje mentén követik az áramvonalak, akár egy szárnyprofilnak is tekinthető. Ennek azonban veszélyei is lehetnek: a görbület miatt negatív nyomás-tényezőket mérhetünk, nagyobb szélerősségnél számítani kell a felhajtóerő megjelenésére.



A szélcsatorna bemutató során láthattuk, hogy a levegő két részre válik és megfigyelhető egy patkó-örvény a sportcsarnok két vége mentén. Az orr-szerű képződmény miatt felgöngyölödik a határréteg, ez a fölgöngyölődés oldalra is kimegy, és körbeöleli az

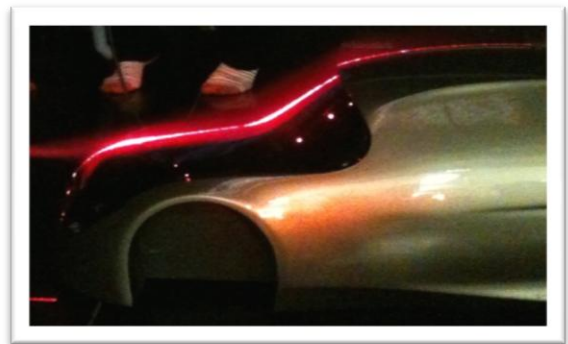


egész sportcsarnokot. Az Aréna hátuljánál szintén kialakul egy leválási buborék, valamint az épület elejéről induló két felgöngyölődés is itt találkozik egymással. A felgöngyölődés két visszaáramlást okoz: egyet alul (lényegében ez az áramlás, ami előlről indult és körbeöleli az egész épületet), egyet pedig felül, az alsóval ellentétes irányú nagyobb felgöngyölődést. Összesen tehát négy örvényt figyelhettünk meg: kettő kisebbet (előlről származó felgöngyölődésből) és a középvonalnál kettő nagyobb, az

óramutató-járásával megegyező irányú örvényt.

6. Autó-modell

Egy a Mercedesnek készített koncepció-modell segítségével megfigyelhettük az autók jellemző áramlási viszonyait. Megtudtuk, hogy a hűtőrácsot például azért az autó elején helyezik el, mert az itt kialakuló torlópontban túlnyomás uralkodik, innen elegendő levegő juttatható a hűtőrendszerhez.



Ami a motorháztetőt illeti, az áramvonalas kialakítás az Aréna esetében látottakhoz hasonlóan negatív nyomás-eloszlást eredményez. A motorháztető és a szélvédő találkozásánál pedig egy negatív görbület található.

Az autó hátulján állandó „kavargás” jellemző, a kialakuló örvényben kisebb a nyomás, mint a környezetében, ezért csapdaként vonzza az autó által felvert sár és porrészecskéket, hasonlóan az épületeknél látott zárt leválási buborékokhoz. Ezért az autógyárak célja az autó mögött jellemző állandó örvények mérséklése, egyrészt gyakorlati, másrészt esztétikai szempontok miatt. Többek ennek a modellezésében is szélcsatornát alkalmaznak.

Források

1. J.Katz, *Race Car Aerodynamics: Designing for Speed*
2. Magyar, angol és francia Wikipedia: www.wikipedia.org
3. Jules Verne klimatikus szélcsatorna Franciaországban:
<http://www.cstb.fr/le-cstb/equipements/aerodynamique.html>
4. Az AUDI autógyár szélcsatornái:
http://www.audi.com/com/brand/en/company/wtc/overview.html#source=http://www.audi.com/com/brand/en/company/wtc/Wind_Tunnels/climatic_wind_tunnel.html&container=page
5. *Ground Effect Aerodynamics of Race Cars*:
<http://eprints.soton.ac.uk/42969/1/GetPDFServlet.pdf>
6. *BMW's new aerodynamic test center built in Munich*:
<http://www.bmwblog.com/2009/06/22/bmws-new-aerodynamic-test-center-built-in-munich/>
7. *RUAG Aerodinamikai Központ*:
http://www.ruag.ch/Aviation/Subsystems_Products/Engineering_Services/Aerodynamics/Wind_Tunnel/Large_Wind_Tunnel
http://www.ruag.com/de/Aviation/Subsystems_Products/Engineering_Services/Aerodynamics/Windkanal/P_Large_Subsonic_Wind_Tunnel_Emmen.pdf
8. *MIRA Aerodynamic Wind Tunnel*: <http://www.mira.co.uk/our-servicesfull-scale-wind-tunnel-%28fswt%29>
9. *Airkix Indoor Skydiving*: <http://www.airkix.com/v>
10. *A2 Bicycle Wind Tunnel*: <http://www.a2wt.com/Bicycle.htm>
11. *Kármán Todor Szélcsatorna Laboratórium*:
http://www.ara.bme.hu/cms/index.php?option=com_content&task=blogsection&id=4&Itemid=32
12. Yoran PICHON, *CFD mérnök, SCE Solutions: személyes beszélgetés*
13. *A laboratóriumban szervezett áramlástan gyakorlaton elhangzottak*