

Légszennyező anyagok terjedése városokban

A magas épületek hatása a légszennyezettségre

LAJOS TAMÁS D.SC.* – DR. GORICSÁN ISTVÁN** – DR. RÉGERT TAMÁS** – SUDA JENŐ**
– BALCZÓ MÁRTON***

ABSTRACT

One of the most significant objectives of air pollution control is the reduction of concentration of traffic related pollutants in cities. These pollutants travel with air, so their dispersion depends basically on the characteristics of atmospheric flow field under urban canopy, influenced by buildings and vegetation. This study gives a short overview on building related flow structures influencing mainly the transport of pollutants then it describes the various mechanisms of the dispersion of pollutants in urban environment. One of the mechanisms significant from the point of view of air pollution control is the downflow close to the upstream front elevation of high buildings transporting clean air to pedestrian level. More significant is the effect of separation bubble developing over the downstream front elevation, lifting up the polluted air from the pedestrian level and transporting it in higher layers of atmosphere. The methods of investigation used in fluid mechanics: wind tunnel experiments and numerical simulation of flows are suitable not only for determination of wind forces but also for prediction of effect of buildings on air pollution and pedestrian wind comfort.

Bevezetés

Rohamosan nő a városokban lakók száma és aránya a népességében. Ezzel egyidejűleg növekszik a városokban közlekedő közúti járművek száma. Bár a gépkocsik szennyező kibocsátására vonatkozó előírások nyomán a fajlagos emisszió csökkentésében látványos eredményeket értek el a járműgyártók, a szennyeződésnek kitett városlakók és az általuk használt közúti járművek növekvő száma miatt a környezetvédelem levegőtisztaságvédelem fejezetében a legfontosabb feladat a városokban keletkező, közlekedési eredetű szennyeződés csökkentése.

A légkörbe jutó közlekedési eredetű szennyezők: gázok (pl. szénmonoxid, nitrogénoxidok), vagy aeroszolok, folyadékcseppek, szilárd szemcsék (pl. szállópor) az áramló levegővel együtt mozognak, ezért terjedésüket, hígulásukat és a koncentrációt (az immisziót) a légkör alsó részében, az ún. atmoszférikus határretegben lejátszódó áramlási folyamatok határozzák meg. Atmoszférikus határretegnek nevezük a légkörnek azt a 200 m – 2000 m vastag rétegét, amelyet közvetlenül befolyásolnak az alatta elhelyezkedő földfelszín jellemzői. Az atmoszférikus határreteg az emberi tevékenység színtere, ebben vannak a szennyezőanyag források. E réteg áramlási rendszere határozza meg a kibocsátási helytől elsodródó szennyeződés

mozgását, hígulását, ülepedését, a szennyezőanyagok légköri körforgalmát.

A határretegben lévő áramlás sajátossága a rendezetlen, gomolygó, turbulens mozgás: az áramlás szerkezetét az egymással kölcsönhatásban lévő mechanikai és termikus eredetű turbulens örvények bonyolult rendszere határozza meg. Így egy kéményből kilépő a füst által alkotott fáklya szélessége és magassága áramlás irányában nő, amit a turbulens áramlásban kialakuló örvények okoznak. Az atmoszférikus határretegben kialakuló turbulens örvények jellemző mérete arányos a felszín feletti magasságukkal. A turbulenciát a sebesség átlagértéktől vett eltéréssel, az időbeni sebességingadozások mértékével jellemezzük.

A légköri határretegben az áramlást a felszíni kényszerek: a domborzat, a növényzet és az épületek nagymértékben befolyásolják. A településeken a talaj közelében, az épületek magasságában kibocsátott szennyezőanyagok terjedésében az épületek áramlás módosító hatásának van a legfontosabb szerepe. Ezért ez a tanulmány összefoglalja azokat a tapasztalatokat, amelyeket a szerzők a közlekedési szennyezők városi terjedésével kapcsolatos szélcsatorna mérések és az áramlás numerikus szimulációjával végzett vizsgálatok során szereztek.

A szennyezőanyag terjedést befolyásoló áramlási struktúrák

A légszennyezés folyamatának három mozzanata van: az emisszió (kibocsátás), a transzmisszió (szállítás, átalaku-

lás) és az immiszió (a megjelenő koncentráció). Nézzük meg részletesebben e három folyamatot!

Közlekedési forrásból a környezeti levegőbe kerülő légszennyező anyag kibocsátásának modellezésénél három forrástípust használnak: pont- és vonal- és területi forrást. Pontforrás pl. egy mélygarázs használt levegőt kibocsátó kürtője, vagy egy közúti alagút kijárata, jó közelítéssel vonalforrásoknak tekinthetők az utak és az azokon haladó járművek, területi forrásként kezelhető egy szabadtéri személygépkocsi parkoló.

A transzmisszió a kibocsátott szennyezőanyag elszállítódását, hígulását, fizikai és kémiai átalakulását, valamint a légkörből történő esetleges kikapcsolódását foglalja magában. A szélesség a transzmissziót kétféleképpen befolyásolja. Egyrészt megadja azt az időt, amely alatt a szennyezőanyag a kibocsátási helyről eljut a vizsgált helyig, másrészt befolyásolja a szennyező koncentrációt. Belátható ugyanis, hogy a levegőszennyező koncentrációja fordítottan arányos a szélességgel, azaz az adott idő alatt keletkező szennyező mennyiséget „befogadó” levegő térfogattal. A szennyező elkeveredése, hígulása tekintetében megjegyzendő, hogy míg napközben a talaj felmelegedése miatti termikus feláramlások következtében keletkező turbulencia átkeveri a határreteg levegőjét, és így csökkenti a légszennyezettséget, éjszaka a turbulencia és átkeverő hatása jóval mérsékeltebb.

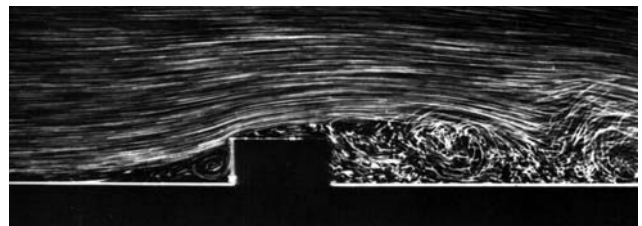
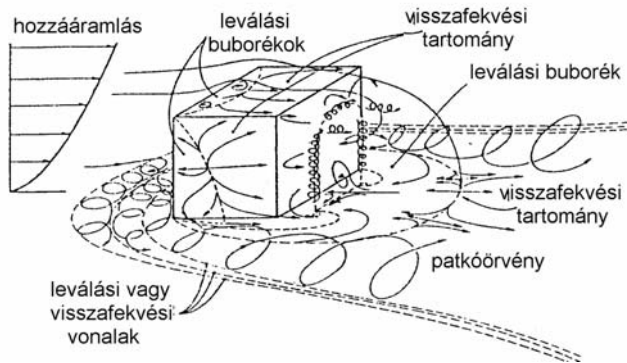
Településeken, épített környezetben, ha a szél sebessége az épületek magasságában nagyobb 1,5–2 m/s-

* egyetemi tanár, tanszékvezető,

** egyetemi adjunktus,

*** tudományos segédmunkatárs

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Áramlástan Tanszék, 1111 Budapest Bertalan Lajos utca 4-6., www.ara.bme.hu



1. ábra: Kocka alakú épületmodell és egy házsor modellje körül kialakuló áramlás

nál, azaz az év 80–90%-ában, a talaj közelében kibocsátott szennyezőanyag transzportját alapvetően az épületek közötti és körüli áramlás jellemzői határozzák meg. Csökkenő szélességek esetén egyre nagyobb szerepe van a kipufogógázok környezeti levegőnél nagyobb hőmérséklete, vagy a talaj napsugárzás miatti felmelegedése által okozott termikus feláramlásnak, valamint a mozgó járművek által keltett áramlásnak, turbulenciának.

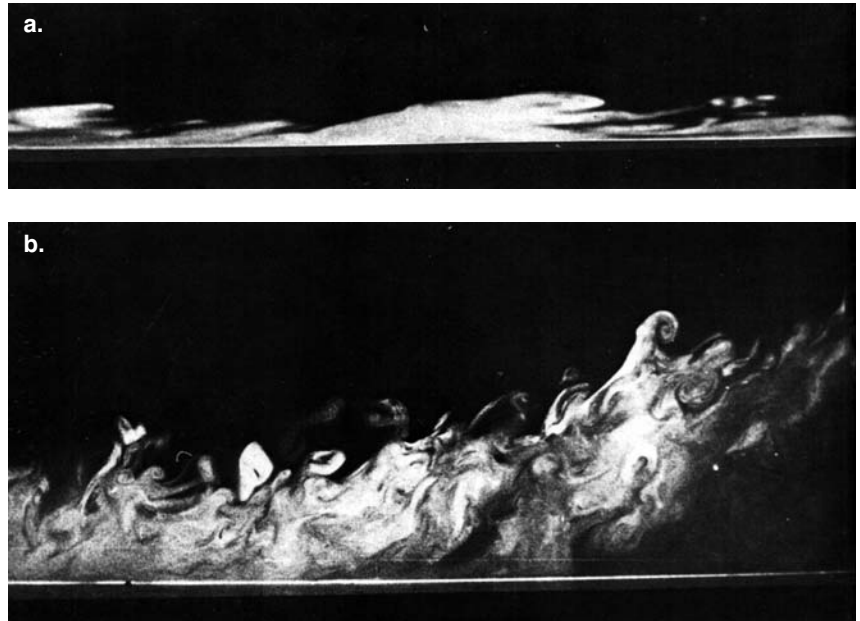
Az épületek körül bonyolult turbulens áramlás alakul ki, amint azt egy egyedül álló, kocka alakú épület és egy házsor modell esetén az 1. ábra mutatja. Az épület homlokzatára merőleges megfúvás esetén az egyedülálló épület körüli áramképet öt tartományra bonthatjuk.

- Az épület előtti tartomány, ahol az épületek homlokfala előtt és kocka esetén az oldalfalak mentén hátrafutó patkó-örvény alakul ki.
- Az épület homlokfalán a patkóörvény fölött torlópont keletkezik, és a homlokfal szélei irányában gyorsul az áramlás.
- Az épület tetején és oldalfelületein kialakuló leválási tartományok.
- Az épület mögötti leválási buborék.
- Az épület feletti és melletti zavartalan áramlás.

Az egyes tartományok méretét, az áramlás mikrostruktúráját az épület geometriája mellett a hozzááramlás, az atmoszferikus határréteg áramlás jellemzői határozzák meg.

Az áramlás jellegét nagymértékben befolyásolja a határréteg leválása, amely akkor következhet be, ha szilárd fal mellett az áramlás irányában növekszik a nyomás (2. ábra).

Az 1. ábra alsó képén ilyen határréteg leválás van az épületmodell előtt a talajon, valamint a tető szél felőli ú.n. belépőélén. A leválási vonalához egy ú.n. leválási buborék csatlakozik, amelyben a nyomás kicsi. A leválási buborékban pontok és rövid vonalak is látszódnak, ami azt mutatja, hogy ott a



2. ábra: Szilárd fal melletti határréteg: a. kép: áramlás irányban csökkenő nyomás, gyorsuló áramlás, b. kép: áramlás irányában növekvő nyomás, lassuló, majd a falról leváló határréteg

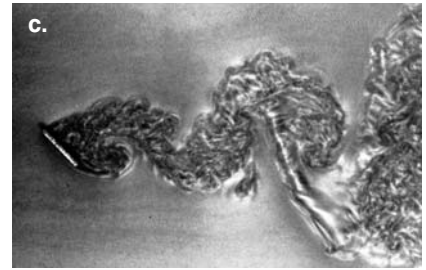
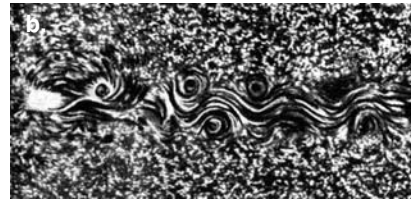
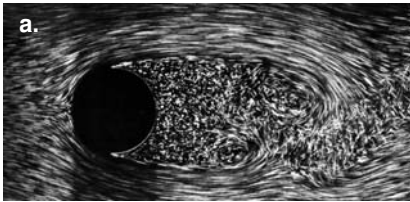
sebességek is viszonylag kicsik, és ebből adódóan a nyomás jó közelítéssel állandó. A tető belépőélén bekövetkező határréteg leválás mögött kialakuló leválási buborék nemcsak a tetőre, de az áramlási tér épület mögötti részére is kiterjed.

Körhengeren létrejövő határréteg leválást, az abból származó leválási buborékot, valamint a körhenger mögött kialakuló Kármán-féle örvénysort mutatja a 3.a. és b. ábra. A nem áramvonalas testek szél alatti oldalán létrejövő leválási buborékot (a 3.a. ábrán közvetlenül a henger mögött) az egész térrészre kiterjedő intenzív turbulens keveredés jellemzi. A periodikusan változó oldalról létrehozó örvényleválás nemcsak körhengerek (3.b. ábra), de az áramlás irányára merőleges, keresztirányú méretükhöz képest hosszú, hengertől eltérő keresztmetszetű testek mögött is kialakulhat (ld. 3.c. ábra)

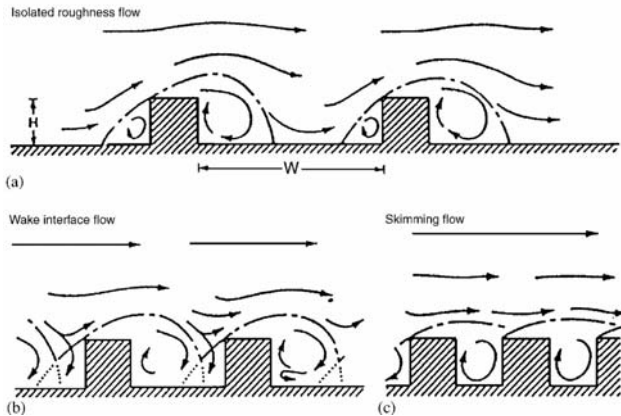
Beépített területeken az épületek kölcsönhatása következtében az épületek körül kialakuló áramlás egyes tartományai általában nem különülnek el. Az épületek beépítettségétől függő kölcsönhatása eredményeként kialakuló áramlás 3 kategóriába sorolható. Ha az épületek egymástól viszonylag nagy távolságban helyezkednek el, az áramlás egymással kölcsönhatásban lévő, egyedül álló épületek körüli áramlásként fogható fel (4.a. ábra). Az épületek közötti távolság csökkenésével először a leválási buborékok egymásra hatása jelentkezik (4.b. ábra), majd sűrű beépítés esetén már az áramlás felemelkedése figyelhető meg (4.c. ábra).

A szennyezőanyag terjedési mechanizmusok

Szél esetén épületek között a szennyezőanyag transzportot a levegő turbu-



3. ábra: Határréteg leválás, leválási buborék (a.), Kármán-féle örvénysor körhenger (b.) és lemezcsík (c.) körül



4. ábra: Épületek körüli áramlások típusai



5. ábra: A Millenniumi Városközpont vizsgálata a szélcsatornában

lens áramlása határozza meg. Ebből adódik, hogy egy adott területen a szennyező koncentráció megoszlását (a szennyezőanyag transzportját) a kibocsátás jellemzői (helye, intenzitása) és általában komplex áramlási viszonyok határozzák meg.

2003-ban a Duna Sétány Székház Kft. megbízásából a Millenniumi Városközpont megvalósításával összefüggő kiterjedt szélcsatorna és numerikus szimulációs városklíma vizsgálatokat végeztünk a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Áramlástan Tanszékén. Az 5. ábra mutatja a Millenniumi Városközpont és Ferencváros egy részének 1:500 léptékű modelljét a Tanszék Kármán Tódor Szélcsatorna Laboratóriumának nagy, 2,6 m átmérőjű levegősugarat létrehozó szélcsatornájában.

A vizsgálatok legfontosabb célja az volt, hogy megállapítsa a forgalmas Soroksár út mentén építeni tervezett Városközpont magas épületsorának hatását Ferencváros légszennyezettiségére. Az alábbiakban e vizsgálat, valamint a Budapest Főváros II. Ker. Önkormányzat Képviselő-testületének Polgármesteri Hivatala felkérésére 2001 évben végzett, a Mamut 2 épület levegőszennyezettiségre gyakorolt hatásának megállapítására irányuló szélcsatorna méréseink eredményeire utalunk.

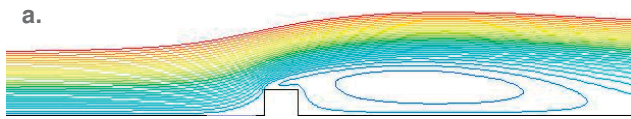
A város egy adott pontján mért szennyező koncentrációt meghatározó áramlási viszonyokat és ebből adódó szennyezőanyag terjedési viszonyokat az alábbi módon lehet osztályozni:

a) Ha egy szennyezőanyag forrástól szélirányban távol helyezkedik el az a hely, ahol az immisziót vizsgáljuk, akkor a forrásból kilépő szennyezőanyag viszonylag nagy levegőmennyiségben keveredik el, és egy szélirányba eső távoli területen csak kis mértékben növeli meg a légszennyezettiséget. Ezt távoli forrás hatásnak nevezzük, amely a helyi áramlási viszonyok alakulását általában kevéssé befolyásolja. Így pl. az 5. ábra felső részén látható Petőfi híd modellen (ahol a forgaloműrűség megközelítően azonos a Soroksári útval) kibocsátott szennyeződésként csak 0–4% koncentrációnövekedést okozott a hídtól 800–1200 m távolságban a Soroksári úton és környékén.

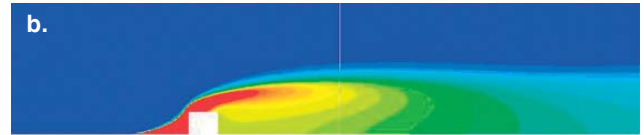
b) Ha a szennyező forrás (pont- vagy vonalforrás) viszonylag közel van az adott helyhez, akkor annak hatása a helyi áramlási viszonyoktól függően közvetlenül érvényesül. Ezt közeli forrás hatásnak nevezzük, amely a helyi áramlási viszonyokra igen érzékeny: kis áramlás módosulás viszonylag nagy koncentráció változást okozhat. Ilyen hatás alakul ki, ha egy út szélfelőli

oldalán nincsen ház: a szél az úttesten keletkező szennyezőanyagot közvetlenül „ráfújja” az úttest szélén elhelyezkedő járdára, házakra. Ez a hatás látható a 6. ábrán, amelyen egy áramlás kétdimenziós számítással meghatározott áramvonalai (a. kép) és az épületsor előtt lévő úton keletkező kipufogógáz koncentrációjának megoszlása (b. kép) látható. Látható, hogy a balról jobbra áramló szél a nagy szennyezőanyag koncentrációjú (piros színnel jelölve) levegőt közvetlenül ráviszi a szélirányban lévő épület előtti járdára és az épületre, ezért a járdán és a homlokzaton nagy szennyező koncentrációval kell számolni. Kedvezőtlen széliránynál ez a közeli forrás hatás dominál és okoz nagy légszennyezettiséget nagy forgalmú utcák járdáin.

c) Ha viszonylag magas, összefüggő épületekkel határolt utcában (pl. a forgalom következtében) szennyezőanyag keletkezik, az utca tengelyével kisebb, mint 450 szöget bezáró szélirány esetén ún. utca csatorna hatás jöhet létre: az utca tengelyével párhuzamos áramlás indul meg az utcát szegélyező épületek között, amelyben az áramló levegő mintegy „összegyűjti” az utcában lévő járművek által kibocsátott szennyezőanyagot. Ily módon az utca hosszától és a kibocsátás mértékétől függően igen nagy koncentráció is



6. ábra: A közeli forrás hatás szemléltetése



keletkezhet. Az utca csatorna hatás eredményeként a Soroksári út hossza mentén északnyugati szélnél jelentősen növekvő koncentráció látható a szennyeződés terjedés ANSYS FLUENT szoftverrel történő numerikus szimulációjával kapott 7.a. ábrán. (A szélirány az utcával párhuzamosan balról jobbra, a növekvő koncentrációt rendre zöld, sárga piros színek jelzik). A csatorna hatás eredményeként helyileg kis koncentráció érték is létrejöhethet, ha az egyébként szennyezett területen lévő vizsgálati pont egy olyan utcában, vagy annak meghosszabbításában van, amelyben nincs szennyező forrás, és az utcában létrejön az áramlás. A 7.b. ábrán látható, hogy jobbról alulról (délnyugatról) fújó szél esetén az épületek közötti utcákban (az utca csatorna hatás révén) kialakuló áramlás eredményeként tiszta levegő áramlik a szennyezett levegőjű Soroksári útra, helyileg csökkentve a szennyezőanyag koncentrációt.

Az utca csatorna hatás különösen nagy területen okozhat viszonylag nagy koncentrációt, ha az utca jelentősen kitér, vagy egy térbe csatlakozik. Itt az áramlás lelassul, nagyméretű örvények, leválási buborékok keletkezhetnek, amelyeket folyamatosan táplál a csatorna hatás eredményeként szállított szennyezőanyag (ld. 7.a. ábra jobb oldala).

d) Kétoldalt kb. egyforma és viszonylag magas, összefüggő épületekkel határolt utcában az utca tengelyével közel derékszöveget bezáró megfűvadás esetén egy nagy örvény ala-



7. ábra: Utca csatorna hatás



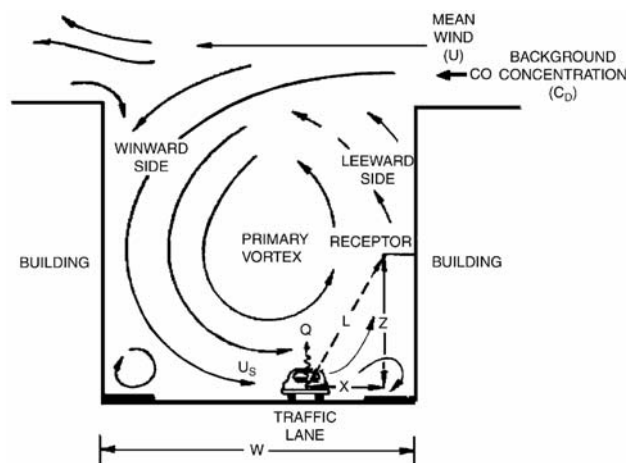
kul ki, amelynek tengelye közelítően párhuzamos az utca hossz tengelyével (8. ábra). Ezt utca örvény hatásnak nevezhetjük. Az örvény a szél felőli oldalra (8. ábrán jobb oldalra) viszi a közlekedési eredetű szennyezőanyagot, így ott a szél alatti (bal) oldalon lévő koncentráció 4-6 szorosra is kialakulhat. Ugyanennek a hatásnak az eredménye látható a Soroksári úton az áramlás numerikus szimulációjával kapott 9. ábrán, ahol a két épületsorra merőlegesen, balról jobbra áramló nyugati szél hatására kialakuló utca örvény sebességvektorai és az ennek hatására kialakuló szennyezőanyag koncentráció megoszlás látható.

A 10. ábra a Millenniumi Városcsopont felépülése előtt és után mutatja a közeli forrás hatás következményeként létrejövő levegőszennyezettséget és az utca örvény hatását, amely akkor jött létre nyugati széliránynál, amikor a magasabb épületek megépültek.

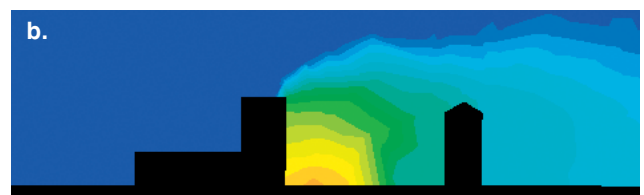
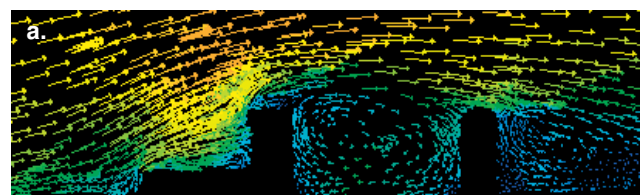
A 10. a. és c. ábrán látható, hogy a Városcsopont felépítése előtt a nagy forgalmú úton keletkező kipufogógáz a szél közvetlenül ráfújta a járdára és

az épületekre, és a szennyeződés bejutott a mellékutcákba is. A Millenniumi Városcsopont felépülése után (10. b. és d. ábra), a 9. ábrán látható utca örvény jön létre, és jelentősen csökken a koncentráció az úttesten, és megszűnik a levegőszennyezettség a mellékutcákban. Az új épületek közötti nyitott utcák tiszta levegőt szállítanak a nagy forgalmú útra, csökkentve annak talaj közeli szennyezettségét (10. b. és d. ábra). A 10 c) és d) ábra összehasonlításából világosan kitűnik, hogy Soroksári úton és Ferencváros attól keletre eső részén nyugati széliránynál jelentősen csökken a levegőszennyezettség. Más, pl. keleti széliránynál az új épületek hatására a Soroksári úton nő, máshol változatlan marad a szennyező koncentrációja. Miután a vizsgált városrésznél az ÉNY, Ny és DNY szélirány dominál, az új épületek hatására a Soroksári úton és Ferencváros vizsgált részén az éves és a csúcsórai koncentráció átlag egyaránt 12%-kal csökken.

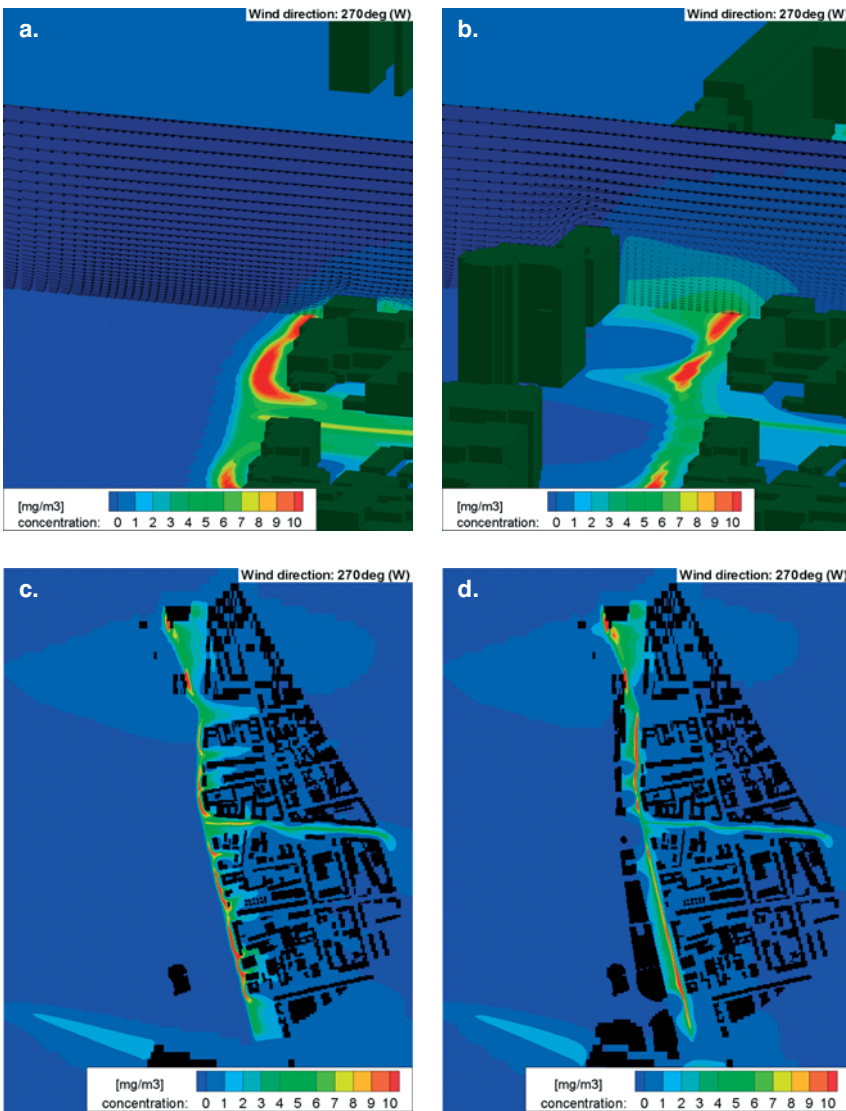
Felmerül a kérdés, hogy mi az oka ennek a koncentráció csökkenésnek,



8. ábra: Az utca örvény és hatása a szennyezőanyag terjedésre



9. ábra: Az utca örvény sebességtere és a hatására kialakuló szennyező koncentráció megoszlás (szélirány balról jobbra)



10. ábra: Szennyező koncentráció megoszlás a Millenniumi Városcsopont nélkül (a. és c. képek), és a Városcsopont megépítése után (b. és d. kép)

hol áramlik el az a kipufogógáz mennyiség, amely a talaj közelében nem okoz koncentrációnövekedést. Tekintsük a 9. ábrát, majd a 6. és 11. ábra jobb oldalán látható koncentráció megoszlásokat. A 9. ábrán látható, hogy az új, nagy épületsor hatására adott széliránynál létrejön az utca örvény, az utcán keletkező szennyező a magas épület felé, majd annak homlokfala mentén felfelé áramlik, és tetőmagasság fölött fordul szélirányba. A magas épület tehát ilyen széliránynál mintegy „felemeli” az úttesten keletke-

ző szennyeződés nagy részét. Ezáltal ugyanannyi szennyeződés sokkal nagyobb keresztmetszeten áramlik át, tehát koncentrációjának csökkennie kell. A 6.b. és 11.b. ábrát összehasonlítva megállapítható, hogy nagy épület esetén a kisebb épület mögötti függőleges síkban a koncentráció sokkal kisebb, mint nagy épület nélküli esetben.

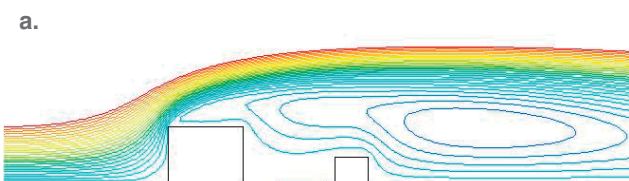
Hasonló eredményre vezetett a Mamut 2 épület Széna tér szennyezettségére gyakorolt hatásának szélcsatorna vizsgálata: a nagy épület „magára húz-

ta” és felemelte a Margit körúton keletkező szennyeződést, amely a Mamut 2 épületének megépítése előtt akadálytalanul áramolhatott a domináns szélirány esetén a Széna térre. Északi és északnyugati szélnél a Széna téren a légszennyezettség 46% és 60% csökkenését mértük a szélcsatornában. Déli és nyugati szélnél az épület ugyanott 19% és 30% koncentrációnövekedést okozott. (A Széna téren a szélirány gyakoriság szerint súlyozott éves koncentráció átlag 21%-kal csökken az épület hatására.)

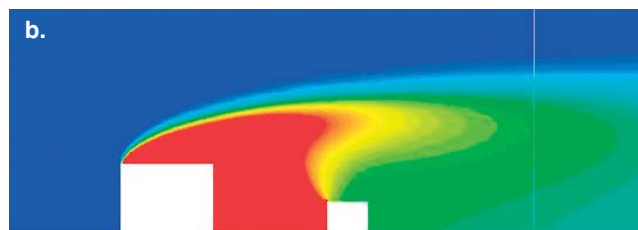
A 10. b. és d. ábrán a Soroksári úton látható kék, kis koncentrációt jelző foltok mutatják, hogy az utca örvény hatás jelentősen redukálható, ha a nagy forgalmú utcára közel merőleges, az uralkodó széliránnyal közel párhuzamos mellékutcákon keresztül tiszta levegő áramlik a nagy szennyezettségű területre.

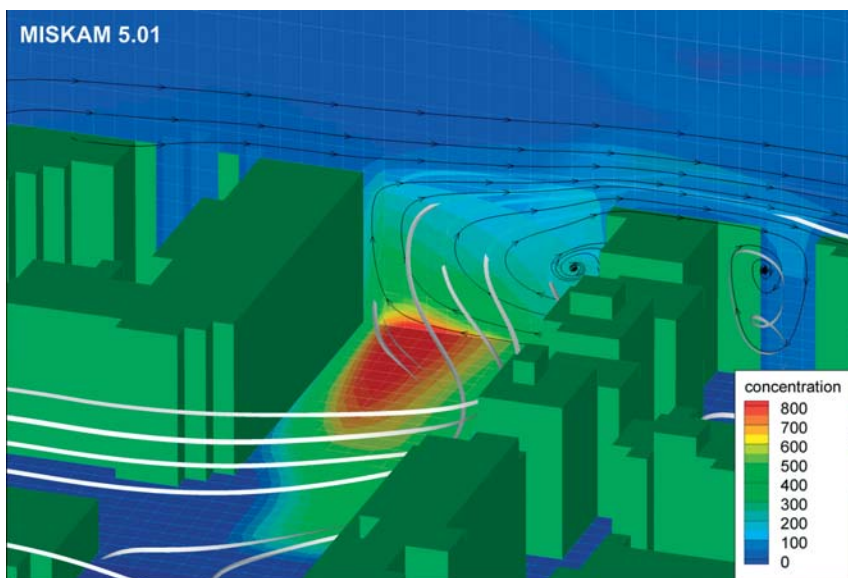
e) Ha a szél egy kétoldalt épületekkel határolt utca tengelyével 30-70° szöveget zár be, az utca csatorna hatás és az utca örvény hatás együtt érvényesül: az utcában egy vízszintes tengely körül spirális áramvonalakkal jellemezhető áramlás alakul ki. Ezt kombinált utca csatorna és utca örvény hatásnak nevezhetjük. Emiatt az áramlás irányában, az utca hossza mentén nő a koncentráció, és jelentős különbség van az utca két oldalán lévő szennyezettség között: a szél felőli házsor tövében sokkal nagyobb a koncentráció. Ilyen esetet látunk a Bocskai út egy rövid szakaszán (12. ábra), aminek eredményeként éppen a buszmegállóban a legnagyobb a légszennyezettség.

f) A közlekedési eredetű szennyeződés mértékét és eloszlását jelentős mértékben befolyásolja a városi tereken, utakon lévő növényzet: fák, bokrok, amelyeket a 13. ábrán látható módon modelleztünk szélcsatorna vizsgálatainknál. Ezt a jelenséget növényzet hatásnak nevezhetjük. Ahogyan ezt korábban megállapítottuk, időegységenként adott mennyiségű kipufogógáz keletkezése esetén a szennyezőt elszállító levegőben annál nagyobb a koncentráció, minél kisebb annak áramlási sebessége (annál kevesebb levegőben keveredik el az adott szennyező anyag). Vizsgálataink a szakirodalommal összhangban arra a megállapításra vezettek, hogy a nö-



11. ábra: A magas épület „felemeli” a szennyezőt





12. ábra: Kombinált utca csatorna és utca örvény hatás

vényzet a levegőszennyezettség szempontjából káros lehet, ha a kipufogó gázok felszabadulása és a levegőbe keveredés helye előtt lassítja az áramló levegőt. Így pl. egy forgalmas út hosszában, vagy egy téren elhelyezett fák jelentősen növelhetik a szennyező koncentrációt. A növényzet hatása akkor lehet kedvező, ha a fákat, bokrokat a kipufogógázokkal elkeveredett, szennyezett levegő kormányzására: a védett területekről való eltérésre, a magasba való „felemelésre”, vagy a tiszta levegővel történő intenzívebb elkeveredésre alkalmazzuk.

Magas épületek hatása a városok levegőjének szennyezettségére

Magas épületek közelében az épület körüli áramlás strukturái nagymértékben befolyásolhatják a helyi koncentráció értékét. Ez a hatás, amelyet magas épület hatásnak nevezhetünk, csökkentheti a talaj szint közelében a levegő szennyezettségét.

A 14. ábrán a 110 m és 74 m magas Raiffeisen tornyok és a környező épületek 1:150 léptékű modellje látható a BME Áramlástan Tanszék vízszintes recirkulációs szélcsatornájában, amelynek felhasználásával a Finta Stúdió és a TM Janeda Kft. megbízásából a tornyokra ható szélerőket és az épületek légszennyezettségre gyakorolt hatását elemeztük. Ez utóbbi vizsgálatok eredményeként a magas épületek közlekedési eredetű szennyezők légköri transzportjára gyakorolt hatásával kapcsolatban érdekes eredményekre jutottunk, amelyek a magas épületekre terjesztették ki a korábban az utca örvény tárgyalásánál közölt tapasztalatainkat.

Ha a szél közel merőlegesen fúj egy magas épület függőleges sík homlokfelületére, akkor azon torlópont alakul ki, amely alatt a magasban áramló tiszta levegő lefelé áramlik. A 15. ábrán két, olajköddel történő áramlás szemléltetés eredménye látható: a magasabb torony széllel szembe forduló homlokfalának alsó részén lefelé

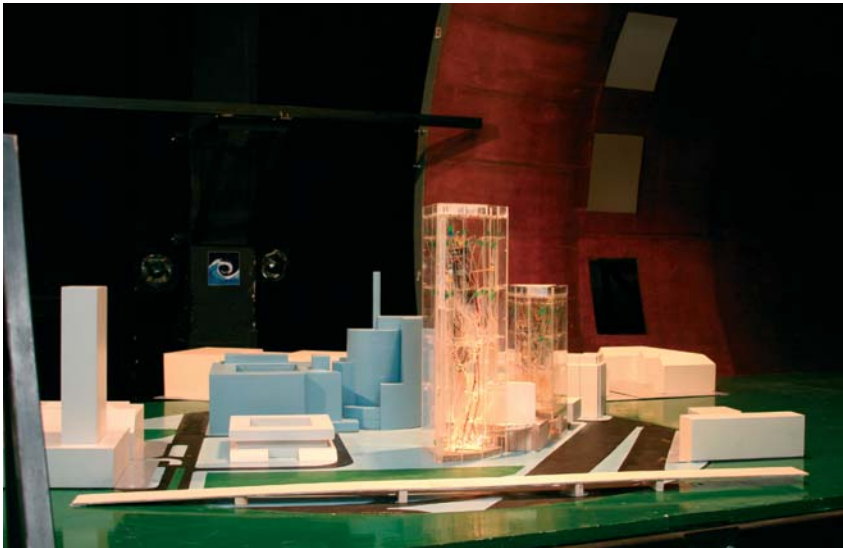
áramlik a magasból a levegő. Ezáltal a talaj közelében lévőnél sokkal tisztább levegő kerül a járda szint közelébe, jelentősen csökkentve ott a levegő szennyezettségét.

Ennél markánsabb hatása van az áramlási irány szempontjából a magas épületek mögött (szél alatt) kialakuló, az egész épület magasságában kialakuló leválási buboréknak, amelyben az utcaszinten lévő levegő intenzív, függőleges, turbulens transzportját figyelhetjük meg. A 16. ábra bal oldalán lévő képen északi szélnél (áramlás a képen balról jobbra) a Nyugdíjbiztosító 72 m magas épületének modellje előtt, az utca szintjén bevezetett, füsttel láthatóvá tett levegő felemelkedését látjuk. A talaj közelében, az úttest modelljének felületével párhuzamosan, a szélirányra merőlegesen bevezetett olajköd tartalmú levegő teljes egészében felemelkedett az épület homlokfalát beborító leválási buborékban, majd magasabb levegőrétegekben keveredett el. A 16. ábra jobb oldalán pedig a Rendőrpalota egyszerűsített árboc modellje mögött kialakuló leválási buborék is „megtelt” a talajszint közelében bevezetett füsttel.

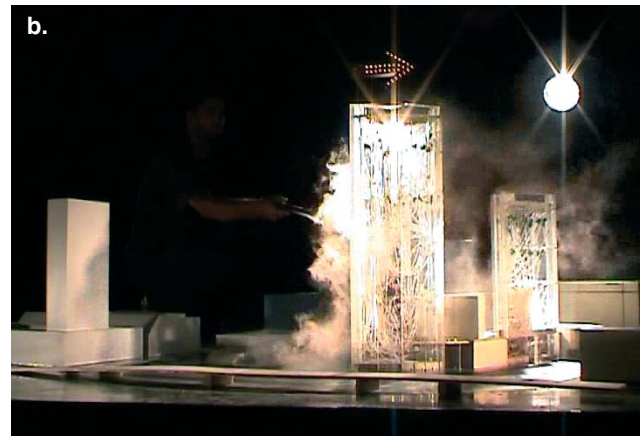
A 17. ábrán északi szél esetén közvetlenül a Róbert Károly körút modelljének talaj szintjén bebocsátott olajköddel láthatóvá tett levegő feláramlása látható a Raiffeisen tornyok szél alatti részén kialakuló leválási buborékban (a. és c. kép). A képeken igen intenzív feláramlás, a szennyező hígulása és a magasabban áramló levegővel való elkeveredése látható (b. kép). Az épületet felülről mutató d. jelű képen megfigyelhető, hogy a talajszinten bevezetett levegő teljes egészében felemelkedik az épület mögötti leválási buborékban. A valóságban ennek a forgalmas úton a magas épületek környezetében keletkező kipufogógázok felemelése, és ezáltal a talajszinten a levegőszennyezettség nagymértékű csökkenése felel meg. Ez a jelenség az Raiffeisen tornyok elhelyezkedéséből adódóan északnyugat és északke-



13. ábra: A növényzet modellezése a szélcsatornában



14. ábra: A Raiffeisen épületcsoport és a környező épületek modellje a szélcsatornában



15. ábra: Az épület széllel szembe forduló homlokzatának alsó részén a magasból tisztább levegő áramlik le (az olajkőd bevezetés az a. képen alacsonyabban, a b. képen magasabban)



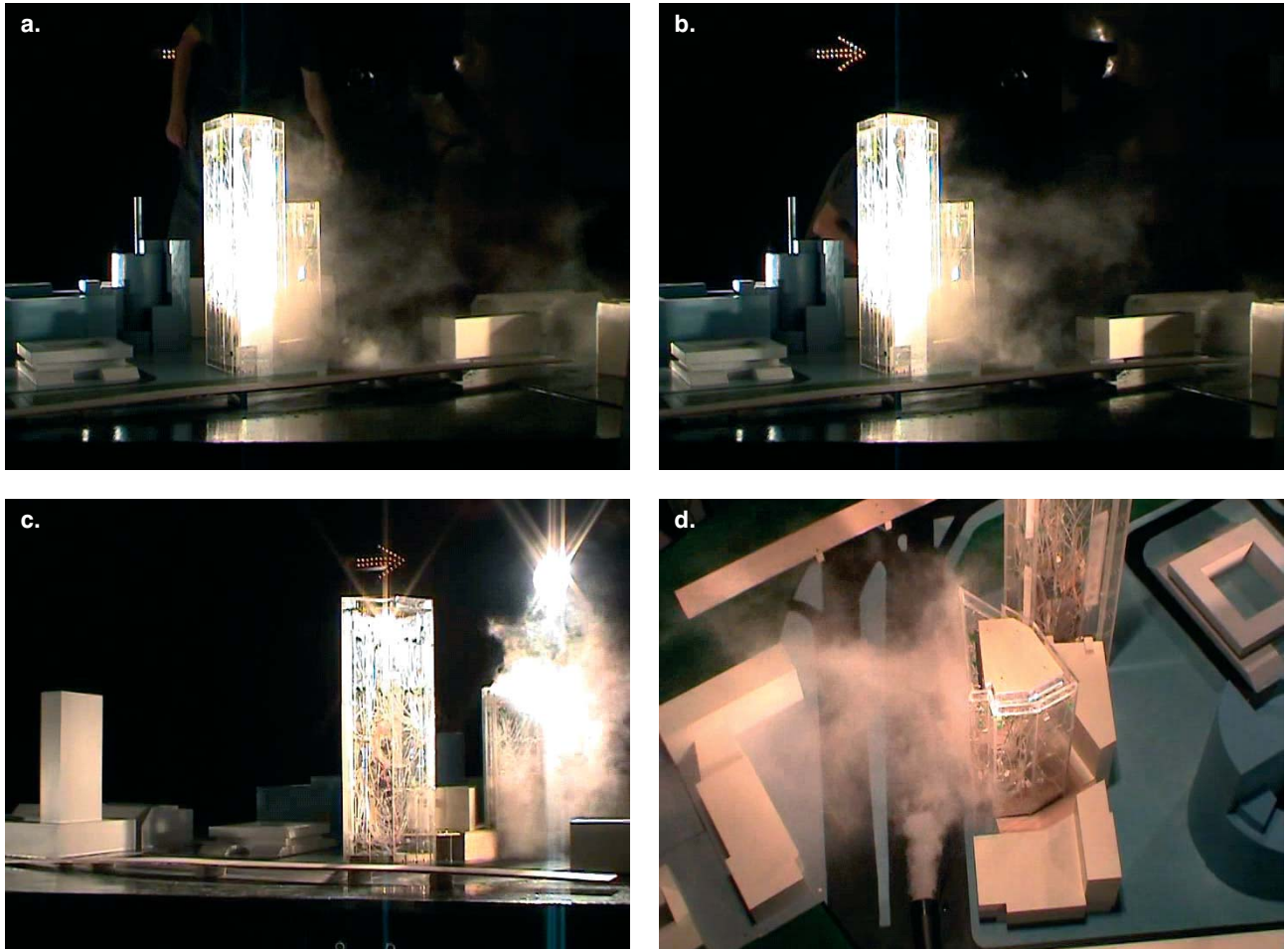
16. ábra: A Nyugdíjbiztosító épület és a Rendőrpalota árbc modellje mögött kialakuló leválási buborék „felemeli” az utcaszinten kibocsátott szennyezőt

let közötti szélirányok esetén azaz – mivel ebbe az intervallumba esnek Újpesten a leggyakoribb szélirányok – az év közel felében létrejön.

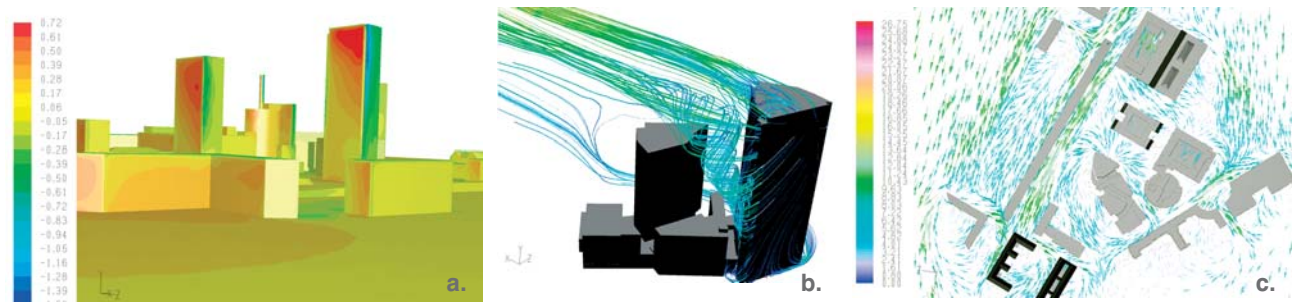
A 18. ábrán a Raiffeisen tornyok és a környezetükben lévő épületek körüli

áramlás numerikus szimulációjával kapott eredményeket mutatja. Az a. ábrán az alakító tényező megoszlás látható az épületek felületén, amelyből a szél-erők meghatározhatók. A b. ábra a magasabb torony szél felőli homlokzata

közlelőből indított áramvonalak egy örvény kialakulását mutatják a két épület között. A c. ábrán a sebesség szerinti színezett nyilak pedig az utca szinten mutatják a szél irányát és nagyságát, azaz a járkelők szélkomfortját (a szá-



17. ábra: A talaj közelében bevezetett, olajköddel láthatóvá tett levegő felemelkedése a Raiffeisen tornyok hatására.



18. ábra: A Raiffeisen tornyok körüli áramlás numerikus szimulációjával kapott eredmények

mításokat 100 m magasságban 20 m/s sebességnél végeztük). A numerikus szimuláció lehetőséget ad a kipufogó gázok terjedésének számítására is.

Következtetések

Az épületek körüli áramlás jellemzői jelentős mértékben befolyásolják a közlekedési eredetű légszennyezés terjedését és mértékét városi környezetben.

A szennyező terjedés különböző mechanizmusainak a szélviszonyok ismeretében történő tudatos alkalmazá-

sával jelentős, kedvező hatás gyakorolható a városi légszennyezettségre.

A legfontosabb feladat a közeli forrás által a járda szintje közelében okozott kiemelkedően nagy szennyezettség elkerülése. Az ugyancsak nagy szennyező koncentrációt okozó utca csatorna és utca örvény által okozott nagy immiszió mérsékelhető az uralkodó széliránnyal közel párhuzamos utcák házsorainak megnyitásával, elhúzásával, a szennyező „kiterelésével”.

A talaj közeli légszennyezettség jelentős csökkentésére adnak lehető-

séget a nagy forgalmú utak mellé épített magas épületek, amelyek szél feletti részén tisztább levegő áramlik le, szél alatti része pedig „felemeli” a talaj közeléből a magasba a szennyeződést.

A légszennyezettség, valamint annak csökkentésére irányuló építészeti, városrendezési és forgalomszervezési intézkedések hatásának prognosztizálására egyaránt alkalmasak az eddig főként a szélterhelés megállapítására alkalmazott szélcsatorna modellkísérletek és az áramlás numerikus szimulációja.