

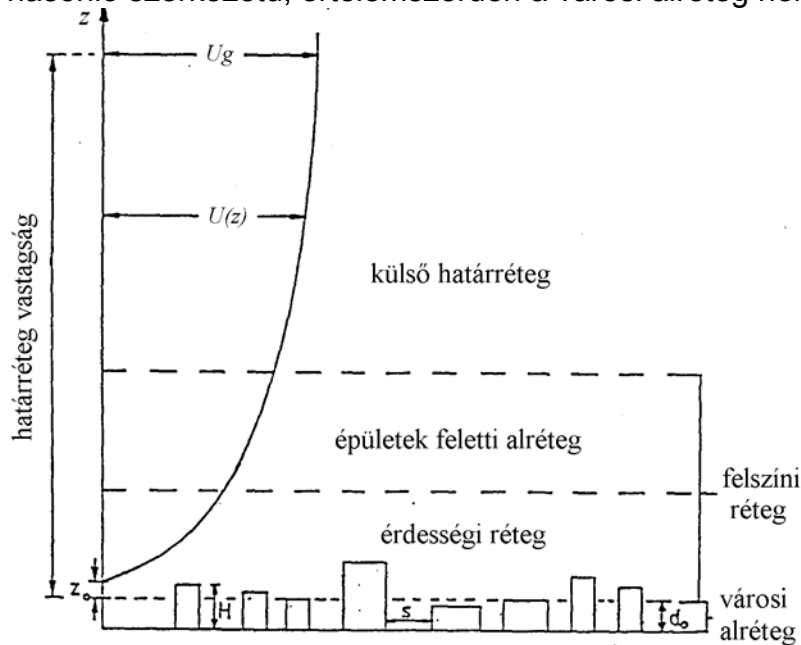
Atmoszférikus határreteg modellezése szélcsatornában

Atmoszférikus határreteg szélcsatorna modellezésére diszperziós, szélterhelés és szélkomfort vizsgálatoknál van szükség. A szimuláció során a valós határreteg jellemzőit kell leképezni. A valóságban időpillanatról időpillanatra változó szélesség vektort felírhatjuk három, egymásra merőleges szélkomponens (u , v , w) összegeként. Az egyes komponensek tovább bonthatók egy időben állandó és egy arra szuperponálódó ingadozó komponensre.

$$u(x, y, z, t) = \bar{u}(x, y, z, t) + u'(x, y, z, t) \quad (1.)$$

Teljesen hasonló felbontás definiálható a u -ra merőleges v (vízszintes) és w (függőleges) komponensekre is.

Az 1. ábra városi határreteg szerkezetét mutatja. Nem városi környezetben kialakuló határreteg teljesen hasonló szerkezetű, értelemszerűen a városi alréteg nem definiált.



1. ábra Atmoszférikus határreteg szerkezete

Az atmoszférikus határreteget egy külső és egy belső határretegre bonthatjuk. A belső határreteg további alrétegekre bontható. A városi alréteg vastagsága az épületek méretétől függ (1. táblázat). A felszíni réteg érdességi és épületek feletti alrétegre bontható, jellemzője az állandó impulzusáram (lásd később). Az alábbiakban a határreteg jellemzőit, a modellezéshez elengedhetetlen hasonlósági törvényeket és átszámítási módszereket ismertetem.

Időátlagolt sebességprofil

A főáramlás irányában vett időátlagolt szélesség, $\bar{u}(z)$, magasságfüggése az alábbi közelítő összefüggéssel vehető figyelembe:

$$\frac{\bar{u}(z)}{u_{ref}} = \left(\frac{z - d_0}{z_{ref} - d_0} \right)^\alpha \quad (2.)$$

ahol:

α	profilkitevő [-]
z	felszín feletti magasság [m]
z_{ref}	referenciamagasság [m]
u_{ref}	átlagos szélesség z_{ref} magasságban [m/s]
d_0	profileltolási magasság [m]

A talajközeli rétegben (felszíni réteg, 100 m alatti tartomány, *Kraus, 1970*) ahol állandó impulzusáramot (a csúsztatófeszültség az egész felszíni rétegben megegyezik a fali csúsztatófeszültséggel, $\tau = \tau_0 = \text{állandó} \Rightarrow u_* = \text{állandó}$) feltételezünk, a logaritmusos faltörvény érvényes:

$$\frac{\bar{u}(z)}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{z - d_0}{z_0} \right) \quad (3.)$$

ahol:

u_*	súrlódási sebesség [m/s]
κ	Kármán konstans $\approx 0,4$
z_0	érdességmagasság [m]

A profileltolási magasság a sebességprofil érdességi elemek (épületek, vegetáció) miatti eltolódását jellemzi, értéke függ az érdesség alakjától, magasságától és sűrűségétől, átlagos értéke nagyváros esetén az átlagos épületmagasság 70%-a. A *VDI 3783 Part 12 (2000)* négy különböző felülettípust definiál.

Érdességi osztály	Kismértékben érdes	Közepesen érdes	Érdes	Kiemelten érdes
Felület típusa	Jég, hó, vízfelület	Mező, rét, mezőgazdasági területek	Park, elővárosi terület	Erdő, nagyvárosi terület
z_0 [m]	$10^{-5} - 5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3} - 10^{-1}$	0.1 – 0.5	0.5 - 2
α [-]	0.08 – 0.12	0.12 – 0.18	0.18 – 0.24	0.24 – 0.4
d_0 [m]	≈ 0	≈ 0	$\approx 0.75 \cdot h$	$\approx 0.75 \cdot h$

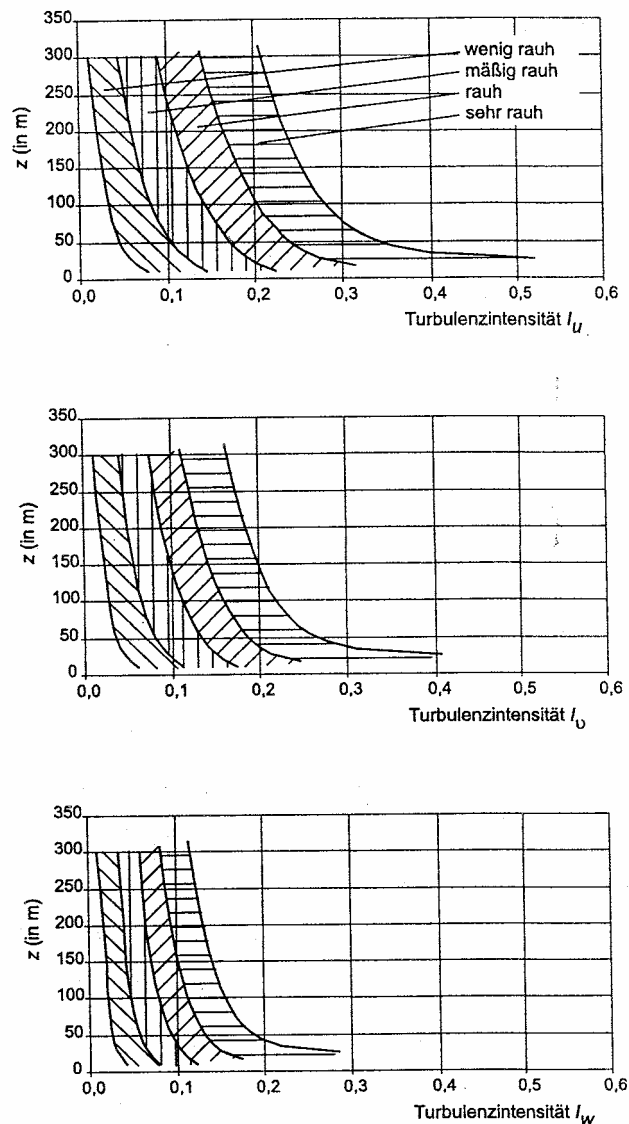
1. táblázat Sebességprofil jellemzői különböző felülettípusok esetén

Turbulencia

Az turbulens sebesség-ingadozás mértékére jellemző turbulencia intenzitás a szélesség komponens szórása (RMS), $\sigma_i(z)$ és az adott magasságban érvényes, főáramlás irányában vett átlagos szélesség hányadosaként értelmezhető:

$$Tu_i(z) = \frac{\sigma_i(z)}{\bar{u}(z)} \quad (4.)$$

$i = u, v, w$



2. ábra Turbulencia intenzitás különböző felülettípusok esetén

Az atmoszférikus határreteg talajközeli rétegében a különböző irányokba vett szórások értékei közt szoros kapcsolat definiálható (Lumley, Panofsky, 1964, Arya, 1982) :

$$\sigma_u : \sigma_v : \sigma_w = 1 : 0.75 : 0.5$$

Vagy a súrlódási sebességgel kifejezve:

$$\sigma_u = 2.45 \div 2.5 \cdot u_*$$

$$\sigma_v = 2.2 \cdot u_*$$

$$\sigma_w = 1.25 \cdot u_*$$

Az 2. ábra mutatja az ESDU (1985) által különböző felülettípusok esetére megállapított turbulencia intenzitásokat. Az ábrán látható profilok az épületek, vagy akadályok feletti 10 m-es magasságtól érvényesek.

A turbulens kinetikus energia spektrális megoszlását (vagyis a különböző méretű örvényekre jutó energia eloszlást) a teljesítmény sűrűség spektrum írja le. A mikrometeorológiai tartományban az alábbi dimenziótlan összefüggés érvényes:

$$\frac{f \cdot S_{uu}(f, z)}{\sigma_u^2(z)} = \frac{A \cdot f_{red}}{(E + B \cdot f_{red}^C)^D} \tag{5.}$$

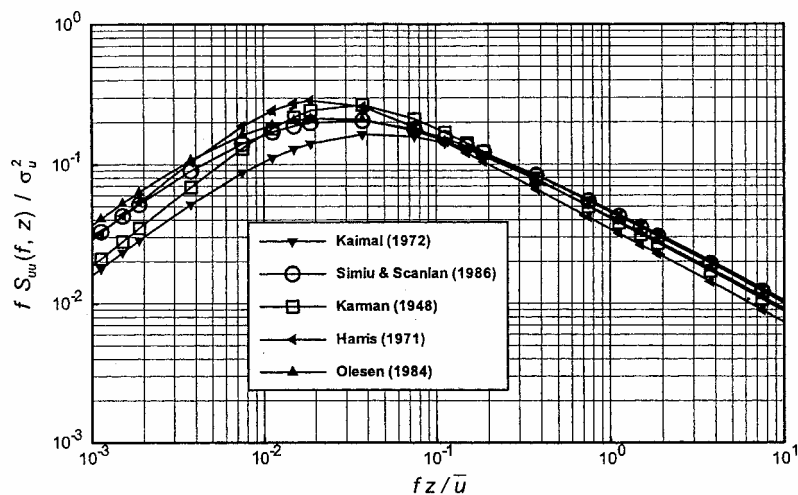
ahol:

- f a sebességingadozás frekvenciája [Hz]
- $S_{uu}(f, z)$ az u komponens teljesítmény sűrűség spektruma [m^2/s]
- f_{red} redukált frekvencia [-]
- A ... E állandók
- $\sigma_u(z)$ az u' komponens szórása [m/s]

Approximationskonstanten	A	B	C	D	E	f_{red}
Kaimal (1972)	16,8	33,0	1	5/3	1	$\frac{f \cdot z_{ref}}{u_{ref}}$
Simiu, Scanlan (1986)	32,0	50,0	1	5/3	1	$\frac{f \cdot z_{ref}}{u_{ref}}$
Von Kármán (1948)	4,0	70,78	2	5/6	1	$\frac{f \cdot L_{ux}}{u_{ref}}$
Harris (1971)	0,64	1,0	2	5/6	2	$\frac{1800 \cdot f}{u_{10}}$
Olesen (1984)	40,42	60,62	1	5/3	1	$\frac{f \cdot z_{ref}}{u_{ref}}$

2. táblázat Konstansok a teljesítmény sűrűség spektrumának becsléséhez (VDI 3783 Part 12)

A teljesítmény sűrűség spektrum magasság szerinti változását a redukált frekvencia, f_{red} segítségével lehet leírni (Kaimal és szerzőtársai, 1972, Simiu és Scanlan, 1986, Olesen és szerzőtársai, 1984). Kármán (1948) az integrál hosszlépték bevonásával a turbulencia magasság szerinti változását is figyelembe veszi. Harris (1971) közelítése csak a talajközeli (max. 20m) érvényes és magasságfüggést nem vesz figyelembe.



3. ábra A turbulens kinetikus energia spektrális megoszlása a mikrometeorológiai tartományon

Hasonlósági törvények

A szélcsatornában modellezett atmoszférikus határréteg ill. diszperziós folyamat hasonlóságát a leíró differenciálegyenletek és az ún. egyértelműségi feltételek (kezdeti- és peremfeltételek) dimenziótlan formáinak azonossága biztosítja. A dimenziótlan differenciálegyenletek hasonlósága a dimenziótlan paraméterek (együtthatók) azonos értéken tartásával biztosítható (mind a nagy kivitel, mind a modell esetére). Azonban ez gyakran nem lehetséges, ekkor a szimulált jelenség szempontjából fontos paraméterek betartása szükséges. Az atmoszférikus határréteg áramlás leírása tapasztalati összefüggésekkel és nem egzakt differenciálegyenletekkel történik, így a hasonlósági paraméterek is ezekre a dimenziótlan, ám tapasztalati összefüggésekre vonatkoznak. Az atmoszférikus határréteg áramlás és a határrétegben lejátszódó diszperziós folyamatok egzakt modellezése az alábbi hasonlósági feltételek betartását követeli:

Geometriai hasonlóság

A permfeltételek azonosságának biztosításához elengedhetetlen a geometriai hasonlóság. Ez azt jelenti, hogy minden hosszdimenziójú mennyiséget azonos lépték, az ún. modell-lépték szerint kell transzformálni. A modell-lépték meghatározása áramlási és modellezési kritériumok alapján történik.

Hozzááramlás hasonlósága

A terjedési folyamatok modellezésénél elengedhetetlen a modellt elérő áramlás (hozzááramlás) és az atmoszférikus határréteg áramlás hasonlósága. Ez a feltétel három dimenziótlan jellemző állandó értéken tartásával valósítható meg:

$$\left[\frac{\bar{u}(z)}{u_{ref}} \right]_{mod\ ell} = \left[\frac{\bar{u}(z)}{u_{ref}} \right]_{nagy\ kivitel} \quad (6.)$$

A fenti feltétel a dimenziótlan sebességprofil azonosságát jelenti, ez egyben azt is jelenti, hogy a sebességprofil hatványkitevője meg kell, hogy egyezzen a modell és a nagy kivitel esetén, míg a referenciamagasság (z_{ref}), érdességi magasság (z_0), profileltolási magasság (d_0) a modell-lépték szerint transzformálódik. Általában a szélcsatornában beállítandó szélesebbesség megegyezik a valós szélesebbességgel (a függőleges menti eloszlása is).

A turbulens tulajdonságok valóság-hű modellezésének feltétele a függőleges turbulenciaprofil (7.) és a turbulens kinetikus energia spektrális eloszlásának azonossága (8.).

$$\left[\frac{\sigma_i(z)}{u(z)} \right]_{mod\ ell} = \left[\frac{\sigma_i(z)}{u(z)} \right]_{nagy\ kivitel}, \quad i = u, v, w \quad (7.)$$

$$\left[\frac{f \cdot S_{uu}(f, z)}{\sigma_u^2(z)} \right]_{mod\ ell} = \left[\frac{f \cdot S_{uu}(f, z)}{\sigma_u^2(z)} \right]_{nagy\ kivitel} \quad (8.)$$

A turbulencia integrál hosszléptéke (a turbulens áramlásban lévő örvények méretére jellemző mennyiség) a modell-léptékkal transzformálódik (hossz dimenziójú mennyiség). A modell-lépték (m) meghatározása a 6-8. feltételek teljesülése mellett az integrál hosszléptékek arányaként adódik.

$$m = \frac{[L_{ux}]_{mod\ ell}}{[L_{ux}]_{nagy\ kivitel}} \quad (9.)$$

A fenti meghatározás azonban csak egy adott modell-léptéket eredményez, amely számos esetben nem tartható (modellezendő terület nagysága, egyéb modellezési kritériumok, stb.), ezért egy, a fentiek alapján meghatározott modell-lépték körüli tartomány kijelölésével a problémák feloldhatók.

Épületek körüli áramlás hasonlósága

Az épületek körül kialakuló áramlás hasonlóságának feltétele a tehetetlenségi és súrlódásból származó erők arányának azonossága, amit a Reynolds-szám fejez ki:

$$Re = \left[\frac{u_{ref} \cdot L_{ref}}{\nu} \right]_{mod\ ell} = \left[\frac{u_{ref} \cdot L_{ref}}{\nu} \right]_{nagy\ kivitel} \quad (10.)$$

ahol

L_{ref} jellemző méret (pl. egy épületnél a valós, városrész esetén az átlagos épületmagasság) [m]

u_{ref} jellemző sebesség a jellemző méret által meghatározott magasságban [m/s]

ν kinematikai viszkozitás [m²/s]

Mivel a szélcsatorna kísérleteknél és a valóságban is az áramló közeg levegő, a Reynolds-szám azonossága azt jelenti, hogy a valóságos szélesség modell-lépték szeresét kell a szélcsatornában beállítani, ami a szokásos modell-lépték (pl. 1:500) esetén olyan nagy sebesség lenne, amit már csak a levegő összenyomhatósága következtében felmerülő feltételek miatt sem lehet alkalmazni.

Az épületek formájától függően azonban egy kritikus Reynolds-szám felett az áramlás hasonlónak tekinthető. Éles peremű épületek esetére (ahol a leválás helye jól definiált) *Plate* () $Re_{krit}=5 \cdot 10^4$ értéket állapított meg, míg *Castro (1982)* szerint ez a határ bizonyos épületformákra $Re_{krit}=2 \cdot 10^4$. A *VDI 3782 Part12* előírása szerint épületek közti szennyezőanyag terjedés vizsgálata esetén az alábbi feltétel betartása elegendő a hasonlóság biztosításához:

$$Re_{mod\ ell} = \frac{u_{ref} \cdot H}{\nu} \geq 10^4 \quad (11.)$$

ahol:

H az épület magassága, városrész modellezése esetén az átlagos épületmagasság [m]

A fenti feltétel alapján meghatározható a minimális megfúvási sebesség.

Szennyezőanyag forrásokra vonatkozó hasonlósági kritériumok

Felhajtóerő-mentes (nem emelkedő) kibocsátás esetén a szél és a kibocsátás momentum fluxusainak aránya meg kell, hogy egyezzen a modell és nagy kivitel esetén:

$$\left[\frac{\rho_Q \cdot u_Q^2}{\rho_a \cdot u_a^2} \right]_{mod\ ell} = \left[\frac{\rho_Q \cdot u_Q^2}{\rho_a \cdot u_a^2} \right]_{nagy\ kivitel} \quad (12.)$$

ahol:

ρ_Q a kibocsátott szennyezőanyag sűrűsége [kg/m³]
 ρ_a a levegő sűrűsége [kg/m³]
 u_Q a szennyezőanyag kilépési sebessége [m/s]
 u_a szélesebbég a referenciamagasságban [m/s]

Fontos feltétel továbbá a kibocsátásra jellemző Reynolds-szám azonossága:

$$Re_Q = \left[\frac{u_Q \cdot D}{\nu} \right]_{mod\ ell} = \left[\frac{u_Q \cdot D}{\nu} \right]_{nagy\ kivitel} \quad (13.)$$

ahol:

D hidraulikai átmérő [m]

Emelkedő forrás esetén az előbbi feltételek mellé még két feltétel társul, a sűrűségarány és a Froude-szám azonossága:

$$\left[\frac{\rho_Q}{\rho_a} \right]_{mod\ ell} = \left[\frac{\rho_Q}{\rho_a} \right]_{nagy\ kivitel} \quad (14.)$$

$$Fr_d = \left[\frac{u_Q}{\sqrt{D \cdot \frac{-g \cdot (\rho_Q - \rho_a)}{\rho_a}}} \right]_{mod\ ell} = \left[\frac{u_Q}{\sqrt{D \cdot \frac{-g \cdot (\rho_Q - \rho_a)}{\rho_a}}} \right]_{nagy\ kivitel} \quad (15.)$$

A pontforrásból történő kibocsátás esetén a kilépési keresztmetszetben egyenletes kiáramlást kell létrehozni, ami $Re_Q > 2300$ esetén biztosított. A kibocsátás egyenletességét más forrástípusok esetén is ellenőrizni kell, ami általában kísérleti úton lehetséges csak. *Meroney és szerzőtársai (1996)* ajánlásokat fogalmaznak meg a külső, vonalforrás közeli nyomásingadozás kibocsátásra gyakorolt káros kiküszöbölésére.

Atmoszférikus határreteg létrehozása szélcsatornában

Kellően hosszú előkészítő szakasszal (10-30 m) rendelkező szélcsatornák alkalmasak a atmoszférikus határreteg áramlás szimulálására. Ilyenkor a felületi érdességi elemekkel (szabályosan vagy szabálytalanul elhelyezett kisméretű téglatestek (pár centiméter nagyságrendű), Lego „kockák”) borított előkészítő szakasz felett kialakul a kellően vastag turbulens határreteg. Azon szélcsatornák esetén ahol az előkészítő szakasz hossza nem éri el a fenti mértéket, egyéb kiegészítő elemeket kell alkalmazni, mint pl. turbulencia rácsok, turbulencia generátorok, stb.

A szimulált határretegnek mind az időátlagolt mennyiségek, mind a turbulens tulajdonságok tekintetében hasonlónak kell lennie a valóságos határreteghez, ezt a (6)-(8) feltételek betartása garantálja. A teljes határreteg szimulálása számos esetben nem lehetséges, és nem is szükséges. Elegendő, ha csak az atmoszférikus határreteg alsó részét modellezzük, ennek vastagsága legalább akkora kell legyen, hogy az átlagos épületmagasság háromszor meghaladja, továbbá a legnagyobb épület nem lehet magasabb, mint a szimulált határreteg vastagságának, vagy a mérőtér magasságának fele. Az érdességi Reynolds-szám értéke meg kell, hogy haladjon egy minimális értéket (*Plate, 1982*).

$$Re_* = \frac{u_* \cdot z_0}{\nu} > 5 \tag{16.}$$

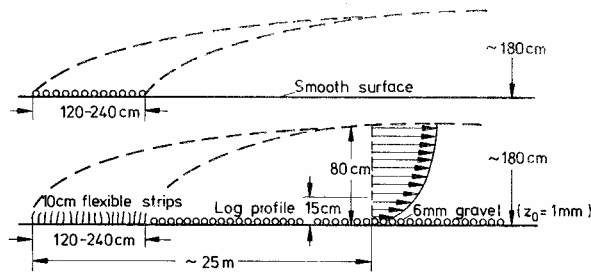
Amennyiben a fenti feltétel nem teljesül, egyéb módon kell a szimulált határréteg alkalmasságát ellenőrizni (*Schatzmann és szerzőtársai, 1993*). Az időátlagolt határréteg sebességprofilnak az egész mérőtér mentén azonosnak kell lennie (természetesen a modell nélkül). Továbbá a statikus nyomás sem változhat a mérőtér mentén, amit a nyomásgradiensre vonatkozó kritérium betartásával lehet elérni.

$$\frac{\left(\frac{\partial p}{\partial x} \cdot \delta\right)}{\left(\frac{\rho_a \cdot u_\delta^2}{2}\right)} \leq 0.05 \tag{17.}$$

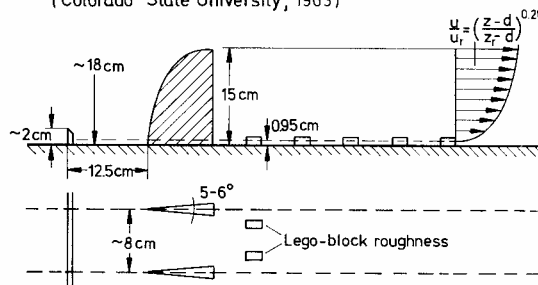
ahol:

δ a határréteg vastagsága [m]

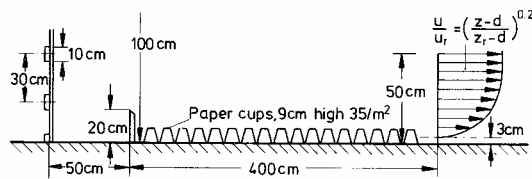
u_δ sebesség a határréteg szélén ($z=\delta$ magasságban) [m/s]



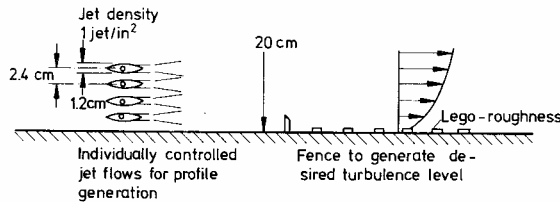
a. Boundary layer generation along test section floor (Colorado State University, 1963)



b. Boundary layer generation with vortex generators (Counihan, 1971)



c. Boundary layer generation with fence (Cook, 1973)



d. Boundary layer generation with jets (Teunissen, 1974)

4. ábra Atmoszférikus határréteg generálási módok (*Plate, 1982*)

A mérőtérbe helyezett modell hatással lehet a modell körüli határréteg áramlásra amennyiben a levegősugár keresztmetszetének és a modell áramlásirányra merőleges

keresztmetszetének aránya egy bizonyos mértéket meghalad. Az előbbi arányt hívják kitakarási, vagy blokkolási aránynak (Φ).

$$\Phi = \frac{A_{\text{modell, vetített}}}{A_{\text{szélcsatorna}}} \quad (18.)$$

ahol:

$A_{\text{modell, vetített}}$ a modell áramlásirányra merőleges keresztmetszete [m^2]

$A_{\text{szélcsatorna}}$ a mérőtér vagy levegősugár keresztmetszete [m^2]

Zárt mérőtérű szélcsatornák esetén $\Phi < 5\%$, míg nyitott mérőtér esetén $\Phi < 15\%$ értékek betartása ajánlott, amennyiben ez nem lehetséges, korrekciót kell alkalmazni.

Átszámítási törvényszerűségek

A szélcsatornában mért értékek nagy kivitelre történő átszámítása, az előző részekben leírt kritériumok betartása mellett transzformációs függvényekkel lehetséges (*Bächlin és Theurer, 1995*). A szélesebbeségek átszámítása a sebességarány segítségével történik.

$$\Psi = \frac{u}{u_{\text{ref}}} \quad (19.)$$

$$\Psi_{\text{modell}} = \Psi_{\text{nagy kivitel}} \quad (20.)$$

A mért átlagos koncentráció értékek az ún. dimenziótlan koncentráció (a terjedési folyamatot leíró differenciálegyenlet dimenziótanítása után adódik) segítségével számíthatók át.

$$c = \frac{K \cdot u_{\text{ref}} \cdot L_{\text{ref}}^n}{Q} \quad (21.)$$

ahol:

K mért tömegkoncentráció [kg/m^3] vagy térfogati koncentráció [m^3/m^3]

u_{ref} referencia sebesség [m/s]

L_{ref} referencia hossz, forrástípustól függ [m]

Q kibocsátás tömegárama [kg/s] vagy térfogatárama [m^3/s] egységnyi értékre vetítve, lásd a 3. táblázat

n kitevő, értékeit lásd a 3. táblázatban

Forrás típusa	Kibocsátás tömegárama	Kibocsátás térfogatárama	n
Pontforrás	m/t	L^3/t	2
Vonalforrás	$\text{m}/\text{t}/\text{L}$	$\text{L}^3/\text{t}/\text{L}$	1
Felületi forrás	$\text{m}/\text{t}/\text{L}^2$	$\text{L}^3/\text{t}/\text{L}^2$	0
Térfogati forrás	$\text{m}/\text{t}/\text{L}^3$	$\text{L}^3/\text{t}/\text{L}^3$	-1

3. táblázat Dimenziótlan koncentráció számításához szükséges forrástípustól függő kitevő ill. a kibocsátás számításának módja

Amennyiben a dimenziótlan koncentráció (21) képletében tömegkoncentrációt veszünk figyelembe, akkor Q is tömegáram kell, hogy legyen. A fenti módon számított dimenziótlan koncentráció értékek közt az alábbi kapcsolat áll fenn:

$$c_{\text{modell}}^* = c_{\text{nagy kivitel}}^* \quad (22.)$$

Szélcsatorna modellkísérletek esetén az időléptékek az alábbi összefüggéssel számíthatók át a valós kivitelre:

$$\left[\frac{t \cdot u_{ref}}{L_{ref}} \right]_{modell} = \left[\frac{t \cdot u_{ref}}{L_{ref}} \right]_{nagy\ kivitel} \quad (23.)$$

Mivel a Reynolds-szám állandósága szélcsatorna kísérleteknél általában nem tartható, a modellezett időbeli folyamatok legfeljebb a spektrum által reprezentált sáv szélességben értelmezhetők.

Irodalomjegyzék

ARYA, S.P. (1982) Atmospheric boundary layer over homogenous terrain, *Engineering Meteorology*, ed. E.J. Plate, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York, pp. 233-266

BÄCHLIN, W., THEURER, W. (1995) Der Einsatz von Windkanälen bei Umweltfragen. Vergleich von Natur- und Modellergebnissen, *Staub-Reinhaltung der Luft*, 55, pp. 383-388

ESDU (1985) Characteristics of atmospheric turbulence near ground, Part II: single point data for strong winds (neutral atmosphere), *ESDU International 85020*

HARRIS, R. (1971) The nature of the wind, *The modern design of wind-sensitive structures*, Construction Industry Research and Information Association, London

KAIMAL, J.C., WYNGAARD, J.C., IZUMI, Y., COTE, O.R. (1972) Spectral characteristics of surface layer turbulence, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, No. 417, pp. 563-589

KRAUS (1970) Die Energieumsätze in der bodennahen Atmosphäre, *Ber. DWD Band 16*, Nr. 171

LUMLEY, J.L., PANOFKY, H.A. (1964) The structure of atmospheric turbulence, *New York, London, Sydney: Interscience Publishers, a division of John Wiley and Sons*

MERONEY, R.N., PAVAGEAU, M., RAFAILIDIS, S., SCHATZMANN, M. (1996) Study of line source characteristics for 2-D physical modelling of pollutant dispersion in street canyons, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 62, pp. 37-56

OLESON, H.R., LARSEN, S.E., HOJSTRUP, J. (1984) Modelling velocity spectra in the lower part of the planetary boundary layer, *Boundary Layer Meteorology*, 29, pp. 285-312

PLATE, E.J. (1982) *Engineering Meteorology*, ed. E.J. Plate, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York

SCHATZMANN, M., SNYDER, W.H., LAWSON R.E. (1993) Experiments with heavy gas jets in laminar and turbulent cross flows, *Atmospheric Environment*, 27A, No. 7., pp. 1105-1116

SIMIU, E., SCANALAN, R.H. (1986) Wind effects on structures - Part A: The Atmosphere, *John Wiley and Sons*

VON KÁRMÁN, TH. (1948) Progress in the statistical theory of turbulence, *Proc. Nat. Acad. Sci., Washington, D.C.* pp. 530-539

VDI 3783 PART 12 (2000) Environmental meteorology, Physical modelling of flow and dispersion processes in the atmospheric boundary layer, Application of wind tunnels, *VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1b*