

# **TDK dolgozat**

## **A szél torlónyomásának változása az időjárási események és a szabványváltás tükrében**

### **Szerző:**

**Nagy Tamás Bajnok (negyedéves építészhallgató)**

### **Témavezető:**

**Pintér Imre (BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék, egyetemi adjunktus)**

### **Konzulensek:**

**Balogh Miklós (BME Áramlástan Tanszék, PhD hallgató)**

**Dr. Barabás Béla (BME Matematika Intézet, Sztochasztika Tanszék, egyetemi docens)**

**Dr. Erdélyi Tamás (BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék, egyetemi tanársegéd)**

**Dr. Hegyi Dezső (BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék, egyetemi adjunktus)**

**Dr. Visnovitz György (BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék, egyetemi docens)**

## Tartalom jegyzék

I)	Előszó.....	2
II)	Alapfogalmak.....	2
1.	Szél:.....	2
2.	Szélnyírás:.....	3
3.	Szupercella:.....	3
4.	Ciklon:.....	3
5.	Tornádó:.....	3
III)	Elmúlt évek időjárási körképe.....	4
1.	Viharok és viharkárok:.....	4
2.	Tornádók:.....	5
IV)	Szélsébség adatok feldolgozása:.....	6
1.	Források:.....	6
2.	OMSZ és a tanulmány adatainak feldolgozása:.....	6
3.	Az átlagos szélsébség és a pillanatnyi szélsébség összefüggése a ferihegyi adatok alapján:.....	12
4.	A különböző helyeken, időpontokban és mérési körülmények között mért szélsébség adatok standardizálása:.....	13
5.	Az MSZ EN 1991-1-4 Nemzeti Melléklet (NB) számításának vizsgálata:.....	15
V)	Jelenlegi és korábbi szélsébség számítás összevetése:.....	16
1.	A korábbi (MSZ 15021 szerinti) torlónyomás és szélsébség számítás:.....	16
2.	Újabb (MSZ EN 1991-1-4 szerinti) torlónyomás és szélsébség számítás:.....	16
3.	A két számítás értékeinek összevetése:.....	17
VI)	Tanulságok:.....	18
1.	Általában:.....	18
2.	Magamra nézve:.....	18
VII)	További kutatási irányok:.....	18
VIII)	Köszönetnyilvánítás:.....	18
IX)	Források:.....	19
1.	Szöveges információk:.....	19
2.	Képek.....	20

## A szél torlónyomásának változása az időjárási események és a szabványváltás tükrében

### I) Előszó

Tartószerkezeti kérdések iránt érdeklődő építészmérnök hallgatóként akkor kezdett el foglalkoztatni a szél és a torlónyomás témája, amikor 2008-ban (talán május volt) egy nagy vihar után kimentem az utcára, és láttam, hogy a környéken több hirdetőtábla is a földön fekszik. Rögtön kíváncsi lettem, hogy csak a tervező számolt el valamit, vagy a számítás helyes volt és a szélteher értéke túl alacsony. Érdekelni kezdett, hogy vajon a sokat emlegetett klímaváltozás hatással van-e a szélteherre, és ha igen, hogyan.

A dolgozat írása folyamán sok ismerettel gazdagodtam, és hamar rájöttem, hogy nem a legegzaktabb témát választottam. Ahogy egyre jobban beleástam magam a szélteher rejtelmeibe, a klímaváltozás egyre kisebb hangsúlyt kapott és új vizsgálati szempontok kerültek előtérbe, mint például a két érvényes szabvány, az MSz 15021-86 és az MSz EN 1991-1-4:2007 szerinti tervezés, vagy a szélesebbesség alapértékének kérdése.

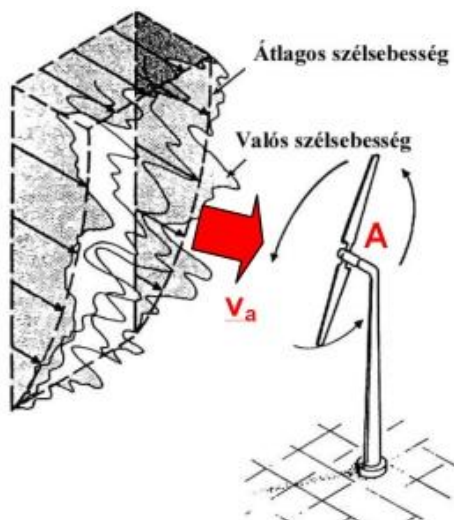
### II) Alapfogalmak

A dolgozat elején szeretnék tisztázni néhány, a dolgozatban is használt meteorológiai alapfogalmat ([16.], [17.], [18.], [20.]):

#### 1. Szél:

Szélnek nevezzük a légkört alkotó levegő közel vízszintes irányú áramlását, amelyet helyi nyomáskülönbségek hoznak létre. Kialakulásának két fő oka van:

- a földfelszín egyenetlen felmelegedése
- a Coriolis-erő (*A Föld forgásából adódó eltérítő erő. Hatása abban nyilvánul meg, hogy a már mozgó testeket a mozgás irányára merőlegesen akarja kitéríteni - az északi féltéken jobbra, a délin balra. A Coriolis-erő nagysága arányos a földrajzi szélességgel és a mozgó test sebességével. Az Egyenlítőn az eltérítő erő horizontális komponense 0, a sarkokon pedig maximális. A Coriolis-erő a mozgó levegőt tehát fokozatosan eltéríti mindaddig, amíg a szél az izobárokkal párhuzamosan nem fúj.*)



1. ábra: a szélesebbesség értelmezése

## 2. Szélnyírás:

A szélnyírás fogalmát, elsősorban a repülésben használják. Leggyakrabban zivataroknál, illetve komolyabb viharoknál (leginkább a zivatarfelhők közelében) jelenik meg. A szélnyírás lehet függőleges vagy vízszintes.

- vízszintes: a szél iránya rendkívül gyorsan (akár másodpercről másodpercre) változik, miközben a nagy sebessége megmarad, vagy kissé módosul.
- függőleges: a lefelé áramló légtömeg saját sebességétől függően különböző irányokban és szögekben hagyja el a területet. Azok a légtömegek, melyek nem képesek elhagyni a területet, a felszínhez csapódnak, és átalakulnak vízszintesen mozgó légtömegekké. Itt a szél sebessége az, ami drasztikusan változik pillanatról pillanatra, míg iránya általában a talajra merőleges marad. Amennyiben a függőleges irányú légtömeg sebessége, iránya és mennyisége elér egy kritikus szintet, átalakul konvektív leáramlássá, amivel kezdetét veszi egy tornádó kialakulása.

## 3. Szupercella:

- egyetlen hosszú élettartamú zivatar cella (órákig megmaradhat)
- mezociklont tartalmaz, mely forgó feláramlást, illetve az ehhez kapcsolódó alacsony légnyomású, frontális jellegű struktúrát jelent
- a többi zivatartípushoz képest ritkán fordul elő, de a pusztítások, heves események nagy százalékáért felelős
- létezése során a heves események teljes spektrumát felvonultathatja (jégszemek átmérője  $\geq 2$  cm és/vagy szélesebbég  $\geq 90$  km/h és/vagy tornádó)
- kialakulásához a nagy labilitás és erős szélnyírás együttes fennállása szükséges

## 4. Ciklon:

A hideg és meleg levegő határvonalán létrejövő hullámból kialakuló igen bonyolult légköri képződmény. A ciklon belseje felé haladva kettős csigavonalban örvénylik a hideg és a meleg levegő. A ciklon közepén légnyomás minimum van. A mérsékelt övi ciklonok átmérője akár 2,5 ezer kilométer is lehet. Ahol a hideg levegő a magasba nyomja a meleg levegőt, ott jelentős csapadék, valamint erős szél képződik. A ciklon akkor szűnik meg, ha a hideg levegő teljesen utolérte a meleglevegőt és minden meleg légtömeget a felsőbb légrétegbe nyomott, így megszűnik a légnyomásminimum és a ciklon eloszlik.

## 5. Tornádó:

A tornádó pusztító erejű forgószélben megnyilvánuló meteorológiai jelenség. Jellemzője, hogy a hevesen örvénylő légoszlop a viharfelhőből indul ki, és a földfelszínnel érintkezik. (A földet el nem érő felhőtölcsért tubának hívják.)

Egy tornádó átlagosan 2-3 percig létezik. Ez idő alatt futja be a több fázisból álló életútját. A tornádók kialakulásának első fázisa az örvénylő fázis, amikor megszületik a felfelé mozgó levegőből (amelyből maga a viharfelhő is kialakul). Ekkor jön létre jellemző tölcser formája is. A következő fázisban az örvény eléri a földet. Ezután gyorsan következik az ún. érett fázis, a legpusztítóbb időszak. A törmelék, amelyet a földről szívott fel a vákuum, sötétre színezi a tölcser alsó részét. Az összeesés fázisában a tornádó gyorsan gyengül és kerülete is egyre kisebb lesz. Végül a hanyatló szakaszban az energiáját pazarló módon felélő szörnyeteg gyorsan gyengül, majd eltűnik. A szélesebbég a legvadabb tornádókban túllépheti az 500 km/órát (139 m/s). A tornádók átlagos szélessége 400-500 méter és általában 6–8 km-en át érintkeznek a felszínnel (a leghosszabb ismert tornádó nyom azonban 350 km-es).

Elsősorban mezociklonális tornádók figyelhetők meg hazánkban, de az elmúlt évtizedben keletkeztek nem mezociklonális eredetű forgószélek is ([10.]).

A tornádók erősségét a Fujita-Pearson-skálán mérik ([15.]). Magyarországon eddig csak F0, F1 és F2 erősségű tornádókat figyeltek meg ([19.]).

- F0 (gyenge), szélesebesség: 65-115 km/h – a kémények ledőlnek, a faágak letörnek, a gyenge gyökérzetű fák és a közlekedési táblák kidőlnek.
- F1 (mérsékelt), szélesebesség: 116-180 km/h – a háztetők felszakadnak, a gépjárművek felborulnak vagy menet közben lesodródhatnak az útról, a faházak összedőlnek.
- F2 (nagy), szélesebesség: 181-250 km/h – a tetőszerkezetek leszakadnak, a gépjárművek összetörnek, a nagyobb fák kitörnek vagy gyökerestül kicsavarodnak, a kisebb tárgyak sodródhatnak a levegőben.
- F3 (erős), szélesebesség: 251-330 km/h – a házak összeroskadnak, a kőházak egymásik fala kidől, a vonatszerelvények felborulnak, minden fa kidől vagy kitörik, a gépjárművek fölemelkednek és métereket mozognak a levegőben.
- F4 (pusztító), szélesebesség: 331-420 km/h – az épületek a föld felszínével lesznek egyenlők, a tetőszerkezetek, faházak, gépjárművek és egyéb nagyobb tárgyak folyamatosan sodródhatnak a levegőben.
- F5 („elképesztő”), szélesebesség: 421-510 km/h – a többszintes és vasbetonházak is összedőlnek, s darabjaik messzire szétszóródnak; a nehéz járművek és darabjaik több száz méternyit repülnek. Katasztrofális pusztítás mindenütt.

### III) Elmúlt évek időjárási körképe

#### 1. Viharok és viharkárok:

Az elmúlt öt évben különösen nagy viharok fordultak elő hazánkban. Minden nyári hónapban legalább kétszer olvashattunk jóval 100 km/h fölötti széllesekéről, tornádókról, a vihar által lebontott tetőhéjalásról és/vagy fedélszerkezetéről, lúdtojásnál nagyobb szemű jégesőkről. (Az esettanulmányok az OMSZ honlapján is megtalálhatóak. [33.]

Pár példa:

- 2006. augusztus 20., Budapest

Négy ember halt meg az ünnepség ideje alatt az utcán a tomboló vihar miatt. ([21.], [22.]

- 2008. július 17., Budapest

Az OMSZ Budapest belterületén 128 km/h-s széllesekét mért. ([23.]

- 2009. június 7. Közép- és Kelet-Magyarország

Nagyon komoly viharok okoztak súlyos anyagi károkat a régiókban. a Kormány külön határozatban rendelte el a helyreállítási munkálatokat, bocsátotta rendelkezésre az anyagi forrásokat, jelölte ki a felelősöket. ([24.], [25.]

- 2009. június 25. Budapest

Komoly széllesek, hihetetlen mennyiségű eső, jégeső, városszerte fák dőltek ki. ([26.]

- 2010. augusztus 16., Diósjenő (Nógrád megye)

A település szélén tornádó rongált meg több épületet. ([27.]

- 2010. június 18., Délalföld

Már reggel kiadta a piros riasztást az OMSZ, 90 km/h feletti szélre lehetett számítani, ami heves jégeső kíséretében be is következett, több, mint 50 középfeszültségű hálózati oszlop és kb. 100 kiefeszültségű hálózati oszlop dőlt ki ([28.]

- 2010. augusztus 15. Szolnok, Eger

A vihar, mely Szolnokon több épületben kárt okozott, Eger mellett tornádóvá alakult. Országsszerte 90 km/h fölötti szélesebességre lehetett számítani, a szél fákat csavart ki, kéményeket döntött le. ([29.]

Fontos megemlíteni, hogy Magyarországon az abszolút maximum szélesebességet idén, 2010. május 17-én mérték az Országos Meteorológiai Szolgálat Kab-hegyi mérőállomásán (Nagyvázsony, Veszprém megye). A műszer 162 kilométer/órás (45 m/s) széllekest jelzett.

A vizsgálatokból kitűnik, hogy a 2006-2010-es időszakban a korábbiakhoz képest jóval több szélsőséges időjárási esemény (tornádók, jégverés, nagy viharok) volt hazánkban.

Valóban így van? Dolgozatomban erre a kérdésre is kerestem a választ.

Az a tény, hogy több alkalommal hallhattunk az elmúlt években nagy kárt okozó, valamint ritkán előforduló időjárási eseményekről, nem jelenti azt, hogy valóban nőtt ezeknek az 50 évre vetített gyakorisága. Vegyük figyelembe, hogy az amatőr megfigyelők száma változatlan, de egyre többen rendelkeznek kamerás mobiltelefonnal. Mivel a tornádóknak és tubáknak hírértéke van, érthető, hogy több forgószelel jelenik meg a médiumokban. *(Az elmúlt 100 évben jóval kevesebb forgószelelről értesülhettek az olvasók/hallgatók/nézők, mint amennyi valójában előfordult. Erről a dolgozat további részében írok bővebben.)* Tehát a szélsőséges időjárásról szóló hírek száma nő, ha a forgószelekről érkező hírek száma szaporodik. Ezenfelül a 2006. augusztus 20-ai eset óta a média látványosan felfújja az időjárási események híreit. A híradásokból ezért nehezen tudunk helyes következtetést levonni.

Kiindulhatnánk a biztosítókhoz beérkezett időjárási kárbejelentések számából is. Megpróbáltam adatsorokat szerezni a biztosítóktól is, de ezeket üzleti titokként kezelik és nem adják ki. Az interneten fellelhető kevés információ a következőket közli: ([30.], [31.]

- Az egyik legnagyobb hazai biztosítóhoz 2010. első félévében kétszer annyi kárbejelentés érkezett a szélsőséges időjárási körülmények miatt keletkezett károkról, mint 2009-ben összesen.
- Az elmúlt öt év legnagyobb meteorológiai kárait okozó viharokat sorba állítva, mind a kárbejelentések számát, mind a kifizetés összegét tekintve a 2010. május 15-16-i vihar áll az első helyen. A másodikon a 2009. március 1-2-i vihar. A kárbejelentések tekintetében a 2006. augusztus 20-i vihar a harmadik.

Bár a fentiek ismét azt sugallják, hogy nő a szélsőségek gyakorisága, ez így még kevés. Nem tudjuk ugyanis, hogy milyen mértékben változott a biztosítottak száma, valamint a viharos szél, a jégeső és az árvíz is ugyanúgy időjárási kárnak minősül. Tehát ezen a téren volna mit vizsgálni, de biztos, hogy semmiképpen sem kapnánk adatokat feldolgozás céljára.

A viharokkal kapcsolatos legmegbízhatóbb adatok a meteorológiai állomásokon mért szélsőséges értékek. Ezek rögzített szabályok szerint hozzáférhetőek. Én is így jutottam hozzá az OMSZ több adatsorához. A dolgozat kapcsán ezeket megfelelő statisztikai módszerekkel feldolgoztam.

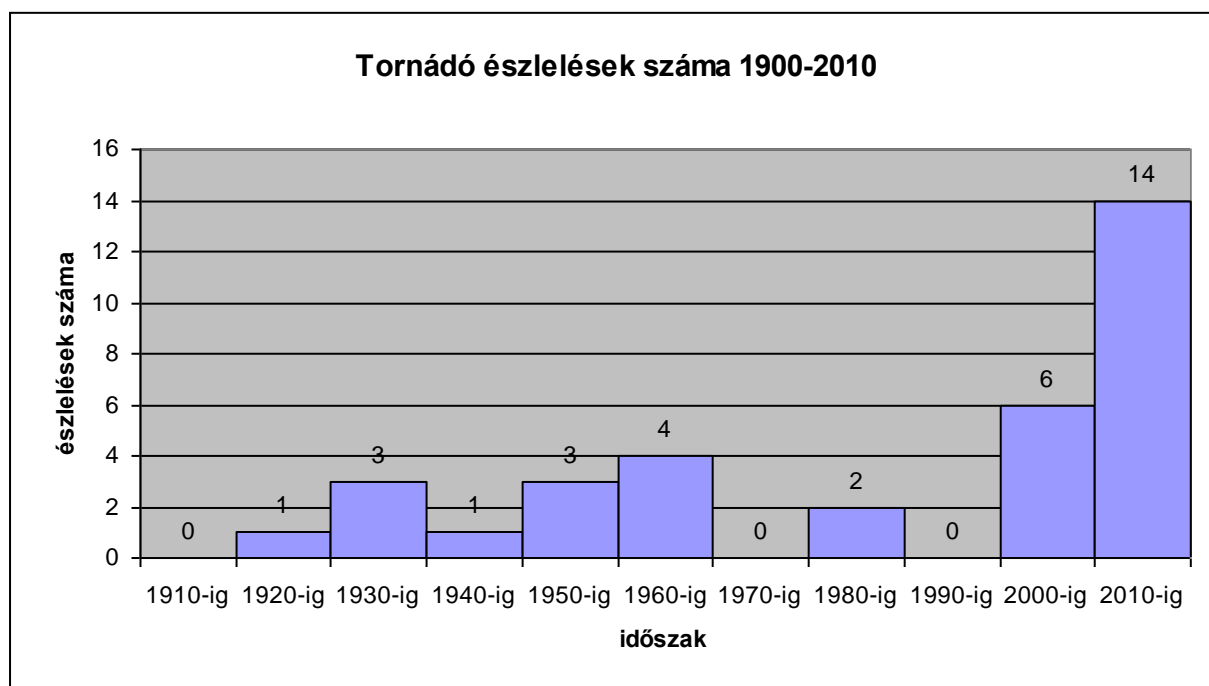
## 2. Tornádók:

Találtam egy jegyzéket a XX. századi tornádókról. ([32.]) Ebben a listában 20 darabot számlálhatunk meg. Napjaink eseményeinek tükrében nagy valószínűséggel ennél több tornádó fordult elő már korábban is, de mivel a hírközlés elég kezdetleges volt, valamint a legtöbb tornádó nem települések határában, hanem a földeken keletkezett, ezért ezek nem kerültek feljegyzésre. Ha látták is a falusiak, legfeljebb a kocsmasztalnál beszélgettek róla.

Ez is lehet az oka, hogy majdnem 2000-ig az OMSZ hivatalos álláspontja szerint Magyarországon 4 évente 1 tornádó fordult elő. Molnár Károly szisztematikus kutatásai szerint, melyeket az 1990-es évek derekán végzett, évi egy tucat volt a valós előfordulás. Ez kb. 50-szerese volt az akkori hivatalos álláspontnak. Ma már az OMSZ is ennyire becsüli a tornádók számát hazánkban. Természetesen ezeknek a forgószelek majdnem mindegyike F0 és F1 erősségű. Ha többször is előfordult volna az 1924. évi Vác-biai, vagy az 1972. évi balatonfüredihez esethez hasonló F2 erejű tornádó, arról találnánk feljegyzést.

Éppen e miatt a zavaros dokumentáció miatt szinte lehetetlen kideríteni, hogy a tornádók száma – például az elmúlt 20 évben – szaporodott-e, vagy csak többről szerzünk tudomást. Valószínűleg igaz, hogy több alkalommal érintik települések kül-, vagy belterületeit forgószelek. A mellékelt diagramon az észlelések száma látható. A 2000 utáni időszakhoz a

tubákat nem, csak azokat a tornádókat vettem számításba, melyekről az interneten olvashatunk.



2. ábra: Az összegyűjtött adatok alapján a tornádó észlelések számának alakulása 1900-2010-ig

Nemrégiben alakult meg egy szervezet, mely a szupercella.hu oldalt is létrehozta. A szervezetben lelkes amatőr viharvadászok mellett komoly szakmai tudással és nagy elhivatottsággal rendelkező szakemberek is tevékenykednek. Remélhetőleg erőfeszítésüknek köszönhetően 5 év múlva sokkal hitelesebb képet kaphatunk majd a hazai tornádókról.

#### IV) Szélsébség adatok feldolgozása:

##### 1. Források:

Három forrásból sikerült elkészíteni az elemzéseket. Az Országos Meteorológiai Szolgálattól és a Ferihegyi Repülőtér Meteorológiai Szolgálatától kapott adatsorokat, valamint „A meteorológiai terhek (tanulmány)”-ban ([7.1]) talált adatokat dolgoztam fel. Ez utóbbi volt a legérdekesebb.

##### 2. OMSZ és a tanulmány adatainak feldolgozása:

A tartószerkezet-tervezésnél mindig a terhek karakterisztikus értékeire vagyunk kíváncsiak. A meteorológiai terhek esetében ez a 98 %-os kvantilis (lásd: MSZ EN 1990). Mikor hozzákezdtem az adatgyűjtéshez, a céloom több település szélsébség-változásának vizsgálata volt az elmúlt 50 évben. Hamarosan szembesültem azonban a korlátozott lehetőségekkel. Az OMSz-től térítésmentesen kikérhető adatmennyiség kb. egy település 50 éves havi adatait tartalmazza. Felvettem a kapcsolatot a hazai repterekkel is, de a ferihegyi méréseken kívül minden az OMSz-hez fut be.

Fontos szempont volt, hogy következtetni tudjak a tendenciára, hiszen a gyakorló mérnököknek ez számít legjobban. (*Érdemes-e foglalkozni a kérdéssel, vagy az utóbbi kiugrások pont a használt statisztika csúcserképei voltak?*) A megkérdezett meteorológus szakemberek szerint tendenciát legkevesebb 30 éves adatsorból lehet hitelesen vizsgálni.

A fentiek okán az OMSz-től végül az 1980-2010-es évek április-szeptember havi szélsősebesség maximumait kértem ki havi bontásban három tetszőlegesen választott településről. *(Ekkora adathalmazhoz engedélyezett a térítésmentes hozzáférés.)* A választott három állomás a következő:

- Budapest (II. kerület)
- Debrecen (Reptér)
- Nagykanizsa (Camping út)

*(Az adatokat Vaisala márkájú (elektronikus, automatikus leolvasású) kanalas szélmérő berendezéssel rögzítették. A széllokések időtartama számomra nem ismert, de pillanatnyi értékek tekinthetők.)*

Mikor döntenem kellett, hogy mely adatokat kérjem ki az OMSZ-től, saját és konzulenseim tapasztalataira hagytam. Biztosra vettem, hogy a nagy szélsősebesség maximumok a nyári félév folyamán vannak, hiszen ekkor vannak a nagy sebességű nyári zivatarok, viharok. Ezért esett a választás az áprilistól szeptemberig tartó hat hónapra. Később, mikor már rendelkezésemre állt az év 12 hónapjának maximumait tartalmazó [7.], be kellett látnom, hogy elhamarkodott volt a feltételezés. Egy gyors vizsgálat kimutatta, hogy a téli sebességmaximumok kicsivel gyakoribbak a nyáriaknál, valamint értékük is általában magasabb.

Később, mikor szerencsés véletlen folytán ráleltünk [7.]-re, lehetőségem nyílt összevetni az ott rögzített értékeket az újakkal. A tanulmányban megtalálható havi szélsősebesség maximum adatok:

- Budapest (II. kerület), 1936-1944, 1946-1953, 1955-1969
- Budapest (Pestszentlőrinc), 1954-1969
- Debrecen (Reptér), 1954-1969
- Szeged (Reptér), 1954-1969
- Szombathely (Reptér), 1954-1969

*(Az értékek mind Fuess rendszerű (mechanikus, leolvasás szalagról) szélmérővel rögzített havi szélsősebesség maximumok, melyek tartóssága nem meghatározható, de minimum 1-2 másodperc.)*

A mérési módok között nincs lényegi különbség, így alá lehet vetni őket ugyanazon statisztikai vizsgálatoknak.

Mivel csak két település, Debrecen és Budapest II. kerület egyezik a két adatsorban, ezért első vizsgálatomat, a tendencia vizsgálatot, főként ezekre alapoztam.

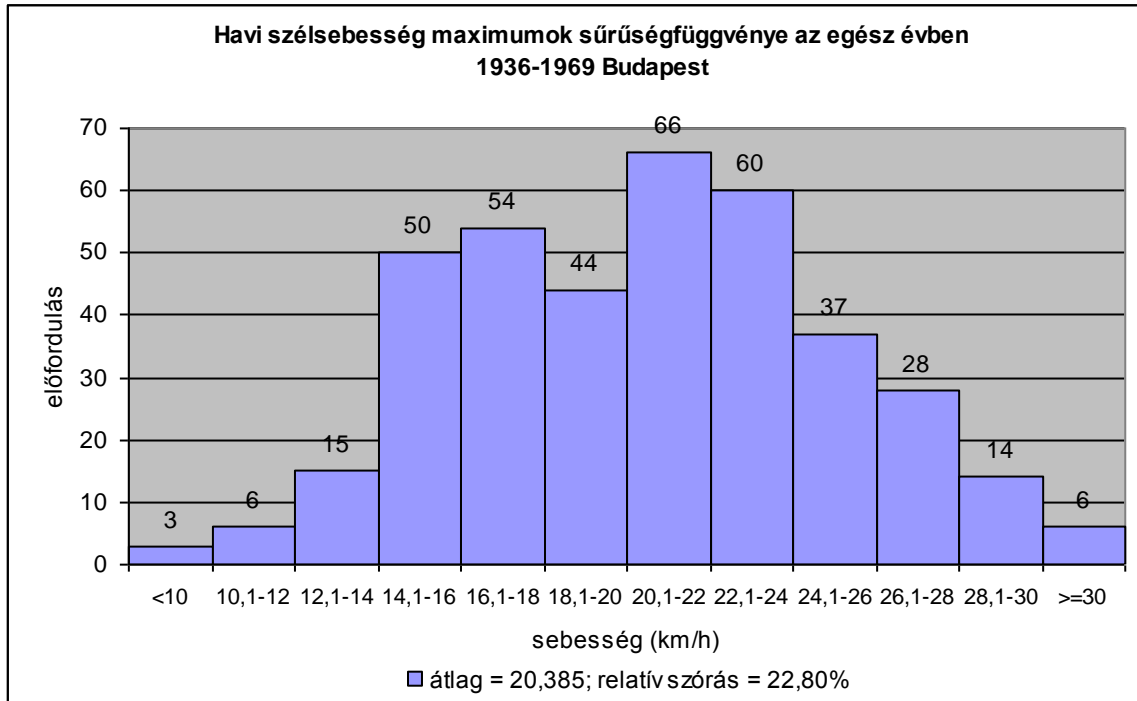
- Debrecen: terepszint feletti magasság 9,4 m, majd 10,23 m, EUROCODE II. (EC II.) beépítettségi kategória, de É-i, ÉK-i, K-i és DK-i szél esetére EC III. [13.]
- Budapest II. kerület: terepszint feletti magasság 10 m, majd 42,57 m, EUROCODE IV (EC IV.) beépítettségi kategória [13.]

*(Nem megfejtendő, hogy a mérőműszerek korábban pontosan milyen magasságban voltak. [7.] megadja a tengerszint feletti magasságot és a terepszint feletti magasságot egyaránt, viszont az ott megadott magasságok nem egyeznek meg az egyéb források szerinti értékekkel ([1.], [6.]). Megvizsgáltam, hogy a tengerszint feletti magasságban való eltéréseket okozhatja-e a Nadapi rendszerről a Balti rendszerre történő átállás, de nem az az ok. Bizonytalanok a terepszint feletti magasságok is, mert 1970-ben [7.] állítása szerint 37,2 m-en, az OMSZ nyilvántartása szerint viszont 1910-1985-ig 10 méteren volt a műszer, onnan pedig 1985-ben az OMSZ központi épületének tetejére helyezték át, ami 42,57 m-t jelent.)*

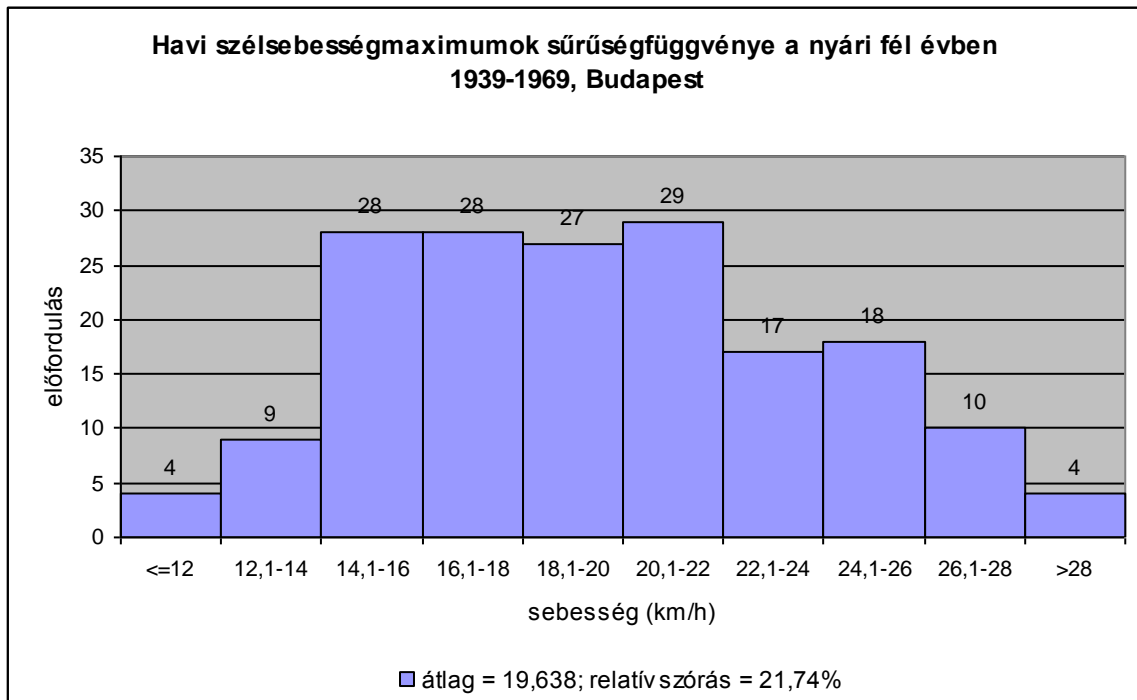
Az adatokat a különböző vizsgálatokhoz különböző méretű egységekre bontottam. 15 éves egységekkel először  $\chi^2$  próbát végeztem, hogy megtudjam, a különböző időszakok adatai ugyanabból az eloszlásból származnak-e. Erre azért van szükség, mert a további vizsgálatoknál, ha együtt akarom kezelni az adatsorokat, akkor azonos eloszlásúaknak kell lenniük.



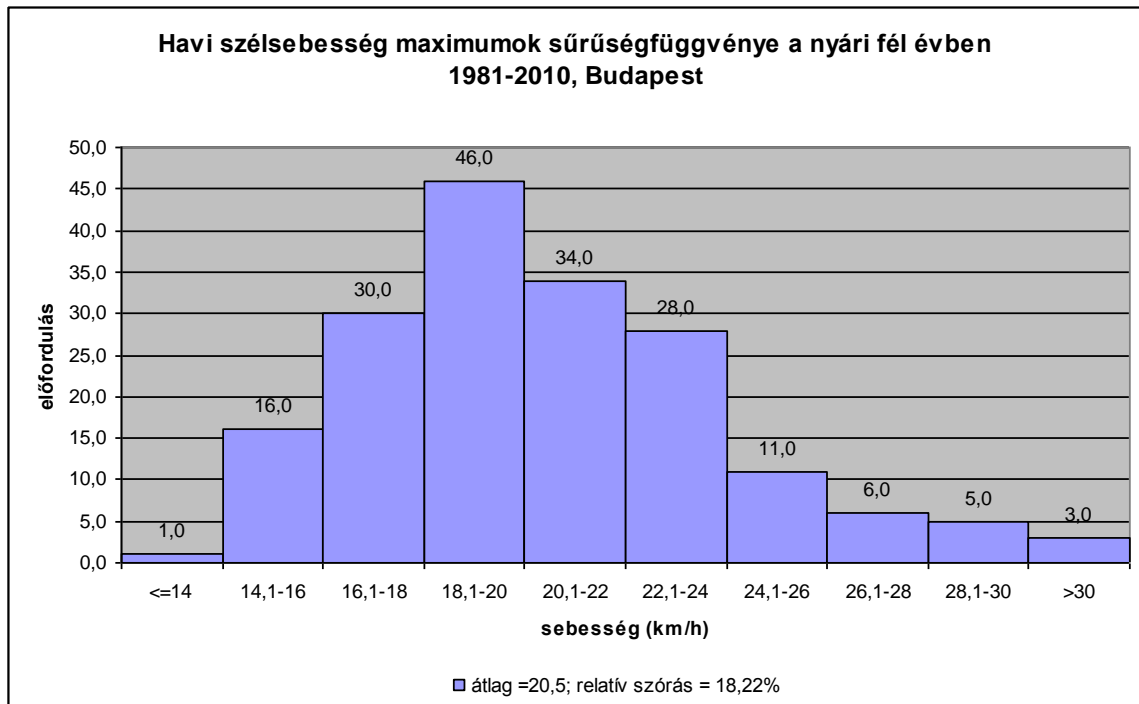
A homogenitásvizsgálatot követően illeszkedést vizsgáltam ugyanezekre az egységekre Kolmogorov próbával,  $\epsilon=0,05$  szintre. Arra az eredményre jutottam, hogy a teljes évet tekintve a havi szélsősebesség maximumok normális eloszlásúaknak tekinthetők, a nyári félévben pedig jó közelítéssel normális eloszlást adnak (3., 4., 5. ábra).



3. ábra: Szélmaximumok egész éves sűrűségfüggvénye 1936-1969-ig, Budapest

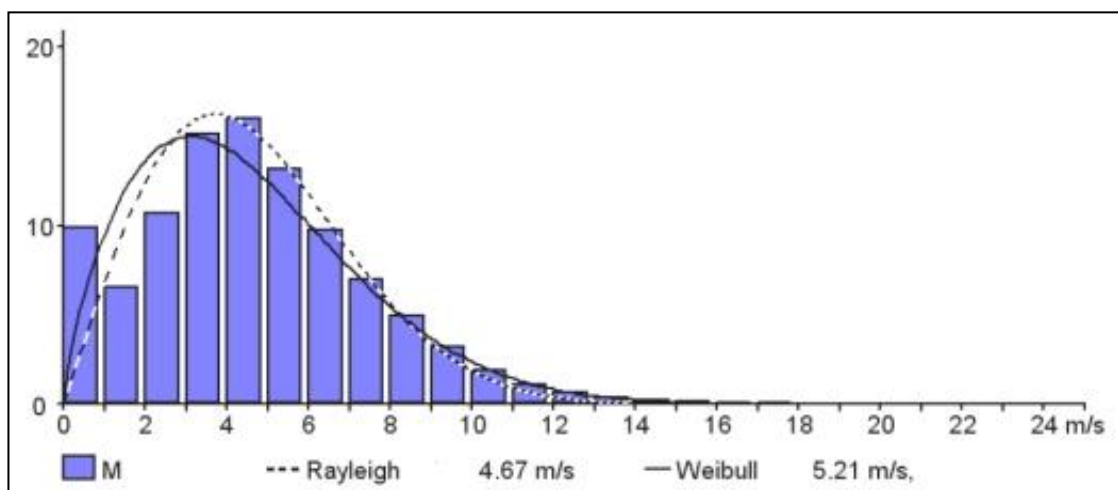


4. ábra: Szélmaximumok nyári fél éves sűrűségfüggvénye 1936-1969-ig, Budapest



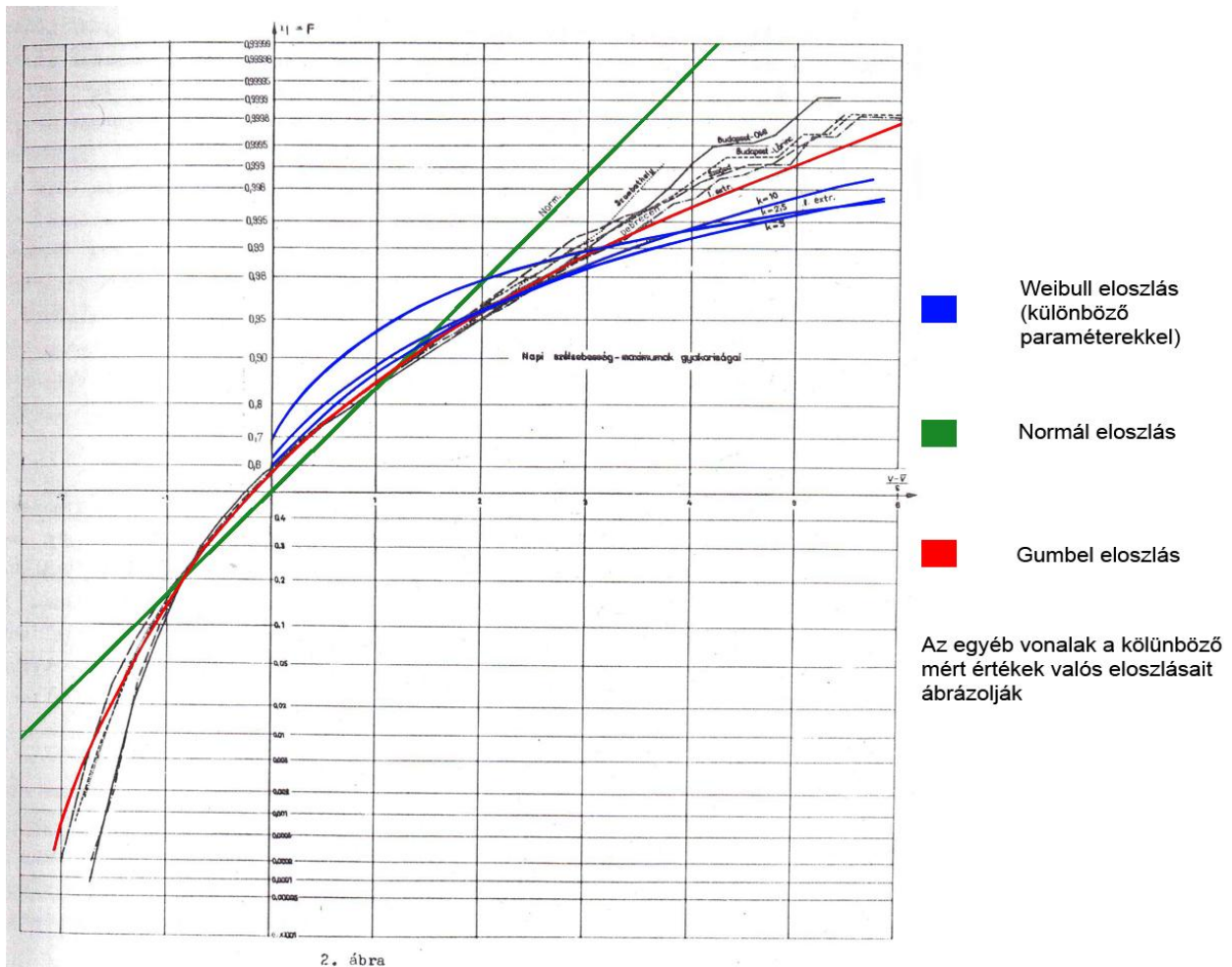
5. ábra: Szélmaximumok nyári fél éves sűrűségfüggvénye 1981-2010-ig, Budapest

Ezután 5 éves egységekre bontottam a két város adatsorát, és ezek segítségével igyekeztem vizsgálni az átlagok, a relatív szórás és a 98%-os kvantilis időbeli tendenciáját (8., 9. ábra). Balogh Miklós szóbeli közlése alapján tudom, hogy a meteorológiában a Weibull eloszlást és a Rayleigh eloszlást alkalmazzák a szélsősebességek vizsgálatára. (pl. 6. ábra). A Weibull eloszlás is alkalmas szélsőérték vizsgálatra, mégsem ezzel vizsgáltam a 98%-os kvantilist, hanem a Gumbel eloszlással. A [7.]-ban a szerzők összehasonlították a mért szélsősebességek eloszlását a Gumbel eloszlással, valamint különböző paraméterű Weibull eloszlásokkal. Azt tapasztalták, hogy a Weibull pont a maximumok esetén jelentősen eltér a mért adatok valós eloszlásától, bár a kis és közepes értékeknél jól írja le őket. A Gumbel ezzel szemben a maximumok esetén is jól simul a mért értékek eloszlásához (7. ábra). (A [12.] Nemzeti Melléklete (NB) szintén a Gumbel eloszlást használja fel a 98%-os kvantilis kiszámításához.)



6. ábra: Egy szélsősebességmérés sűrűségfüggvénye ráillesztett Weibull és Rayleigh eloszlásokkal

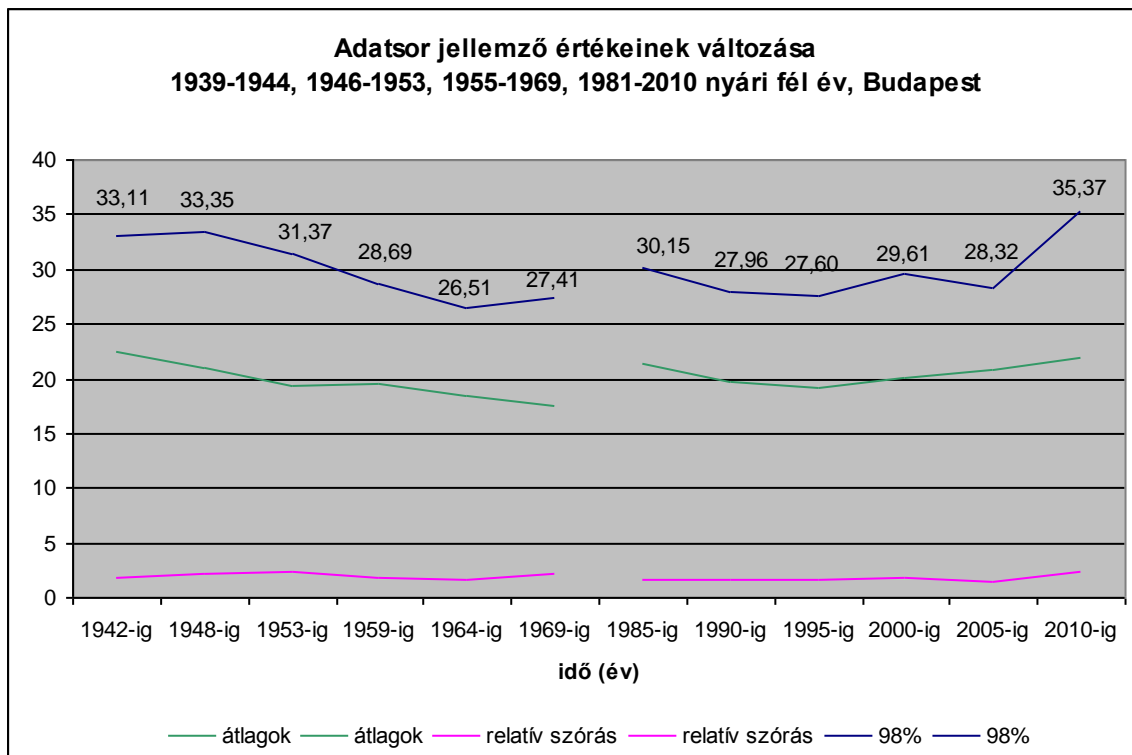
Dr. Barabás Béla említette konzultációink alkalmával, hogy az extrémértékek szempontjából kevés jelentősége van az eredeti eloszlás-függvénynek, mert az extrémértékek csakis három ismert eloszlás szerint alakulhatnak: Frechet, Weibull és Gumbel eloszlás (lásd: extrémértékekkel foglalkozó művek).



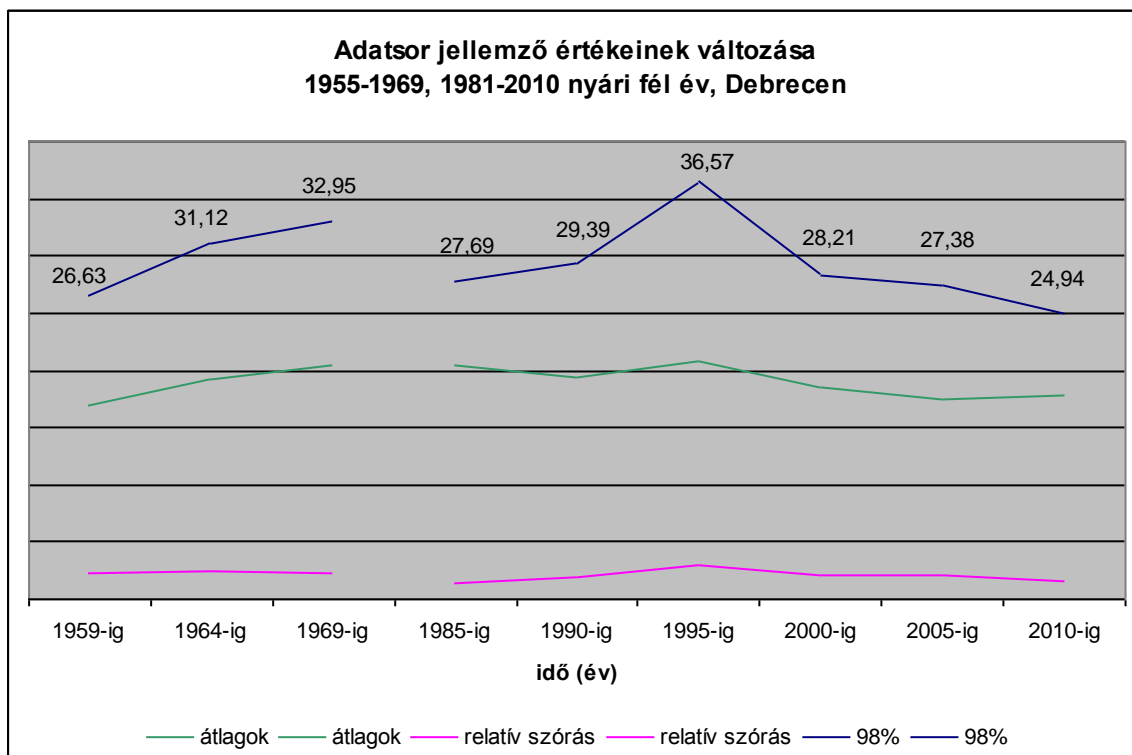
**7. ábra: A Kármán-féle tanulmány ([7.]) elemzése a napi szélsősebesség maximumok eloszlásához legjobban illeszkedő extrémérték eloszlásfüggvényről**

Meglepő, hogy nem tudunk egyértelmű tendenciát kiolvasni az 50 évet majdnem teljesen kitöltő adatsorokból. Sőt, az elemzés szerint a ma mért szélsősebesség maximum értékek akkorák, mint amekkorákat 50 évvel ezelőtt mértek. Az való igaz, hogy Budapesten az elmúlt 15 évben folyamatosan emelkedett a szél sebessége, de ez a korábbi adatok tükrében nem riasztó.

Ha biztos információt szeretnénk megtudni a maximális szélsősebesség változásáról, akkor sokkal átfogóbb vizsgálatra van szükség, ami meghaladja jelen dolgozat kereteit. Ehhez be kell szerezni több város adatsorait legalább harminc évre visszamenőleg. És egy statisztikai vizsgálatok elvégzésére írt programmal kell elemezni őket a legmegbízhatóbb eredmény érdekében. Egy hasonlóan nagyléptékű kutatás például [6.] (Péliné és Tsai, 2008), de még ez a munka is csak az elmúlt 10 év adatainak feldolgozására vállalkozik.



8. ábra: Általában 5 éves nyári adatok jellemzői ( pár év különböző okok miatt hiányzik), a számok m/s-ban értendők

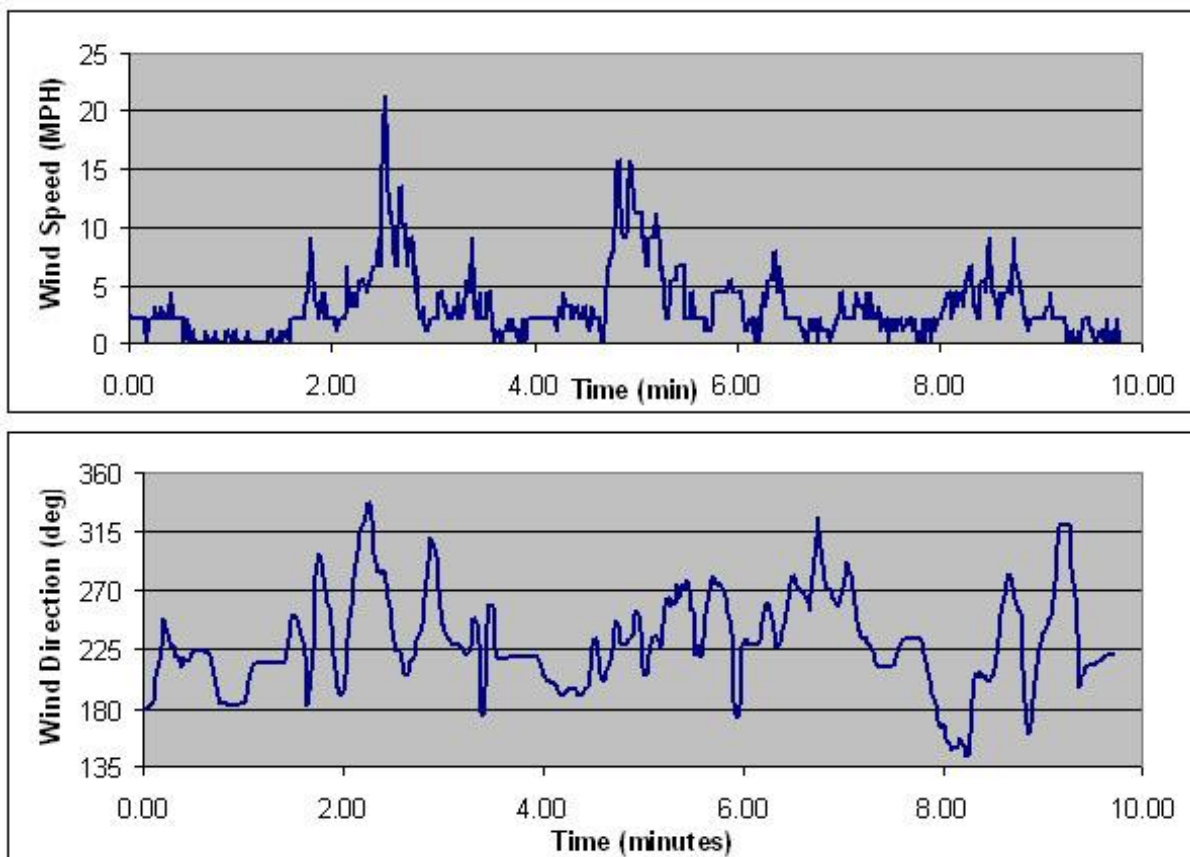


9. ábra: Általában 5 éves nyári adatok jellemzői ( pár év különböző okok miatt hiányzik), a számok m/s-ban értendők

3. Az átlagos szélesség és a pillanatnyi szélesség összefüggése a ferihegyi adatok alapján:

Az MSZ EN 1991-1-4 megszabja, hogy milyen feltételekkel kell mérni azt a szélességet, melyből majd a torlónyomást számítjuk. Ez a „szélesség kiindulási alapértéke” ( $v_{b,0}$ ), mely az éves, 0,02 meghaladási valószínűségű, 10 perces időintervallumon értelmezett átlagos, iránytól független szélesség a nyíltvidéki, sík terepszint feletti 10 m magasságban (és ha szükséges, akkor) a tengerszint feletti magasság figyelembevételével ([12.]). Magyarországon egyedül a Ferihegyi Repülőtér mér így. A Reptéren ezek a 10 perces átlagok úgy készülnek, hogy a szélmérőkészülék által adott folyamatos jelről a számítógép minden 15. másodpercben leolvasson egy pillanatnyi értéket, és 10 percenként a leolvasások számtani közepét táblázatba menti. A 40 adatból készített átlag egy hiteles átlagnak tekinthető. Ezenkívül Ferihegy sok más értéket is mér, például a maximum széllökések értékeit is.

Ez azt a lehetőséget rejti magában, hogy össze tudjuk hasonlítani a havi 10 perces átlagos szélmaximumot az ugyanebben a 10 percben mért maximum széllökés sebességével. Balogh Miklóssal konzultálva megtudtam, hogy a szél turbulenciájának mértéke közel állandó, ezért jó közelítéssel abban a 10 percben lesz legnagyobb az abszolút maximum széllökés, amikor a legnagyobb 10 perces átlag is megfigyelhető. Tehát elegendő a havi abszolút maximum széllökések és a legnagyobb 10 perces átlag összehasonlítása. Az összehasonlításból nyerhető egy konstans, amivel a havi abszolút maximumokat átszámíthatjuk 10 perces értékekre. Ez a módszer megoldhatja a torlónyomás számításának azt a problémáját, hogy egyetlen állomásról sincs meg a bemenő adat, a  $v_{b,0}$ . A [12.] Nemzeti Mellékletében (NB) a szerzők ezt a problémát másképp hidalják át, erről később írok bővebben.



10. ábra: egy példa a szélesség és szélirány változására egy 10 perces mérés folyamán (90° a keleti, 180° a déli, 270° a nyugati és 0/360° az északi szélhez tartozó irány szöge)

A számítás szerint a pillanatnyi szélességek maximumai a teljes évet tekintve 1,51-szer (relatív szórás 10%), a nyári félévben pedig 1,53-szor (relatív szórás 10%) voltak nagyobbak, mint az átlagsebességek maximumai.

Vizsgálataim során én is tapasztaltam, hogy a szél egy térben és időben rendkívül változékony mennyiség. *(A pontos viselkedést a Navier-Stockes egyenlet írja le. [34.]*) Ez könnyen belátható, ha csak azt említem, hogy Ferihegyen 4 olyan anemométer található, melyek eleget tesznek a [12.] kritériumainak. Ezek egy-egy kifutópálya végén két oldalt helyezkednek el, tehát legfeljebb pár száz méter van a szélességmérők között. Mivel mind a 4 mérő adatait megkaptam, azokat is összehasonlítottam egymással, és helyenként 50%-nál nagyobb eltérés tapasztalható az azonos hónap legkisebb és legnagyobb értéke között. Éppen ezért a kiszámított szorzószámok megfelelő óvatossággal használhatók fel a teljesen különböző földrajzi helyen, terep-, illetve tengerszint feletti magasságban és más beépítettségi körülmények között mért adatokhoz. Az a tény viszont, hogy a relatív szórás kicsi volt (mind a nyári fél éves, mind az éves viszonylatban 10%) bizakodásra adott okot. Így, mivel jelenleg nem állt rendelkezésemre több információ, ezekkel a konstansokkal végeztem el a további számításokat.

Minden rendelkezésemre álló adatsort átszámoltam pillanatnyi értékről 10 perces átlagos értékre, ezeknek pedig kiszámoltam a Gumbel eloszlás szerinti 98%-os kvantilist (11. ábra). A régebbi értékekből számított extrémértékek átlaga 24,633 m/s, a későbbieké (csak nyári félévek!) 23,047 m/s lett (a korábban leírtak miatt, ha a teljes évet tudtam volna vizsgálni 1980-2010-ig, akkor valószínűleg a későbbi értékek is magasabb eredményt adtak volna, körül-belül 23,449 m/s-ot). Ezek egészen közel esnek a szabvány által számított  $v_{b,0} = 23,6$  m/s értékhez. Szeretném kihangsúlyozni, hogy az itt felhasznált adatok nem mind az előírt körülmények között kerültek rögzítésre, valamint a felhasznált konstans is alacsony biztonságúnak tekinthető, ezért az ebben a pontban közölt számítás csak elméleti irányt mutat, és nem a pontos  $v_{b,0}$ -at adja eredményül. Az eredmény akkor lehetne pontosabb, ha a kiindulási adatokat standardizálnánk. Ezzel foglalkozik a következő pont.

Város	Időszak	98%-os kv.	Város	Időszak	98%-os kv.
Budapest, II.ker.*	1936-69, teljes év	24,737 m/s	Budapest, II.ker.	1980-2010, ápr.-szept.	22,875 m/s
Budapest-Lőrinc	1954-69, teljes év	26,278 m/s	Debrecen	1980-2010, ápr.-szept.	24,570 m/s
Debrecen	1954-69, teljes év	24,799 m/s	Nagykanizsa	1980-2010, ápr.-szept.	21,696 m/s
Szeged	1954-69, teljes év	24,361 m/s			
Szombathely	1954-69, teljes év	22,887 m/s	*Bp. II. kétszeres súllyal szerepel az első átlagban		
Átlag		24,633 m/s			23,047 m/s

11. ábra: A különböző adatsorokból számított átlagos szélességek éves maximumainak 98%-os kvantilisai

4. A különböző helyeken, időpontokban és mérési körülmények között mért szélesség adatok standardizálása:

A IV. 2) pontban összehasonlított értékek azonos beépítettségűnél, körülbelül azonos módon mért adatok voltak. Az azonos magasságban történő mérés már nem jelenthető ki biztosan, de tételezzük fel, hogy körül-belül azonos volt a magasság is. Debrecen és Budapestet egymással viszont már nem hasonlíthatjuk össze, mert más a beépítettség és más a terepszint feletti magasság is. Ez a megállapítás vonatkozik a legtöbb mérőállomásunkra is. Ahhoz pedig hogy hitelesen állapíthassuk meg a szélesség kiindulási alapértékét, az ország több pontján kell méréseket végezni.

Felmerül tehát a kérdés, hogy mi módon standardizálhatóak a mérések visszamenőleg. Standardizált mérési adaton azt értjük, hogy azonos tengerszint feletti magasság, azonos terepérdesség, azonos domborzati viszonyok, vagyis 3°-nál kisebb lejtésű terület ([12.]).

A meteorológiai gyakorlatban a szélprofil-egyenletek szolgálnak az egy földrajzi helyen, de különböző magasságokban, különböző terepérdességnél (beépítettségénél) mért adatok átszámolására. Nekünk olyan egyenletre van szükségünk, ahol csak egy ismeretlenünk van.

A Rossby- és Montgomery-féle szélprofil-egyenlet a következő alakban írható fel:

$$\bar{u} = \frac{u_*}{k} \ln\left(\frac{z + z_0}{z_0}\right) \quad (1.)$$

ahol:

- $\bar{u}$  az átlagos szélesebesség
- $u_*$  a súrlódási sebesség, más néven dinamikus sebesség (az adott időben az adott helyre jellemző mennyiség, ami a függvénygörbe érintőjének meredekségét adja meg z = 0 m-en)
- k a Kármán-féle konstans, értéke 0,4
- z a terepszint feletti magasság méterben
- z0 az érdességi hossz méterben

Ez a formula könnyen alkalmazható mérnökök számára is. A mért szélesebességekből jó közelítéssel számítható  $\bar{u}$  – például a IV. 3) pontban bemutatott módszerrel. Két lépésben kaphatjuk a standardizált átlagos szélesebességet. Először az átlagos szélesebesség, a terepszint feletti magasság és az érdességi hossz ismeretében kiszámíthatjuk  $u_*$  -ot. Második lépés a standard  $\bar{u}$  kiszámítása, z = 10 m és z0 = 0,05 m paraméterekkel.

IV. táblázat

A szélesebesség maximumok statisztikai jellemzői [m/s]

Időszak	1 nap		1 hónap		1 év		16 év
	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	
Bp-OMI	9,3936	4,9060	20,3723	4,6941	27,4968	3,2509	34,8
Bp-Lőrinc	9,7187	4,5137	20,1829	4,1995	27,9313	3,7489	37,7
Debrecen	9,5518	4,0326	18,5122	4,1967	25,9062	4,3344	38,0
Szeged	10,5780	4,2828	20,1801	3,9827	26,7687	3,7954	34,2
Szombathely	11,0304	5,0770	21,3963	4,1035	27,2562	2,5531	30,1

12. ábra: Az MSZ EN 1991-1-4 Nemzeti Melléklete által felhasznált táblázat eredetije ([7.]-ből)

Bár a módszer elsőre egyszerűnek látszik (és a sok ismétlődő számítás egy táblázatkezelő program segítségével gyorsan elvégezhető), a kívánt pontosság függvényében egyre bonyolultabbá válik. A pontos érdességi hosszat minden helyen le kell mérni, mert amit a [12.] a különböző beépítési kategóriákhoz megad (0,01; 0,05; 0,3; 1), nagyon elnagyolt egy pontos vizsgálathoz. Továbbá a különböző szélirányokhoz általában különböző érdességi

hosszak tartoznak, mert a mérőállomások általában a város szélén helyezkednek el, így például Észak és Kelet felől III. kategóriának, míg Dél és Nyugat felől II. kategóriának minősülhet a környezet. Egy pontos vizsgálathoz emiatt szükséges ismerni, hogy mikor melyik irányból származik az éves maximum szélökés. A beépítettség időbeli változására szintúgy tekintettel kell lenni, mert az elmúlt évtizedben nagyon megszorodott a városok melletti új beépítések (pl. nagyáruházak, logisztikai központok) száma.

Ha mindezt figyelembe kívánjuk venni a számítás során, akkor tetemes pénzt és időt emésztene fel a vizsgálat. Ezért szükségesek egyes biztonság javára tett közelítések. Viszont nem tűnik jó megoldásnak, ha bármely korrekció nélkül együtt kezeljük az adatokat, mint ahogy azt a [12.] Nemzeti mellékletének (NB) megalkotásakor tették. Az NB-ben a szerzők egyszerűen átemelték a Kármán-féle tanulmány egyik táblázatát, amely a fentebb részletezett városok éves szélmaximumainak átlagait és szórásait tartalmazza (12. ábra). Ez nagy hiba volt a szerzők részéről, különös tekintettel arra, hogy kiindulási adatról van szó, és így a hibák halmozódhatnak.

##### 5. Az MSZ EN 1991-1-4 Nemzeti Melléklet (NB) számításának vizsgálata:

A fentiek szerint, az általam használt kezdetleges közelítő módszer majdnem ugyanazt az eredményt adta, mint ami az NB-ben szerepel. Az egyezés véletlen, vagy a két módszer csak más úton jut el az eredményhez?

Az NA-ban  $v_{b,0}$ -at keresték és az volt az alapfeltevés, hogy a ce kitettségi tényező felhasználható a pillanatnyi és az átlagos szélesség közötti átszámításra. (Az [12.] 4. fejezetében szereplő képletek ismerete szükséges a további magyarázatokhoz.) A [12.]-ben szereplő képletek egymásba helyettesítésével nyerhető a következő alakú kifejezés:

$$c_e = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \left( \frac{v_m}{v_b} \right)^2 \quad (2.)$$

ahol:

- $c_e$  a kitettségi tényező
- $I_v$  az örvénylési intenzitás, más néven turbulencia intenzitás (leírja, hogy az átlagos szélességtől arányosan mennyi a rövididejű sebességváltozások átlagos eltérése, az [12.] ezt ököl-szabályként adja meg számunkra)
- $z$  a terepszint feletti magasság méterben
- $v_m$  az átlagos szélesség (EC II. kategóriánál 10 m magasan:  $v_m = 1,00668 v_b$ )
- $v_b$  a szélesség alapértéke

A képletből látható, hogy  $c_e$  a végső soron a szélesség alapértéke és az átlagos szélesség között teremt összefüggést. A kifejezésbe  $z = 10$  m-hez és EC II. kategóriához tartozó értékeket helyettesítve a szélesség kiesik és egy mértékegység nélküli számot kapunk, melynek értéke 2,3523.

A torlónyomás alapértékét az átlagos 10 perces szélességből számoltuk, a torlónyomás csúcsertékénél viszont figyelembe vesszük a rövididejű sebességváltozásokat is, melyek „rángatják” az épületet. Ezeket a dinamikus szélhatásokat 7-szeres súllyal számoljuk a képlet szerint. Az átlagos szélesség és a dinamikus hatásokat is figyelembe vevő szél csúcsertéke közötti szorzószám tehát  $\sqrt{2,3523} = 1,5337$  lesz. A IV. 3)-as pontban általam számolt viszonyszám 1,51 volt. Ezek majdnem egyenlők. Sajnos arra nem sikerült fényt derítenem, hogy miért pont 7-szeres súllyal számolják az örvénylési intenzitást, viszont valószínűleg az általam elvégzett számításához hasonló vizsgálat eredménye lehet az ökölszabály. Fontos megjegyzés, hogy a [12.] nem definiálja a torlónyomás csúcsertékének időtartamát, tehát nem mondhatjuk ki, hogy ez megegyezik a korábban 98%-os kvantilisként említett szélökés



időtartamával. Így azt sem mondhatjuk ki, hogy a kapott 1,5337-es tényezővel a pár másodperces szélességek 98%-os kvantiliséte elosztva  $v_{b,0}$ -at kapjuk eredményül, az NB számítása azonban hallgatólagosan ezt tételezi fel.

Az NA-ban közölt számítási módszer – jelenlegi ismereteim alapján és pár alaptétellel kiegészítve – tehát helyes. A végeredmény viszont nem, mégpedig a különböző adatok összemosása okán. A kapott eredményt a NA szerzői túl nagyra tarthatták, és lehet, hogy a bevezetett  $c_{dir} = 0,85$  tényezővel próbálták kiküszöbölni ezt a hibát. Vizsgálataim alapján azonban a szélesség kiindulási értékére így kapott érték reális, ezért nem javaslom a szélesség  $(1 - 0,85^2) \cdot 100 = 27,75\%$ -kal történő csökkentését.

## V) Jelenlegi és korábbi szélteher számítás összevetése:

### 1. A korábbi (MSZ 15021 szerinti) torlónyomás és szélesség számítás:

A „korábbi” jelző ellenére ez a szabvány még ma is hatályos (2011. január 1-ig), ezért az így készülő számítások jogszerűek. Az Eurocode bevezetése előtt viszont egyedül az MSZ 15021 előírásai vonatkoztak a szélteher számítására. Itt a számítás alapját képező szélesség a 3 másodperces, 50 éves gyakoriságú szélsebesség (m/s) volt ([11.] mérésekből, vagy számítással meghatározva a vizsgált irányban. A torlónyomást ebből a sebességből közvetlenül a

$$w_0 = \frac{v^2}{1600} \left[ \text{kN/m}^2 \right] \quad (3.)$$

ahol:

- $w_0$  a torlónyomás
- $v$  a helyszínen mért szélesség

képlettel számíthatjuk. Ha nem áll rendelkezésre mérési adat, akkor a

$$w_0 = 0,7 \left( \frac{h}{10} \right)^{0,32} \left[ \text{kN/m}^2 \right] \quad (4.)$$

ahol:

- $w_0$  a torlónyomás
- $h$  a terepszint feletti magasság

képletből nyerjük a torlónyomást. Ezek a képletek jól használhatóak a mérnöki gyakorlatban.

Pár számítás eredménye:

- 10 m-en a csúcs szélesség 33,47 m/s, a torlónyomás pedig 0,7 kN/m<sup>2</sup>.
- 10 m-en, városi belterületen, iparterületen a csúcs szélesség 26,981 m/s, a torlónyomás pedig 0,455 kN/m<sup>2</sup>.

A leírtakon kívül vannak még különböző csökkentett torlónyomás értékek, de mivel kisebb értéket adnak, mint az ismertetett, ezért nem részletezem őket.

### 2. Újabb (MSZ EN 1991-1-4 szerinti) torlónyomás és szélesség számítás:

Az Eurocode szerinti torlónyomás számítás nagyságrendekkel bonyolultabb, mint a korábban alkalmazott. Szükséges például a szélesség ismerete, melyet országonként a Nemzeti Mellékletben kell megadni. Ma ez  $v_{b,0} = 23,6$  m/s. A számítás elvégzéséhez szükséges 7 képletet a [12.] 4. fejezete tartalmazza.

A szélesebbesség kiindulási alapértékével együtt 3 bemenő adatot, 3 számítandó konstanst és 5 nevezett konstanst tartalmaz a számítás, mely legkevesebb is 6 képletet használ fel a végeredmény eléréséhez.

Ha a szabályos torlónyomás számítás mellett a kifejezést használom a szélesebbesség csúcsértékének meghatározására, mint ahogyan a IV. 5)-ban az NA teszi, akkor a következő eredményeket kapom:

- 10 m-en, I. kategóriában az átlagos szélesebbesség 23,523 m/s, a csúcs szélesebbesség 33,38 m/s, a torlónyomás pedig 0,696 kN/m<sup>2</sup>.
- 10 m-en, II. kategóriában az átlagos szélesebbesség 20,194 m/s, a csúcs szélesebbesség 30,766 m/s, a torlónyomás pedig 0,592 kN/m<sup>2</sup>.
- 10 m-en, III. kategóriában az átlagos szélesebbesség 15,151 m/s, a csúcs szélesebbesség 26,226 m/s, a torlónyomás pedig 0,430 kN/m<sup>2</sup>.
- 10 m-en, IV. kategóriában az átlagos szélesebbesség 10,824 m/s, a csúcs szélesebbesség 21,756 m/s, a torlónyomás pedig 0,296 kN/m<sup>2</sup>.

### 3. A két számítás értékeinek összevetése:

Ha a kétfajta számítási módot összehasonlítom, nem is kérdéses, melyik használható könnyebben egy építéshelyi kérdés gyors megoldására. De mivel a mérnökök általában a dolgozóasztaluknál számítják ki az épületekre jutó terheket, nem ez a mértékadó kérdés. Az íróasztalnál könnyedén elő lehet venni a fiókból azt a táblázatot, mely tartalmazza az aktuális beépítettségi kategóriához a referenciamagasságban működő torlónyomás értékét, vagy a számítógépbe egyszer beírt képlet kiindulási adatait könnyedén módosítani lehet. Ezért ha lehetőség van pontosabb eredményt adó, de bonyolultabb eljárás használatára, akkor érdemesebb azt választani.

Az NA a  $c_{dir}$  tényezőt 0,85-ben határozta meg, mely jelentősen, 27,75%-kal csökkenti a torlónyomás értékét. Az indoklás az NB1.2.-ben olvasható, miszerint egy konkrét szélirányban a maximális szélesebbesség kialakulása kevésbé valószínű, mint tetszőleges irányban. Ez az indoklás nem elfogadható, mivel a mérnöki eljárásokban a biztonság javára tesszük közelítéseinket. Ha egyszer kialakul a tervezési érték, lényegtelen, hogy melyik irányban keletkezik, mert az épületnek és az épület szerkezeti elemeinek egyaránt meg kell feleljenek a teljes igénybevételnek. Körszimmetrikus létesítmény (pl. hűtőtorony) esetében pedig a NA érvelése egyenesen értelmezhetetlen.

A „korábbi magyar vizsgálatokra támaszkodva” megjegyzés arra utal, hogy a régi teherértékekkel körülbelül azonos új tervezési értékeket kíván meghatározni a szabvány, ami sikerült is a 0,85-ös iránytényező beiktatásával. Nem szabad azonban abba a csapdába esni, hogy ragaszkodunk a kevésbé precíz eljárással számított értékekhez, a biztonság esetleges rovására.

A 13. ábrán könnyen áttekinthetően bemutatom a két számítási módszerrel kapott eredményeket.

a referencia magasság 10 m	MSZ 15021 szerinti számítás		MSZ EN 1991-1-4:2007 szerinti számítás			
	csúcs szélesebbesség (m/s)	torlónyomás (kN/m <sup>2</sup> )	átlagos szélesebbesség (m/s)	csúcs szélesebbesség (m/s)	torlónyomás (kN/m <sup>2</sup> )	torlónyomás iránytényező nélkül (kN/m <sup>2</sup> )
EC I. kategória	33,47	0,7	23,523	33,38	0,696	0,964
EC II. kategória			20,194	30,766	0,592	0,819
EC III. kategória	26,981	0,455	15,151	26,226	0,43	0,595
EC IV. kategória			10,824	21,756	0,296	0,409

13. ábra: Az MSZ EN 15021 alapú korábbi és az MSZ EN 1991-1-4 alapú újabb számítás szerint nyert szélesebbesség és torlónyomás értékek

## **VI) Tanulságok:**

### *1. Általában:*

A szél egy egzakt módon csak nagyon bonyolultan leírható fizikai jelenség, amit mi leegyszerűsítve próbálunk kezelni, hogy a mérnöki alkalmazhatóság lehetőségessé váljon, de még az egyszerűsített modell megértése is sok időbe kerül. Van, ami még nagyon leegyszerűsítve is bonyolult. *(A korábban említett Navier-Stokes egyenletre különben nincs analitikus megoldás Balogh Miklós elmondása alapján.)*

Legalább az ország 5 pontján el kellene kezdeni az átlagszélsébséget mérni, hogy 20 év múlva felül tudjuk vizsgálni a jelenlegi eredményeinket. Hogy ne kelljen különböző megbízhatósági szintű matematikai transzformációkra hagyatkozni, hanem konkrét értékekkel lehessen dolgozni. A mérési adatoknak nem csak az aktuálisan kötelező információkat kellene tartalmaznia, hanem annál részletesebb adatsorokra lenne szükség, az esetleges későbbi standardizálhatóság érdekében (pl. ha az előírás szerint 10 perces időtartam módosulna). Mindig meg kell próbálni a rendelkezésre álló adatokat a legpontosabban feldolgozni. Nem szabad tudatosan hibát elkövetni a számítások, elemzések során.

### *2. Magamra nézve:*

Aki ezzel a témakörrel szeretne foglalkozni, mélyreható statisztikai ismeretanyaggal kell rendelkeznie. Nekem sikerült pár eljárást megismernem, megtanultam használni őket, de még messze vagyok attól, hogy készség szinten használni tudjam ezeket, vagy összefüggéseiben átlássam a problémákat. Talán a későbbiben, további vizsgálatok során sikerül majd elsajátítanom összefüggőbb statisztikai ismereteket.

Addig jó, míg nem tudja az ember, hogy mire vállalkozik. Nagyon sok örömet okozott ez a „kutatás” a számomra, és ha lehet, még jobban érdekel a torlónyomás, mint eddig, de örülök neki, hogy nem láttam előre, mennyi időt és energiát fog felemészteni a munka, mert lehet, hogy ez eltántorított volna pont ettől a témától.

## **VII) További kutatási irányok:**

- össze kell vetni a VAHAVA (változás-hatás-válaszadás) projekt kapcsolódó kutatásait az eddigi munkával, meg kell vizsgálni, hogy az ottani kutatók milyen tendenciát mutattak ki a szélsébség változásával kapcsolatban, és milyen módszerrel tették azt
- meg kell próbálni az Eurocode szélszámítási módszerét egy a korábbi MSZ 15021 által használt képlethez hasonló formába önteni
- még egyszer meg kell vizsgálni a szélsébségek standardizálásának lehetőségeit immár meteorológusok aktív bevonásával

## **VIII) Köszönetnyilvánítás:**

Szeretném megköszönni mindazok fáradozását, akik segítettek a dolgozat létrejöttét.

Köszönöm az OMSZ-nek az adatszolgáltatást és Mandl Évának az ügyintézését, valamint a mindig készséges tájékoztatást.

Köszönöm a Ferihegyi Reptér Meteorológiai Szolgálatának a kapott adatsorokat, Szalóky Péter és Gergely Csaba uraknak, hogy engedélyezték a hozzáférést. Külön köszönöm Kardos Péter úrnak a gyors ügyintézését és a minden alkalommal kimerítő információnyújtást.

Köszönöm Dr. Sajtos István tanár úrnak az ajánlóleveleket.

## IX) Források:

### 1. Szöveges információk:

- [1.] Országos Meteorológiai Szolgálat
- [2.] Ferihegyi Repülőtér Meteorológiai Szolgálat
- [3.] Kontur I. – Koris K. – Winter J.: Hidrológiai számítások, Linograf 2003 (más néven KoKoWin jegyzet)
- [4.] Riemann József: Valószínűségelmélet és matematikai statisztika mérnököknek, Tankönyvkiadó 1992
- [5.] Gulyás Ottó: Matematikai statisztika meteorológusok számára, OMSZ 1983
- [6.] Péliné Németh Csilla, Radics Kornélia, Bartholy Judit: A szélmező átlagos és extrém értékeinek változása Magyarországon, 2008
- [7.] Kármán Tamás – Gál István: A meteorológiai terhek (tanulmány), Építéstudományi Intézet 1970
- [8.] Magasépítési létesítmények ellenőrző erőtani számítása az MSZ EN szerint I., Magyar Mérnöki Kamara 2010
- [9.] BME Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék jegyzete, 15. SZERKEZETEK VIZSGÁLATA SZÉLTEHERRE
- [10.] Polyánszky Zoltán, Molnár Ákos: Nem mezociklonális tornádók Magyarországon, 2007
- [11.] MSZ 15021
- [12.] MSZ EN 1991-1-4:2007
- [13.] MSZ EN 1990
- [14.] <http://www.geographic.hu/index.php?act=napi&id=760>
- [15.] [http://hu.wikipedia.org/wiki/Torn%C3%A1d%C3%B3#A\\_korrig.C3.A1lt\\_Fuji\\_ta\\_sk.C3.A1la](http://hu.wikipedia.org/wiki/Torn%C3%A1d%C3%B3#A_korrig.C3.A1lt_Fuji_ta_sk.C3.A1la)
- [16.] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Sz%C3%A9l>
- [17.] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Ciklon>
- [18.] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Sz%C3%A9lny%C3%ADr%C3%A1s>
- [19.] <http://www.origo.hu/tudomany/19991004tornadok.html>
- [20.] <http://www.metnet.hu/?m=lexikon>
- [21.] <http://index.hu/belfold/vhr2479/>
- [22.] <http://index.hu/bulvar/vhrkrnl8174/>
- [23.] <http://www.idokep.hu/hirek/ozonviz-budapesten>
- [24.] [http://www.otm.gov.hu/web/jog\\_terv.nsf/0/2C255117CAA4C607C12575F50028262D/\\$FILE/1094\\_2009\\_Korm-hat.pdf](http://www.otm.gov.hu/web/jog_terv.nsf/0/2C255117CAA4C607C12575F50028262D/$FILE/1094_2009_Korm-hat.pdf)
- [25.] <http://www.stop.hu/articles/article.php?id=502362>
- [26.] [http://index.hu/bulvar/2009/06/25/az\\_ev\\_vihara\\_csapott\\_le\\_budapesten/](http://index.hu/bulvar/2009/06/25/az_ev_vihara_csapott_le_budapesten/)
- [27.] [http://nol.hu/mozaik/tornado\\_soport\\_vegig\\_diosjenon](http://nol.hu/mozaik/tornado_soport_vegig_diosjenon)
- [28.] [http://www.hirado.hu/Hirek/2010/06/18/17/Jeg\\_es\\_vihar\\_Szabolcsban\\_ot\\_es\\_felmilliardos\\_kar.aspx](http://www.hirado.hu/Hirek/2010/06/18/17/Jeg_es_vihar_Szabolcsban_ot_es_felmilliardos_kar.aspx)
- [29.] <http://www.idokep.hu/hirek/tornado-volt-eger-mellett>
- [30.] <http://www.aegon.hu/lakasbiztositas/hirek/egymillio-embert-erinthetnek-a-vihar-es-arvizkarok-magyarorszagon.html>
- [31.] <http://www.vg.hu/penzugy/biztositas/rekordot-dontott-idei-viharkar-318037>
- [32.] <http://www.origo.hu/tudomany/19991004tornadok.html>
- [33.] [http://www.met.hu/omsz.php?almenu\\_id=weather&pid=weather\\_delicates&mpx=&pri=0&page=0](http://www.met.hu/omsz.php?almenu_id=weather&pid=weather_delicates&mpx=&pri=0&page=0)
- [34.] [http://astro.elte.hu/icsip/nap/szolaris\\_mhd/mozgasegyenlet\\_in.html](http://astro.elte.hu/icsip/nap/szolaris_mhd/mozgasegyenlet_in.html)

- [35.] [rtlhirek.hu](http://rtlhirek.hu)
- [36.] [szupercella.hu](http://szupercella.hu)
- [37.] [idokkep.hu](http://idokkep.hu)
- [38.] [index.hu](http://index.hu)
- [39.] <http://idojaras.veszprem.hu/>
- [40.] [kisalfold.hu/](http://kisalfold.hu/)
- [41.] [www.sulinet.hu/termeszetvilaga](http://www.sulinet.hu/termeszetvilaga)
- [42.] [szegedma.hu](http://szegedma.hu)
- [43.] [bama.hu](http://bama.hu)
- [44.] <http://www.atmosphere.mpg.de>
- [45.] <http://nimbus.elte.hu>
- [46.] <http://www.wind-monitoring.com/>
- [47.] [www.tankönyvtár.hu](http://www.tankönyvtar.hu)
- [48.] <http://www.szel-mszte.hu>
- [49.] [www.haon.hu](http://www.haon.hu)
- [50.] [viharsarok.repeta.hu/](http://viharsarok.repeta.hu/)
- [51.] [www.origo.hu](http://www.origo.hu)
- [52.] [www.vg.hu](http://www.vg.hu)
- [53.] [www.met.hu](http://www.met.hu)
- [54.] [www.mno.hu](http://www.mno.hu)
- [55.] <http://www.inforadio.hu/>
- [56.] <http://vihar.lapunk.hu>

## 2. Képek

- [1.] [http://www.szel-mszte.hu/readarticle.php?article\\_id=6](http://www.szel-mszte.hu/readarticle.php?article_id=6)
- [2.] <http://www.wind-monitoring.com/>
- [3.] Kármán Tamás – Gál István: A meteorológiai terhek (tanulmány),  
Építéstudományi Intézet 1970