

Szélturbina telepítéshez előterelők vizsgálata lakótelepi környezetben

Investigation of guide baffles for wind turbine installations in an urban region

Hetyei Csaba*, Dr. Szlivka Ferenc**

* Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Iskola, Budapest, Magyarország

** Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország
hetyei.csaba@phd.uni-obuda.hu; szlivka.ferenc@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás — Napjainkban jelentkező egyre nagyobb energiaigény miatt, mindinkább előtérbe kerülnek a megújuló energiaforrások és hasznosításuk. Cikkünkben kisteljesítményű szélkerekek típusait és hasznosításukat tekintjük át épített környezetünkben. Majd egy 10 emeletes épület tetején kialakuló áramlási képet vizsgálunk meg, végestérfogat alapú áramlási szimulációs módszerrel. Ezt követően előterelővel az áramlási képet úgy módosítjuk, hogy az optimálisabb legyen a szélturbina telepítéshez.

Kulcsszavak: Szélenergia, szélturbina, szimuláció, CFD, BAWT

Abstract — Due to increasing energy demands, the renewable energy sources and their utilization are more and more emphasized. In this article, we review the wind energy utilization, especially for a small size wind turbines for BAWT (Building Augmented Wind Turbine). After this review we will present a flow simulation around a 10 floor building's roof. After this analysis, we will increase the fluid velocity with guide baffle and we will choose an optimal configuration for wind turbine installation.

Keywords: Wind energy, wind turbine, simulation, CFD, BAWT

1 BEVEZETÉS

Napjainkban jelentkező egyre nagyobb energiaigény miatt, mindinkább előtérbe kerülnek a decentralizált okos hálózatba integrálható megoldások. Ilyenek a biomasszát, geotermikus-, nap-, víz- és a szélenergiát hasznosító eszközök.

A megújuló energiaforrások piacát nézve növekvő trend figyelhető meg, minden évben egyre több új erőművet telepítenek. 2017-ben az új megújuló erőforrásokra összesen 280,2 milliárd USD-t fordítottak, melyből napenergiára 161 milliárd, a szélenergiára 107 milliárd USD-t költöttek [1].

Cikkünkben a szélenergia hasznosításával, azon belül is a kis teljesítményű szélturbinákkal foglalkozunk. Szemaválasztásunk indoka, hogy a jelenleg elérhető szakirodalom nem, vagy csak nehezen reprodukálható, így bemeneti feltételnek a későbbi kutatásainkhoz nem tudtuk felhasználni őket. Például Y. Ozmen és szerzőtársai [2] egy nyeregteret vizsgáltak néhány nevezetes dőlésszöggel. I. Abohela és szerzőtársai [3] és L. Ledo és szerzőtársai [4] egy beépített kisvárosi környezetben pár tetőszerkezetet és

azok különböző konfigurációit vizsgálták az épületek és a szél irányának függvényében.

2 SZÉLENERGIA HASZNOSÍTÁS ÁTTEKINTÉSE

A szélenergia hasznosításáról általánosságban elmondható, hogy az első elektromos áramot termelő szél erőművet 1887-ben Skóciában James Blyth építette, de elterjedésük csak az 1980-as olajválság idején kezdődött igazán. Azóta telepítésük növekvő tendenciát mutat, ami jól látszódik a telepített szél erőmű teljesítményeken. 2000-ben 17,4 GW, 2010-ben 197,9 GW, 2015-ben 432,4 GW, míg 2017-ben 539 GW összteljesítményű szélturbina állt rendelkezésre a világon [5].

A WindEurope (régi nevén European Wind Energy Association - Európai Szélenergia Szövetség) 2014-es becslésében három scenáriót dolgoztak ki. E szerint 2020-ra az európai energiatermelés minimum 12,8%-át szélenergia biztosítja 165,6 GW telepített teljesítménnyel. A második eshetőség szerint, az energiatermelés 14,9%-át, 192,5 GW telepített teljesítménnyel, az optimális esetben 17%-át, 217 GW telepített teljesítménnyel fogja biztosítani a szélenergia [6]. Egy 2017-ben kiadott, 2030-ra szóló becslés szerint, az európai energiatermelésben a szélenergia részesedése legrosszabb esetben 21,6% (256 GW), közepes esetben 29,6% (323 GW) és a legjobb esetben 37,6% (397 GW) lesz [7].

A szélenergia hasznosítás növekvő igénye Európán kívül is megfigyelhető. Egy 2008-as előrejelzés szerint 2030-ban, az Amerikai Egyesült Államokban az energiafelhasználás 20%-át, 300 GW telepített teljesítményű szél erőművel fedezik [8].

Kína 2020-ra energiafelhasználásának 6%-át (200 GW), 2030-ra 8,5%-át (400 GW) és 2050-re 17%-át (1000 GW) szélenergiából szeretné kitermelni [9].

Világviszonylatban 2010-ben a telepített szél erőművek 0,23%-át (443,3 MW), 2015-ben 0,22%-át (948,9 MW) kis teljesítményű szélturbinák biztosították. Ezt a részesedést 2010-ben körülbelül 656 ezer, 2015-ben 991 ezer darab kis erőmű biztosította. Előrejelzések szerint 2020-ra 1,9 GW telepített kisteljesítményű szél erőmű lesz világszerte [10 p.3]. Százalékos megoszlását tekintve jelenleg elhanyagolhatóan tűnik ezeknek a szélturbináknak az energiapiacra mutatott részesedése, de a jövőben kialakulóban lévő okos energiahálózatnak (smart grid)

valamint az energiahálózattól távoli területek energiaigényének a kiszolgálásában fontos szerepet foglalhatnak el.

3 SZÉLTURBINÁK CSOPORTOSÍTÁSA

A szélturbínák többféleképpen csoportosíthatók. Két lehetséges csoportosítási mód a teljesítményük szerinti vagy a forgási tengelyük állása szerinti csoportosítás.

Teljesítmény szerinti csoportosítás esetén többféle szabvány és előírás létezik, így a kialakított csoportok országanként különfélék lehetnek.

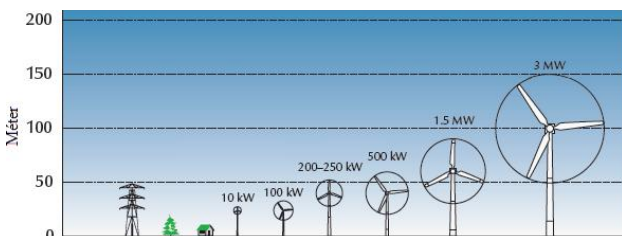
A forgási tengely állása szerint vízszintes - (HAWT – Horizontal Axis Wind Turbine) és a függőleges tengelyű (VAWT – Vertical Axis Wind Turbine) szélturbínákat különböztetünk meg.

3.1 Mi a kisteljesítményű szélturbina?

Országanként eltérően többféle definíció és megnevezés létezik a kisteljesítményű szélturbínákra. Azokban az országokban, ahol az IEC 61400-2-es szabvány szerinti definíciót használják, kisteljesítményű szélturbínának azokat a turbinákat nevezik, amelyek lapátjai által súrolt terület 200 m²-nél kisebb és az előállított feszültség egyenáram esetén 1000 V, váltóáram esetén 1500 V-nál kevesebb [10 p.10].

Azokban az országokban, ahol nem a Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság (International Electrotechnical Commission – IEC) által meghatározott definíciót használják, ott az országok saját maguk dönthetnek arról, hogy mit értenek kisteljesítményű szélturbina alatt. Ilyen ország például Kanada, ahol a teljesítményük és tartóoszlop magasságuk alapján csoportosítják a szélturbínákat. A Kanadai Szélenergia Szervezet (Canadian Wind Energy Association - CanWEA) megfogalmazása szerint az 1 kW-nál kisebb teljesítményű szélturbínák a mini- vagy mikro szélturbínák. 1-30 kW között beszélnek kisméretű szélturbínákról, a 30-300 kW közötti teljesítményű turbinák a közepes méretű szélturbínák [11].

A következő ábra a (HAWT) szélturbínák méret és jellemző teljesítményértékeit szemlélteti.



1. ábra. Szélturbina méretek és a hozzájuk tartozó jellemző teljesítmény [12]

3.2 Vízszintes tengelyű szélturbínákról

A vízszintes tengelyű szélturbínák elődei a szélmalomok voltak, melyek a 12. század környékén jelentek meg Európában. 1887-ben készítették el az első elektromos áramot termelő szélturbínát.

A jelenleg használatos turbinák három forgó lapáttal rendelkeznek, melyek egy vízszintesen forgó tengelyt hajtanak. Nagyobb hatásfokkal rendelkeznek, mint a függőleges tengelyű szélturbínák és elterjedtebbek is. [13]

3.3 Függőleges tengelyű szélturbínákról

A függőleges tengelyű szélturbínákat két nagy csoportba szokták osztani, attól függően, hogy a felhajtó- vagy az ellenálláserőn alapul a kerék mozgása. Az egyik legismertebb ellenálláserőt hasznosító szélturbina a Savonius-, a felhajtóerőt hasznosító pedig a Darrieus szélturbina.

Mindkettőt feltalálójáról nevezték el. Előbbit 1922-ben a finn Sigurd Johannes Savonius [14], utóbbit a francia származású Georges Jean Marie Darrieus [15] találta fel.

A függőleges tengelyű szélturbínák előnyei:

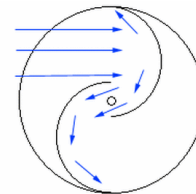
- a szél bármilyen irányból érkezik, nincs szükség szélbe állító mechanizmusra (Yaw mechanism),
- a felszín közelébe telepítik, így könnyebb a karbantartásuk,
- a felszín közeli telepítés másik előnye, hogy az urbanizált régióban bárhova telepíthetők (épületek tetejére, kéményekre stb.),
- alacsonyabb szélsősebéségnél indulnak el.

A függőleges tengelyű szélturbínák hátrányai:

- kisebb a teljesítményük a lapátokon ébredő ellenálláserő miatt,
- a felszín közeli telepítés hátránya, hogy a felszín közelében kisebb a szél sebessége.

3.3.1 Savonius szélturbina

A Savonius szélturbina egy egyszerű szerkezet, mely a test áramlásba helyezett ellenállását hasznosítja. Jellemzően két vagy három félhengert építenek egybe. A következő képen a szélturbina elvi ábrája látható.



2. ábra. Savonius szélturbina elvi vázlata [16]

A kerékre érkező szél miatt a félhengereken eltérő nagyságú ellenálláserő ébred, ami mozgásba hozza a szélkereket. Ennek az erőnek az értékét a következő formulával lehet kiszámítani:

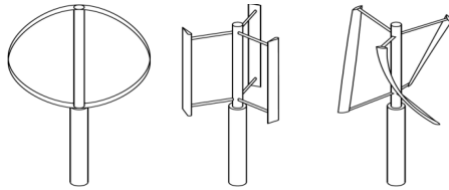
$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_D \cdot A \cdot v^2 \quad (1)$$

Az egyenletben F_D , az ellenálláserő, ρ , az áramló közeg sűrűsége, c_D , az ellenállás-tényező, A , a test keresztmetszete v , a szélsősebesség.

Az egyenletben az ellenállás-tényező a beesési szög függvényében eltérő. Amennyiben a szél merőlegesen érkezik a két félkörre, akkor c_D értéke homorú felületen 1,33, domború felületen 0,34 [17].

3.3.2 Darrieus szélturbina

A felhajtóerőt hasznosító függőleges tengelyű szélturbínák közül a legismertebb a Darrieus szélturbina, ami többféle kialakítással rendelkezik. A három leggyakoribb változata a következő ábrán látható.



3. ábra. Ívelt lapátos Darrius, H-rotor és Gorlov kerék [18]

A Darrius kerék a felhajtóerőt hasznosítja, így jobb a hatásfoka, mint az ellenálláserőt hasznosító szélturbináknak. Ehhez a nagyobb teljesítményhez azonban nagyobb indítónyomatékra van szükség, ezért az utóbbi időben egy külső indítómotorral szokták felszerelni őket. Ilyen indítómotor lehet egy elektromotor vagy egy Savonius kerék.

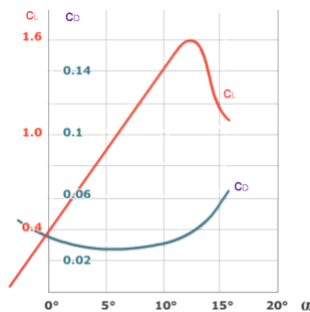
A „klasszikus” Darrius turbina (3. ábra) lapátozása egyenlő ívhosszú csavarodás nélküli szárnyprofilból készül. NACA profilokból a 0012 és 0018-as keresztmetszeteket szokták használni. Általánosságban elmondható, hogy minél vékonyabb a kiválasztott profil, annál kevésbé felel meg szilárdságtanilag. Minél vastagabb a profil, annál jobb az önindító képessége, mivel az ellenállás-tényezője is nagyobb. Ennek következménye, hogy nagyobb gyorsítási tényezők esetén rosszabb teljesítménnyel rendelkeznek, mint a vékonyabb profilból készült turbinák. Batista és társai szerint [19] NACA profilok esetén a 0020 keresztmetszet az a szélsőérték, melynek a használata még energetikailag indokolt lehet.

Ennél a típusú szélerőknél is a mozgás fő hajtóereje, a lapátokon ébredő erők. A felhajtóerő kiszámítható a következő formulával:

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_L \cdot A \cdot v^2 \quad (2)$$

Az egyenletben, F_L , a felhajtóerő, c_L , a felhajtóerő-tényezője.

Szárnyprofilokon ébredő c_L és c_D értékeinek az összehasonlítása a következő ábrán látható.



4. ábra. Szárnyprofilon ébredő ellenálláserő és felhajtóerő jelleggörbéje [17]

A két skálán megfigyelhető, hogy a felhajtóerő-tényezője az ellenálláserő tényezőjénél közel egy nagyságrenddel nagyobb.

3.4 Szélturbinákkal kiegészített épületekről

A szakirodalom szerint a szélturbinával kiegészített épületeknek (BAWT - Building Augmented Wind Turbines) három típusa létezik. Az egyik, amikor a szélturbinát az épület valamely pontjára telepítik (épület fala, tető), a másik, amikor a turbinát két épület közé

telepítik. A harmadik esetben, amikor a szélturbina köré építik az épületet.

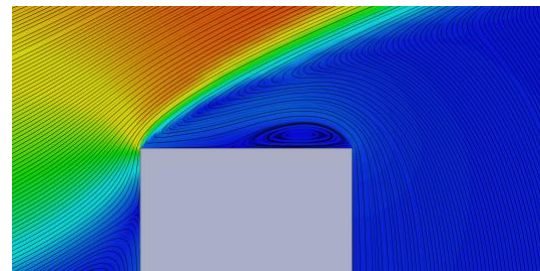
A három megoldás mindegyike kedvező, mert az épületek környezetében a szél számára elérhető áramlási tér lecsökken, így a kontinuitás törvény értelmében a szél sebességének gyorsulnia kell.

A következő ábrán az épület tetejére telepített szélturbinák láthatók.



5. ábra. Szélkerékkel kiegészített épület [20]

E telepítési módnál külön érdemes figyelni, arra, hogy ha a tetőn vannak műtárgyak (légkondicionáló egységek, oszlopok, kábelek, liftházak), kitarthatják a szelet a turbina előtt. Olyan áramlási képet is létrehozhatnak, hogy örvények és visszaáramlások keletkeznek, illetve a fal mellett kialakuló határreteg leválás miatt alacsonyabb szélsősebesség és közel szélcsend is kialakulhat. Egy saroknál keletkező határreteg leválás látható a következő ábrán.

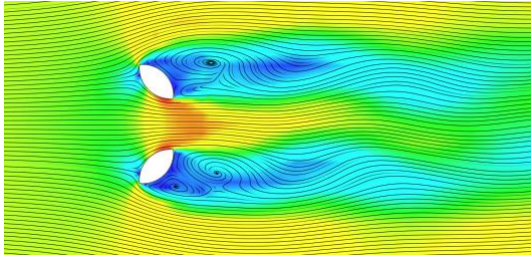


6. ábra. Határreteg leválás és egy visszaáramló örvény

A két épület közé telepített turbinára példa a bahreini Világkereskedelmi Központ, mely a következő ábrán látható. Ennél a típusnál a két épületet tölcsérszerűen vagy konfüzorként célszerű elképzelni. A beérkező szelet összegyűjtik és a két épület közötti résen átáramolva hajtják meg a közéjük szerelt szélturbinákat.



7. ábra. bahreini Világkereskedelmi Központ [21]



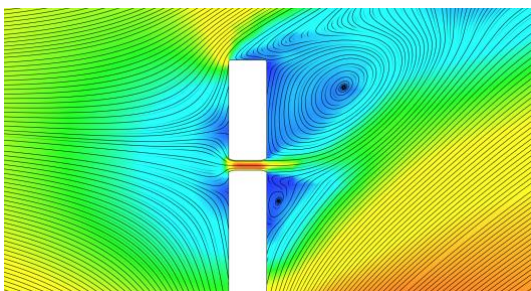
8. ábra. Két épület között kialakuló áramlási kép

Az ilyen épületek tervezésénél figyelembe kell venni, hogy a felszerelt szélturbinák jellemzően nem rendelkeznek széllel szembeforgató mechanizmussal, így csak akkor gazdaságos szélturbinát telepíteni, ha az adott térség rendelkezik egy jellemző széliránnyal.

A harmadik esetben épületbe telepítik a szélturbinákat, valamelyik emelet helyére. Erre a típusra a Guangzhouban található Pearl River torony példa, mely a 9. ábrán látható. Ezeket az épületeket úgy alakítják ki, hogy a lehető legnagyobb beesési szögben össze tudják gyűjteni a szelet, és azt a turbinához tereljék. Ennek a típusnak az áramlási képe a 10. ábrán látható.



9. ábra. Pearl River torony és a benne lévő szélturbina [22, 23]



10. ábra. Épület közepén kihagyott résben kialakuló áramlás képe

4 ÁRAMLÁSTANI SZIMULÁCIÓKRÓL

A numerikus áramlástani szimulációs szoftverek közül a SOLIDWORKS Flow Simulationt választottuk, ami egy véges térfogat módszerre (VTM) épülő hő- és áramlástani szimulációs szoftver a SOLIDWORKS CAD rendszerébe integrálva.

4.1 Véges térfogat módszerrel általánosságban

A VTM alapú szimulációs szoftver a rendelkezésre álló teret véges térfogatú cellákra bontja, és az így kapott térrészekre a megmaradási tételek segítségével kiszámolja a nyomás, a sebesség és a hőmérséklet mezőket. Ez a számítás jellemzően a következő transzport egyenletre épül:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V U dV + \oint_A \underline{F} d\underline{A} - \int_V S_V dV + \oint_A \underline{S}_A d\underline{A} = 0 \quad (4)$$

Az egyenletben $\frac{\partial}{\partial t}$ az időfüggő tag (állandósult állapotban értéke 0), U , egy maradó mennyiség térfogati sűrűsége, F , az adott jellemző fluxusa, S_V , térfogati forrás az adott F fluxusra, S_A , felületi forrás az adott F fluxusra, V , ellenőrző térfogat, A , az ellenőrző térfogat felülete.

A szoftver a tér diszkretizált részeire egy kiindulási értékkel elvégzi a számításokat. Az így kapott eredményekkel újabb iterációkat végez, míg a szimuláció el nem éri az előírt leállítási kritériumot. Jellemzően ez a leállítási kritérium az egyenlet jobb oldalán lévő 0 érték közelítése egy elhanyagolható nagyságú hibával [24].

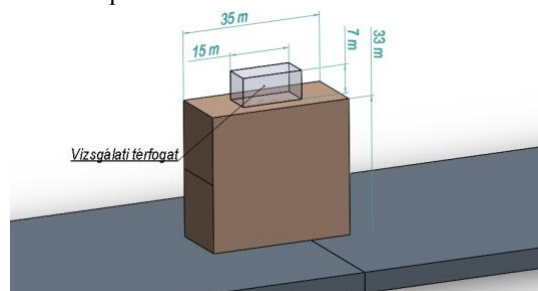
5 VIZSGÁLT ESETEK

Szimulációinkban egy, a következő képen is látható 10 emeletes épületet vizsgáltuk meg, mely Budapest nagyobb lakóparkjaiban található.



11. ábra. 10 emeletes épületek egy budapesti lakóparkban

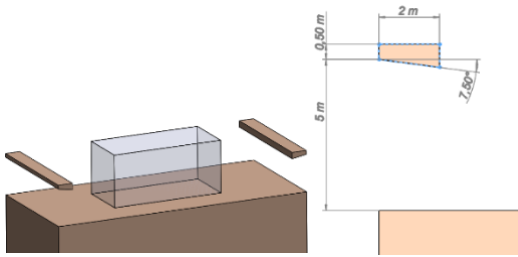
Vizsgálatunkhoz a geometriai méreteket egy térképszolgáltatató műholdképének segítségével lemértük, majd a liftház elhanyagolásával a következő ábrán látható geometriát kaptuk.



12. ábra. Vizsgált épület és közvetlen környezete

Ennek az épületnek a tetejét vizsgáltuk a lakópark többi épülete nélkül, 2D-s áramlástani szimulációval. Szimulációink célja az volt, hogy a lehető legnagyobb szélsősebességet érjük el a vizsgálati térfogatban.

Első ötletünk a belépőél módosítása volt letöréssel vagy lekerekítéssel. Ezt a módszert elvetettük, mivel a belépőél a már megépített épületek esetén nem, vagy csak nehezen módosítható. Így előterelőkkel felszerelve a sarokkezelés nélküli esetet vizsgáltunk. Előterelőnek a lehető legegyszerűbbet választottuk, melynek alapkonfigurációja a következő képen látható.

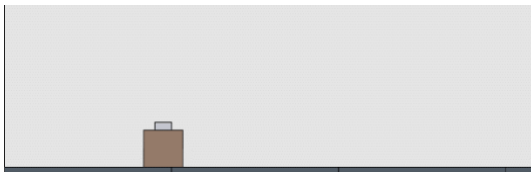


13. ábra. Kiindulási előterelő méretei

A kiindulási előterelő geometriát változtatva végestérfogat alapú szimulációs módszerrel megvizsgáltuk azt az esetet, mikor az előterelő hossza, dőlésszöge illetve függőleges és vízszintes helyzete változik.

5.1 Permfeltételek

Szimulációinkhoz síkáramlást feltételeztünk, mely estében a vizsgált keresztmetszetre merőlegesen nincs semmilyen változás. Az így kapott áramlási sík 475 x 150 méteres téglalap volt, melyben az épület elhelyezkedése a következő képen látható.



14. ábra. Áramlási tér

Az áramlási térbe belépő szélességet 10 méteres magasságban $10 \frac{m}{s}$ -nak feltételeztük. Más magasságokban a WMO (World Meteorological Organization - Meteorológiai Világszervezet) által javasolt összefüggést használtuk [25] a szélesség becsléséhez. Az így kialakuló sebességprofil a következő képlettel számítható, és értéke az általunk vizsgált esetekben a következő ábrán látható.

$$v_h = v_{10} \cdot (0,233 + 0,656 \cdot \lg(h + 4,75)) \quad (5)$$

Az egyenletben, v_h , a vizsgált magasságban a szél becsült sebessége, v_{10} , a 10 méter magasságban mért szélesség, h , a vizsgált magasság.



15. ábra. $v_{10} = 10 \frac{m}{s}$ esetén a szélesség profilja 0 és 150 méter magasság között

Az áramlási térben a turbulencia leírásához k-ε modellt használtunk.

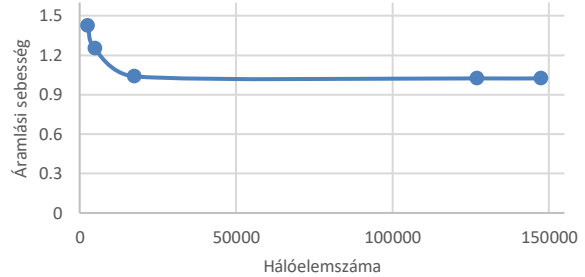
Az áramlási térben minden felületet ideálisnak tekintettünk, így sem felületi érdességgel, sem felületi egyenetlenséggel nem rendelkeztek. Az áramlási térben az áramlást semmilyen épített és élő környezeti elem nem befolyásolta.

5.2 Hálózás

A VTM az áramlási teret a nevében is szereplő módon, véges térfogatú elemekre bontja. Az általunk választott szoftver blokkstrukturált hálózást hoz létre, ami azt jelenti, hogy az áramlási tér felbontására csak téglatest elemeket használ, melyeket hálósűrítés esetén oldalfelezéssel oszt fel.

5.2.1 Hálójároggetlenség

Az eredmények megbízhatóságának érdekében a végestérfogat hálónkat hálójároggetlenségi vizsgálatnak vetettük alá a kiindulási geometriával, melynek eredményei a következő ábrán láthatók.

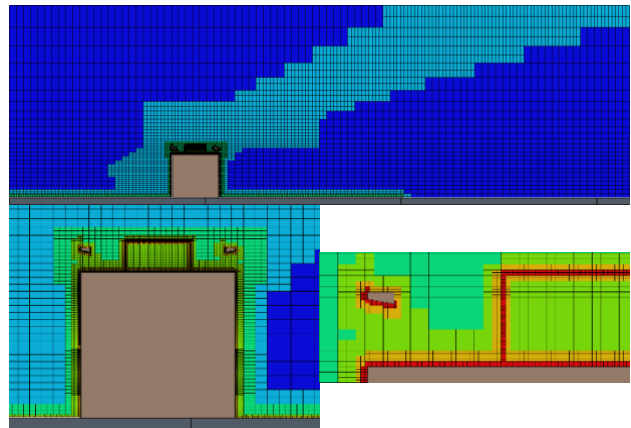


16. ábra. Vizsgált régió átlagos szélességének változása a hálózás függvényében

5.3 VT háló és egyéb feltételek

A vizsgált esetekben a hálózás elemszáma a tető kialakításától függően változott, kb. 220 000 és 225 000 darab között.

A következő ábrán az egyik előterelő esetében a hálózás látható. Kék színnel azokat a cellákat jelöltük, amelyek nem lettek oldalfelezéssel sűrítve. A piros szín felé haladva az oldalfelezések darabszámára tudunk következtetni (a piros szín öt darab oldalfelezést jelent).

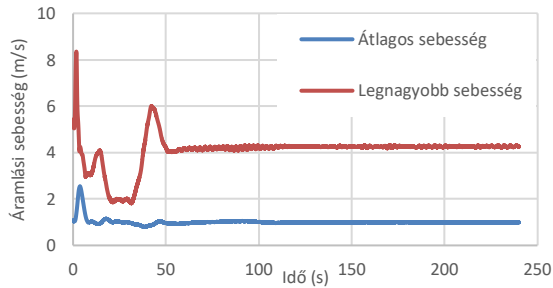


17. ábra. VT háló a kiindulási előterelő esetében

A szimulációkat állandósult állapotban futtattuk 200 iterációig, majd időfüggő szimulációként folytattuk 240 másodpercig, automata időlépéssel.

5.4 Vizsgált esetek

Az előzetesen említett vizsgálati térfogatban az áramlási sebesség átlagát folyamatosan figyeltük és a szimulációkat lefuttatva megállapítottuk, hogy az eredmények jellege a vártaknak megfelel. A következő ábrán a vizsgálati térfogatban az átlagos és a legnagyobb áramlási sebességek láthatók az idő függvényében.

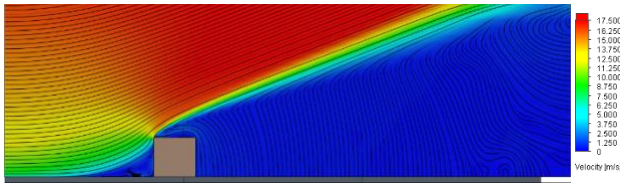


18. ábra. Az egyik előterelő eset, az áramlási sebességek maximuma és átlaga a vizsgálati térfogatban (az idő függvényében)

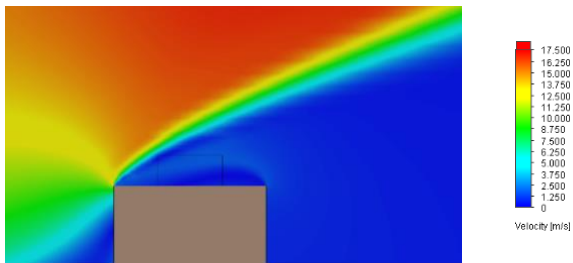
Kiértékelés során, az idősorok összehasonlítása helyett minden esetben az utolsó egy másodperc értékeinek átlagát vettük.

5.5 Szimulációk eredményei

Alap esetben, azaz előterelő nélkül a következő áramképet kaptuk az épület környezetében.



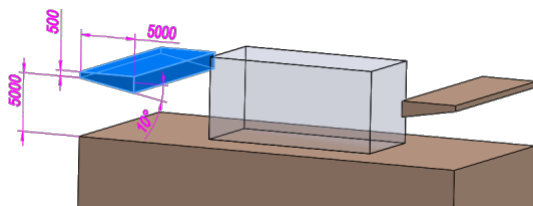
19. ábra. Előterelő nélküli épület környezetében az áramlási kép



20. ábra. Előterelő nélküli épület környezetében az áramlási kép (nagyított ábra)

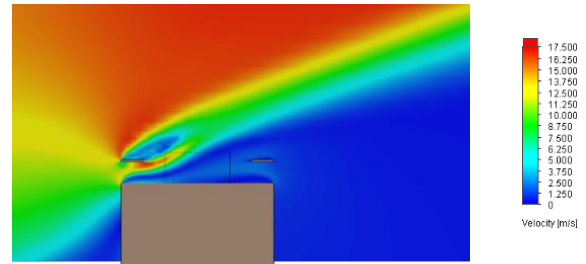
Előterelő nélküli esetben az átlagos szélesebbesség értéke az utolsó egy másodpercben a vizsgálati térfogatban $1,023009617 \frac{m}{s}$ volt, míg a legnagyobb szélesebbesség $1,731143327 \frac{m}{s}$.

Következő lépésben az alábbi ábrán látható méretekkel futtattunk szimulációkat, úgy, hogy a dőlési szöget változtattuk 5-40°-ig.

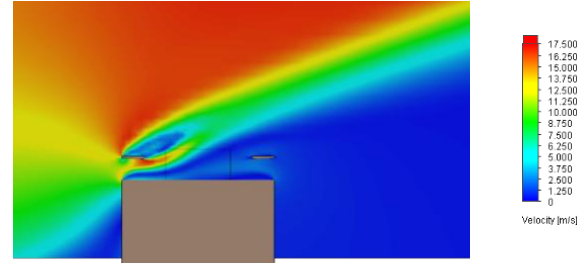


21. ábra. Dőlésszög optimalizáláshoz használt méretek

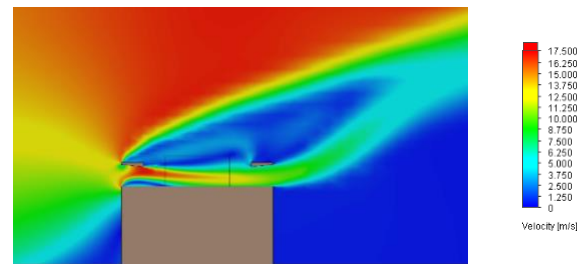
Szimulációink közül néhány eset sebességeloszlása a következő ábrákon látható.



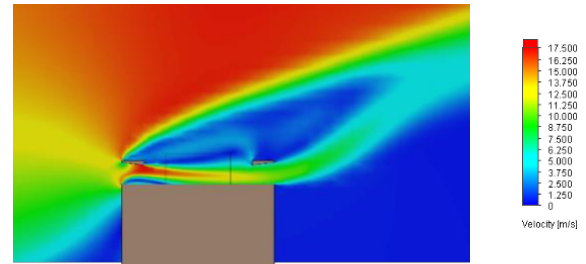
22. ábra. 5°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben



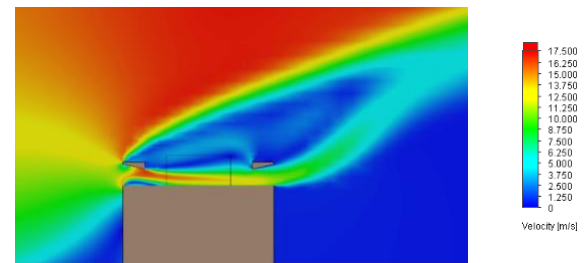
23. ábra. 10°-os dőlésszög áramlási kép az áramlási térben



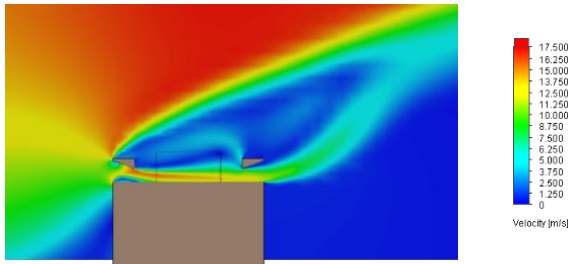
24. ábra. 15°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben



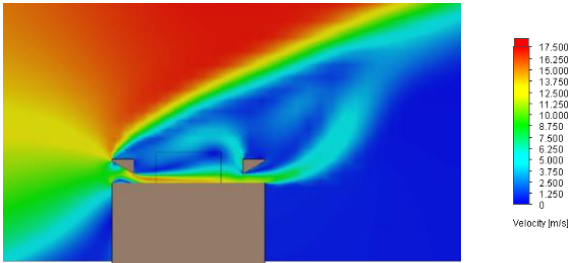
25. ábra. 20°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben



26. ábra. 25°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben



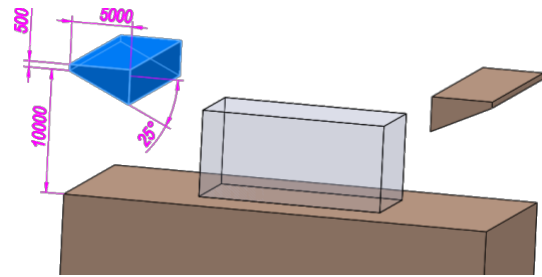
27. ábra. 30°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben



28. ábra. 40°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben

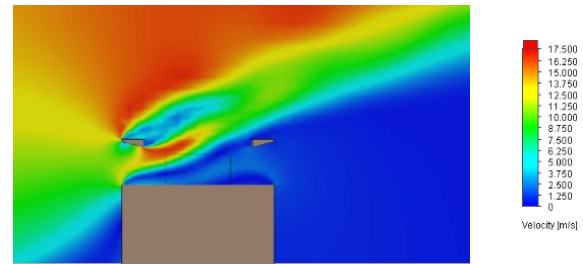
Még megállapítható, hogy a dőlésszög növelésével az áramlási sebesség legnagyobb értéke nőtt folyamatosan, mely az alacsony függőleges tengelyű szélturbináknak (VAWT) kedvez.

Ezt követően az eső jelleget vizsgáltuk, hogy az megjelenik-e a magasság változtatásával. Ehhez az 5 m-es magasságot 10 m-re növeltük. A vizsgálatot jóval kevesebb esetben futtattuk le 15° és 45° közötti tartományban.

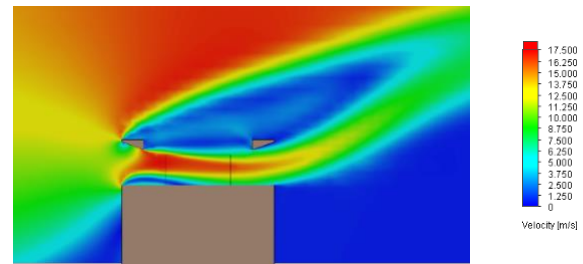


31. ábra. Magasított előterelő kiindulási geometriája

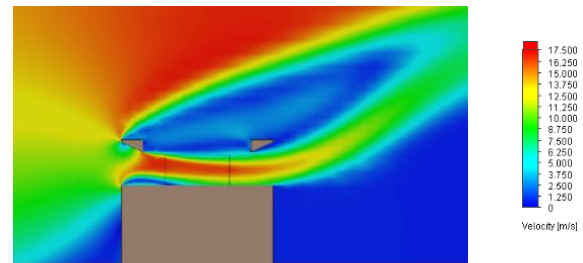
Az így lefutott esetekben a következő áramlási képeket kaptuk.



32. ábra. 15°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben

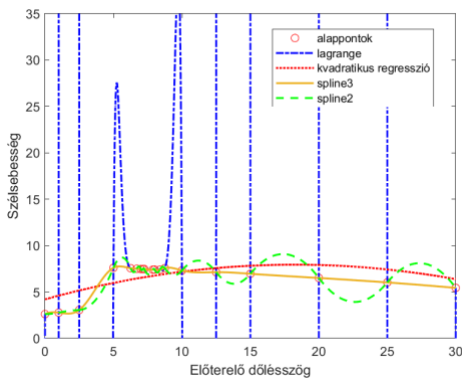


33. ábra. 20°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben



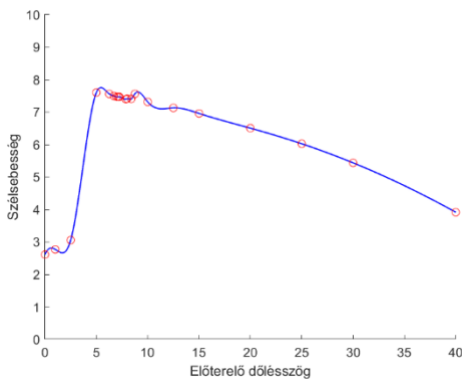
34. ábra. 25°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben

A kapott eredményeket többféle közelítő eljárással vizsgáltuk, melyek a következő ábrán láthatók.



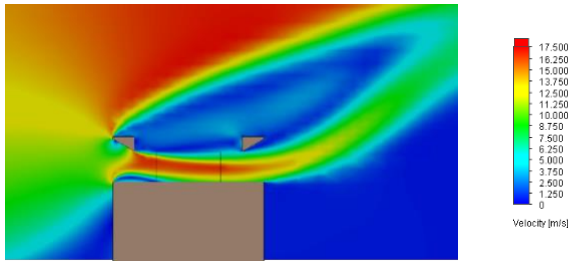
29. ábra. Vizsgálathoz használt interpolációs függvények

A 29-es ábrán látható interpolációs függvények közül a alábbi ábrán látható harmadfokú szplájn függvényt választottuk ki.

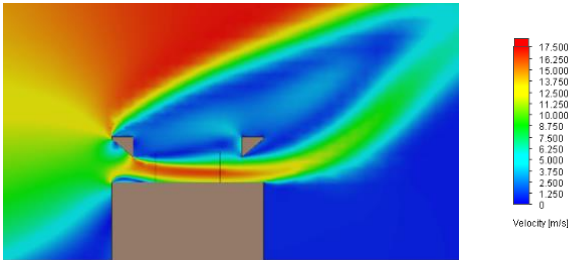


30. ábra. Vizsgálati esetek harmadfokú szplájn interpolációval összekötve

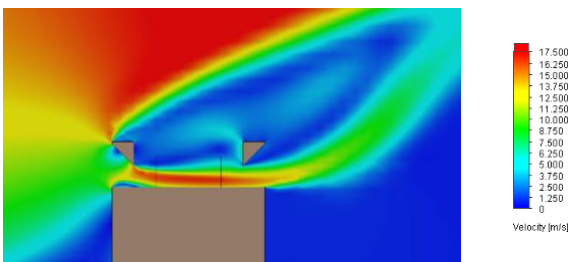
20 vizsgált dőlésszög esetén a függvényillesztés szerint a legnagyobb áramlási sebesség ($7,7552 \frac{m}{s}$) 5,4439°-os dőlésszöghöz tartozik.



35. ábra. 30°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben

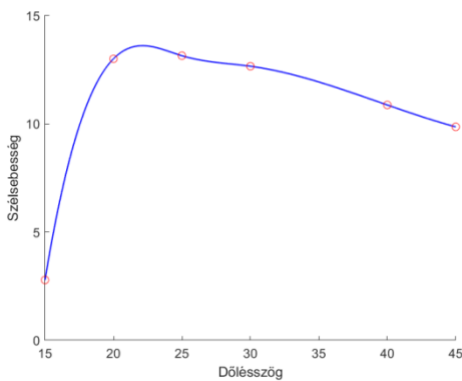


36. ábra. 40°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben



37. ábra. 45°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben

A vizsgált esetekben az ellenőrző térfogatban kapott átlagos áramlási sebességek alakulása a következő ábrán látható.

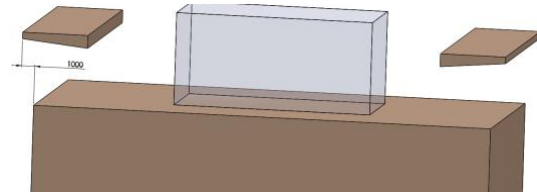


38. ábra. Magasított esetekben kapott átlagos áramlási sebességek harmadfokú szplájn interpolációval összekötve

Néhány ponton lefuttatva a szimulációkat megállapítottuk, hogy ugyanúgy létezik egy optimális dőlésszög, mint 5 méter magas előterelővel. Ennél a magasságnál a legnagyobb átlagsebesség ($13,6138 \frac{m}{s}$) nagyobb dőlésszög esetén ($22,0909^\circ$) volt megfigyelhető.

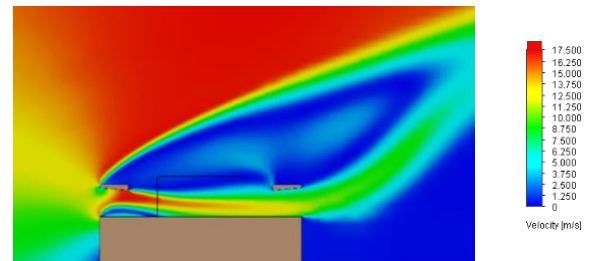
Ezen felül megállapítható, hogy a dőlésszög növelésével a vizsgálati térfogatba beteret levegő a térfogat alja felé tart.

Következő lépésként az előterelőt az épület síkfala elé kitöltük, ehhez egy magyarázó ábra látható a következő képen.

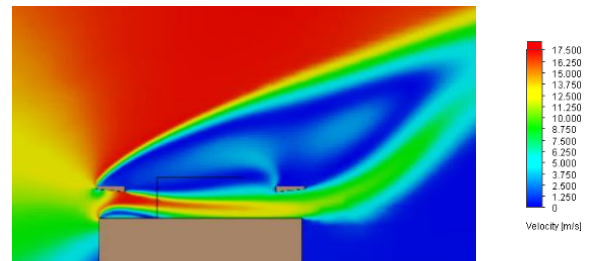


39. ábra. Az előterelés iránya és azt vezérlő méret

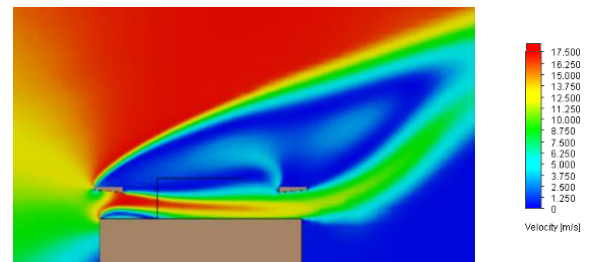
A szimulációkat 0 és 4 méter közötti tartományban futtattuk le. Az így kapott áramlási képek a következő ábrákon láthatók.



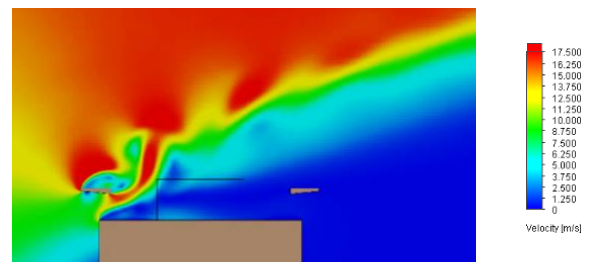
40. ábra. Áramkép a kiindulási állapot (0 m) esetén



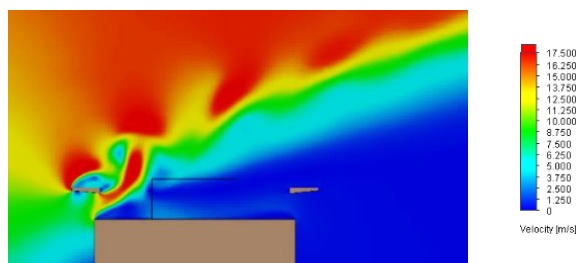
41. ábra. Áramkép a 0,5 méteres előtolás esetén



42. ábra. Áramkép a 1 méteres előtolás esetén

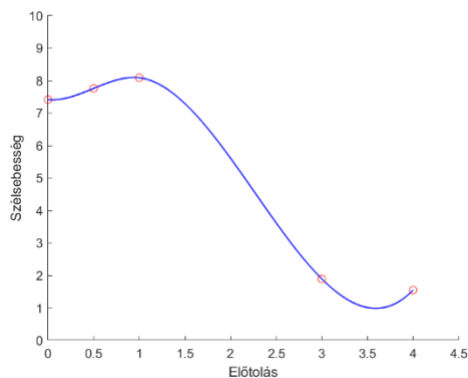


43. ábra. Áramkép a 3 méteres előtolás esetén



44. ábra. Áramkép a 4 méteres előtolás esetén

Az eredmények feldolgozását az előző kiértékelési módszer szerint végeztük és a következő ábrán látható.



45. ábra. Előterelő hatása a szélsébségre

Megállapítottuk, hogy 5,4439°-os dőlésszögű 5 méter hosszú előterelő a legnagyobb szélsébséget ($8,0983 \frac{m}{s}$) 0,9394 méteres előtolás esetén tudja előállítani.

Ezekon a szimulációkon kívül még vizsgáltuk azokat az eseteket is, amikor az előterelő hossza változik. Ekkor azt tapasztaltuk, hogy az átlagos áramlási sebesség nem nő, de a legnagyobb sebesség igen. Viszont az is csak az ellenőrző térfogat alsó régiójában, amerre az előterelő terelte a szelet.

5.6 Eredmények kiértékelése

Szimulációs eredményeinket összegezve megállapítottuk, hogy az előterelő nélküli esethez képest előterelővel közel nyolcszoros szélsébséget lehet előállítani.

Kiindulási esetünkben az épület tetején a határreteg leválása miatt átlagosan $1,023 \frac{m}{s}$ szélsébség volt tapasztalható a vizsgálati térfogatban. Előterelővel és annak megfelelő mértékű szűkítésével és előterelővel $8,098 \frac{m}{s}$ átlagos szélsébséget tudunk előállítani.

6 ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk kiindulópontja az volt, hogy forráselemzésünk során nem találtunk reprodukálhatóan dokumentált esetet az adott témában. Ezért egy budapesti lakóparkban lévő épület geometriáját kiegészítettük egy előterelővel, melynek méretét egy végésterfogat szimulációs szoftver segítségével optimalizáltuk. A kiindulási szélsébséghez képest nyolcszoros sebességnövekedést tudunk elérni a vizsgálati térfogatban.

Kapott eredményeinket a későbbiek során fel tudjuk használni 2,5D-s és 3D-s szimulációkhoz, mely során a telepíteni kívánt szélturbina geometriáját is vizsgálhatjuk. Ezt a munkát folytatva egy intelligens, önbeállító előterelő rendszer szabályzásához előállítható egy adathalmaz, mely

a szélsébség függvényében tartalmazza az optimális széltermeléshez szükséges magasság-, dőlésszög- és előtolás értékeket.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

AZ EMBERI ERŐFORRÁSOK MINISZTERIUMA ÚNKP-18-3-I-OE-87 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Frankfurt School – UNEP Collaborating Centre for Climate & Sustainable Energy Finance (2018). Global trends in renewable energy investment 2018, <https://europa.eu/capacity4dev/file/71900/download?token=57xpTJ4W> p. 15. (2018.09.30.)
- [2] Y. Ozmen, E. Baydar, J.P.A.J. van Beeck (2016). Wind flow over the low-rise building models with gabled roofs having different pitch angles, *Building and Environment*, 95, p.63-74, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.09.014>
- [3] Islam Abohela, Neveen Hamza, Steven Dudek (2013). Effect of roof shape, wind direction, building height and urban configuration on the energy yield and positioning of roof mounted wind turbines, *Renewable Energy*, 50, p. 1106-1118, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.08.068>
- [4] L. Ledo, P.B. Kosasih, P. Cooper (2011). Roof mounting site analysis for micro-wind turbines, *Renewable Energy*, 36, p.1379-1391, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2010.10.030>
- [5] Wind energy, https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power (2018.09.30.)
- [6] European Wind Energy Association (2014). Wind energy scenarios for 2020, p.4. <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/scenarios/EWEA-Wind-energy-scenarios-2020.pdf> (2018.09.29.)
- [7] WindEurope (2017) Wind energy in Europe: Scenarios for 2030 p.17-18. <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Wind-energy-in-Europe-Scenarios-for-2030.pdf> (2018.09.29.)
- [8] U.S. Department of Energy (2008). 20% Wind Energy by 2030, p.2. <https://www.nrel.gov/docs/fy08osti/41869.pdf> (2018.09.29.)
- [9] International Energy Agency (2011) Technology Roadmap - China Wind Energy Development Roadmap 2050 p. 23-25 https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/china_wind.pdf (2018.09.29.)
- [10] World Wind Energy Association (2017). 2017 Small Wind World Report https://www.windea.org/wp-content/uploads/filebase/small_wind_SWWR2017-SUMMARY.pdf (2018.09.29.)
- [11] Canadian Wind Energy Association (2006). Small Wind Siting And Zoning - Study Development Of Siting Guidelines And A Model Zoning By-Law For Small Wind Turbines (Under 300 kW) p. 3. http://www.toolkit.bc.ca/sites/default/files/Small_Wind_Siting_By_law%20and%20Guidelines.pdf (2018.09.30.)
- [12] Szélturbina méretek és a hozzájuk tartozó jellemző magasság <https://electrical-engineering-portal.com/wp-content/uploads/wind-turbine-sizes.gif> (2018.10.07.)
- [13] Wind turbine https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine (2018.12.27.)
- [14] Savonius wind turbine https://en.wikipedia.org/wiki/Savonius_wind_turbine (2018.10.03.)
- [15] Georges Jean Marie Darrieus https://en.wikipedia.org/wiki/Georges_Jean_Marie_Darrieus (2018.10.03.)
- [16] Savonius turbine elvi vázlata <http://www.savonius.net/uploads/7/2/7/6/7276038/2989902.gif> (2018.10.01.)
- [17] Szlivka Ferenc, Molnár Ildikó (2012). Víz- és szélenergia hasznosítás, *Eduus Főiskola Kiadó*, http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_10_viz_es_szelenergia/ch03s06.html (2017.04.07.)

- [18] Casini, M (2016). Small Vertical Axis Wind Turbines for Energy Efficiency of Buildings. *Journal of Clean Energy Technologies*, 4(1), p.56-65.
- [19] Nelson C. Batista, Rui Melicio, Victor M.F. Mendes (2018). *Darrieus vertical axis wind turbines: methodology to study the self-start capabilities considering symmetric and asymmetric airfoils*. Research on Engineering Structures and Materials, 4(3), 189-217. DOI: <http://dx.doi.org/10.17515/resm2017.39ds0108>
- [20] Szélturbinával kiegészített épület
https://inhabitat.com/files/swift_commercial.jpg (2018.10.07.)
- [21] Bahreini Világkereskedelmi Központ
http://lh3.googleusercontent.com/-KK_pVixjmX4/VlaSjOBN_9I/AAAAAAAAABI-E/JmGCwdnQGrS/bahrain-world-trade-center-9%25255B6%25255D.jpg (2018.10.07.)
- [22] Pearl River torony
http://smithgill.com/media/images/project_images/534/pearl_5.jpg (2010.10.07.)
- [23] Szélturbina a Pearl River toronyban
https://www.som.com/FILE/17902/pearlriver_sustainable_700x800_som_07.jpg (2018.10.07.)
- [24] Hetyei Cs., Dr. Szlvika F. (2018). Lapátszög-szabályzás hatása a nyomatékra. *Bánki Közlemények*, 1(1) p. 83-88.
- [25] Tóth Gábor (2005). Energia célú szélmérés, p. 91.
http://phd.szie.hu/JaDoX_Portlets/documents/document_3450_section_4085.pdf (2018.10.18.)