

# SZÉLTURBINA BURKOLATGEOMETRIÁJÁNAK HATÁSA A NYOMATÉKRA

## IMPACT OF THE WINDTURBINE'S HUB GEOMETRY TO THE TORQUE

Hetyei Csaba, doktorandusz, [hetyei.csaba@phd.uni-obuda.hu](mailto:hetyei.csaba@phd.uni-obuda.hu)  
Dr. Szlivka Ferenc, CSc, [szlivka.ferenc@bgk.uni-obuda.hu](mailto:szlivka.ferenc@bgk.uni-obuda.hu)

### ABSTRACT

Today's increasing demand for energy is becoming more and more prevalent the renewable energy sources. In this article, we will inspect the HWAT's (horizontal axis wind turbine) hub geometry, using a CFD (Computational Fluid Dynamic) software. From the different hub geometries, we will choose for the energetic optimum that where the highest torque awakened.

### 1. BEVEZETÉS

A napjainkban jelentkező egyre nagyobb energiaigény miatt mindinkább előtérbe kerülnek a megújuló energiaforrások, köztük a szélenergia is.

Ennek a szegmensnek a növekedése jól látszódik a telepített szélenerómű teljesítményeken. 2000-ben összesen 17,4 GW, 2010-ben 197,9 GW, 2015-ben 432,4 GW teljesítményű szélturbina állt rendelkezésre a világon [1]. Az első széleneróművet, ami elektromos áramot termelt, 1887-ben építették, de előtérbe csak az 1980-as olajválság idején kerültek. Azóta telepítésük növekvő tendenciát mutat.

A jelenleg elterjedt közel 40 éves múltra visszatekintő szélturbinákat vizsgálva feltűnhet, hogy a kereskedelmi forgalomban kapható szélkerekek geometriai kialakítása különböző.



1. ábra. Kereskedelmi forgalomban kapható lapos orrú szélturbina [2] és kupolás orrú szélturbinák [3, 4]

A többféle kialakítású orrkúp arra enged következtetni, hogy nincs olyan orrkúp geometria, amely minden lapáthoz és gondolához

megfelelő lenne. Céлом az volt, hogy a Naca 4415-ös lapátprofilhoz több orrkúpgeometriát készítsék és közülük energetikai szempontból kiválasztani a legjobbat.

A kiválasztáshoz egy numerikus áramlástani szoftvert használtam, amiben azonos peremfeltételek mellett közel azonos geometriákat vizsgáltam.

### 2. VIZSGÁLT GEOMETRIÁK

A vizsgálathoz készítettem egy 45 méter hosszú lapátot, melynek az paraméterei a következő táblázatban láthatóak.

1. táblázat. Szélkeréklapát adatai

Metszet	Távolság [m]	Húrhossz [m]	Csavarodás
11.	45	0,309	0,8°
10.	40,5	0,343	1,5°
9.	36	0,384	2,4°
8.	31,5	0,436	3,5°
7.	27	0,504	5°
6.	22,5	0,595	7°
5.	18	0,724	10°
4.	13,5	0,912	14,8°
3.	9	1,184	23,6°
2.	4,5	0,912	39,66°
1.	0	Ø 3	42,5°

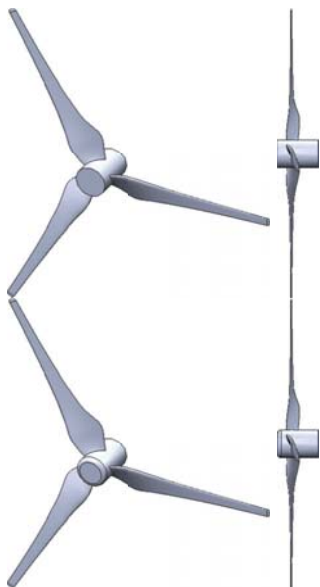
A lapát minden metszetéhez Naca 4415-ös profilgeometriát használtam, kivéve az 1. metszetenél a lapát tövében, ahol egy 3 m-es átmérőjű kört. Az ajánlott csavarodási érték megtartása miatt a függőlegeshez képest 42,5°-ra elhelyeztem a körön egy pontot, amelybe belekötöttem a lapát vezetővonalát.



2. ábra. Naca 4415 lapát

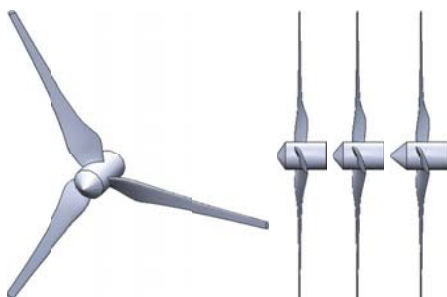
Ezt követően kiosztottam a lapátosztást és készítettem egy hengert, amit lekerekítettem. Így

megkaptam az első két orrkúp konfigurációt, melyek a következő ábrán láthatóak.



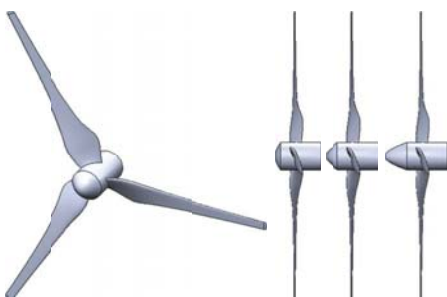
3. ábra. A sík lapú és a lekerekített sík lapú konfigurációk

A szimulációkhoz ezután készítettem 1,5, 2,5, 3, 3,5, 4,5 és 6 m-es hegyes orrú burkolatot.



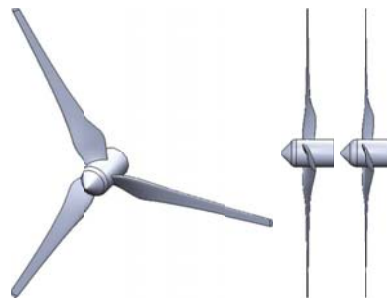
4. ábra. 2,5, 3 és 4,5 m-es „hegyes” orrgeometriájú szélturbina modellje

Ezt követően dómos elejű geometriákat készítettem 1,5, 2,5, 3, 3,5, 4,5 és 6 méteres kupola „magassággal”.



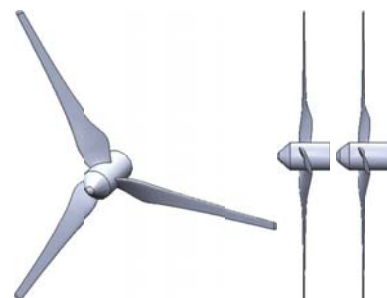
5. ábra. 1,5, 3 és 6 méteres kupolás geometriák

Majd a 3 m-es hegyes konfigurációt a R1,5 és R2,5 m-es rádiusszal lekerekítettem.



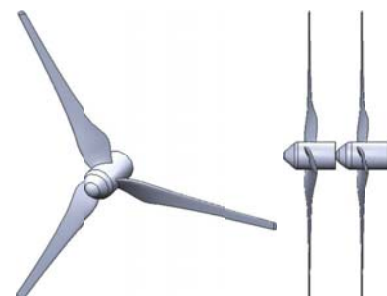
6. ábra. A lekerekített hegyes orrgeometriájú turbinák

A következő lépésben lekerekítettem R1,5 és R2,5 m-es rádiusszal a hegyes konfiguráció orrát úgy, hogy a kiindulási síklaphoz képest 3 m-re legyen a lekerekítés „csúcspontja”.



7. ábra. Tompított konfigurációk

Majd a kúp végét is lekerekítettem úgy, hogy a kiindulási síklaphoz képest a lekerekítés „csúcspontja” ugyanúgy 3 m-re legyen, mint az előző konfigurációnál.



8. ábra. A tompa R1,5+R1,5 és az R2,5+R2,5 konfiguráció oldalnézeti képe

Az így kialakított geometriákból a 3 m-es hegyes orrú konfigurációt választottam alap geometriának, a szimulációk folyamán ehhez hasonlítom a többi eredményét.

### 3. VÉGES TÉRFOGAT SZIMULÁCIÓRÓL

A numerikus áramlástan szimulációs szoftverek közül a SOLIDWORKS Flow Simulation-jét választottam, ami egy véges térfogat módszerre (VTM) épülő áramlástan szoftver a SOLIDWORKS CAD rendszerébe integrálva.

A 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 számolás jellemzően a következő transzport egyenletre épül:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V U dV + \oint_A \underline{F} d\underline{A} = \int_V S_V dV + \oint_A \underline{S}_A d\underline{A} \quad (1)$$

Az egyenletben

- $\frac{\partial U}{\partial t}$ , az időfüggő tag ( $\frac{\partial U}{\partial t} = 0$ , állandósult állapot),
- $U$ , egy megmaradó 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 tér diszkrétizált részeire egy kiindulási értékkel elvégzi a számításokat. Az így kapott eredményekkel újabb iterációkat végez, míg a szimuláció el nem éri az előírt leállítási kritériumot.

#### 4. SZIMULÁCIÓ PEREMFELTÉTELEI

A szimulációhoz egy minden oldalán nyitott téglatest formájú teret használtam. Az áramlási tér mérete 1000 x 320 x 320 méter volt. Az áramlási tér elejétől 380 méterre helyezkedtek el a szélkerék, a tér közepén.

A térbe belépő levegő áramlási sebessége 15 m/s volt és a szélkerék minden esetben csúszó hálós módszerrel 20 fordulat/perc sebességgel forogtak.

Az eddig ismertett geometriai és peremfeltételek alapján a szélkerekek gyorsjáratú tényezője  $\lambda = 6,283$ .

A turbulencia leírásához k- $\epsilon$  modellt használtam.

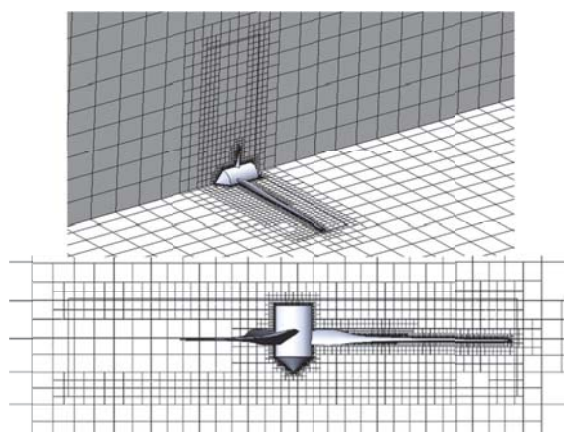
A szélkeréken ébredő nyomatókat célként definiáltam, így ezt konvergenciafeltételként elő tudtam írni.

A csúszóháló és a forgás közben kialakuló örvények miatt a vizsgálat minden esetben időfüggő volt, automata időlépéssel. A szimuláció leállításához három feltételnek kellett teljesülni,

- a szélkerék forgási tengelyére nézve a rajta ébredő nyomatóknak konvergálnia kell,
- minimum 1800-at iterált a szoftver,
- a szimulációnak minimum 3 (fizikai) másodpercig futott.

Az első feltétel konfigurációtól függően a 700. és az 1200. iteráció között teljesült, mely 1,5 és 3 (fizikai) másodpercnek felelt meg. Az 1800-adik iteráció változó időpillanatokra esett, átlagosan 4,77 másodpercre.

A tér felbontására téglatest hálót készítettem. Az egyik geometriához kapott véges térfogat háló a következő ábrán látható.

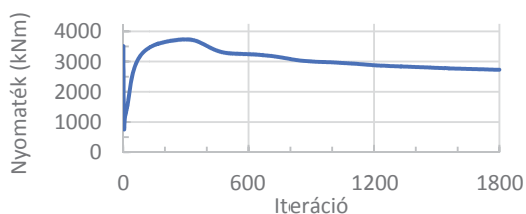


9. ábra. Hegyes 3 m-es konfiguráció hálózása felül-, és izometrikus nézetből

A szimulációkhoz használt geometriák eltérő felülettel rendelkeztek, így a végestérfogat háló elemszáma is eltérő volt, a konfigurációtól függően 500-800 ezer cella.

#### 5. SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A következő ábrán a szélkeréken ébredő nyomatók látható az iterációk függvényében.



10. ábra. Nyomatók alakulása az iterációk függvényében

A grafikonon megfigyelhető, hogy a nyomatók a kezdeti értékhez képest nő, majd pár száz iteráció után elér egy pontot, ahonnan elkezdi csökkenni és konvergálni egy értékhez. Ennek a jellegnek két oka van. Az egyik, hogy az

áramlásnak ki kellett alakulnia és állandósulnia kellett, a másik pedig, a véges térfogat módszer matematikai háttere.

A VTM iterációs számítási módszere miatt az utolsó 25 iterációra kapott nyomatókértékek átlaga látható a következő táblázatban.

2. táblázat. Nyomatékok összehasonlítása

	Hegyes 1,5	Hegyes 2,5	Hegyes 3	Hegyes 3,5
M	2962,8	2835,77	3061,14	2729,86
%	96,79%	92,64%	100,00%	89,18%
	Hegyes 4,5	Hegyes 6	Dóm 1,5	Dóm 2,5
M	2526,02	2880,13	3036,67	2749,44
%	82,52%	94,09%	99,20%	89,82%
	Dóm 3	Dóm 3,5	Dóm 4,5	Dóm 6
M	2542,29	2440,31	2730,99	2780,25
%	83,05%	79,72%	89,21%	90,82%
	Tompított R1,5	Tompított R2,5	Tompa R1,5 R1,5	Tompa R2,5 R2,5
M	2731	2733,01	2731,67	2732,97
%	89,22%	89,28%	89,24%	89,28%
	Hegyes leker. R1,5	Hegyes leker. R2,5	Síklap	Síklap leker.
M	2526,73	2525,43	3099,48	3107,45
%	82,54%	82,50%	101,25%	101,51%

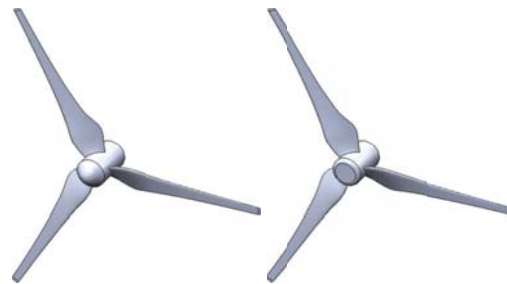
A táblázatban M a nyomatékot, % az aktuális és a 3 m-es hegyes konfiguráció nyomatékának arányát jelöli. (M értékei kNm-ben értendők.)

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A kereskedelmi forgalomban kapható szélturbinák orrburkolata gyártónként eltérő, ezért megvizsgáltam ugyanazt a lapátosztást különböző orrgeometriákkal.

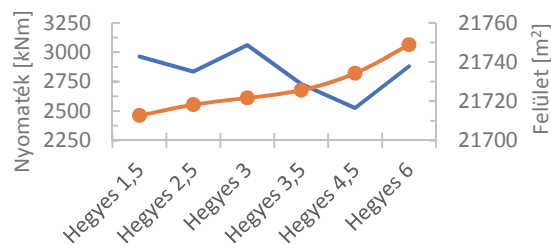
Vizsgálatokhoz egy numerikus áramlástanai szoftvert használtam, amivel azonos peremfeltételek mellett vizsgáltam a közel azonos geometriákat. Tizenhat esetből az alapkonfigurációnak választott Hegyes 3 nyomatékánál két esetben kaptam nagyobb nyomatékot.

A burkolatgeometriák közül a legkisebb nyomatékot a 3,5 m-es dóm burkolatokhoz kaptam, míg a legnagyobbat a lekerekített szélű síklaphoz.



11. ábra. A dóm 3,5-ös és a lekerekített szélű konfigurációk

Az eredményeket látva, a felület és nyomaték viszonyát összehasonlítottam, ami a hegyes konfigurációra következő ábrán látható.



12. ábra. A nyomaték és a felület viszonya a hegyes konfigurációk esetén

Az ábrát vizsgálva kiemelhető a Hegyes 3 m-es konfiguráció csúcspontja, amit leszámítva a kiindulási Hegyes 1,5 m-hez képest csökkenő jelleg figyelhető meg, a Hegyes 4,5 m-es konfigurációig.

A lokális csúcsokat leszámítva (Hegyes 3 és 6 m), a csökkenő jellegből és a dóm konfigurációk hasonló jellegéből arra következtettek, hogy az orrkúpeometriát célszerű minél kisebbre elkészíteni. Amennyiben a szélturbinák gépészeti rendszerei megengedik, a lekerekített szélű síklap konfiguráció az ideális.

## 7. IRODALOM

- [1] Global Wind Power Cumulative Capacity [https://en.wikipedia.org/wiki/Wind\\_power#/media/File:Global\\_Wind\\_Power\\_Cumulative\\_Capacity.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power#/media/File:Global_Wind_Power_Cumulative_Capacity.svg) (2017.09.18.)
- [2] Szélkerék <https://www.nrel.gov/workingwithus/assets/images/13890.jpg> (2017.08.11.)
- [3] Lapos orrú szélturbinák [https://www.energiarenovables.com/ficheroenergias/fotos/agenda/ampliada/2/2wr\\_bottom.jpg](https://www.energiarenovables.com/ficheroenergias/fotos/agenda/ampliada/2/2wr_bottom.jpg) (2017.09.01.)
- [4] Kupolás orrú szélturbinák [http://www.telegraph.co.uk/content/dam/business/2016/09/09/Dong\\_wind\\_farm\\_trans\\_NvBQzQNjv4BqjIwIjDXBmcU79gdGK1cNfvK\\_F-ycLYGpDiQxg2m3y9Q.jpg](http://www.telegraph.co.uk/content/dam/business/2016/09/09/Dong_wind_farm_trans_NvBQzQNjv4BqjIwIjDXBmcU79gdGK1cNfvK_F-ycLYGpDiQxg2m3y9Q.jpg) (2017.09.01.)