

ПРИМЕНА СОФТВЕРСКИХ ПАКЕТА У ПРОРАЧУНУ ПРОФИЛА ЛОПАТИЦЕ ВЕТРОТУРБИНЕ

Ђорђе Карић¹

Резиме: Енергија ветра представља чист извор енергије. Конверзија кинетичке енергије ветра у обртно кретање ветротурбине се врши захваљујући аеродинамичном профилу лопатице. На ефикасност ветротурбине утичу брзина ветра, Рејнолдсов број, густина, влажност и температура ваздуха као и низ других фактора. Због великог броја фактора који утичу на ефикасност рада, за обликовање профила лопатице ветротурбине користе се сложени математички модели и софтверски пакети специјализовани за ту намену. У овом раду је приказана примена софтверских пакета за пројектовање профила лопатице у зависности од географске локације и метеоролошких прилика које владају на том подручју, у циљу постизања веће ефикасности у раду, односно производње веће количине електричне енергије.

Кључне речи: ветротурбине, ветропаркови, обновљиви извори енергије, аеродинамика, софтверско инжењерство

APPLICATION OF SOFTWARE PACKAGES IN THE WIND TURBINE BLADE PROFILE CALCULATION

Abstract: Wind energy is a clean source of energy. The conversion of wind kinetic energy into the rotational movement of the wind turbine is performed thanks to the aerodynamic profile of the blade. Wind turbine efficiency is affected by wind speed, Reynolds number, density, humidity and air temperature, and other factors. Due to a large number of factors that affect the efficiency of work, complex mathematical models and software packages specialized for this purpose are used to shape the profile of the wind turbine blade. This paper presents the usage of software packages for the design of the blade profile, depending on the geographical location and meteorological conditions prevailing in the area, in order to achieve greater efficiency and production of larger amounts of electricity.

Key words: wind turbines, wind farms, renewable energy sources, aerodynamics, software engineering

1. УВОД

Енергија ветра представља обновљив извор енергије, који се вековима користи за добијање механичке, а последњих деценија и за добијање електричне енергије. Конверзија кинетичке енергије ветра у обртно кретање ветротурбине се врши захваљујући аеродинамичном профилу лопатице ветротурбине. Услед таквог профила лопатице и разлике у брзинама ветра, где са задње стране струји брже од ветра са предње стране, гледано у смеру ветра, јавља се разлика у притисцима што резултује узгонском силом. Пројекција узгонске силе на раван ротације генерише обртни момент. С обзиром да лопатица врши ротационо кретање, од сила које делују меродавна је брзина ветра (V) као и обимна брзина (Vt). Полазећи од осе ротације ка периферији релативна брзина се повећава, а њен нападни угао у односу на осу ротације се смањује. Зато су лопатице ветротурбине увијене дуж аксијалне осе [1]. Управо због великог значаја профила лопатице у ефикасности ветротурбине, овај рад се бави применом софтверских пакета за што бољи прорачун профила.

2. ЕНЕРГИЈА ВЕТРА

2.1. Фактори за прорачун профила лопатице

На ефикасност ветротурбине утичу брзина ветра, густина, влажност и температура ваздуха, Рејнолдсов број, као и други фактори. Због великог броја фактора који утичу на ефикасност

¹ Ђорђе Карић, Машински факултет, Универзитет у Београду e-mail: djordje.karic@yahoo.com

КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

38. Конференција одржавалаца Србије и 1. Конференције напредне технологије у функцији развоја привреде, Врњачка Бања, 01.06. – 03.06. 2022. године

рада ветротурбине за обликовање се користе сложени математички модели, док се прорачуни врше и на физичким моделима у аеротунелима [2]. Оно што представља проблем код енергије ветра јесте то што је ваздух флуид мале густине, што намеће потребу за изградњом великих и скувих уређаја за његово коришћење. Електрична енергија добијена из енергије ветра варира из сата у сат, дневно и сезонски. Због тога се прорачуни врше тако да ветротурбина одговара географском месту и просечним метеоролошким условима који на том месту владају.

2.2. Изабрани параметри за прорачун модела лопатице

За овај рад изабрани су следећи параметри за брзину ветра, просечну годишњу температуру, као и модел турбине који ће се разматрати :

Табела 1 – Брзине ветра, температура, атмосферски притисак

Ред. број	Назив	
1.	Просечна годишња брзина ветра	6 m/s
2.	Мерено на	10 m
3.	Просечна годишња температура ваздуха	9° C
4.	Атмосферски притисак	101 kPa

Табела 2 – Снага, произвођач, модел, пречник ротора

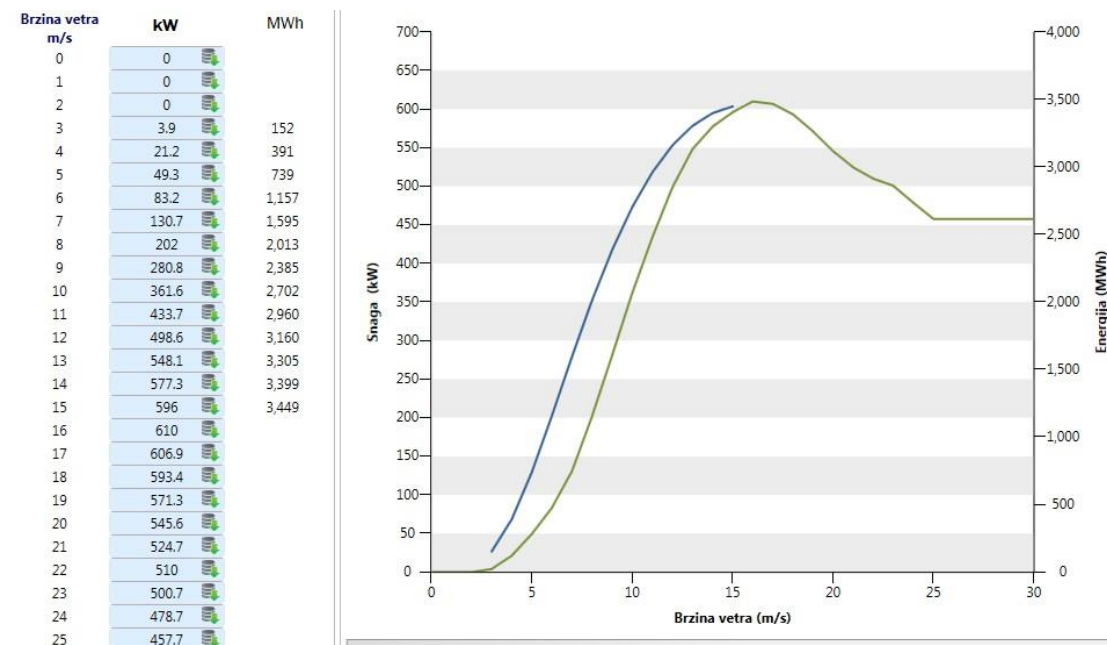
Ред. број	Назив	
1.	Капацитет снаге ветротурбине	600 kW
2.	Изабрани произвођач на основу добијених прорачуна	Сименс
3.	Изабрани модел на основу добијених прорачуна	АН БОНУС 600 kW МК IV
4.	Висина ветротурбине	40 m
	Пречник ротора	44 m

2.3. Најповољнија брзина ветра за изабрану ветротурбину

На основу изабраних параметара, применом софтверског пакета *retscreen* долазимо до резултата да изабрана ветротурбина има позитиван раст производње енергије при брзини ветра до 16 m/s, при чему након те брзине ефикасност производње опада али и при том паду задовољава потребу за жељеном производњом енергије.

КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

38. Конференција одржавалаца Србије и 1. Конференција напредне технологије у функцији развоја привреде,
Врњачка Бања, 01.06. – 03.06. 2022. године

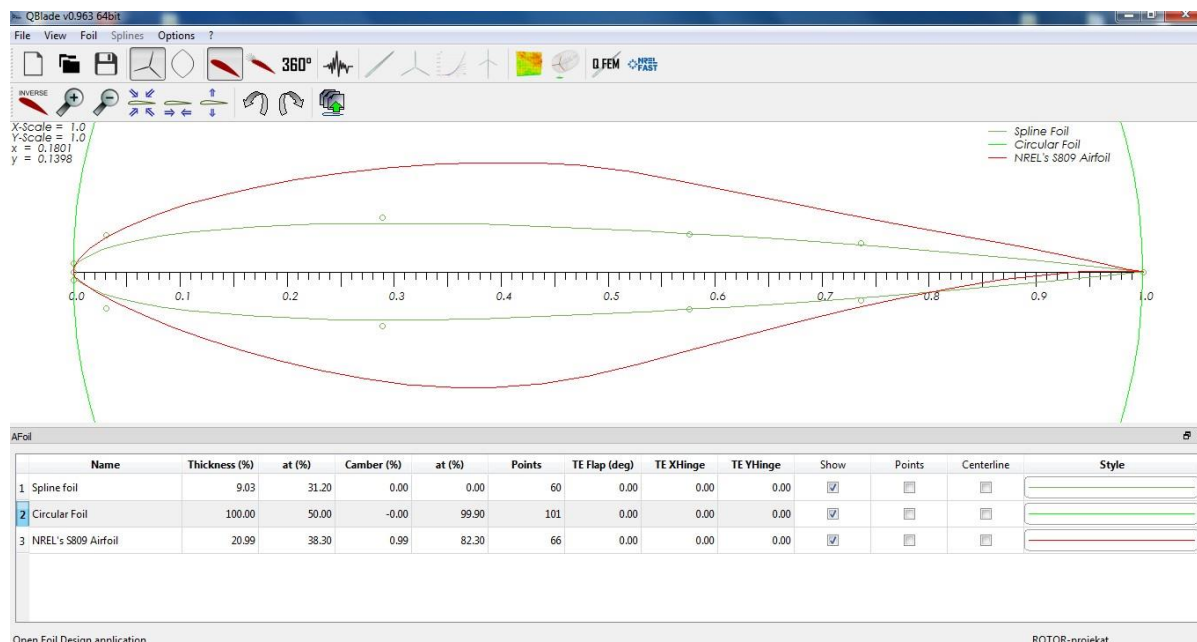


Слика 1 – Крива снаге и енергије при различитим брзинама ветра

3. ПРОРАЧУН ПРОФИЛА ЛОПАТИЦЕ

3.1. Облик аеропрофила

Софтверским пакетом *QBlade* цртамо профил лопатице и добијамо следеће резултате за изабрани облик:

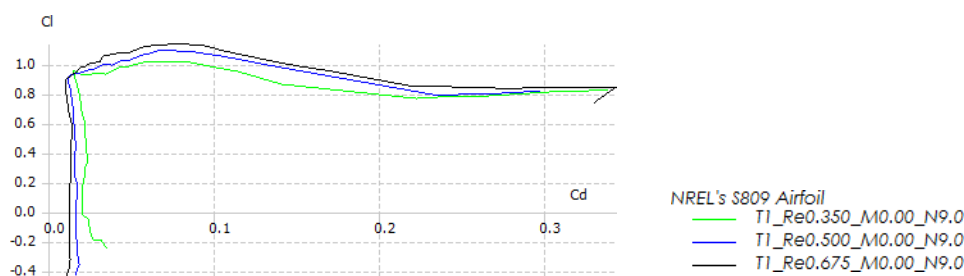


Слика 2 – Профил лопатице

Промена коефицијента узгона (C_l) у односу на коефицијент отпора (C_d) за три Рејнолдсова броја (350000 Re, 500000 Re, 675000 Re) :

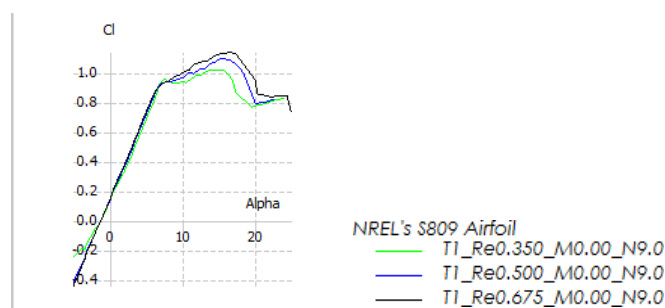
КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

38. Конференција одржавалаца Србије и 1. Конференције напредне технологије у функцији развоја привреде, Врњачка Бања, 01.06. – 03.06. 2022. године



Слика 3 – Крива промене коефицијента узгона у односу на коефицијент отпора

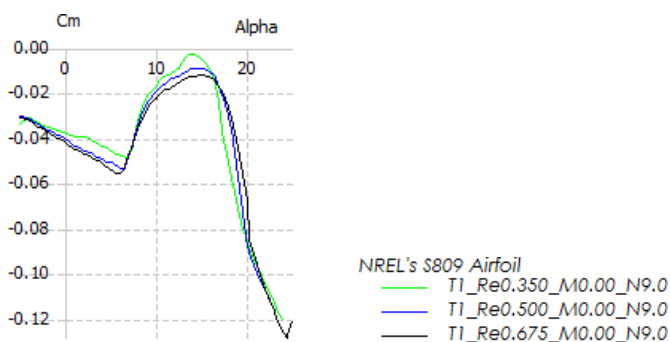
Коефицијент узгона расте при порасту нападног угла. Према добијеним резултатима, за три Рејнолдсова броја (350000 Re, 500000 Re, 675000 Re) видимо да је коефицијент узгона највећи за нападни угао α од 17 степени, након тога опада.



Слика 4 – Крива промене коефицијента узгона у односу на нападни угао

Коефицијент момента пропињања опада до вредности угла α од 7 степени, након тога расте и достиже максималну вредност за нападни угао α од 13 степени, после чега почиње нагло да опада.

Момент пропињања је збир свих аеродинамичких момената око попречне осе, укључујући и производ укупне аеродинамичке силе и њеног крака до тежишта, у равни симетрије авиона. У равнотежном лету, момент пропињања авиона поништава се са генерисањем аеродинамичке силе на хоризонталном репу или на канару. Та сила делује на краку до тежишта авиона и тако ствара потребни компензујући момент за уравнотежење авиона. У стационарном хоризонталном и свим осталим уравнотеженим режимима лета авиона, без ротације око „у“ осе, резултујући момент пропињања једнак је нули [3].



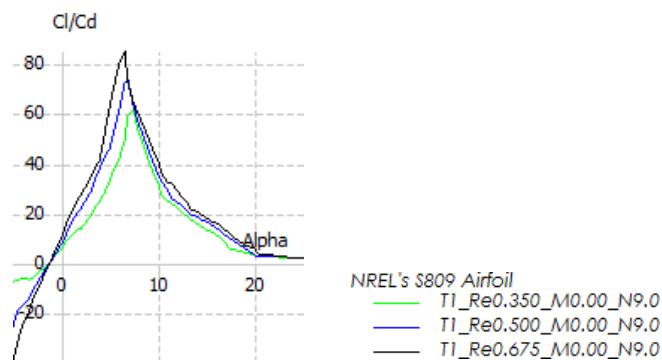
Слика 5 – Крива промене коефицијента пропињања у односу на нападни угао

КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

38. Конференција одржавалаца Србије и 1. Конференција напредне технологије у функцији развоја привреде, Врњачка Бања, 01.06. – 03.06. 2022. године

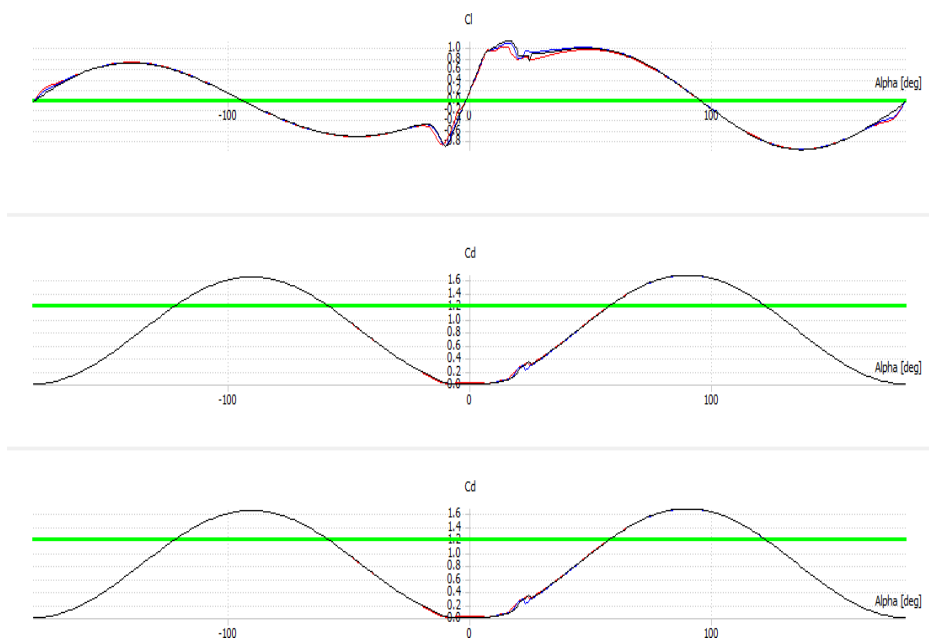
Финеса аеропрофила (однос сила аеродинамичког узгона и отпора) достиже максималну вредност за :

1. Нападни угао $\alpha = 7^\circ$ финеса (однос C_l и C_d) је 85, за Рејнолдсов број 675000
2. Нападни угао $\alpha = 9^\circ$ финеса (однос C_l и C_d) је 60, за Рејнолдсов број 350000



Слика 6 – Крива промене финесе аеропрофила у односу на нападни угао

Екстраполација крива за све углове ($0^\circ - 360^\circ$):

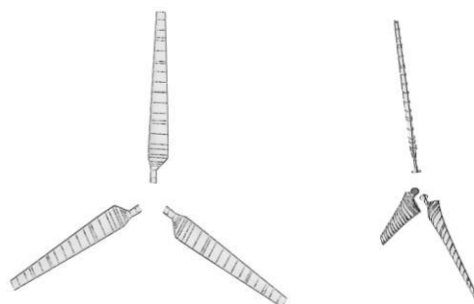


Слика 7 – Екстраполација крива за све углове

КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

38. Конференција одржавалаца Србије и 1. Конференције напредне технологије у функцији развоја привреде, Врњачка Бања, 01.06. – 03.06. 2022. године

3.2. Изглед аеропрофила



Слика 8 – Изглед аеропрофила ветротурбине

4. ПРОРАЧУН СТУБА И ПРИРУБНИЧКЕ ВЕЗЕ ЗА ИЗАБРАНИ МОДЕЛ

За изабрану ветротурбину потребан нам је стуб који се састоји из два дела од по 15 и 20 метара, пречника 3 метра у основи и 1,1831 метара на врху. Пречник на месту прирубничке везе је 2,545 метра. Висина на месту прирубничке везе је 15 метара, а број вијака је 50.

Табела 3 – Прорачун стуба и прирубничке везе

Ред. број	Назив	
1.	Висина стуба	40 m
2.	Средњи пречник стуба	2,4065 m
3.	Дебљина плашта	0.02 m
4.	Површина ротора	1520 m ²
5.	Површина попречног пресека стуба	96,26 m ²
6.	Максимални напон у корену	8758528 Nm
7.	Пречник на месту прирубнице	2.554 m
8.	Број вијчаних веза	50
9.	Номинални пречник вијка	32 mm

5. ЗАКЉУЧАК

Ветар представља неисцрпан еколошки извор енергије и значајан ресурс у производњи електричне енергије. Спада у обновљиве и неограничене изворе енергије и не загађује животну средину, чији глобални потенцијал вишеструко превазилази потребе. Са развојем индустрије и технологије повећава се потреба за електричном енергијом. Тај тренд повећања потрошње електричне енергије, прати и све веће загађење ваздуха, што резултује глобалним загревање. С тим у вези, повећање потрошње електричне енергије неопходно је да прати и рад на развоју обновљивих извора енергије, као и развој алата за њихово пројектовање. Примена софтверских пакета у пројектовању профила лопатице доводи до бољих перформанси ветротурбине и бољег избора ветротурбине за изабрану локацију, на основу метеоролошких услова који ту владају.

КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

38. Конференција одржавалаца Србије и 1. Конференција напредне технологије у функцији развоја привреде,
Врњачка Бања, 01.06. – 03.06. 2022. године

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Андрић, Н.: *Технологија коришћења енергије ветра и могућности њене примене у Србији*, Техника 67(3), 414-418
- [2] Пешић, С.: *Енергија ветра, Аеродинамика ветроенергетских система са хоризонталном осом обртања ротора*, Машински факултет Београд, 1994.
- [3] Драговић, Т.: *Аеродинамика*, Машински факултет Београд, 1992.