

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Милош М. Љубисављевић

**Развој контејнерских ветрогенератора за потребе
просечног сеоског домаћинства у Србији и региону
југоисточне Европе**

**- Анализа постојећих конструкцијских решења,
методологије управљања радом и производне цене
ветрогенератора и развој лабораторијског прототипа
малог ветрогенератора -**

мастер рад

Крагујевац, 2014

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Истраживачки рад у машинству

Број индекса: 336/2012

Милош М. Љубисављевић

**Развој контејнерских ветрогенератора за потребе
просечног сеоског домаћинства у Србији и региону
југоисточне Европе**

**- Анализа постојећих конструкцијских решења,
методологије управљања радом и производне цене
ветрогенератора и развој лабораторијског прототипа
малог ветрогенератора -**

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. Проф. др Милун Бабић - ментор**
- 2. Проф. др Слободан Савић**
- 3. Проф. др Вања Шуштершич**

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Резиме:

Студентски тим који сачињавају Милош Љубисављевић, Томислав Марковић, Стефан Пецић и Стефан Војиновић има задатак да развије прототип ветрогенератора за потребе просечног сеоског домаћинства у Србији и региону југоисточне Европе.

Пројекат има за циљ да се, заједничким радом и разменом знања и искустава подигне свест о потреби развоја и коришћења обновљивих извора енергије.

Задатак студентског тима је да истражи енергетски потенцијал ветра и Србији и југоисточној Европи, да истражи тржиште малих ветрогенератора, да објасни технологију рада ветрогенератора, да изнесе идеалан концепт и истражи могућа варијантна техничка решења ветрогенератора и изабере оптималну варијанту решења, да направи прототип ветрогенератора, одради техно-економску анализу, изврши потребна мерења на моделском прототипу и представи добијене резултате мерења. Након консултација са члановима тима, решено је да се у оквиру пројекта ураде четири подстудије које својим обимом и садржајем одговарају захтевима које мора да има један мастер рад на мастер студијама Енергетике и процесне технике на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу.

Унутар тимска подела налаже студенту Милошу Љубисављевићу да уради завршни сегмент студије који носи назив „Анализа постојећих конструкцијских решења, методологије управљања радом и производне цене ветрогенератора и развој лабораторијског прототипа малог ветрогенератора” који треба да:

- уведе читаоце у материју,
- анализира постојећа конструкцијска решења ветрогенератора,
- наведе и опише све системе управљања радом ветрогенератора и њихове производне цене,
- изнесе податке добијених резултата током мерења и
- изнесе закључке.

Веома је било важно да уз помоћ савремених софтверских прорачунских и пројектантских алата комплетну идеју проверимо, али и да израдимо 3D виртуалне документације свих виталних компоненти ветрогенератора, али и да утврдимо економску оправданост инвестиције у изградњу тог система.

Кључне речи: обновљиви извори енергије, ветар, ветрогенератор, струја, ветроелектране, генератор, елисе

Summary:

Team consisting of students Milos Ljubisavljevic, Tomislav Markovic, Stefan Pecic and Stefan Vojinovic received a task to develop a prototype wind turbine.

Through work, knowledge and experience sharing, the project aims to raise awareness of the need for the development and use of renewable energy. Tasks of the student team include: exploring the potential of wind energy in Serbia and Southeast Europe, exploring the market of small wind turbines, explaining the technology work, presenting an ideal concept of alternative solutions, building a prototype wind turbine, techno-economic analysis, and presenting the results of the measurements obtained.

After a consultation with the team members, it was decided to divide the project into four sub-studies that in its scope and content meet the requirements of the Master Project of the Master Studies of Energy and Process Engineering at the Faculty of Engineering Sciences in Kragujevac.

The team division requires the student Milos Ljubisavljevic to do the final segment of the study entitled, "Analysis of existing construction solutions, management operations methodology, production cost of wind turbines and the development of a laboratory prototype of a small wind generator" which should:

- introduce the reader into the matter,
- specify and describe all management systems of wind turbines,
- provide information of the results obtained during the measurement,
- present findings.

It was important that with the help of modern software estimates and design tools we complete a check of the final concept, create a 3D virtual documentation of all vital components of the wind turbine, and determine the economic feasibility of investment in the construction of the system.

Keywords:

renewable energy, wind, wind turbine, electricity, wind turbine, generator, propeller

Препоручена литература:

[1] Приручник за постављање малих ветрогенератора, Слободан Плазинић, Београд, 2011.

[2] Енергија ветра, Иан Грахам, Словенија, 2000.

[3] Wind turbines, Erich Hau, 2005

Крагујевац, датум

ментор:

Проф. др Милун Бабић

САДРЖАЈ:

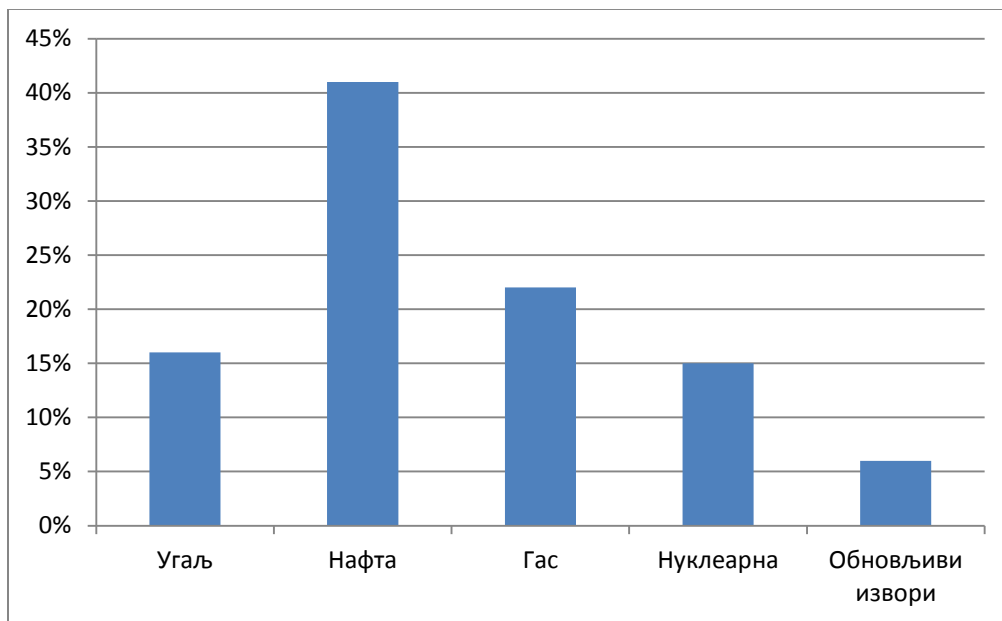
1. Увод	1
2. Обновљиви извори енергије	3
2.1 Енергија ветра	5
2.2 Конверзија енергије ветра у механичку енергију	7
2.3 Ветротурбине и ветроелектране	8
3. Управљање радом ветрогенератора	13
3.1 Ветротурбина са индукционим генератором	15
3.2 Ветротурбина са синхроним генератором	16
3.3 Ветротурбина са индукционим генератором са кавезним ротором за пун опсег брзина	17
3.4 Ветротурбина са двоструко напајаним индукционим генератором	18
4. Израда лабораторијског прототипа ветрогенератора мале снаге	21
5. Техно-економска анализа	28
7. Резултати мерења	41
8. Прорачун енергетских параметара моделског ветрогенератора	43
9. Дефинитивна техно-економска анализа	45
9.1 Цена енергије ветра	46
9.2 Капитални трошкови	46
9.3 Балансни трошкови	47
9.4 Трошкови финансирања	47
9.5 Трошкови рада и одржавања	48
9.6 Производни трошкови	48
9.7 Екстерни трошкови	49
9.8 Цена електричне енергије из ветроелектрана	50
9.9 Поређење цене ветро извора са конвенционим изворима	50
9.10 Будуће тенденције цена	51
10. Закључци	54
11. Литература	55

1. Увод

Савремени живот се заснива на широкој примени свих облика енергије. Незамислива је било која област делатности која не користи енергију. Потребе за енергијом стално расту. Извори класичних енергија полако се исцрпљују и морају се налазити алтернативни извори енергије.

Пошто су класични извори енергије познати (угаљ, нафта, гас, нуклеарна енергија), акценат у овом раду је дат на обновљиве или алтернативне изворе енергије, првенствено на енергију ветра. Почетак XXI века обележен је интензивним порастом потрошње свих видова енергије у свету, а нарочито фосилних горива.

То је довело до наставка раста цена нафте, гаса и других енергената, који је започео у задњој деценији XX века, али и до глобалне забринутости за будуће изворе енергије и развој човечанства. Друга карактеристика овог периода је наставак повећања концентрације штетних гасова у атмосфери (првенствено CO₂), као последице интензивног коришћења фосилних горива. Ова два тренда, константан раст потрошње и цена и интензивирање, последица су ефеката стаклене баште, уз ограничење или забрану коришћења атомске енергије, навеле су развијене земље, а пре свега земље Европске уније, да се на самом крају XX века окрену ширем коришћењу обновљивих извора енергије.



Слика 1: Расподела примарних извора енергије у ЕУ (1998. год.)¹

¹ <http://www.scribd.com/doc/113632456/Energija-Vetra>

У том периоду Европска Унија је користила тек 6% енергије добијене из обновљивих извора (углавном хидро енергија и биомаса), док је чак 79% било из фосилних извора - нафта и деривати 41%, гас 22 % и угаљ 16% (слика 1).

Као последица тога, Европска Унија, која је, полазећи од стања 1998. год., зацртала да се до 2010 год. удео „зелене“ енергије у укупној потрошњи енергије повећа са 6% на 12%.

Ова одлука била је од кључног значаја за нагли развој коришћења свих видова обновљивих извора. Енергија садржана у кретању ваздушних маса, ветру, одувек је побуђивала пажњу истраживача који су желели да је корисно употребе.

Сада, а и у будућности енергија ветра се показала као најозбиљнији обновљив извор енергије при достигнутом развоју технологије.

Основни разлози за то су:

- неизмерна количина енергије,
- могућност претварања у електричну енергију помоћу ветрогенератора,
- пад цена ветрогенератора и пратеће опреме сразмерно све већој употреби енергије ветра,
- еколошки потпуно чист начин претварања енергије,
- мала заузетост земљишта.

Енергетске кризе, смањење залиха фосилних горива и превелико загађивање планете утицали су да се индустрија за производњу ветрогенератора последњих 30 година развијала у свету скоро истим темпом као и индустрија рачунарске опреме, а данас се сматра врло стабилном и перспективном.

По предвиђањима многобројних експерата, очекује се даљи интензиван раст инсталираних капацитета, а трендови даљег повећања економичности, као и све озбиљније погоршање стања животне средине, потврђују такве претпоставке.

До краја 2001. године у свету је инсталирано 56.000 ветрогенератора са капацитетом од 25 GW. У свету, такође се убрзано подижу капацитети за добијање електричне енергије из енергије ветра.

Тај раст је експоненцијалног карактера и праћен је великим улагањима, како држава тако и приватних инвеститора.

Енергетни дефицит и неминовност употребе еколошки чистих извора енергије примораће и Србију да почне да инвестира у развој и експлоатацију енергије ветра. [1]

2. Обновљиви извори енергије

Извори електричне енергије деле се на обновљиве и необновљиве изворе енергије. Необновљиви извори енергије су извори енергије који се не могу регенерисати ни поновно произвести. То су: угаљ, нафта, природни гас и нуклеарна енергија.

Обновљиви извори енергије су извори енергије који се добијају из природе и који се могу обнављати. Данас се све више користе због своје нешкодљивости према околини. Најчешће се користе енергије ветра, сунца и воде. Обновљиви извори енергије (скраћеница енгл. *RES* од енгл. *Renewable energy sources*) представљају енергетске ресурсе који се користе за производњу електричне енергије или топлотне енергије, односно сваки користан рад, а чије резерве се константно или циклично обнављају.²



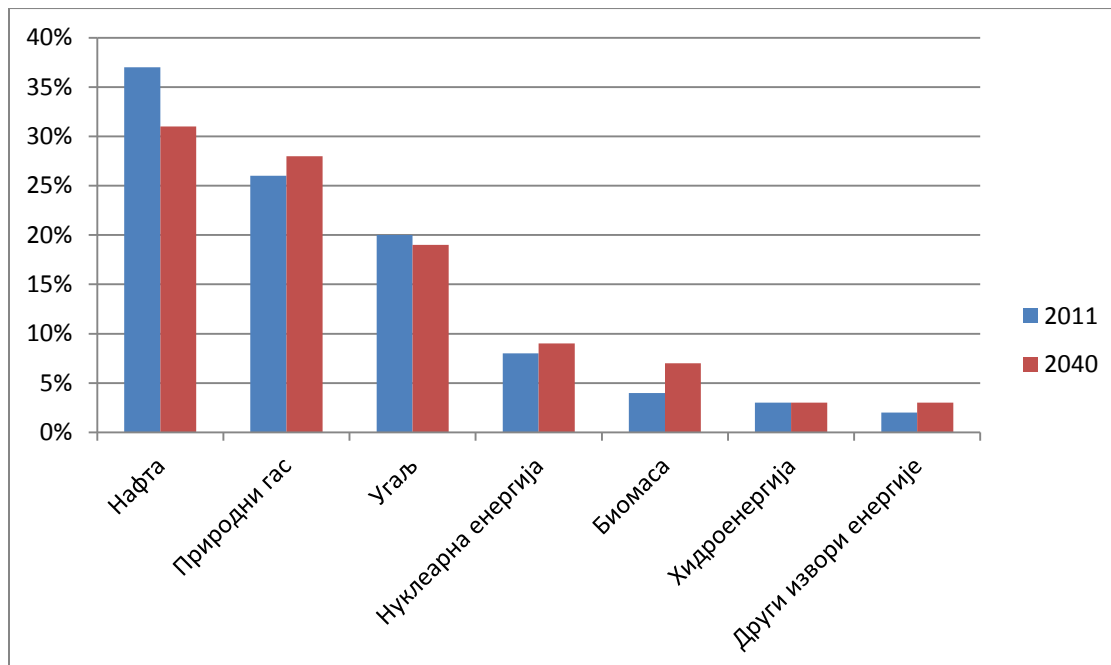
Слика 2: Обновљиви извори енергије³

Потреба за коришћењем таквих извора енергије јавила се протеклих неколико деценија пошто су објављени алармантни подаци о последицама емисије гасова са ефектом стаклене баште, који настају сагоревањем фосилних горива. То је довело до климатских промена у свету које се пре свега огледају у повећању просечне температуре, односно глобалном загревању. Климатски поремећаји нису заобишли ни Србију – температуре су у порасту од почетка 80-тих година прошлог века, а због климатских поремећаја могу се очекивати сушна и

² http://www.izvorienergije.com/obnovljivi_izvori_energije.html

³ http://electronic-protect.me/wp-content/uploads/2012/08/Fotolia_19764450_S-640x428.jpg

топла лета, екстремне промене временских прилика, осцилација температуре, периоди нестабилне климе, појаве попут поплава и града. ЕУ је прихватила обавезу да до 2020. зарад борбе против климатских промена смањи емисију гасова са ефектом стаклене баште, међу којима је угљен-диоксид, за 20% у односу на 1990. годину, да удео обновљивих извора енергије повећа на 20% и да мерама енергетске ефикасности оствари уштеде од 20%.⁴



Слика 3: Подаци о потрошњи горива из 2011. год и процена даље потрошње у 2040 год.⁵

Потрагу за новим изворима енергије подстакла је и ограниченост других ресурса, попут фосилних горива која се масовно експлоатишу. Светске нафтне залихе се непрекидно смањују, а цена нафте расте, због чега ова сировина, према неким проценама, већ средином 21. века неће бити довољно комерцијална. Поред еколошког, употреба обновљивих извора енергије има и економски значај - може допринети смањењу увоза фосилних горива, развоју локалне индустрије и отварању нових радних места, али и омогућити уштеде домаћинствима. У Србији још не постоје пројекције какву би економску корист могао донети развој такве индустрије и у овој, почетној фази је главно питање како да се повећа производња и потрошња енергије из обновљивих извора енергије а да се, пошто је таква производња скупа, битније не повећају цене и оптерете грађани Србије. Развој обновљивих извора енергије (нарочито од ветра, воде, сунца и биомасе) важан је због неколико разлога:

- обновљиви извори енергије имају врло важну улогу у смањењу емисије угљеник диоксида (CO_2) у атмосферу; смањење емисије CO_2 у

⁴ <http://www.euractiv.rs/odrzivi-razvoj/2272-obnovljivi-izvori-energije-energetska-budunost>

⁵ <http://instituteeforenergyresearch.org/wp-content/uploads/2012/12/EIA-annual-outlook-2011-2040.png>

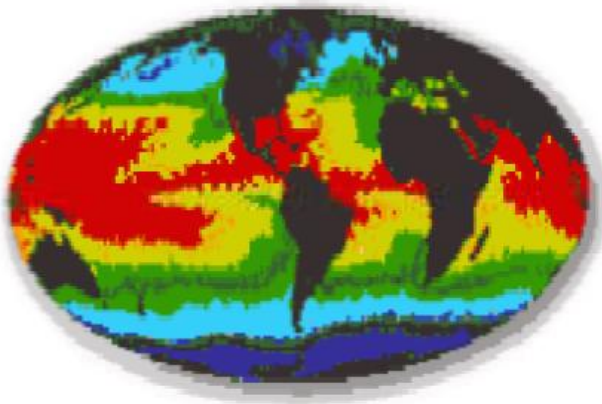
атмосферу је политика Европске уније, па се може очекивати да ће све више земаља Европе морати прихватити ту политику;

- повећање удела обновљивих извора енергије повећава енергетску одрживост система; такође, помаже у побољшању сигурности доставе енергије на начин да смањује зависност о увозу енергетских сировина и електричне енергије;
- очекује се да ће обновљиви извори енергије постати економски конкурентни конвенционалним изворима енергије у средњем до дугом раздобљу. [4]

2.1 Енергија ветра

Енергија ветра је енергија која потиче од снаге ветра. Представља конвенционалан обновљиви извор енергије, који се вековима користи за добијање механичке, а у новије време и електричне енергије. Међутим, производња електричне енергије из енергије ветра у већим количинама почела је тек после нафтне кризе 1973.

Током целе године Сунце највише загрева делове Земље око екватора. Ови предели са топлим ваздухом су назначени са топлим бојама (црвена, жута и наранџаста) на инфрацрвеном снимку (слика 4) температуре Земље који је сачинио NASA сателит 07. 07.1984. године.⁶



Слика 4: Предели са топлим ваздухом на земљи⁷

Пошто је топли ваздух лакши од хладнијег он се подиже увис све док не постигне висину од око 10 km и простираће се на север и југ. Да Земља не ротира овај ваздух би стигао до северног и јужног пола и поново би се вратио на екватор.

⁶ Енергија ветра, Иан Грахам, Словенија, 2000

⁷ http://www.scribub.com/files/limba/engleza/physics/9_poze/image004.gif

Због ротације Земље свако кретање на северној хемисфери је искривљено на десно. Ова сила савијања је позната као Кориолисова сила (названа по француском научнику Gustav Gaspard Coriolisu 1792-1843).

На северној хемисфери ветар тежи да ротира на страну супротној од кретања казавши на сату како се приближава области са нижим притиском. На екватору топли ваздух се уздиже и помера ка северу и југу и вишим атмосферским слојевима.

На 30 степени географске ширине на обе хемисфере Кориолисова сила спречава ваздух да се креће даље. На тој ширини је област високог притиска јер ваздух тада почиње да се слеже. Испод топлог ваздуха на екватору постоји област ниског притиска тако да привлачи ветар са севера и југа.

На половима преовлађује високи притисак услед хлађења ваздуха. Атмосфера има дебљину само 10 km. У делу атмосфере познат као тропосфера дешавају све метеоролошке појаве.

Ветрове које смо досад посматрали су глобални ветрови који зависе од температурне разлике а веома мало од површине планете. Ови ветрови преовлађују изнад 1000 m, и њихова брзина се мери метеоролошким балонима. Површински ветрови дувају на висинама до 100 m, где њихова брзина и правац зависе од површине земље.

Када постоји препрека ту је ветар успорен. Када говоримо о енергији ветра говоримо о површинским ветровима, али ветар је сума како глобалних тако и локалних утицаја.

У одређеним областима у одређено време локални ветрови имају знатно већу вредност него глобални па зато разликујемо више врста локалних ветрова. Локални ветрови представљају кретање ваздушних маса у приземном слоју атмосфере. Настају због локалних разлика у атмосферским притисцима.

Локални ветрови могу бити различитих својстава што у великој мери зависи од површине тла (равница, планине, долине, насеља, шуме итд.), њених особина (каменита, пешчана, водена, снежна територија) и особина ваздушних маса које су укључење у струјање.

С тим у вези јавља се ефекат локалног повећања брзине ветра. На пример, ветар је интензивнији на врху брда него у подножју. Тунел ефекат је убрзавање ветра између два брда која на ветар делују као природни левак.

Овај и слични ефекти могу повећати брзину ветра и до 30%, што вишеструко повећава његову снагу. Осим својих позитивних ефеката, у граничном површинском слоју постоје различите природне и вештачке препреке које узрокују и негативне ефекте смањења брзине ветра и појаву турбуленција, што знатно утиче на квалитет ветра као примарног енергента. Ветрови не морају бити последица глобалног кретања ваздушних маса већ могу настати и као последица деловања географских фактора на локалном подручју.

У циљу искоришћења енергије ветра потребно је одредити микро локацију, тј. место на коме ветар има највише расположиве енергије и на ком ће ветроенергетски систем највише те енергије превести у употребљив облик.

С обзиром да технички услови омогућују коришћење ветра на висини до 150 m од тла, проблем одређивања микро локације је већи због изражене турбуленције и пратећих ефеката. Да би се почело са експлоатацијом енергије ветра потребно је проценити најбоље локације за постављање ветрењача.

Нормално, локације ће бити на местима са најквалитетнијим ветром у смислу његове брзине односно снаге и честине. Таква места није једноставно одредити. Потребно је вршити бројна мерења и прорачуне.

Како идеална мерења па и мерења карактеристика ветра нису могућа, то се врло мало карактеристика може представити тачним физичким законима, па се за њихово одређивање користе емпиријске и статистичке методе.⁸

2.2 Конверзија енергије ветра у механичку енергију

Кинетичка енергија ветра није погодна за директно конвертовање у електричну енергију, већ се мора прво свести на облик, који се може употребити за производњу електричне енергије. Сви конвенционални електрични генератори као улазни облик енергије, користе механичку енергију обртних маса.

Из овога следи да је енергију ветра потребно превести у механичку енергију, користећи турбине на ветар. Конверзија кинетичке енергије ветра у кинетичку енергију вратила генератора одвија се путем лопатица ротора ветротурбине.

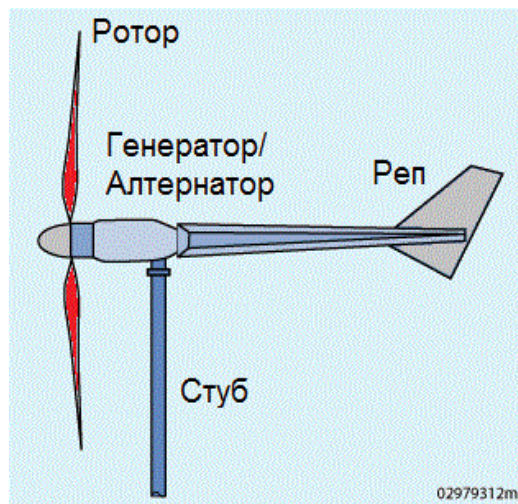
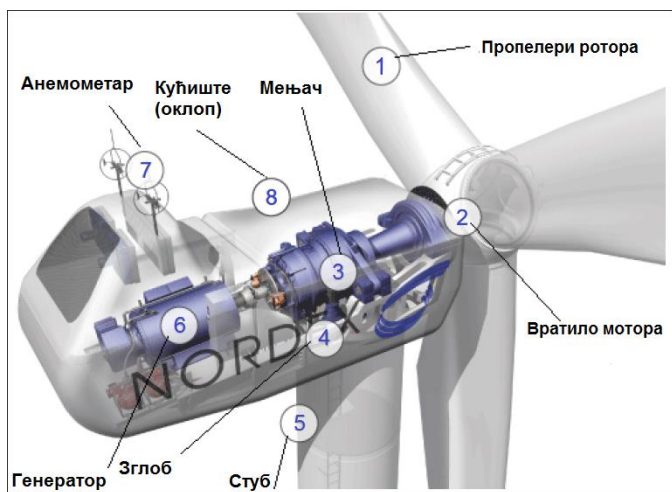
При томе је вратило заједничко за турбину и електрични генератор, али се и између њих налази и одговарајући мултипликатор који брзину обртања ветротурбине (која износи неколико десетина обртаја у минути) прилагођава захтеваној брзини генератора.

У генератору долази до конверзије кинетичке енергије ветра у електричну енергију, па се цело постројење често назива и ветрогенератором. Генератор може бити синхрони или асинхрони, при чему се може радити са фиксном или промењивом брзином обртања.

Повезивање ветрогенератора на електроенергетску мрежу остварено је помоћу енергетског трансформатора. Једна или више ветротурбина са припадајућом опремом (генератор, редуктор, кућиште, стуб, регулација, трансформатор итд.) чини ветроелектрану.⁹

⁸ <http://www.energy-wsp.org/media/upload/technvetrogeneratori.pdf>

⁹ Wind turbines, Erich Hau, 2005



Слика 5: Основни делови велике и мале ветротурбине¹⁰

2.3 Ветротурбине и ветроелектране

Ветротурбине, познатије као ветрењаче, користе се већ око 1000 година.



Слика 6: Стара ветрењача¹¹

¹⁰ http://www.coriolis-energy.com/assets/images/lev2_wtgComponents1.gif

¹¹ <http://www.serbianart.com/en/images/12391.jpg>

Ветрењача је направа која претвара кинетичку енергију ветра у механичку енергију. Механичка енергија може да се користи директно (за пумпање воде, млевење брашна), или да се претвара даље, на пример у електричну енергију као код већине савремених ветроелектрана. Постоје подаци о ветрењачама у Персији око године 600. нове ере. Прве персијске ветрењаче су имале вертикално вратило и 6-12 једара покривених трском или платном.

Око године 1200-те распрострањене су на ширем подручју и појављују се и у Европи. Користе се за млевење брашна и пумпање воде, а касније и за одвајање зрна од стабљике, у пиланама и за друге потребе.

Касније ветрењаче европске конструкције, углавном, користе хоризонтално вратило. У задњих 200 година употреба директних механичких ветрењача у Европи је скоро потпуно престала због ширења парне машине и касније, електричних мотора и мотора са унутрашњим сагоревањем.

Од краја 19. века почиње употреба ветрењача и за производњу електричне енергије (ветроелектране), али тек у задње време у већим количинама. Производња електричне енергије из ветроелектрана је порасла 5 пута од 2000. до 2007. године.¹²

Ротори ветротурбина могу се поделити према неколико основних начела: према аеродинамичком ефекту, према положају вратила, односно оси ротације, према брзини ротације. Према аеродинамичком ефекту, ротори ветротурбина могу бити: ротори са отпорним деловањем и ротори са узгонским деловањем.

Ротори са отпорним деловањем заснивају свој принцип рада на сили отпора лопатица ротора, при чему се оне окрећу спорије од ветра, што чак смањује укупну ефикасност.

Брзине обртања су том приликом мале, а моменти на вратилу ротора сразмерно велики. Најчешће се користе у ветрењачама, за погон млинова или пумпи за воду.

Ротори са узгонским деловањем заснивају свој принцип рада на деловању сила узгона на лопатице ротора, при чему је њихова линеарна брзина неколико пута већа од брзине ветра. Брзине обртања су при томе велике, а моменти на вратилу ротора мали.

Због већих брзина ротације (1000 до 1500 min^{-1}) и веће аеродинамичке ефикасности по правилу се користе у савременим ветроелектранама. Према положају вратила, односно оси ротације, ротори ветротурбина могу бити: ротори са хоризонталним вратилом и ротори са вертикалним вратилом.

Ротори са хоризонталним вратилом су данас много чешћи у примени и по правилу се користе у савременим ветроелектранама.

¹² <http://telosnet.com/wind/early.html>



Слика 7: Рана врста ветрењаче са хоризонталним вратилом¹³

Ране врсте ветрењача биле су постављене у непокретном торњу, тамо где је ветар сталног смера, док су се касније у западној Европи градиле са помичним торњем, који се ручно усмерава "према ветру" (енг. post windmill). Крајем 18. века се уводи низ иновација које су омогућиле аутоматско окретање ветрењаче "у ветар", углавном уз помоћ репа или додатне мале ветрењаче која је окретала врх торња. Потпуно потиснуте појавом парних машина, електромотора и мотора са унутрашњим сагоревањем, све више се враћају у употребу у измењеном облику за производњу електричне енергије као (ветроелектране).



Слика 8: Електрана на ветар (ветрењача) у америчкој војној бази у заливу Гвантанамо на Куби¹⁴

¹³ http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/00/Paros_windmill.jpg/200px-Paros_windmill.jpg

¹⁴ http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b4/Guantanamo_Bay_windmills.jpg/300px-Guantanamo_Bay_windmills.jpg

Ротори са вертикалним вратилом су, заправо, почели први да се користе, али су до данас помало напуштени. Ипак, имају бројне предности: не зависе од смера ветра, а тешки делови постројења могу се сместити на самом тлу, али имају и неких, посебно погонских, недостатака па је њихова примена за сада још ограничена (нпр. на том начелу раде анемометри).¹⁵



Слика 9: Анемометар, једноставна ветрењача са вертикалним вратилом¹⁶

Једноставне су за израду, великог обртног момента, издржљиве, и већина без потребе да се окрећу "у ветар" Овакви ротори су били први у употреби у Персији и Кини. Једра су била покривена са трском или платном.

У данашње време долази до раста интересовања за ову врсту ветрењача, поготово за мање или аматерске инсталације.

У ову врсту спадају:

- анемометар - једноставна справа за мерење брзине ветра, са шупљим полукуглама за "хватање" ветра,
- Савониус (Savonius) турбина,
- Дариус (Darrieus) турбина и многе друге врсте, којима је заједничко то што им је вратило вертикално.

¹⁵<http://mragheb.com/NPRE%20475%20Wind%20Power%20Systems/Vertical%20Axis%20Wind%20Turbines.pdf>

¹⁶ <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1b/Anemometer.jpg/200px-Anemometer.jpg>



Слика 10: Дариус турбина, ветрењача са вертикалним вратилом¹⁷

Према брзини обртања, ротори ветротурбина могу бити: ротори са променљивом брзином обртања и ротори са константном брзином обртања.

Ротори са променљивом брзином обртања најчешће се користе за погон пумпи за воду и ветроелектрана за потребе пуњења батерија, док је за примену у ветроелектранама које се прикључују на електричну мрежу неопходан фреквентни претварач.

Ротори са константном брзином обртања су врло прикладни за примену у ветроелектранама за потребе електроенергетског система (мреже), јер се тиме омогућава примена једноставних генератора чија је брзина обртања ротора одређена бројем пари полова статора и фреквенцијом мреже.

Опсег брзина ветра у којем ветрогенератор генерише електричну енергију је типично од 3 до 25 m/s, а максималну снагу постиже при брзини ветра од 12 до 15 m/s. Конструкција савременог ветроагрегата је пројектована да издржи ударе ветра и до 280 km/h.

Ветроагрегати се граде на ветровитим локацијама на којима је средња годишња брзина ветра већа од 6 m/s. Један ветроагрегат снаге 1 MW може на оваквој локацији произвести око 2000 MWh електричне енергије годишње, што је довољно да подмири потребе око 500 просечних четворочланих домаћинстава.

На погодним локацијама се групише обично више ветроагрегата који чине ветроелектрану. Ветроелектрана може имати и неколико стотина ветроагрегата и снагу преко 300 MW. Граде се на копну (onshore wind farm), али и у приобалном појасу плитких мора (offshore wind farm) где дувају јаки и стабилни ветрови.¹⁸

¹⁷ http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d4/Darrieus_rotor001.jpg

¹⁸ <http://icrepq.com/pdfs/ARNALT.306.pdf>

3. Управљање радом ветрогенератора

У уводном делу овог поглавља биће најпре дат појмовник основних структурних делова ветроагрегата, а затим изнете важне чињенице које су од велике важности за управљање радом ветротурбина, и битно зависе од врсте примењеног генератора електричне стује.

Анемометар (anemometer): Мери брзину ветра и тај податак прослеђује до контролера.

Елисе (blades): Већина турбина има две или три елисе. Ветар дува преко елиса подижући их, што доводи до ротације (јер су елисе причвршћене једним крајем).

Кочница (brake): Диск кочница која служи да заустави ротор у случају опасности или сервисирања и може бити механичка, електрична или хидраулична.

Контролер (controller): Контролер стартује машину при брзини ветра од око 13-26 km/h и зауставља при брзини од око 100 km/h. Турбина не сме да буде у погону при брзинама већим од 100 km/h због могућности прегревања и тзв. разлетања ротора услед дејства центрифугалних сила..

Мењач (gear box): Повезује зупчаницима вратило мале брзине са вратилом велике брзине и уједно повећава брзину ротације од 20-60 o/min на отприлике 1200-1500 o/min, колико захтева већина генератора за производњу електричне енергије. Мењач је врло скуп и тежак део турбине и истражују се генератори који раде на нижим ротационим брзинама и не захтевају мењаче.

Генератор: Синхрони или асинхрони генератори. Који ће тип бити изабран зависи од начина везивања генератора са мрежом.

Вратило велике брзине (high-speed shaft): Директно погони генератор.

Вратило мале брзине (low-speed shaft): Директно је везано за ротор и ротира од 20 до 60 o/min.

Кућиште: Ротор је везан за кућиште, које је постављено на торањ и у себи садржи: мењач, вратила велике и мале брзине, генератор, контролер и кочницу. Поклопац штити компоненте унутар кућишта. Нека кућишта су димензија довољних да техничар стоји унутар њих док ради.

Pitch: Елисе се окрећу од ветра и спречавају окретање ротора при брзинама превеликим или премалим за производњу електричне енергије.

Ротор: Елисе и главчина заједно чине ротор.

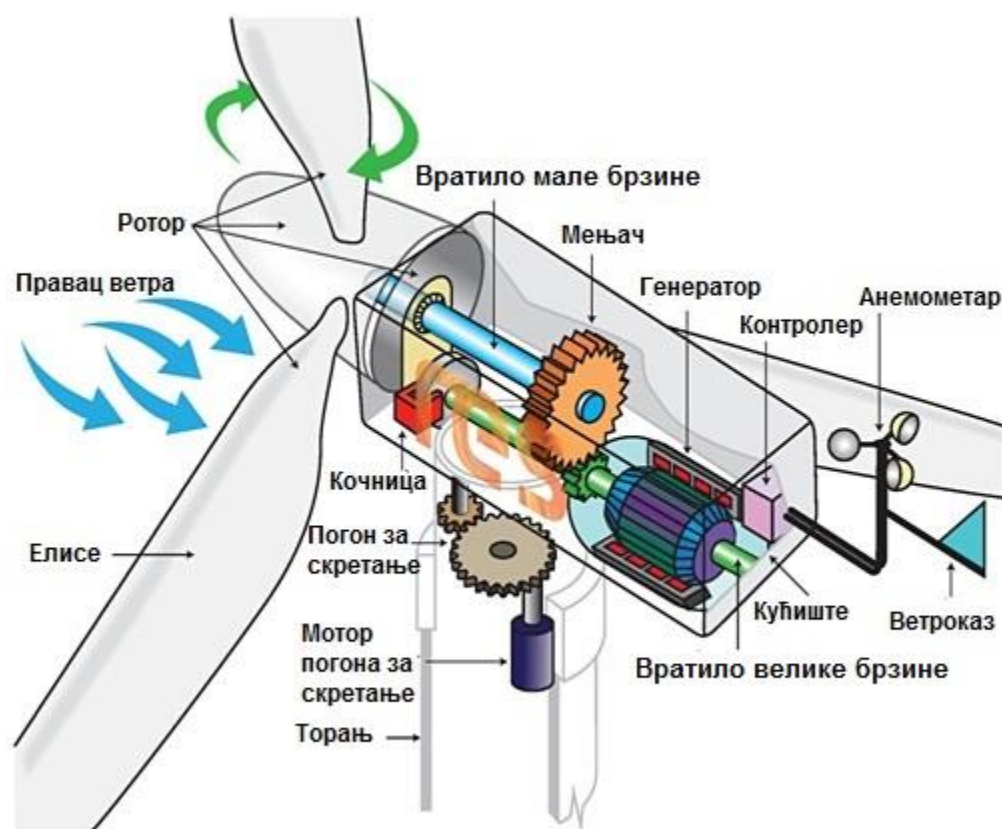
Торањ (tower): Торњеви су направљени од цевастог челика или челичне мреже. Због повећања брзине ветра са висином виши торњеви омогућавају турбини да "ухвати" више енергије од ветра и генерише ел. енергију.

Смер ветра (wind direction): На слици је приказана тзв. "upwind" турбина, зато што је при раду окренута ка ветру. Друга врста турбина је "downwind" јер је окренута при раду од ветра.

Ветроказ (wind vane): Одређује смер ветра и комуницира са погоном за скретање ради исправне оријентације турбине у односу на ветар.

Погон за скретање (yaw drive): Окреће upwind турбине према ветру; служи да ротор увек буде окренут ка ветру без обзира на смер дувања. Downwind турбине не захтевају погон за скретање.

Мотор погона за скретање (yaw motor): Погони скретање кућишта (ротора).¹⁹



Слика 11: Главни делови ветрогенератора²⁰

Последњих деценија XX века се показало да ветар представља значајан ресурс у генерисању електричне енергије. Али и даље остаје проблематична брзина ветра која варира у времену, а тиме и брзина ротора турбине, што

¹⁹<http://vracaricic.com/resources/ENERGIJA%20VETRA%20-%20KORIST%20I%20PROBLEMI%20U%20EKSPLOATACIJI.pdf>

²⁰ http://www.beaufortcourt.com/media/28342/res_wind_turbine.jpg

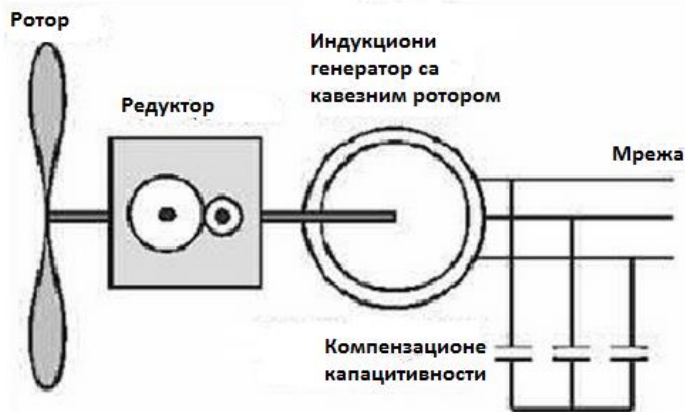
резултира наизменични излазни напон променљиве учестаности, који је наравно непогодан за везивање на стандардну дистрибутивну мрежу.

У зависности од тога да ли ветрогенератор ради на принципу константне (fixed-speed) или променљиве брзине (variable speed), у раду ће бити изложен концепт најчешће коришћених ветрогенератора реномираних светских произвођача, попут фирми ENERCON, DE WIND, VESTAS, BONUS.²¹

3.1 Ветротурбина са индукционим генератором

Ветротурбина са индукционим генератором са кавезним ротором за константне брзине (слика 12), се најчешће среће у апликацијама где се ветрогенератор директно прикључује на мрежу (без инвертора). Брзина обртања ротора, односно клизање, мењају се у зависности од генерисане снаге. Али ипак су промене брзине мале и крећу се у границама 1 до 2%.

Како је овај концепт ветрогенератора примењен на ветротурбинама за константне брзине (fixed speed), најчешће се користи генератор који ради на две, или више, брзина променом броја пари полова статорског намотаја, или чак два генератора, један мање снаге за мање брзине ветра, а други снажнији за веће брзине ветра (често решење фирме BONUS).



Слика 12: Ветротурбина са индукционим генератором са кавезним ротором за константне брзине²²

Међутим мана је што генератор са кавезним ротором увек захтева реактивну снагу за свој рад, што је у многим случајевима непожељно, нарочито код великих и снажних турбина и слабе електричне мреже на коју су прикључени. Могуће је ову енергију компензовати уметањем одређених капацитивности (кондензатора).

²¹ <http://energy.gov/eere/wind/inside-wind-turbine-0>

²² http://www.vibilia.rs/srpski/izvestaj/0402/03_best_130204.pdf

Предност оваког концепта је у његовој једноставности. Пошто је брзина обртања ротора генератора везана за фреквенцију мреже и скоро да не може да се контролише, није могуће искористити ветротурбину при турбулентним брзинама ветра, јер би за овакав систем, турбуленција проузроковала варијацију снаге, то би се одразило и на квалитет генерисане енергије.

Постоји још једна метода рада индукционог генератора са кавезним ротором, али са променљивим отпором на страни ротора. Наиме, енергетска електроника омогућава промену отпорности кола ротора што се одражава на промену карактеристике момената брзина.

Овим је могуће мењати брзину ротора и до 10%, а поменути начин регулације је познатији као систем са полу-променљивом брзином (semi-variable speed system).

3.2 Ветротурбина са синхроним генератором

Ветротурбина са синхроним генератором са променљивим бројем пари полова ради у пуном опсегу брзина ветра. Синхрони генератор са променљивим бројем полова, приказан на слици 13, има добро развијено управљање, па се зато врло често среће у понуди многих компанија а главни је адут немачког ENERCON-а. Излазни напон синхроног генератора је нижи при нижим брзинама ветра, па се због тога користи један чопер.

Чопери или импулсни регулатори једносмерног напона су енергетски претварачи који врше претварање једносмерног напона у једносмерни напон различите средње вредности. Ови претварачи служе да смање или повећају једносмерни напон на улазу.

Такође представљају електронске уређаје који претварају једносмерну електричну енергију једних параметара у једносмерну енергију других параметара.

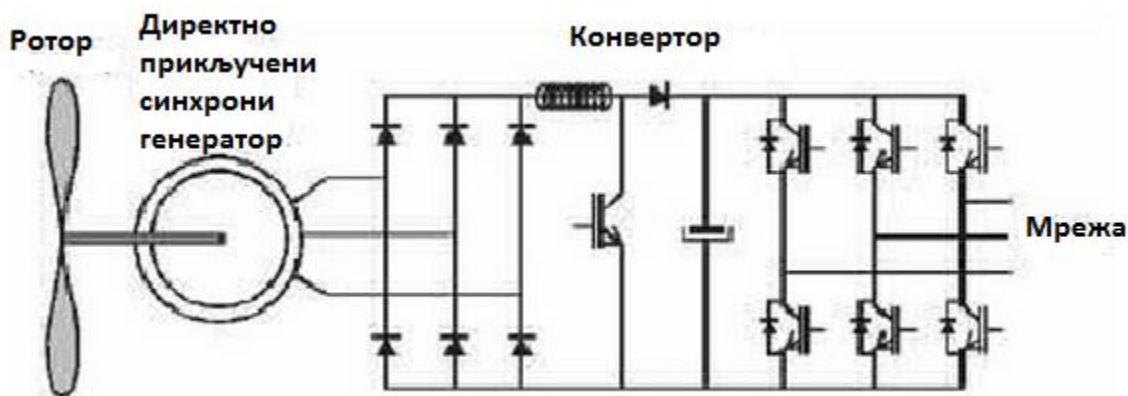
Могу бити индиректни (комбинација инвертора и исправљача) или директни. Чопери се користе за контролу брзине обртања једносмерног мотора, као извори напајања или појачавачи. Постоје следећи типови импулсних регулатора – чопера :

- чопери за снижавање напона (енгл. Buck converters),
- чопери за повећање напона (енгл. Boost converters),
- чопери за снижење/повећање напона (енгл. Buck-boost converters).²³

²³[http://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80_\(%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0\)](http://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80_(%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0))

При нижим брзинама овај чопер повећава исправљени напон на страни генератора на ону вредност на коју инвертор рачуна за свој неометани рад. Предност овако коришћеног модела је што нема ограничења брзине при генерисању ел. енергије, не поседује редуктор, а такође је и упрошћена контрола прилично једноставним чопером и ковертором.

С друге стране, ипак користимо два, односно три, претварача за пуну снагу, а губици су око 2-3% од генерисане снаге.²⁴



Слика 13: Вентротурбина са синхроним генератором са променљивим бројем пари полова²⁵

3.3 Вентротурбина са индукционим генератором са кавезним ротором за пун опсег брзина

Вентротурбина са индукционим генератором са кавезним ротором за пун опсег брзина се ређе среће, али је јако слична претходној апликацији, само је разлика у томе што у овом случају постоји мењач између вратила вентрењаче и вратила генератора, док је код генератора то решавано променом броја пари полова.

Овакав концепт вентротурбине ради при променљивим брзинама ветра (variable-speed), а прикључење на мрежу је омогућено веома управљивим инвертором (слика 14).

Инвертори су електронски претварачи једносмерне у наизменичну електричну енергију. Називају се DC/AC конвертори (енг.DC, direct current - једносмерна струја, и AC, alternation current - наизменична струја).

Помоћу инвертора се повезују системи који раде са једносмерном са системима који раде са наизменичном струјом. На пример, соларне електране са

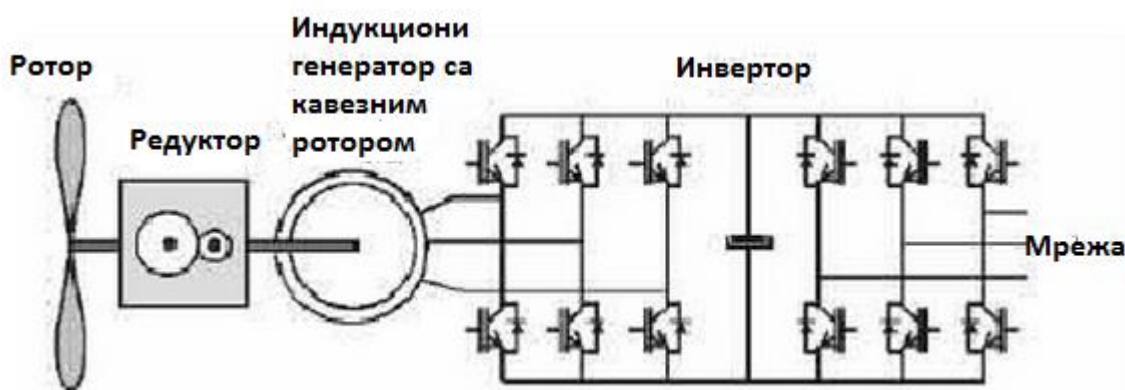
²⁴ http://www.eihp.hr/~ndizdar/CIGRE2003_02.pdf

²⁵ <http://www.balkanenergy.com/files/b1s.pdf>

фотоћелијама производе једносмерни напон, док постојећа мрежа ради са наизменичним напонам.²⁶

Предност овако употребљеног индукционог генератора једноставније конструкције је, управо, у цени и зато што нема ограничења брзине при којој се генерише ел. енергија. Такође је доста важно да можемо енергетском електроником контролисати реактивну снагу. [25]

Опет, овакав модел има доста недостатака јер се примећује да се у том случају користе два инвертора за пуну снагу у серији и уочавају губици од око 3% генерисане снаге. И даље су нам потребни велики кондензатори за одржавање напона међукола. [25]



Слика 14: Вентротурбина са индукционим генератором и кавезним ротором за пун опсег брзина [25]

3.4 Вентротурбина са двоструко напајаним индукционим генератором

Вентротурбина са двоструко напајаним индукционим генератором (односно са намотаним ротором) је у последње време често коришћена опција са конвертор-инвертор комбинацијом са надокнађивањем енергије ротору, а користи се за веће снаге, преко 1 MW.

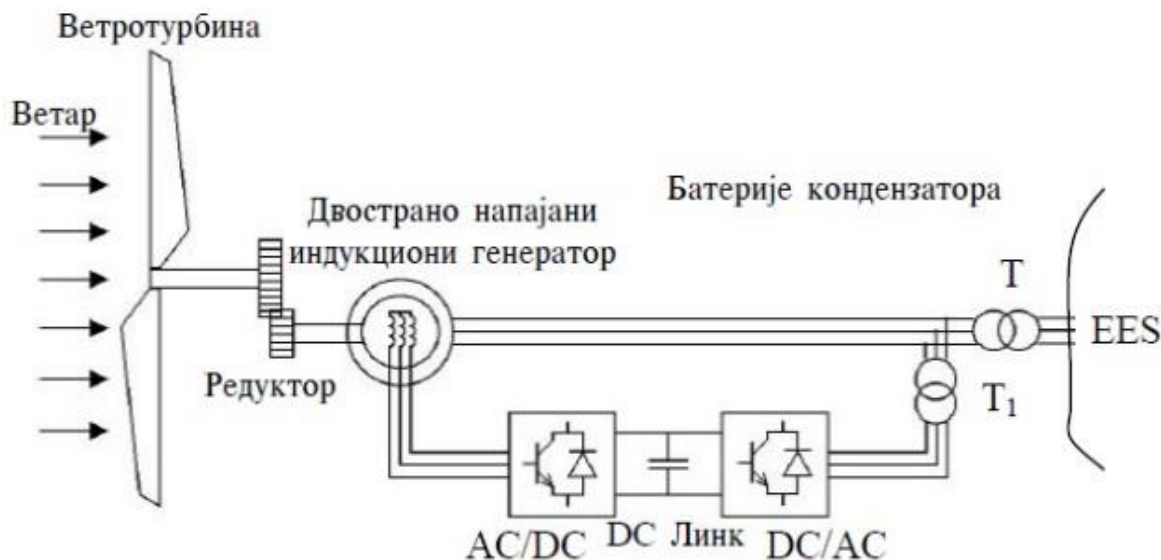
Да би омогућила рад при променљивим брзинама, енергетска електроника је у служби напонског инвертора који напаја трофазни роторски намотај.

Овако су механичка и електрична фреквенција ротора раздвојене и фреквенције статора и ротора могу бити постигнуте, независно од механичке брзине ротора.

²⁶ <http://sr.wikipedia.org/wiki/Invertori>

Статорски намотаји могу бити прикључени на мрежу само када је брзина ротора блиска синхроној брзини, док је коло ротора увек повезано на мрежу преко конвертор-инвертор везе.

За мање брзине ротора, приступа се допуњавању ротора енергијом из мреже, док се за веће брзине ротора део енергије враћа у мрежу. Предности оваквог начина генерисања ел. енергије су у томе што два конвертора у вези раде само са 20-30% снаге (најчешће) при преносу енергије на релацији ротор-мрежа и обрнуто. Због тога су и губици знатно мањи (око 0.6-0.9% генерисане снаге).



Слика 15: Ветротурбина са двоструко напаяним индукционим генератором [8]

Статорски намотај је директно прикључен на мрежу, а роторски намотај је преко клизних прстенова, претварачке групе инвертор-исправљач и трансформатора прикључен на мрежу. Промена активне и реактивне снаге генератора врши се променом фреквенције и фазе струје којом се напая роторски намотај.

Машина може радити у широком опсегу брзина и у надсинхроним и у подсинхроним режимима, што омогућава потпуно прилагођавање брзине обртања ветрогенератора брзини ветра.

Када машина ради у надсинхроним режиму и ротор и статор одају активну снагу мрежи, док је у подсинхроним режиму ток активне снаге у роторском колу од мреже ка ротору.

Снага која се преноси кроз инвертор је пропорционална одступању брзине од синхроне брзине (коју диктира мрежа). Снага претварача је обично око (20-30)% номиналне снаге ветрогенератора.

Двострано напајана индукциона машина може генерисати и реактивну енергију, али је обично ветрогенератор пројектован да ради са фактором снаге $\cos \phi = 1$, јер генерисање реактивне енергије додатно струјно оптерећује конвертор у роторском колу.

Ипак, уколико је потребно стабилисати напоне у дистрибутивној мрежи, ветрогенератор, може на рачун смањења активне снаге генерисати реактивна снага, односно радити у капацитивном режиму.

Двострано напајана индукциона машина се уграђује у ветроагрегате највећих снага, у оне који су пројектовани за рад на копну (onshore), тако и у моделе за приобалне морске појасе (offshore).

Највећу *offshore* ветроелектрану Horns Rev на западној обали Данске чини 80 ветроагрегата снаге 2 MW са двострано напајаним индукционим машинама.

Овакви ветроагрегати имају већи степен искоришћења, могу генерисати реактивну снагу, мања су им ударна механичка напрезања, јер је карактеристика генератора адаптивна, раде стабилније и генеришу мању буку.

Недостаци су: релативно висока цена због енергетске електронике, осетљивији су на атмосферске пренапоне (IGBT транзистори), повећани губици у генератору, генеришу више хармонике. Ограничавајући фактор код ветроагрегата највећих снага је мултипликатор који трпи велика напрезања.

Експериментише се са двострано напајаном индукционим генераторим са двоструким намотајем на статору и краткоспојеним ротором (Doubly Fed Twin Stator Induction Machine). Један намотај служи за управљање, а преко другог намотаја се генерише активна и реактивна снага.

Предност овакве машине је робусност, јер не постоје клизни прстенови на ротору. Међутим, овај концепт је још увек у фази развоја. [8]

4. Израда лабораторијског прототипа ветрогенератора мале снаге

Практични део нашег заједничког дипломског рада, је у ствари био и најзанимљивији. Изградња ветрогенератора представљала је прави изазов. Али ми смо и раније били пројектни тим и у истом саставу учествовали у разним практичним пројектима, па смо били донекле и уиграна екипа и знали смо шта можемо да очекујемо једни од других. Ветрогенератор је деловао као достојна тема мастер рада, у који би могли да се упустимо. Идеју смо добили гледајући научне емисије о зеленој енергији. Пошто ми као инжењери треба да настојимо да одржимо и унапредимо изворе обновљивих ресурса, били смо више него убеђени да је тема за мастер рад право време да се и ми укључимо у целу ту причу као будући инжењери и да дамо свој скромни допринос.

Када смо се усагласили око теме, прво што нам је било потребно као основа за даљу израду, био је електромотор или генератор. Од њега нам је зависила даља конструкција и изглед кућишта, елисе и стуба. Понуда електромотора на нашем тржишту је јако сиромашна, у шта смо имали прилику да се уверимо. Контактирали смо разне људе који се баве електромоторима и сви су нам рекли да је јако тешко да се код нас нађе такав електромотор. Наиме најпогодније карактеристике електромотора за ветротурбину мале снаге су обртни момент од 350 o/min, напон од 30 па до 100 V и да тај мотор буде једносмерне струје. То су карактеристике које би за почетнике као што смо ми, биле сасвим довољне да се боље упознају са могућностима ветрогенератора. Наравно напон и ампеража могу да варирају, то не мења претерано суштину, али оно што је нама од важности јесте сама тежина генератора. Са повећањем напона и ампераже расте наравно и снага, а са повећањем снаге расте и тежина.

Мотор једносмерне струје у себи садржи сталне магнете који служе за побуду и који у великој мери олакшавају рад и чини га идеалним за ову позицију. Уколико је потребна наизменична струја, проблем се решава AC/DC конвертором. Наизменични мотор нема сопствену побуду, те је потребно обезбедити је, што се изводи кондензаторима или постављањем сталних магнета у ротору, што је јако скупа и компликована инвестиција. Магнети се постављају наспрамно, са обе стране по 9 комада. Што укупно чини 18 магнета. Што се цене тиче, најповољније решење је једносмеран електромотор или у овом случају генератор који још може да се назове и динама. Електромотор за који смо се ми определили је *Emerson DC motor*, намењен америчком тржишту, а склопљен у Мексику. Радне карактеристике електромотора су: број обртаја 1725 o/min, напон 90V и струја од 3,8 A. Јасно је да овај избор није баш идеалан, али са економског погледа је најлогичнији.



Слика 16: Електромотор/генератор Emerson DC motor

Наизглед велики број обртаја се може надоместити мултипликатором који би повећао број обртаја са елиса на коначни број обртаја на електромотору. То је изводљиво помоћу зупчаника или ременица. Пошто ременице пружају мањи отпор и ефикасније су, одлучили смо се за тај избор. Ременице смо скинули са старе веш машине. Пречник веће ременице на елисама је 450 mm, а на електромотору је 50 mm.



a)



б)



в)

Слика 17: а) велика ременица, б) мала ременица, в) спрега преноса

Проблем који смо имали са преносником је тај што се он сам понаша као кочница. Генерално ми смо имали проблем са лежајевима. Ротор се слабије окретао и чуло се крцкање приликом окретања. Били смо приморани да расклопимо електромотор, подмажемо лежајеве и проверимо опруге на четкицама

да нису запекле. Један од два лежајева је био скроз пропао, па смо морали да га заменимо. То је цилиндрични лежај који има ознаку 9R10 и према речима људи који се тима баве, немогуће га је наћи код нас. Тако да нам је настао велики проблем. Због већег отпора при окретању, нисмо могли да ставимо преносник, јер због великог отпора ротор не би могао да се okreће. Били смо приморани да елисе вежемо директно на ротор, што смо и урадили. Након промене плана и сасвим нове концепције, кренули смо даље са развијањем нашег пројекта. Прво смо направили држач за мотор који би касније могао да се опкроји и да се направи кућиште. Узели смо челичну плочу дебљине 3 mm и заварили је као L профил.



Слика 18: Држач генератора

Генератор је причвршћен на 4 завртња на вертикалној плочи. Искористили смо рупе које већ постоје на генератору, које су већ и предвиђене за причвршћивање. На доњем делу држача заварили смо главчину од задњег точка аутомобила, како би носач причврстили за стуб и како би носач био слободан да се okreће према ветру.



Слика 19: Главчина

Округли део је стављен на носач генератора, док је шиљати део постављен на врху стуба. На носач је са задње стране заварена танка шипка, пречника 36 mm, која служи као носач репа. Дужина шипке је 1 m и бимбалом је расечена на предњем и задњем крају, како би се лакше заварио носач и реп.



Слика 20: Носач репа

Реп смо направили од челичне плоче дебљине 1 mm. Тражили смо плочу која је баш те дебљине, како би била лака, јер реп треба да буде лаган, како би га ветар лако померао и како не би нарушавао баланс тежине. Плоча је била димензија 40x40 cm, а од ње смо направили троугао, јер нам је тај облик деловао најзанимљивији.



Слика 21: Реп ветрењаче

Када смо завршили са склапањем овог дела, размишљали смо како да затворимо део око генератора, ради заштите од кише, сунца, а да при том изгледа лепо и да буде аеродинамичан. Мислили смо прво да купимо цев, коју би могли да прекројимо, али би она била исувише крута да се савије, онако како смо ми мислили. Онда смо решили да пробамо са неким лимом. Најлакши лим је алуминијум и он се најлакше савија. Узели смо таблу од алуминијума дебљине 0,7 mm, али због тога што нисмо поседовали одговарајући алат за савијање лима, били смо приморани да потражимо помоћ од људи који се тиме баве. Ваљком за савијање лима добили смо жељени облик и обезбедили смо кућиште за генератор.



Слика 22: Изглед кућишта ветрогенератора

Елисе смо направили од пластичне цеви пречника 160 cm. Цев смо секли под углом и добили жељени облик. Направили смо три елисе које су идентичног изгледа и тежине. Пошто је једна елиса из неког разлога била мало лакша од остале две, залепили смо јој парченце алуминијума на врху, како би елису уравнотежили. На елисама смо пробушили по 3 рупе, како би смо их причврстили за држач.



Слика 23: Елиса ветрогенератора

Држач елиса је направљен од брушеног челика и он има улогу да снагу са елиса пренесе на електромотор. Јако је битно да се позиционирањем држача погоди центар осе ротације, како би имало што мање померања и како приликом рада елисе не би „бацале“. Тај проблем може да дође до изражаја при великим брзинама. На држачу смо морали да извршимо неке промене, пошто је рад са мултипликатором тражио други пречник рупа. Морали смо да се обратимо стругару, како би нам он поставио нову чауру на центру држача, која би имала исти пречник као и вратило електромотора. Са стране смо на чаури избушили отвор, на коме смо урезали навој, како би завртњем притегли држач за вратило, да би елисе биле обезбеђене.



Слика 24: Држач елиса

Стуб на коме је требало да поставимо генератор је висок 3,2 m, и он челичан, а нашли смо га у Техничко ремонтном заводу. Пречник цеви је 115 mm, а она је, иначе, састављена од три цеви, које се шрафе једна у другу, пошто имају навоје који одговарају.



Слика 25: Стуб ветрогенератора

Када смо завршили све послове који су се тицали припреме, дошао је био тренутак да поставио генератор и да измеримо његову снагу. Генератор смо поставили у Бресници у дворишту куће.

Услови за постављање нису били идеални, пошто се у кругу од неколико метара налазе два дрвета, која су далеко виша од нашег ветрогенератора, а са

једне стране се налази ред кућа, које, такође, праве заветрину. па смо морали да се помиримо са ситуацијом и да покушамо да из те ситуације извучемо највише.



Слика 26: Постављање ветрогенератора

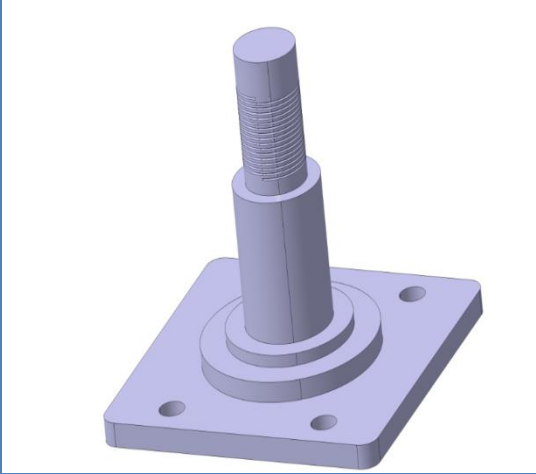
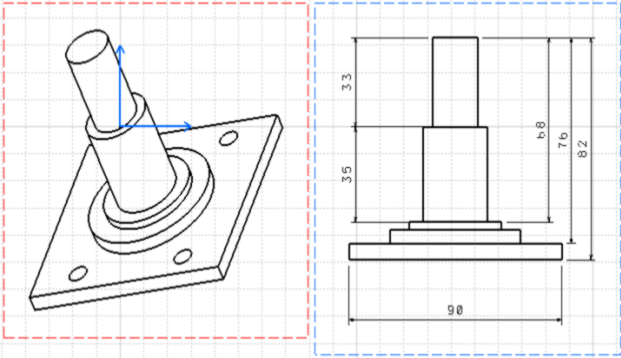


Слика 27: Изглед ветрогенератора

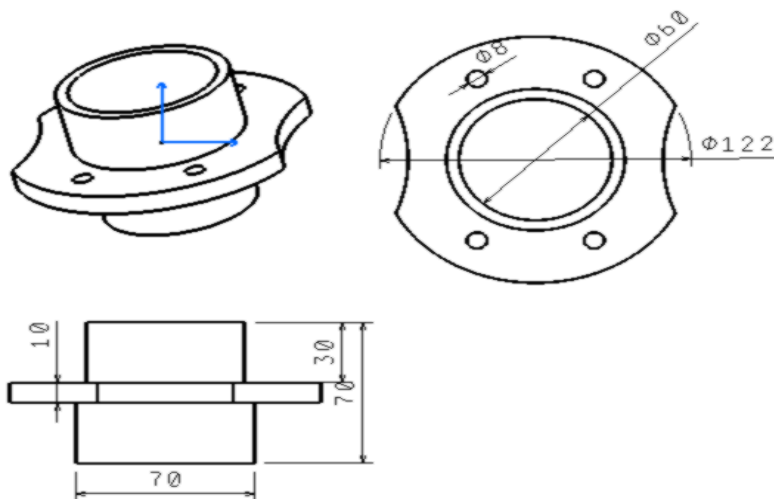
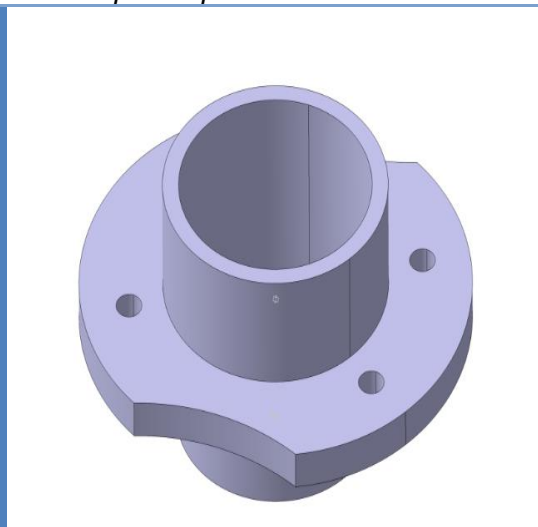
5. Техно-економска анализа

У овом поглављу бавили смо се техно-економском анализом нашег ветрогенератора мале снаге. Анализирали смо сваки део посебно, од тежине, густине, материјала, па све до цене. Делове смо моделирали у Catia софтверском програму, а слике и коментари дати су у табелама.

Табела 1: 2D и 3D приказ вратила без главе и приказ његових карактеристика

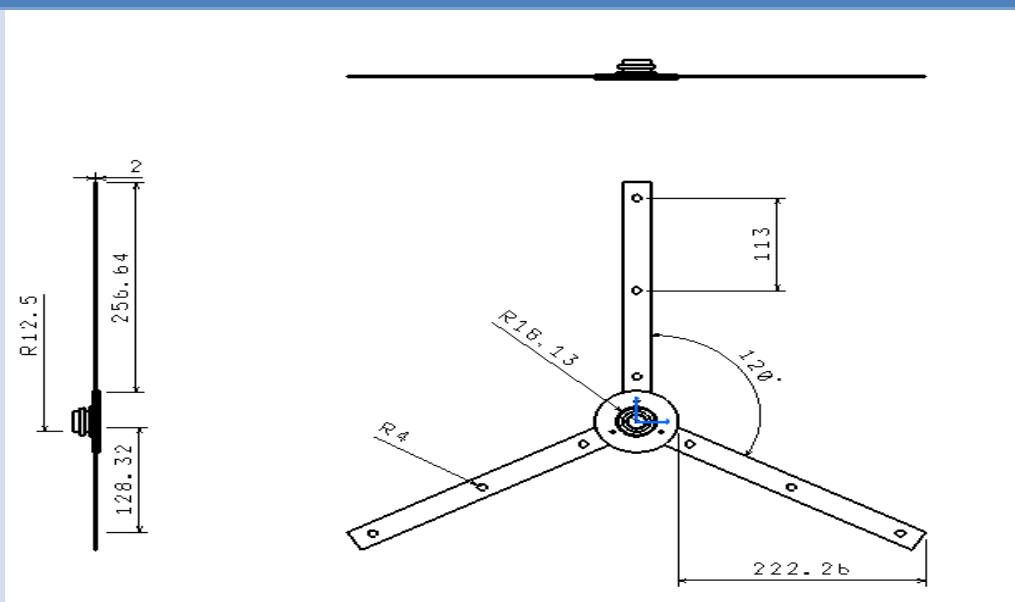
 	
	
Назив производа	вратило без главе
Врста материјала	брушени челик
Површина материјала	0. 025m ²
Маса материјала	0. 725kg
Густина материјала	7870 kg/m ³
Боја материјала	Сива
Цена	600 динара

Табела 2: 2D и 3D приказ главе вратила и приказ њених карактеристика



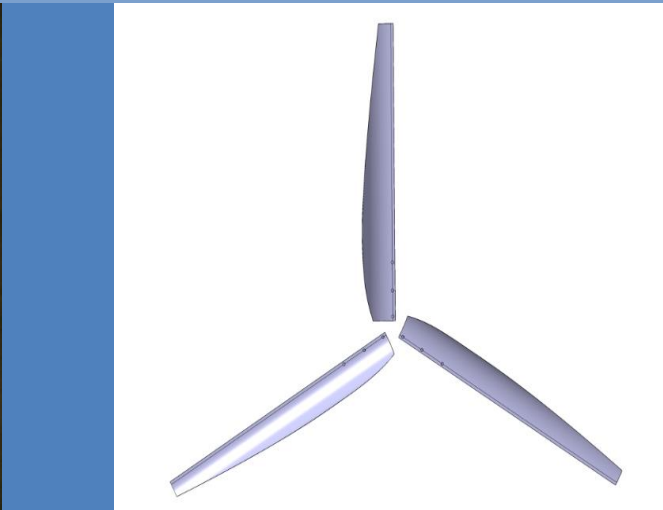
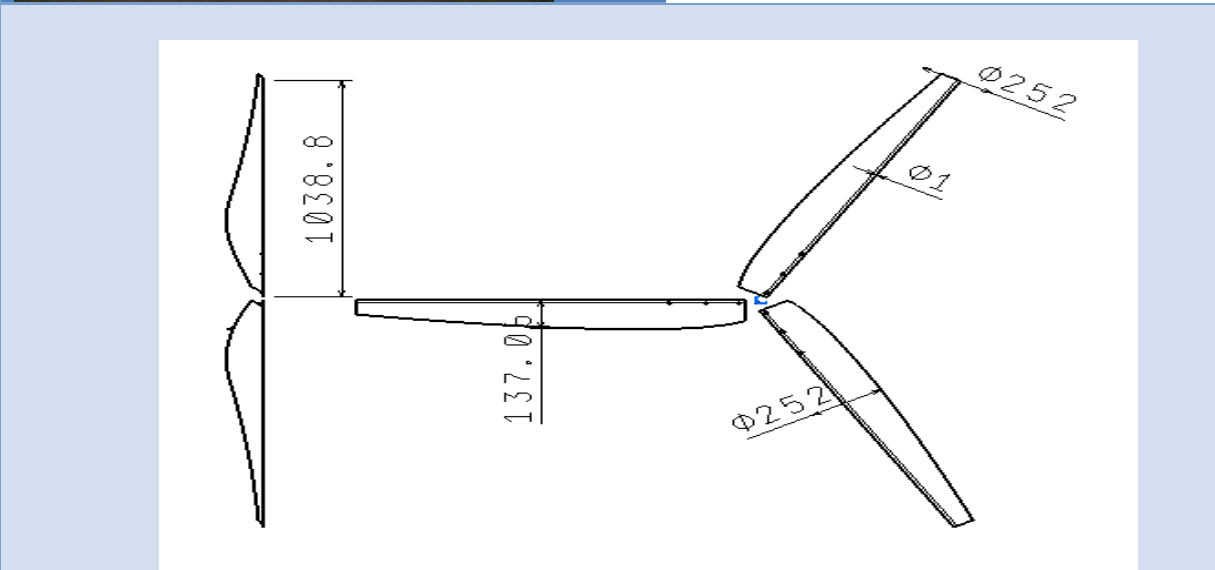
Назив производа	Глава
Врста материјала	брушени челик
Површина материјала	0. 046m ²
Маса материјала	0. 905kg
Густина материјала	7860 kg/m ³
Боја материјала	Сива
Цена	800 динара

Табела 3: 2D и 3D приказ држача елисе и приказ његових карактеристика

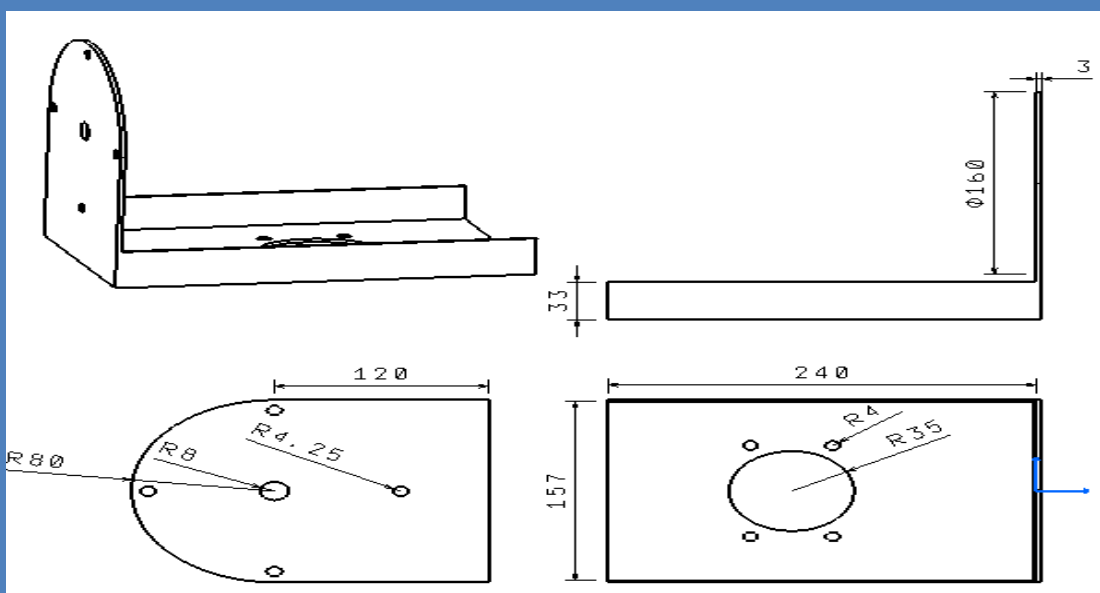
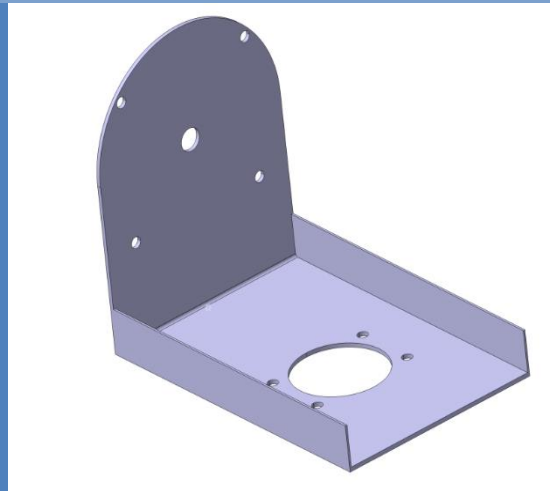


Назив производа	Држач елисе
Врста материјала	брушени челик
Површина материјала	0.059m ²
Маса материјала	0.525kg
Густина материјала	7860 kg/m ³
Боја материјала	Бела
Цена	350 динара

Табела 4: 2D и 3D приказ елиса и приказ њених карактеристика

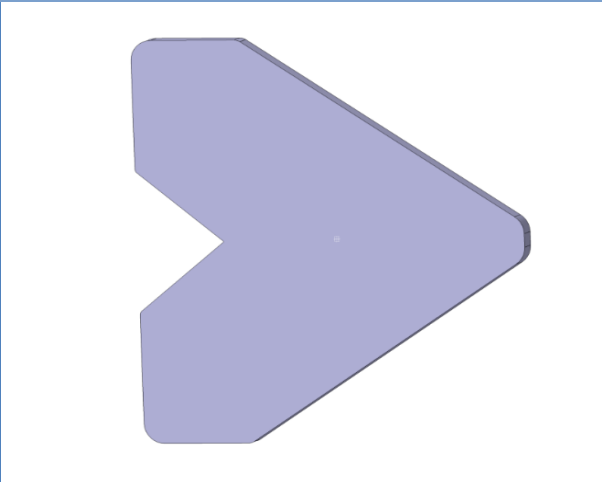
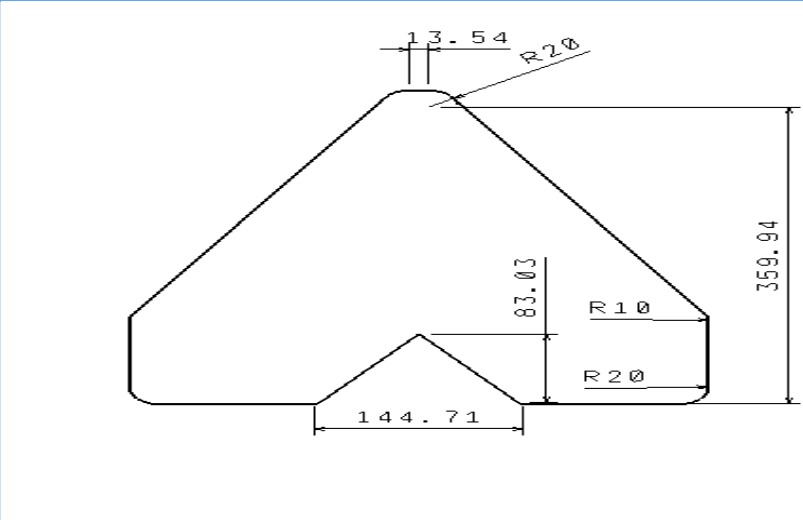
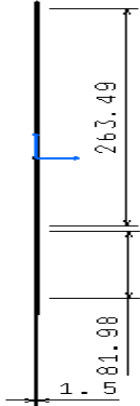
	
	
Назив производа	Елисе
Врста материјала	PVC
Површина материјала	1. 049m ²
Маса материјала	0. 73kg
Густина материјала	1400 kg/m ³
Боја материјала	Бела
Цена	215 динара

Табела 5: 2D и 3D приказ држача мотора и приказ његових карактеристика

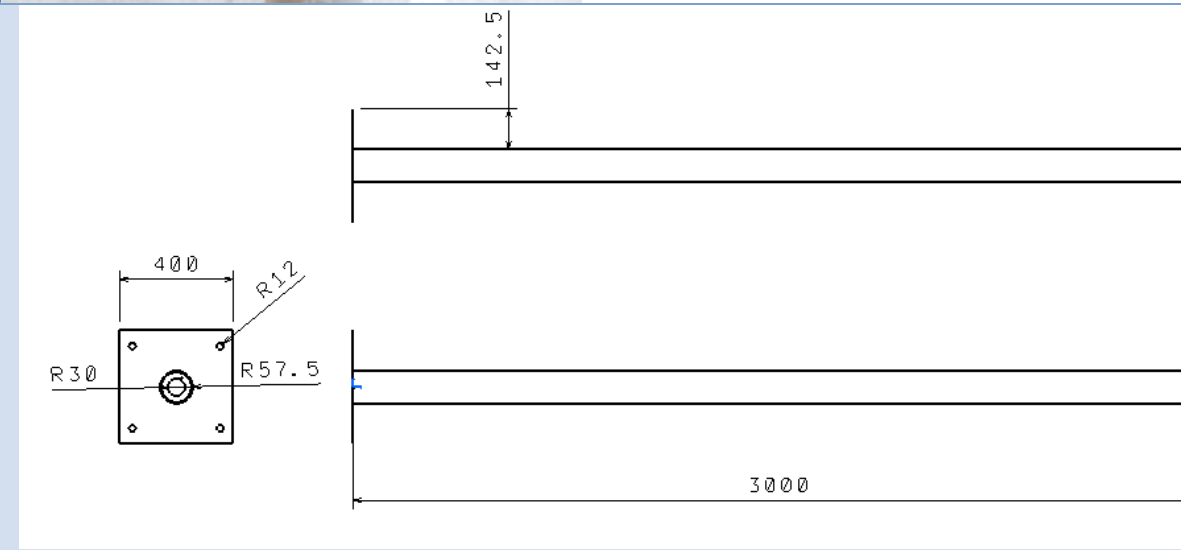


Назив производа	Држач мотора
Врста материјала	Челик
Површина материјала	0. 16m ²
Маса материјала	1. 663kg
Густина материјала	7870 kg/m ³
Боја материјала	Бела
Цена	500 динара

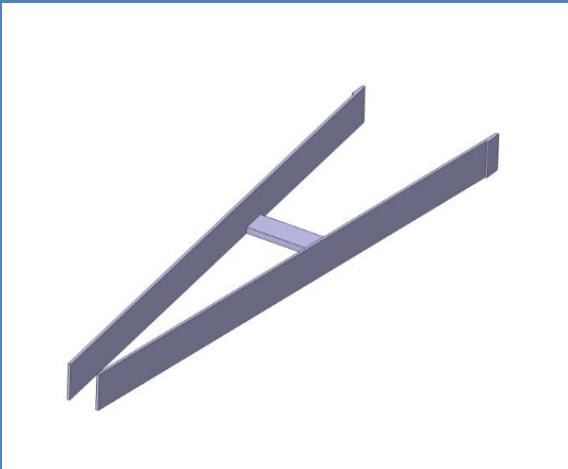
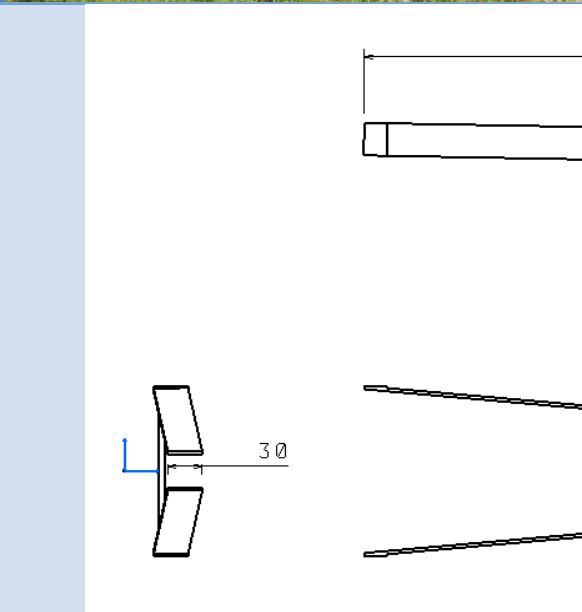
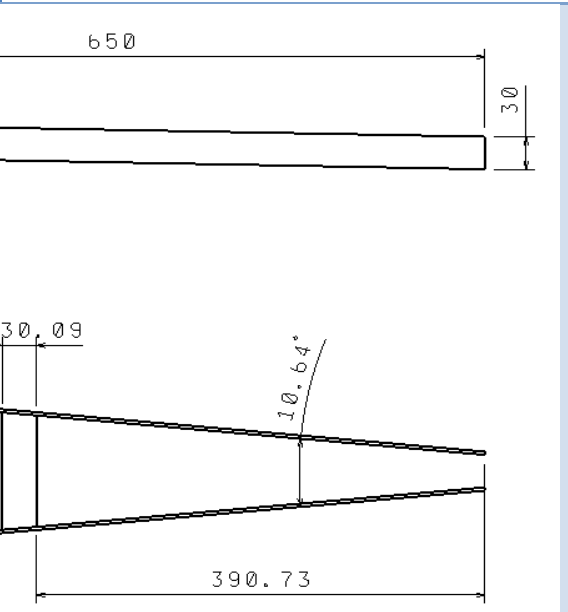
Табела 6: 2D и 3D приказ репа и приказ његових карактеристика

 	
 	
Назив производа	Реп
Врста материјала	Челик
Површина материјала	0.193m ²
Маса материјала	1.128kg
Густина материјала	7860 kg/m ³
Боја материјала	Бела
Цена	300 динара

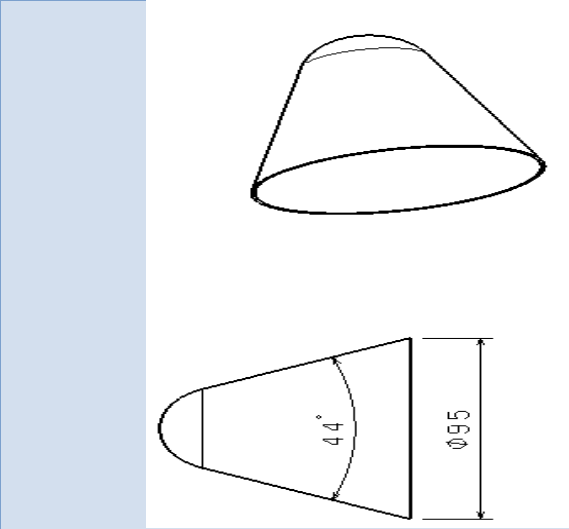
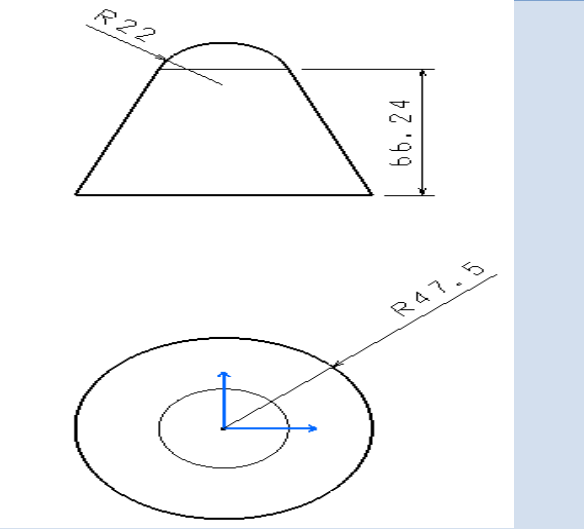
Табела 7: 2D и 3D приказ стуба и приказ његових карактеристика

	
	
Назив производа	Стуб
Врста материјала	Челик
Површина материјала	2. 39m ²
Маса материјала	44. 406kg
Густина материјала	7860 kg/m ³
Боја материјала	Бела
Цена	800 динара

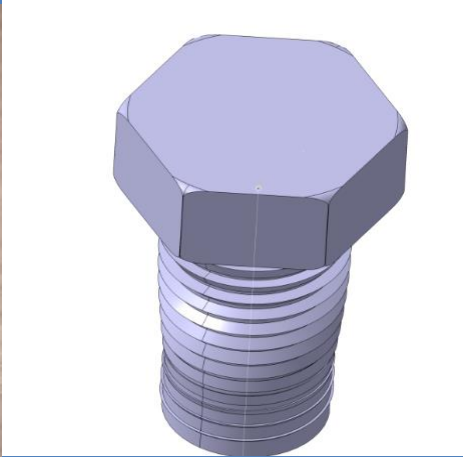
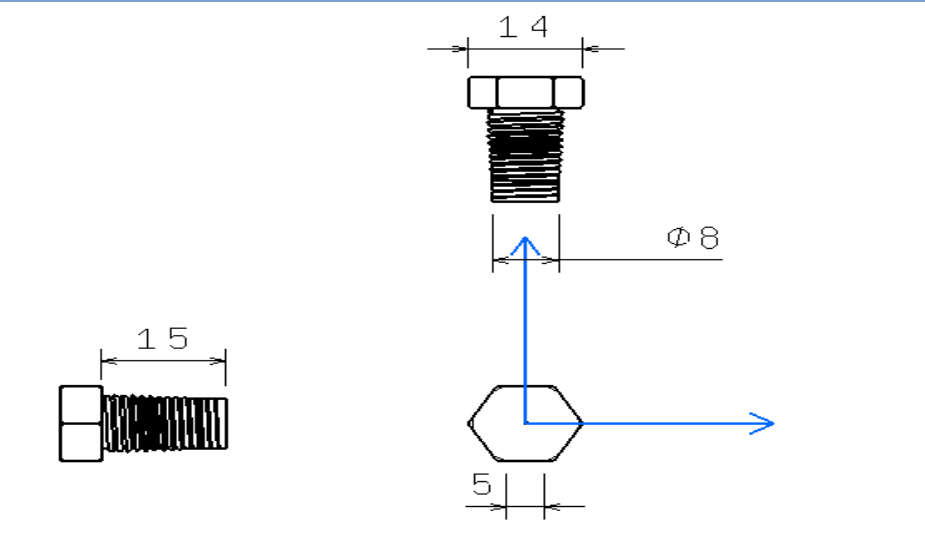
Табела 8: 2D и 3D приказ помоћног држача и приказ његових карактеристика

	
	
Назив производа	Помоћни држач
Врста материјала	Челик
Површина материјала	0. 094m ²
Маса материјала	1. 053kg
Густина материјала	7860 kg/m ³
Боја материјала	Сива
Цена	280 динара

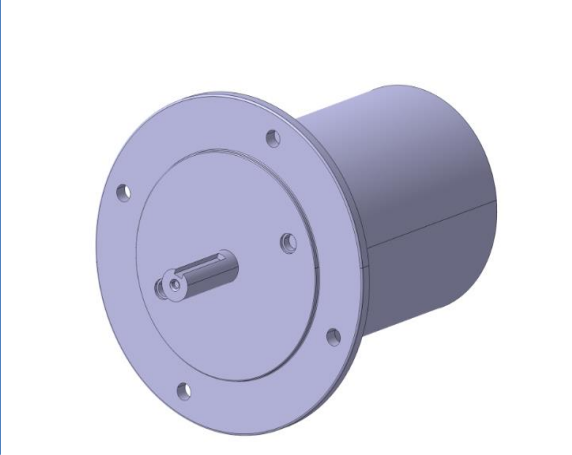
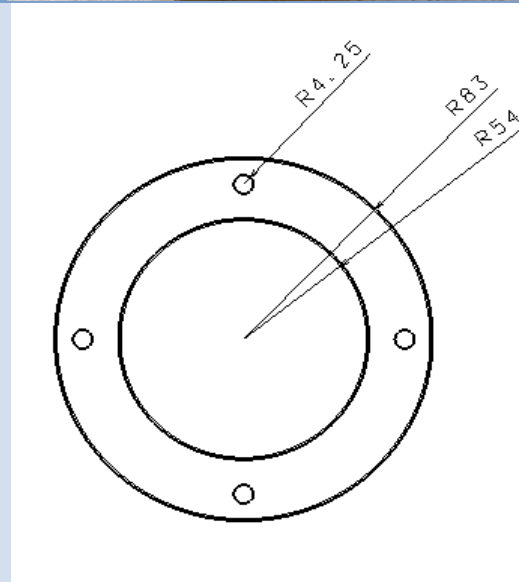
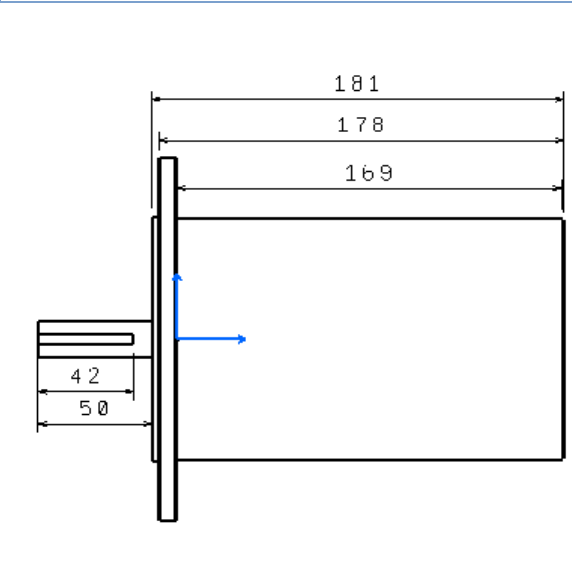
Табела 9: 2D и 3D приказ капе и приказ њених карактеристика

	
	
Назив производа	Капа
Врста материјала	Пластика
Површина материјала	0. 034m ²
Маса материјала	0. 014kg
Густина материјала	849kg/m ³
Боја материјала	Црвена
Цена	250 динара

Табела 10: 2D и 3D приказ шрафа и приказ његових карактеристика

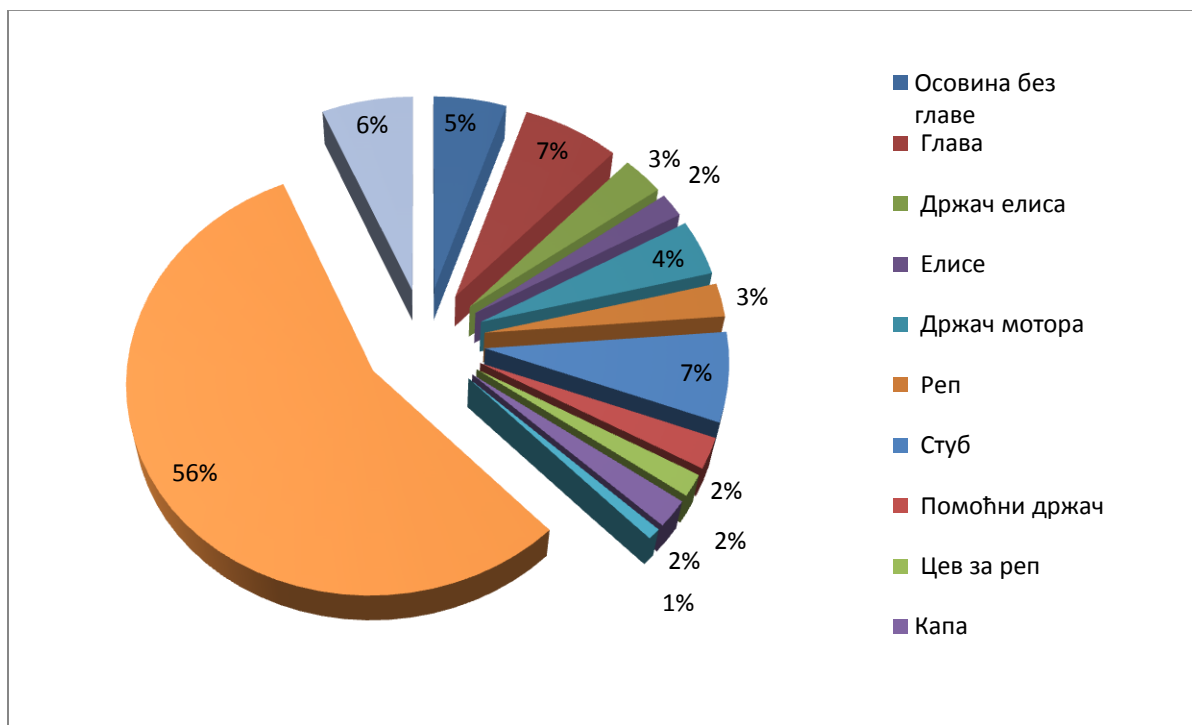
	
	
Назив производа	Шрафови
Врста материјала	Челик
Површина материјала	0. 001m ²
Маса материјала	0. 011kg
Густина материјала	7860kg/m ³
Боја материјала	Сива
Цена	50 динара

Табела 11: 2D и 3D приказ електромотора и приказ његових карактеристика

	
	
Назив производа	Генератор
Врста мотора	DC MOTOR (BROWNING assembled in Mexico)
Површина материјала	0. 11m ²
RPM	1725
Струја	A 3. 6
Напон	V 90
Цена	6 500 динара

Табела 12: *Врсте делова који су били потребни за изградњу ветрогенератора и њихове цене*

Назив производа	Цена
1. Осовина без главе	600 динара
2. Глава	800 динара
3. Држач елиса	350 динара
4. Елисе	215 динара
5. Држач мотора	500 динара
6. Реп	300 динара
7. Стуб	800 динара
8. Помоћни држач	280 динара
9. Цев за реп	200 динара
10. Капа	250 динара
11. Шрафови	100 динара
12. Генератор	6500 динара
13. Спреј за фарбање	750 динара
Укупно	11 600 динара



Слика 28: *Дијаграм новчаног удела материјала који је коришћен за израду ветрогенератора*

Укупна цена овог ветрогенератора, из сопствене израде, је око 11600 динара. Треба имати у виду да је ово студентски пројекат, да се у њему тежило ка јефтинијим деловима, од којих је већина половна. Када би се генератор на сличном принципу правио за полусеријску производњу или неку озбиљнију употребу, цена би била већа.

Пре свега због обавезне куповине новог електромотора веће снаге, који се крећу у распону од 150 до 400 €.

Конструкција би била довољно јака и квалитетна да носи било који генератор, али би сви делови, такође, морали да буду нови и да се са одређеним добављачем договори стално снабдевање материјалом. Све ово би знатно поскупело израду, а опрема која нам недостаје за неку озбиљнију производњу, такође би тражила одређену инвестицију.

На основу стеченог знања били би способни да направимо ветротурбину било које снаге и величине, а временом би се наше знање само усањавало., Што се тиче дизајна и он би могао да се мења, као и материјали који се користе. Све, наравно, у складу са жељом и потребом купаца.

Што се тиче дизајна наше ветротурбине ФИН Крагујевац 3 5.250, прилагођен је дизајну електромотора. Услед коришћења неког другог електромотора, променио би се и дизајн.

Што се тиче осталих делова, сви су прилагођени једни другима и покушали смо са деловима са којима располажемо да направимо најидеалнији могући склоп. Замена сваког дела тражи одређене инвестиције.

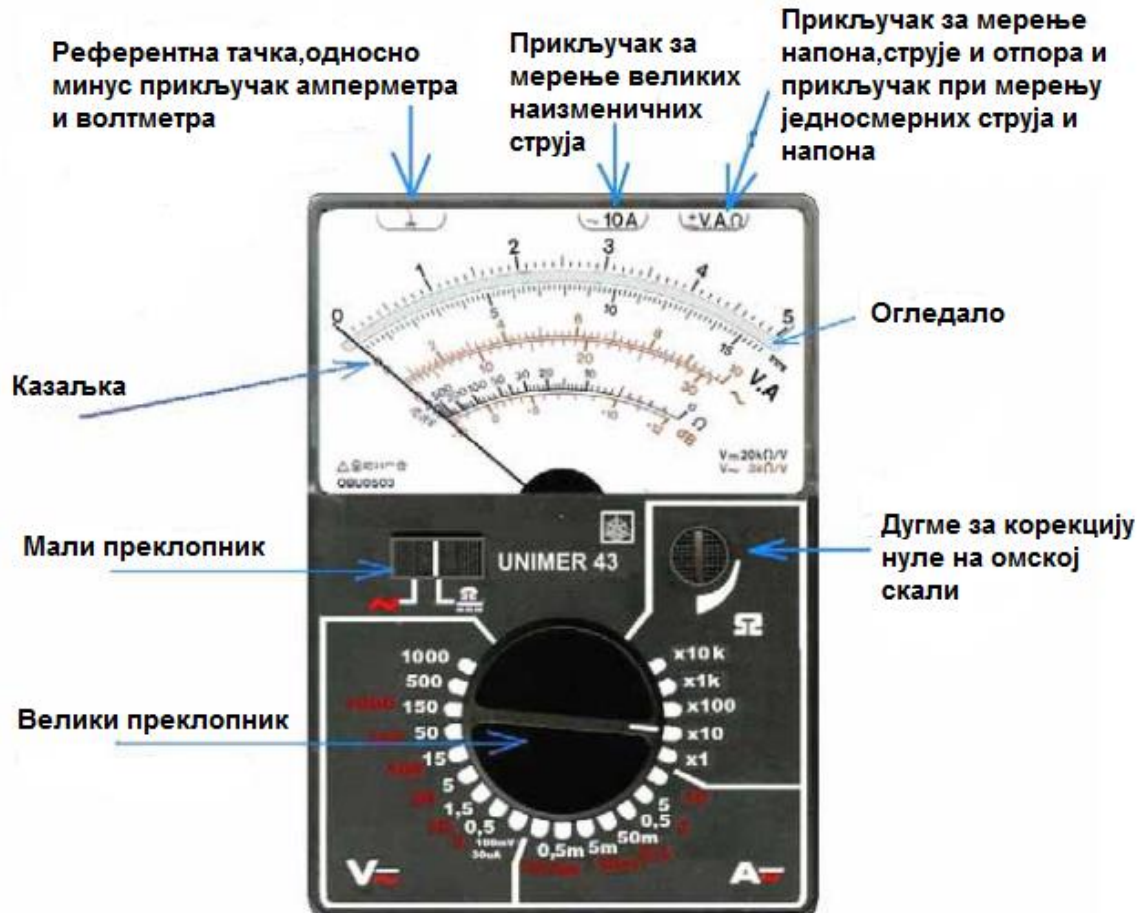
Што се тиче припреме оваквог модела за полусеријску производњу, цена коју би ми имали према добављачима би се кретала од 300 до 600 €, у зависности од компоненти, а цена би могла да буде и већа.

У складу са приказаним расходима, формирала би се и тржишна цена нашег производа.

7.Резултати мерења

У циљу добијања што веродостојнијих података о могућностима ветрогенератора који смо направили, приступили семо мерењима.

Мерења су вршена помоћу универзалног инструмента UNIMER 43 ИСКРА Крањ. Изглед овог инструмента приказан је на слици 29.



Слика 29: Инструмент „UNIMER 43” – ИСКРА Крањ²⁷

Како би се уверили да је присутан напон од ветрогенератора, на кабал који излази из ветрогенератора, чији су полови означени са „+” и „-”, прикључили смо поменути инструмент и установили да је напон присутан. У зависности од јачине ветра долази до повећања напона. Након тога прикључили смо један мањи потрошач, тј. сијалицу од батеријске лампе од 3.5 V. Сијалица је била паралелно везана са инструментом.

²⁷ <http://nasport.pmf.ni.ac.rs/materijali/483/unimer1.pdf>



Слика 30: Тестирање рада сијалице

Интензитет њене светлости се повећавао порастом брзине ветра. Светљење сијалице приказано је на слици 30. Пошто се брзина ветра све више повећавала, расла је и вредност напона тако да смо одлучили да прикључимо потрошач који ради на већи напон. Паралелно инструменту и сијалици прикључили смо траку са LED диодама чији је напон 12 V. Након неколико минута трака са LED диодама је почела да светли пуним интензитетом. То је приказано на слици 31.



Слика 31: Тестирање рада траке са LED диодама

8. Прорачун енергетских параметара моделског ветрогенератора

У току овог прорачуна користили смо за израчунавање снаге ветра следећу формулу [1.1]:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot r^2 \cdot \pi, \quad [1.1]$$

где су:

P [W] - снага ветра

ρ [kg/m³] - густина ваздуха,

V [m/s]- брзина ветра,

r [m] – полупречник елиса.

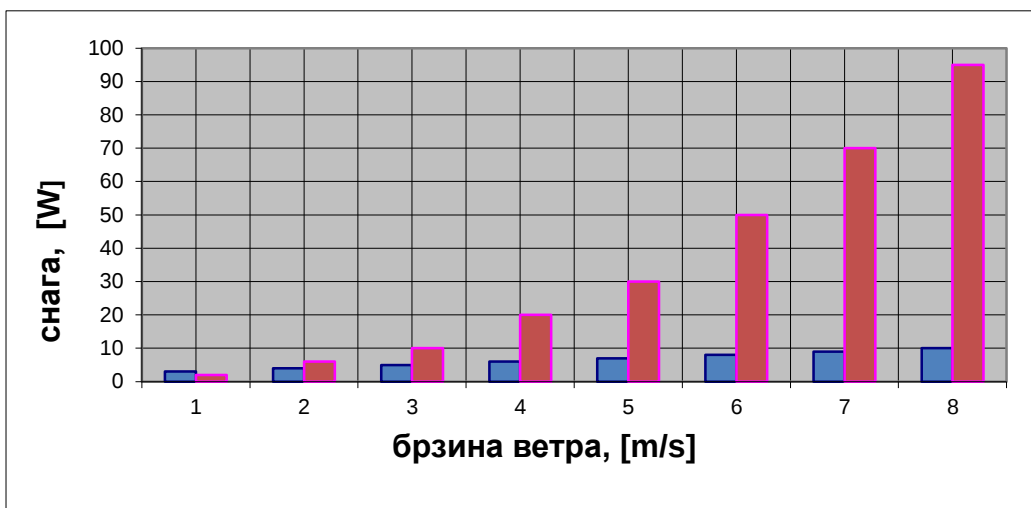
а резултати прорачуна приказани су у наредним табелама и на дијаграмима.

Табела 13: Одређивање снаге ветра

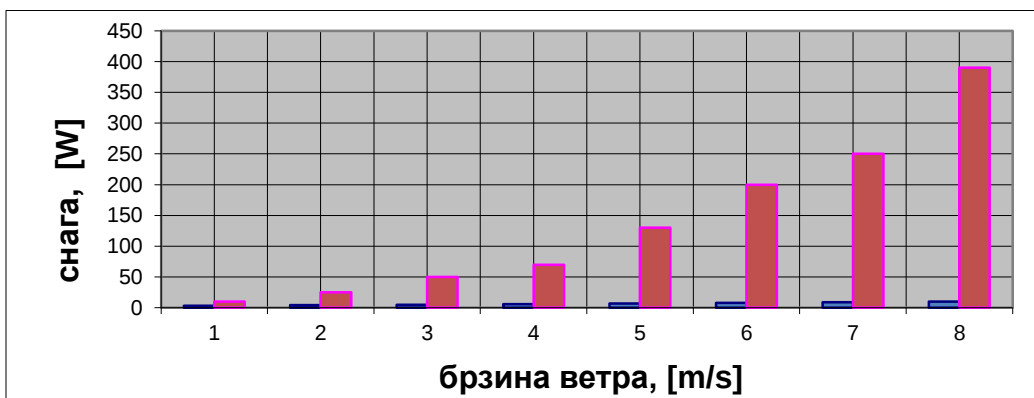
Полупречник елиса, [m]	1	
Брзина ветра, [m/s]	5	
Густина ваздуха, [kg/m ³]	1.23	
Снага ветра, [W]	241.39	
Betz лимит, [%]	59	35
Снага генератора, [W]	142.42	49.84
са 35% искористивости, [W]	49.8	

Табела 14: Очекивања добијене енергије у односу на пречник елиса и просечне брзине ветра месечно

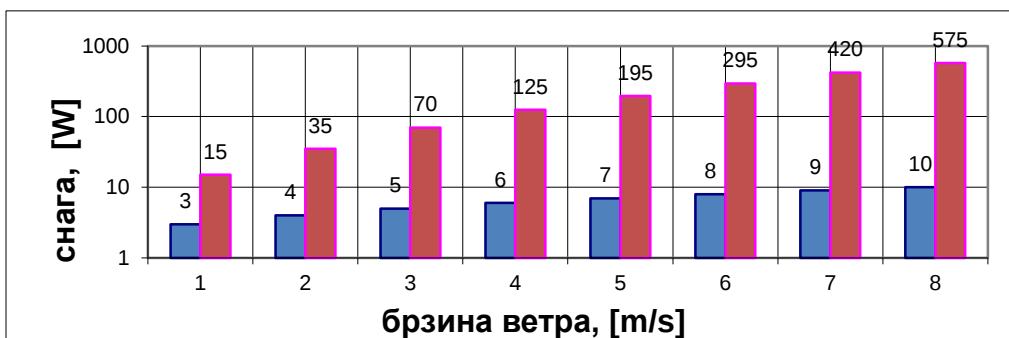
Апроксимативна очекивања добијене енергије у [KWh] у односу на пречник елисе и просечне брзине ветра месечно[m/s]				
Пречник елиса, [m]	очекивана енергија [kWh]			
	3m/s	4m/s	5m/s	6m/s
1	2	6	10	20
2	10	25	50	70
3	20	60	100	160
4	40	100	200	280
5	60	160	300	430



Слика 32: Снага коју генератор производи при различитим вредностима брзине ветра
уколико је пречник елиса 1m



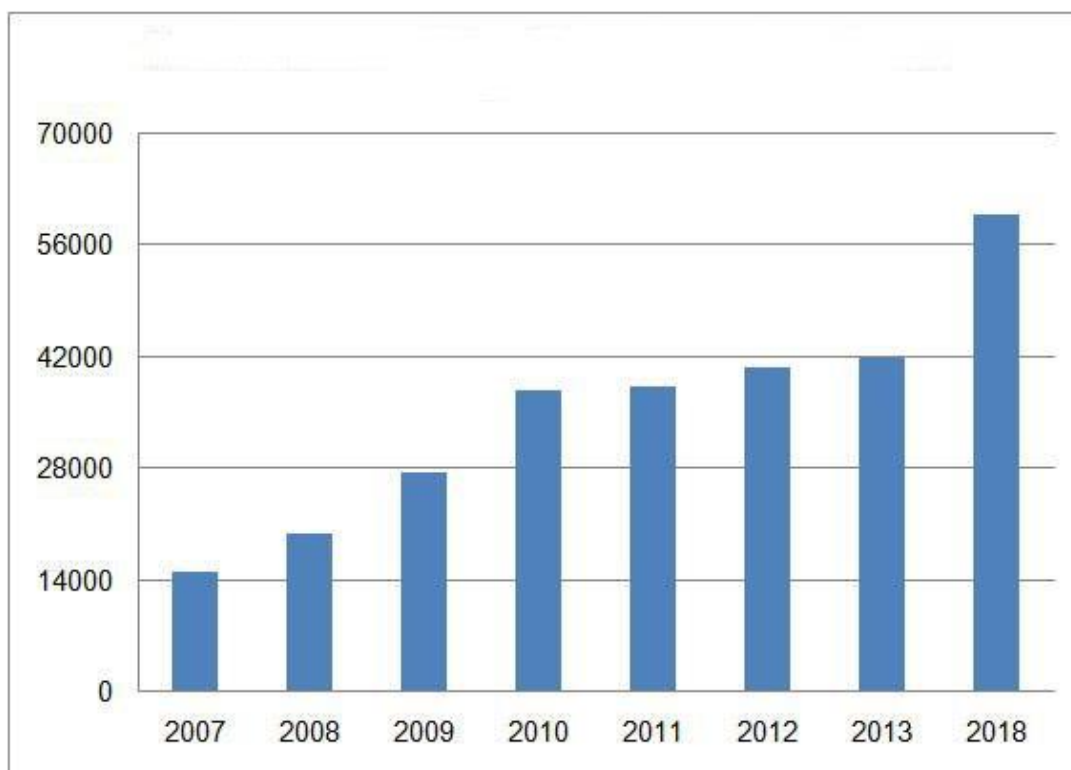
Слика 33: Снага коју генератор производи при различитим вредностима брзине ветра
уколико је пречник елиса 2m



Слика 34: Снага коју генератор производи при различитим вредностима брзине ветра
уколико је пречник елиса 2. 4m

9. Дефинитивна техно-економска анализа

Тржиште производње електричне енергије уз помоћ ветра је у великој експанзији још од почетка 1990 и тенденција раста се наставља и даље. Иако су први кораци у развоју енергије ветра начињени у САД-у, прави предводник развоја овог сектора јесте Европа.



Слика 35: Инсталисани капацитети ветрогенератора у свету, [MW]²⁸

Негде око 4500 MW нових ветро електрана инсталисано је у свету у 2000. години повећавајући укупно инсталисану снагу на 17 500MW. Крајем 2001. године инсталисана снага у свету износила је 24000MW, што је повећање од око 70% у односу на 2000. годину. Немачка је имала инсталисано 8750MW, што је око 50% инсталисане снаге у Европи (17310MW) и око 35% инсталисане снаге на Свету.

Ветро електране сада су у могућности да генеришу око 40 милијарди kWh електричне енергије годишње. Последњих година XX века и САД се полако враћа интензивном развоју ветро електрана. Крајем 2000. године у САД је било инсталисано 2550 MW, а крајем 2001. године 4500 MW.

²⁸ http://www.plastemart.com/upload/literature/lit_images/new-capacity-installation-mw-in-global-wind-energy-industry.jpg

9.1 Цена енергије ветра

Електричној енергији коју добијемо из ветрогенератора не можемо придодати неку јединствену вредност, а исто важи и за електричну енергију у термоелектранама.

Веома је битно да направимо разлику између цене електране (као што су ветротурбине и ветрофарме) и цену електричне енергије коју оне производе. Капиталне инвестиције су примарно у функцији величине инсталације. Цена енергије зависи од брзине ветра и институционалних фактора и и обухвата:

- капиталне трошкове,
- трошкове финансирања,
- операционе трошкове и трошкове одржавања,
- производне трошкове и
- спољне трошкове.

Прорачун цене генерисања електричне енергије из ветра прати процедуру која је разумно стандардна за целу енергетску индустрију.

9.2 Капитални трошкови

Капитални трошкови потичу од куповине и инсталирања ветро електране и њеног повезивања са мрежом. Капитални трошкови имају типичну вредност између 75% и 90% укупне цене коштања. Укупна инвестициона цена је негде око 1000 € по киловату инсталисане снаге.

Међутим, ово није стриктна вредност јер економско мерило има одлучујући утицај, тј. преласком са машине од 150 kW на 600 kW цена се готово утростручује пре него што се 4 пута увећа.

Разлог је да количина неопходне енергије за изградњу машине од 150 kW није много различита од оне потребне за 600 kW машину. Тренутно су најјекономичније машине у опсегу 500 - 750 kW и њихове цене су релативно ниске.

Када се одлучује о величини машине не узима се само у обзир и цена инсталисаног kW, нпр. мања турбина је профитабилнија у областима са слабијим ветром. Цена модерних турбина са пречником од 45 m је негде око 700 €/kW.²⁹

Морамо нагласити да се најјекономичнија величина мењала током година и да још увек расте. Често се користи термин "референтна цена" да се означи цена енергије прорачуната коришћењем стандардних процедура, са фиксним каматним стопама и мора се разликовати од цена релевантних за поједине државе.

²⁹ <http://www.xn--b1albofft5v.xn--90a3ac/download/naucni%20radovi/Mogucnosti%20primene%20i%20ekonomska%20opravdanost%20iz%20gradnje%20vetroelektrana.pdf>

Јасан је силазни тренд продукционих трошкова ве тротурб тротурб тротурбина, и предвиђа се његов даљи пад услед побољшања градивног материјала и оптимизације генератора и мењача.

Инсталациони трошкови варирају како варирају трошкови прилаза (путева) и трошкови темеља у зависности од типа земљишта. Други променљиви фактори су раздаљина од пута, цена доласка великог мобилног крана, растојање до вода способног да прими максималну снагу од турбине.

Такође економија величине има утицаја пошто је лакше изградити читаву фарму, него само једну ветрењачу. У овим трошковима највећи део одлази на саму турбину (ротор, генератор, преносни механизам).

9.3 Балансни трошкови

Балансни трошкови су приказани у табели 15 и дати су у % од цене ветрогенератора. Трошкови се смањују за 25% преласком са машине од 300 kW на машину од 1 MW.

Табела 15: Анализа баланских трошкова [29]

Инвестиције	%
Темељ	5 - 11
Електричне везе	5 - 11
Земљиште	0 - 5.7
Трошкови планирања	1.5 - 3
Дозволе	3 - 8
Инфраструктура	2 - 4
Менаџмент	3 - 6
Разни трошкови	2 - 4
Повезивање са мрежом	7.5 - 15
Укупно	15 - 40

9.4 Трошкови финансирања

Трошкови финансирања представљају цену враћања инвеститорима и банкарских зајмова и одликује се јаким разликом од земље до земље. Генерално можемо рећи да су трошкови финансирања у паду како расте поверење у ову технологију.

Економичност ветро електрана повезаних у мрежу зависи од финансијске перспективе (колико брзо и са којом каматом желе инвеститори повраћај средстава).

Даља регулаторна политика као што су примери инвестиционих субвенција доприносе смањењу потреба за трошкове инвестирања и доносе поузданост у инвестирање у енергију ветра. Директна подршка приватним инвестицијама је у функцији стварања тржишта и услед тога успостављање нове индустрије. Најчешћи модели за стимулацију тржишта укључују:

- јавне фондове за демонстрационе пројекте,
- директну подршку инвестиционом трошку (% од укупног трошка или одређени износ по инсталисаном kW),
- подршку кроз премије за електричну енергију из ветро електрана и
- финансијску иницијативу - специјалне зајмове, повољне каматне стопе итд.

Инсталациони трошкови имају тенденцију пораста са порастом брзине. Ово се рефлектује на чињеницу да инвеститори могу приуштити веће трошкове ако добијају већи принос. Повећање брзине са 8 m/s на 9 m/s повећаће излазну снагу за 10%. [29]

9.5 Трошкови рада и одржавања

Пошто за ветротурбине нема трошкова за гориво, када су изграђене једини трошкови иду на рад електране и одржавање. Модерне турбине су конструисане да раде неких 120000 часова током века трајања од 20 година. То је далеко више од аутомобилског мотора који је предвиђен да ради 4000 - 6000 часова.

Искуства показују да се трошкови одржавања врло ниски код нових турбина, али расту са старењем турбине. За новије машине процењена вредност трошкова одржавања је 1.5 - 2% годишње од основних инвестиционих трошкова.

Укупни трошкови се могу и исказати и преко произведеног kW и износе 1-2 с€/kW. Ово укључује закуп земљишта, одржавање и осигурање. Операционални трошкови варирају од земље до земље и између места за изградњу. Немачки подаци указују да се трошкови осигурања и гаранција преполове при преласку са 200kW на 500kW и крећу се од око 25 €/kW за 200kW машине и падају на 15€/kW за 500kW машине.

Тренутне цене енергије за одговарајуће ветро фарме средње величине цене од 850 €/kW су 9.6 с€/kW за брзину од 5 m/s и падају на 3.4 с€/kW за брзину од 10 m/s. (Све брзине ветра се односе на висину главчине). [29]

9.6 Производни трошкови

Приход од ветроелектрана је основа економске инвестиције. Продуктивност ветротурбина је јако порасла са развојем технологије, а и постајале су јефтиније и

ефикасније. Постоје два главна фактора која утичу на способност ветротурбине да производи енергију, а због тога и на могући приход.

Први фактор јесу саме компоненте турбине као што су ротор, преносни систем, величина генератора и могућност турбине да ради када је ветар расположив.

Други фактор је да природа ветра има одлучујућу улогу на излазну енергију. Што је већа продуктивност турбине то је цена генерисане електричне енергије нижа. Потпуно слободно тржиште електричне енергије не постоји, већ цена, поред цене производње, зависи од различитих ефеката који утичу на тржиште (порези, субвенције). [29]

9.7 Екстерни трошкови

Да би одредили праву цену генерисања електричне енергије морамо узети у обзир "екстерне трошкове". То су трошкови људског здравља и заштите средине који тренутно нису приказани у тржишној цени енергије. Они се, такође, означавају као друштвени трошкови.

Друштво подноси трошкове загађења у смислу лошијег здравља, виших трошкова здравствене заштите и уништавања околине. Европска истраживања установила су поредиве податке екстерних трошкова различитих технологија производње електричне енергије. Подаци су засновани на анализи неколико животних циклуса, укључујући аспекте као што су трошење ресурса, транспорт, производња, уништење и одлагање. Резултати ове анализе у Данским условима, показују да су екстерни трошкови ветротурбина знатно нижи од свих осталих технологија.

Табела 16: Поређење екстерних трошкова ветрогенератора и других технологија [29]

Технологија	Екстерни трошкови с€/kWh
Ветроелектрана на мору	0.67 - 3.65
Ветроелектрана на копну	0.59 - 2.55
Природни гас(ел.енергија)	7.11 - 80
Биогас електрана (ел.енергија)	4.36 - 16.12
Биогас електрана (грејање)	1.32 - 4.57

Могу се уочити следећа три фактора који изазивају стални пад цене ветро-енергетског система:

- тренд ка већим турбинама,
- пад цене изградње инфраструктуре и
- могућа редукција цене сировина.

9.8 Цена електричне енергије из ветроелектрана

Цена електричне енергије из ветроелектрана пуно зависи од брзине ветра, па због уопштене анализе требало би направити везу између брзине ветра и продуктивности машине. Подаци о производњи енергије за више модерних турбина показују да фактор капацитета је око 0.2 при 6 m/s, пење се на 0.45 при 9 m/s док је "принос" око 750 kWh/m² при 6 m/s и расте до 1600 kWh/m² при 9 m/s.

Локалне брзине ветрова широко варирају у целој Европи. Најбоља места за ветро фарме су брдовити предели Ирске, Британије и Грчке, делови јужне Француске, Шпанија и Канарска острва где су просечне брзине ветра од 8 m/s до 10 m/s.

У Данској брзине су око 8 m/s, док је у приобалном подручју Немачке до 7.5 m/s. У осталим деловима Европе ветрови су слабији и њихова брзина опада удаљавајући се од мора ка унутрашњости.

Ветар на отвореном мору има потенцијал да преда значајне количине енергије при цени која је нижа од остале обновљиве енергије. Брзине ветра су генерално веће на отвореном мору, мада и ветрови у брдовитим пределима Британије, Италије и Грчке имају велике брзине.

Широк опсег каматних стопа и других фактора мора бити уважен и зато разликујемо најниже, средње и највише цене енергије. Преглед се односи на машине од 600 – 750 kW. Претпоставимо да инсталациони трошкови расту са брзином преко 7 m/s за 8% по m/s.

Производња енергије је добијена уз предпоставку да су поузданост и други губици 10% од укупне енергије (стварни губици су чак и мањи, пошто је поузданост око 98% постигнута, али гарантовани ниво је око 95% и чини основу инвестиционих одлука). Цена енергије је око 9.6 с€/kWh при 5 m/s и опада до 3.4 с€/kWh при 10 m/s. [29]

9.9 Поређење цене ветро извора са конвенционим изворима

Цене електричне енергије из ветро извора су у сталном паду последњих 20 година и тренутно се могу економски поредити са ценом из конвенционалних извора (угаљ, гас, нафта...).

Цене изградње и одржавања конвенционалних (термо) извора електричне енергије, такође, варирају у зависности од места изградње и локалних прописа. Ако покушамо да уопштимо услове можемо добити поредбен однос цене електричне енергије за различите технологије добијања. Статус и цене различитих технологија дате су у табели 17. [29]

Табела 17: Статуси и цене различитих технологија [29]

Технологија	Капитални трошкови €/kW	Трошкови горива €/kWh	Трошкови одржавања €/kWh	Коначна цена €/kWh
Гас	450 - 700	1.7 - 2	0.4 - 0.6	3.1 - 4
Угаљ	1000 - 1300	1.8 - 2.3	0.7 - 1	3.7 - 5.5
Нуклеарна	1200 - 2000	0.7 - 0.9	0.8 - 1	3.3 - 8

9.10 Будуће тенденције цена

Постоји три важна фактора који изазивају стални пад цене ветро-енергетског система, и то:

- тренд ка већим турбинама,
- пад цене изградње инфраструктуре и
- могућа редукција цене сировина.

Подаци из Европске студије о обновљивој енергији показују да ветар може постати један од најјефтинијих обновљивих извора енергије, са ценом енергије у оквиру цене из термалних извора.

За ветротурбине процењено је да ће цена падати за 8 - 15% за свако удвостручење производње. Уз свако усавршавање технологије, бољег разумевања оптерећења ветра и особина материјала, цена ће падати још и више.

Најновија Европска студија о обновљивој енергији (TERES II) долази до закључка да ће будући развој и истраживања омогућити значајна технолошка унапређења и процењује да ће до 2020. капитални трошкови бити 50 - 75% од данашњег нивоа. Све ово ће омогућити да се подижу ветроелектране и на локацијама са нижим брзинама ветра.

Подаци из ове студије указују да би енергија ветра у будућности могла постати једна од најекономичнијих, пошто повећани захтеви за гасом и његове мале резерве већ имају утицај на његову цену. Угља има релативно доста али повећани захтеви из трећег света, нарочито из Индије и Кине, могу повећати његову цену.

На основу досадашњих искустава у градњи ветрогенератора дошло се до оријентационе вредности инвестиција од око 700 до 1000 € по инсталисаном kW. Ветрогенератори, а самим тим и фарме ветрењача, су знатно појефтинили у последњих десетак година и та тенденција ће се и даље наставити. На тај начин је и цена електричне енергије добијене из ветрогенератора драстично смањена.

На то је додатно утицало и смањење оперативних трошкова и раст ефикасности и поузданости. Обзиром да код коришћења енергије ветра, као и код многих других обновљивих извора енергије, нема трошкова горива, после

инвестиционе изградње једини трошкови су оперативни и трошкови одржавања. Инвестициони трошкови се крећу од 75 до 90% укупних трошкова.

Инвестициони трошкови су трошкови изградње ветрогенератора или фарме ветрењача, укључујући трошкове изградње приступних путева уколико је потребно и трошкове прикључивања на електроенергетски систем.

Обично су локације са повољним условима за градњу фарме ветрењача удаљене од друмских и енергетских магистрала и то повезивање утиче на повећање инвестиционих трошкова. [29]



Слика 36: *Израда великих елиса*³⁰

Табела 18: *Претпоставке при прорачуну цене електричне енергије произведене ветром, [€] [30]*

Параметар цена	Ниска	Просечна	висока
Инвестициони трошкови [€/kW] при ветру од 7m/s у висини ротора	700	850	1000
Реална каматна стопа, [%]	5	7.5	10
Период инвестиционе изградње, [год.]	0.5	0.5	0.5
Период амортизације, [год.]	20	20	20
Фиксни оперативни трошкови, [€/kW/год.]	12	18	24

Државна подршка производњи нуклеарне енергије и производњи угља широм Европе и Америке чине да се трошкови електричне енергије добијене из ових извора приказују мањим од реалних.

³⁰ http://www.centrala.org.rs/knjiga%20liber%20perpetuum/03Energija_vetra_Wind_Energy.pdf

Такође, енергија из ветрогенератора се обично производи ближе потрошачима чиме се смањују губици у преносу електричне енергије и овако добијена енергија има повећану конкурентност.

Приликом разматрања цене електричне енергије из ветрогенератора треба размотрити и утицај екстерних трошкова. Екстерне трошкове је теже квантификовати али су они врло реални и могу се поделити у следеће три категорије:

- скривени трошкови које сnose владе, укључујући субвенције индустрији за производњу електричне енергије и истраживачке и развојне трошкове, порези, ослобађања од пореза;
- трошкови настали услед емисије штетних гасова (не укључујући CO₂) који утичу на здравље и животну средину и
- трошкови глобалног загревања који се приписују емисији CO₂.

Опште прихваћено мишљење је да је цена електричне енергије добијене од ветра падала много брже од цена добијених из других извора, као и да ће се тај тренд у будућности и наставити. Фактори који изазивају перманентни пад цена ветрогенераторских система су:

- тренд изградње већих турбина,
- опадање инфраструктурних трошкова,
- повећање ефикасности ветрогенератора,
- смањење трошкова сировина од којих се израђују ветрогенератори. [30]

10. Закључци

Енергија ветра тренутно представља најзаступљенији вид коришћења обновљивих извора енергије у свету. Предности коришћења енергије ветра за претварање исте у електричну енергију су пре свега у неисцрпној количини енергије као и економској оправданости коришћењем исте. Недостатак и висока цена фосилних горива отвара широк простор за коришћење ветрогенератора тако да данас производња ветрогенератора бележи велики раст.

Све док постоји ветар, вода или сунце, имаћемо на располагању обновљиве изворе енергије. Поред тога што су обновљиви, ови извори су еколошки чисти, за разлику од нуклеарних електрана и термоелектрана. Зато мислим да, ако би бисмо те изворе користили више, или ако бисмо у садашњу производњу енергије укључили више обновљивих, алтернативних извора, то би продужило коришћење горива као што су угаљ и нафта, чије су залихе ипак ограничене.

У раду смо могли видети детаљан поступак израде прототипа ветрогенератора, резултате добијене приликом његовог рада, типове ветрогенератора, начине управљања као и техно-економску анализу целокупних трошкова за сам пројекат. Оно што се може приметити је да је највећа инвестиција била набавка генератора који чини 43.96% укупних трошкова.

Генератор за који смо се ми определили је *Emerson DC motor*, намењен америчком тржишту, а склопљен у Мексику. Радне карактеристике електромотора су : број обртаја 1725 o/min, напон 90V и струја од 3.8 A. Јасно је да овај избор није баш идеалан, али са економског погледа је најлогичнији.

Овај мастер рад нам омогућава да проширимо своја знања о ветрогенераторима, њиховој функцији, елементима и врстама.

Ветрогенератори мале снаге представљају једну грану која ће се јако развијати у будућности и која ће бити саставни део многих домаћих. Као инжењери смо имали прилику да стекнемо увид у то и стечено знање ћемо настојати да унапредимо и проширимо у истом правцу, ради побољшања стања у нашем друштву.

11. Литература

- [1] <http://www.scribd.com/doc/113632456/Energija-Vetra> (приступљено сајту 03.05.2014)
- [2] http://www.izvorienergije.com/obnovljivi_izvori_energije.html (приступљено сајту 05.05.2014)
- [3] http://electronic-protect.me/wp-content/uploads/2012/08/Fotolia_19764450_S-640x428.jpg (приступљено сајту 15.05.2014)
- [4] <http://www.euractiv.rs/odrzivi-razvoj/2272-obnovljivi-izvori-energije-energetska-budunost> (приступљено сајту 30.05.2014)
- [5] <http://instituteforenergyresearch.org/wp-content/uploads/2012/12/EIA-annual-outlook-2011-2040.png> (приступљено сајту 30.05.2014)
- [6] Енергија ветра, Иан Грахам, Словенија, 2000
- [7] http://www.scribub.com/files/limba/engleza/physics/9_poze/image004.gif (приступљено сајту 01.06.2014)
- [8] <http://www.energy-wsp.org/media/upload/technvetrogeneratori.pdf> (приступљено сајту 02.05.2014)
- [9] Wind turbines, Erich Hau, 2005
- [10] http://www.coriolis-energy.com/assets/images/lev2_wtgComponents1.gif (приступљено сајту 02.05.2014)
- [11] <http://www.serbianaart.com/en/images/12391.jpg> (приступљено сајту 18.06.2014)
- [12] <http://telosnet.com/wind/early.html> (приступљено сајту 18.06.2014)
- [13] http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/00/Paros_windmill.jpg/200px-Paros_windmill.jpg (приступљено сајту 18.06.2014)
- [14] http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b4/Guantanamo_Bay_windmills.jpg/300px-Guantanamo_Bay_windmills.jpg (приступљено сајту 20.06.2014)
- [15] <http://mragheb.com/NPRE%20475%20Wind%20Power%20Systems/Vertical%20Axis%20Wind%20Turbines.pdf> (приступљено сајту 20.06.2014)
- [16] <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1b/Anemometer.jpg/200px-Anemometer.jpg> (приступљено сајту 25.06.2014)
- [17] http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d4/Darrieus_rotor001.jpg (приступљено сајту 01.07.2014)
- [18] <http://icrepq.com/pdfs/ARNALT.306.pdf> (приступљено сајту 01.06.2014)

- [19]<http://vracaricic.com/resources/ENERGIJA%20VETRA%20-%20KORIST%20I%20PROBLEMI%20U%20EKSPLOATACIJI.pdf> (приступљено сајту 01.06.2014)
- [20]http://www.beaufortcourt.com/media/28342/res_wind_turbine.jpg (приступљено сајту 02.06.2014)
- [21] <http://energy.gov/eere/wind/inside-wind-turbine-0> (приступљено сајту 03.06.2014)
- [22]http://www.vibilia.rs/srpski/izvestaj/0402/03_best_130204.pdf (приступљено сајту 04.06.2014)
- [23][http://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80_\(%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0\)](http://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80_(%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0)) (приступљено сајту 04.06.2014)
- [24] http://www.eihp.hr/~ndizdar/CIGRE2003_02.pdf (приступљено сајту 05.06.2014)
- [25] <http://www.balkanenergy.com/files/b1s.pdf> (приступљено сајту 05.06.2014)
- [26] <http://sr.wikipedia.org/wiki/Invertori> (приступљено сајту 05.06.2014)
- [27]<http://nasport.pmf.ni.ac.rs/materijali/483/unimer1.Pdf> (приступљено сајту 07.07.2014)
- [28] http://www.plastemart.com/upload/literature/lit_images/new-capacity-installation-mw-in-global-wind-energy-industry.jpg (приступљено сајту 07.07.2014)
- [29] <http://www.xn--b1albofft5v.xn--90a3ac/download/naucni%20radovi/Mogucnosti%20primene%20i%20ekonomska%20opravdanost%20izgradnje%20vetroelektrana.pdf> (приступљено сајту 07.07.2014)
- [30]http://www.centrala.org.rs/knjiga%20liber%20perpetuum/03Energija_vetra_Wind_Energy.pdf (приступљено сајту 07.07.2014)
- [31] Стефан Војиновић, „Развој контејнерских ветрогенератора за потребе сеоског домаћинства у Србији и региону југоисточне Европе” - Истраживање енергетских потенцијала ветра у Србији и региону и развој лабораторијског прототипа малог ветрогенератора, мастер рад, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2014.
- [32] Стефан Пецић, „Развој контејнерских ветрогенератора за потребе сеоског домаћинства у Србији и региону југоисточне Европе” - Истраживање тржишта малих малих ветрогенератора и развој лабораторијског прототипа малог ветрогенератора, мастер рад, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2014.
- [33] Приручник за постављање малих ветрогенератора, Слободан Плазинић, Београд, 2011.