

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Стефан М. Пецић

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

**-Истраживање тржишта малих
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: 360/2012

Стефан М. Пецић

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

**-Истраживање тржишта малих 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 енергија.

Задатак студентског тима је да истражи енергетски потенцијал ветра у Србији и југоисточној Европи, да истражи тржиште малих ветрогенератора, да објасни технологију рада ветрогенератора, да конципира и истражи могућа варијантна техничка решење ветрогенератора и изабере оптималну варијанту, да направи прототип ветрогенератора, уради 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 Стефану Пецићу да уради завршни сегмент студије који носи назив „Истраживање тржишта малих ветрогенератора и развој лабораторијског прототипа малог ветрогенератора”, који треба да:

- уведе читаоце у материју,
- истражи тржиште малих ветрогенератора и заједно са осталим члановима тима развије лабораториски прототип малог ветрогенератора,
- изнесе податке добијених резултата током мерења,
- 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.

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 Stefan Pecic to do the final segment of the study entitled, "Market research on small wind turbines and development of a small wind turbine laboratory prototype", 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	6
1.1 Климатски ресурси	7
1.2 Одрживи развој	9
1.3 Енергија ветра	10
1.4 Историјски развој ветрогенератора	11
2. Истраживање тржишта малих ветрогенератора	13
3. Истраживање заинтересованости људи за коришћење и набавку контејнерских ветрогенератора малих снага	17
4. Технологија рада малих ветрогенератора	21
5. Идејно конципирање варијантних решења ветрогенератора	26
5.1 Ветрогенератор ФИН Крагујевац 3 5.250	29
5.2 Позиционирање ветрогенератора	30
6. Техно-економска анализа	33
7. Израда лабораторијског прототипа ветрогенератора мале снаге	46
8. Резултати мерења	54
9. Прорачун енергетских параметара моделског ветрогенератора	56
10. Закључци	58
11. Литература	59

1. Увод

Глобални развој друштва у будућности ће у огромној мери зависити од стања у области енергетике. Проблеми са којима се суочавају, у мањој или већој мери, све земље света су повезани са обезбеђивањем енергије и очувањем животне средине. Пораст људске популације на Земљи узрокује стално повећање потребе за енергијом, самим тим и повећаног коришћења енергије добијене из фосилних горива као и негативним еколошким ефектима које они проузрокују.

У данашњем свету организација живота се у првом реду ослања на коришћење фосилних горива, што доводи до незаустављивог повећања потрошње тих горива, уз истовремену деградацију животне средине и интензивирање зависности и сиромаштва оних који ту врсту горива немају у свом поседу.

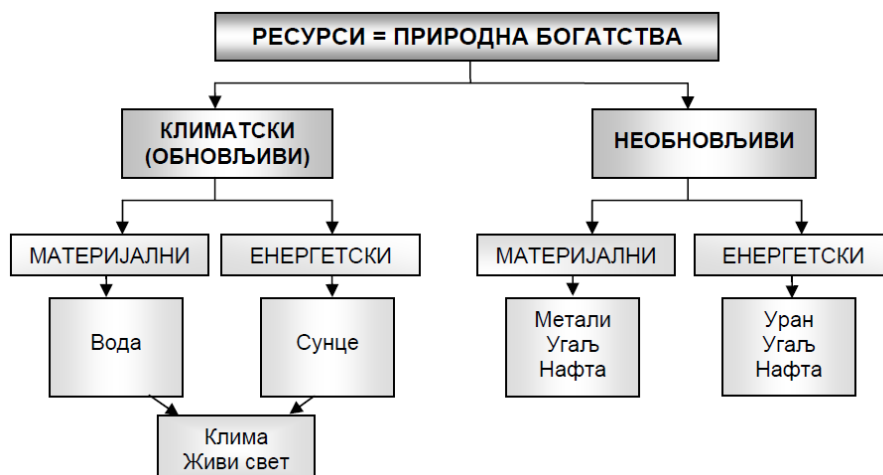
Да би се сачувала еколошка равнотежа, развој не сме имати карактеристике нестабилних, тј. неодрживих процеса који се завршавају сломом.

Технологија која омогућава претварање енергије ветра у електричну енергију се изузетно брзо развија. Нове врсте ефикаснијих ветрогенератора се производе сваке године њихова цена из године у годину пада што доводи до пада цене електричне енергије произведене из енергије ветра, што је чини конкурентном енергији добијеној у термоелектранама или хидроелектранама.

Рад ветрогенератора не проузрокује превише негативних ефеката на животну средину у поређењу са негативним ефектима које продуктују термоелектране, хидроелектране или нуклеарне електране.

Иако ветрови не дувају константно и једнаком брзином, далеко су од занемарљивог извора енергије, а о еколошким предностима није потребно посебно дискутовати. Гледано на дуге стазе, прелазак на обновљиве енергетске ресурсе је питање опстанка живота на планети. Гледано краткорочније довољно је јасна и изјава коју је дала Lojola de Palacio, потпредседнице Европске комисије, чији је ресор енергија у ком значајну позицију имају обновљиви извори енергије. На завршној седници Европске конференције о обновљивој енергији "Intelligent Policy Options" у Берлину 21 јануара 2004. она је изјавила **"За земље у развоју приступ обновљивим изворима енергије представља излаз из сиромаштва и изолације"**. Ресурси су извори средстава неопходних за опстанак и развој човечанства, па се често називају и природна богатства (Слика 1). У нашем свету су присутни материјални и енергетски ресурси. Ова подела је релативна, јер се

нпр. нафта и дрво могу користити и као енергенти и као сировине за производњу употребних предмета.¹



Слика 1: Обновљиви и необновљиви ресурси²

Човек је у својој историји користио различита материјална богатства природе, почевши од дрвета, камена, бакра и гвожђадо племенитих и ретких метала. Ови ресурси су омогућили стварање материјално богате цивилизације. Међутим материјални напредак, почев од бакра и даље, није био могућ без ватре, односно допунског извора енергије, који човеку повећава продуктивност или му ствара повољнији амбијент за живот. За ватру је човек користио дрво, тако да се дрво јавља и као материјални и као енергетски ресурс. За разлику од широког дијапазона материјалних ресурса, као енергетски ресурс хиљадама година је било присутно углавном дрво, а у мањој мери ветар, хидроенергија и сунчева енергија. Тек у последња два века појавила су се фосилна горива и нуклеарна енергија.

1.1 Климатски ресурси

Енергетски ресурси: сунчева енергија, биомаса, ветар, хидроенергија (укључујући и изворе) представљају различите комбинације енергије Сунца и присуства воде у атмосфери. Та комбинација представља суштину климе, па се ови ресурси сматрају климатским ресурсима. Живот на планети Земљи настао је и опстаје милионима година захваљујући управо тим ресурсима, или општепознатим речником речено - повољној клими.

¹<http://www.mycity.rs/Nove-tehnologije/Vetar-alternativni-izvor-elektricne-energije.html>

²http://vetar-sunce.imsi.rs/tekstovi/Studija_EE704-1052A/P1_Uvod.pdf

Клима је главни енергетски ресурс на површини планете Земље. Она се као енергетски ресурс јавља у више облика (Слика2).



Слика 2: Шема климатског система [2]

Први облик је сунчева енергија, тј. електромагнетно зрачење Сунца, које доспева на Земљину површину. Укупан спектар Сунчевог електромагнетног зрачења покрива екстремно широк опсег таласних дужина: од 0.1nm до таласних дужина реда величине 1km. Највише енергије имају таласне дужине од 360 до 700nm. То су таласне дужине које човек препознаје као светлост, а истовремено су и главни доносилац енергије на планети и покретач климатског система у слоју атмосфере од тла до висине од десетак километара. Други облик, који је уједно и тема нашег рада, је енергија ветра. Овде је у питању кинетичка енергија кретања ваздуха настала трансформацијом дела сунчеве енергије.

Трећи облик је хидроенергија. Користи се као кинетичка енергија воде, која се у силазној путањи кружења воде у атмосфери слива са планина.

Четврти облик је енергија биомасе. Биомаса се ствара у одређеним климатским условима који настају у повољним комбинацијама енергетског и водног биланса. Овде треба имати увиду и чињеницу да биомаса није само енергетски него и једини обновљиви материјални ресурс.

Само први од четири облика климатских ресурса јавља се у нетрансформисаном облику и вода на њега има утицај једино преко рефлексије и

апсорпције. У осталим облицима вода је значајан чинилац. Она је значајна као материјална компонента у биомаси, а путем латентне топлоте фазних стања (лед, течна вода, пара) учествује и у енергетском билансу.

1.2 Одрживи развој

Појам одрживог развоја настао је као израз озбиљне забринутости због многих знакова да актуелни тренд потрошње енергије и других ресурса, који расте по експоненцијалној кривојне може да траје у недоглед.

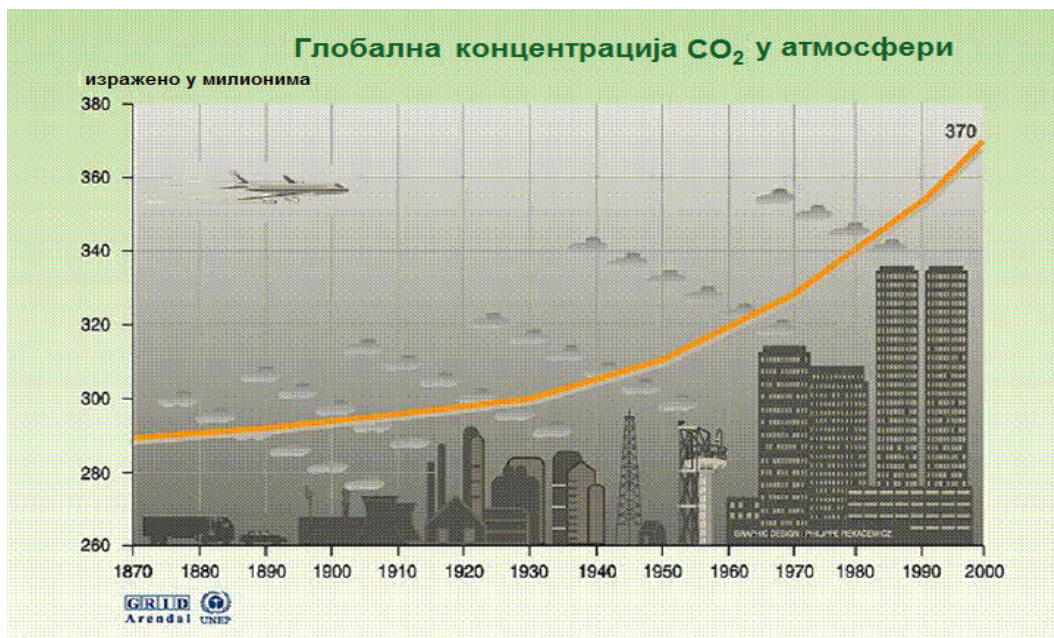
Експоненцијална функција која се јављала у приказивању развоја човечанства и прираштаја становништва указивала је на неодрживост таквог пута. Неодрживост или нестабилност постоји свуда где се наруши нека често врло суптилна равнотежа. Сведоци смо у овом времену нарушавања равнотеже озона и угљендиоксида у атмосфери, што озбиљно угрожава живот на Планети.

Већ у седмој деценији двадесетог века метеоролози су констатовали да количина угљендиоксида (Слика3) у атмосфери нагло расте. Већини то није изгледало посебно узбудљиво, јер угљендиоксида у атмосфери има само 0.03%, односно свега три од десет хиљада молекула. Међутим, то је најважнији Земљин покривач који је спасава од смрзавања, али његово удвостручавање ће довести до прегревања атмосфере и топлотне катастрофе.

Симптом катастрофе су већ у нагом расту количине угљендиоксида у атмосфери јер су његов раст у атмосфери показивала мерења која су се у почетку успостављала. Метеоролози су већ тада знали каква је веза угљендиоксида и температуре у атмосфери, па су врло брзо настали и први модели прогнозе температуре у приземном слоју атмосфере, који су давали тренд пораста температуре по кривој катастрофе (UNEP, 2002a).[2]

Светска потрошња енергије данас износи око 10^{14} kWh годишње. То одговара количини енергије коју даје око 9000 Мт нафте односно 9000 Мто^е³. Од тога око 1000 Мто^е отпада на „чиста“ горива, па је актуелна потрошња фосилних горива око 8000 Мт (ИЕА, 2001).

³ 1 Мто^е = $1,17 \cdot 10^{10}$ kWh <http://www.unitjuggler.com/convert-energy-from-kWh-to-toe.html>



Слика 3: Пораст концентрације угљендиоксида у току индустријске ере⁴

Сагоревањем фосилних горива долази до емисије великих количина CO_2 у атмосферу. Производња CO_2 по тони горива креће се од 2,33t за угаљ до 3,2t за бензин. Оквирна процена је да тона горива производи 3 тоне CO_2 (DWIA, 2003a).

У светским размерама потрошња од 8000Mt фосилних горива даје продукцију од око 24000Mt CO_2 .

Главни циљ одрживог развоја је очување еколошке равнотеже тамо где она постоји, односно њено поновно успостављање на подручјима где је већ поремећена. За рад на успостављању еколошке равнотеже потребно је уклањање узрочника поремећаја равнотеже, односно што бржи прелазак са необновљивих на климатске ресурсе.

1.3 Енергија ветра

Енергија ветра представља вид соларне енергије. Око 2% енергије која долази од Сунца претвара се у енергију ветра. Настаје као директна последица комбинације два природна феномена:

- циркулације загрејаног ваздуха и
- Земљине ротације.

⁴[http://www.df.uns.ac.rs/files/200/snezana_nemes_-_diplomski_rad_\(d-481\).pdf](http://www.df.uns.ac.rs/files/200/snezana_nemes_-_diplomski_rad_(d-481).pdf)

Енергија ветра је обновљиви извор енергије, што значи да се природним путем стално обнавља и не може се исцрпети, а примарни енергент за производњу електричне енергије (ветар) је бесплатан за разлику од енергената за термоелектрану (угаљ, нафта, гас). Поред тога, овај начин производње електричне енергије најмање утиче на промене животне средине и не загађује је. Сада, а и у будућности, енергија ветра се показује као најозбиљнији обновљиви извор енергије при достигнутом развоју технологије. Основни разлози за то су:

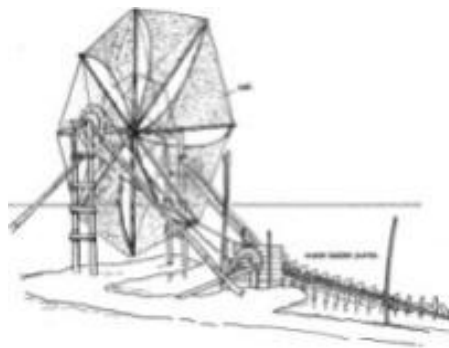
- неизмерна количина енергије ветра у природи;
- могућност претварања енергије ветра у електричну енергију помоћу ветрогенератора;
- пад цена ветрогенератора и пратеће опреме сразмерно све већој употреби енергије ветра;
- еколошки потпуно чист начин претварања енергије и
- мала заузетост земљишта.

1.4 Историјски развој ветрогенератора

Од старих Египћана, па до открића парне машине, ветар се користио за покретања једрењака. Чак и сада, једрилице крстаре морима и рекама користећи ветар. Прва забележена употреба ветрењача је из VII века у Систану (слика 4.) коришћене су да би се извадила вода из бунара и за млевење житарица. Модерна ветрењача са хоризонталним вратилом и вертикалним лопатицама, датира из око 1100. године из Европе у Јоркширу (Енглеска) (слика 5.).



Слика 4: Приказ ветрењаче из VII века⁵



Слика 5: Приказ ветрењаче из 1100 год⁶

⁵http://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi_slike/tekstovi/drevna%20vetrenjaca%20khaf%20afghanistan.jpg

⁶http://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi_slike/tekstovi/chinesewater-.jpg

Холанђани су развили у XIV веку прву ветрењачу код које се само врх торња окреће (Слика 6.). Ове ветрењаче су имале фиксну дрвену конструкцију која је у себи имала машине за млевење и покретни врх који су чинили кров, једра, вратило и кочнице. Први познати ветрогенератор који је производио електричну енергију (слика 7.), био је ветрогенератор са вертикалним вратилом. Њега је 1887. године пројектовао шкотски професор Џејмс Блајт у Глазгову. Грађевина је била висока 18 m, ротор је у пречнику имао 17 m.



Слика6: Приказ изXIVвека⁷



Слика7: Приказ ветрењаче из 1877 год⁸

Први покушај да се помоћу ветра створи електрична енергија у већем обиму приписује се Чарлсу Брашу. Имао је исте карактеристике као и Блајтова, с том разликом што је имао хоризонтално вратло и вишеструке лопатике (слика 8). Прва високо енергетска турбина на ветар развијена је у Русији 1931. године. Имала је генератор од 100kW и радила је скоро две године. Ротор ове ветротурбине радио је само неколико стотина сати пре него што је пукао (слика 9).



Слика8: Приказ са хоризонталним вратилом [8]



Слика 9: Ветрењаче из 1931год. [8]

⁷http://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi_slike/tekstovi/drevna%20vetrenjaca%20khaf%20afghanistan.jpg

⁸WindTurbines ,ErichHau ,2005

2. Истраживање тржишта малих ветрогенератора

Индустрија малих турбина, је мала компонента много већег система енергетског тржишта ветра, али темпо којим тржиште расте значи да ће бити вредна око 0,48% тржишта до 2020 год. тврде стручњаци⁹. Извештаји везани за мале ветротурбине (мање од 100 kW), показују да је будућност малих ветро генератора загарантована. Стратешка анализа тржишта, укључујући величину, сегментацију, производњу, тражњу, као и историјски и садашњи развој, прогнозу и информације до 2020год. говори да је све већа заинтересованост људи за уградњу генератора малих снага на својим кућама, сеоским домаћинствима, фармама и у производним капацитетима. Предвиђања су да су инсталирани капацитети порасли од 105,9 MW (2006.) до 275,8 MW у (2010.) и очекује се да достигне 3.726,5 MW до 2020. год. Иако мала снага ветра представља само 0,14% тржишта у 2010 год. очекује се повећање на 0,48% до 2020год. услед државних подстицајних мера.

На просторима наше државе и региона, не постоји озбиљно тржиште ветрогенератора мале снаге. На нашим просторима људи често и не располажу са струјом рационално, што је последица представе из социјалистичког времена о електричној струји као јефтиној енергији, тако да и не размишљају претерано о алтернативним методама уштеде струје, али са порастом цена, мења се и њихова свест. Биће потребно још доста времена како би зелени облици енергије код нас у потпуности заживели. Ни сама држава није до скоро давала претерану важност овом виду енергије. Наравно, све мора да се мења, па тако и однос државе према енергији. Собзиром да за Европом каснимо више деценија, немамо више времена за одлагање.

Већ се дошло до тренутка када почиње да се шири идеја о зеленој енергији све више. Почињу и пројекти ветропаркова, а са њима под руку иду и пројекти ветрењача мале снаге, за индивидуално коришћење.

Код оваквог вида ветротурбина не постоји могућност повезивања на систем, па тако да турбина мора да ради на острвском режиму.

Ветрогенератори малих система доживљавају значајан раст и побољшање технологије. Ветрогенератори мале снаге су довољни за генерисање довољно снаге да задовољи делимичне захтеве кућа, фарми или малих бизниса. Системи малих ветрогенератора, припадају технологији за коришћење обновљивих извора који настављају да расту и стасавају. Комерцијални корисници, нарочито мала и

⁹<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2011/03/small-wind-market-update>

средња предузећа, треба да буду упознати са њиховим предностима, посебно из разлога што се на овај начин укључују нове фирме у пословање, али и због тога што се тако пословање шири на један нови ниво.

У распону од 400 W до 100 kW (или до 500 kW, у зависности како дефинишемо „мали“ ветрогенератор) системи се састоје од вертикалних или хоризонталних осних турбина, инсталисаних на или ван мреже.

Последњих година приметан је значајан технолошки напредак који је направљен у глобалним размерама развоја спектра малих ветрогенератора, што доводи до све већих и снажнијих турбина. Парадоксално, можда, многе од предности великих турбина су продрле до малих, ако се на овим растућим трошковима енергије додаје и низ економских подстицаја, за које се надамо да ће се применити као и у Европи, а намењених индустрији, за коришћење зелене енергије, како би смањили потрошњу фосилних горива. Због тога пројектовање малих ветрогенератора постаје све занимљивије за предузећа и власнике кућа.

Системи малих ветрогенератора сада су поузданији, тиши и сигурнији од оних произведених у последњих неколико деценија. И мада се већина произведене електричне енергије користи на лицу места, вишак енергије може да одлази у далековод чиме се јача електрична мрежа. То је добитна формула. Код нас то још увек није могуће, али најаве постоје.

Тренутно, око 250 компанија у 26 земаља производе, или планира да производи мале ветротурбине. Према најновијим подацима објављеним од стране Америчког удружења за енергију ветра (AWEA), од ових предузећа, 95 (или 36%) су са седиштем у САД-у. Важно је напоменути да највећи удео на светском тржишту држи мање од 10 америчких произвођача.

Ипак, ако постоји наведени тренд који је настао из глобалне економске кризе, онда се мора успоставити тренд коришћења зелене енергије и њене штедње. Број фирми које се баве производњом малих ветрогенератора знатно се увећава из године у годину, а спектар производа се стално шири. Водећи произвођачи сада нуде више од три или четири модела и фокусирају се на мање предузетнике који се баве производњом.

Штавише, произвођачи пријављени светским организацијама за ветроенергију (Табела 1) тврде да је интерес људи за мале ветрогенераторе порастао током економске рецесије. Потрошачи одлучују да одлажу куповину док финансирање не постане доступно и приступачно. Многи произвођачи стога тек очекују прави талас у продаји, али тек када светска финансијска ситуација постане стабилнија. [9]

Табела 1 . Познати произвођачи ветрогенератора¹⁰

Произвођачи ветротурбина	2005 (11471MW)	2006 (12042MW)	2007 (23590MW)	2008 (26180MW)	2009 (38863MW)	2010 (36864MW)
Vestas	27.9	27.4	23	17.8	12.5	14.8
Sinovel	Непознато	Непознато	3.4	4.5	9.2	11.1
GE Wind	17.7	15.3	16	16.7	12.4	9.6
Goldwind	1.2	2.9	4.2	3.6	7.2	9.5
Enercon	14.2	14.5	14	9.0	8.5	7.2
Suzlon	6.1	7.5	10.5	8.1	6.4	6.9
Dongfang	Непознато	Непознато	Непознато	3.4	6.5	6.7
Gamesa	12.9	15.5	15.4	10.8	6.7	6.6
Siemens	5.5	7.1	7.1	6.2	5.9	5.9
Nordex	2.6	3.3	3.4	3.4	Непознато	Непознато
Остали	11.9	6.5	3	16.5	24.7	21.7

AWEA¹¹ је објавила водич за државне и локалне власти у јавном интересу како и зашто да се обезбеде дозволе за мале ветрогенераторе. Водич који је написан 2008 год. истиче да највећи изазови за мале произвођаче обновљиве енергије нису технички, већ финансијски, политички и регулаторни. Он каже да су збуњујући, неконзистентни, или чак одсутни, закони дозволили да се људи обесхрабре и то баш они који унапред размишљају како би дали допринос локалној глобалној заједници.

Водич каже да је добра вест да се ови закони лако поправљају. Израда и процес издавања дозвола постаје приступачнији, и почињу да одговарају у најбољем интересу потрошача, животној средини и друштвеној заједници. Водич идентификује најбоље праксе за локалне самоуправе и успоставља равнотежу између интереса власника имовине и заједнице.

У Европи, Европска комисија (SWIS) финансира развој индустрије малих ветрогенератора са намером стимулисања раста. SWIS пружа техничке, тржишне и контакт информације као и одељак FAQ који је дизајниран да обавестиridoшлице тј. нове фирме о тренутном статусу и будућем правцу индустрије. SWIS, такође, настоји да утврди зашто индустрија малих ветротурбина споро достиже свој пуни потенцијал и труди се да смањи баријере у области знања и маркетинга а област му је још да предлаже мере за јачање индустрије.

Његови циљеви укључују детаљну анализу индустрије малих ветроелектрана, кроз исцрпљујућу ревизију постојећих европских произвођача. Пројекат ће обухватити анализу тржишта која покрива тржишта у

¹⁰http://issuu.com/iipp/docs/casopis_4-2011-9

¹¹American Wind Energy Association

Европи и шире. То ће формулисати препоруке за њихов развој и припремити корисничко упутство за идентификовање тржишних сегмената.

Кључни циљеви пројекта организације су да: обезбеде свеобухватне информације, да се покрију сви аспекти индустрије малих ветротурбина, да се информишу креатори политика, индустрија, стручњаци и шира јавност. Настоји се да енергија ветра промовише као тржиште које показује снажан раст и да информише јавност о реалности енергије ветра као зреле и корисне технологије и што је најважније, да се иницира редовно ажурирање интернет база као извора информација. Европа је јако богата ветром. Велика Британија има више од 40% европских ресурса. Ветар се само мора уз помоћ најновије генерације малих ветрогенератора оптимално искористити. BritishEco је само једна од бројних специјализованих фирми које тврде да када се инсталира на правој локацији, мала ветротурбина може дати највећи повраћај улагања од свих обновљивих енергетских технологија са периодом отплате од само три до пет година.

Уз низ малих ветрогенератора од 2 до 50 kW компанија каже да су њене инсталације идеалне за пољопривреднике, земљишна имања, голф терене и домаћинства са великим вртovima.

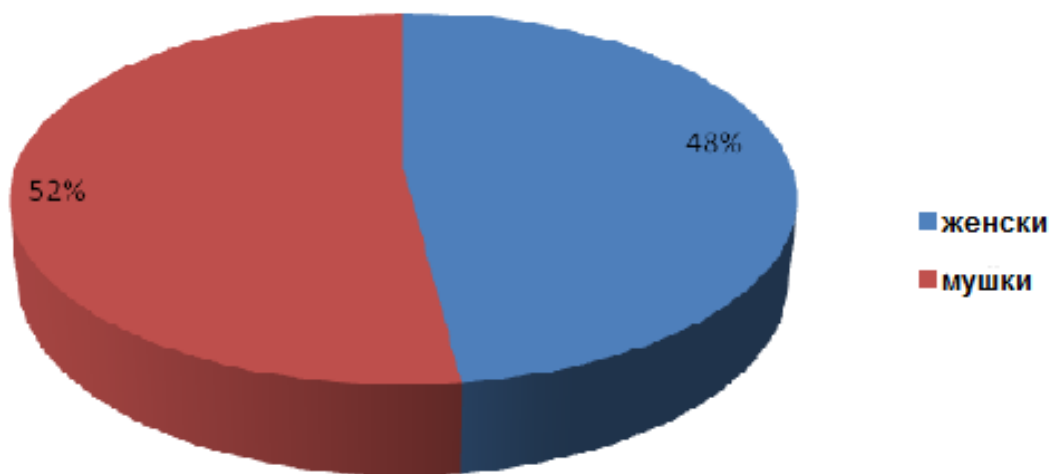
Тржиште малих ветрогенератора на Балкану и даље је далеко од европског и светског нивоа. Код нас чак и не постоје националне компаније које се баве производњом малих ветротурбина, већ се производња своди на самостално прављење, или на покушаје људи да преко интернета пласирају свој производ у полусеријску производњу, ако би се за то створили услови и потражња. Од стране државе се помоћ не може још увек очекивати, као што је то случај у Европи. Тарифе и бенефиције које поспешују производњу и тржиште морају прво да заживе како би заживела цела прича око малих ветротурбина али наравно пре мини издања морају прво да се одобре изградње великих ветропаркова, после кога долазе на сцену њихове мале копије.

Наравно све то треба да буде добро праћено маркентишки и да се формирају одговарајуће интернет базе података како би грађани имали у потпуности увид у тренутну ситуацију и планове. [10]

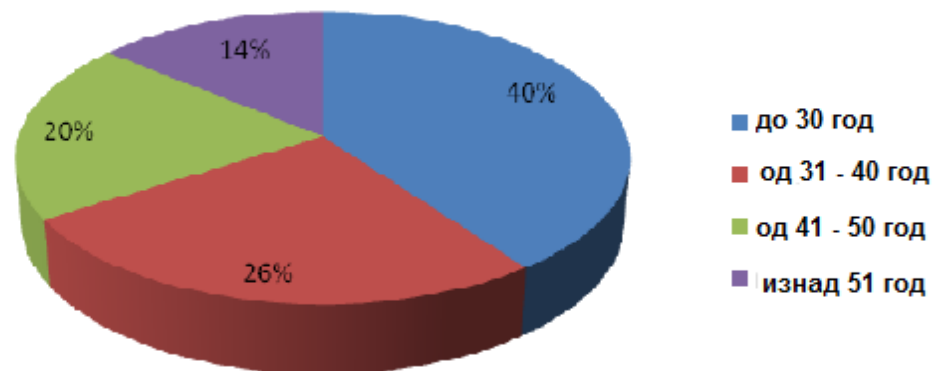
3.Истраживање заинтересованости људи за коришћење и набавку контејнерских ветрогенератора малих снага

Како би дошли до сазнања каква је свест људи, што се тиче обновљивих извора енергије и да ли су људи у нашем окружењу уопште упознати са модерним методама производње енергије из обновљивих извора, решили смо да урадимо анкету. У анкети су учествовали људи из нашег комшилука, познаници, рођаци и пријатељи. Трудили смо се да структура људи буде подједнака, што се тиче пола, старости и места становања. У анкети је учествовало 60 људи, из 30 домаћинстава.

Са обзиром на то да пре почетка експерименталног рада нису постављена никаква директна ограничења на пол испитаника, анкета је спроведена, тако да је проценат мушкараца и жена подједнак као што је евидентно на слици 10.



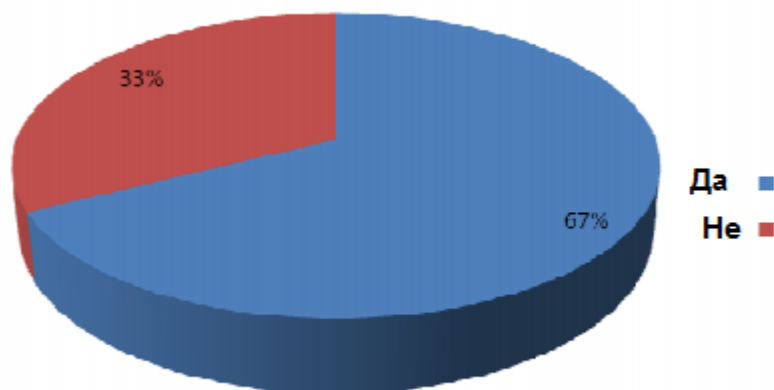
Слика 10: Пол анкетираних



Слика 11: Старост анкетираних

Са дијаграма се може видети да су анкетирани претежно млађи људи, јер је било 40% млађих од 30 година док је 14% старијих од 51 године.

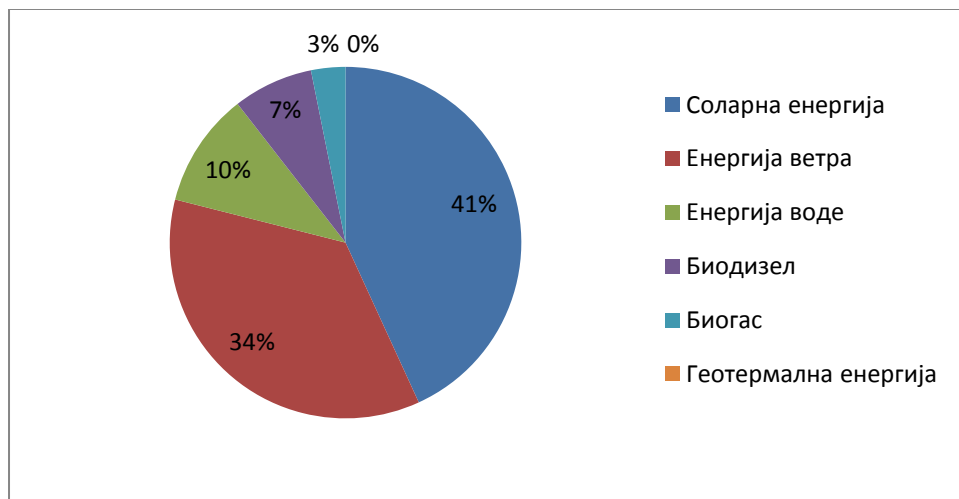
Свима су била постављена нека основна питања, како би их упознали са темом коју изучавамо?



Слика 12: Да ли сте упознати са појмом обновљиви извори енергије?

На слици 12 приказан је график са кога се види да је 2/3 испитаника упознато са појмом обновљиви извори енергије.

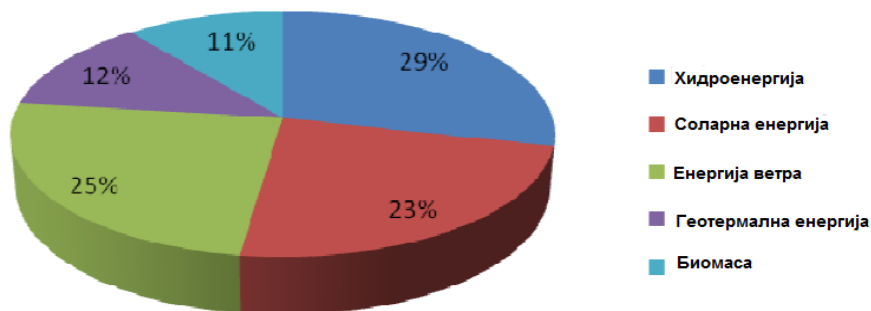
Након тога, уследила су нешто конкретнија питања, која би нам више значила у општем закључку. У који вид обновљивих извора енергије сте највише упућени и у који би најпре инвестирали?



Слика 13: Упознатост са обновљивим изворима енергије

На слици 13 се јасно види да је велика већина упозната са соларном енергијом и да им тај вид обновљивих ресурса делује најинтересантнији за улагање, али наравно под посебним околностима. Уколико би се држава озбиљније укључила у ту причу, са олакшицама и бенефицијама.

Следеће питање се односило на будућност. У погледу са данашњег аспекта, који од видова обновљивих извора енергија мислите да има највећи потенцијал за напредовање?



Слика 14: Најперспективнији видови извора енергије

На слици 14 је приказан дијаграм на коме се види да су испитани подељени по погледу перспективе обновљивих извора енергије. Али се сви слажу да њима свакако треба да се да примат у будућности и да без њих нећемо моћи даље да напредујемо.

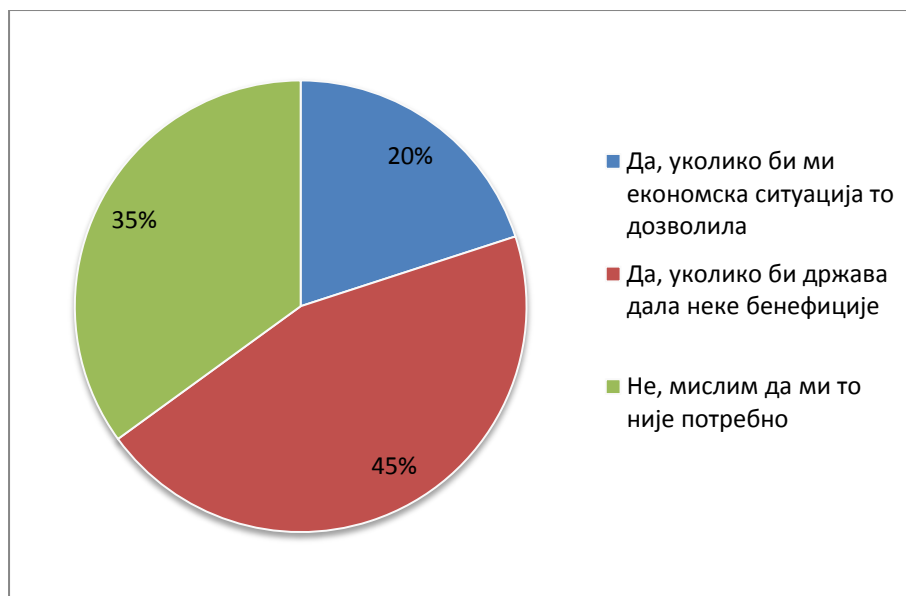
Следеће питање се односило на енергију добијену из ветра, да ли знају како се добија и да ли су упознати за шта се све она може користити?

Са графика на слици 15 се види да су људи упознати са радом малих ветротурбина и да знају за шта се све та енергија може користити, али има и знатан број испитаних који и нису баш заинтересовани за тај вид енергије.

На крају смо морали да поставимо конкретно питање због кога смо и покренули ову анкету. Да ли би сте били заинтересовани за коришћење малих ветротурбина у вашим домаћинствима?



Слика 15: Начин употребе енергије добијене из ветра



Слика 16: Заинтересованост испитаника за увођење малих ветрогенератора

4. Технологија рада малих ветрогенератора

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 ветротурбине. Основи елементи турбине су лопатице, од чијег облика зависе силе које се развијају на турбини а самим тим и степен корисности турбине. Пошто се брзина ветра често мења, а циљ је максимална искористивост турбине у широком опсегу брзина ветра, потребно је контролисати излазну снагу. Један од најчешће коришћених начина контроле код великих турбина је закретање лопатица (pitch control) као и сам облик лопатица (stall control). Наравно, кључна особина турбина посебно са аспекта економске оправданости употребе ветрењача, је количина енергије ветра која се може искористити.

Општа шема ветроелектране обухвата елементе који конвертују енергију кроз три облика: енергију ветра, механичку енергију и електричну енергију. Енергија ветра трансформише се у механичку енергију коришћењем ветротурбине која има једну или више елиса. Обзиром на висину буке и визуелни ефекат, ветрењача са три елисе представља најчешће решење. Спој између ветротурбине и генератора остварен је помоћу механичког преносника. Механички спој уобичајено у себи укључује мењачку кутију с преносником помоћу којег се нижа брзина обртаја ротора ветротурбине прилагођава вишој брзини обртаја ротора генератора. Ветроелектране новијег дизајна користе вишеполне нискобрзинске генераторе који су углавном синхрони с побудним намотајем или побудним перманентним магнетима како би се уклонила потреба за механичким преносником. У опреми неких ветротурбина налази се систем за управљање углом заокрета елиса помоћу којег се утиче на износ снаге претварања.¹²

Генератор трансформише механичку у електричну енергију, а може бити синхрони или асинхрони. Уколико се ради о синхроним генератору опрему је потребно проширити увођењем система побуде или перманентних магнета.

Ветроелектрана с променљивом брзином обртаја прикључује се на мрежу путем система заснованог на енергетској електроници. Електронски систем може бити пројектован на темељу врло различитих конфигурација. Јединица за компензацију снаге може у себи укључивати уређај за корекцију фактора снаге (активне или пасивне), затим филтере за више хармоничке чланове.

¹²<http://wind-energy-news.com/?p=151>

У стандардима су такође специјализовани заштитни уређаји који су неопходни за погон јединице. Управљачки систем ветроелектране може бити изведен с различитим нивоима сложености. Са годинама мењала се и њихова величина (генератори у највећим савременим ветрогенераторима су 100 пута већи од оних у 1980. год.), код верогенератора малих снага габарити нису ни могли да расту, али зато ефикасност генератора се временом повећавала. Остала побољшања укључују употребу различитих комбинација композитних материјала за производњу, посебно како би се обезбедило да се тежина делова сведе на минимум, као и модеран систем контроле за бољу компатибилност због прикључка на мрежу. Савремени дизајни су предвиђени за побољшање садашње технологије ветрогенератора на пољу поузданости, компатибилности мреже, максималне ефикасности, смањења буке, високе продуктивности за ниске брзине ветра, аеродинамичне перформансе, итд.

Иако је много времена и ресурса потрошено на побољшање ветротехнологије, од самог почеткањеног коришћења у комерцијалне сврхе раних 1980-их година основна архитектура и дизајн задржали су свој првобитни концепт. Технологије енергије ветра могу се груписати у следеће три групе:

- велике ветротурбине које су повезане на мрежу,
- мале „stand-alone“ турбине за пумпање воде, пуњење батерија, грејање,
- хибридни енергетски системи ветрогенератора у комбинација са другим изворима енергије.

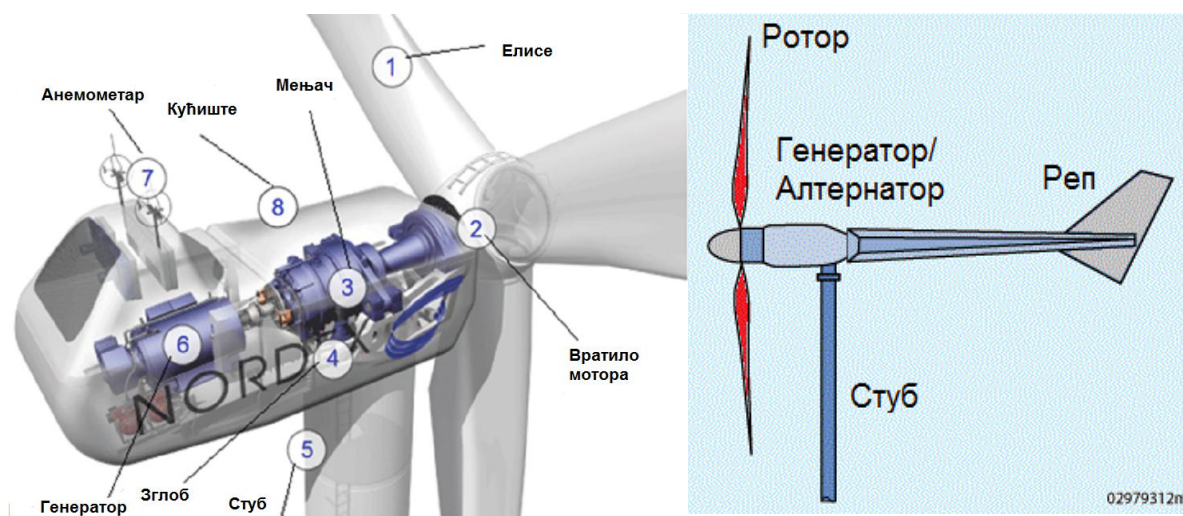
Генерално, турбине се могу класификовати према оси ротације главног вратила, на оне са хоризонталним осама вратила (ветротурбина HAWT) и са вертикалнимосма вратила (ветротурбина VAWT). Ветротурбине са хоризонталним осама доминирају у ветроелектранама са великим производним капацитетима. Код малих ветротурбина појављују се и решења са хоризонталним вратилом. HAWT турбине се обично класификују према оријентацији ротора у односу на правац ветра (уз ветар или низ ветар), контрола ротора, брзина ротора (фиксирана или променљива), број лопатица, њихово усклађивање на правац ветра (активно или пасивно скретање). HAWT могу да користе различит број лопатица, у зависности од сврхе ветротурбине.

Циклично оптерећење представља комбинацију погонског вратила са избалансиране три лопатице. Модерне комерцијалне турбине обично имају три лопатице ротора и изведене су тако да се увек ускладе са правцем ветра. Иако је дужина лопатица неколико метара, лопатице ротора су обично произведене из једног дела, користећи различите технике за производњу композитних материјала. За разлику од малих ветротурбина, једна од највећих светских турбина, Enercon E-126, усваја састављени дизајн лопатица. На моделу E-126 спољна оштрица

пропелера је везана заједно са кореном на унутрашњост елисе од челика. Пратећа ивица унутрашње елисе је посебана композитна структура.

Поред разлога за производњу већих елиса у распону између 3 и 7 мегавата, већи ротори ће омогућити већи принос енергије на локацијама са нижим брзинама ветра. Да би се достигла технологија неопходна за производњу и рад ветротурбина са веома дугим лопатицама (дужим од 100 m), неопходно је да се развију јачи и лакши материјали, да се смање оптерећења користећи напредне флексибилне материјале и да се користе иновативне технологије за мерење брзине ветра. Са овим иновацијама, верује се да ће турбина од 20MW бити изводљива у будућности.

У корак са напредовањем ветротурбина велике снаге, развијају се и ветротурбине мале снаге. Пошто су оне, донекле, ограничене у габаритном и производном смислу, њихов напредак се може испољити у степену корисности, лакшој изради, дизајну и модерним материјалима. Наравно сваки нов и савремени детаљ више се манифестује и примећује на великим турбинама, него на малим. Наравно разлог за то су габарити. [9]



Слика 17: Основни делови велике и мале ветротурбине¹³

Ротација сечива се преноси путем погонских вратила на генератор, стварајући електричну струју. На брзинама ветра између 10 и 15m/s, излазна снага ротора ветрогенератора обично достиже процењени капацитет.

Ако потребна брзина ветра буде прекорачена, снага ветротурбине мора да буде ограничена, да спречи ветрењачу од преоптерећења и да се обезбеди константан излаз. Постоје два основна средства за ограничавање снаге ротора

¹³http://www.coriolis-energy.com/assets/images/lev2_wtgComponents1.gif

(брзине окретања) у високим радним брзинама ветра: регулација загушивањем и регулација заокретањем.

Ротори који су регулисани загушивањем захтевају константну ротациону брзину, која се може постићи са четкицама које су повезане опругама и повећањем брзине ветра и брзина ротора опруге се растежу због чега трење на ротору постаје све јаче. Овакав облик регулације представља пасивну регулацију. Са друге стране регулација заокретањем лопатица турбине представља активан систем регулације.

Приликом веће брзине ветра од пројектоване лопатице се заокрећу, тако да нападни угао на њих буде мањи. Одржавајући тако број обртаја константним. Оваква регулација се обавља аутоматски преко анемометра који читавају брзину ветра и који су код већих и озбиљнијих ветрогенератора саставни део.

Модерне велике ветротурбине су, као што је поменуто, готово искључиво регулисане заокретањем крилца. Ветрогенератор садржи ротор везан за главно вратило погонског генератора, преко мењача.

Међутим, постоје компаније које користе директно вођен мењач брзина, синхроне генераторе са великим пречником синхроног прстена на генератору, али већина произвођача ветротурбина и даље користе шестополну индукцију (асинхрони генератор), повезани преко мењача на ротор. Индукциони ротор остварује бољу везу са мрежном фреквенцијом синхроног генератора, што смањује оптерећења између ротора и генератора током удара ветра.

Ниска ефикасност током ниских брзина ветрова, могу се превазићи коришћењем две индукције генератора, једном мањом и једном већом. Мотивација за постављање директног погона је да се поједностави израда кућишта, повећа поузданост, повећа ефикасности избегне проблем зупчаника.

Код малих ветрогенератора број ових проблема је мањи. Мењач је замењен мултипликатором, ради повећања броја обртаја. За преношење снаге узимају се ременице и каиш, који би требали да пружају мањи отпор при окретању од зупчаника. Постоје и ветротурбине које раде и без мултипликатора, по принципу директног споја ротора и генератора.

То су углавном генератори који раде на малом броју обртаја. Са мањом производном снагом, смањује се и величина лопатица и стуба, као и комплексност израде. Пошто је економски неисплативо на мале ветротурбине стављати системе за заокретање лопатица, ова ствар се решава постављањем репа који има улогу да целу турбину упери у правцу кретања ветра.

Регулација броја обртаја ротора се може остваривати кочницама које могу ручно да се користе при великим налетима ветра, или се могу користити системи за регулацију пригушивањем, што компликује и поскупљује израду.

Оно што разликује мале ветротурбине су и њихове висине, које ретко прелазе 10 m. Пошто су стубови мањи, подразумева се да су ужи. Таква конструкција је нестабилна, па се стога у великој већини стубови осигуравају са три сајле која се везују за тло.

Све велике компаније баве се искључиво израдом великих ветрогенератора. Пошто је тржиште малих ветрогенератора постало популарно последњих година и узима све већи примат, јављају се разне фирме које улазе у трку за тржиштем. Концепти, снаге и решења оваких ветрогенератора су разни, али може се рећи да и ови ветрогенератори напредују незадрживо са напредком великих ветрогенератора.

5.Идејно конципирање варијантних решења ветрогенератора

Претварање кинетичке енергије ветра у механичку енергију обртног кретања врши се помоћу ветротурбине која може имати различите конструкције. Неки примери конструкцијских решења су приказани на слици 18 и 19.



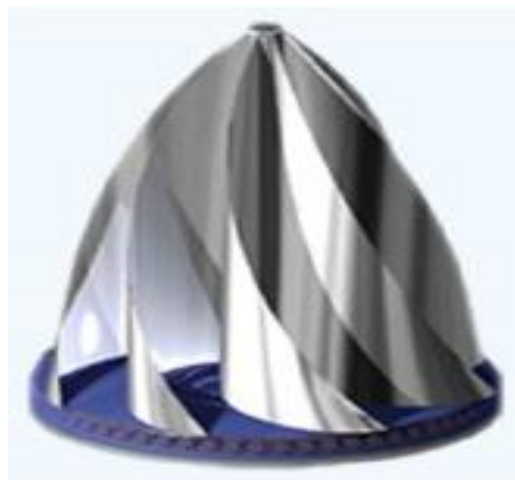
Слика 18: "РАС" ветротурбина¹⁴



Слика 19: Нечујна ветротурбина [14]



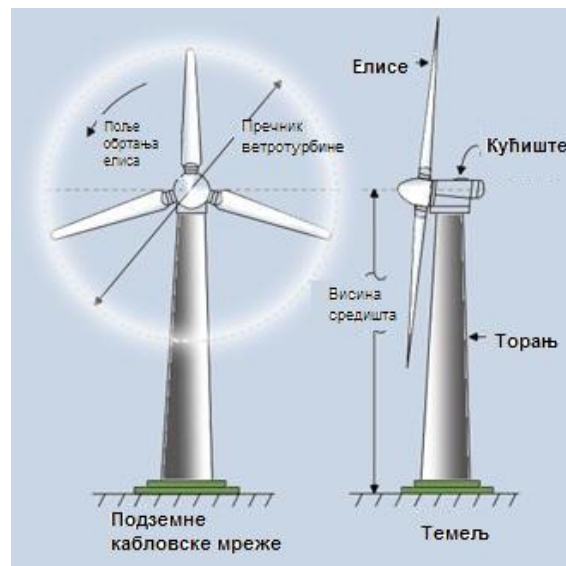
Слика 20: Спирална ветротурбина [14]



Слика 21: MAG" ветротурбина [14]

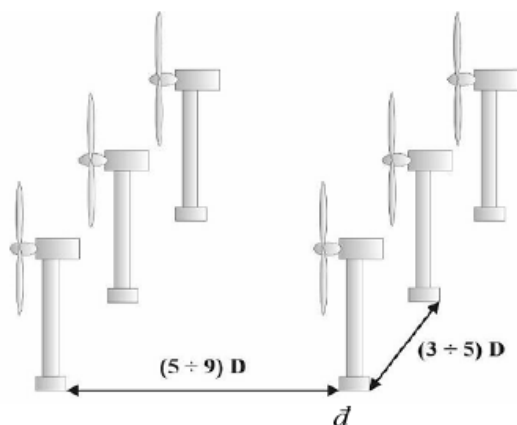
¹⁴<ftp://147.91.202.120/Arhiva/radovi/5497.pdf>

Постоје два основна решења дизајна ветрогенератора: са вертикалном осом и са хоризонталном осом. Хоризонталне турбине су више заступљене (процене говоре да су заступљене у 95% случајева), иако оне морају да имају и систем за закретање вратилау хоризонталној равни за праћење промене смера ветра. Ветрогенератори са хоризонталном осом већих снага морају имати велики распон кракова ротора што захтева виши носећи стуб. При великим брзинама ветра ротор се мора заштитити од опасних механичких напрезања тако што се, посредством погодног механизма, аутоматски доводи у стање проклизавања или се закочи, чим његова брзина обртања пређе граничну вредност. Недостатак ветрогенератора са хоризонталном осом је у томе што су изложене већим механичким напрезањима. Типични изглед ветрогенератора са хоризонталним вратилом приказан је на слици 22. [14]

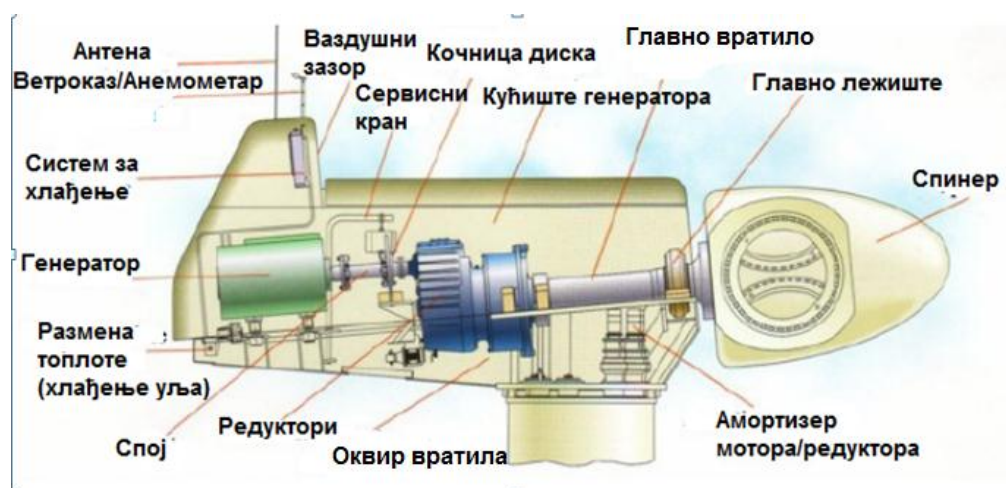


Слика 22: Типични ветрогенератор са хоризонталном осовином.[14]

Ветрогенератори могу имати различити број лопатица, али се за веће снаге најчешће користе турбине са три лопатице. На погодним локацијама се групише више ветрогенератора који чине ветроелектрану. Ветроелектрана може имати и неколико стотина ветрогенератора и снагу преко 300 MW. Граде се на копну али и у приобалном појасу плитких мора где дувају јаки и стабилни ветрови. Предности повезивања ветрогенератора у целину су нижа цена коришћења дате локације, једноставнија конекција на електроенергетски систем и централизован приступ управљању и одржавању. Проблем који настаје у вези са груписањем ветрогенератора је везан за њихово оптимално размештање како би искоришћење дате локације било максималано. Познато је да ветрогенератор утиче на струјање ваздуха и испред и иза лопатица. Потенцијално размештање више јединица у оквиру ветроелектране приказано је на слици 23.



Слика 23: Оптимално растојање ветрогенератора у оквиру ветроелектране.[14]



Слика 24: Конструкција ветроагрегата.[14]

Ветрогенератори се обично граде са три лопатице, које су прихваћене као стандард за развој, али од недавно је пар фабрика поновно покренуло развој ветрогенератора са две лопатице које показују одређени потенцијал. Холандски произвођач NedWind је још током 1990-тих развио ветрогенераторе са 60 метара високим стубом и 55 метарском лопатицом.

У Холандији су они изградили и прву ветроелектрану која се састојала од 19 ветрогенератора. Данас у свету постоје два произвођача који развијају ветрогенераторе са две лопатице. Један је Шведско–Амерички NordicWindpower који има 1 MW ветрогенератор и кинески MingYang који је развио 2,5/3 MW. MingYang тренутно развија и 5/6 MW ветрогенераторе са две лопатице.

Главна предност NordicWindpower ветрогенератора са две лопатице је да су 20-25% јефтинији, а имају већу поузданост. Њихов N1000 ветрогенератор има револуционарни „флексибилни дизајн“ којим смањује утицај турбуленције.

Тестирања тих ветрогенератора трају већ 13 година, те имају више од 140.000 сати рада под нормалним и екстремним условима ветра.

Са лакшом конфигурацијом с две лопатице поједностављује се изградња и инсталација, мање је делова, мањи је кран и ефикасније коришћење материјала за темеље. Две лопатице се спајају на земљи на кућиште, чиме се поједностављује градња наспрам агрегата са три лопатице где се то мора радити у ваздуху. Тиме се кабина може подићи и при бржим ветровима тако да се смањује утицај временских услова на време градње.

Сама лопатица нема превелику дебљину, због чега се смањује потреба за материјалом, те је лопатица лакша и мање кошта. Агрегат са две лопатице има 2-3% мању годишњу производњу електричне енергије. Агрегати са две лопатице раде мало тише (производе буку од отприлике 1 dB) у односу на уобичајене ветрогенераторе.

Сви ти фактори делују тако да смањују трошкове и побољшавају повратак инвестиције. Време ће показати да ли ће све ове предности бити довољне да овакви ветрогенератори уђу у редовну употребу, те да ли ће се те предности показати као довољне за истискивање уобичајених ветрогенератора са три лопатице с тржишта - а на које су се већ сви навикли.[14]

5.1 Ветрогенератор ФИН Крагујевац 3 5.250

Ветрогенератори које је наш тим развио у току израде овог мастер рада намењен је за пуњење батерија, напајање електричних пумпи као и прикључивање на електричну мрежу. Ветрогенератор ФИН Крагујевац 3 5.250 је уређај, израђен од DC MOTOR (BROWNIN Gassembled in Mexico) чији 2-полни генератор ради при релативно малом броју окретаја у минути (о/мин), што заједно са само 2 покретна дела осигурава веома дуг век трајања уз минимално одржавање.

Елисе су му направљене од PVC цеви што им додатно омогућава флексибилност при удару јаких ветрова. Велики радни распон осигурава производњу енергије при ниским брзинама ветра, уз постизање добрих резултата и при великим брзинама ветра.



Слика 25 ,26: Изглед ветрогенератора ФИН Крагујевац 3 5.250¹⁵

5.2 Позиционирање ветрогенератора

За осигурање доброг учинка ветрогенератора посебну пажњу треба посветити позиционирању уређаја. Грађевине, стабла и стеновите стрмине ометају добар проток ветра узрокујући вертикалну промену смера ветра те смањење брзине на мањим висинама. Те препреке, такође, узрокују турбуленције.

Турбуленције су штетне зато што ветар изазива непрестано закретање ветрогенератора око вертикалне осе, које резултира напрезањем механичких делова уређаја и знатно повећава хабање.

Из тог разлога ветрогенератор треба поставити барем 10m изнад свих препрека у кругу од 100m од стуба ветрогенератора. Снага ветра пропорционална је брзини ветра на куб, а брзина ветра са повећањем висине. Повећање брзине ветра од 26% помоћу вишег стуба значи повећање излазне снаге ветрогенератора од 100%.

¹⁵ Стефан Војиновић, Истраживање енергетских потенцијала ветра у Србији и региону и развој лабораторијског прототипа малог ветрогенератора, мастер рад, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2014.

Стубови који су постављени на ветрогенератор ФИН Крагујевац 3 5.250 су од челичне конструкције и уграђена су 3 комада метарске дужине са унутрашњим и спољашњим навојима што им омогућава лакши транспорт и мобилност ветрогенератора. На стубу су заварене под углом од 120 степени на раван стуба и 3 кукена на $\frac{2}{3}$ висине од земље које са сајлама учвршћују целу конструкцију ветрогенератора.

Већа инвестиција у виши стуб резултираће испоруком енергије еквивалентне снази 2 ветрогенератора. Предност треба дати најчешћем смеру из ког ветар дува, али, такође, треба узети у обзир да високе препреке иза ветрогенератора, такође, могу проузроковати смањење протока ветра кроз ветрогенератор.



Слика 27: Приказ ФИН Крагујевац 3 5.250 у 3D

Ветрогенератор је намењен за рад уз минимално одржавање. Сваких 6 месеци треба проверити јесу ли се електрични каблови унутар стуба претерано умрсили и по потреби их одспојити на дну стуба и одмрсити.

На подручјима без великих турбуленција просечно закретање удесно поништава се закретањем улево. Треба обратити пажњу на необичне звукове генератора или крила те да ли долази до повећања вибрација. Било која од ових појава захтева детаљан преглед. Треба прегледати нападну ивицу крила те подмазати лежај генератора.

Ветрогенератор је развијен за потребе домаћинства и мањих фарми које имају адекватан простор за инсталацију оваквог система и желе преузети контролу над будућим енергетским трошковима. Сама турбина има велики распон елиса, што гарантује квалитетно снабдевање енергијом чак и код слабијег ветра.



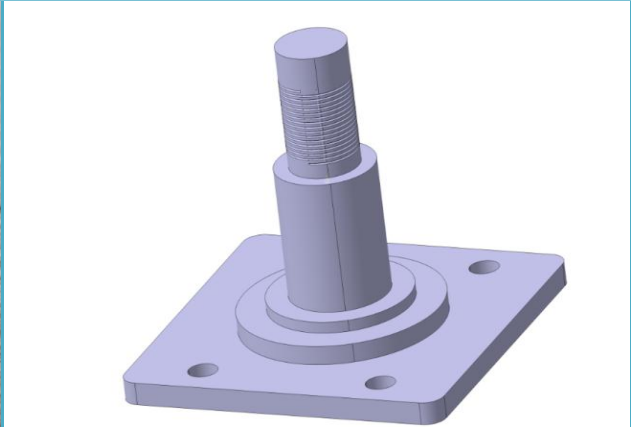
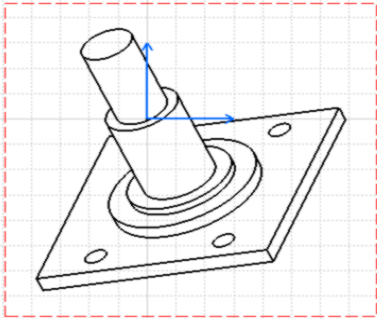
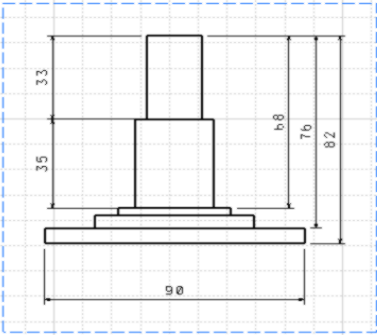
Слика 28 : Приказ са стубом ФИН Крагујевац 3 5.250 у 3D

Табела 2. Карактеристике ветрогенератора ФИН Крагујевац 3 5.250

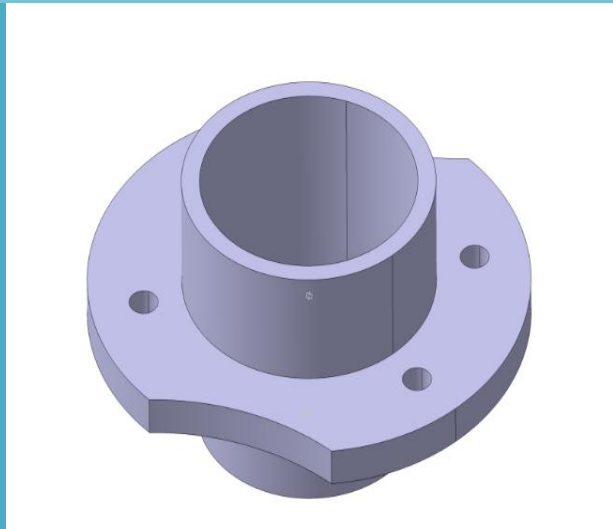
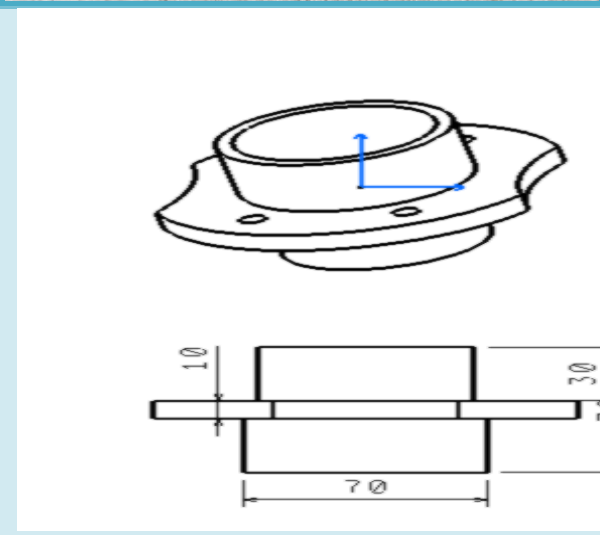
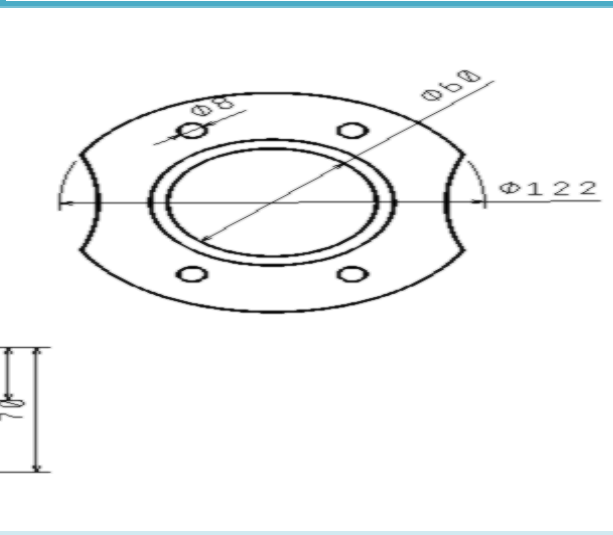
Снага	10 W
Напон	12V
Почетна брзина ветра	2.5 m/s
Називна брзина ветра	5 m/s
Број елиса	3
Материјал израде елиса	Pvc
Пречник ротора	2.715 m
Називни број окретаја	150-600 o/min
Препоручена висина стуба	3.2m
Пречник стуба	115mm
Батерија	12V/135Ah
Заштитни систем	отклон ротора
Густина ваздуха	1.23 kg/m ³
Фактор турбуленције	0.05
Комплет ветрогенератора	-DCMOTOR - Елисе од трокрака - Склоп ротора са елисама - Стубови

6. Техно-економска анализа

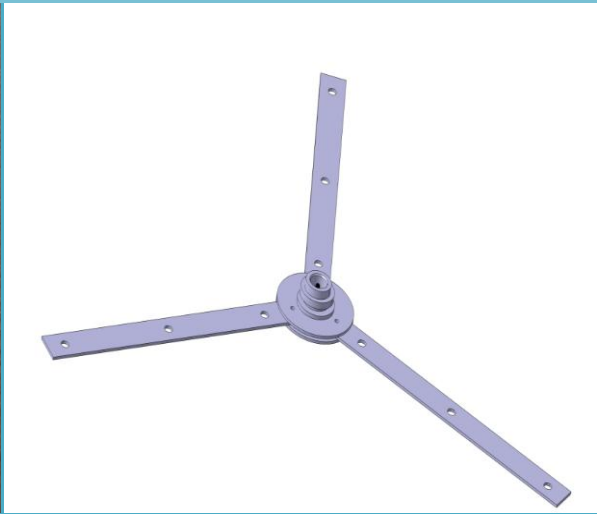
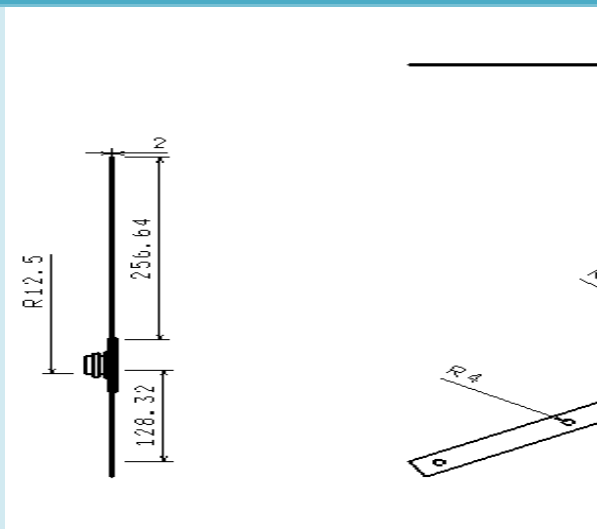
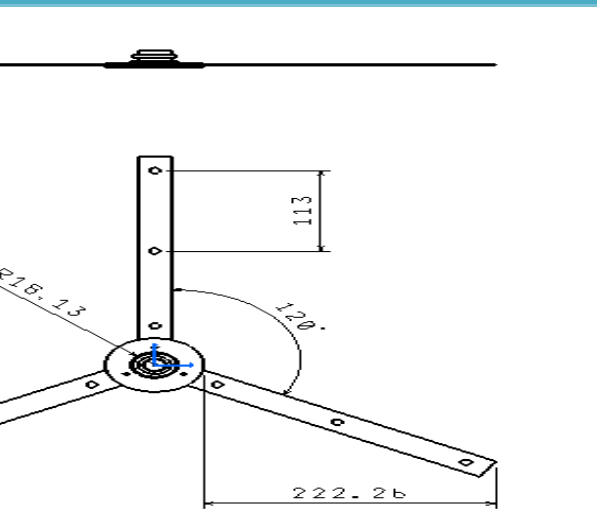
Табела 3.2D и 3D приказ осовине без главе и њене карактеристике[15]

	
 	
Назив производа	Осовина 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

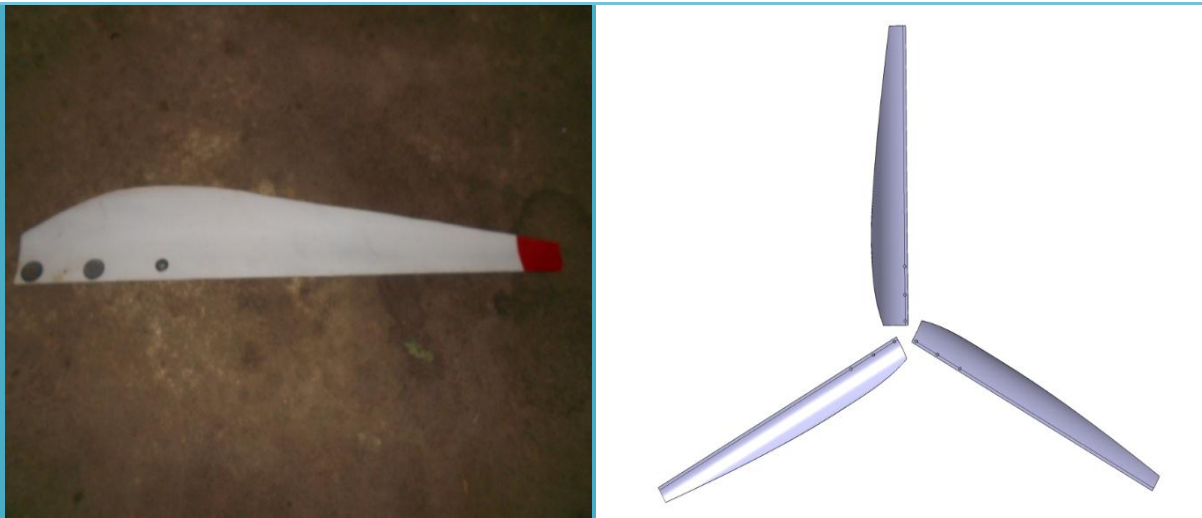
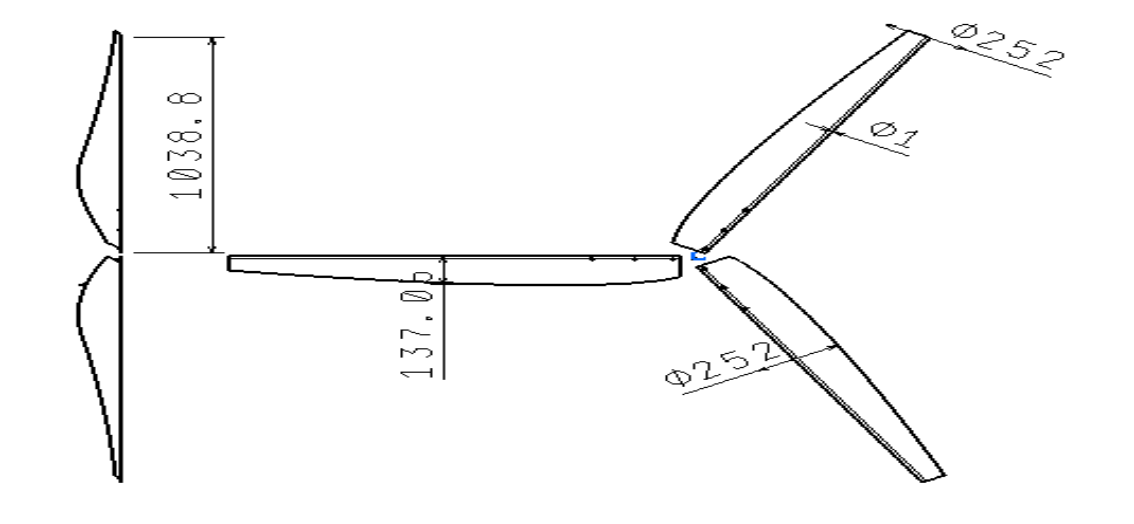
Табела 4.2D и 3D приказ главе и њене карактеристике [15]

	
	
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

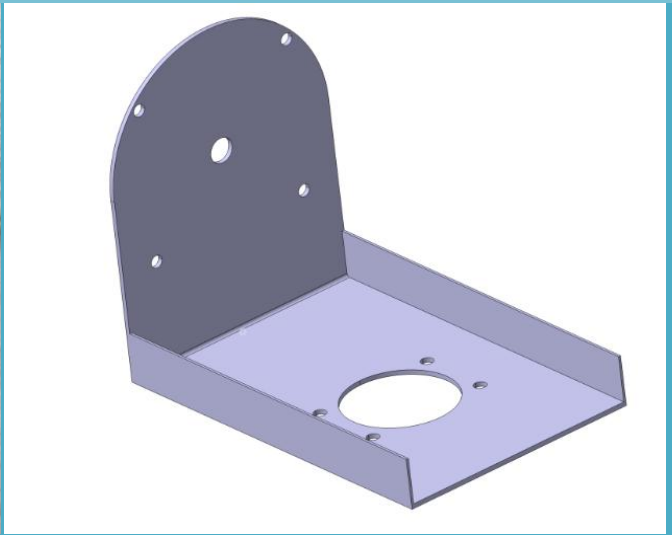
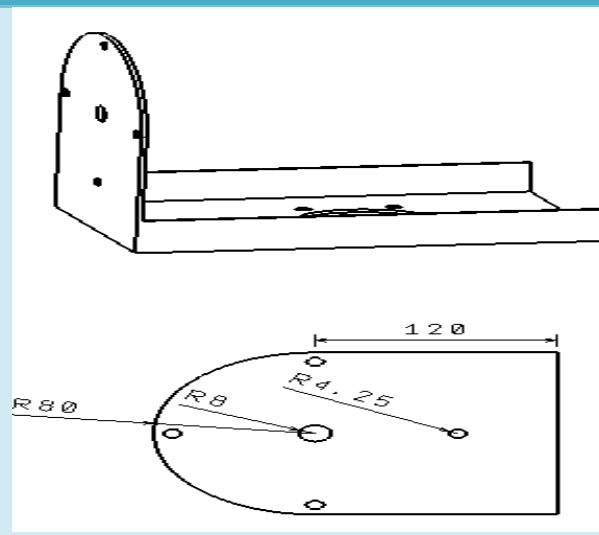
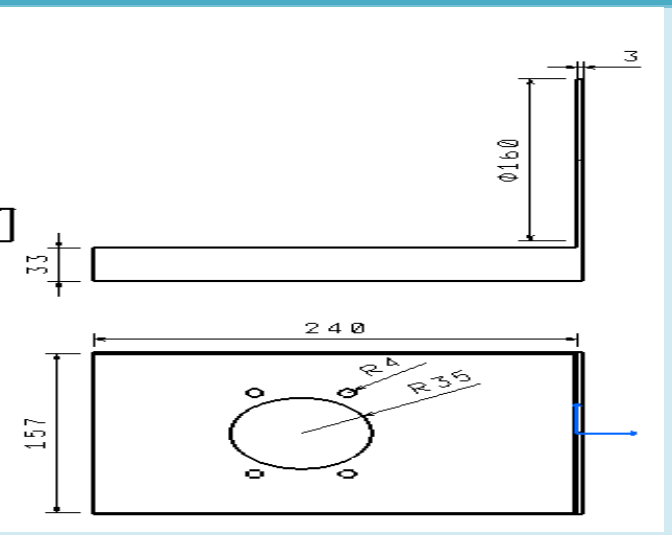
Табела 5.2D и 3D приказ држача елиса и његове карактеристике [15]

	
	
Назив производа	Држач елиса
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

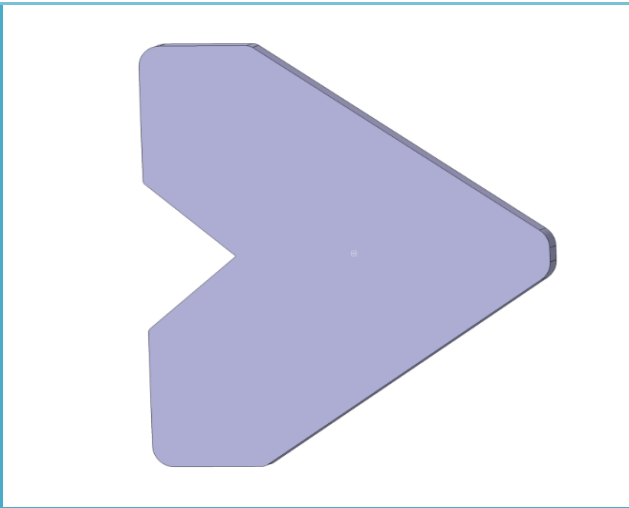
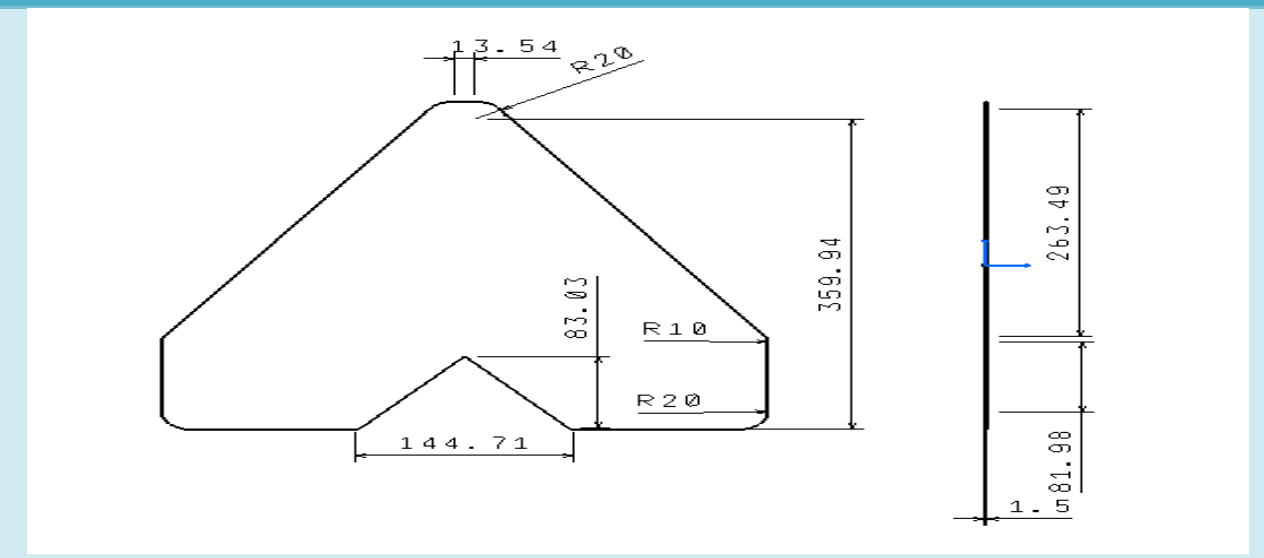
Табела 6.2D и 3D приказ елиса и њене карактеристике [15]

	
	
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

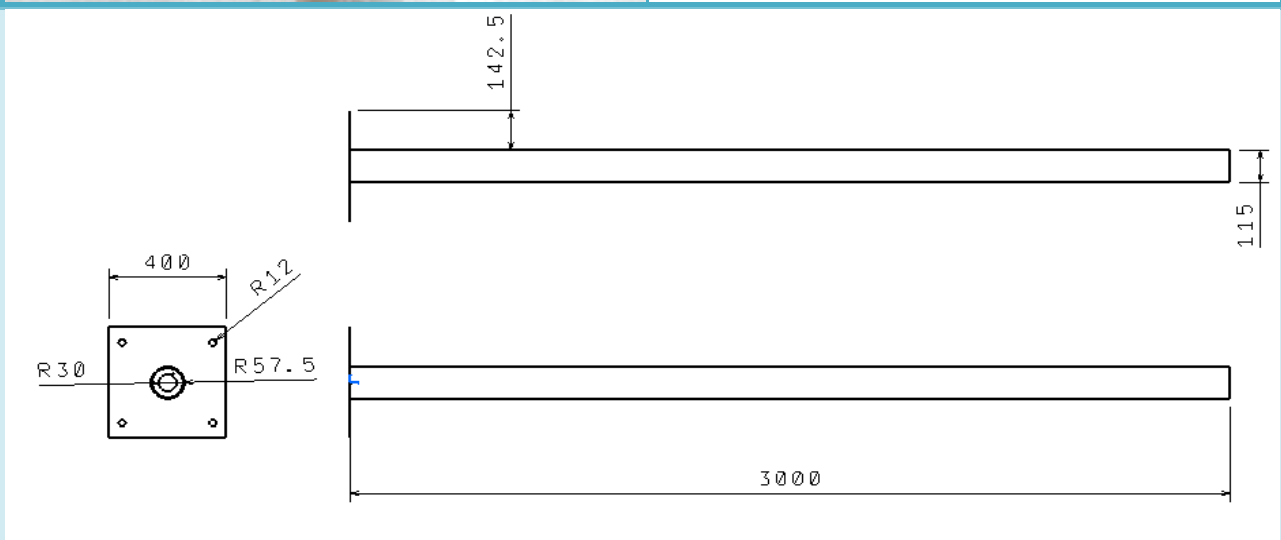
Табела 7.2D и 3D приказ држача мотора и његове карактеристике [15]

	
	
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

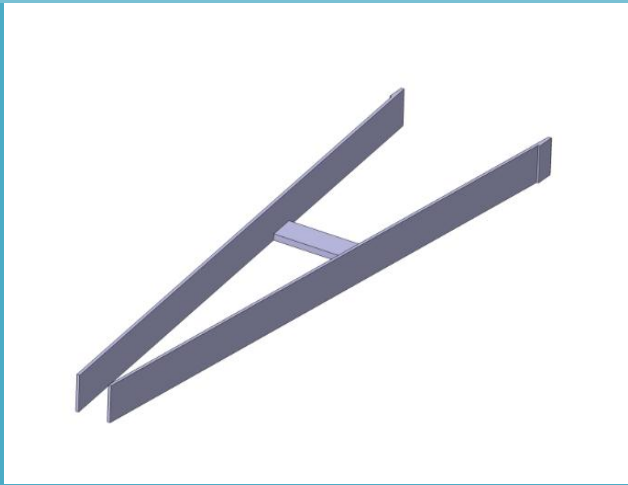
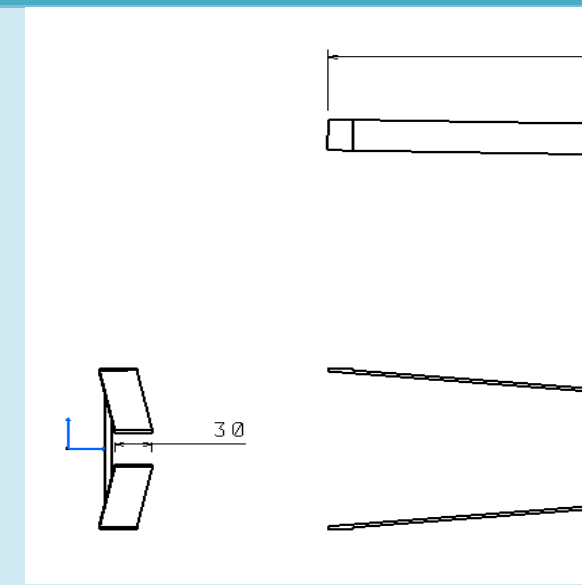
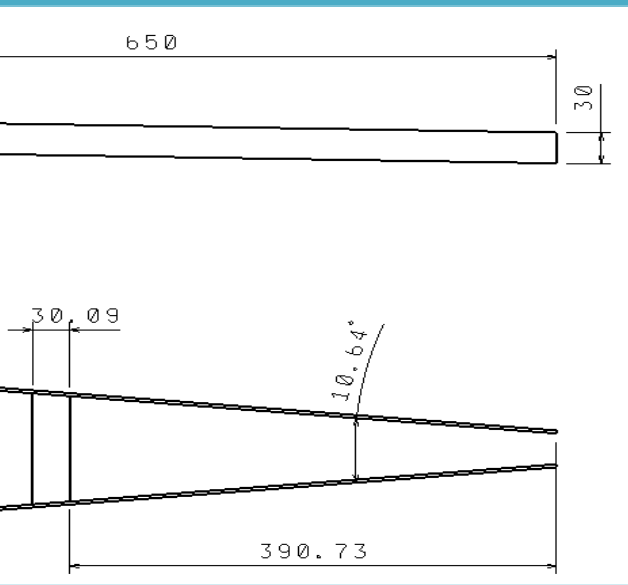
Табела 8.2D и 3D приказ репа и његове карактеристике [15]

	
	
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

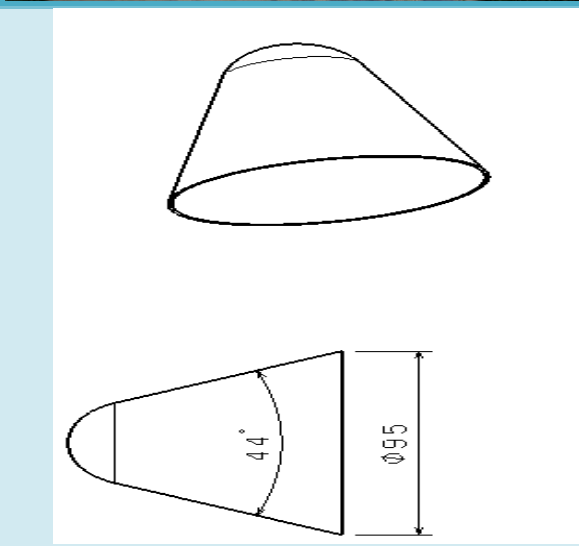
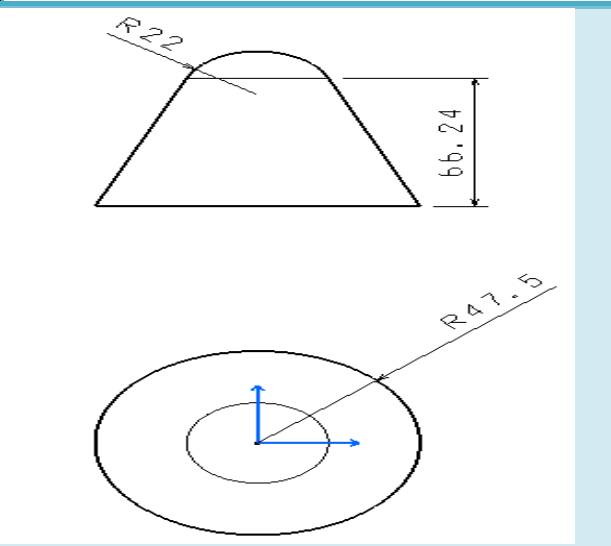
Табела 9.2D и 3D приказ стуба и његове карактеристике [15]

 	
	
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

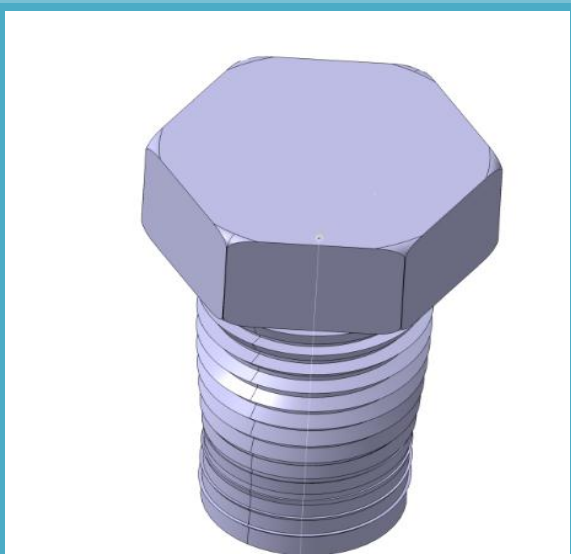
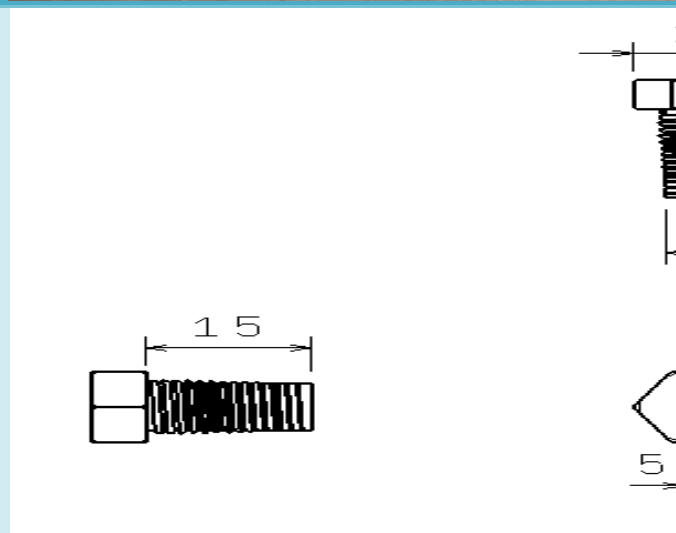
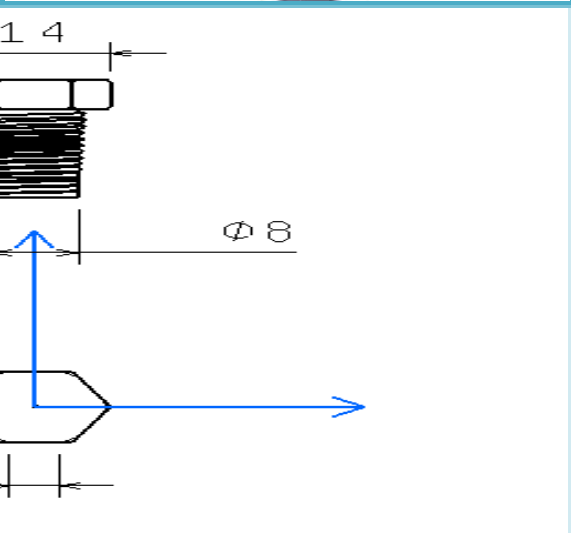
Табела 10. 2D и 3D приказ помоћног држача и његове карактеристике [15]

	
	
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

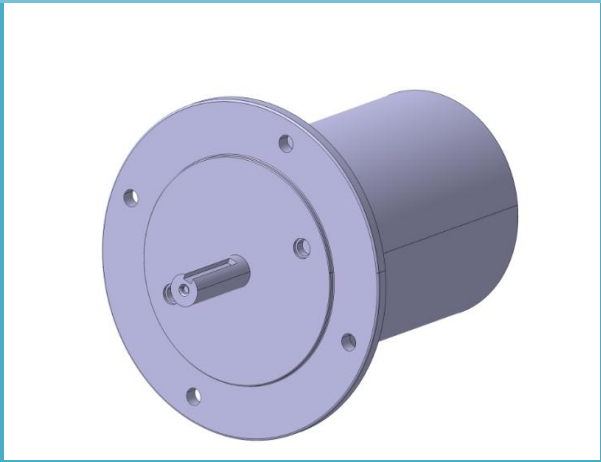
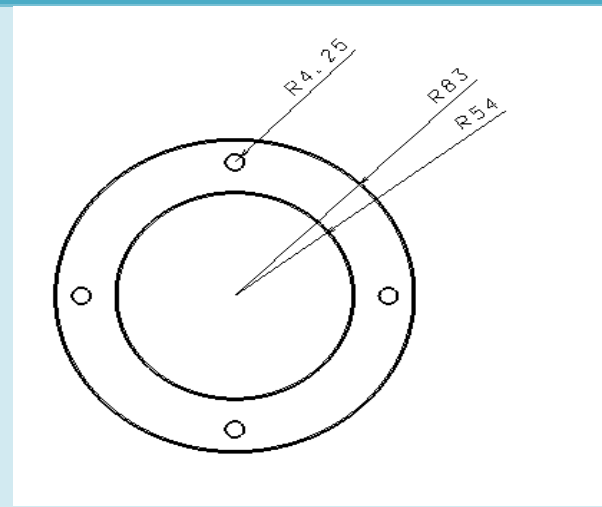
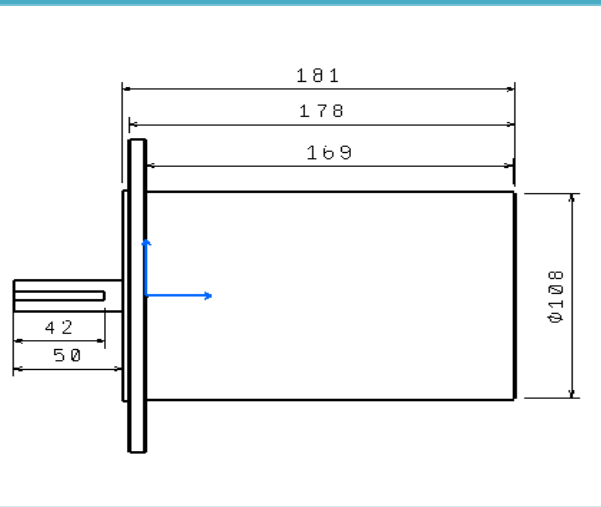
Табела 11.2D и 3D приказ капе и њене карактеристике [15]

	
	
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 12.2D и 3D приказ шrafoва и њихове карактеристике[15]

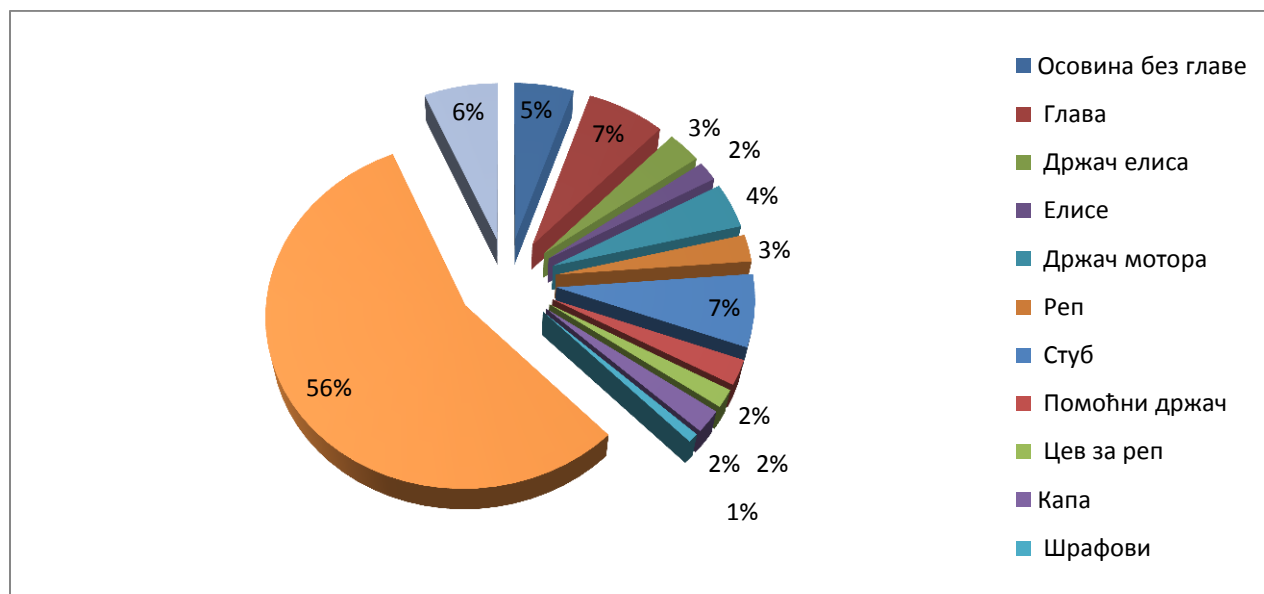
	
	
Назив производа	Шrafoви
Врста материјала	Челик
Површина материјала	0.001m ²
Маса материјала	0.011kg
Густина материјала	7860kg/m ³
Боја материјала	Сива
Цена	100 динара

Табела 13.2D и 3D приказ шrafoва и њихове карактеристике [15]

	
	
Назив производа	Генератор
Врста мотора	DC MOTOR (BROWNING assembled in Mexico)
Површина материјала	0.11m ²
RPM	1725
ARM	A 3.8
ARM	V 90
Цена	6 500 динара

Табела 14. Врсте делова и њихове цене које су биле потребне за изградњу ветрогенератора [15]

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 29: Дијаграм новчаног удела материјала који је коришћен за изграду ветрогенератора [15]

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 полусериску производњу или неку озбиљнију употребу, цена би била знатно већа. Пре свега због обавезне куповине новог електромотора веће снаге, који се крећу у распону од 150 до 400 €. Кострукција 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 турбину било које снаге и величине, а временом би се наше знање само усавршавало. 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 дефинитивне конструкције наше ветротурбине ФИН Крагујевац 3 5.250, он је прилагођен дизајну електромотора. Услед коришћења неког другог електромотора, променио би се и дизајн.

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

Што се тиче припреме оваквог модела за полусериску 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 се и тржишна цена нашег производа.

7.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 о/мин, напон од 30 па до 100 V и да тај мотор буде једносмерне струје.

То су карактеристике које би за почетнике као сто 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. [15]

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 о/мин, напон 90V и струја од 3,8 А. Јасно је да овај избор није баш идеалан, али са економског погледа је најлогичнији.



Слика 30: Електромотор/генератор Emerson DC motor [15]

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. 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 окреће. Били смо приморани да елисе вежемо директно на ротор, што смо и урадили. [15]



а)



б)



в)

Слика 31: а) велика ременица, б) мала ременица, в) спрега преноса [15]

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 32: Држач генератора [15]

Генератор је причвршћен на 4 завртња на вертикалној плочи. Искористили смо рупе које већ постоје на генератору, које су већ и предвиђене за

причвршћавање. 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 окреће према ветру.



Слика 33: Главчина [15]

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 34: Носач репа [15]

Реп смо направили од челичне поче 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 35: Реп ветрењаче [15]

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. Мисли 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 36: Изглед кућишта ветрогенератора [15]

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 37: Елиса ветрогенератора [15]

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 38: Држач елиса [15]

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 39: Стуб ветрогенератора [15]

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 40: Постављање ветрогенератора [15]

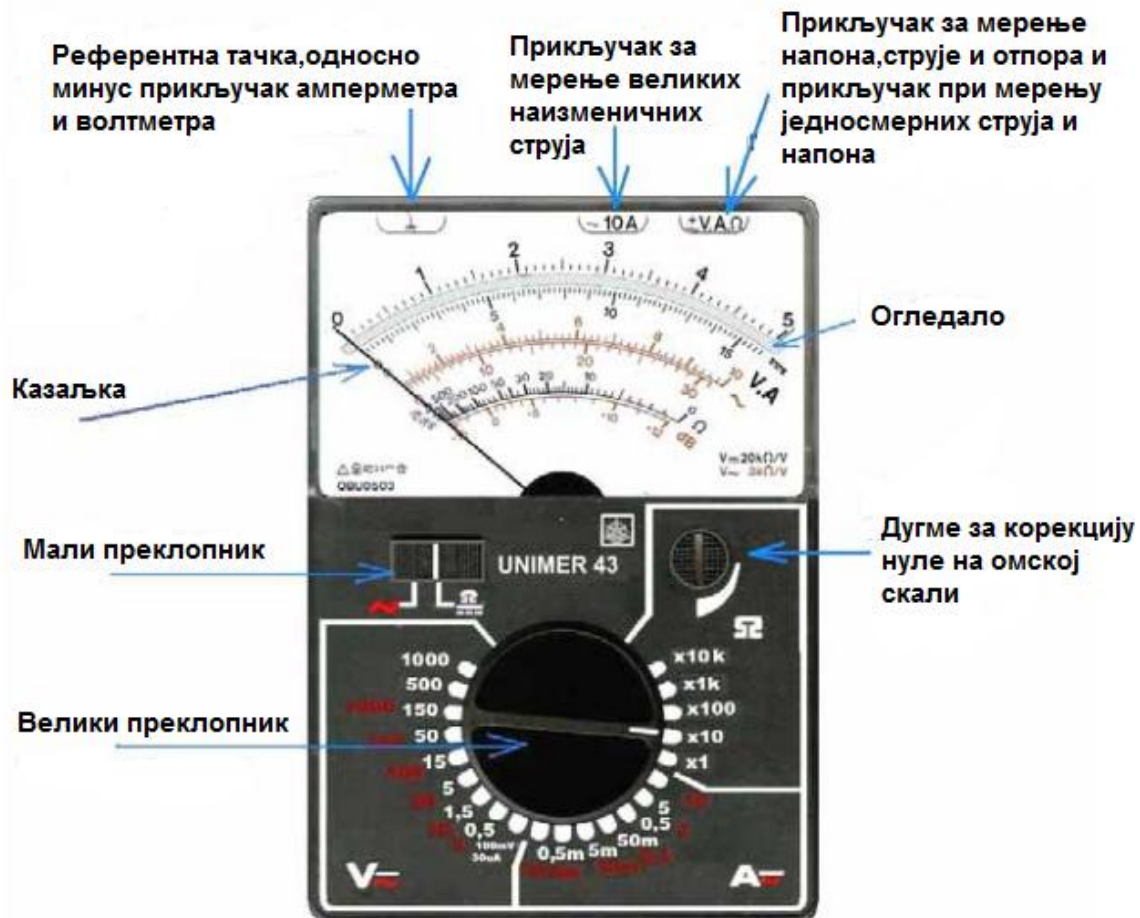


Слика 41: Изглед ветрогенератора [15]

8.Резултати мерења

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

Мерења су вршена помоћу универзалног инструмента UNIMER 43 ИСКРА Крањ. Изглед овог инструмента приказан је на слици 42.



Слика 42: Инструмент „UNIMER 43” – ИСКРА Крањ¹⁶

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.

¹⁶ <http://nasport.pmf.ni.ac.rs/materijali/483/unimer1.pdf>

Интензитет њене светлости се повећавао порастом брзине ветра. Светљење сијалице приказано је на слици 43.



Слика 43: Тестирање рада сијалице¹⁷



Слика 44: Тестирање рада траке са LED диодама

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 44. [17]

¹⁷Милош Љубисављевић, Анализа постојећих конструкцијских решења, методологије управљања радом и производне цене ветрогенератора и развој лабораторијског прототипа малог ветрогенератора, мастер рад, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2014.

9. 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

$\rho [kg/m^3]$ - густина ваздуха,

$V[m/s]$ - брзина ветра,

$r[m]$ – полупречник елисе.

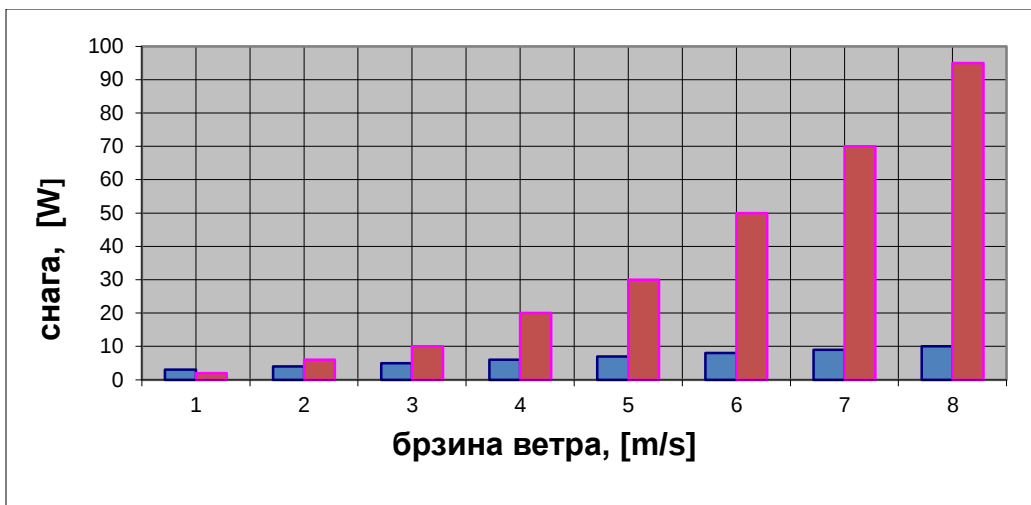
а резултати прорачуна приказани су у наредним табелама и на дијаграмима.

Табела 15: Одређивање снаге ветра [17]

Полупречник елисе	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 16: Очекивања добијене енергије у односу на пречник елиса и просечне брзине ветра месечно [17]

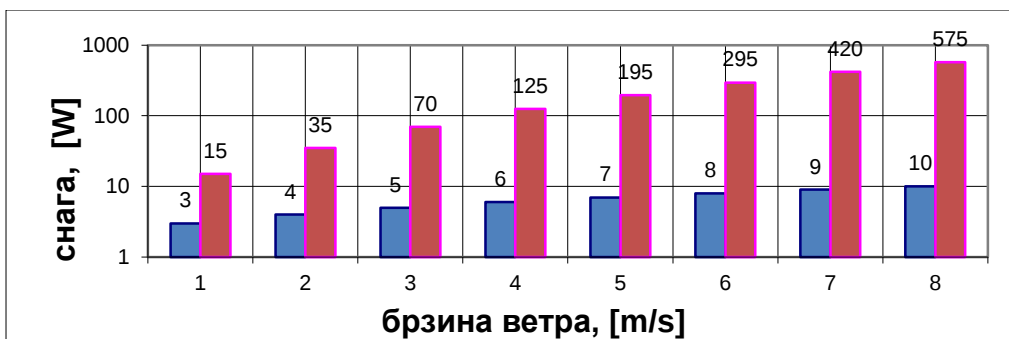
Апроксимативна очекивања добијене енергије у [KWh] у односу на пречник елисе и просечне брзине ветра месечно[m/s]				
Пречник елиса, [m]	очекивана енергија [kWh]			
	3m/s	4m/s	5m/s	6m/s
1	2	6	10	20
2	10	25	50	70
3	20	60	100	160
4	40	100	200	280
5	60	160	300	430



Слика 45: Снага коју генератор производи при различитим вредностима брзине ветра уколико је пречник елиса 1m [17]



Слика 46: Снага коју генератор производи при различитим вредностима брзине ветра уколико је пречник елиса 2m [17]



Слика 47: Снага коју генератор производи при различитим вредностима брзине ветра уколико је пречник елиса 2. 4m [17]

10. Закључци

Ситуација у којој се тренутно налази планета Земља и еколошка криза која је све дубља, натерале су нас да на што бржи начин поправимо свој однос према природи. Један од тих начина ми изучавамо у овом раду.

Да није горућих проблема који се тичу екологије и да постоје само проблеми производње електричне енергије, питање је да ли би се ми бавили овом проблематиком у нашем раду?

Мислим да је јако битно што се друштво максимално залаже да смањи емисију штетних гасова и да промовише нове еколошки потпуно чисте системе. Изучавајући стање око нас имао сам прилику да стекнем знање из ове области и стекнем увид о томе где се налази свет, а где смо ми. Мало је рећи да сам разочаран стањем у нашој земљи, али знајући какво је економско стање, није за очекивати да стање енергетике буде иоле боље.

Пошто ми као инжењери имамо задатак да покренемо привреду својим иновацијама, част ми је да могу макар трунку да помогнем у побољшању тренутног стања у земљи и да дам свој максимум у изради овако важног и озбиљног пројекта. Имајући у виду да наше термоелектране морају једног дана бити затворене, не остаје нам други извор енергије него један од обновљивих.

Ветроелектране би требало да покрију јако велики део потреба наше земље. Али поставља се питање зашто ту стати? Зашто чекати да од произвођача добијемо готову енергију? Зашто не кренути путем многих и не започнемо сами да правимо машине за претварање енергије ветра у електричну енергију. Да будемо енергетски независни и да ако буде једног дана буде дозвољено законом и зарадимо на томе. Као што је случај у земљама Европске уније. То је један јако паметан и корисан систем функционисања. Велике ветроелектране праве GW струје, али оно што недостаје ми би покривали из наших „дворишних“ електрана. Било да су у питању соларни панели, фотонапонске ћелије или ветрогенератори, имали би велику корист од њих. Зато ми је драго што смо ми као тим имали прилику да произведемо готов производ, својим рукама и знањем које смо протеклих пет година стварали на овом факултету.

Ветрогенератори малих снага представљају једну грану која ће се јако развијати у будућности и која ће бити саставни део многих дома. 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.mycity.rs/Nove-tehnologije/Vetar-alternativni-izvor-elektricne-energije.html>
- [2] http://vetar-sunce.imsi.rs/tekstovi/Studija_EE704-1052A/P1_Uvod.pdf
- [3] <http://www.unitjuggler.com/convert-energy-from-kWh-to-toe.html>
- [4] [http://www.df.uns.ac.rs/files/200/snezana_nemes_-_diplomski_rad_\(d-481\).pdf](http://www.df.uns.ac.rs/files/200/snezana_nemes_-_diplomski_rad_(d-481).pdf)
- [5] http://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi_slike/tekstovi/drevna%20vetrenjaca%20khaf%20afganistan.jpg
- [6] http://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi_slike/tekstovi/chinesewater-.jpg
- [7] http://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi_slike/tekstovi/smock-mill.jpg
- [8] WindTurbines ,ErichHau ,2005
- [9] <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2011/03/small-wind-market-update>
- [10] http://issuu.com/iipp/docs/casopis_4-2011-9
- [11] American Wind Energy Association
- [12] <http://wind-energy-news.com/?p=151>
- [13] http://www.coriolis-energy.com/assets/images/lev2_wtgComponents1.gif
- [14] <ftp://147.91.202.120/Arhiva/radovi/5497.pdf>
- [15] Стефан Војиновић, Истраживање енергетских потенцијала ветра у Србији и региону и развој лабораторијског прототипа малог ветрогенератора, мастер рад, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2014.
- [16] <http://nasport.pmf.ni.ac.rs/materijali/483/unimer1.pdf>
- [17] Милош Љубисављевић, Анализа постојећих конструкцијских решења, методологије управљања радом и производне цене ветрогенератора и развој лабораторијског прототипа малог ветрогенератора, мастер рад, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2014.