

56. srečanje Mladih raziskovalcev Slovenije

KAKO UJETI VETER?

PRIMERJAVA UČINKOVITOSTI SAMOSTOJNO IZDELANIH VETRNIH TURBIN

Tehnika in tehnologija

Raziskovalna naloga

Ime in priimek avtorja: Gaber Naterer

Mentorica: Tea Koračin, dipl. prof. sociologije in tehnike

Ustanova: Osnovna šola Malečnik

Maribor, april 2022

Povzetek

Raziskovalna naloga »Kako ujeti veter? Primerjava učinkovitosti samostojno izdelanih vetrnih turbin« izhaja iz osnovnega raziskovalnega vprašanja ali je mogoče v domačem okolju izdelati učinkovito pripravo za pretvarjanje vetrne energije v električno energijo? Empirični del naloge temelji na testiranju učinkovitosti treh prototipov horizontalne in vertikalne vetrnice, ki so bili samostojno izdelani v domači delavnici. Rezultati testiranja so pokazali, da je glede težavnosti izdelave zahtevnejša vertikalna različica, saj vsebuje več sestavnih delov in tudi postopki izdelavi so zahtevnejši. Glede učinkovitosti pa je testiranje pokazalo, da je vertikalni prototip primernejši, čeprav vetrne razmere na naši geografski legi niso primerne za nobeno od analiziranih različic. Naloga predstavlja pomemben prispevek k izobraževanju in informiranju glede zelenih virov energije in predstavlja možnost opolnomočenja glede oblik nezahtevne samooskrbe z vetrno energijo.

Ključne besede: vetrna energija, horizontalna vetrnica, vertikalna vetrnica, zelena energija, energetska samooskrba

Abstract

The Research project »How to catch the wind? Comparison of the efficiency of self-manufactured wind turbines "arises from the basic research question of whether it is possible to make an effective device in the home environment for the conversion of wind energy into electricity. The empirical part of the thesis is based on testing the effectiveness of three prototypes of horizontal and vertical windmills, which were independently made in a home workshop. The test results has showed that the vertical version is more demanding in terms of the difficulty of manufacturing, as it contains more components and the manufacturing procedures are also more demanding. In terms of efficiency, however, testing has shown that a vertical prototype is more appropriate, although wind conditions in our geographical location are not suitable for any of the analyzed variants. The task represents an important contribution to education and information on green energy sources and represents an opportunity for empowerment regarding forms of undemanding self-sufficiency in wind energy.

Keywords: wind energy, horizontal windmill, vertical windmill, green energy, energy self-sufficiency

Zahvala

Rad bi se zahvalil svoji mentorici, ki mi je podala veliko dobrih idej in me opozarjala na številne napake v nalogi; bratu, ki mi je nudil pomoč pri tehničnem obdelovanju kovin; razredničarki, ki me je spodbujala in očetu za pomoč in podporo.

KAZALO

1 Uvod.....	7
2 Raziskovalna vprašanja, cilji in hipoteze.....	8
3 Metodologija in temeljni koncepti	8
3. 1 Metodologija	8
3. 2 Merske enote	8
4 Teoretični del	9
4. 1 Oblike generiranja energije	9
4. 2 Vetrne turbine.....	13
5 Praktični del	15
5. 1 Uvodne meritve.....	15
5. 2 Izdelava horizontalne vetrnice	17
5. 2. 1 Test 1	19
5. 2. 2 Test 2	20
5. 3 Izdelava vertikalne vetrnice	20
5. 3. 1 Test 3	21
5. 4 Predelava horizontalne in vertikalne vetrnice	22
5. 4. 1 Test 4	23
6 Sklep	25
7 Družbena odgovornost in razprava	27
8 Viri	28

KAZALO SLIK

Slika 1: Proizvodnja električne energije s pomočjo vetrnic po svetu (2020)	10
Slika 2: Zasnova vetrne elektrarne.....	13
Slika 3: Horizontalna vetrna turbina s tremi lopaticami	14
Slika 4: Vertikalna vetrna turbina s tremi lopaticami	14
Slika 5: Nabor električnih aparatov	15
Slika 6: Testna postavitve vetrnice	18
Slika 7: Izdelava ohišja vetrnice	18
Slika 8: Prvo testiranje horizontalne vetrnice	19
Slika 9: Izdelava jedra vertikalne vetrnice.....	21
Slika 10: Test vertikalne vetrnice	21
Slika 11: Običajna (desno) in predelana vetrnica (levo) z osmimi rezili.....	22
Slika 12: Prvo testiranje predelane vetrnice z elektromotorjem baterijskega vrtalnika.....	22
Slika 13: Prvo testiranje integrirane vetrnice z elektromotorjem	23
Slika 14: Zadnje testiranje integrirane vetrnice z elektromotorjem baterijskega vrtalnika	24

1 Uvod

Raziskovalna naloga »Kako ujeti veter? Primerjava učinkovitosti samostojno izdelanih vetrnih turbin« temelji na osnovnem vprašanju: *Ali je mogoče v domačem okolju izdelati učinkovito pripravo za pretvarjanje vetrne energije v električno energijo?*

K razmišljanju o temi naloge me je pripeljala moja radovednost, zanimanje za tehnologijo in elektroniko, še posebej pa me je pritegnila raziskovalna naloga mojega brata, s katero je lani bil zelo uspešen. V svoji nalogi se je ukvarjal s pridelovanjem energije iz odpadnih materialov, stroj pa je izdelal kar doma. To me je vzpodbudilo k razmišljanju, katere druge oblike energije je mogoče proizvesti v domačem okolju, in odločil sem se za elektriko. Električna energija je namreč ključna in z razvojem tehnologije neizogibno raste tudi potreba po večji količini energije. Glede na to, da danes večina te energije prihaja iz fosilnih goriv, trenutna tehnologija pa že nekaj časa prehaja na obnovljive vire energije, bi hkrati rad dvignil ozaveščenost glede sodobnih problemov pridelovanja elektrike ter predstavil nekatere možne rešitve.

Naloga ima v najširšem smislu dva zaporedna cilja, in sicer:

1. V prvem koraku odgovoriti na vprašanje, ali je v domačem okolju mogoče izdelati pripravo za izkoriščanje vetrne energije. Ta cilj temelji na predpostavki, da so v domačem okolju prisotni specifični predmeti in orodja, ki so namenjena gospodinjstvu in ne proizvodnji energije, kljub temu pa imajo širšo uporabo. Namen naloge je raziskati, ali ta omogoča tudi proizvodnjo električne energije iz vetra.
2. V drugem koraku, v primeru da je odgovor na prvo vprašanje pritrdilen, odgovoriti na vprašanje, katera od oblik priprav je najučinkovitejša in najprimernejša za domačo izdelavo.

Izhajajoč iz teh vprašanj je naloga oblikovana v dva osnovna dela, teoretični in praktični. V teoretičnem delu sem podrobno preučil in opisal koncept vetrne turbine, njegovo zgodovino in mesto med drugimi sodobnimi energetskeimi viri. V praktičnem delu pa sem se lotil izdelave in testiranja vetrne turbine, kar sem tudi podrobno dokumentiral. Nalogo »Kako ujeti veter« sem spisal z željo po dvigu pozornosti in zavedanja o sodobnih problemih, povezanih s pridobivanjem energije, in o možnostih, ki so nam na voljo, da te probleme kot družba obvladamo.

2 Raziskovalna vprašanja, cilji in hipoteze

Pričujoča raziskovalna naloga temelji na dveh raziskovalnih vprašanjih, in sicer:

RV 1 – Ali je mogoče v domači delavnici izdelati vetrno elektrarno?

RV 2 – Katera od zasnov je lažja za izdelavo in učinkovitejša pri proizvodnji električne energije?

Izhajajoč iz teh vprašanj sem si zastavil dva cilja: (1) uspešno zgraditi vertikalno in horizontalno vetrnico ter (2) primerjati zahtevnost in učinkovitost obeh tipov. Na podlagi raziskovalnih vprašanj in raziskovalnih ciljev sem oblikoval tudi dve hipotezi:

H1 – Lažje bo zgraditi horizontalni prototip, saj je zasnova vertikalnega bolj kompleksna.

H2 – Učinkovitejša bo horizontalna vetrnica, saj rezila zajemajo večjo površino in tako tudi ujamejo več vetra.

3 Metodologija in temeljni koncepti

3.1 Metodologija

Metodologija je prilagojena osnovnemu cilju naloge, to je v domačem okolju izdelati pripravo za pridobivanje električne energije. Za potrebe naloge bom za to uporabljal nespecializirano orodje, torej takšno, ki je na voljo v povprečnem gospodinjstvu. Sem spadajo izvijači, kladivo in podobno. Edino specializirano orodje, ki ga naloga zahteva, je merilni instrument, imenovan multimeter. Uporabljal ga bom za merjenje vstopnih in izstopnih parametrov, vezanih na moč, kapaciteto in upornost.

Najprej sem opravil pregled vseh naprav, ki sem jih našel v gospodinjstvu, in izločil tiste, ki imajo elektromotor, saj je te mogoče uporabiti pri izdelavi vetrnice. Izmed vseh, ki so mi bile na voljo, sem se odločil za dva akumulatorska vrtalnika, ki se jima je življenjska doba iztekla zaradi iztrošene baterije. Zanju pa sem se odločil predvsem zato, ker imata oba elektromotor s permanentnim magnetom, tega pa je mogoče predelati v generator, ki je ključni del vetrnice.

3.2 Merske enote

Za potrebe pričujoče naloge bom med merjene parametre vključil zgolj *napetost*, *kapaciteto* in *upornost* izdelane vetrnice. Ti trije parametri so namreč ključni del ocene učinkovitosti in uporabnosti končnega izdelka.

Volt (V) je izpeljana enota za merjenje električne napetosti. En volt je opredeljen kot električni potencial med dvema točkama prevodne žice, ko električni tok enega ampera razprši en vat moči med tema točkama.

Amper (A) je osnovna enota električnega toka. Mednarodni sistem enot opredeljuje amper glede na druge osnovne enote z merjenjem elektromagnetne sile med električnimi prevodniki, ki prenašajo električni tok.

Upor (Ohm) je osnovna enota, ki meri upornost in prevodnost. Hkrati je pa to tudi element, ki se uporablja pri izdelavi vezij. Kot take upore delimo na masne, plastne in žične upore. Masni upori so grajeni iz uporovnega telesa v obliki valja, najbolj pogosto iz ogljenega praška. Žični upori so izdelani iz uporovne žice, ki je navita na izolacijsko telo. Plastni so najpogostejši, običajno so zgrajeni iz oglja, kovine in kovinskega oksida.

4 Teoretični del

4. 1 Oblike generiranja energije

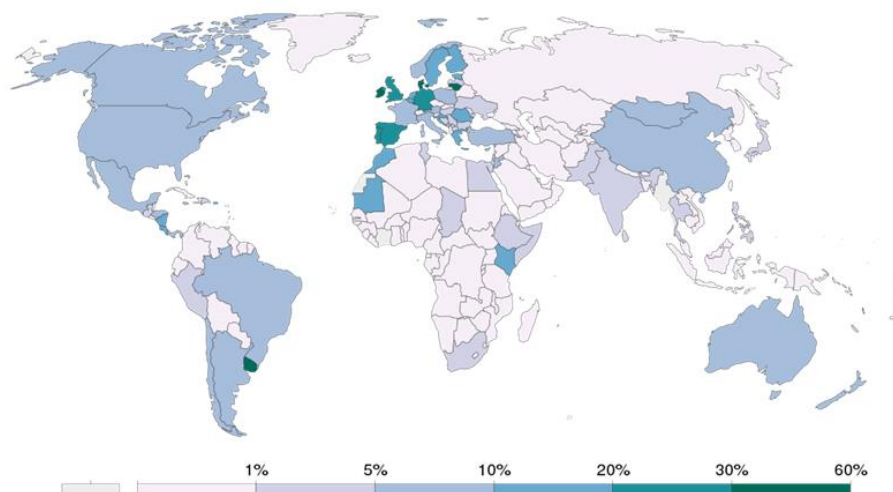
Vetrne turbine so v najširšem pomenu besede priprave, ki kinetično energijo vetra pretvarjajo v električno energijo. Zgodovina uporabe vetrne energije je relativno dolga (EIA, 2021), saj so ljudje uporabljali veter na Nilu že pred 7500 leti, in sicer kot glavni pogon za jadrnice. Tudi na Kitajskem so pred 2500 leti uporabljali vodne črpalke, ki jih je poganjal veter, medtem ko so se v Perziji in Srednjem vzhodu v tem času pojavili prvi mlini na veter z rezili iz sladkornega trsa. Do 11. stoletja so se vetrni mlini razširili po celotni regiji in so bili uporabljeni tudi za črpanje vode, nato pa so postali pomembnejši za pridelavo hrane. Trgovci in križarji so prinesli tehnologijo za izkoriščanje vetrne energije v Evropo, kasneje pa so jo priseljenci prenesli še na zahodno poloblo. Ameriški kolonisti so vetrno energijo tako uporabili v poljedelstvu, živinoreji in drugih panogah, predvsem gozdarstvu. Ob koncu 19. in na začetku 20. stoletja so tako začeli uporabljati manjše vetrne generatorje oziroma vetrne turbine. Že leta 1930 so večino rančev povezali z daljnovodi, od katerih nekateri še danes uporabljajo vetrne črpalke za živinorejo.

Sama vetrna turbina ima prav tako izjemno zanimivo zgodovino (Shahan, 2014). Prvo vetrno kolo se je pojavilo že v 1. stoletju pred našim štetjem v Grčiji, izdelal pa naj bi ga grški inženir Heron iz Aleksandrije. Prvo pravo vetrno turbino je izdelal James Blyth na Škotskem, visoka je bila 10 metrov, z rezili izdelanimi iz krp. Pomemben korak se je zgodil leta 1888, ko je danski znanstvenik Poul la Cour razvil električni generator za vetrnice in tako vetrnico

spremenil v prototip električne elektrarne, ki jo je uporabil za razsvetljavo v vasi Askov. Danes so vetrnice izjemno pomembne, saj predstavljajo pomemben del energije, ki je proizvedena na trajnostni način. Med vsemi državami, ki proizvedejo največ megavatov (MW) električne energije iz tega vira, so (IRENA; 2021):

- Kitajska 281,993 MW
- Združene Države 117,744 MW
- Nemčija 62,184 MW
- Indija 38,559 MW
- Španija 27,089 MW
- Združeno kraljestvo 24,665 MW
- Francija 17,382 MW
- Brazilija 17,198 MW
- Kanada 13,577 MW
- Italija 10,839 MW

Slika 1: Proizvodnja električne energije s pomočjo vetrnic po svetu (2020)



Vir: Wikipedia.org (2022)

V regiji Jugovzhodne Evrope je na prvem mestu Romunija (3,023 MW), sledijo ji Hrvaška (788 MW), Bolgarija (703 MW) in Srbija (397 MW), Slovenije pa ni med njimi, saj ima zgolj 2 pravi vetrni elektrarni:

- mala Vetrna elektrarna Bate 1 nazivne moči 15 kW, ki je bila postavljena na Banjški leta 2009,
- velika Vetrna elektrarna Dolenja vas nazivne moči 2,3 MW, ki je bila postavljena v Dolenji vasi leta 2012 (to vetrnico sem obiskal tudi sam med družinskim izletom).

Med načrtovanimi je še nedograjena vetrna elektrarna Volovja reber nazivne moči 0,85 MW (2011) in 14 vetrnih elektrarn v Nacionalnem energetskega programu 2030 (NEP 2030) (MZI, 2022). Vetrna energija predstavlja ključni del zelenega prehoda, strategije, ki jo je Evropska unija oblikovala v boju proti podnebnim spremembam. Podnebne spremembe, predvsem globalno segrevanje, namreč izhajajo v veliki meri iz načina pridobivanja in porabe energije. Danes je ena največjih težav na tem področju prav energija, ki jo pridobivamo iz fosilnih goriv, predvsem premoga in nafte (Energysage, 2022).

Tabela 1: Pregled energetskih virov

Premog	Nafta	Zemeljski plin
- ni obnovljiv vir energije; - povzroča izpust toplogrednih plinov in pospešuje globalno segrevanje; - onesnažuje ozračje s trdimi delci in ogljikovim monoksidom; - povzroča kisli dež; - potrebna je delovna sila v rudnikih.	- ni obnovljiv vir energije; - onesnažuje ozračje in morja; - povzroča konflikte in vojne; - iskanje nafte je praviloma drago in nevarno; - drago čiščenje ob razlitjih.	- ni obnovljiv vir energije; - povzroča emisije toplogrednih plinov; - povzroča tanjšanje ozonske plasti; - izguba biotske raznovrstnosti.

So pa danes na voljo tudi številne *zelen*e alternative, med katerimi so najpomembnejše hidroelektrarne, nuklearne elektrarne in sončne elektrarne. Pomembno alternativo predstavlja

izkoriščanje hidroenergije, ki ima v Sloveniji še posebej pomembno vlogo. Hidroenergija je vrsta energije, ki je pridobljena z izkoriščanjem moči vode. Pridelujejo jo s pomočjo treh različnih vrst elektrarn.

Prvi način je konvencionalni in temelji na zaježitvi vode s pomočjo jezov in gravitacije. Voda iz višje lokacije teče navzdol, hkrati potiska turbino in tako generira električno energijo.

Drugi način temelji na črpalnih skladiščih, ta pridobivajo energijo na enak način kot jezovi, s tem da je omogočeno tudi upravljanje s časom delovanja.

Tretji način izkorišča plimovanje. Elektrarne na plimo pridobivajo energijo s pomočjo posebnih pontonov in plimovanja vode. Hidroelektrarne so sicer učinkovite in okolju prijazne, so pa drage, odvisne od večjih teles vode ali dežja in obstoječe infrastrukture (npr. pomanjkanje večjih rezervoarjev).

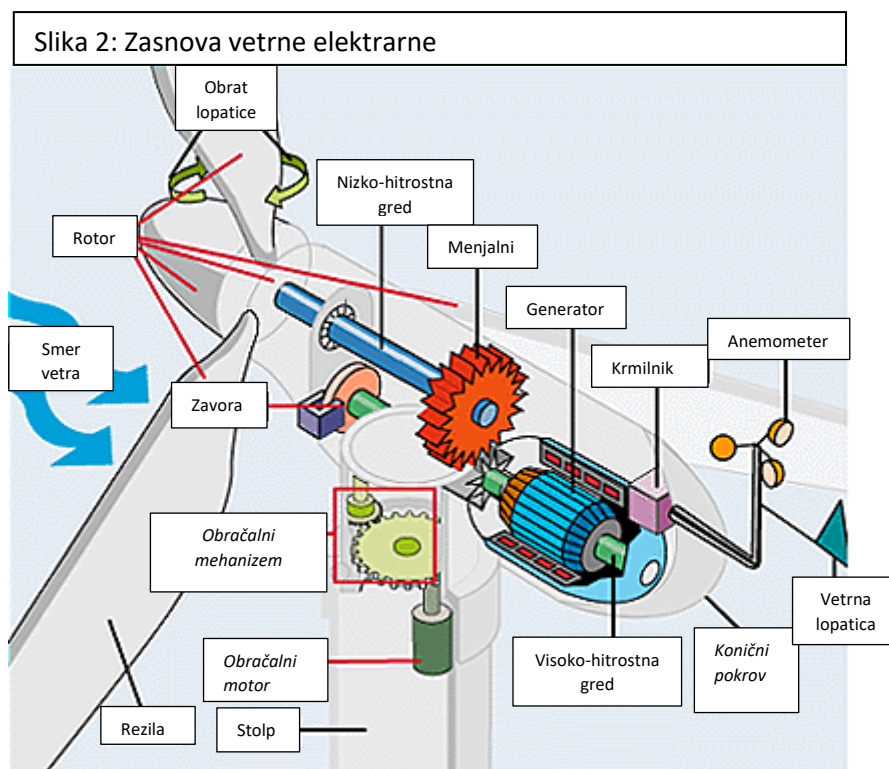
Nuklearna energija sicer predstavlja zeleno alternativo, saj ne obremenjuje okolja z izpusti, ne predstavlja pa v celoti obnovljivega vira energije, pa tudi brez nevarnosti za človeka in okolje ni. Energija se generira tako, da s toploto, ki nastaja ob fisiji oziroma cepitvi atomov urana ali plutonija, uparijo vodo, ta pa poganja parno turbino, priključeno na električni generator. Jedrske elektrarne so sicer izjemno varne in učinkovite, imajo pa tudi slabosti, da so posledice v primeru nesreče katastrofalne. Jedrske elektrarne proizvedejo sicer malo jedrskih odpadkov, ki pa so zelo nevarni in se jih je težko ustrezno znebiti, zraven tega pa elektrarne tudi segrevajo velike količine vode v rekah in jezerih.

Med pomembnejšimi alternativami je tudi sončna energija. Sončne elektrarne izkoriščajo moč sonca. Energijo pridelujejo tako, da zajete sončne žarke pretvorijo neposredno v električno energijo preko fotovoltaičnega sistema (PVS, *photovoltaic solar panel system*). Na prvi pogled se zdijo odlične, a imajo tudi same nekaj problemov, med katerimi gre izpostaviti drago instalacijo sončnih elektrarn ter redno čiščenje in vzdrževanje. Ker so odvisne od sonca, je omejena tudi njihova učinkovitost, saj ponoči ne obratujejo, slabše pa delujejo tudi ob dežju in oblačnem vremenu.

Vetrne elektrarne predstavljajo pomembno alternativo, s tem da so najprimernejše za geografske lokacije, ki so zelo izpostavljene vetru. Kljub temu da je začetna investicija nekoliko dražja, pa so zelo učinkovite, nezahtevne z vidika vzdrževanja in imajo dolgo življenjsko dobo.

4. 2 Vetrne turbine

Vetrna turbina je v osnovi priprava, ki omogoča pretvorbo kinetične energije vetra v električno napetost, to pa ji omogoča posebna zasnova:



Vir: Wikipedia.org (2022)

Vetrne turbine je v glavnem mogoče razdeliti v dve veliki skupini, in sicer na vertikalne in horizontalne, glavna razlika med obema pa je v orientaciji glavne osi, ki nosi vetrna rezila:

1.) Vertikalna vetrna turbina je vrsta vetrne turbine, ki ima os nameščeno prečno na veter. Večino glavnih komponent ima na dnu, kar ji zagotavlja nizko težišče in visoko stabilnost pa tudi olajša servisiranje. Posebnost te vrste vetrnice je tudi v tem, da lahko zajema veter iz katere koli smeri. Ta različica je običajno uporabljena za pridelavo energije v manjšem obsegu, zato so tudi pogoste na strehah zgradb. Imajo od 2 do 12 lopatic z idealno obliko za zajemanje vetra. Imenujejo jih tudi VAWT, kar je tudi kratica za *vertical-axis wind turbines*.

2.) Horizontalna vetrna turbina je vrsta vetrne turbine, ki ima os nameščeno vodoravno. Veter lahko zajema iz samo ene strani, zato pa ima vgrajen sistem za obračanje v smeri vetra, bistvena prednost tega sistema je, da zajame več vetra in posledično več kinetične energije spremeni v

električno energijo. Te so po navadi uporabljene za masivno pridelavo energije in so visoke tudi do 80 metrov. Običajno imajo 3 lopatice, ki skupaj tehtajo približno 22 tisoč kilogramov. Imenujejo jih tudi HAWT, kar je kratica za *horizontal-axis wind turbines*.

Slika 3: Vertikalna vetrna turbina s tremi lopaticami



Vir: ArborWind, 2022

Slika 4: Horizontalna vetrna turbina s tremi lopaticami



Vir: Etcgreen, 2022

5 Praktični del

Praktični del raziskovalne naloge je namenjen pregledu izdelave vseh prototipov in predstavitvi postopka testiranja.

5. 1 Uvodne meritve

Na začetku praktičnega dela naloge sem najprej opravil pregled vseh aparatov, ki bi jih bilo mogoče uporabiti za izdelavo vetrnice. To pomeni, da sem se moral omejiti na aparate, ki vsebujejo elektromotor. V našem gospodinjstvu sem tako našel naslednje aparate: kalorifer, elektromotor mešalca za beton, hladilni ventilator, električni vrtalnik, baterijski vrtalnik in dva manjša računalniška hladilna ventilatorja (glej Sliko 5: Nabor električnih aparatov). Za vsakega od izbranih aparatov sem opravil meritve, da bi lahko ocenil, kolikšen je njegov izhodni potencial. Meritve sem opravljal na naslednji način:

1. Pri ventilatorjih sem s pomočjo zračnega kompresorja zagotavljal pretok zraka preko vetrnice in z multimetrom meril izhodno napetost.
2. Pri vrtalnikih sem s pomočjo drugega vrtalnika, priključenega na vrtalno glavo, zagotovil zadostno število obratov ter z multimetrom meril izhodno napetost.
3. Pri elektromotorju mešalca za beton sem s pomočjo nastavka na osi motorja, ki jo je vrtel oče, zagotovil zadostno število obratov in s pomočjo multimetra meril izhodno napetost.

Slika 5: Nabor električnih aparatov



Vir: lasten

Meritve sem zabeležil v tabeli 2:

Vrsta naprave	Značilnosti	Tip	Zagotovljeni obrati	Izmerjena izhodna napetost
Kalorifer	500 W elektromotor, napetost 220 V	izmenični	Obratov nisem uspel izmeriti, saj nisem imel priprave za merjenje obratov.	
Elektromotor mešalca betona	500 W elektromotor, napetost 220 V	izmenični	192/min	0,160–0,029 V
Ventilator	500 W elektromotor, napetost 220 V	izmenični	približno 300/min	0,123 V
Električni vrtalnik	750 W elektromotor, napetost 220 V	Izmenični	približno 300/min	0,330 V
Hladilni ventilator iz računalnika 1	moč ni zabeležena, 12 V	enosmerni	Obratov nisem uspel izmeriti, saj nisem imel priprave za merjenje obratov.	0,280–0,129 V
Hladilni ventilator iz računalnika 2	moč ni zabeležena, 24 V	enosmerni	Obratov nisem uspel izmeriti, saj nisem imel priprave za merjenje obratov	1,5–12V

Baterijski vrtalnik	moč ni zabeležena, 18 V	enosmerni	približno 300/min	12 V
Vetrnica avtomobilskega ventilatorja	moč ni zabeležena, 12 V	enosmerni	približno 300/min	7–9 V

Iz uvodnih meritev sem spoznal, da bi bila za izdelavo vetrnice najprimernejša avtomobilski ventilator in baterijski vrtalnik:

- prednost avtomobilskega ventilatorja je bila v tem, da je proizvajal sorazmerno veliko napetosti že ob najmanjših obratih na njegovi osi, njegova največja slabost pa je bila v tem, da ta napetost ni stabilna in niha od 0,5 V do 12 V;
- prednost baterijskega vrtalnika je bila v tem, da je takoj proizvajal konstantno napetost 12 V, njegova največja slabost pa v tem, da je bila potrebna velika sila za obračanje njegove osi.

Na podlagi testnih rezultatov sem se odločil, da bom prvi prototip izdelal iz avtomobilskega ventilatorja, saj je za to bilo potrebnih manj modifikacij, vsekakor pa bo eden od prototipov vključeval tudi elektromotor baterijskega vrtalnika, katerega glavna prednost je permanentni magnet.

5.2 Izdelava horizontalne vetrnice

Za prvi prototip sem se odločil, da bom vetrnico izdelal iz avtomobilskega ventilatorja. To različico sem izbral, saj je od vseh najlažja, ker ventilator vključuje vetrnico, ohišje in elektromotor, ki lahko deluje tudi kot generator. Najprej sva z očetom na avtoodpadu kupila dva avtomobilska ventilatorja iz avtomobilov Renault Twingo in Kangoo. Vzeta sta bila iz avtomobilov, namenjenih uničenju, ventilatorjev pa ni bilo mogoče ponovno uporabiti na drugačen način. Najprej sem se odločil, da izdelam horizontalno vetrnico, za katero je bil najprimernejši ventilator iz avtomobila Renault Twingo. Izdelava prototipa je zahtevala dodatno izdelavo vetrnih rezil, konstrukcije vetrnice in stojala:

1. Vetrna rezila sem izdelal iz odtočne cevi premera 125 mm, ki sem jo razrezal na 4 enake dele, dolge 50 cm. Odrezke sem s toplotno pištolo nekoliko preoblikoval, da bi

jih lažje z vijaki pritrdil na obstoječo vetrnico ventilatorja. Ko so bili odrezki pritrjeni, sem rezila še nekoliko oblikoval in zbrusil v aerodinamično obliko.

2. Konstrukcijo vetrnice sem izdelal iz odpadnega železa, ki sem ga našel v domači delavnici. Rezanje in varjenje sem večinoma opravil sam, oče pa mi je pomagal pri zahtevnejših postopkih, predvsem vrtanju in rezanju s kotnim brusilnikom. Konstrukcija je vključevala pričvrstitveni mehanizem za vetrnico, uležajeni tečaj, ki ji omogoča obračanje v vetru, in rep, ki jo usmerja v veter. Ker je izdelava tečaja zahtevala uporabo stružnice, sem za izdelavo tega prosil svojega brata, ki ima izkušnje s takšnim orodjem.
3. Stojalo tega prototipa sem izdelal iz odpadne cevi in podnožja pisarniškega stola.

Sliki 6 in 7 prikazujeta postopek izdelave in končani prototip 1:

Slika 6: Izdelava ohišja vetrnice



Vir: lasten

Slika 7: Testna postavitve vetrnice



Vir: lasten

5. 2. 1 Test 1

Prvi test na prototipu 1 sem opravil 12. 2. 2022. Vetrnico sem testiral na hribu Gorca v Malečniku. Vreme je bilo hladno, sončno in zmerno vetrovno. Za postavitev vetrnice sem našel odprt in izpostavljen prostor, postavil pa sem jo na ravno površino (glej Sliko 8):

Slika 8: Prvo testiranje horizontalne vetrnice



Vir: lasten

Test je pokazal naslednje izsledke:

1. V tem testu so se rezila vetrnice sicer obračala, vendar ne tako, kot sem pričakoval. Iz tega sem sklepal, da so rezila obrnjena v napačno smer in da bodo bolj učinkovita, če jih obrnem iz izbočene v vbočeno pozicijo.
2. Vetrnica se je zelo težko orientirala v veter, saj je imela težišče ob repu, zraven tega pa tudi rep ni imel polnila, ki bi učinkovito usmerjalo vetrnico. Na podlagi tega sem sklenil, da je potrebno zadnji del vetrnice zapolniti in težišče premakniti proti rotorju.
3. Največja težava je bila tudi v tem, da vetrnica kljub dobremu vetru ni proizvajala elektrike s konstantno napetostjo. Na podlagi tega sem potrdil svojo ugotovitev, da je za konstantno napetost potreben elektromotor s permanentnim magnetom.

5. 2. 2 Test 2

Opisane pomanjkljivosti prototipa 1 sem se odločil odpraviti s predelavo osnovne zasnove in izdelal sem prototip 2. Ta je imel naslednje modifikacije:

1. Obrnjena rezila vetrnice – prototipu 1 sem rezila, ki so bila orientirana konveksno glede na smer vetra, obrnil v konkavno pozicijo.
2. Rep sem preoblikoval tako, da sem odpravil nesposobnost orientiranja vetrnice v veter.

Po opravljenih modifikacijah sem 14. 2. 2022 opravil novo testiranje. Lokacija je bila enaka in tudi vremenski pogoji so bili zelo podobni tistim v testu z dne 12. 2. 2022. Test je pokazal, da so obrnjena rezila veliko bolj učinkovita, saj je vetrnica takoj zajela bistveno več vetra in hitro pridobila veliko število obratov. Tudi modifikacije na repu so se pokazale kot dobre, saj se je vetrnica uspela samodejno prilagajati smeri vetra. Kljub večji učinkovitosti glede hitrosti pa je vetrnica še vedno proizvajala nestabilno napetost od 0,5 do 12 V. Ta test je odkril tudi novo pomanjkljivost same zasnove vetrnice, in sicer v njenem podnožju. Zaradi večje učinkovitosti vetrnih rezil in velikih obratov vetrnice je celotna konstrukcija postala nestabilna, kljub temu da sem jo postavil na ravno površino. Po več padcih vetrnice sem ugotovil, da je podnožje pisarniškega stola neprimerno za stojalo, saj ima kolesa, pa tudi podnožje je premajhnega premera, da bi vetrnici zagotavljalo stabilnost. Naslednji prototip bo torej moral vsebovati dve modifikaciji:

1. Rotor s permanentnim magnetom, ki bo zagotavljal konstantno napetost.
2. Stabilno podnožje, ki bo sposobno kljubovati sunkom vetra in ohranjati vetrnico stabilno.

Ker je osnovni načrt moje naloge predvideval izdelavo horizontalne in vertikalne vetrnice, sem se na tej točki odločil, da pred izdelavo novega prototipa najprej izdelam še vetrnico z vertikalno osjo.

5. 3 Izdelava vertikalne vetrnice

Za izdelavo vertikalne vetrnice sem uporabil kroge odpadnega železa, ki sem jih našel v domači garaži. Kroge sem počistil, začrtal sredino in na robovih izvrtal luknje. Oba kroga sem povezal z navojnimi palicami (glej Sliko 9). Vetrna rezila sem izdelal iz PVC odtočne cevi premera 125

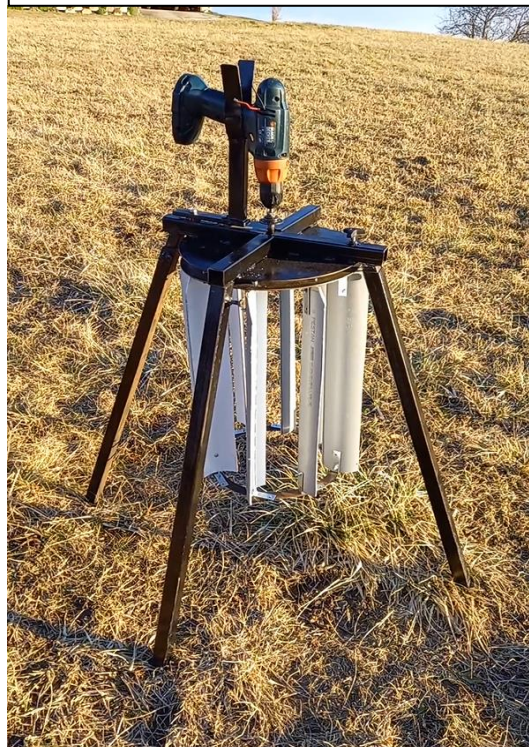
mm in dolžine 50 cm, ki sem jo razrezal na 4 enake dele. Te sem počistil in jih s kotniki pričvrstil na ohišje. Hkrati sem izdelal tudi stabilno podnožje, za katerega sem uporabil kose

Slika 9: Izdelava jedra vertikalne vetrnice



Vir: lasten

Slika 10: Test vertikalne vetrnice



Vir: lasten

odpadnega železa (glej Sliko 10). Za vezni člen med vetrnico in podnožjem sem uporabil pesto starega kolesa, na os katerega sem pritrdil vrtalno glavo baterijskega vrtalnika. Baterijski vrtalnik je bil predelan tako, da sem iz njega odstranil baterijo in regulacijski mehanizem. Za baterijski vrtalnik sem se odločil, saj so predhodni testi pokazali, da ta proizvaja najbolj stabilno napetost.

5. 3. 1 Test 3

Testiranje vetrnice sem opravil 16. 2. 2022 na isti lokaciji. Vremenski pogoji so bili podobni pogojem 12. 2. in 14. 2. 2022, le da je veter pihal nekoliko močnejše. V prvem testu sem vetrnico zagnal v prostem teku, torej brez priključenega baterijskega vrtalnika. Test je pokazal, da je sama zasnova dobra, saj se je vetrnica vrtela zelo tekoče, pa tudi podnožje se je pokazalo kot izjemno stabilno. V drugem testu sem vetrnico testiral pod obremenitvijo, torej s priključenim baterijskim vrtalnikom. Test je pokazal, da vetrnica ne zajame dovolj vetra, da bi rezila

premaknila v tek. Vetrnice mi ni uspelo pognati tudi po več poskusih ročnega zagona in ob vetru, ki se je proti koncu testa močno okreplil. Iz tega testa sklepam, da bi bilo potrebno vetrnico predelati tako, da bi bodisi zajemala več vetra, kar bi dosegel z izdelavo večjih vetrnih rezil, bodisi z mehanizmom, ki bi razbremenil os vetrnice in ji omogočil vrtenje tudi pri šibkejšem vetru. Za te potrebe bi bil ustrezen na primer mehanizem z reduktorjem.

5. 4 Predelava horizontalne in vertikalne vetrnice

Na podlagi opravljenih testov sem se odločil, da bom oba prototipa nekoliko predelal in ju združil v enotni prototip, prototip 3. Glavna prednost tega prototipa bo temeljila na integraciji pozitivnih značilnosti prototipa 1 in prototipa 2.

Test prototipa 1 je pokazal, da bi bilo potrebno zagotoviti večjo stabilnost proizvedene napetosti, zato sem se odločil, da bom uporabil elektromotor s permanentnim magnetom. Ta predelava je zahtevala tri večje posege v zasnovo:

1. zamenjavo elektromotorja ventilatorja z elektromotorjem iz baterijskega vrtalnika;
2. izdelavo nove vetrnice, kar je bilo izvedljivo samo na podlagi hkratne izdelave novih vetrnih rezil in centralnega pričvrstitvenega mehanizma in
3. delno predelavo ohišja vetrnice.

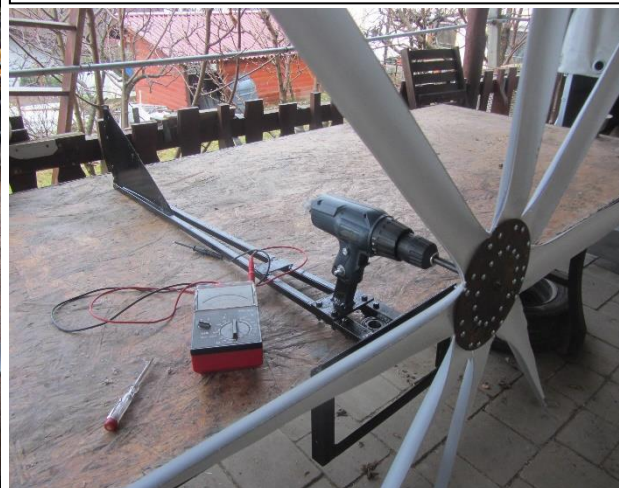
V postopku predelave sem izdelal novi vetrniški sistem z osmimi rezili (glej Sliko 11), ustrezno pa sem predelal tudi ohišje vetrnice, tako da sem nanj lahko namestil elektromotor s permanentnim magnetom (glej Sliko 12):

Slika 11: Običajna (desno) in predelana vetrnica (levo) z osmimi rezili



Vir: lasten

Slika 12: Prvo testiranje predelane vetrnice z elektromotorjem baterijskega vrtalnika



Vir: lasten

5. 4. 1 Test 4

Test 4 sem prvič opravil 26. 2. 2022. Test sem poskušal opraviti s predelanim prototipom vetrnice ter z obremenitvijo elektromotorja/generatorja, saj sem želel testirati, ali vetrnica proizvaja konstantno napetost (glej Sliko 13). Vremenski pogoji so bili sicer ugodni, vendar je bilo vetra premalo, da bi lahko premaknil vetrnico, zato sem test po približno pol ure prekinil. 27. 2. 2022 sem zamenjal lokacijo, predvsem z željo, da bi vetrnico izpostavil večji moči vetra. Ker tudi ta dan ni bilo vetra, sem test prestavil na naslednji dan.

Slika 13: Prvo testiranje integrirane vetrnice z elektromotorjem



Vir: lasten

Zadnje testiranje prototipa sem opravil 5.3.2022 in sicer v kraju Krmpote, ki se nahaja na pobočju gorovja Velebit na Hrvaškem. Ta kraj sem izbral, saj ima izjemno vetrovno lego, glede na to, da je tam tudi postavljenih že 13 industrijskih vetrnic, je tudi dokazano primeren za testiranje. Testiranje je bilo opravljeno v izjemno vetrovnem vremenu, kar je bilo z vidika rezultatov zelo pozitivno. Vetrnica s permanentnim magnetom je namreč takoj zajela veter in začela proizvajati konstantno napetost 18 V. Test je potekal tekoče in po 10 minutah sem ga prekinil, saj sem ga ocenil za uspešnega.

Slika 14: Zadnje testiranje integrirane vetrnice z elektromotorjem baterijskega vrtalnika



Vir: lasten

6 Sklep

V svoji raziskovalni nalogi sem s pomočjo treh prototipov izdelal dve vrsti vetrnic, in sicer horizontalno in vertikalno, vse prototipe pa sem testiral. Na podlagi ugotovitev testiranj lahko odgovorim na raziskovalna vprašanja:

RV1: Ali je mogoče v domači delavnici izdelati vetrno elektrarno?

Odgovor na to vprašanje je pritrdilen – v domači delavnici je nedvomno mogoče z običajnim materialom in nezahtevnim orodjem izdelati oba tipa vetrnice.

RV2: Katera od zasnov je lažja za izdelavo in učinkovitejša pri proizvodnji električne energije?

Moje izkušnje so pokazale, da je za izdelavo lažja horizontalna vetrnica, saj:

- ne zahteva posebno zapletenega ohišja,
- vetrnih rezil ni potrebno izdelati v celoti, saj jih je mogoče zgolj nadgraditi.

Na drugi strani pa je vertikalno vetrnico potrebno izdelati v celoti, zasnova je kompleksna, izdelava pa zahtevna.

Glede učinkovitosti pa moji izsledki niso dokončni:

- iz vidika neodvisnosti od smeri vetra je najučinkovitejša vertikalna vetrnica, saj zajema veter ne glede na smer, iz katere piha;
- glede proizvodnje napetosti je najučinkovitejša vertikalna vetrnica, saj ima večjo površino vetrnih rezil in zajame več vetra;
- glede konstantnosti proizvedene napetosti pa nobeden od mojih prototipov ni pokazal ustreznih rezultatov, saj nisem uspel zagotoviti lokacije z zadostnim vetrom, da bi prototipa v resnici lahko testiral.

Na podlagi teh odgovorov lahko testiram svoji hipotezi:

H1 – Lažje bo zgraditi horizontalni prototip, saj je zasnova vertikalnega bolj kompleksna, je potrjena.

H2 – Učinkovitejša bo horizontalna vetrnica, saj rezila zajemajo večjo površino in tako tudi ujamejo več vetra, je potrjena.

Za nadaljevanje dela in testiranja bi bilo potrebno izdelati predvsem mehanizme, ki bi omogočali delovanje elektrarne tudi ob šibkejšem vetru. Za to bi bilo potrebno izdelati reduktorske oziroma prenosniške mehanizme, kar pa presega orodja, čas in znanje, ki mi je na voljo.

7 Družbena odgovornost in razprava

Po besedah Anite Hrast je družbena odgovornost (Hrast, 2022: n.p.): »/.../ je 'odgovornost' za vplive na družbo, tj. na ljudi in naravo. Je eno izmed ključnih orodij za doseg trajnostnega razvoja.«

Na podlagi takšnega razumevanja izkazuje moja naloga družbeno odgovornost v naslednjih točkah:

1. dviguje pozornost o povezavi med pridobivanjem energije in s tem povezanimi okoljskimi težavami;
2. dviguje ozaveščenost glede možnosti pridobivanja energije v domačem okolju;
3. zagotavlja znanje in s tem opolnomočenje glede korakov, ki jih lahko naredimo, da si zagotovimo trajnostni vir energije, v primeru moje naloge – doma izdelane vetrne elektrarne.

8 Viri

ArborWind (2022). Dostopno preko: <https://arborwind.com/vertical-axis-wind-turbines/> (21. 2. 2022).

EIA (2021): Wind explained-History of wind power. Dostopno preko: <https://www.eia.gov/energyexplained/wind/history-of-wind-power.php> (11. 12. 2021).

Energysage (2022). Dostopno preko: <https://www.energysage.com/about-clean-energy> (9. 1. 2022).

Etcgreen (2022). Dostopno preko: <http://etcgreen.com/horizontal-axis-wind-turbine-2mw/> (20. 2. 2022).

Hrast Anita (2022): Zakaj biti družbeno odgovorna organizacija? Dostopno preko: <https://www.hrm-revija.si/zakaj-biti-druzbeno-odgovorna-organizacija> (25. 2. 2022).

Ministrstvo za infrastrukturo Republike Slovenije (MZI) (2022): Dolgoročno načrtovanje energetske politike. Dostopno preko: <https://www.energetika-portal.si/dokumenti/strateski-razvojni-dokumenti/dolgorocno-nacrtovanje-energetske-politike/> (22. 2. 2022).

Shahan, Zachary (2014): History of Wind Turbines. Dostopno preko: <https://www.renewableenergyworld.com/storage/history-of-wind-turbines/#gref> (11. 12. 2021).

The International Renewable Energy Agency (IRENA) (2021): Renewable Energy Capacity Statistics 2021. Dostopno preko: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Apr/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2021.pdf (25. 2. 2022).

Wikipedia (2022): Wind power by countryž. Dostopno preko: https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power_by_country#cite_note-28 (22. 2. 2022).