

ZVEZA ZA TEHNIČNO KULTURO SLOVENIJE  
57. SREČANJE MLADIH RAZISKOVALCEV SLOVENIJE 2023

RAZISKOVALNA NALOGA

## **Izkoristek vodne turbine glede na obliko lopatic**

Raziskovalno področje: tehnika in tehnologija

Avtorja: Matevž Marhold in Mateo Krepek

Mentor: Ervin Potnik

Osnovna šola Maksa Durjave Maribor

Maribor, 2023

## KAZALO VSEBINE

POVZETEK .....	4
1. UVOD .....	5
2. PREGLED STANJA TEHNIKE .....	6
2.1. Voda je obnovljiv vir energije .....	6
2.2. Hidroenergija .....	6
2.3. Vrste hidroelektrarn .....	6
2.4. Vodne turbine.....	6
2.5. Turbinske lopatice .....	7
2.6. Električni generator .....	7
2.7. Izkoristek turbine.....	8
3 MATERIAL IN METODE .....	9
3.1. Tehnične podrobnosti .....	9
3.2. Stroji, naprave, orodja in pripomočki.....	9
3.3. Varnost pri delu .....	9
3.4. Postopek izdelave lopatic .....	9
3.5. Mehanizem delovanja turbine .....	12
4 REZULTATI.....	14
Graf 1: Izkoristek turbine .....	15
5 DISKUSIJA.....	15
6 DRUŽBENA ODGOVORNOST.....	16
7 ZAKLJUČEK .....	17
8 PRILOGE .....	18
9 VIRI IN LITERATURA .....	19

## KAZALO SLIK

Slika 1: Hidroelektrarna .....	8
Slika 2: Enakotlačna vodna turbina.....	8
Slika 3: Trikotna lopatica z zavihki.....	11
Slika 4: Pravokotna lopatica z zavihki .....	11
Slika 5: Pravokotna lopatica brez zavihkov .....	11
Slika 6: Okrogla lopatica z zavihki .....	11
Slika 7: Rotor .....	11
Slika 8: Vtikanje lopatic .....	12
Slika 9: Rotor in 10 trikotnih lopatic z zavihki .....	12
Slika 10: Risanje na pločevino .....	12
Slika 11: Risanje na pločevino .....	14
Slika 12: Merilna proga.....	14
Slika 13: Preizkušanje trikotnih lopatic z zavihki .....	14
Slika 14: 24.naloga iz nacionalnega preverjanja iz predmeta tehnika in tehnologija .....	19
Slika 15: Načrt za izdelavo lopatic.....	19

## POVZETEK

Energija tekočih voda je obnovljiv energetski vir. Pri pridobivanju elektrike ne povečuje vsebnosti toplogrednih plinov v ozračju. Ključen element za povečanje učinkovitosti so turbine. Izdelala sva model turbine tako, da sva izlivala znano količino vode iz izbrane višine in oblikovala turbino tako, da bo kar najvišje dvignila izbrano maso uteži. Iz pripadajočega mehanizma in osnovnih fizikalnih zakonov sva določila izkoristek turbine. Za raziskavo ugotovitve vplivov oblike lopatic na izkoristek turbine sva izdelala potrebno število lopatic in rotor, katere sva namestila na gred v ohišju merilne proge. Spustila sva vodo na lopatice in merila učinek turbine.

## 1. UVOD

Pri predmetu tehnika in tehnologija smo reševali lansko polo nacionalnega preverjanja znanja. Naloga 24 je bila zelo zanimiva, saj je bila na priloženi sliki turbina, ki jo je učenka Lili izdelala pri pouku tehnike. Na naloge sva odgovorila in dobila idejo, da bi raziskala, če je pravokotna oblika lopatic z zavihki res naj bolj učinkovita. Iz gradiva aluminijeve pločevine, ki jo uporabljamo tudi letos pri praktičnemu delu, sva izdelala 4 različne oblike lopatic.

Po izdelavi tehnološkega lista in tehnične risbe sva naredila in preizkusila rotor in 4 različne oblike aluminijastih lopatic in tako poiskala najučinkovitejši izkoristek turbine.

Postavila sva hipotezo, da najučinkovitejši izkoristek pričakujeva pri vodni turbini z lopaticami, ki imajo zavihke.

## 2. PREGLED STANJA TEHNIKE

### 2.1. Voda je obnovljiv vir energije

Zaradi sončnega obsevanja, ki dospe na površino Zemlje, voda neprestano kroži. To kroženje imenujemo hidrološki krog. Zanj se porabi okoli 23% sončnega obsevanja. V naravi se stalno obnavlja, zato uvrščamo vodne elektrarne med naprave, ki izkoriščajo obnovljiv vir energije.

### 2.2. Hidroenergija

Električna energija, ki jo pridobimo z izkoriščanjem energije vode, je obnovljiv vir energije, ki je trajen oziroma se v naravi stalno obnavlja, je tudi čist vir energije, saj pri delovanju hidroelektrarne ne prihaja do nikakršnih odpadkov, emisij CO<sub>2</sub> in drugega onesnaževanja okolja.

Vodni sistemi pretvarjajo potencialno energijo vode, ki teče z določenim padcem (ali višinsko razliko), v uporabno energijo. Izkoriščanje moči vode je cenejše od električne energije iz fosilnih goriv. V hidroelektrarnah poteka pretvorba hidroenergije v električno energijo.

### 2.3. Vrste hidroelektrarn

V hidroelektrarnah se potencialna energija vode pretvarja v električno energijo. Med hidroelektrarne običajno prištevamo tudi elektrarne, ki izkoriščajo plimo in oseko. Izkoristek, s katerim pretvarjajo vodne turbine energijo vode v mehansko, je na splošno med 85 in 95 %. Ločimo pretočne in akumulacijske elektrarne.

### 2.4. Vodne turbine

Vodne turbine so stroji z imenskim premerom rotorja lahko tudi po več metrov. Tovrstne stroje vgrajujejo na hidroelektrarne različnih vodnih virov (od majhnih potokov do rek in celo pri izkoriščanju morja). Izkoristimo lahko že najmanjše pretoke in padce vode. Izkoristek pravih turbin je bistveno večji od izmerjenega naše šolske turbine in znaša čez 90 %. Za izdelavo prave

turbine se najprej poslužujemo modelov, ki jih preskusimo za realne razmere, nato pa s pomočjo posebne analize (dimenzijska analiza) določimo mere (konstrukcija, projekt) prave turbine.

Vodne turbine so pogonski stroji, ki pretvarjajo potencialno in kinetično energijo vode v mehansko oz. v delo. Obstaja več vrst vodnih turbin, od katerih uporabljamo danes največ Bankijevo, Peltonovo, Francisovo in Kaplanovo. Glede na njihove lastnosti jih delimo po načinu pretvarjanja vodne energije na akcijske (enotlačne) in reakcijske (nadtlačne).

Vodne turbine so glede na smer pretoka vode:

- Radialne (Francisova turbina),
- aksialne (Kaplanova turbina),
- diagonalne in
- tangencialne (Peltonova turbina).

Delimo pa jih tudi glede na lego osi vodne turbine:

- Navpične,
- vodoravne,
- poševne.

## 2.5. Turbinske lopatice

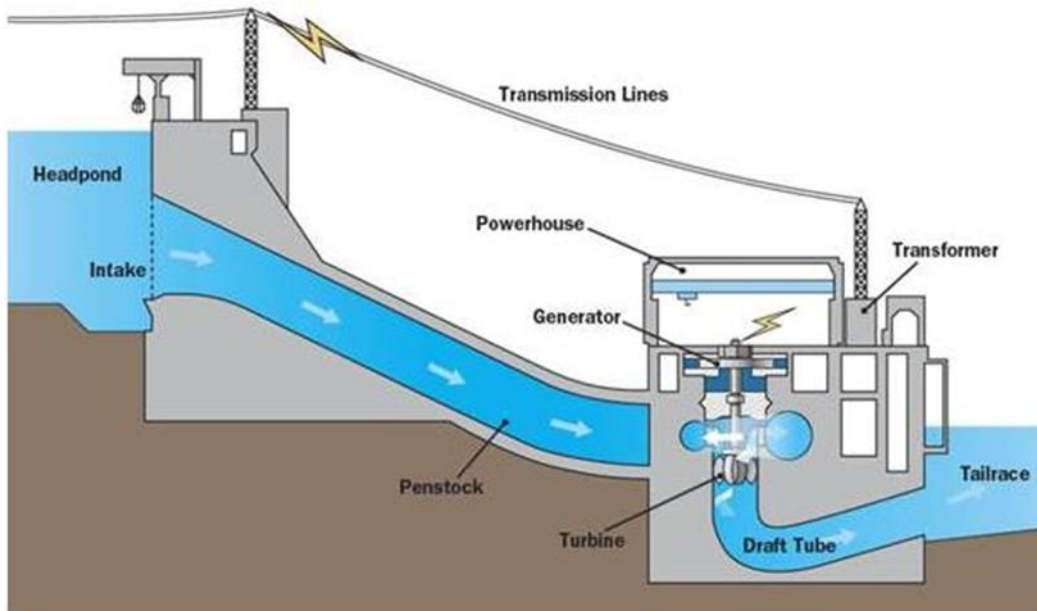
Lopatice so oblikovane tako, da od vodnega toka prevzamejo čim več kinetične (gibalne) energije.

## 2.6. Električni generator

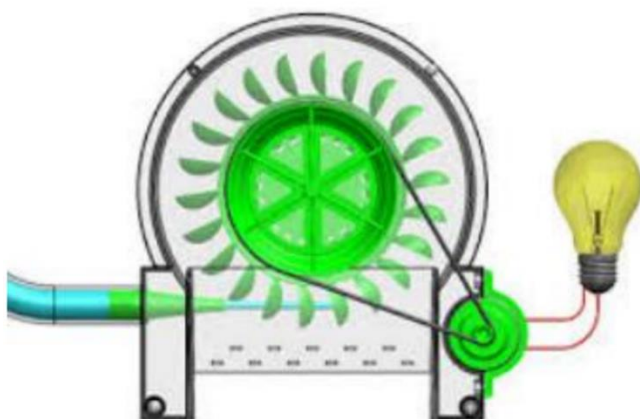
Električni generator sestavljajo stator (mirujoči del), rotor (ki se vrti) in elektromagnetni poli, nameščeni na obodu rotorja. Ko se rotor zavrti, se vzpostavi gibanje magnetnega polja glede na vodnike navitja. V navitju se inducira električna napetost, ki jo lahko izmerimo med začetkom in koncem navitja.

## 2.7. Izkoristek turbine

Izkoristek turbine nam pove kolikšen delež razpoložljive vodne energije (padeč, količina/pretok) smo uspeli pretvoriti v mehansko delo. Izkoristek turbine bo večji, če bo: število in oblika lopatic tako, da lopatice prihajajo v stik s curkom.



Slika 1: Hidroelektrarna (vir: Wikipedija)



Slika 2: Enakotlačna vodna turbina (vir: Wikipedija)



## 3 MATERIAL IN METODE

### 3.1. Tehnične podrobnosti

Merilna proga je sestavljena iz večje prozorne posode (s pipo) za ohišje turbine, rotor z lopaticami, rezervoar za vodo (20 l) s pipo, na stojalu (višina,  $h=2,3$  m), dovodna PVC cev dolžine 3 m in svetlega premera 10 mm, turbinska gred (cev iz umetne snovi  $\varnothing 20$  mm) na katero sva preko vrvice ( $\varnothing 1,5$  mm, dolžine 3 m) obesila breme. Breme je vpeto na vrvici, ki se navija na gred in preko škripca omogoča dvig uteži (spremembo potencialne energije). Uporabila sva kovinske uteži.

Rotor je iz penjenega PVC, lopatice iz aluminija  $t = 0,6$  mm. Lopatice so vstavljene v utore in zalepljene s lepilom.

### 3.2. Stroji, naprave, orodja in pripomočki

Uporabila sva: vibracijsko žago, kolutni in tračni brusilnik, stebelni vrtalni stroj, digitalno tehtnica, ročni kalkulator, vzvodne škarje, kombinirane kleščice, kladivo 250 g, sveder  $\varnothing 20$  mm, kovinski merilni trak, pisala, šestilo, dva trikotnika, kotomer, listi in brisače.

### 3.3. Varnost pri delu

Pozorna sva bila na osebna zaščitna sredstva in ukrepe varnega dela. Po pravilih sva izvedla tehnološke operacije ob nadzoru mentorja. Posebno pozornost sva namenila pri izdelavi lopatic (rezanje in krivljenje) ter sestavi v rotor. Učitelj naju je opozoril tudi na delo z lepilom.

### 3.4. Postopek izdelave lopatic

Potrebovala sva: šilo, kombinirane kleščice ter vzvodne škarje. S šilom sva narisala obliko lopatice ter jo z vzvodnimi škarjami izrezala. Nato s kombiniranimi kleščicami ukrivila dele, kjer je bilo to potrebno. Lopatice sva nato vstavila v zareze rotorja, ki sva ga izdelala z električno

reznjačo. Obdelovalne postopke za kovino in plastiko, ki sva jih izbrala so bili merjenje, zarisovanje, striženje, brušenje in krivljenje. Naredila sva tehnološki list in tehniško risbo.

Oblika1: pravokotna ( $A \times B = 25 \times 20$  mm)

Oblika2: pravokotna z zavihki ( $A \times B = 25 \times 20$  mm)

Oblika3: trikotna z zavihki (enakostranični trikotnik stranica  $a = 34$  mm z zavihki)

Oblika4: okrogla z zavihki premer 45mm

Izdelala sva rotor z utori za 10 lopatic. Izdelala sva 10 lopatic pravokotne oblike brez zavihkov, 10 lopatic pravokotne oblike z zavihki, 10 lopatic trikotne oblike z zavihki in 10 lopatic krožne oblike z zavihki.



*Slika 3: Trikotna lopatica z zavihki*



*Slika 4: Pravokotna lopatica z zavihki*



*Slika 5: Pravokotna lopatica brez zavihkov*



*Slika 6: Okrogla lopatica z zavihki*

*(vir: lasten)*



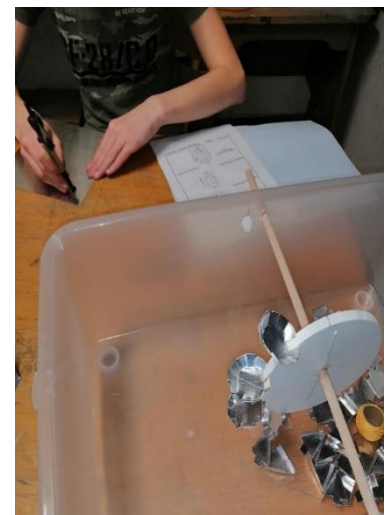
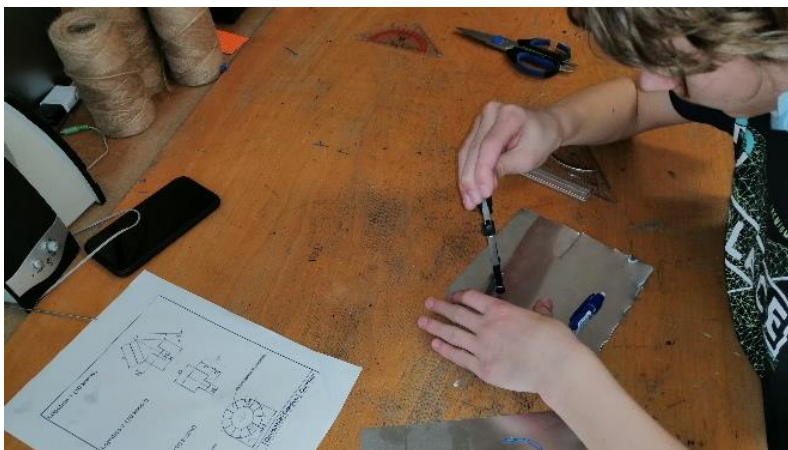
*Slika 7: Rotor*



Slika 8: Vtikanje lopatic (vir: lasten)



Slika 9: Rotor in 10 trikotnih lopatic z zavihki (vir: lasten)



Slika 10 in 11: Risanje na pločevino (vir: lasten)

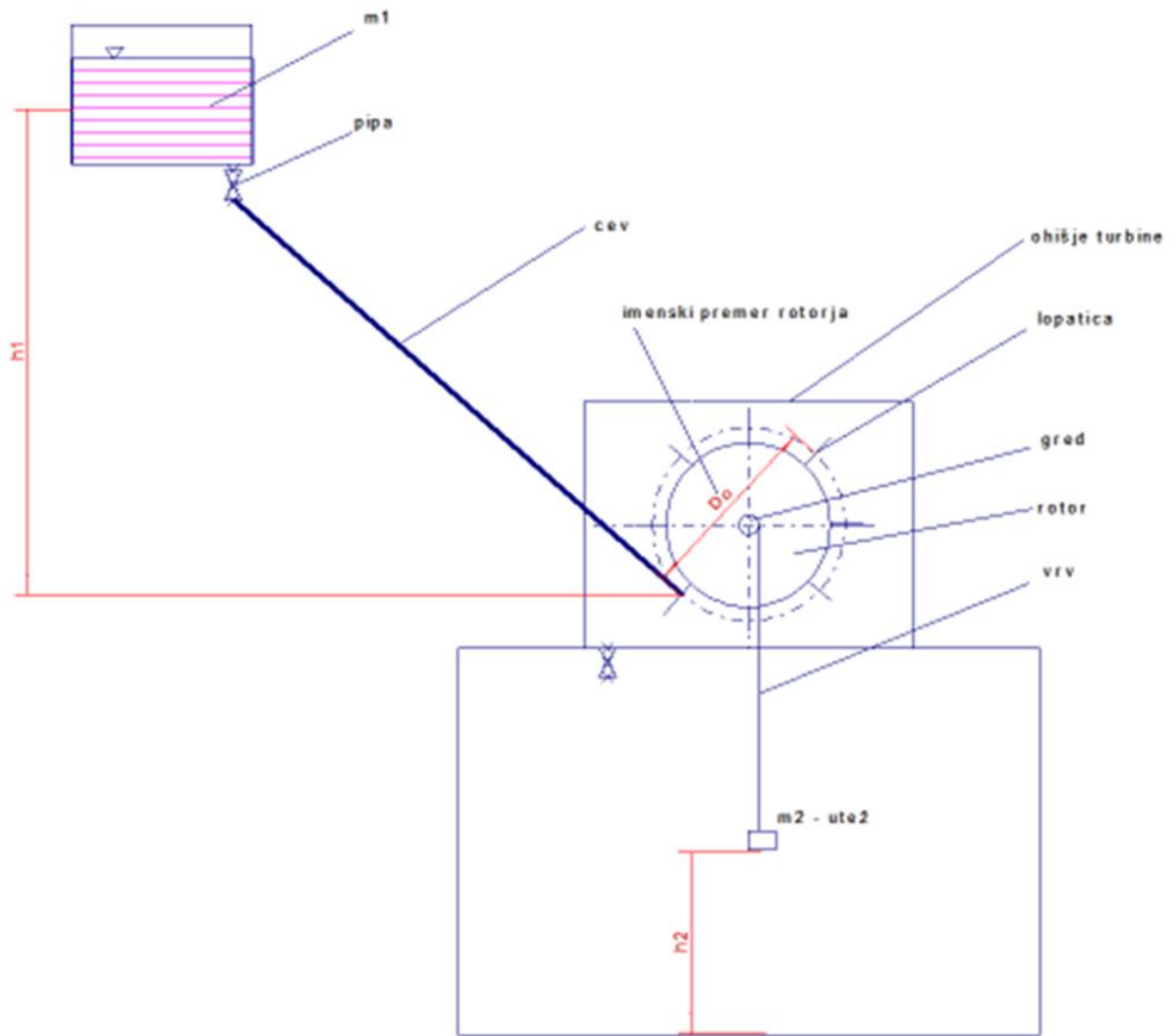
### 3.5. Mehanizem delovanja turbine

Voda (5 l) z razpoložljivim padcem  $h_1$  izteka skozi pipo na posodi v cevovod, ki vodi do rotorja turbine. Na lopatici odda energijo in rotor se začne vrteti. Na rotorsko gred sva obesila breme (predhodno umerimo merilno območje) in to breme se začne dvigovati v smeri  $h_2$ . Ko je iztekla vsa voda iz zgornje posode, sva izmerila končno višino  $h_2$ . Učinek najine energije merimo z izkoristkom, ki predstavlja razmerje med dobljeno koristno energijo (delom) in razpoložljivo energijo. To se izrazi kot:

$$\eta = \frac{m_2 \cdot g \cdot h_2}{m_1 \cdot g \cdot h_1} \cdot 100[\%],$$

- kjer je  $m_1$  = masa vode v posodi v kg,
- $g$  = težni pospešek 9,81 m/s<sup>2</sup>,
- $h_1$  = razpoložljiv padec v m,
- $m_2$  = masa uteži v kg,
- $h_2$  = višina dviga uteži v m.

$h_1 = 2,3$  m,  $m_1 = 5$ l=kg,  $m_2 = 0,30 - 0,150$  kg



Slika 11: Shema merilne postaje vodne turbine (ciciCAD v2.5 SP6)



Slika 12: Merilna proga



Slika 13: Preizkušanje trikotnih lopatic z zavihki

## 4 REZULTATI

PRAVOKOTNE LOPATICE BREZ ZAVIHKOV
MERITEV 1
Masa vode = 5kg Težni pospešek = 9,81 m/s <sup>2</sup> Višina dviga uteži = 1m Masa uteži = 0,30kg Razpoložljiv padec = 2,3m
$\eta = \frac{m_2 \cdot g \cdot h_2}{m_1 \cdot g \cdot h_1} \cdot 100[\%],$
<b>3%</b>

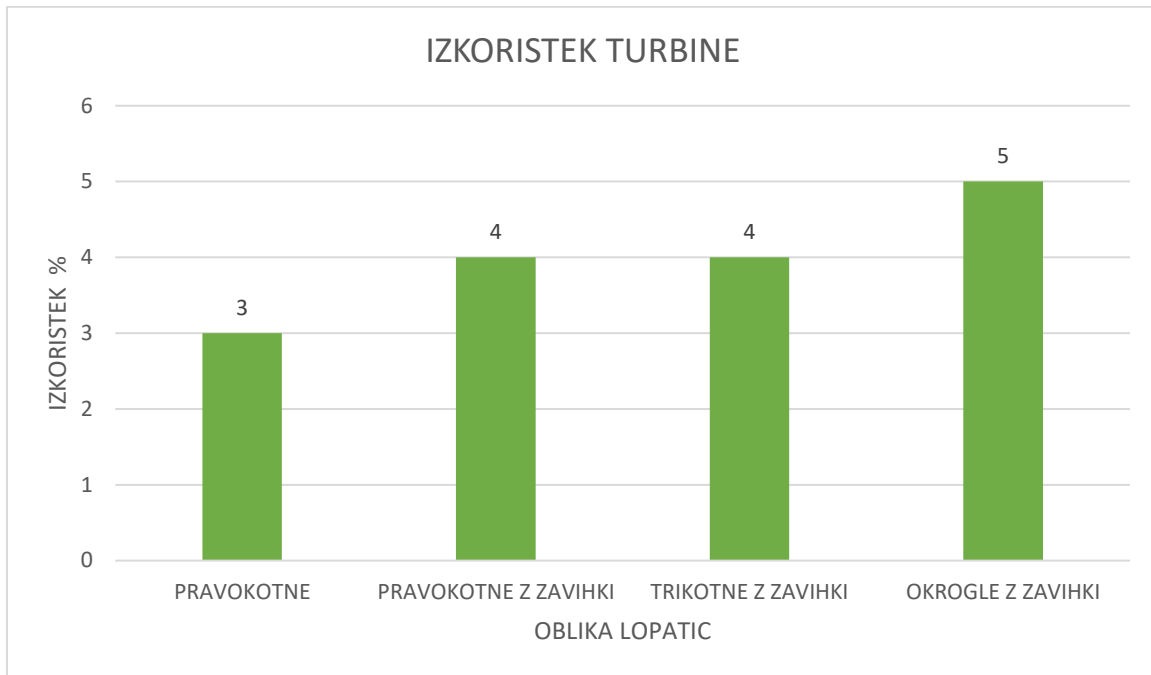
PRAVOKOTNE LOPATICE Z ZAVIHKI
MERITEV 1
Masa vode = 5kg Težni pospešek = 9,81 m/s <sup>2</sup> Višina dviga uteži = 1,5m Masa uteži = 0,30kg Razpoložljiv padec = 2,3m
$\eta = \frac{m_2 \cdot g \cdot h_2}{m_1 \cdot g \cdot h_1} \cdot 100[\%],$
<b>4%</b>

TRIKOTNE LOPATICE Z ZAVIHKI
MERITEV 1
Masa vode = 5kg Težni pospešek = 9,81 m/s <sup>2</sup> Višina dviga uteži = 1,6m Masa uteži = 0,30kg Razpoložljiv padec = 2,3m
$\eta = \frac{m_2 \cdot g \cdot h_2}{m_1 \cdot g \cdot h_1} \cdot 100[\%],$
<b>4%</b>

PRAVOKOTNE LOPATICE Z ZAVIHKI
MERITEV 1
Masa vode = 5kg Težni pospešek = 9,81 m/s <sup>2</sup> Višina dviga uteži = 2m Masa uteži = 0,30kg Razpoložljiv padec = 2,3m
$\eta = \frac{m_2 \cdot g \cdot h_2}{m_1 \cdot g \cdot h_1} \cdot 100[\%],$
<b>5%</b>

Z vsako obliko lopatic sva opravila 3 meritve. V meritve sva vključila različne uteži.

Graf 1: Izkoristek turbine



## 5 DISKUSIJA

Med aktivnim raziskovanjem sva se seznanila z obstoječimi modeli turbin, proučevala njihovo zgradbo in delovanje ter največ časa posvetila oblikovanju lopatic. Naučila sva se osnovne zakonitosti delovanja vodne turbine, proučila sva sestavne dele in izvedla preskus učinkovitosti. Po meritvah na merilni postaji sva dobila rezultate, ki so pokazali, da izdelane lopatice okrogle oblike z zavihki prevzamejo največ gibalne energije, zato je izkoristek tukaj 5% in je večji od ostalih oblik lopatic. Parametre, ki bi jih še lahko vključila v raziskavo in vplivajo na boljši izkoristek vodne turbine so: število lopatic, površina lopatic, premer rotorja in zasuk lopatic.

## 6 DRUŽBENA ODGOVORNOST

Hidroelektrarne so bolj prijazne okolju kot kurjenje fosilnih goriv. To pomeni, da so okolju manj škodljive. Največja prednost hidroelektrarn je, da ne onesnažujejo okolja, izkoriščajo obnovljiv vir energije, imajo dolgo življenjsko dobo in razmeroma nizke stroške obratovanja.



## 7 ZAKLJUČEK

Uporabila sva eksperimentalno metodo, saj sva testirala turbine in preizkusila izkoristek s pomočjo uporabe škripca, vrvice in različnih uteži, ki so povezane z gredjo rotorja. S pomočjo merilne proge sva ugotovila, da lopatice okrogle oblike z zavihki dvignejo utež najvišje. S tem sva potrdila raziskovalno hipotezo.

## 8 PRILOGE

24. Lili je izdelala turbino, s katero je želela z vodnim curkom poganjati električni generator. Najprej je iz tankega ploščatega aluminijastega gradiva izdelala kovinske lopatice.



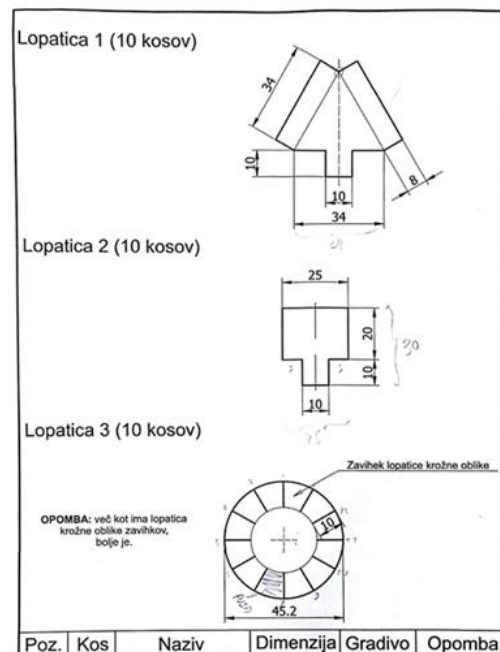
Turbina



Kovinske lopatice

24. a) Kako imenujemo gradivo, iz katerega je izdelala lopatico? Obkroži črko pred pravilnim odgovorom.
- A Profil.
  - B Pločevina.
  - C Zlitina.
  - D Ploščča.
- (1 točka)
24. b) Po pregledu načrta je Lili za izdelavo lopatice izbrala več postopkov. Katere izmed naštetih postopkov je uporabila? Obkroži črko pred pravilnim odgovorom.
- A Merjenje, zarisovanje, striženje, krivljenje.
  - B Merjenje, zarisovanje, žaganje, vrtanje.
  - C Skiciranje, zarisovanje, upogibanje, brušenje.
  - D Skiciranje, žaganje, brušenje, krivljenje.
- (1 točka)
24. c) Izdelana lopatica je na robovih precej ostra. S katerim postopkom bo Lili odpravila težavo? Obkroži črko pred pravilnim odgovorom.
- A Z vrtanjem.
  - B S peskanjem.
  - C Z upogibanjem.
  - D S piljenjem.
- (1 točka)

Slika 14: 24.naloga iz nacionalnega preverjanja iz predmeta tehnika in tehnologija



Slika 15: Načrt za izdelavo lopatic

## 9 VIRI IN LITERATURA

Turinek T., Triplat V., Rebernik Ž., Izkoristimo moč vode. Raziskovalna naloga, Šolski center Velenje – Elektro in računalniška šola, 2018

FP7-CHAIN REACTION: EUPRB – Vodna turbina Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta, 2015/16

Pridobljeno 12. 1. 2023 s spletne strani: [https://en.wikipedia.org/wiki/Francis\\_turbine](https://en.wikipedia.org/wiki/Francis_turbine)

Pridobljeno 12. 1. 2023 s spletne strani: [https://sl.wikipedia.org/wiki/Peltonova\\_turbina](https://sl.wikipedia.org/wiki/Peltonova_turbina)

Pridobljeno 16. 1. 2023 s spletne strani: <https://www.knjiznica-celje.si/raziskovalne/4201004503.pdf>

Pridobljeno 19. 1. 2023 s spletne strani: [https://dijaski.net/gradivo/teh\\_ref\\_hidroelektrarne\\_01](https://dijaski.net/gradivo/teh_ref_hidroelektrarne_01)

Pridobljeno 25. 1. 2023 s spletne strani: <https://www.esvet.si/vodna-energija/kako-deluje-hidroelektrarna>

Pridobljeno 25. 1. 2023 s spletne strani: <http://www.evropa.gov.si/si/energetika/obnovljivi-viri-energije/>

Pridobljeno 25. 1. 2023 s spletne strani: <http://meed.org/technology>

Pridobljeno 25. 1. 2023 s spletne strani: <http://www.dem.si/slo/elektrarneinproizvodnja/11>

Pridobljeno 25. 1. 2023 s spletne strani: [http://www1.eere.energy.gov/windandhydro/hydro\\_plant\\_types.html](http://www1.eere.energy.gov/windandhydro/hydro_plant_types.html)