

Naslov članka/Article:

VETROVNIK – RAZISKOVALNO DELO

Wind Tunnel – Research Work

Avtor/Author:

mag. Jože Pernar

CC licenca



Priznanje avtorstva-Nekomercialno-Brez predelav



Fizika v šoli št. 1/2019, letnik 24

ISSN 1318-6388

Izdal in založil: Zavod Republike Slovenije za šolstvo

Kraj in leto izdaje: Ljubljana, 2019

Spletna stran revije:

<https://www.zrss.si/strokovne-revije/fizika-v-soli/>

Vetrovnik – raziskovalno delo

mag. Jože Pernar
Gimnazija Krško

Povzetek

Skupina dijakov na tehniški gimnaziji se je odločila uresničiti svojo idejo o izdelavi vetrovnika. Od ideje do učnega pripomočka ni minilo veliko časa, pridobljenega pa je bilo veliko znanja. Pričujoči prispevek predstavlja nekaj primerov vaj in predvsem raziskovalnih idej, ki so spremljale izdelavo naprave ali pa so bile posledica raziskovalnega učenja. Zagotovo ne gre za klasične vaje. Poglobljeno delo z vetrovnikom nudi marsikatero možnost učenja na zelo avtentičen način, ki se na trenutke približa tudi znanstvenim metodam. Tako se v prispevku bralec sreča z osnovnimi principi učinka zračnega upora na različnih telesih pa tudi s projektnimi deli izdelave izvornih modelov. Krajši opisi so povezani s spletnimi vsebinami, ki omogočajo poglobljen vpogled v eksperimentalno-raziskovalno delo.

Ključne besede: vetrovnik, upor, sile, raziskovalno delo, eksperimentalne vaje, tehniška gimnazija

Wind Tunnel – Research Work

Abstract

A group of technical gymnasium students decided to realise their idea of creating a wind tunnel. The path from the idea to making this learning tool did not take much time, but the students gained a great deal of knowledge. The article introduces a few exercises and research ideas that were part of the creation of the wind tunnel and a result of the learning through research. These exercises are definitely not of a traditional type – a more in-depth work with the wind tunnel opened up many new learning opportunities in a very authentic way that comes close, in certain aspects, to scientific methods. The article thus describes the basic principles of air resistance on various bodies, from project works to original models. Shorter descriptions refer to online contents for more insight into experimental and research work.

Keywords: wind tunnel, air resistance, forces, research work, experimental exercises, technical gymnasium



Slika 1: Vetrovnik.

Uvod

Delati v okolju, kjer dijake vsebine zanimajo, je danes lahko velik privilegij. Avtomobilizem in letalstvo zanimata večino dijakov tehniških usmeritev. Prav tehniška gimnazija je lahko priložnost za inženirske metode v fiziki. Zelo tesne in konkretne korelacije fizike in tehnike lahko pri dijakih sprožijo način razmišljanja, ki združuje

je klasično eksperimentalno delo pri fiziki in na področju strojništva, ki si ga izberejo kot izbirni predmet.

Ob raziskovalnem delu in različnih poskusih so nastajale eksperimentalne vaje, ki se zdaj izvajajo pri rednih vajah pa tudi pri pripravah na maturo.



Slika 2: Delovni listi eksperimentalnih vaj so objavljeni na: lab-vetrovnik.si [14].

Povezave na vaje omogočajo izvedbo ali zgolj poglobljen vpogled v obliko in način izvedbe vaj. V nadaljevanju so v skladu z razvojem naprave in omenjenim gradivom

predstavljene izbrane eksperimentalno-raziskovalne aktivnosti. Od osnovnega določanja karakteristik pogonskega sklopa, didaktičnega pristopa načina merjenja, klasičnih merjenj tipičnih oblik teles prek kvalitativnega opazovanja zračnih tokovnic, upora na modelih vozil, vzgona na letalska krila do primerov projektne dela tako v razredu kot v mednarodnem okolju.

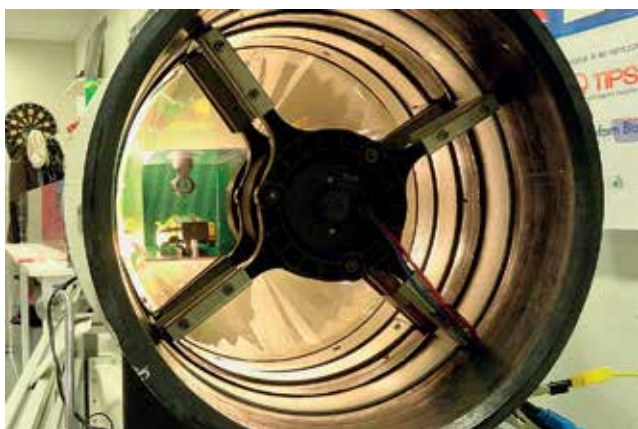
Osnovna merjenja pogona

Prva fizikalna merjenja spadajo bolj v čas izgradnje [1] primarnega dela vetrovnika. Določanje pogojev ter izbira primerne pogona (slika 3) je bila ena ključnih nalog za uspešno delovanje naprave. Med nekaj pogonskimi sklopi se je bilo treba odločiti za najprimernejšega [2]. Upoštevati je bilo treba več kriterijev. Od teh so odvisna tudi nekatera merjenja, ki so pogoj za razumevanje in izračune v današnjih eksperimentalnih vajah.

Diagram 1 prikazuje razmerje hitrosti zraka skozi merilno komoro v odvisnosti od napetosti pogona in posledične sile na model.



Slika 3: Dimenzioniranje pogona.



Slika 4: Pogonski sklop, anemometer ter satovje v ozadju.

Diagram odvisnosti $U(v)$ [V(m/s)] deluje dokaj stabilno. Karakteristika se je nekoliko spremenila z izbiro daljšega satovja, dodatnega pogona in cirkularnega toka (zaprti sistem).

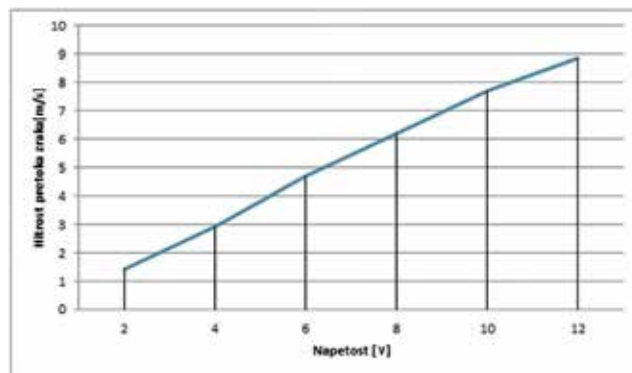
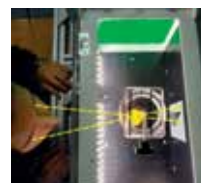


Diagram 1: Odvisnost hitrosti vetrovnika od gonilne napetost pogona ($U(v)$).

Hitrost zraka je bila merjena z elektronskim anemometrom (slika 4) in Pitot-Prandtlovo cevjo. Primerjalna merjenja so bila opravljena tudi z nitnim nihalom (slika 5). Pri slednjem se je pojavila zelo avtentična situacija paralaktične napake [3] (slika 6). Iz te »težave« se je razvila eksperimentalna vaja, pri kateri dijaki zelo neposredno uvidijo, kako pride do velike merske napake ob napačnem odčitku vrednosti.



Slika 5: Merjenje hitrosti zraka z nihalom.



Slika 6: Napaka pri merjenju kota.



Slika 7: Pravilna lega odčitavanja kota odmika nihala.

Ti osnovni podatki in količine omogočajo izračune mase in prostorninskega pretoka, vpeljavo kontinuitetne enačbe oziroma uporabo Bernoullijeve enačbe. Pri tem odigra pomembno vlogo možnost spreminjanja moči pogona. Ta omogoča tudi izredno majhne pretoke pri nizkih hitrostih. V projektu »Vetrnica 2017« [4] se je ta lastnost vetrovnika pokazala kot odlična karakteristika. Timsko raziskovanje in izdelava vetrnic sta se pri najnižjih pogojih »vetra« sprevrgla v pravo raziskovalno tekmovanje.



Slika 8: Klasična radialna vetrnica.



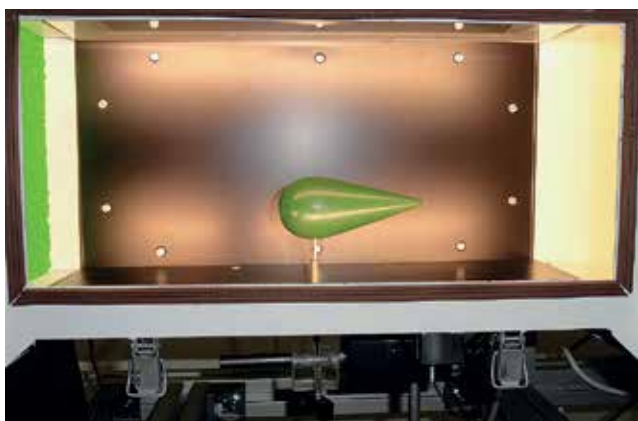
Slika 9: Vetrnica z aksialno osjo gibanja.

Že zelo majhni detajli in spremembe pri obliki papirnatih vetrnic so se v merilni komori izkazali kot občutni dejavniki za večjo učinkovitost izkoristka zračnega toka v vetrovniku.

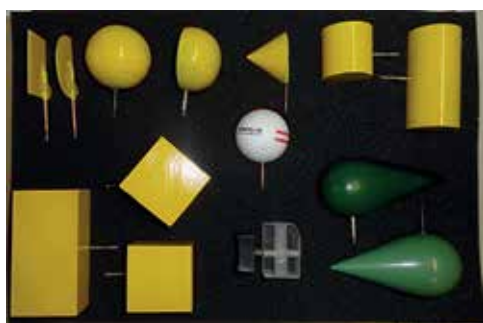
Fizikalni modeli z enakim presekom

Sila upora na določene oblike teles je tipična naloga iz nabora aktivnosti v vetrovnikih. Izdelava različnih modelov (slika 11) je predstavljala poseben rokodelski izziv. Merjenja pa so pokazala zelo dobre rezultate [3]. Dijaki lahko opravljajo standardno nalogo, v kateri ugotovljajo razliko v koeficientih zračnega upora.

$$F_u = 1/2 C_u \rho S v^2$$



Slika 10: Telo z najmanjšim uporom.



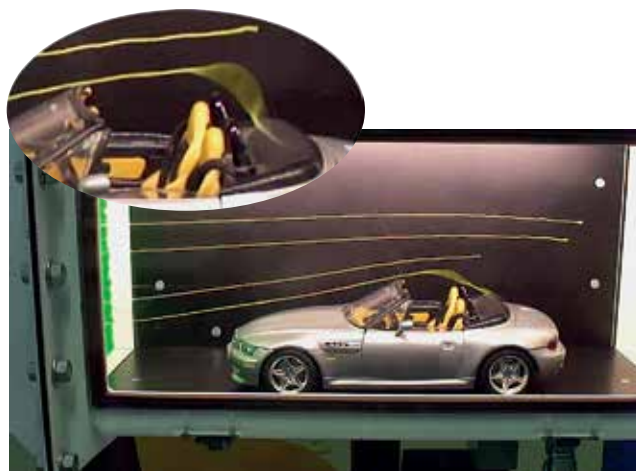
Slika 11: Modeli osnovnih oblik.

Izhodišče vseh teles – modelov je enako preseku S . Takšno izhodišče omogoča izvedbo ter vse izračune tudi za nižje letnike in programe srednjega poklicnega izobraževanja. Naloga zahteva predhodno napoved, razumevanje in interpretacijo izmerkov ter kasnejšo primerjavo rezultatov. Primerjava rezultatov se izvede med skupinami izvajalcev vaje ter z referenčnimi podatki koeficientov v literaturi.

Laminarni tok – video analiza

Ena najpopularnejših meritev v vetrovnikih je opazovanje zračnih tokovnic. V resnici ne gre za neposredno fizikalno merjenje, temveč za vizualno opazovanje dimnih, megličnih ali celo mehurčnih tokovnic, ki obteka-

jo model (slika 12). Video raziskava poleg kvalitativne analize omogoča tudi kvantitativne rezultate [5]. Predvsem zaradi zdravstvenih razlogov pri delu ni bil uporabljen nobeden od naštetih medijev. Vredno je opozoriti na novejša podatke kemijske analize nekaterih snovi, iz katerih se proizvaja megla ali dim. Svileni niti kljub svoji masi ponudijo zanimive rezultate in dobro pokažejo podrobnosti turbulentnih tokov.



Slika 12: Detajl vrtničastih tokov svilenih niti na modelu kabrioleta.

Z enako metodo je mogoče zelo uspešno opazovati tudi pojave zračnih tokovnic pri različnih nagibih modela letalskega krila.

Upor na modelih vozil

Sloviti Enzo Ferrari je rekel: »Aerodinamika je za ljudi, ki ne znajo in ne zmorejo razviti motornega vozila.« A od takrat je minilo dovolj časa, da je danes vsakemu srednješolcu jasno, kako pomembna je oblika, da ima vozilo čim manjšo silo zračnega upora in s tem doseže tem manjšo porabo goriva. Ponovno eno od merjenj (upora na modelnih vozilih), ki naj bi bilo tipično za vetrovnike v industriji. Avtentičnost modelov v merilu 1 : 18 je dosežena z izbiro modelov iz zbirke kovinskih replik Bura-go. Testiranja od starodobnikov (diagram 2) do športnih vozil (diagram 3) in povsem vsakdanjih, komercialnih vozil dajo rezultate [6], ki so primerljivi s podatki industrijskih raziskovalnih ustanov.



Slika 13: Merilnik sile.

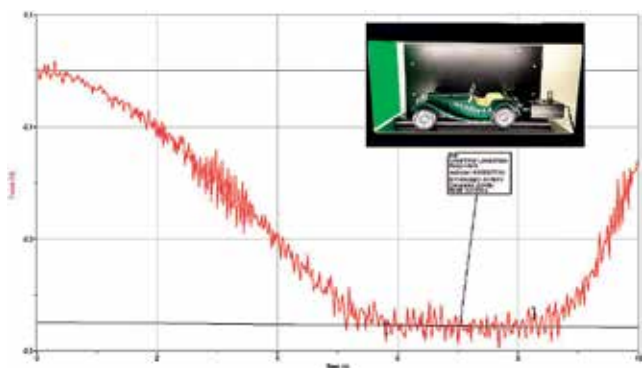


Diagram 2: Starodobnik.

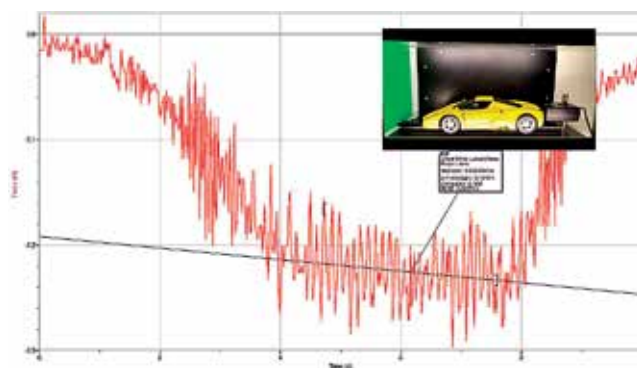



Diagram 3: Športni model Ferrari.

TABELA REZULTATOV

Tabela prikazuje rezultate sil na različnih vozilih najmanjšega opora in največjega opora na najnižjega.

Prilakovano sta najmanjši upor do kralnik tipa formule. Največji upor pa medel starodobnika Jaguar SS 100 iz leta 1937.



MODEL	SILA UPORA F_u
Formula Indy	143,20 mN
Ferrari	191,80 mN
Porsche Cayman R	221,80 mN
AMG - C Class	262,80 mN
Porsche 911 GT3 (1989)	263,20 mN
Volkswagen Beetle	303,50 mN
Jeepah (1934)	344,80 mN
Fiat Bianchina	376,80 mN
Ford 500	437,50 mN
Jaguar SS 100 (1937)	448,40 mN

Pri izračunu koeficienta upora zraka se pojavi problem preseka teles. Natančna določitev tega je dokaj zahtevno opravilo, ki žal presega srednješolsko znanje in predvsem razpoložljivo tehnologijo.

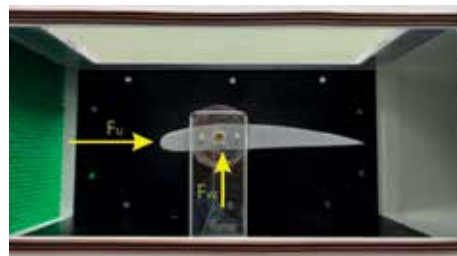
Generacija maturantov tehniške gimnazije 2015/16 je bila postavljena pred izziv: »Kako izmeriti presek vozila?« Večina idej je temeljila na projekciji vozila na zaslonu. Uporaba geometrijske optike se je izkazala kot zelo uporabna fizikalna vsebina. Računalniško zaznavanje sence na zaslonu je bila nova korelacija s tehnologijo IKT.

Zakaj letalo leti? Tlak na krilu. Upor in vzgon.

Dinamika tekočin je za srednješolsko fiziko dokaj trd oreh. Obtekanje zraka ob letalskem krilu pa je na svetovnem spletu in celo v izbrani strokovni literaturi razloženo na osnovi različnih teorij. Žal v nekaterih primerih tudi zmotno. Večino dvomov lahko dijak pojasni s testiranjem različnih letalskih profilov krila in z meritvami v vetrovniku.

Poizkusi s tokovnicami omogočajo zelo neposredno spoznanje pomena nagiba in lege krila (slika 15). Vizualno opazovanje lahko nadgradimo z merilnikom sil [7]. Meritev vodoravne in navpične komponente sil (slika 14)

omogoči kvantitativne podatke [8], s katerimi sta omogočena izris diagramov (4) in izračun pomembnih fizikalnih količin (vzgon, upor, koeficient oblike ...).



Slika 14: Sili na letalsko krilo.

3. Rezultati:

3.1. Krilo Clark Y

3.1.1. Nagib krila 0°


U (m)	F_u (N)	F_x (N)
3	0,01	0,062
6	0,311	-0,048
9	0,715	-0,187
12	1,205	-0,288

3.1.2. Nagib krila 10°

U (m)	F_u (N)	F_x (N)
3	0,523	-0,012
6	0,854	-0,119
9	1,346	-0,268
12	2,188	-0,459

3.1.3. Nagib krila -10°

U (m)	F_u (N)	F_x (N)
3	0,01	0,000
6	0,01	-0,06
9	0,01	-0,181
12	0,08	-0,315



Slika 15: Lege krila.



Diagram 4: F_{vzg} in F_u pri različnih pogojih.

Vrtinčasti tokovi in celo povratne smeri gibanja zraka so nekaj izjemnega. Pri tem gre za neposredno doživljanje poizkusa, ki se bistveno razlikuje od še tako dobre računalniške simulacije. S posebej izdelanim modelom in odprtini – kanali (slika 17) na različnih mestih površine krila lahko dijak neposredno izmeri tlak na različnih točkah obtekanja zraka [9]. Tako izmerjene različne vrednosti tlaka (slika 16) razjasnijo vse dvome o vzroku za pojav vzgonske sile.



Slika 16: Merjenje tlaka na krilu.



Slika 17: Kanali na krilu.

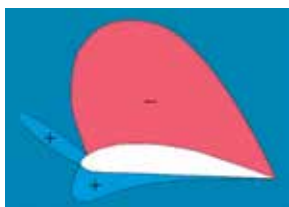


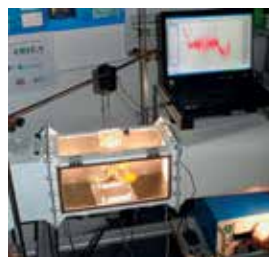
Diagram 5: Polje tlaka.

Izmerjeni rezultati nam omogočajo izris diagrama (5) polja tlaka. Ta nam ponazori območja in vrednosti, ki jih povprečni srednješolec težko razume zgolj teoretično.

Dinamična meritev – dron v vetrovniku

Predstavitve in delavnice uporabe vetrovnika so segle tudi v tujino. Povabilo k sodelovanju je prispelo v sklopu mednarodnega projekta Drone Team Erasmus+ [10], katerega nosilka je bila AIJU – Technological Institute for children's products & leisure SPAIN.

Za skupino dijakov so bile dinamične meritve delujočega drona v vetrovniku (slika 18) pomembna izkušnja [11]. Opravljene so bile številne koristne meritve in prekušene številne prototipne ideje za pritrjevanje modela, način merjenja, zaznavanje in interpretacijo odločilnih podatkov, varovanje tako merjenca kot merilne komore ter zelo inovativni načini zajemanja podatkov.



Slika 18: Delujoči dron



Slika 19: Vpliv vodoravnega toka v merilni komori.

Zanimiv je bil odziv dijakov pri meritvi, ki je popolnoma presenetila. K omenjenemu projektu smo skušali pristopiti znanstveno, s postavitvijo hipoteze o vplivu zračne mase na silo vzgona plovila (slika 19).

Pri različnih hitrostih se je izkazalo, da bočni veter oziroma relativno gibanje plovila v vodoravni smeri povzroča povečanje sile vzgona (tabela 1). S povečevanjem hitrosti zraka se je večala vodoravna sila F_v . Prav tako pa se je večala tudi navpična sila F_p . Spremembe so bile nepričakovano velike. Hipoteza je bila ovržena.

Tabela 1: Prikaz ene od serije merenj, v kateri so razvidne spremembe vpliva hitrosti na dvižno silo – vzgon (F_v).

	Vir (V)	Hitrost (m/s)	F_p (N)	F_v (N)	ΔF (N)	Sprememba (%)
1	4	2,92	-0,1436	-0,1782	0,0346	80
2	6	4,69	-0,1261	-0,1683	0,0422	75
3	8	6,18	-0,1093	-0,2091	0,0998	52
4	10	7,7	-0,1420	-0,2074	0,0658	68
5	12	8,85	-0,1149	-0,1655	0,0506	69
6	13	9,9	-0,1308	-0,2298	0,0990	57

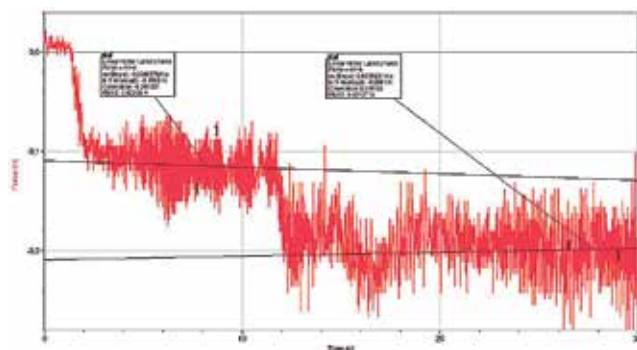
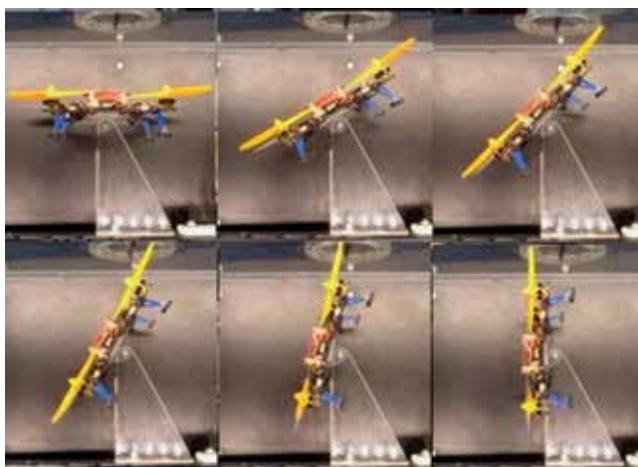


Diagram 6: Diagram spremembe sile vzgona F_v .

Prvih 11 sekund na diagramu 6 deluje plovilo s polno močjo in brez vpliva vodoravne hitrosti zraka. Vetrovnik v tem času ne deluje. Po 11 sekundah tok zraka vetrovnika poveča navpično komponento in s tem znatno spremeni silo vzgona plovila.

Znano je, da imajo različne oblike dronov različne vrednosti zračnega upora. Modeli oblike X imajo sorazmerno velik upor. Merjenja pri različnih nagibih in legah simulirajo situacije letenja in tudi skrajne situacije manevrov (slika 20).



Slika 20: Različne lege plovila.

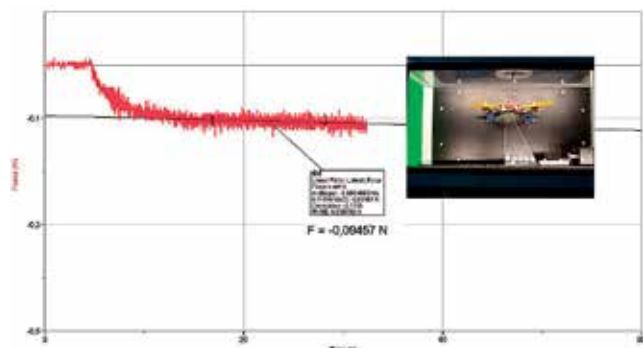


Diagram 7: Najmanjša sila upora $F_u = 0,09457$ N.

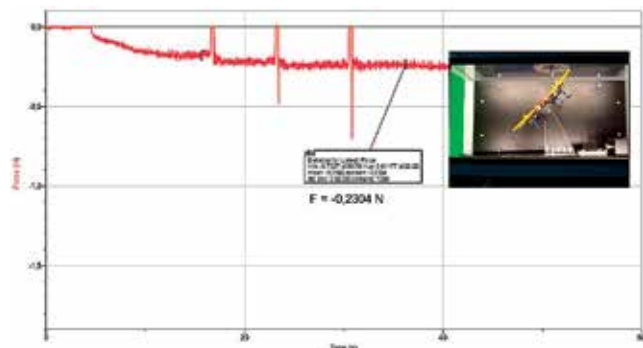


Diagram 8: $F_u = 0,2304$ N.

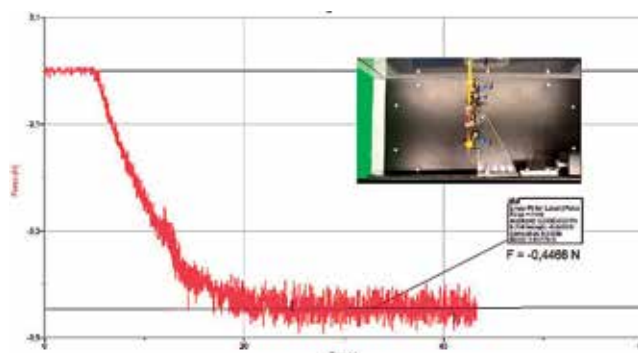


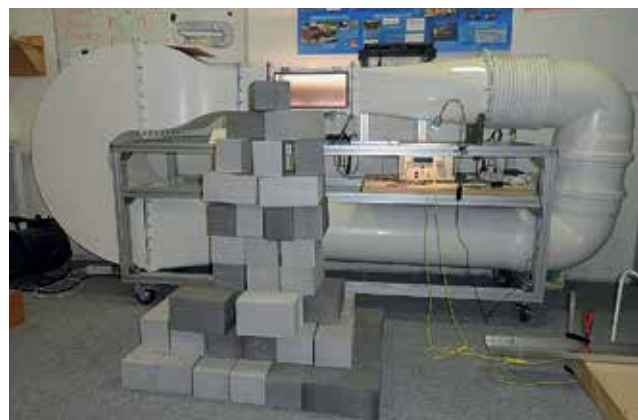
Diagram 9: Največja sila upora $F_u = 0,4466$ N.

Diagrami 7, 8 in 9 prikazujejo sile upora zraka na različne nagibe drona.

Projekt »Avto – model«

Interno projektno delo v razredu ni ravno udomačena metoda dela v naših šolah. Običajno se s tem načinom dela povezuje delo z drugimi deležniki. Najbolj so danes izpostavljeni mednarodni projekti, ki so že kar po pravilu tudi financirani (EU).

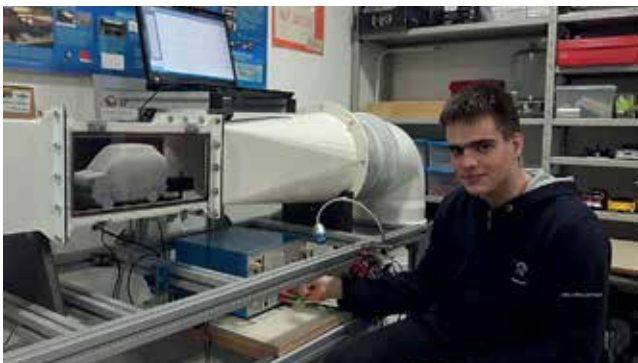
Med oktobrom 2018 in marcem 2019 je 41 dijakov srednjega strokovnega izobraževanja (strojni tehnik) izvedlo eksperimentalno-raziskovalno delo izdelave modela vozila [12]. Vsak dijak je prejel kvader iz stirodura (slika 21).



Slika 21: Kvadri stirodura.



Slika 22: Rezanje z vročo žico.



Slika 23: Testiranje v merilni komori.

Pričelo se je z idejno skico in čez nekaj mesecev končalo s končno meritvijo v vetrovniku (slika 23). Da bi bili pogoji za izračun in primerjavo koeficientov upora zraka enaki, so morali pri načrtovanju, oblikovanju in izdelavi obdržati osnovni presek modela. Torej niso smeli odstopati po treh določenih merah (dolžina, višina, širina).

Praktično in ročno delo (slika 22) predstavlja dijakom izziv. Če pri tem sežemo še do nivoja raziskav, smo ujeli veter v polna jadra. Tudi manj priljubljena izdelava tehnične dokumentacije dobi pomen, ko gre za avtentičen izdelek in je avtorsko delo. Vsaka ideja in vsak model sta imela nekaj specifičnega. Široka paleta vrednotenja je omogočila veliko prostora za eksperimentiranje. Če dokumentacija ni najbolje uspela, je obstajala možnost, da se skupna ocena izboljša s testiranjem. Vsak posameznik je lahko našel svoje močno področje in se izkazal. Testiranjem in preskušanjem je sledila serijska meritev, ki je bila izvedena pod enakimi pogoji in z vsemi udeleženci. Dobil smo najboljše v posameznih ocenah, a najpomembnejše je dejstvo, da so bili vsi uspešni.

Vetrovnik je omogočil čudovit interni projekt, ki je trajal nekaj mesecev in se končal z veliko merjenji in dobrimi ocenami, naj je šlo za osebna mnenja ali za zapis v redovalnici.



Slika 24: Modeli.

Kompetence

Katere nove sposobnosti pridobijo dijaki s tovrstnim delom na vetrovniku? Vse cilje, ki so tako doseženi, je mogoče doseči tudi drugače. Verjetno tudi s klasičnim ponavljanjem, s kredo in tablo. Zagotovo pa je velika razlika v pristopu in počutju. Na trenutke so lahko učitelji nekoliko manj suvereni, zato pa so dijaki bolj ustvarjalni in bolj razpoloženi. Temeljni cilj raziskovalno-eksperimentalnega dela je usposobiti dijaka za reševanje problemov, ki se pojavljajo pri obravnavi fizikalnih in tehničnih izzivov. Pri tem je ključnega pomena spoznavanje novih tehnologij in IKT. Ena glavnih nalog je pravilna interpretacija dobljenih podatkov in predstavitev rezultatov.

Načrtno raziskovanje ali učenje z načrtom je pogosta oblika dela v naravoslovju. V našem primeru je nismo iskali, temveč nas je samo delo pripeljalo do opredeljevanja, snovanja, načrtovanja, vrednotenja in ponovnega preoblikovanja. Zelo jasno so se kazali in v delu odražali cikli vračanja skozi spiralno rast napredka. Ključne kognitivne naloge pri reševanju realnih problemov so zahtevale generiranje idej, pripravo prototipnih rešitev in modelov prek načrtovanja pa vse do preskušanja. Pridobljene veščine pa tudi kognitivne spremembe (nov pristop k reševanju problemov) so dobra popotnica za nadaljnji študij in pozneje za službo [1].

Prihodnost dela z vetrovnikom

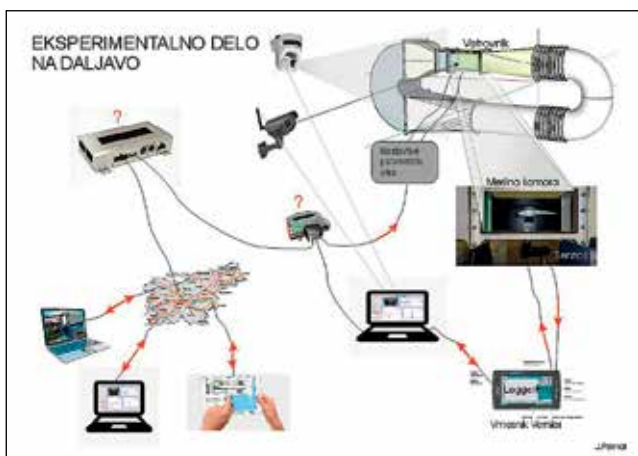
Kljub vse pogostejšim virtualnim pristopom (simulacije in animacije) ima tovrstno bazično raziskovalno in eksperimentalno delo svetlo prihodnost. Kronološki pregled aktivnosti kaže jasen trend povečevanja aktivnih ur. Vsako leto ga uporablja več dijakov in število obratovalnih ur narašča. Dijaki so napravo sprejeli in jo radi uporabljajo, naj gre za redne eksperimentalne vaje, raziskovalno delo pri pripravah na maturo ali za različne aktivnosti zunaj rednega pouka. Ideja za prihodnost je

usmerjena v razvoj, ki bi omogočil širšo uporabo vetrovnika. Za tako imenovani eksperiment na daljavo (angl. *remote experiment*) bo verjetno potrebnih več sredstev, znanja in časa.

Ne gre zgolj za idejo. Izdelan je koncept (slika 25), ki bi omogočil uporabo opreme tudi drugim šolarjem po Sloveniji. V naših šolah verjetno ni veliko tovrstne opreme. Temeljni cilj tega dela pa je nedvomno popularizacija

Tabela 2: Ocenjevalni list.

Aktivnost/ Dijak	Idejna risba ali skica	Izdelava načrta	Obdelava izdelka	Testiranja	Merjenje	Rezultat merjenja koeficienta upora	Dokumen- tacija	Video »bonus«	Skupna ocena
Dijak 1									
Dijak 2									



Slika 25: Eksperimentalno delo na daljavo.

znanosti – fizike in tehnike. Tudi pričujoči prispevek je namenjen temu.

Zaključek

Izkušnje kažejo, da tovrstne naloge in raziskovalni način dela dijakom programa tehniških usmeritev omogočajo višjo raven uporabnega znanja. Naj bo to izdelava doku-

mentacije, ki jo pripravljajo za nek konkreten izdelek in po svoji zamisli, ali pa praktično delo na izdelku, ki ga spreminjajo – izboljšujejo po lastnih željah. Sklop določenih nalog in opravil vsakemu posamezniku ponuja možnost, da se »izkaže« na področju, ki ga obvlada.

Ob tovrstnem delu lahko doživimo tudi očitek, da se ne držimo učnega načrta ali celo da to ni resno delo, saj se »igramo« z avtomobilčki. Skoraj po pravilu ti isti izpostavljajo motivacijo in problem odgovornosti do učenja. Le učiteljeva spretnost in znanje iskanja srednje poti med tako imenovano igro in učenjem sta trdno zagotovilo za uspešno in zanimivo učenje.

Izkušnje kažejo, da se s tovrstnim delom klasični model ponavljanja enakih vsebin in metod dela počasi, a vztrajno pomika v ozadje. Z vsako učno enoto in navidezno zaključeno vsebino se pri tej obliki dela odpirajo nove ideje in vsebine. Učenje se evolutivno razvija glede na trenutne potrebe, želje in ideje.

Ob načrtovanju in izgradnji vetrovnika [13] in kasneje ob raziskovalnem delu [14] sta kontinuirano nastajali tudi spletni strani, ki omenjene aktivnosti prikazeta še nazorneje in v nekaterih primerih tudi ponazorita z živo sliko.

Viri

- [1] Prispevek na 4. konferenci učiteljev naravoslovnih predmetov – NAK 2017, 26. in 27. oktobra 2017, Laško. <https://www.zrss.si/nak2017/gradiva/Fizika-4-raziskovalni-vetrovnik-Pernar.pdf>
- [2] http://lab-vetrovnik.si/merjenja_pogon.html
- [3] http://www2.arnes.si/~sssknm6/vetrovnik1/jango/theme/fizikalni_modeli.html
- [4] <http://www2.arnes.si/~sssknm6/vetrovnik1/jango/theme/vetrnica2017.html>
- [5] http://www2.arnes.si/~sssknm4/vetrovnik/tokovnice_okno.html
- [6] http://www2.arnes.si/~sssknm6/vetrovnik1/jango/theme/upor_vozila.html
- [7] <https://www.vernier.com/>
- [8] http://www2.arnes.si/~sssknm6/vetrovnik1/jango/theme/sile_krilo.html
- [9] http://www2.arnes.si/~sssknm6/vetrovnik1/jango/theme/tlacno_krilo.html
- [10] Projekt »Drone Team«: <http://www.droneteamproject.eu/>
- [11] <http://www2.arnes.si/~sssknm4/vetrovnik2/jango/theme/dron.html>
- [12] Projekt »Avto-model«: http://www2.arnes.si/~sssknm6/vetrovnik1/jango/theme/avto_model.html
- [13] <http://www2.arnes.si/~sssknm4/vetrovnik/index.html> (22. 3. 2018).
- [14] <http://lab-vetrovnik.si/> (28. 3. 2019).