

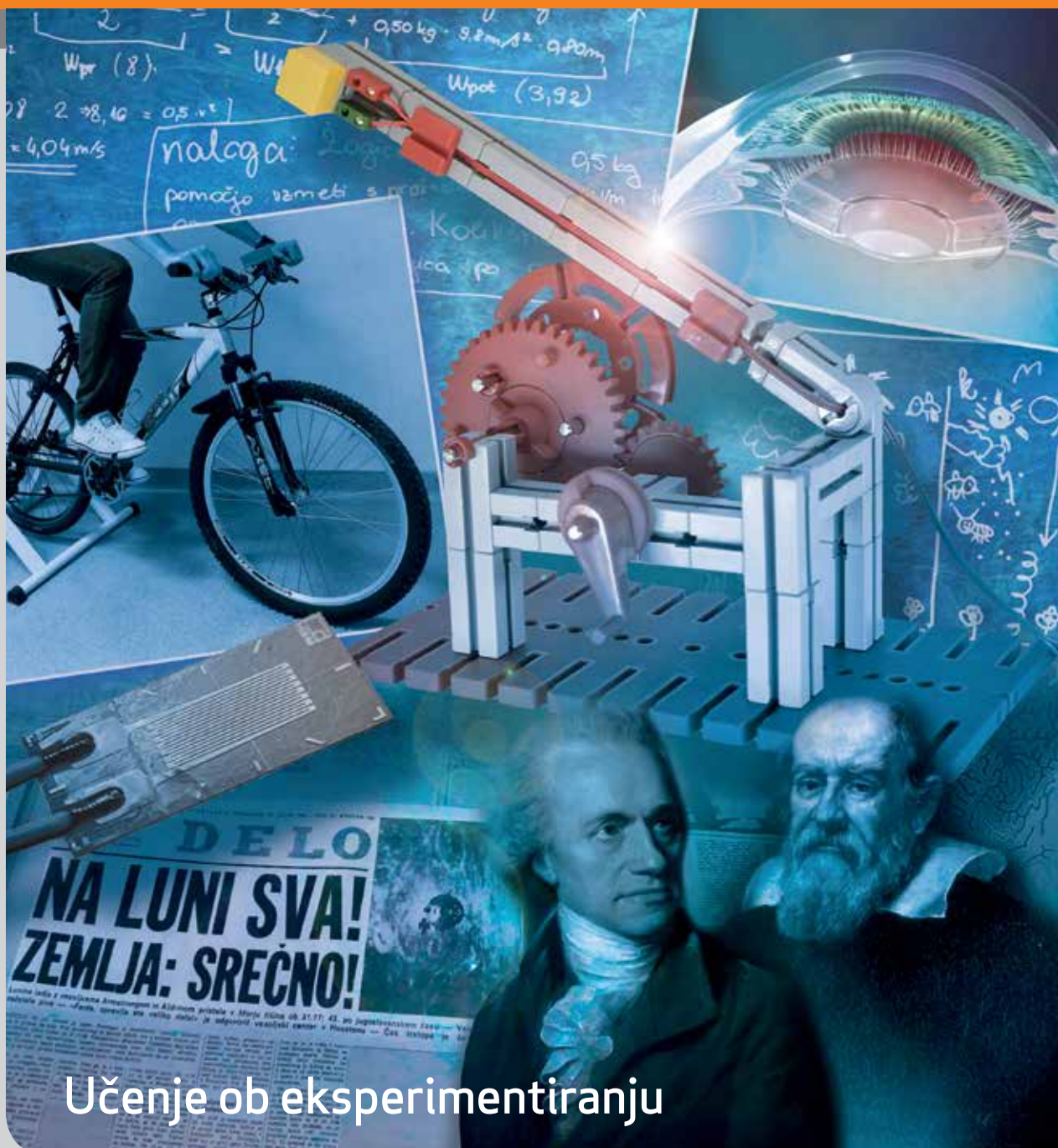
1

2023

Letnik 28

Fizika v šoli

Poštšina plačana pri pošti 1102 Ljubljana



Učenje ob eksperimentiranju



Zavod
Republike
Slovenije
za šolstvo

- Moč človeka
- Merilnik moči kolesarja
- Izkušnje mladih učiteljev s pristopom ISLE
- Intervju z znanstvenico dr. Natašo Vaupotič



KAZALO

Dušan Klemenčič
Uvodnik

1

IZ TEORIJE ZA PRAKSO

Marko Marhl, Vladimir Grubelnik in Jan Zmazek

Moč človeka

2

Rasto Snoj

Difrakcijske intraokularne leče

9

IZ PRAKSE

Aljoša Berk

Merilnik moči kolesarja

19

Valentin Peternel

Kotalna klop

25

Damjana Andrin

Promocija astronomije: Medpredmetna povezava knjižnice s fiziko

30

Primož Kajdič

Dva poskusa s Soncem

33

Barbara Fir

Tlak v tekočinah: Izdelava hidravlične naprave

36

UPODOBITVE V FIZIKI

Mojca Čepič

Risanje pojavov I: Kako predstaviti pojav s sliko

43

UČITELJEV POGLED

Gregor Brumec in Kristina Pahor

Izkušnje mladih učiteljev s pristopom ISLE

47

Peter Prelog

Kaj je polje

58

ZANIMIVOSTI

Uredniški odbor revije *Fizika v šoli*

Intervju s slovensko znanstvenico dr. Natašo Vaupotič

60

Saša Ziherl, Katarina Susman in Jerneja Pavlin

O projektu ARphymedes: Poučevanje fizike z razširjeno resničnostjo

63

Milenko Stiplovšek

Strip: Masa Sonca

65



PACS 01.40. -d, 01.50. -i, 01.55. +b

ISSN 1318-6388

FIZIKA V ŠOLI

letnik XXVIII, številka 1, 2023

Izdajatelj in založnik:

Zavod RS za šolstvo

Predstavniki:

dr. Vinko Logaj

Odgovorni urednik:

Dušan Klemenčič

Uredniški odbor:

mag. Miroslav Cvahte, dr. Mojca Čepič, dr. Andreja Gomboc,

dr. Vladimir Grubelnik, Tatjana Gulič, dr. Tomaž Kranjc,

dr. Marko Marhl, dr. Aleš Mohorič, Milenko Stiplovšek,

Alex Wirth, dr. Saša Zihel

Jezikovni pregled:

Andraž Polončič Rupačič

Prevod povzetkov:

Bumblebee, jezikovno svetovanje, Polonca Luznik, s. p.

Urednica založbe:

Andreja Nagode

Oblikovanje:

Simon Kajtna, akad. slik.

Fotografije:

avtorji člankov

Računalniški prelom:

Design Demšar, d. o. o.

Tisk:

Present, d. o. o.

Naklada: 400 izvodov

Prispevke pošljite na naslov: Zavod RS za šolstvo,

Uredništvo revije Fizika v šoli, Poljanska c. 28,

1000 Ljubljana, e-naslov: revija.fizika@zrss.si.

Naročila: Zavod RS za šolstvo – Založba,

Poljanska c. 28, 1000 Ljubljana, faks: 01/30 05 199,

e-naslov: založba@zrss.si

Letna naročnina (2 številki): 22,00 € za šole in ustanove,

16,50 € za fizične osebe, 8,50 € za študente, dijake

in upokojece. Cena posamezne številke v prosti prodaji

je 13,00 €.

Revija je vpisana v razvid medijev, ki ga vodi

Ministrstvo za kulturo pod zaporedno številko 570.



Priznanje avtorstva-Nekomercialno-Brez predelav

Poštšina plačana pri pošti 1102 Ljubljana.

Spoštovane bralke in bralci,

pred vami je prva številka 28. letnika revije Fizika v šoli, ki je namenjena vsem ljubiteljem fizike in učiteljem, ki vsak dan navdušujete nove generacije mladih radovednežev. Sodobna fizika se razvija z izjemno hitrostjo, zato je pomembno, da svoje znanje nenehno dopolnjujemo in spremljamo najnovejše dosežke na področju fizike. Izredno zmogljivi kvantni računalniki in nove možnosti uporabe umetne inteligence ponujajo nove izzive in priložnosti na področju razvoja znanosti in poučevanja, mi pa se sprašujemo, kako bodo te novosti v bližnji prihodnosti vplivale na poučevanje fizike v šoli.

Vodilna tema tokratnega letnika je učenje ob eksperimentiranju. Vemo, da je eksperimentiranje izredno pomemben del učenja fizike, saj učencem omogoča, da sami odkrivajo zakonitosti narave ter razvijajo svojo radovednost in ustvarjalnost. Pripravili smo številne članke, ki vam bodo pomagali pri načrtovanju in izvedbi eksperimentov ter ponudili ideje za nove in zanimive poskuse.

V rubriki Iz teorije za prakso boste v članku »Moč človeka« med drugim prebrali, kako zelo učinkovito človeško telo proizvaja celično energijo, in se seznanili s presenetljivo primerjavo sevalne moči na maso telesa med človekom in Soncem. V članku »Difrakcijske intraokularne leče« se je avtor izčrpno posvetil temi vsaditve umetnih intraokularnih leč, s katero se slej ko prej sreča večina ljudi in je lep primer, kako z znanostjo izboljšujemo kakovost življenja.

Rubrika Iz prakse prinaša kar pet uporabnih člankov na temo učenja ob eksperimentiranju. Srednješolska učitelja nam vsak v svojem članku predstavi lep primer, kako so dijaki ob ustvarjanju merilnika moči kolesarja in kotalne klopi poleg poglobljenega spoznavanja fizikalnih zakonitosti razvijali številne druge zmožnosti sodelovanja, raziskovanja, praktičnega ustvarjanja, uporabe digitalnih tehnologij in še bi lahko naštevali. Sledi članek, ki predstavlja medpredmetno povezavo med šolsko knjižnico in fiziko. Gre za primer dejavnosti, s katero se povečuje motivacija za branje in hkrati pogloblja znanje fizike, pripravljena razstava pa promovira znanost. Avtor članka »Dva poskusa s Soncem« nam ponuja zanimiva poskusa, ki sta še posebej uporabna pri izbirnih predmetih iz astronomije. Na koncu je primer iz osnovne šole, kjer preberemo, kako lahko v obliki simulacije avtentične učne situacije obravnavamo novo učno snov.

Po krajši prekinitev se vrača rubrika Upodobitve v fiziki, v kateri nas avtorica ozavešča o problemih strokovnega komuniciranja. V tokratnem članku, ki je prvi od dveh na isto temo, nas seznanja s pomembnostjo, uporabnostjo in pravili risanja kot ene izmed pomembnih oblik poročanja o opazovanih pojavih. Gre za večino, ki jo pri poučevanju fizike zelo pogosto uporabljamo in ki naj bi jo učeči se usvojili med šolanjem.

V rubriki Učiteljev pogled nam mlada učitelja predstavljata svoje dragocene izkušnje poučevanja fizike, pri katerem je v ospredju aktivni pouk in kjer se dijaki poleg vprašanja »kako je« sprašujejo tudi »kako vemo« in »po čem vemo«. Navajata kar nekaj virov za aktivnosti učečih se, ki omogočajo spoznavanje fizikalnih zakonitosti. V drugem članku, ki se nanaša na enega od člankov iz prejšnjih števil revije, nas učitelj z obsežnimi izkušnjami na svojevrsten način opozarja na nedorečenost pojma polje.

Z velikim veseljem napovedujem novost, ki je objavljena v rubriki Zanimivosti, in sicer prvega izmed intervjujev s slovenskimi znanstvenicami. Tokrat se nam predstavlja poznana znanstvenica in zavzeta promotorka fizike dr. Nataša Vaupotič. V tem sklopu sta še opis projekta, ki se ukvarja z eno izmed interaktivnih metod razširjene resničnosti, s katerimi je mogoče povečati vključenost učencev pri pouku fizike in izboljšati povprečne dosežke, ter strip, ki vedno popestri našo revijo.

Ob koncu uvodnika vas vabim, da nam pošljete svoje prispevke, izkušnje in mnenja za prihodnje številke revije, saj bomo tako skupaj prispevali k razvoju kakovostnega poučevanja fizike v osnovni in srednji šoli.

Dušan Klemenčič,
odgovorni urednik

Moč človeka

dr. Marko Marhl,^{1,2,3} dr. Vladimir Grubelnik,⁴ dr. Jan Zmazek^{3,5}

Univerza v Mariboru: ¹Pedagoška fakulteta, ²Medicinska fakulteta, ³Fakulteta za naravoslovje in matematiko, ⁴Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko; ⁵Znanstveno in inovacijsko središče Pomurje

Izvleček

V članku je predstavljena moč človeka, ki jo z energijskega vidika primerjamo z močjo Sonca in bakterij. Ugotovimo, da je moč, preračunana na gram mase telesa, največja pri bakterijah, sledi človek in na zadnjem mestu se presenetljivo znajde Sonce. Faktorji so prepričljivi in so reda velikosti nekaj tisoč. Velikansko moč človeka predstavimo še z biofizikalnega vidika, tako da moč našega telesa preračunamo na število genov in ugotovimo, da močno prekašamo prej zmagovalne bakterije. Poleg te velike učinkovitosti našega telesa opozorimo še na izjemno sposobnost regulacije energijskih tokov, ki poteka po različnih presnovnih poteh in z različnimi visokoenergijskimi molekulami; poleg najbolj poznane ATP spoznamo še NADPH.

Ključne besede: energija, moč, celična presnova, ATP, NADPH

Power of Man

Abstract

The article compares the power of man with the power of the Sun and bacteria. Bacteria have the highest power per gramme of body mass, followed by man and finally, quite surprisingly, by the Sun. The factors are significant - their order of magnitude is several thousand. If we put the enormous power of man into a biophysical context by calculating the power of our body per number of genes, man is far superior to the hitherto triumphant bacteria. In addition to the high power of the human body, the article also addresses its remarkable ability to regulate energy flows through various metabolic pathways and energy-rich molecules and introduces NADPH in addition to the well-known ATP.

Keywords: energy, power, cell metabolism, ATP, NADPH.

Uvod

Moč je fizikalna količina, ki nam pove, koliko dela lahko opravimo v določenem času, ali v splošnem, koliko energije preteče v nekem časovnem intervalu. Človeško telo je sistem, v katerem se pretakajo številni energijski tokovi, ki so povezani s snovnimi, električnimi in toplotnimi tokovi. Za vzdrževanje bitja srca, dihanja in drugih osnovnih življenjskih funkcij, ki jih opravljajo organi, je potrebna energija, ki jo pridobimo s presnovo oz. z metabolizmom. Veliko energije porabimo za segrevanje našega telesa, približno 20 % celotne energije, ki jo prejmemo s hrano (Rolfe in Brown, 1997). Veliko te energije oddamo s sevanjem, zato je zanimivo preučiti, kolikšna je moč sevanja v primerjavi z drugimi telesi, ki jih v fiziki dobro poznamo. V tem članku bomo primerjali sevanje človeškega telesa s sevanjem Sonca. Veliko moč Sonca občutimo, ko uživamo tople poletne dni, saj takrat intenzivno osvetli severno poloblo in nas prijetno ogreje. Ugotovimo, da je človeško telo presenetljivo intenziven sevalec. Na Zemlji obstajajo organizmi, preprosti enoceličarji, kot so bakterije, ki so še intenzivnejši sevalci, kar nam pokaže izsevana moč na gram telesne mase, pri čemer je treba opozoriti, da so moči, preračunane na genom in s tem na kompleksnost organizma, pri bakterijah mnogo manjše kot pri človeku. S tem pridemo do spoznanja, da je naše telo res nekaj posebnega zaradi evolucijsko dosežene kompleksnosti in velikanske energijske moči.

Naše telo je res nekaj posebnega zaradi evolucijsko dosežene kompleksnosti in velikanske energijske moči.

Človeško telo in Sonce

Izsevalni tok Sonca lahko določimo na podlagi njegovega sevanja. Sonce lahko obravnavamo podobno kot sevanje črnega telesa, pri čemer se pojem »črno telo« ne navezuje na barvo, ki jo

vidimo v vidnem delu izsevanega spektra. Sonce ima namreč značilno porazdelitev termičnega sevanja po valovni dolžini, ki sovпада s sevanjem črnega telesa (Kladnik, 1989). Opisal jo je Max Planck in je odvisna le od temperature telesa. Če poznamo temperaturo telesa, lahko gostoto celotnega izsevanega toka (j) izračunamo s Stefan-Bolzmannovim zakonom (Kladnik, 1989). Glede na to, da je temperatura površja Sonca približno 5800 K, je gostota izsevalnega toka Sonca enaka:

$$j = \sigma T^4 = 6,4 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2,$$

pri čemer je Stefanova konstanta: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$.

Gostoto izsevanega toka pomnožimo s površino Sonca (pri tem upoštevajmo polmer sonca $r = 0,69 \cdot 10^9 \text{ m}$) in dobimo izsevalno moč Sonca:

$$P = j \cdot S = j \cdot 4\pi r^2 = 3,8 \cdot 10^{26} \text{ W}.$$

Dobljena vrednost izsevalne moči Sonca je izredno velika, o čemer priča tudi dejstvo, da kljub majhnemu deležu te moči, ki ga prestreže Zemlja ($1,3 \cdot 10^{17} \text{ W}$), predstavlja nenadomestljiv vir energije. Če bi namreč želeli to energijo nadomestiti z jedrskimi elektrarnami, bi jih morali na Zemlji zgraditi kar okoli $2 \cdot 10^8$. To je seveda tudi teoretično nemogoče, saj bi že v Sloveniji potrebovali okoli 10.000 jedrskih elektrarn.

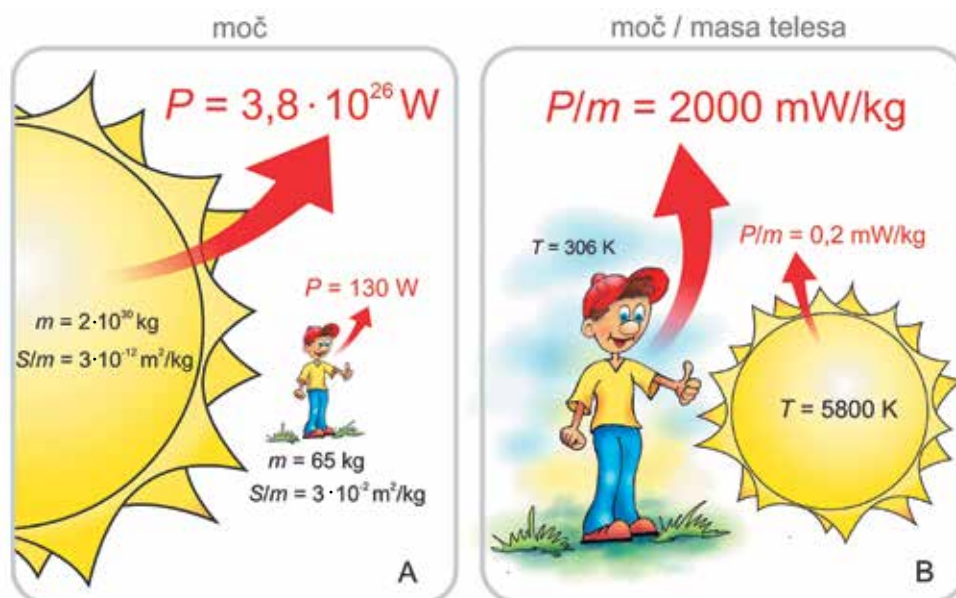
Glede na to, da Sonce oddaja ogromno izsevalno moč, je treba poudariti tudi, da ima Sonce izredno veliko maso $m = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$. Če preračunamo izsevalno moč Sonca glede na njegovo maso, dobimo le $0,2 \text{ mW/kg}$ oziroma $2 \cdot 10^{-4} \text{ mW/g}$.

Primerjajmo dobljeni rezultat z izsevano močjo človeka. Podobno kot pri Soncu tudi za človeka predpostavimo preprost primer oddajanja toplote s sevanjem. Če predpostavimo, da je površina človeškega telesa $S = 1,7 \text{ m}^2$, povprečna temperatura gole kože $T = 33^\circ \text{C}$ in temperatura okolice $T = 20^\circ \text{C}$, ugotovimo, da človek s sevanjem oddaja toplotni tok:

$$P = S\sigma(T^4 - T_0^4) = 134 \text{ W}.$$

Pri različnih pogojih se sevalni tok človeka seveda spreminja, na primer oblečena oseba izgubi le 50 % toplote s sevanjem, ostalo pa s konvekcijo, izhlapevanjem in izmenjavo toplote z dihanjem. Rezultat je torej le približna ocena, ki v velikostnem razredu ustreza potrebam po vnosu energije s hrano. Povprečna potreba odraslega človeka je namreč okoli 2500 kilokalorij na dan, kar predstavlja približno 10,5 MJ/dan oziroma toplotni tok okoli 120 W.

Izsevalna moč Sonca je izredno velika ($3,8 \cdot 10^{26} \text{ W}$).



Slika 1: Moč enega grama človeka presega izsevalno moč enega grama Sonca za faktor 10.000. Pri tem sta pomembna razmerje med površino in maso (S/m), ki je pri človeku večje za faktor 10^{10} , in površinska temperatura, ki je pri človeku manjša za približno 19-krat. (Avtor slike: Vladimir Grubelnik)

Izrazimo sevalni tok človeka še glede na maso človeka in ga primerjajmo s sevalnim tokom Sonca. Ob upoštevanju, da človek z maso 65 kg seva toploto z močjo približno 130 W, to predstavlja 2 W/kg. Primerjava s sevalnim tokom Sonca nam pokaže, da je to kar za faktor 10^4 več kot pri Soncu. Čeprav ima torej Sonce večjo izsevalno moč kot človek (glej zgornji izračun in sliko 1 A), je sevalni tok, preračunan na maso telesa, veliko večji pri človeku kot pri Soncu (glej sliko 1 B).

Treba je poudariti, da je ta primerjava sevalnih tokov na maso telesa relevantna le, če želimo primerjati celotno strukturo Sonca, ki je potrebna, da se v notranjosti Sonca ustvarijo razmere za potek jedrskih reakcij, s celotno strukturo človeškega telesa, ki je potrebna, da lahko človek živi v danih razmerah. Upoštevanje le dela sončeve in človeške mase, ki proizvaja toploto, prej izmerjeno razmerje precej spremeni, izračuni pa zaradi nehomogenosti teles postanejo kompleksnejši, česar na tem mestu ne bomo podrobneje obravnavali.

Za konec le še pojasnilo, zakaj mora homogeno telo, ki ima večje razmerje med površino in maso (S/m), pri dani površinski temperaturi T proizvesti več energije na maso telesa (W/kg). V stacionarnem stanju sta proizvedeni (P) in izsevani (P_i) energijski tok enaka. Upoštevajmo, da je proizvedeni energijski tok sorazmeren z maso telesa: $P = k \cdot m$, izsevani energijski tok pa je glede na Stefanov zakon odvisen od površine in temperature telesa: $P_i = S\sigma(T^4 - T_0^4)$. Če tokova izenačimo in delimo z maso, dobimo energijski tok na maso telesa:

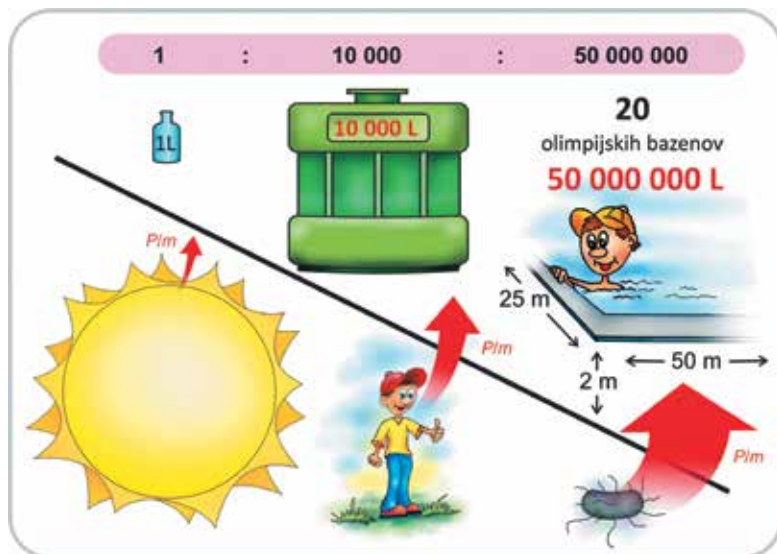
$$\frac{P}{m} = \sigma \left(\frac{S}{m} \right) (T^4 - T_0^4),$$

ki je pri dani temperaturi odvisen od razmerja S/m . Ko primerjamo človeka s Soncem (slika 1), je razmerje S/m pri Soncu za kar 10^{10} manjše kot pri človeku. Zaradi precej različnih površinskih temperatur pa izsevana moč na maso telesa pri Soncu v primerjavi s človekom ni za tolikšen faktor manjša. Če v zgornji enačbi poleg izračunanega razmerja S/m upoštevamo še različne temperature človeka in Sonca, ugotovimo, da je izsevni tok na maso telesa (P/m) pri Soncu za faktor 10^4 manjši kot pri človeku, kar smo predhodno tudi pokazali.

Človek in bakterije

Ob ugotovitvi, da je moč človeka veliko večja od izsevalne moči Sonca, povejmo še, da človeško telo ni edini organizem na Zemlji, ki je energijsko zelo učinkovit. V literaturi zasledimo podatke o številnih bakterijah, ki lahko proizvedejo ogromne količine energije na gram telesne mase. Poznamo bakterije, t. i. *Azotobacter*, ki prekašajo izsevalno moč Sonca, preračunano na gram mase, celo za 50-milijonkrat, kar je še mnogo več, kot je moč človeka na gram telesne mase (slika 2).

Sevalni tok, preračunan na maso telesa, je kar za faktor 10^4 večji pri človeku kot pri Soncu.



Slika 2: Izsevalne moči na gram mase pri Soncu, človeku in bakteriji so v razmerju 1 : 10.000 : 50.000.000, kar ustreza primerjavi prostornin plastenke (1 l), cisterne za vodo (10.000 l) in 20 olimpijskih bazenov (50.000.000 l). (Avtor slike: Vladimir Grubelnik)

Bakterije živijo na Zemlji mnogo dlje kot človek, saj so se razvile pred skoraj štirimi milijardami let. Celice, ki imajo jedro in celične organele, torej celice, ki so podobne celicam v človeškem telesu, pa so se razvile šele pred približno dvema milijardama let. Glede na to, da so imele bakterije v primerjavi s človekom kar dvakrat več časa za evolucijo, bi lahko pomislili, da imajo bolj prefinjene mehanizme pridobivanja energije kot človek. Pa je res tako?

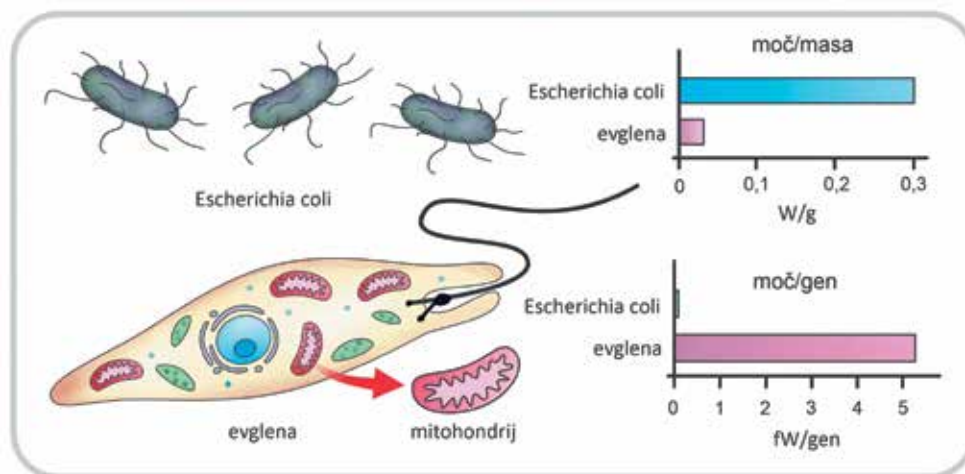
Moč človeškega telesa, normirana na genom

Pri razmisleku, kdo je zmogljivejši, mi ali bakterije, se izračuna lahko lotimo tako, da našo energijsko zmogljivost, našo moč, preračunamo glede na kompleksnost organizma, saj kompleksnejši organizmi potrebujejo več energije za delovanje. Kompleksnost organizma lahko izrazimo z genskim zapisom, številom genov, kar opravičuje preračun energijske zmogljivosti na gen (Lane, 2015; Lane in Martin, 2010).

Človek ima približno 200.000-krat več genov kot bakterije. S tem lahko celice v našem telesu izdelajo veliko različnih beljakovin, kar pa je energijsko zahtevno, saj se za izgradnjo beljakovin porabi največji delež energije v obliki adenozin trifosfata (ATP), ki ga proizvedemo iz zaužite hrane, približno 25–30 % (Rolfe in Brown, 1997). Sicer molekule ATP zagotavljajo energijo še za večino drugih procesov v naših celicah, kot so krčenje mišic, prenašanje živčnih pulzov itd. Za razliko od človeka so bakterije precej manj kompleksne, kar jim omogoča hitro delitev, saj pri delitvi porabijo manj energije, in kar je še posebej pomembno, manj gradnikov.

Pokazali smo, da so bakterije dejansko energijsko zelo zmogljive, če njihovo moč preračunamo na gram. Poleg že omenjene bakterije *Azotobacter* je energijsko zelo učinkovita tudi ena najbolj poznanih in preučevanih bakterij *Escherichia coli*, ki za večkratnik prekaša evgleno, kot to prikazuje slika 3. Poudarimo, da je evglena enoceličar, torej ena celica, ki je po strukturi podobna naši, ima jedro in celične organele. Posebej pomembni so celični organeli mitohondriji, ki so poleg številnih funkcij najbolj poznani kot proizvajalci energije (»celične elektrarne«), kjer se proizvede večina ATP v naših celicah.

Preračun energijske zmogljivosti na gen pokaže, da človek kljub precej večjemu številu genov v primerjavi z bakterijami proizvede bistveno večje moči, preračunane na gen. Ker smo proizvodnjo energije preselili na naše celične organele mitohondrije, ki najverjetneje izvirajo iz nekdanj prostoživečih bakterij, smo uspeli doseči velikanske moči, preračunane na gen, kar lahko vidimo tudi na primeru evglene na sliki 3.



Slika 3: Moč, preračunana na genom, je pri človeku mnogo večja kot pri bakterijah, kar lahko razberemo iz evglene kot primera enoceličnega organizma. (Avtor slike: Vladimir Grubelnik)

Urnavanje proizvodnje energije v mitohondrijih je eden najpomembnejših preskokov v evoluciji življenja na Zemlji. Mitohondriji za urnavanje energijskih procesov potrebujejo zelo malo genetskega zapisa. Ohranili so samo 37 genov za sintezo 13 proteinov, preostali

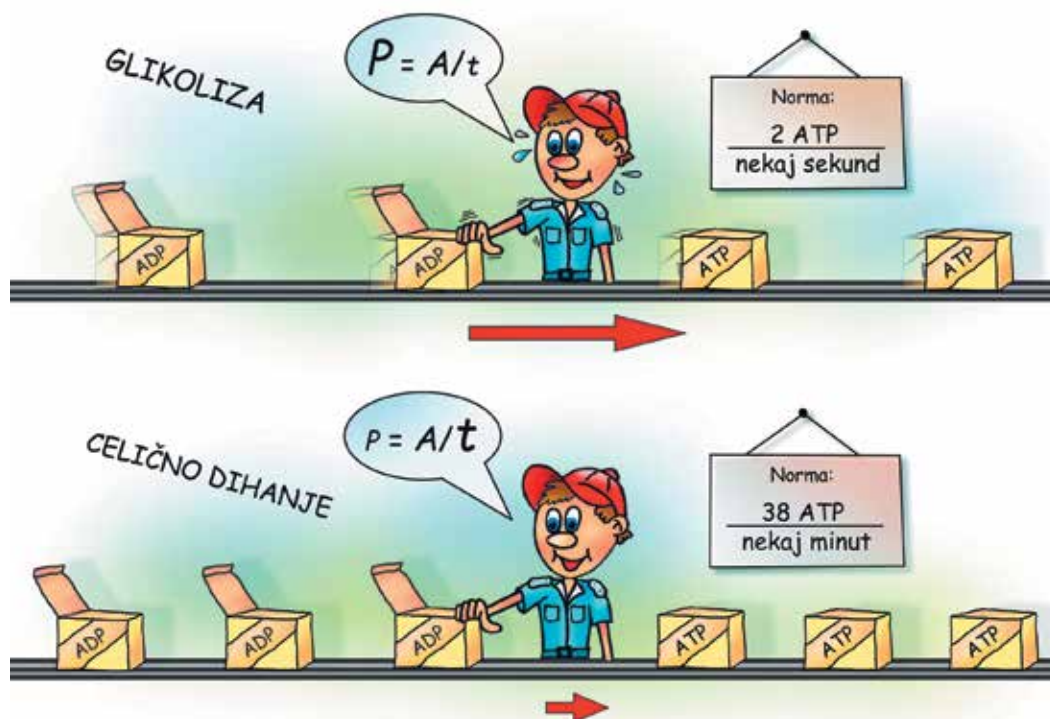
Številne bakterije lahko proizvedejo ogromne količine energije na gram telesne mase.

Urnavanje proizvodnje energije v mitohondrijih je eden najpomembnejših preskokov v evoluciji življenja na Zemlji.

genetski material, ki so ga imeli kot samoživeči bakterijski organizmi, pa so predali jedru naših celic (Lane, 2015; Lane in Martin, 2010). To je bil tako velik preskok v evoluciji, da mu lahko rečemo edinstven in ključen predvsem z energijskega vidika, kar je omogočilo razvoj kompleksnega življenja na Zemlji.

Regulacija moči človeškega telesa

Človeško telo je zelo kompleksno, mehanizmi produkcije celične energije pa omogočajo številne prilagoditve okolju in s tem potrebam človeškega organizma. Celice v človeškem telesu lahko pridobivajo energijo v obliki visokoenergijskih molekul, kot je npr. ATP, iz več hranil, predvsem iz glukoze, maščob in beljakovin. Iz glukoze lahko pridobimo ATP na dva načina, in sicer z glikolizo ali s celičnim dihanjem. Glikolizo poznamo predvsem po njenem delu fermentacije, ki poteka brez kisika, npr. pri glivah kvasovkah, ki s tem povzročajo vretje mošta. Dejstvo je, da z glikolizo dobimo zelo malo energije, iz ene molekule glukoze dobimo le dve molekuli ATP, pri celičnem dihanju, ki vključuje še nadaljnjo razgradnjo glukoze in pri katerem se porablja kisik, pa tudi do 38 (v realnosti med 30–36 molekul). Pomislili bi, da je celično dihanje edina smiselna pot, saj nam daje veliko več energije, fermentacija pa daje občutek potratnosti. Pa vendar odgovor ni preprost. Res je, da s celičnim dihanjem dobimo veliko več energije, vendar je čas, ki je za to potreben, veliko daljši. Groba ocena je, da se to (odvisno od celic in stanja v celicah) zgodi v minutah, medtem ko glikoliza poteče v nekaj sekundah. Torej, povedano fizikalno, moč glikolize je večja kot moč celičnega dihanja. To si lahko ponazorimo z delom za tekočim trakom, kot prikazuje slika 4. V prvem primeru (glikoliza) napolnimo dve škatli v nekaj sekundah, v drugem primeru (celično dihanje) pa 38 škatel v nekaj minutah, kar pomeni, da smo v prvem primeru trošili večjo moč.



Slika 4: Različne moči glikolize in celičnega dihanja, ponazorjene z delom za tekočim trakom. V zgornjem primeru (glikoliza) zapremo dve škatli v nekaj sekundah, v spodnjem primeru (celično dihanje) pa 38 škatel v nekaj minutah. (Avtor slike: Vladimir Grubelnik)

V realnosti celice velikokrat preklopijo iz »varčnega« celičnega dihanja v »potratno« glikolizo, še posebej, ko v kratkem času potrebujemo veliko energije. Verjetno najbolj poznamo primer mišičnih celic, ki pri velikih obremenitvah ali znižani koncentraciji kisika preklopijo na »veli-

Celice velikokrat preklopijo iz »varčnega« celičnega dihanja v »potratno« glikolizo, še posebej, ko v kratkem času potrebujemo veliko energije.

ke moči« glikolize. Pravimo, da se nam pri velikih obremenitvah v kratkem času mišice »zakisajo«, kar je na nek način res, saj je stranski produkt glikolize – fermentacije – mlečna kislina, ki povzroči pekočo bolečino v mišicah ob velikem naporu. Seveda je treba upoštevati, da lahko mlečno kislino, ali pa vsaj večji del nje, telo ponovno uporabi. Po krvi potuje mlečna kislina v jetra, kjer se porabi za izdelavo glukoze (kar imenujemo Corijev cikel), ali pa se v močno prekrvljenih tkivih, kot so npr. srce ali ledvice, ki so bogata s kisikom, porabi za pridobivanje ATP (Vazquez, 2017). Ko se nam torej ob intenzivni vadbi zviša koncentracija mlečne kisline v krvi, pravimo, da smo v mlečnokislinskem ali laktacidnem kisikovem dolgu. To občutimo z zadihanostjo še nekaj minut po končani vadbi, saj s pospešenim dihanjem vnašamo v telo več kisika, ki je potreben za presnovo mlečne kisline v omenjenih tkivih. Čeprav ti procesi presnove niso ravno enostavni, si lahko na primeru delovanja mišic dokaj preprosto ponazorimo, kako deluje naša »fina regulacija moči«, ko telo potrebuje več energije v kratkem času ali pa ima možnost, da lepo »počasi« in v miru z oksidacijo pridobiva energijo z velikimi izkoristki.

Mišične celice pa niso edini primer regulacije moči, s katero naše telo pridobiva energijo glede na potrebe našega telesa. S »preklopom« na glikolizo se odzove tudi naš imunski sistem, ki z veliko močjo v zelo kratkem času proizvaja nujno potrebno energijo in gradnike za delitev celic. Imunske celice si lahko predstavljamo kot vojake, ki jih moramo ob okužbi z virusi, bakterijami, glivami in paraziti, ko se naše telo znajde v zagati, zelo hitro namnožiti (Vazquez, 2017).

Celice v našem telesu pa nam lahko tudi zelo ponagajajo. Takšen primer so rakave celice, ki prevarajo naše telo in se »egoistično« delijo ter pri tem zelo hitro, z veliko močjo glikolize, porabljajo našo glukozo; pojav je že v 20. letih prejšnjega stoletja preučeval Otto von Warburg in je danes poznan kot Warburgov pojav. Pri rakavih celicah seveda energijski procesi niso tako zelo preprosti, saj poleg velike količine energije potrebujemo tudi zelo veliko gradnikov, še posebej beljakovin in maščob, za izgradnjo novih celic. Zato je poleg proizvodnje ATP zelo pomembna tudi produkcija drugih visokoenergijskih molekul, kot je na primer NADPH (nikotinamid adenin dinukleotid fosfat), katerega vlogo še posebej lepo predstavi nedavno izdana knjiga (Lane, 2022).

Zaključek

Človeško telo je zapleten sistem z zelo učinkovito produkcijo celične energije. Moč našega telesa je presenetljivo večja od izsevalne moči Sonca, ko moč preračunamo na gram telesne mase. Pokazali smo, da je izsevani energijski tok na maso telesa pri dani temperaturi odvisen od razmerja S/m . To razmerje je pri človeku precej večje kot pri Soncu. V primeru homogenih krogelnih teles s povečevanjem radija r razmerje pada z $1/r$. S tem lahko razložimo tudi dejstvo, da manjše živali (na primer miš) v primerjavi z večjimi (slon) sevajo večji energijski tok, normiran na maso telesa, kar hkrati pomeni, da morajo manjše živali v primerjavi z večjimi zaužiti več kalorij na maso telesa.

Če upoštevamo še kompleksnost in moč našega telesa, normiramo na genom, močno presega tudi učinkovitost bakterij, ki so sicer zelo učinkovite pri produkciji energije, preračunane na gram telesne mase. Zato bi lahko rekli, kot je zapisal Nick Lane v svoji knjigi (Lane, 2022): »Življenje v prisposobi ni goreča sveča, je bolj podobno poletu rakete.«

Poleg velike energijske učinkovitosti človeškega telesa imamo tudi izredno dobro razvite regulacijske mehanizme. Samo za produkcijo ATP lahko izbiramo med glikolizo in celičnim dihanjem, pri čemer je glikoliza način pridobivanja ATP z veliko močjo in nizkim izkoristkom, celično dihanje pa proces z visokim izkoristkom in majhno močjo. Preklapljanje med režimoma je pomembno za delovanje mišic, imunskega sistema in drugih procesov v našem telesu.

Poleg ATP so pomembne še druge visokoenergijske molekule, kot je NADPH, ki ima zaradi svoje strukture in zelo skrbno regulirane koncentracije v celici ključen pomen pri sintezi bioloških molekul. Ker NADPH poznamo manj kot ATP, podajmo primer iz knjige Nicka Lana (Lane, 2022). Za izgradnjo (npr. pri delitvi) celice so potrebni gradniki. Palmitat je ključna maščobna molekula za izgradnjo celične membrane. Za izgradnjo ene molekule palmitata potrebujemo sedem molekul ATP in 14 molekul NADPH. Iz ene molekule glukoze lahko realno proizvedemo od 30 do 36 molekul ATP in zgolj dve molekuli NADPH. Količina

Človeško telo je zapleten sistem z zelo učinkovito produkcijo celične energije.

ATP iz ene molekule glukoze torej zadostuje za pet molekul palmitata, medtem ko potrebujemo sedem molekul glukoze, da bi proizvedli zadostno količino NADPH za tvorbo ene same molekule palmitata. Telo mora torej nenehno preusmerjati energijske presnovne poti in zagotavljati dovolj energije v obliki visokoenergijskih molekul, kot sta ATP in NADPH, v potrebnih količinah v določenem času. To je kompleksen proces, ki ga ni enostavno krmiliti in je občutljiv na okvare, ki se pojavljajo zaradi staranja, genetskih motenj in nezdravega načina življenja. Zavedati se je treba, da je pri bolezenskih spremembah celične presnove, ki se kažejo na primer pri sladkorni bolezni, raku ali Alzheimerjevi bolezni, celična presnova pogosto tako spremenjena, da jo je izredno težko povrniti v stanje normalnega fiziološkega delovanja.

To je kompleksen proces, ki ga ni enostavno krmiliti in je občutljiv na okvare, ki se pojavljajo zaradi staranja, genetskih motenj in nezdravega načina življenja.

Viri in literatura

- [1] Kladnik, R. (1989). *Visokošolska fizika. 3. del. Valovni pojavi. Akustika in optika*. Ljubljana: DZS.
- [2] Lane, N. (2015). *The vital question: energy, evolution, and the origins of complex life* (1st ed.). W. W. Norton & Company.
- [3] Lane, N. (2022). *Transformer: The Deep Chemistry of Life and Death*. Profile Books.
- [4] Lane, N. in Martin, W. (2010). The energetics of genome complexity. *Nature*, 467(7318), 929–934. <https://doi.org/10.1038/nature09486>
- [5] Rolfe, D. F. in Brown, G. C. (1997). Cellular energy utilization and molecular origin of standard metabolic rate in mammals. *Physiological Reviews*, 77(3), 731–758. <https://doi.org/10.1152/physrev.1997.77.3.731>
- [6] Vazquez, A. (2017). *Overflow Metabolism: From Yeast to Marathon Runners* (1st ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-02486-5>

REFERENČNI OKVIRI KOMPETENC

Digitalna bralnica ZRSS



Zavod
Republike
Slovenije
za šolstvo



Vse štiri publikacije lahko brezplačno preberate v digitalni bralnici ZRSS.

<https://www.zrss.si/digitalna-bralnica/referencni-okviri-kompetenc/>

Difrakcijske intraokularne leče

Rasto Snoj

Elektrotehniško-računalniška strokovna šola in gimnazija Ljubljana, Vegova

Izvleček

Zaradi različnih vzrokov, predvsem pa zaradi sive mrene, marsikoga čaka operativna odstranitev motne naravne leče in vsaditev umetne intraokularne leče – IOL. Če želimo imeti kar najboljši pooperativni vid, je dobro poznati vsaj nekaj podrobnosti in lastnosti tega trajnega umetnega vsadka. Izbira IOL je marsikdaj prepuščena uporabniku, ki je tudi plačnik. Zaradi velikega števila operacij sive mrene poznavanje IOL spada že k splošni izobrazbi, žal pa na tem pomembnem področju avtentičnosti šolska fizika močno šepa. V članku bomo spoznali nekaj osnovnih optičnih lastnosti očesa in najpogostejših IOL. Podrobneje pa si bomo ogledali multifokalne difrakcijske leče, saj je prav tu razkorak med šolskim znanjem fizike in operativno prakso največji.

Ključne besede: siva mrena, IOL, multifokalne leče, difrakcijske leče, akomodacija

Diffraction Intraocular Lenses

Abstract

Due to various reasons, primarily cataracts, many patients will require the surgical removal of the cloudy natural lens and the implantation of an artificial intraocular lens (IOL). If we want the best postoperative vision, some details and features of this permanent artificial implant may prove beneficial. Ultimately, choosing IOL is often up to the user, who is also the payor. Due to numerous cataract surgeries, the knowledge of IOLs is commonplace. However, school physics is struggling in this crucial area of authenticity. This article examines some basic optical properties of the eye and the most common IOLs. The focus is on multifocal diffraction lenses because this is where the gap between school physics and operational practice is the greatest.

Keywords: cataract, IOL, multifocal lens, diffractive lens, accommodation.

Odprava sive mrene

Pri operaciji katarakte gre za odstranitev motne očesne leče, ki poleg tega, da prepušča čedalje manj vpadne svetlobe, najbolj v kratkovalovnem področju, povzroča še neostro sliko, ki je ne moremo popraviti z navadnimi očali in v končni fazi lahko pripelje do slepote. Prvo uspešno implantacijo IOL je leta 1950 opravil angleški oftalmolog Nicholas Ridley, ki je uporabil lečo iz akrila, ta namreč za razliko od stekla v očesu ne povzroči zavrnitve vsadka [1]. Vreznina v roženico je bila velika kar 8 mm, kar je povzročalo številne zaplete, zato je postopek bolj zaživel šele po letu 1967, ko je Američan Charles Kelman izumil fakoemulzifikacijo. Pri tej metodi najprej z ultrazvočno sondo utekočinijo motno naravno očesno lečo, jo posrkajo in takoj zatem s posebnim injektorjem skozi okoli 2–3 mm veliko odprtino v oko vstavi-jo fleksibilno umetno lečo. Ta pacientu skoraj hipoma omogoči normalen vid, v mnogih primerih celo boljši, kot ga je kdaj imel.

Osnovna fizika leč in sestavljenih sistemov, oko

Preden si pobliže ogledamo IOL, ponovimo nekaj srednješolskih resnic o posameznih lečah in sestavljenih sistemih.

Za razumevanje »delovanja« IOL je potrebno osnovno poznavanje delovanja optičnih elementov, v tem primeru konveksnih leč [2]. Konveksna leča izostri sliko opazovanega predmeta z razdalje a pred lečo na razdalji b za lečo po **enačbi preslikave**

$$1/f = 1/a + 1/b. \quad (1)$$

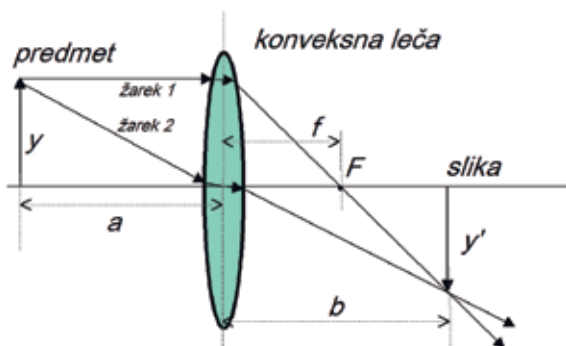
Če je a večji od goriščne razdalje f (se pravi, da je predmet dovolj oddaljen od očesa), je ostra slika realna in nastane na mrežnici.

V optiki pogosto uporabljamo lomnost, ki je definirana kot obratna vrednost goriščne razdalje, njena enota pa

je dioptrija, ki je m^{-1} . Pri dveh zaporedno postavljenih tankih lečah se lomnosti (približno) seštevajo in je

$$1/f = 1/f_1 + 1/f_2 - s/f_1 f_2, \quad (2)$$

kjer sta z indeksi 1 in 2 označeni posamezni leči, s pa je razdalja med lečama in vpliva na pravilnost prej podane izjave. Le pri majhni vrednosti razdalje s smemo zadnji člen zanemariti.

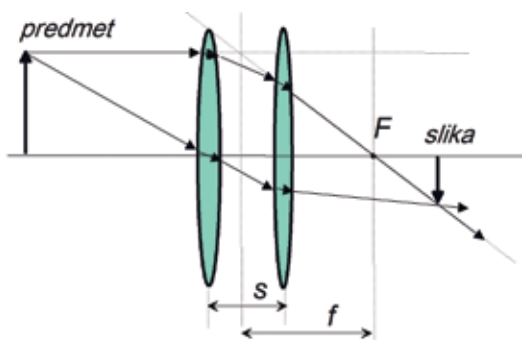


Slika 1: Konveksna leča (kot jo imamo tudi v očesu) preslika predmet v realno sliko. Razdalja b od leče do slike na mrežnici je **pri očesu** fiksna. Skica je smiselna tudi za oko kot celoto, če f razumemo kot skupno goriščno razdaljo vseh refraktivnih delov očesa in ne le leče kot posameznega elementa. (Vir: lastni)

Goriščna razdalja f tanke leče (refrakcijska goriščna razdalja) je določena z **enačbo izdelovalcev leč**

$$1/f = (n - 1)(1/r_1 + 1/r_2), \quad (3)$$

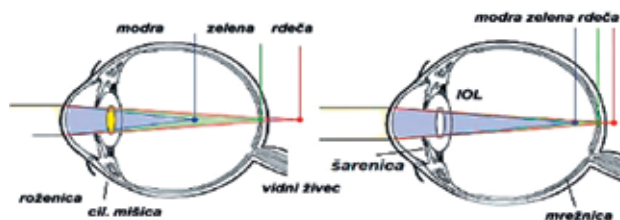
kjer je n lomni količnik leče, f goriščna razdalja, r_1 in r_2 pa sta njena krivinska polmera na obeh ploskvah, okoli leče pa je zrak (lahko vakuum). Ker je na obeh ploskvah očesne leče drugačen material od zraka, se enačba za ta primer malce spremeni. Za osnovno razumevanje očesne leče pa zadostuje že vedenje, da manjši krivinski polmeri leče (na sredini je debelejša) povečajo njeno lomnost.



Slika 2: Dve zaporedno postavljeni leči v razdalji s upodobita predmet podobno, kot če bi uporabili eno samo, ki pa bi imela manjšo goriščno razdaljo f od obeh, kar velja, če je s dovolj majhna. (Vir: lastni)

Oko – poenostavljeno

V optičnem smislu gre za kompleksen optični sistem, v katerem je očesna leča le eden od delov. K lomu svetlobe in nastanku slike pomembno prispeva še trda prozorna roženica na skrajnem zunanjem delu očesa, ki deluje kot leča s fiksno goriščno razdaljo *okoli* 23 mm. Želatinasta steklovina v notranjosti očesa (*vitreous humour*) in očesna tekočina (*aqueous humour*) med roženico in lečo pa sta v glavnem iz vode.



Slika 3: V prerezu očesa so vidni roženica, IOL (namesto odstranjene večje in debelejša naravne leče), šarenica in ciliarna mišica, mrežnica ter vidni živec. Oko, v katero sveti bela svetloba, pokaže barvno napako (levo). V primeru s slike je na mrežnici izostrena le zelena svetloba, rdeča slika nastane za mrežnico (daljnovidnost), modra pa pred njo (kratkovidnost). Pri tistih IOL, ki korigirajo še barvno napako, je hkratna izostritev za vse tri barve boljša. Barvno nekorrigirano oko (levo) ima 1,2 dioptrije barvne napake, korigirano (desno) pa le 0,1. [3]

Očesna leča zdravega očesa je prozorna za vidno svetlobo, z leti pa predvsem v modro vijoličastem delu spektra transmisivnost (prepustnost) močno upade, kar koristi vsaj kot nekakšna naravna zaščita za občutljivo rumeno pego – makulo. Naravna očesna leča je fleksibilna in ji ciliarne mišice v obsegu do 4 dioptrije spreminjajo goriščno razdaljo (t. i. akomodacija), kar omogoča ostrenje na povsem drugačen način od leč v npr. objektivih kamer s fiksno goriščno razdaljo. Tam na različni oddaljene predmete (drugačen a) ostrimo s spremembo razdalje b med objektivom in slikovnim senzorjem (ali okularjem pri teleskopu). Pri očesu pa je b fiksna in pogojena z obliko očesnega zrkla, ki se zaradi rasti (ki je lahko tudi pretirana) nekoliko spreminja le v mladosti. Na manjše lečne krivinske polmere (večjo debelino na sredini) in s tem na manjšo goriščno razdaljo vpliva ciliarna mišica s stiskanjem, a bi tudi njen aksilarni premik s (2) v sistemu roženice in očesne leče imel podoben učinek. Čeprav se opazovanju na različni oddaljene predmete v naravnem očesu prilagaja le leča (spremenljiva f_2), velja enako tudi za efektivno goriščno razdaljo (f) očesa kot celote (ob fiksni goriščni razdalji roženice f_1), zato pri npr. istem b in manjšem a vseeno dobro vidimo tudi na blizu.

V večini tekstov o očalih in napakah očesa avtorji uporabljajo enoto dioptrija kot sinonim za fizikalno količino lomnosti leče. Da bi se izognili besednim zvezam, ki jih nismo vajeni, bo tako tudi v nadaljevanju tega članka, čeprav seveda poznamo razliko.

Pri predolgem zrklu (prevelik **b**) ne moremo izostriti oddaljenih predmetov, saj slika nastane pred mrežnico, gre za kratkovidnost – miopijo. Potrebujemo očala z negativno dioptrijo, ki svetlobo razpršijo že pred očesom. Kratkovidneži imajo vseeno eno pomembno prednost pred tistimi, ki dobro vidijo brez očal. Pri njih je najmanjša razdalja, na kateri lahko dobro vidijo, tudi v starosti manjša od sicer »normalne« zorne razdalje 25 cm (posledica prevelikega **b** je ugodno manjši **a**), kar pomeni, da premorejo nekakšno naravno lupo in na blizu odlično vidijo prav brez očal.

Pri prekratkem zrklu je težava nasprotna, smo daljnovidni in je treba očesu pomagati še z dodatno zbiralno lečo (pozitivna dioptrija). Gre za hiperopijo, tej podobna težava prezbiopija pa se zelo pogosto pojavlja pri mnogih ljudeh že kmalu po 40. letu starosti. Je posledica z leti spremenjene in manj elastične leče, morda tudi opešane ciliarne mišice, kar vpliva na obliko leče, ki se ni zmožna več dovolj »stisniti« kljub sicer normalnemu zrklu. Tako leča ne omogoča več dovolj zmanjšanja efektivne goriščne razdalje (akomodacije) za oster vid na bližino do 25 cm in **a** je zdaj pri istem **b** večji, na blizu pač ne vidimo več dobro. Vendar si lahko za branje kupimo očala, ki nadomestijo lečin naravni primanjkljaj lomnosti.

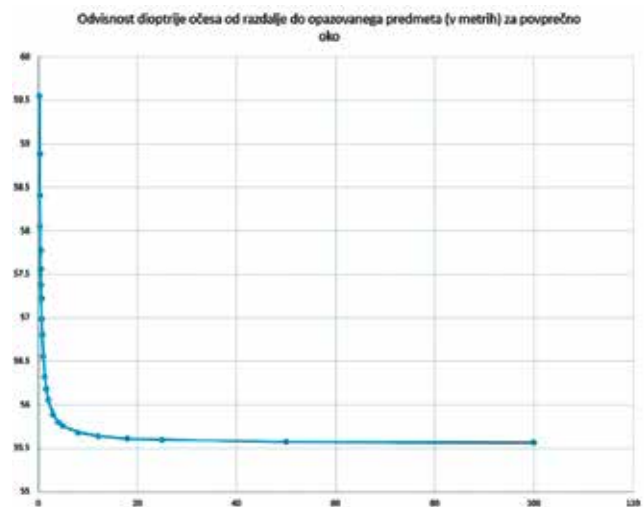
Goriščno razdaljo očesa merimo od tako imenovane glavne ravnine (med lečo in roženico). Pri akomodaciji na neskončno oddaljene predmete je f povprečnega očesa *okoli* 18 mm in ima oko dioptrijo približno 55 ali več. Okoli dve tretjini je prispeva roženica, preostalo (okoli 20 dioptrij) pa očesna leča, saj se lomnosti (približno) seštevajo.



Slika 4: Z znano Snellovo karto ugotavljamo ostrino vida. Ne gre za znamenitega soavtorja matematične formulacije lomnega zakona astronoma Willebrorda Snella, ampak za danskega očesnega zdravnika Hermanna Snella, ki je leta 1860 predlagal tovrstni opis ostrine vida. Podčrtani primer (20/20) se nanaša na popolnoma oster vid (tudi brez astigmatizma), kotna ločljivost očesa pa je eno ločno minuto. Za občutek navedimo, da je navidezni kotni premer Lune v povprečju okoli 30 minut.

V primeru branja (brez očal) pod oznako 20/30 vidimo ostro, če nosimo očala z dioptrijo $-0,5$, ločljivost očesa je 1,5 ločne minute. Oznaka 20/50 pomeni dioptrijo $-1,0$, nekorrigirana ločljivost pa dosega 2,5 ločne minute.

Novejša karta za določanje vidne ostrine je karta log-MAR, ki so jo v National Research Vision Institute of Australia razvili pred 40 leti. Kratica pomeni logaritem (desetiški) minimalnega kota ločljivosti (Logarithm of Minimal Angle of Resolution). Za primer zgoraj navedenega popolnoma ostrega vida (Snell 20/20) je $\log(1) = 0$ oziroma je logMAR nič. [4]



Slika 5: Razpon dioptrij očesa pri prilagoditvi od neskončnosti do razdalje 25 cm je 4, večinoma na območju od le nekaj metrov do 25 cm (na ordinati je dioptrija, na abscisi razdalja v metrih). Z običajnimi enožariščnimi (monofokalnimi) IOL bi lahko dobro videli od neskončnosti do največ nekaj metrov, odvisno tudi od svetlobnih razmer. Lahko pa tudi na kakšni drugi razdalji, celo na zelo majhni bližini, a na račun ostrine pri drugih razdaljah. Razpon področja globinske ostrine je namreč s takimi lečami vedno zelo ozek, kar je njihova največja težava. V primeru implantacije običajnih monofokalnih IOL pa lahko eno oko »naravnajo« na ostro sliko neskončno oddaljenih predmetov in drugo na bližino, postopek se imenuje monovision ali mini monovision, odvisno od pooperativne razlike dioptrij med obema očesoma. (Vir: lastni)

Ker imajo vse leče tudi optične napake, velja to tudi za roženico in očesno lečo. Optične napake vplivajo na ostrino slike in dobre IOL jih znajo odpraviti.

Globinska ostrina je pomembna

Iz enačbe preslikave (1) sledi, da bi lahko izostrili samo na eni razdalji **a** od predmeta. Zaradi stalnega vpliva ciliarne mišice na očesno lečo pa ta zlahka ostri (akomodira) tudi na drugih razdaljah. V praksi je to nepotrebno, saj oko ne loči ostre slike od neostre (podobno velja tudi za slikovni senzor v kameri), če je le neostrina manjša

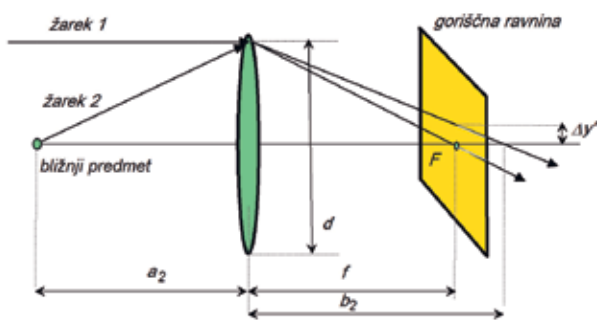
od neke minimalne še dopustne. Ta je pri npr. senzorju pogojena z velikostjo slikovnih elementov (pikslov), pri očesu pa z velikostjo svetlobnih receptorjev na mrežnici, to je paličic in predvsem čepkov, ki so pogosti na rumeni pegi. Če to možganom še nezaznavno neostrično označimo z npr. $2\Delta y'$ (slika), velja poenostavitev

$$a_2 = fd / (2\Delta y'), \quad (4)$$

kjer je d premer zenice očesa, f goriščna razdalja očesa, a_2 pa razdalja, od katere pa do neskončnosti je vse videti enako ostro (čeprav v resnici ni).

Oko na zmanjšanje a_2 vpliva z zmanjšanjem goriščne razdalje (ciliarne mišice stisnejo gibljivo očesno lečo, kar pomeni določen napor) ali pa z manjšanjem premera d zenice. Na slednje ne moremo vplivati zavestno, premer namreč neodvisno od naše volje pogojuje predvsem osvetljenost.

Pri večji osvetljenosti se zenica zoži, torej se razširi področje (navidezne) ostrine zaradi sorazmerno manjšega a_2 . Nasprotno temu pa je branje v slabi svetlobi utrujajoče, saj se mora ciliarna mišica stalno prilagajati kar najmanjšim spremembam razdalje do knjige, pri več svetlobe pa se globinska ostrina poveča in napora ni. Tudi to je pomembno za razumevanje delovanja nekaterih tipov IOL.



Slika 6: Če je predmet v neskončnosti (žarek 1) ali pa le na razdalji a_2 pred lečo (žarek 2), se slika premakne za razliko $b_2 - f$, v goriščni ravnini pa nastane neostrično območje velikosti $2\Delta y'$ (žarek 3, ki ni narisano, potuje od bližnjega predmeta v spodnji del leče in ustvari enako neostrično področje kot žarek 2, zato faktor 2 v izrazu). Ker je a_1 neskončen, je razdalja b_1 enaka goriščni razdalji f in se žarek 1 lomi v gorišče, žarek 2 pa na nekoliko večjo razdaljo b_2 . Opomba: a_2 , b_2 in f na skici niso v pravilnem razmerju (glede na enačbo leče). (Vir: lastni)

Osnovna delitev IOL

Vrst IOL je ogromno, zato bomo v članku omenili le pomembnejše. Leče so lahko psevdofakične ali fakične, prve so nadomestek za odstranjeno naravno lečo, v drugem primeru pa očesni kirurg vstavi IOL pred obstoječo lečo in tako spremeni dioptrijo očesa. To lahko koristi nekaterim mlajšim pacientom, ki se tako znebijo odvisnosti od očal, imajo pa še intaktno lastno očesno lečo, ali pa pooperativno popravimo slabo izbrano dioptrijo že

vstavljene IOL. Psevdofakične leče so precej pogostejše in govorili bomo le o teh.

Prve IOL so bile enostavne enožariščne in se množično uporabljajo še danes. Delno zato, ker je z njimi povezanih najmanj zapletov, pa tudi zaradi cene, saj le njihovo implantacijo plačajo zdravstvene zavarovalnice. Tako je teh leč še vedno do 90 %, naprednejšim pa v oftalmologiji pravijo premijske leče, čeprav celoten postopek vsaditve teh IOL večinoma ni dosti dražji. Enožariščne leče omogočajo psevdokomodacijo (npr. zaradi priprte zenice pri dobrih svetlobnih pogojih) manj od 1 dioptrije, kar pa je zagotovo premalo za gledanje na npr. računalnik, sploh pa za branje. Glavna zamera tem lečam gre torej na račun slabe ostrine povsod razen na eni razdalji (kjer pa so odlične), navadno neskončni, saj (odvisno od količine vpadle svetlobe in s tem globinske ostrine) je območje ostrine bistveno ožje kot pri premijskih modelih. Seveda pa je zdravje prvo, in čeprav so premijske leče v splošnem boljša izbira od monofokalnih, je treba vedeti, da vendarle niso vsi pacienti primerni kandidati zanje.



Slika 7: Alconove asferične monofokalne leče AcrySof IQ SN60WF z rumenim filtrom so pogosta izbira oftalmologov. [5]

Med premijskimi lečami so najpogostejše multifokalne leče, manj razširjene pa EDOF in akomodacijske leče. Uporabljena tehnologija je difrakcijska, refrakcijska ali kombinacija obeh, lahko gre celo za imitacijo kamere obskure, a se bomo izognili opisu kopice takih nenavadnih in celo futurističnih tipov IOL, ki pa v praksi še niso najboljše zaživel. Difrakcijske IOL so lahko neapodizirane ali apodizirane, bifokalne ali trifokalne. Tudi akomodacijske leče se delijo na več vrst, npr. z enim optičnim elementom (leče Crystalens podjetja Bausch + Lomb, FluidVision, futuristične Elenza) ali dvema elementoma (leče Synchrony podjetja AMO).

Omenimo le, da tudi za bolnike z makularno degeneracijo obstajajo posebne leče.

Akomodacijske IOL

Gre za leče, katerih oblika je spremenljiva zaradi delovanja (še zdrave) ciliarne mišice, delujejo pa *lahko* tudi z aksialnim premikanjem. Ker v prvem primeru oponašajo odstranjeno naravno lečo, so na prvi pogled najboljše izbira. Vsaj po mnenju evropskih oftalmologov pa se akomodacijske leče iz mnogih razlogov v praksi ne obnesejo tako dobro kot denimo difrakcijske.

V ZDA sorazmerno priljubljen predstavnik akomodacijskih leč je Crystalens družbe Bausch + Lomb. Gre za IOL, ki le funkcionalno posnema delovanje naravne leče. Leča ima zelo velike haptike – nekakšne nogice oz. izrastke, s katero se vsaka IOL pritrdi na strukturo ciliarne mišice. Haptiki omogočajo dober stik z mišico in v tem primeru njen izrazitejši vpliv na razdaljo do roženice (s) ter s tem ustrezno spremenjeno goriščno razdaljo očesa in akomodacijo. Za razumevanje delovanja zadoštuje že zapisana enačba za seštevanje dioptrij, v kateri upoštevamo omenjeni razmik med lečama.



Slika 8: Če se IOL oddalji od roženice, se poveča razdalja s (formula!) in dioptrija očesa pade (večja razdalja gledanja), sicer velja obratno. [6]

Med bolj eksotičnimi predstavniki te skupine omenimo še kalifornijsko podjetje PowerVision (zdaj v lasti Alcon), ki ponuja s silikonskim oljem napolnjeno akomodacijsko lečo FluidVision, ki pa ji ciliarna mišica s pomočjo velikih balonastih haptikov dejansko spremeni obliko in s tem omogoča ostrenje v razponu 3,5 dioptrije. Ta od FDA še neodobrena leča neposredno oponaša način delovanja naravne leče in je v bistvu enožariščna, a s spremenljivo goriščno razdaljo, vendar je tudi zaradi večje vreznine pri implantaciji potencialno problematična zaradi morebitnega nastanka postoperativnega astigmatizma. Fizikalno razumevanje delovanja dijakom omogoča že enačba izdelovalcev leč, sprememba krivinskih polmerov pač vpliva na dioptrijo.



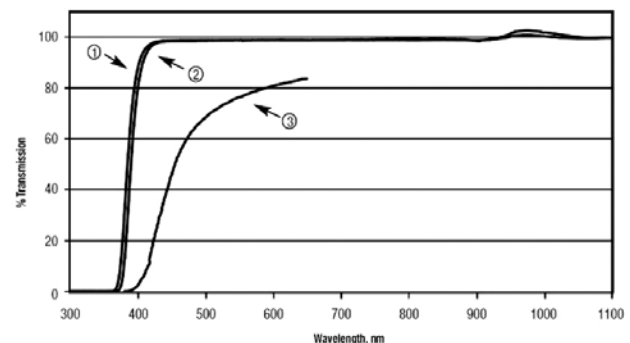
Slika 9: Od strani posneto oko razkriva prisotnost eksperimentalne akomodacijske leče FluidVision. IOL v očesu sicer običajno niso vidne. [7]

A ne pozabimo, za očne implantate velja, da naj bi bili trajni. So žal večinoma sorazmerno težko odstranljivi, kar pomeni določeno tveganje za morebitne zaplete. Zato je še kako pomembno, da je že prva operacija uspešna »za vedno«. Tudi zato se akomodacijske leče vsaj v Evropi niso kdo ve kako prijele.

Leče s povečano globinsko ostrino EDOF (Elongated Depth of Field)

Gre za novejšo generacijo IOL, lahko so difrakcijske ali refrakcijske. Za najznamenitejše difrakcijske EDOF-leče Tecnis Symphony ZXR00 je ameriško podjetje AMO (zdaj v lasti družbe Johnson & Johnson) dobilo dovoljenje stroge FDA šele leta 2016. Symphony je le na videz multifokalna difrakcijska leča in zagotovo (ne brez razloga) ena najbolj reklamiranih. V resnici so jo naredili po načelu podaljšanega gorišča (*extended focus*) in je nekakšen asferičen hibrid med klasičnimi enožariščnimi in multifokalnimi lečami, poleg tega pa je njena kromatična aberacija nasprotna tisti, ki jo daje roženica. Tako je končna barvna napaka z difrakcijsko tehniko povsem neopazna, kar pripomore k precej večji globinski ostrini. V primerjavi z običajnimi difrakcijskimi multifokalnimi lečami povzroča le neizrazite haloje (sicer pogost in neprijeten sopojav vseh tovrstnih leč), kar izboljša kontrast, neželene disfotopsije (zatemnitve v vidnem polju), bleščanje ali »žarki« pa se redkeje pojavijo.

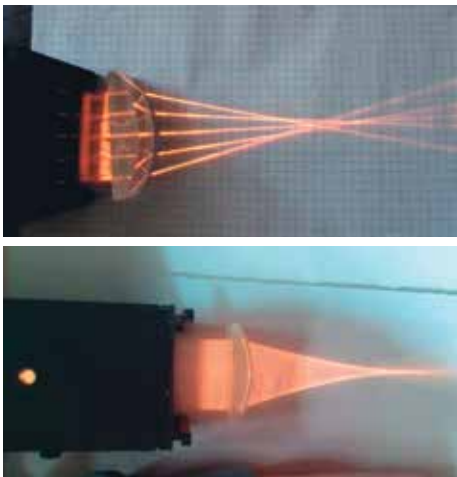
Posebna odlika leč Symphony je gladka »defokusna« krivulja brez izrazitih področij zmanjšane ostrine vida, vse od neskončnosti do razdalje približno 45 cm ali v dobri svetlobi celo malo manj (teoretično sicer nekaj nad 50 cm). Natančne meritve pokažejo, da je leča v rdeči svetlobi precej boljša za opazovanje na daljavo, v modri pa na srednje razdalje in delno bližino, zelena je nekje vmes. V praksi to lahko pomeni, da pri nočni vožnji z avtomobilom ne vidite najboljše na instrumente, če so osvetljeni samo z rdečo svetlobo, če pa so osvetljeni z modro ali zeleno, težav ni. Tecnis Symphony omogoča približno



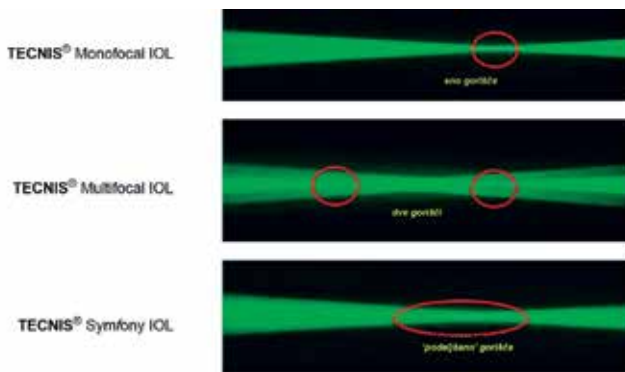
Slika 10: Krivulje svetlobne prepustnosti leč Tecnis Symphony pri različnih dioptrijah v očesu tipičnega 53-letnika. Velika razlika nastane v modrem delu spektra. Edina večja »napaka« te odlične IOL je ta, da pri mnogih pacientih brez dodatnih očal za branje ne omogoča ostrega vida na razdaljah pod 45 cm. [8]

takšen pogled kot oko človeka v poznih štiridesetih letih, ko se že pojavijo prve manjše težave pri branju drobnega tiska, sicer pa je vid še dober. Pred tremi leti je podjetje J & J to lečo nadgradilo s še boljšim trifokalnim EDOF-modelom Synergy, ki je po mnenju nekaterih trenutno najboljša premijska IOL.

V kategorijo leč EDOF spadajo tudi manj razširjene italijanske progresivne leče MiniWell Ready, a so nedifrakcijske s tremi ločenimi conami (zadnja je monofokalna) in ne povzročajo izrazitih (oz. motečih) halojev, za učinek povečane globinske ostrine pa izrabljajo kontrolirano sferno aberacijo (enostavneje rečeno, lomnost zunanjih delov leče je večja kot notranjih). Podobno lastnost spoznajo dijakom že pri izpeljavi enačbe goriščne razdalje sfernega zrcala in pri omembi kavstike.



Slika 11: Pri pouku sferno aberacijo (krogelno napako) pokažejo najprej na modelu leče z virom svetlobe z nekaj vzporednimi žarki in potem še s curkom svetlobe. (Vir: lastni)



Slika 12: Nazorna razlika med enožariščnimi, običajnimi multifokalnimi in EDOF-lečami. [9]

Difrakcijska tehnologija multifokalnih leč

Vse doslej povedano, razen morda načela delovanja leč EDOF, je mogoče dijakom brez večjih težav hitro razlo-

žiti. Najpogostejše premijske difrakcijske leče (popularno imenovane multifokalne leče) pa so že nekaj, kar ne gre več na hitro v glavo povprečnega dijaka/dijakinje. Čeprav gre za najuspešnejše in daleč najpogostejše vrste premijskih leč, je njihovo »delovanje« brez posebne razlage hitro na ravni mistike. Vsakemu srednješolcu je namreč že kaj kmalu po začetnih urah poglavja o geometrijski optiki jasno, da ima lahko leča le eno gorišče, če je leč več, pa enako velja za celoten sistem. Tukaj pa sta istočasno prisotni vsaj dve gorišči, od katerih je eno vedno refrakcijsko (torej tako, kot ga od leče pač pričakujemo), drugo difrakcijsko pa je k temu dodano po principu seštevanja dioptrij. Pri trifokalnih lečah sta dodani celo dve difrakcijski gorišči. Kako je torej to mogoče in kaj sploh je difrakcijsko gorišče?

Za boljše razumevanje delovanja difrakcijskih multifokalnih leč je smiselno odmak od geometrijske optike in spoznavanje Fresnelove conske plošče (ki je posebna krožna uklonska mrežica). Sestavljajo jo izmenični svetlobno neprepustni in prepustni koncentrični kolobarji – cone. S konstruktivno interferenco svetlobe (z ojačitvijo) s prepustnih con lahko svetlobo zberemo v določeno točko na optični osi, razdalje med conami pa morajo zato ustrezati interferenčnim pogojem. Tukaj se uvidoma ni težko navezati na, recimo, interferenco dveh virov valovanja na vodni gladini, kar dijaki seveda že poznajo.

Če si v poenostavljenem modelu zamislimo difrakcijsko gorišče plošče v točki F , potem velja, da tam interferirajo elementarni EM-valovi, ki prihajajo iz posameznih con. Njihov polmer R določimo tako, da se razdalja od npr. sredine sosednjih con do gorišča razlikuje za pol valovne dolžine. Zaradi privzete vrednosti $\lambda/2$ kot razlike razdalj do gorišča med posameznimi (temnimi in svetlimi) conami se prispevki svetlih con z interferenco ojačijo, celotna amplituda pa je enaka polovici tiste iz prve cone. Razdalja r_N N -te cone do gorišča je enaka $f + N\lambda/2$, kjer smo z N označili zaporedno število cone. Po krajšem računu sledi z uporabo Pitagorovega izreka (spodnja skica!)

$$f^2 = r_N^2 - R_N^2 = \left(f + \frac{N\lambda}{2}\right)^2 - R_N^2 = f^2 + fN\lambda + \frac{N^2\lambda^2}{4} - R_N^2. \quad (5)$$

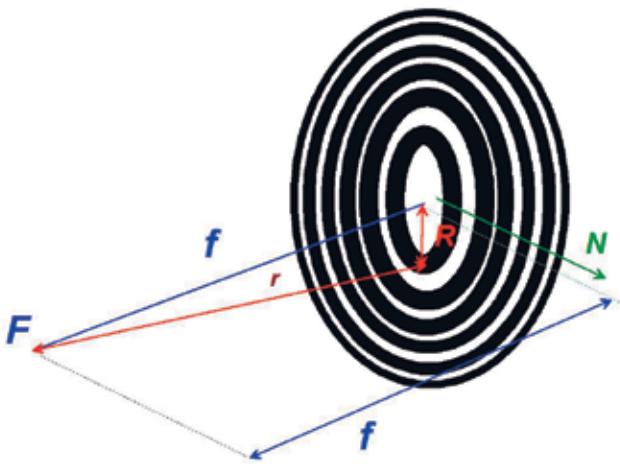
S primerno aproksimacijo (člen s kvadratom valovne dolžine λ je zanemarljiv) in po ureditvi dobimo enačbo za polmer N -te cone

$$R_N = (N\lambda f)^{1/2}. \quad (6)$$

Difrakcijska goriščna razdalja f je potemtakem

$$f = \frac{R_N^2}{N\lambda}. \quad (7)$$

Valovanje, ki prispe v gorišče F lahko razumemo kot seštevke valovanj, ki izhajajo iz posameznih con (iz njih izhajajo elementarni valovi, pač po Huygensovem principu). Prva cona tako »naredi« difrakcijsko gorišče po enačbi $f = \frac{R_1^2}{\lambda}$, kjer je R_1 polmer te cone, enako velja za naslednje, saj s primerno konstrukcijo dosežemo, da je količnik $\frac{R_N^2}{N}$ konstanten. Tako vidimo, da goriščno raz-



Slika 13: Fresnelove cone – k izpeljavi enačbe. (Vir: lastni)

daljo f določajo polmeri R posameznih Fresnelovih con, seveda v povezavi z valovno dolžino svetlobe, nekoliko podobno kot pri navadnem lomu – refrakciji. Podobnost pa je »nasprotna«, saj je pri difrakciji za manjšo goriščno razdaljo potrebna večja valovna dolžina, obratno kot pri refrakciji, kjer ima disperzija nasprotni učinek. Pravimo, da sta refrakcijski in difrakcijski kromatizem nasprotna, kar je seveda ugodno zaradi zmanjšanja barvne napake.

Difrakcijska IOL ima tako (vsaj) dve gorišči, enega določajo refrakcijske lastnosti »nosilne – osnovne« leče, drugega pa difrakcijske, če Fresnelovo strukturo apliciramo na lečo, seveda nekoliko drugače kot v zgornjem teoretičnem premisleku. Za razliko od plošče s posameznimi vmesnimi conami, ki ne prepuščajo svetlobe in s katerimi dosežemo potrebni fazni zamik, IOL zagotovi fazni zamik z različnimi višinami stopnic med vrezanimi kolobarji – obroči, kar omogoča podoben učinek, a z zmanjšano izgubo prepuščene svetlobe. Posamezne cone so tako na leči videti le kot drobne kolobarjaste zareze, kar naredijo z mikrolitografijo. Višina stopnice na leči je zelo majhna in reda velikosti mikrometra. Osnovna leča brez difrakcijske strukture ima pacientovemu vidu primerno visoko dioptrijo D_{ref} , ki omogoča oster pogled v daljavo, aplicirana difrakcijska struktura (obroči) pa zagotovi t. i. dodatni »Add Power« D_{dif} , ki je navadno med +2 in +4 dioptrije, in šele ta omogoči dober vid tudi na srednje ali celo zelo bližnje razdalje.

Dioptrija (za bližino) difrakcijskih multifokalnih leč je vsota refrakcijske in difrakcijske dioptrije, saj se te seštevajo po enačbi

$$D(\lambda) = D_{ref}(\lambda) + D_{dif}(\lambda). \quad (8)$$

Izdelovalci IOL pogosto eksperimentirajo z višino stopnice v posameznih conah, ker to vpliva tudi na porazdelitev energije v posamezna gorišča. Tako npr. z višino stopnice $\lambda/2$ dosežejo v ničtem difrakcijskem redu ($N = 0$) prenos energije v oddaljeni fokus, pri prvem redu ($N = 1$) pa prenos energije v bližnje gorišče [10],

pri čemer sta energiji približno enaki. Manjša višina stopnice favorizira oddaljeno gorišče, večja pa bližnje. To velja za običajnejše bifokalne leče (površno imenovane multifokalne). Višina stopnice pa ni nujno enaka, nekatere IOL uporabljajo t. i. apodizacijo, s katero modulirajo višino stopnice različnih con in količino energije, ki gre v oddaljeni ali bližnji fokus. Navadno višina stopnice na zunanjih kolobarjih pade in s tem se poveča energija svetlobe v oddaljenem gorišču, kar je ugodno za nočni vid na daljavo (pomembno za npr. astronome). Nekatere difrakcijske EDOF-leče uporabljajo večjo fazno razliko in red ojačitve 1 in 2, kar je povezano tudi z odpravo barvne napake in še z nekaterimi specifičnimi lastnostmi takih leč.

Za difrakcijske IOL velja, da njihova f ni odvisna od stopnje odprtosti zenice, kar je prednost pred refrakcijskimi multifokalnimi lečami, ki imajo prav tako vsaj nekaj koncentričnih con, a z različnimi refrakcijskimi gorišči za opazovanje na različne razdalje, in tudi niso podobne navadnim lečam. Gre za aksialno združitev več leč z različnimi dioptrijami (vsaka bi pomenila en kolobar v tako sestavljeni leči). Z radialno spremembo lomnega količnika pa prav tako lahko vplivamo na goriščno razdaljo sosednjih con. Pri refrakcijskih IOL na (ne)ostrino slike oz. na delovanje posameznega kolobarja neugodno vpliva odprtost zenice in se tudi zato ne uporabljajo pogosto.

Refrakcijska dioptrija sferne leče (čeprav so boljše IOL navadno asferične) je

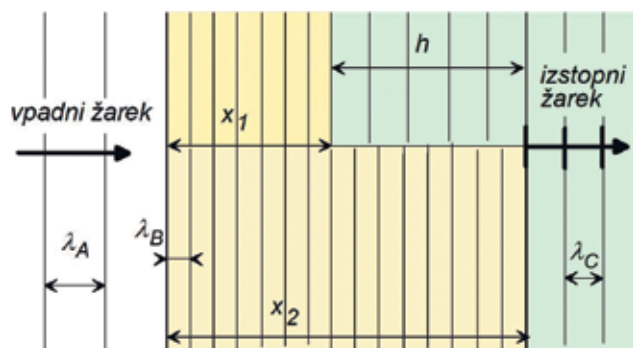
$$D_{ref} = (n_{leče} - 1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right), \quad (9)$$

kjer sta r_1 in r_2 krivinska polmera obeh lečnih ploskev, z n pa smo označili različna lomna količnika leče in očesne tekočine (ot), v katero je IOL potopljena. Seveda pa so zaradi disperzije količniki odvisni še od barve svetlobe.

Ker je optična pot definirana kot produkt lomnega količnika in geometrijske poti, fazni zamik $\Delta\varphi$ pa je določen z razliko optičnih poti, pomnoženo z valovnim vektorjem $k (= \frac{2\pi}{\lambda})$, dobimo na »stopnici« višine h difrakcijskega profila ustrezni fazni zamik

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (n_{leče} - n_{ot}) h. \quad (10)$$

Pri razumevanju te enačbe se je dobro spomniti enačbe sinusnega valovanja $s = s_0 \sin(\omega t - kx)$, kjer zadnji člen v argumentu sinusa pomeni fazni zamik, k pa je valovni vektor $\frac{2\pi}{\lambda}$ in x pot. V enačbi za $\Delta\varphi$ tej ustreza višina stopnice h , upoštevali pa smo še različne optične poti v leči in steklovini očesa, kar storimo tako, da geometrijsko pot množimo z lomnim količnikom (to v šoli počnemo npr. pri razlagi barve odbite svetlobe na tankih plasti zaradi interference). Če bi bili poti enaki, seveda ne bi bilo faze razlike.



Slika 14: K razlagi faznega zamika (Vir: lastni)

Npr. da ravno valovanje (smer določa vpadni žarek, ki je pravokoten na vpadne valovne fronte) vpadla iz sredstva A v sredstvo B (leča, C pa je npr. očesna tekočina za lečo), ki je razdeljeno na del 1 (zgoraj) in del 2 (spodaj). Izstopni žarek »čuti« interferenco valovanj v delu 1 in delu 2, o čemer odloča fazna razlika $\Delta\varphi$ od 0 do 2π .

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_A}(n_B x_2 - n_B x_1 - n_C h) = \frac{2\pi}{\lambda_A}(n_B - n_C)h, \quad (11)$$

kar je enako kot v enačbi (10), če le primerno prilagodimo indekse.

S kombinacijo dveh difrakcijskih profilov pri difrakcijskih IOL (+ osnovne refrakcijske dioptrije) pa lahko dosežejo celo trifokalnost. Profila sta po velikosti po navadi usklajena (nista povsem neodvisna), tako se poveča količina svetlobe v gorišču za srednje razdalje.

Povzemimo

Konstrukcija mnogih difrakcijskih multifokalnih leč je približno takšna: leča je konveksna, navadno bikonveksna. Lomni količnik materiala in ukrivljenosti obeh ploskev (r_1 in r_2) določata njeno osnovno refrakcijsko dioptrijo, ki je glede na lastnosti konkretnega očesa navadno od +5 do +30, kar ugotovi oftalmolog s skrbnimi meritvami in izračuni pred operacijo. Ena ali obe ploskvi imata dodane večžariščne difrakcijske elemente. Tako se lahko spreminja višina Fresnelovih con (stopnice) in s tem fazni zamik med optičnimi potmi posameznih žarkov, polmer con pa vpliva na difrakcijsko dioptrijo (t. i. *Add Power*). Difrakcijska dioptrija se prišteje k refrakcijski (za gledanje na blizu ali za srednje razdalje), pri lečah EDOF je globinska ostrina močno povečana.

Multifokalne leče se kljub zavajajočemu imenu tako izkažejo le na dveh daljavah (neskončno in blizu, saj so v bistvu bifokalne), novejša trifokalna pa dosegajo dobro ostrino v treh točkah, v neskončnosti, na srednjih razda-

ljah (red velikosti enega metra ali nekaj manj – gledanje na monitor na npr. 60 do 80 cm) in na bližino – branje drobnega tiska na razdalji okoli 35 cm, vmes pa je ostrina nekoliko slabša. Za tovrstne leče navajajo dve »Add Power« dioptriji, za srednje razdalje okoli +1,5 in za bližnje okoli +3,0, odvisno od modela. Obstajajo tudi modificirane kvadrofokalne leče, pri katerih eno gorišče žrtvujejo za ugodnejšo porazdelitev svetlobe v preostala (primer so Alconove leče IQ PanOptix).

Princip multifokalnosti torej pomeni le razporeditev (seveda tudi tukaj neizprosno velja strogi energijski zakon) vpadle svetlobe na dve do tri goriščne razdalje, kar v določeni meri povzroča polje nejasnosti in bleščanja ter (odvisno od konkretne IOL) opazne haloje ponoči okoli zelo svetlih predmetov. Moteč je lahko pojav črk iz ozadja oziroma nekakšnih senc, s katerimi je včasih obrobjen zelo kontrasten tekst, podoben je pojav nenavadnega »bokeja« pri opazovanju listja v gozdu na svetel dan (izraz iz fotografije, ki pomeni obliko neostre, zabrisane slike, ki jo dajejo predmeti, če slika zaradi npr. odprte zaslonke ni več v področju globinske ostrine in je povezana z obliko zaslonke), kar lahko pripišemo difrakcijskim pojavom. Poleg tega je treba znati odmisлити dve ali tri slike in videti le eno ostro, kar večina pacientov hitro in brez posebnega truda obvlada že v procesu nevroadaptacije, ki sledi operaciji. Ta je nezaveden, a pri redkih posameznikih dolgotrajen ali celo neuspešen, zato multifokalne leče vendarle niso za vsakogar, kar pa najbolje oceni izkušen oftalmolog. Po nekaterih raziskavah vsakemu dvestotemu pacientu (Alcon, ReStor) lečo odstranijo, ker ga ti pojavi enostavno preveč motijo. Preostali se po navadi hitro navadijo na nekaj posebnosti in jih zlahka tolerirajo na račun precejšnjih prednosti takih leč v vsakdanjem življenju.



Slika 15: Oko z implantirano trifokalno lečo FineVision podjetja PhysIOL je posnel Rudy M.M.A. Nuijts s pomočjo špranske svetilke. 45 % prepuščene svetlobe gre v oddaljeno gorišče, 20 % v srednje in 35 % v bližnje gorišče. Vidimo tudi, da je leča manjša od do konca odprte zenice. Celotna svetlobna prepustnost mnogih IOL je okoli 85 %. [11]

Ali kljub izbiri multifokalnih leč potrebujemo očala?

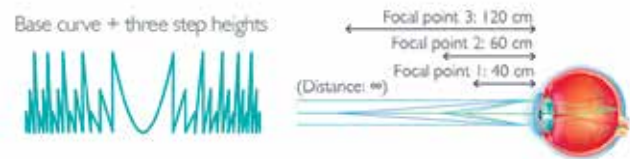
Za na daleč najbrž ne (če je operacija v smislu izbire prave dioptrije IOL **popolnoma** uspela, kar ne drži vedno in česar se pacienti premalo zavedajo), za na blizu ali za vmesne razdalje pa je zadeva lahko drugačna. Recimo, da vidimo z neko IOL dobro od razdalje 40 cm dalje (kar je po navadi zadovoljivo), želeli pa bi brati še z večje bližine, npr. z normalne zorne razdalje s_0 (25 cm). Za majhne otroke je ta vrednost še manjša, vendar že 25 cm povsem zadostuje za udobno branje tudi najdrobnejšega tiska (oznaka J1 ali Jaegers 1 v testih bližinskega vida).

V takem primeru vseeno potrebujemo očala s pozitivno dioptrijo, ki jo določimo z računom (pri izpeljavi uporabimo enačbo preslikave (1))

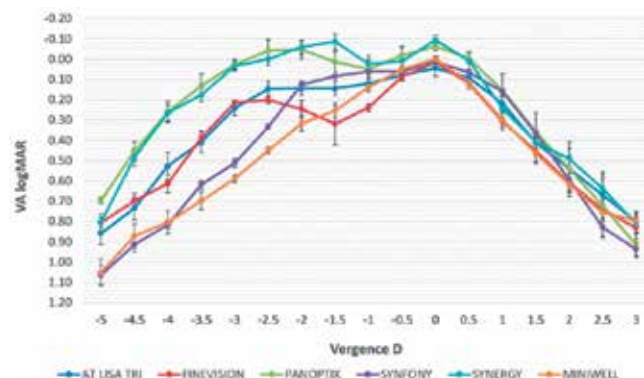
$$1/f = (a - s_0)/(a s_0), \quad (12)$$

kjer je a razdalja, na kateri še lahko beremo, v našem primeru 40 cm, s_0 pa tista bližnja, na kateri bi to želeli početi (npr. 25 cm). Zgornja enačba sicer ni povsem natančna, ker ne upošteva razdalje oči od glavne ravnine v očesu. Pri navedenih podatkih tako izračunamo (vse količine prej pretvorimo v metre!) majhno dioptrijo $+1,5$. Taka očala za na blizu očitno niso posebej »močna«, z nekoliko večjo dioptrijo pa lahko to razdaljo še zmanjšamo.

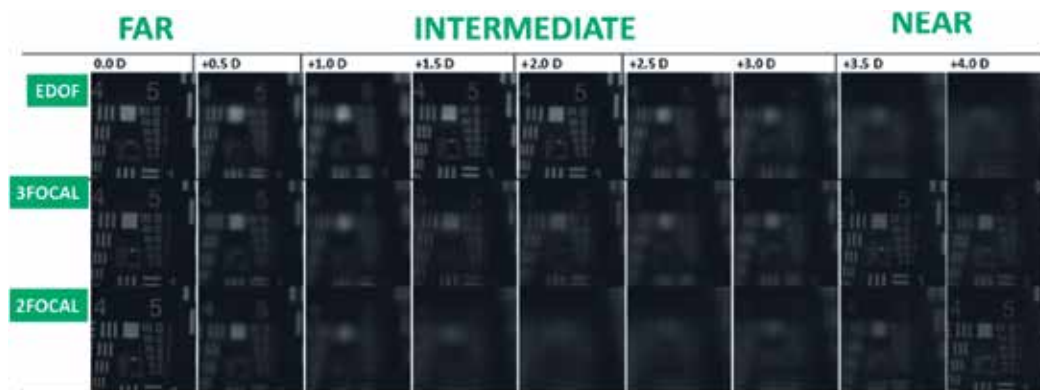
Pri opazovanju z obema očesoma se področje ostrine večinoma dodatno poveča, kar je zagotovo posledica nevroadaptacije. Zanimivo je tudi to, da lahko v primeru kombinacije različnih IOL za levo in desno oko dobimo vtis boljše ostrine v širšem področju, saj možgani dajo »prednost« tisti leči oz. očesu, ki je za določeno razdaljo ostrejša. Tako lahko »zgladimo« defokusno krivuljo in zagotovimo boljši vid.



Slika 17: Difrakcijski profil za znano neapodizirano »kvazikvadrofokalno« Alconovo lečo Panoptix IQ, ki deluje kot trifokalna leča. Tretja stopnica profila je oblikovana tako, da omogoča več svetlobe v oddaljenem gorišču, in nima namena ustvarjati dodatnega četrtega gorišča. [13]



Slika 18: T. i. defokusne krivulje nekaj najbolj znanih IOL. At Lisa Tri (Carl Zeiss), FineVision (PhysIOL), Panoptix (Alcon), Symphony in Synergy (J & J) in Miniwell (SiFi). Krivulje lahko razumemo kot povezavo med neostriino v logMAR (ordinata) in razdaljo, na kateri gledamo predmet, ki je podana kot $-1/D$. Za pravilno vstavljeno lečo je pomemben le del od izhodišča do dioptrije 0. »Najostrejša« imajo logMAR okoli 0, zaželeno je, da v čim širšem razponu dioptrij (tj. na različnih razdaljah), krivulja pa naj nima izrazitih vrhov (npr. Symphony), ki prispevajo k občutku neostrine na vmesnih razdaljah. [14]



Slika 16: Primerjava ostrine vida enožariščnih, bifokalnih in trifokalnih leč podjetja Carl Zeiss na različnih razdaljah s simulacijskim programom ameriškega vojnega letalstva (USAF). [12]

Viri

- [1] Snoj, Rasto (2017). Intraokularne leče – nov pogled na svet. Življenje in tehnika, 68(2), str. 12–21.
- [2] Snoj, Rasto (2018). Intraokularna leča v očesu amaterskega astronoma. Spika, 26(7-8), str. 341–345; (I. del); 26(10), str. 442–444 (II. del); 26(11), str. 491–493 (III. del).
- [3] <https://millenniaeye.com/articles/2017-innovations/the-next-generation-of-iol-technology/> (januar 2023)
- [4] <https://www.template.net/editable/121842/snellen-eye-chart> (januar 2023)
- [5] <https://opticanet.com.br/secao/asnovidades/6000/nova-lente-intraocular-da-alcon-permite-recuperar-a-visao-de-uma-so-vez> (januar 2023)
- [6] <https://www.tristateeye.com/crystalens.html> (januar 2023)
- [7] <https://www.escri.org/eurotimes/accommodative-iol> (januar 2023)
- [8] <https://www.precisionlens.net/wp-content/uploads/JJ-Tecnis-Symfony-Toric-DFU.pdf>
- [9] <https://premiumvisionsc.com/eye-surgery/iol-options/> (januar 2023)
- [10] Biomedical Optics Express, Optica Publishing Group, 2017
- [11] <https://www.ophtalmologytimes.com/view/multifocal-iol-evolution> (januar 2023)
- [12] https://www.researchgate.net/figure/USAF-target-images-of-the-3-IOLs-recorded-at-30-mm-pupil-size-for-far-intermediate-and_fig2_318117261 (marec 2023)
- [13] <https://theophthalmologist.com/fileadmin/top/issues/0816/Alcon.pdf> (januar 2023)
- [14] https://www.researchgate.net/figure/Mean-defocus-curves-obtained-in-each-intraocular-lens-IOL-group_fig2_352221319 (januar 2023)

Iz digitalne bralnice ZRSS

www.zrss.si/digitalna-bralnica/

V digitalni bralnici lahko prelistate najrazličnejše strokovne publikacije: monografije in priročnike, ter druge publikacije, ki so izšle na Zavodu RS za šolstvo in so vam BREZPLAČNO dosegljive tudi v PDF obliki.

Prijeto strokovno branje vam želimo.



Merilnik moči kolesarja

Aljoša Berk

Srednja tehniška in poklicna šola Trbovlje

Izvleček

Sodobni kolesarski šport postaja čista znanost. Za zagotavljanje minimalne prednosti pred tekmeci so bistveni aerodinamika, telemetrija in denar. V članku je opisan srednješolski projekt izdelave merilnika moči pedaliranja kolesarja. Merilnik je zasnovan na osnovi uporovnih lističev v platformi na pedalih ter z uporabo mikrokontrolerov Arduino. Opisani sta izdelava merilnikov sile in kadence pedaliranja ter izdelava prikazovalnika treh fizikalnih količin: sile, frekvence in moči. V zaključku so podane možnosti nadgradnje in izboljšav izdelka.

Ključne besede: navor, frekvenca, moč, uporovni listič, Arduino

Cycling Power Meter

Abstract

Modern cycling is evolving into the science of aerodynamics, telemetry, and money to achieve marginal gains. The article explains a student project to build a functional strain gauge-based cycling power meter with a cadence sensor and a handlebar-mounted display. Different Arduino microcontrollers were used to control force and frequency measurement, wireless connection, and an LCD. The conclusion provides some ideas regarding the improvement and upgrade of the device.

Keywords: torque, frequency, power, strain gauge, Arduino.

1 Uvod

Pri izvajanju pouka fizike ne smemo pozabiti na nadarjene dijake, ki zmorejo veliko več od učenja fizike za odlično oceno, le možnost in primeren izziv jim moramo ponuditi. Poleg nadarjenih moramo zaposliti tudi preostale dijake. To lahko naredimo z diferenciacijo pouka. Večina dijakov izdeluje plakate na določeno temo ter izvaja preproste račune in poskuse, najboljši pa načrtujejo in uresničijo nek projekt, programirajo programske kode ter izrišejo 3D-modele in skice vezij. Dijaki višjih letnikov iz programa elektrotehnik so morali izdelati merilnik moči kolesarja. V članku bom opisal, kako so se te naloge lotili. Naročil sem jim, naj izdelajo merilnik samo z opremo in komponentami, ki jih že imamo na šoli v elektro- in fizikalnem laboratoriju.

2 Cestno kolesarstvo v številkah

V zadnjih petnajstih letih je kolesarstvo vse bolj povezano z aerodinamiko in testiranjem v vetrovniku, z aerodinamičnimi oblačili iz povsem novih materialov in s čim lažjimi komponentami koles. Vse pomembne parametre merijo ter analizirajo z računalnikom. Iz karbonskih vlaken so narejeni okvirji in skoraj vse komponente kolesa. Zavore so hidravlične in menjalniki prestav brezžični. Kolesar-

stvo je postalo visoka znanost in tehnologija. Za analizo podatkov treninga ali dirke je najpomembnejši podatek, koliko časa lahko kolesar vzdržuje neko povprečno moč. Moč kolesarja se časovno spreminja glede na teren in dogajanje v glavnini ter ni konstantna. V ciljnem sprintu glavnine lahko tekmovalci v časovnem intervalu, dolgem do 15 s, dosežejo hitrosti do 70 km/h. Pri tem poganjajo pedale s povprečno močjo do 1200 W z vrhovi maksimalne moči do 1500 W [1]. Absolutna proizvedena moč pa ni najboljši pokazatelj pripravljenosti in napredka kolesarja, temveč je to razmerje moči in mase v enotah W/kg. Za kolesarje sprinterje vemo, da so med težjimi kolesarji. Vzemimo 80-kilogramskega kolesarja, ki je v 15-sekundnem sprintu dosegel povprečno moč 1200 W. Dobiemo razmerje moči in mase $1200 \text{ W} / 80 \text{ kg} = 15 \text{ W/kg}$. Na ovalnem dirkališču v dvorani lahko najmočnejši tekmovalci dosežejo maksimalno moč do 2000 W, vendar za njimi ni peturne etape, dolge 200 km, pač pa le trije krogi sprinta. Najboljši cestni kolesarji lahko na posamičnem kronometru, dolgem največ eno uro, vzdržujejo vrednost 5,6 W/kg ali več [2]. Za kolesarja mase 65 kg to pomeni, da lahko do 60 minut vzdržuje povprečno moč okoli 360 W. V osmi etapi Dirke po Franciji leta 2020 je Tadej Pogačar med vzponom na Col de Peyresourde 24 minut vzdrževal vrednost 6,5 W/kg [3], kar pri

njegovih takratnih 66 kg pomeni povprečno moč $66 \text{ kg} \times 6,5 \text{ W/kg} = 429 \text{ W}$. Zadnji Pogačarjev napad pod vrhom vzpona je trajal 17 sekund in v tem času je Tadej razvil maksimalno moč 880 W, kar je 13,3 W/kg, povprečna moč pa je bila 643 W, kar je 9,7 W/kg. Razlika med sprinterji in gorskimi kolesarji je torej ta, da lahko sprinter za kratek čas, od 10 do 15 s, vzdržuje zelo visoko vrednost do 15 W/kg, lažji gorski kolesar pa lahko 60 minut vzdržuje razmerje do 5,6 W/kg. Vsaka odvečna masa se pokaže kot slabost pri vožnji v klanec. Na ravninskih cestnih dirkah je pomembnejša absolutna proizvedena moč tekmovalca, zato imajo tu težji in bolj mišičasti kolesarji prednost pred lahkimi. Pri vožnji v klanec pa je odločilno razmerje W/kg in na takem terenu so najhitrejši čim lažji tekmovalci.

3 Moč pri vrtenju

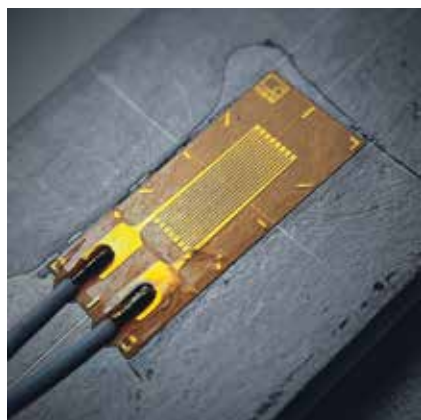
Meritev moči pri pedaliranju (vrtenju) zahteva natančno merjenje sile na pedal in natančno merjenje frekvence vrtenja gonilke, imenovane kadenca. Moč P je enaka kvocientu opravljenega dela A na enoto časa t . Pri zasuku gonilke dolžine r za kot φ okoli osi naredi pedal lok dolžine $s = \varphi r$. Kotna hitrost vrtenja gonilke je enaka kvocientu zasuka v radianih in časa $\omega = \frac{\varphi}{t}$. Ko s silo F delujemo na pedal, povzročimo z gonilko navor $M = Fr$. Opravljeno delo sile je enako produktu sile in premika $A = Fs$. Ko vstavimo vse količine v enačbo za moč in upoštevamo, da je kotna hitrost enaka $\omega = 2\pi\nu$, dobimo enačbo za moč pri vrtenju:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{Fs}{t} = \frac{F\varphi r}{t} = M\omega = 2\pi Fr\nu.$$

Iz enačbe vidimo, da moramo za merjenje moči pedaliranja poznati dolžino gonilke r , potisno silo noge na pedal F in frekvenco pedaliranja ν .

4 Izvedbe merilnika moči

Vse komercialne izvedbe merilnika moči temeljijo na merjenju sile z uporovnimi lističi (Slika 1). Te z močnim dvokomponentnim lepilom nalepimo na nosilec, ki se pod vplivom delovanja sile F krči, razteza, upogi-

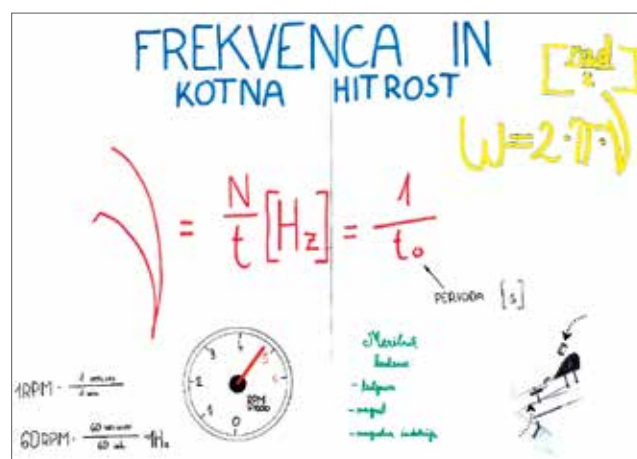


Slika 1: Uporovni listič, nalepljen na nosilec [4].

ba ali torzijsko zvija. Deformacija nosilca se prenese na spremembo dolžine uporovnega lističa in posledično se spremeni njegova električna upornost. Pri podaljšanju nosilca (in z njim uporovnega lističa) se upornost lističa poveča, pri krčenju pa zmanjša. Spremenjena upornost pomeni spremembo napetosti v mostičnem vezju, kamor smo vezali uporovni listič. Merjena napetost je premo sorazmerna z delujočo silo in s tem posredno, prek napetosti, merimo potisno silo kolesarja. Podrobno je to opisano v sedmem poglavju. V praksi lahko najdemo izvedbe merilnika v pestu pogonskega kolesa, na gonilki, na osi pedala, na verižniku in na gonilni osi. Merilniki na gonilki ali na osi pedala so lahko eno- ali dvostranski (leva, desna gonilka). Vsi merilniki merijo silo, kadenco in kot zasuka gonilke ter podatke brezžično prenašajo v kolesarki računalnik z zaslonom, ki je pritrjen na krmilo kolesa.

5 Teoretično delo dijakov

Dijaki so morali najprej usvojiti teoretične osnove s pomočjo učbenikov in spleta. Delali so v skupinah, vsaka skupina je dobila svojo temo, povezano s projektom. Skupine so bile izbrane tako, da je bil v vsaki skupini

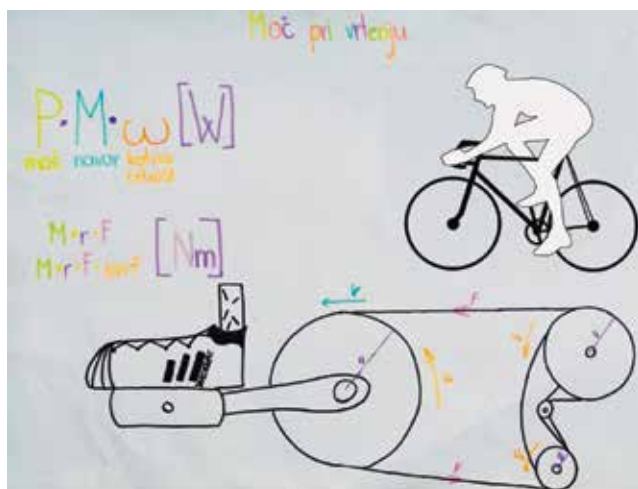


Slika 2: Frekvenca in kotna hitrost.

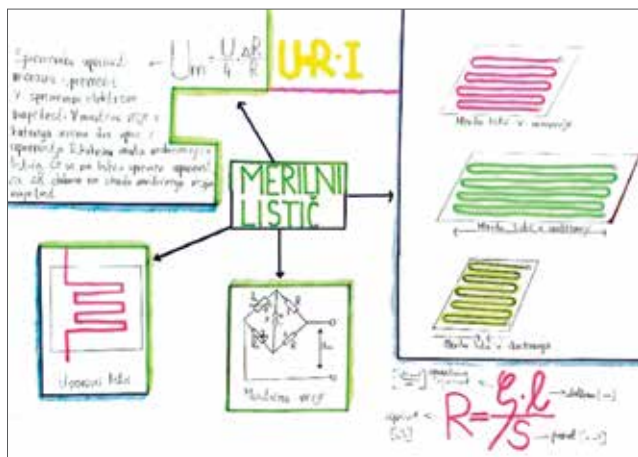


Slika 3: Definicija navora in ravnovesja navorov.

vodja nekdo izmed boljših dijakov. Skupine so definirale osnovne fizikalne pojme: navor, frekvenca, kotna hitrost, moč pri vrtenju, uporovni listič in Wheatstonov mostič. Izdelali so različne plakate ter svoja dognanja na koncu frontalno predstavili sošolcem v obliki govornega nastopa in pridobili ustne ocene (Slike 2–5). Nadarjeni dijaki iz programa elektrotehnik so pri pouku in na fizikalnem krožku izdelali načrte, skicirali vezja, zapisali programske kode, izbrali in testirali opremo ter uresničili projekt.



Slika 4: Definicija moči pri vrtenju.

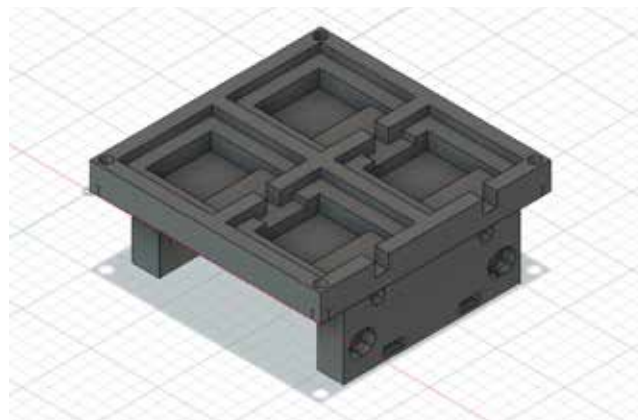


Slika 5: Delovanje uporovnega lističa.

6 Izdelava platforme s 3D-tiskalnikom

Dijaki so se odločili za izvedbo merilnika moči v obliki platforme na pedalu (Slika 6). To si lahko preprosto predstavljamo. Na eno stran pedala so namestili miniaturno digitalno tehtnico, ki bo merila silo noge in ta podatek brezžično prenašala v glavno krmilno enoto. Dijaki so za projekt dobili stare pedale, ki so jih uporabili za izdelavo platforme. Delno so jih razstavili, izmerili dimenzije, narisali načrt ter s 3D-tiskalnikom natisnili plastično ohišje, v katerem bodo štirje merilniki sile, krmilnik Arduino NANO, vir napetosti 9 V ter modul NRF24L01 za brezžični prenos signalov. Vsak modul

Arduino je narejen tako, da večjo napetost vira sam stabilizira na svojo delovno napetost 5 V. Podatke o platformi Arduino najdemo na njihovi spletni strani [5]. Z nje lahko brezplačno prenesemo in naložimo razvojno programsko opremo. Merilnik sile je nameščen samo na levi pedal, zaradi simetrije pa so dijaki izdelali dve enaki ohišji, kar omogoča nadgradnjo na obojestranski merilnik za levo in desno nogo (Slika 7). Na zgornjem delu platforme je pritrjena kovinska plošča, ki poskrbi, da se pritisk sile noge enakomerno porazdeli na štiri merilnike sile tik pod ploščo.



Slika 6: Konstruiranje 3D-modela platforme pedala.



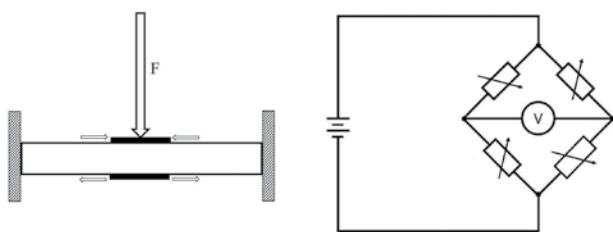
Slika 7: Spodnji del platforme brez merilnikov (desno) in zgornji del platforme s štirimi dualnimi uporovnimi lističi (strain gauge) vezanimi v mostič (levo).

7 Merjenje sile

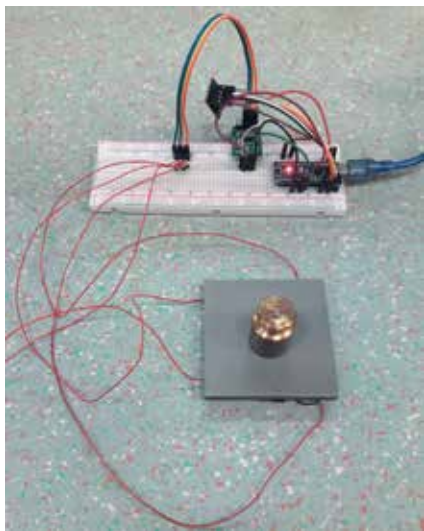
Digitalno tehtnico so dijaki povezali z Arduino NANO in analogno-digitalnim pretvornikom, napisali kodo ter jo naložili v Arduino. Nato so z znanimi masami uteži, od majhnih do velikih, obremenili platformo in beležili podatke. Odvisnost sile in izhodne napetosti je linearna. Ker so spremembe napetosti zaradi delovanja sile zelo majhne, direktna ali absolutna meritev upornosti ni mogoča. Uporovne lističe moramo vezati v mostično vezje, kar je relativna ali primerjalna metoda merjenja. Če so

1 *Strain gauge*: merilnik mehanske napetosti in deformacije togega telesa zaradi delovanja sile, ki deluje po principu spremembe dolžine in električne upornosti tanke žice (uporovni listič), ki rezultira v spremembo merjene električne napetosti.

vsi upori v mostiču enaki in neobremenjeni, je izhodna napetost U enaka nič. Zaradi delovanja sile F se uporovni listič skrči ali razteza in njegov upor se zmanjša ali poveča. Mostično vezje meri neravnovesje razmerja dveh vej uporov, ko se eden ali več uporov spremeni zaradi delovanja mehanske sile. Spremenjen upor povzroči spremembo izhodne napetosti U . Da bi dobili čim večjo izhodno napetost, so dijaki uporabili štiri enake dualne senzorje, vezane v mostič (Slika 7). Vsak od njih je sestavljen iz dveh uporovnih lističev, nalepljenih na nosilec tako, da se ob pritisku s silo F na senzor zgornji skrči, spodnji pa razteza. Tako z ustrezno vezavo osmih uporovnih lističev dobimo največjo mogočo spremembo upora in s tem napetosti, kar pomeni največjo mogočo natančnost meritve (Slika 8). Izhodno napetost na koncu še ojačimo. V ta namen so dijaki uporabili čip HX711, ki je 24-bitni analogno-digitalni pretvornik z diferenčnim ojačevalnikom (Slika 9).



Slika 8: Levo: delovanje dualnega uporovnega lističa na obremenjenem nosilcu (zgoraj krčenje, spodaj raztezanje). Desno: shema mostičnega vezja štirih spremenljivih uporov [6].



Slika 9: Umerjanje merilnika sile z znanimi masami uteži: testna plošča (protoboard), Arduino NANO z LED-diodo in AD-pretvornik HX771.

8 Merjenje frekvence

Merilnik kadenca so dijaki sestavili iz magneta, prilepljenega na gonilko, ter čipa s Hallovo sondo, prilepljenega na okvir kolesa (Slika 10). To je najpreprostejše merje-

nje frekvence s štetjem pulzov inducirane napetosti na časovno enoto. Čip s Hallovo sondo so dijaki po okvirju kolesa žično povezali z Arduino UNO na krmilu. Sonda je statična, premika se le magnet, in tako so dijaki porabili en krmilnik Arduino NANO manj, saj je v bližini magneta zelo malo prostora za krmilnik in brezžični oddajnik. Pri merjenju sile noge na pedal žični prenos informacij ni mogoč, saj se merilnik sile neprestano vrti. Sodobni kolesarski računalniki z vsemi perifernimi merilniki (moč, kadenca, hitrost, radar, luči) komunicirajo brezžično s protokoloma ANT+ ali Bluetooth.



Slika 10: Merjenje frekvence pedaliranja. Pritrditev trajnega magneta na gonilko in Hallovega senzorja na okvir.

9 Prikazovalnik na krmilu

Dijaki so s programom izrisali in nato s 3D-tiskalnikom izdelali ohišje ter ga pritrdili na krmilo. V ohišju so kontrolnik Arduino UNO, sprejemni modul NRF24L01 ter OLED-zaslon (128×64 znakov) za prikaz merjenih količin: frekvence (RPM – vrtljaji na minuto), sile (N) in moči (W). Dimenzije rdeče škatle so $8 \text{ cm} \times 6 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$. V notranjosti je krmilnik Arduino UNO (Slika 11).



Slika 11: Prikazovalnik sile, kadenca in povprečne moči na krmilu.

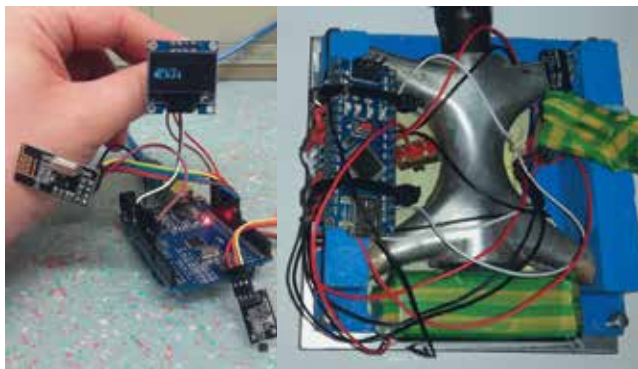
10 Programske kode za Arduino

Arduino je odprtokodni razvojni sistem z mikrokontrolerji. To pomeni, da lahko uporabnik na spletu poišče in uporabi del že napisane kode, ki jo potrebuje za svoj

projekt, a pod pogojem, da navede avtorja izvirne kode, označi svoje spremembe in kodo deli naprej pod enakimi pogoji. Kodo lahko poljubno modificira, da ustreza njegovemu projektu, in jo objavi na spletu. Dijaki so na spletu poiskali podoben projekt [7] in pridobili programske kode za brezžični prenos podatkov, za štetje impulzov in preračun v vrtljaje na minuto, za krmiljenje digitalne tehtnice in za krmiljenje zaslona. Program so nato prilagodili in vnesli nove parametre, ki so ustrezali njihovem projektu. Prezamudno bi namreč bilo pisati vsako kodo znova, saj je morda podobna koda že narejena in prosto dostopna, moramo jo le prilagoditi svoji opremi, vezju in vhodnim podatkom. Prilagodili so parametre za merilnik napetosti mostiča, da so dobili berljive podatke o potisni sili. Z modulom NRF24L01 so vzpostavili brezžično komunikacijo med pedalom in kontrolno enoto na krmilu. Koda za modul NRF24L01 vsebuje parametre komunikacije (hitrost, kanal, oddajna moč) in CRC-algoritem za odkrivanje napak med prenosom ter za njihovo odpravljanje. Na zaslonu izpisana moč je povprečna moč $\bar{P}$, saj so posamezne meritve moči zaradi šuma preveč razpršene. Povprečno vrednost moči izračunamo kot aritmetično sredino večjega števila meritev v nekem časovnem intervalu $\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i}{N}$.

11 Testne vezave komponent

Ko so bile vse kode za krmiljenje Arduina napisane in prek USB-povezave naložene v krmilnik, so dijaki električna vezja preverili in testirali na testni plošči (Slika



Slika 12: Levo: testiranje delovanja komponent pred vgradnjo na kolo (OLED-zaslon, NRF-oddajnik, Hallov senzor in Arduino UNO). Desno: spodnji del platforme z vgrajenimi komponentami.



Slika 13: Testiranje delovanja merilnika moči na trenažerju (levo) in testna vožnja v telovadnici (desno).

12). S tem so odpravili težave in napake v vezju ali v kodi še pred vgradnjo. Na koncu, ko je vse brezhibno delovalo, so komponente zvezali na levi pedal, na okvir in v prikazovalnik na krmilu ter delovanje testirali najprej na trenažerju in na koncu z vožnjo v telovadnici (Slika 13).

12 Možnosti izboljšave

Skupaj z dijaki vidimo več možnosti izboljšave, ki pa so povezane s finančnimi sredstvi ali z znanjem programiranja:

a) Kontrolna ali referenčna meritev moči

Da bi videli, kako natančno naš merilnik sploh meri in kakšno mersko napako ima, bi morali naš sistem primerjati z enim od komercialnih. Najlažje bi bilo, če bi si izposodili ali kupili levo gonilko z vgrajenim merilnikom moči ter na isto gonilko nato namestili še pedal z našo platformo in preostale opisane merilnike sistema. Tako bi lahko v realnem času primerjali podatke. Žal do komercialnega merilnika nismo imeli dostopa.

b) Obojestranska meritev moči

Naš merilnik je enostranski, saj meri moč samo na levi nogi in privzame, da je skupna moč kolesarja dvakratnik moči leve noge. Prednost obojestranskega merilnika (leva in desna gonilka) bi bila odprava nesorazmerij v poganjanju z levo in desno nogo, saj iz prakse vemo, da obe nogi nista enako močni in da skupna moč ni nujno dvakratnik moči ene noge.

c) Meritev kota zasuka gonilke

Iz teorije vemo, da smer sile noge in gonilka nista vedno pravokotni ter da se sila spreminja med obračanjem gonilke tudi po velikosti, zato moč v intervalu enega obrata ni konstantna. V tisti polovici obrata gonilke, ko se noga vrača iz spodnjega v zgornji položaj in moč zagotavlja nasprotna noga, je sila noge na pedal enaka nič. Sodobni komercialni merilniki, ki poleg sile in frekvence merijo še kot zasuka gonilke, lahko s pomočjo dobljenih podatkov in programske opreme natančno izmerijo in izpišejo trenutno in maksimalno moč. S pomočjo programskih algoritmov v kolesarskem računalniku nato izračunajo povprečno in normalizirano moč na nekem intervalu, običajno na 3 ali na 5 sekund.

d) Vir napetosti, velikost naprave in komunikacija s senzorji

Vse sodobne naprave in senzorji so, za razliko od naših, precej miniaturni. Za vir napajanja uporabljajo akumulatorje, ki se polnijo prek USB-priključkov. Nekatere manjše periferne senzorje pa še vedno napajajo kar gumbne baterije CR2032, ki jih je treba ob pogosti uporabi senzorjev redno menjati. Vse sodobne komercialne naprave prek protokolov ANT+ ali Bluetooth brezžično komunicirajo z vsemi perifernimi senzorji, kot so merilnik srčnega utripa, senzor hi-

trosti, senzor kadence, radar, merilnik moči, pametne kolesarske luči. V našem projektu je bilo merjenje kadence izvedeno prek žične povezave.

13 Zaključek

Fizikalni principi projekta so dokaj enostavni, zato jih lahko obravnavajo vsi dijaki v razredu kot novo snov ali kot ponovitev snovi (sila, navor, kroženje, frekvenca, kotna hitrost, moč, Ohmov zakon, uporovni listič ...) V parih ali skupinah lahko definirajo nove pojme, izdelajo plakate in prezentacije ter izvajajo preproste fizikalne poskuse v povezavi z obravnavano teorijo. Za končno realizacijo projekta izberemo ekipo nadarjenih dijakov, ki obvladajo programiranje, znajo upravljati 3D-tiskalnik, so spretni pri vezavah in spajkanju, so iznajdljivi in prilagodljivi, znajo poiskati ter interpretirati ustrezne vire, razumejo vezavne sheme ... Vidimo, da izvedba projekta zahteva široko paleto kompetenc, za katere so najprimernejši dijaki, ki se izobražujejo za elektrotehnike. Z izbiro in pridobivanjem elektronskih komponent dijaki

niso imeli težav, saj imamo na šoli sodobno opremljen elektrolaboratorij s sodobnim 3D-tiskalnikom, kjer so dijaki našli vse potrebno za projekt. Naš merilnik deluje, saj avtomatizirano prikazuje tri parametre: silo, vrtljaje na minuto ter povprečno moč. Predstavlja šolsko didaktično in nekomercialno izvedbo merilnika. Najpomembnejše pa je, da so se dijaki samostojno organizirali in sami poiskali prave informacije ter rešitve. Kadar so bili v zagati, so za mnenje vprašali profesorja. Največ težav jim je povzročalo usklajevanje in povezovanje različnih programskih kod v delujočo celoto. Zaradi popravkov nekaterih parametrov in konstant programa je to včasih še težje in zamudnejše od pisanja celotnega programa na novo. Težave pri takem projektu se lahko pojavijo še pri načrtovanju merilne metode z uporovnimi lističi in njene avtomatizacije (izbira ustreznih elektronskih komponent in zapis programske kode). Na koncu je dijakom brez večjih finančnih vložkov uspelo. Dokazali so, da so izvrstni pri timskem delu in da je projektni način dela mnogo bolj zanimiv, dinamičen ter izzivalen kakor klasičen frontalni pouk.

Viri in literatura

- [1] <https://sportsscientists.com/2014/07/profile-sprint-take-win-sprint-stage/> (12. 2. 2023).
- [2] Cycling Power to Weight Ratio Calculator - Data Cranker (12. 2. 2023).
- [3] <https://www.cyclingnews.com/features/tour-de-france-power-analysis-tadej-pogacar-record-breaking-ascent-of-the-col-de-peyresourde/> (12. 2. 2023).
- [4] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Strain_gauge_.jpg (12. 2. 2023).
- [5] <https://www.arduino.cc/> (25. 1. 2023).
- [6] https://vaje.fpp.uni-lj.si/tm/02_Mosti%C4%8Dki.pdf (20. 2. 2023).
- [7] <https://www.instructables.com/Homemade-Cycling-Powermeter/> (30. 1. 2023).

Kotalna klop

mag. Valentin Peternel

Srednja šola tehniških strok Šiška, Ljubljana

Izvleček

V prispevku sta predstavljeni izdelava in uporaba kotalne klopi v učnem procesu v okviru poklicno-tehniškega izobraževanja. Posebna pozornost je posvečena metodi merjenja vztrajnostnega momenta s kotalno klopjo. Predstavljene pa so tudi druge metode merjenja vztrajnostnega momenta. Nakazane so tudi možnosti medpredmetnega sodelovanja s splošnimi in strokovnimi predmeti v poklicno-tehniškem izobraževanju.

Ključne besede: kotalna klop, vztrajnostni moment, merjenje, eksperimentalne vaje, fizika v poklicno-tehniškem izobraževanju

Rolling Bench

Abstract

The article presents the production and use of a rolling bench in the learning process within vocational professional education. It focuses on the method for measuring the moment of inertia with a rolling bench. Other methods for measuring moment of inertia and cross-curricular connections with general and professional subjects in vocational-technical education are presented.

Keywords: rolling bench, moment of inertia, measuring, experimental exercises, physics in vocational professional education.

1 Uvod

Pred dobrim desetletjem, ko je bila zastopanost fizike v predmetnikih programov poklicno-tehniškega izobraževanja podobna kot v gimnazijah, smo fiziki večkrat sodelovali pri projektnih nalogah četrte izpitne enote poklicne mature – Izdelek ali storitev. Pri četrtem predmetu poklicne mature kandidati opravljajo različne oblike praktičnega dela v okviru matične strokovne discipline, pri čemer prikažejo znanja mnogih predmetov, ki so si jih pridobili med izobraževanjem. Po modularizaciji programov je v poklicno-tehniškem izobraževanju samo 80 ur fizike. Posledično so se zmanjšale možnosti za raziskovalno in projektno delo.

Pomembno znanje v tehniških programih so merjenja. Merimo zato, da dobimo objektivni in ponovljiv podatek o velikosti fizikalnih količin. Izmerjena vrednost naj bo zadosti blizu resnične ali prave vrednosti. Zahteva po objektivnosti ne izključuje subjektivnega dejavnika, še zlasti ne pri prvem koraku, ko ocenjujemo vrednost fizikalne količine, da nato lažje izberemo način merjenja in merilno napravo. Temeljna razlika med merjenjem in ocenjevanjem je v tem, da pri merjenju uporabljamo merilne naprave, pri ocenjevanju pa si pomagamo s podatki iz spomina in z izkušnjami.

Merimo največkrat zato, da zagotovimo ustrezno kakovost proizvodov, da je poraba sredstev čim manjša in s tem finančni prihranek čim večji, da dobimo podatke, ki jih potrebujemo za nadaljnje odločitve, da pravilno določimo ceno posameznega proizvoda itd. Merjenje ni namenjeno samemu sebi, ampak je največkrat neizogiben člen v razvoju znanosti in tehnike.

Glede na to, da pri vsaki meritvi prihaja do napake, moramo še pred merjenjem vedeti, kateri cilj želimo doseči in kako. Pri tem je treba upoštevati razpoložljivo opremo, zahtevano točnost, znanje izvajalcev meritev, potrebni čas, vrsto merjene količine, razmere, v katerih poteka merjenje, in druge posebne okoliščine. Tehnik ima z meritvami največ dela, še preden priključi prvi merilnik. Zato sta izrednega pomena analitično mišljenje in temeljito poznavanje nekaterih elementarnih principov merjenja.

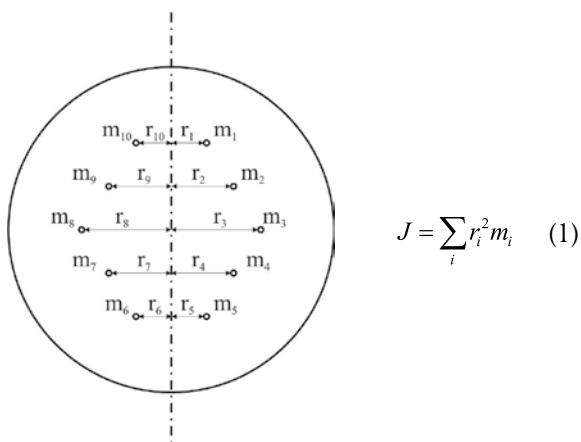
2 Opredelitev merjene količine – vztrajnostnega momenta

Podobno kot masa izraža vztrajnost telesa proti spremembi hitrosti pri premem gibanju, vztrajnostni moment izraža vztrajnost telesa proti spremembi kotne hi-

trosti pri vrtenju. Vztrajnostni moment telesa je odvisen od njegove oblike in porazdelitve mase znotraj te oblike.

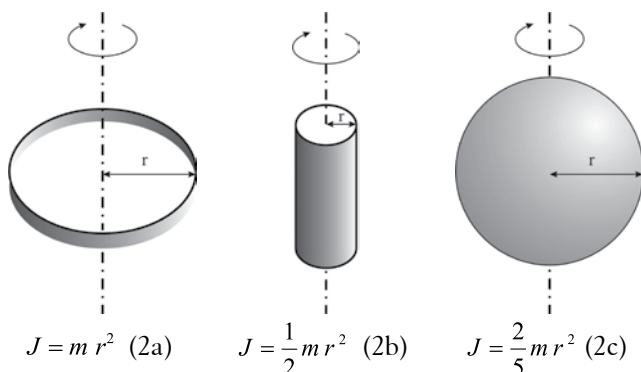
Za masni vztrajnostni moment je po standardu SIST ISO 80000 predvidena oznaka J . Enota za vztrajnostni moment je poimenovana **kilogram kvadratni meter**. Predpisana mednarodna oznaka za enoto pa je kgm^2 . [3]

V standardu SIST ISO je vztrajnostni moment definiran kot vsota produktov masnih elementov telesa in kvadratov njihovih razdalj do osi. [3] Pri tem si predstavljamo togo telo kot neskončno število neskončno majhnih delcev, od katerih ima vsak maso m_i . Če je vsak delec na razdalji r_i od določene osi vrtenja, je vztrajnostni moment trdnega telesa okoli te osi podan z vsoto produktov masnih elementov in njihovih kvadratov razdalj do osi (enačba 1). [8]



Slika 1: Definicija J za togo telo, sestavljeno iz delcev.

Na osnovi definicijske enačbe (1) lahko izpeljemo enačbe za izračun vztrajnostnega momenta nekaterih rotacijsko simetričnih teles (slika 2).



Slika 2: Vztrajnostni moment tankega obroča, valja in krogle.

3 Postopki določanja vztrajnostnega momenta

Vztrajnostni moment lahko določimo na več načinov:

- računsko: s pomočjo definicijske enačbe (1) ali s pomočjo izpeljanih enačb (slika 2);

- eksperimentalno: z nihalom (slika 3), z nihalom in dodatno utežjo (slika 4), s kotalno klopjo (slika 5), z nihalom z vzporednima žicama (slika 6) itd.

3.1 Določanje J z nihalom

Telo obesimo na jekleno žico. Tak sistem nam predstavlja sučno nihalo. Tako obešeno telo zasučemo iz mirovne lege. Njegovo periodično sukanje je v približku sučno sinusno nihanje, pri katerem izračunamo vztrajnostni moment J enako kot pri sučnem nihalu na polžasto vzmet (enačba 3), pri čemer je D koeficient žice pri torzijskem sukanju, f pa frekvenca nihanja. [1]

Dijake opozorimo, da bomo za svoje meritve uporabili nekaj fizikalnih enačb, ki presegajo zahtevnost srednješolskega pouka fizike, lahko pa te enačbe uporabljamo pri praktičnem delu in preverjamo veljavnost merilnih metod.



$$J = \frac{D}{4\pi^2 f^2} \quad (3)$$

Slika 3: Merjenje vztrajnostnega momenta rotorja elektromotorja z nihalom.

3.2 Določanje J z nihalom in dodatno utežjo

Težavi pri merjenju koeficienta žice pri torzijskem sukanju D se izognemo, če na telo obesimo še neko določeno maso z znanim vztrajnostnim momentom J' . Sistem bo nihalo z novo frekvenco f' . Razmerje frekvenc, izraženih z zgornjo enačbo, nam da enostavno enačbo za izračun vztrajnostnega momenta (enačba 4). [1]



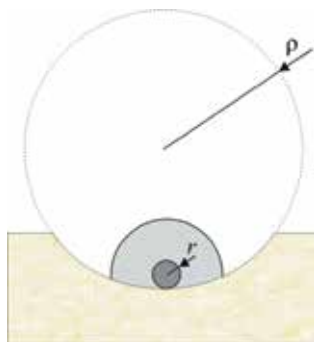
$$J = \frac{J'}{\left(\frac{f}{f'}\right)^2 - 1} \quad (4)$$

Slika 4: Nihalo z dodatno maso.

3.3 Določanje J s kotalno klopjo

S kotalno klopjo lahko določimo vztrajnostni moment nekaterih teles. Telo spustimo po kotalni klopji, da se

kotali sem ter tja. Amplitude odmika iz ravnovesne lege morajo biti majhne. Izmeriti je treba frekvenco kotaljenja f , polmer r , krivinski radij kotalne klopi ρ ter maso telesa m . S pomočjo teh izmerjenih vrednosti nato izračunamo vztrajnostni moment telesa (enačba 5). Metoda je primerna za merjenje J rotorjev manjših strojev. [1]

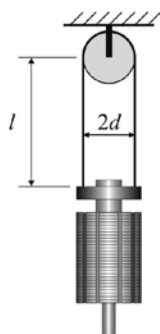


Slika 5: Kotalna klop.

$$J = \frac{m g r^2}{4 \pi^2 f^2 (\rho - r)} - m r^2 \quad (5)$$

3.4 Določanje J z nihalom z vzporednima žicama

Telo obesimo na vzporedni žici, običajno z vpenjalnim nosilcem, tako da ni treba vedno znova pritrjevati žic na telo. Vpeto telo zasučemo in opazujemo sučno nihanje, ko telo spustimo. Kadar je dolžina žic l veliko večja od medsebojne razdalje žic $2d$ in če so amplitude krožnega nihanja majhne, lahko izračunamo vztrajnostni moment obešenega telesa z enačbo 6. [1]



$$J = \frac{m g d^2}{4 \pi^2 f^2 l} \quad (6)$$

$$l \gg 2d$$

Slika 6: Nihalo z dvema vzporednima žicama.

4 Naša izvedba merilne priprave

V preteklosti, ko je fizika v srednješolskih programih zavzemala pomembno mesto, so dijaki lahko podobne naloge izvajali v okviru četrtega predmeta poklicne mature. Treba pa je bilo fizikalne vsebine povezati z vsebinami matične strokovne discipline.

V tem prispevku nekoliko podrobneje predstavljam metodo merjenja vztrajnostnega momenta s kotalno klopjo. Dijaki so jo izdelali iz lesenih desk. Krožni izrezi so bili izdelani z laserskim rezalnikom. Sestavne dele so povezali z vijaki.

Dimenzijski parametri:

- dolžina klopi: 50 cm
- širina klopi: 18 cm
- višina klopi: 20 cm
- razdalja med stranicama: 10 cm
- radij krivine: 26 cm
- dolžina loka: 46 cm
- kot: 100 o
- masa klopi: 2,15 kg



Slika 7: Kotalna klop.

Pri fiziki je mogoče obravnavano temo vključiti in povezati z obravnavo kroženja, kotaljenja, vztrajnostnega momenta in nihanja.

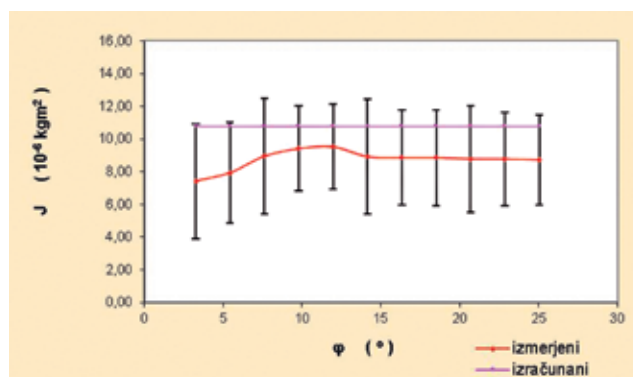
Na nižjem nivoju je mogoče izvesti eksperimentalne vaje, pri katerih dijaki merijo frekvenco kotaljenja, tehtajo vzorec in določijo vztrajnostni moment s pomočjo enačbe 5 ter dobljeno vrednost primerjajo z izračunano vrednostjo vztrajnostnega momenta valja s pomočjo enačbe 8.



$$J = \frac{1}{2} m r^2 \quad (8)$$

Slika 8: Merjenje J valja s kotalno klopjo.

Na višjem nivoju je mogoče izvesti eksperimentalno vajo, pri kateri dijaki ugotavljajo odvisnost izmerjenega vztrajnostnega momenta od kota ali pa dolžine loka in preverjajo veljavnost enačbe 5. Primer rezultatov takega merjenja, ki so ga izvedli dijaki, je prikazan na sliki 9. Odstopanja so večja zaradi ročnega merjenja kratkih nihajnih časov s štoparico (reakcijski čas) in zaradi običajnega podrsavanja, saj enačba velja le za kotaljenje. Kot problematično se je izkazalo točno pozicioniranje mer-



Slika 9: Primer merilnih rezultatov dijakov pri merjenju odvisnosti vztrajnostnega momenta J kovinske palice od kota φ .

jenca na kotalno klop, kar smo premostili z ustreznim označevanjem kotov na obeh straneh kotalne klopi in z nekaj uvajalnimi poskusi pred samim merjenjem.

Na višjem nivoju so dijaki ugotavljali odvisnost izmerjenega vztrajnostnega momenta od krivinskega polmera kotalne klopi. V ta namen pa je bilo treba predhodno izdelati kotalne klopi z različnimi krivinskimi polmeri (slika 10).



Slika 10: Kotalne klopi z različnimi krivinskimi polmeri.

V poklicno-tehniškem izobraževanju je priporočljivo fizikalne teme neposredno povezati tudi s temami, ki se obravnavajo pri strokovnih predmetih. Zato je mogoče eksperiment višjega nivoja razširiti in povezati s strokovnimi vsebinami matične strokovne discipline do tega nivoja, da dijaki izdelajo projektno nalogo za četrto izpitno enoto poklicne mature.

5 Obravnava teme pri drugih predmetih

Pri tej in podobnih projektnih nalogah za četrto izpitno enoto poklicne mature so bila vključena znanja več pred-

metov: fizike, praktičnega pouka, računalništva, tehniškega dokumentiranja, matematike, slovenščine, tujih jezikov in strokovnih predmetov.

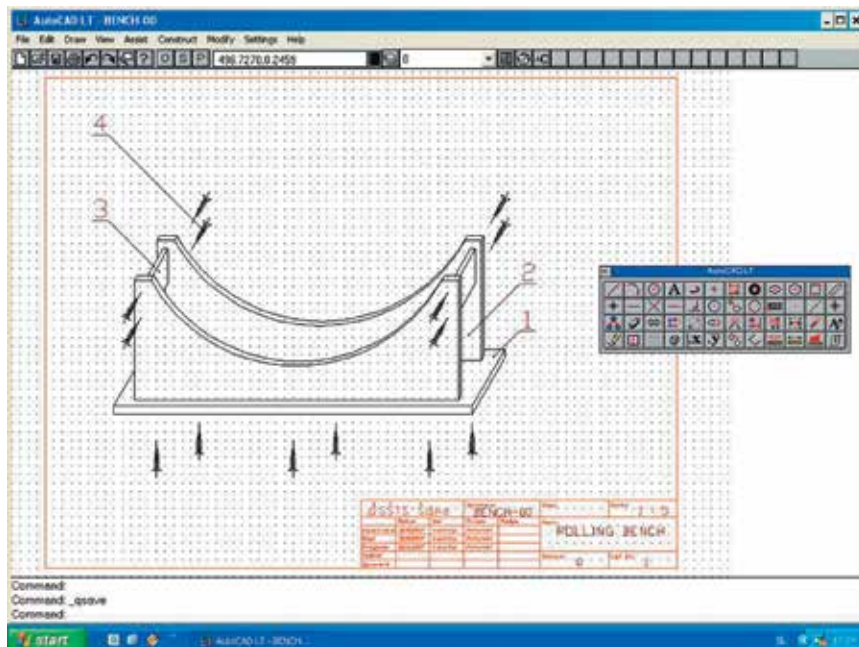
Pri praktičnem pouku učitelj vodi dijake nižjih letnikov od priprave materiala prek izdelave osnovnih sestavnih delov, zaščite površin sestavnih delov do končne montaže in funkcionalnega preizkusa kotalne klopi. V višjih letnikih lahko dijaki demontirajo motor in ustrezno pripravijo rotor za izvedbo laboratorijskih vaj pri strokovnih predmetih (slika 11).



Slika 11: Rotor z vodili.

Pri računalništvu in tehniškem dokumentiranju učitelj dijake seznani z osnovnimi standardnimi elementi, ki so sestavni del kotalne klopi. Dijak naj bi obvladal osnovne prijeme pri pripravi tehnične dokumentacije. Učitelj dijake seznani z možnostmi risanja, oblikovanja in konstruiranja z računalnikom, jih vodi ter usmerja pri pripravi tehnične dokumentacije.

Pri matematiki lahko dijaki določijo enačbo kroga in dolžino loka za krožni izrez kotalne klopi. V višjih letnikih lahko učitelj dijake informativno seznani tudi z integralnim računom za vztrajnostni moment nekaterih enostavnih geometrijskih teles (valja, krogle, obroča, palice ...)



Slika 12: Konstruiranje klopi s programskim paketom AutoCAD.

Dijaki pri jezikoslovnih predmetih razvijajo spretnosti branja, govorjenja, pisanja in poslušanja, ki so nujno potrebne pri razumevanju in snovanju strokovnih besedil.

Dijaki poiščejo predlagane spletne strani, dodatne spletne strani na temo vztrajnostnega momenta in podobne strani v knjigah in revijah (avtonomno učenje) ter z branjem zanimivih avtentičnih tekstov, ki so realno povezani z drugimi predmeti in resničnimi življenjskimi okoliščinami, spontano vadijo različne bralne tehnike.

Dijaki ob branju tekstov, ki so priprava na diskusijo, in med predstavitvijo projekta pišejo zapiske, zapisujejo ključne besede in izdelajo miselne vzorce. Sledita lahko tudi opis in predstavitev podobnih postopkov merjenja, ki so jih dijaki spoznali med branjem ali brskanjem po literaturi, pisanje dnevnika ali poročil in vključevanje teme v mednarodne projekte. Pri pisanju se usposabljaajo za tvorjenje uradnih in strokovnih besedil.

Dijaki lahko predstavijo postopek merjenja vztrajnostnega momenta v maternem jeziku, manjše segmente pa tudi v tujem jeziku. Predstavitev lahko izvedejo tudi v drugih oddelkih. Tema je zanimivejša, ker govorijo sošolci, ki so sami izdelali merilno napravo, ki je dejansko prisotna in kot taka vzbuja zanimanje ter spodbuja motivacijo.

6 Zaključek

Težiti moramo k znanju, ki bo celostno, trajno, aktivno, kritično, uporabno, aplikativno in sistematično. Pridobljeno znanje morajo dijaki povezovati s predhodno pridobljenim znanjem, z znanjem, pridobljenim pri drugih predmetih, z aktualnimi aplikacijami v industriji itd. Tako pridobljeno znanje vpliva tudi na motivacijo za nadaljnje učenje.

Tradicionalni učni načrti so bili usmerjeni predvsem k poučevanju vsebin enega predmeta. Sodobno pridobivanje znanja pa ne zahteva le dobre izbire najprimernejše učne snovi. Pokazati mora tudi povezavo med različnimi

poglavji in znanji ter navajati dijake na iskanje bistvenega. Prav tako je pomembno uporabiti pridobljeno znanje v različnih praktičnih situacijah, zato morajo posamezni učni predmeti iskati svoj smisel v povezanosti z drugimi predmeti. Cilji in vsebine, ki pomagajo razumeti nek pojav ali problem z različnih vidikov, se morajo med seboj dopolnjevati in prepletati. Ob tem pa morajo učitelji dobro poznati cilje in vsebine različnih predmetov in predmetnih področij ter poiskati najoptimalnejše organizacijske oblike.

Medpredmetno povezovanje je uspešno, kadar so doseženi zastavljeni cilji. Pri tem pa mora učitelj natančno vedeti, katere cilje posameznih predmetov ali predmetnih področij želi doseči z medpredmetno povezavo. Učitelj mora poznati cilje in vsebine različnih predmetov, ki so v predmetniku določenega izobraževalnega programa. Potrebno je skupno sodelovanje učiteljev različnih predmetov. Izbira vsebin, način posredovanja znanja ter organizacija izpeljave morajo biti prilagojeni razvojni stopnji in predhodnemu znanju dijakov. Vsaka medpredmetna povezava mora biti skrbno načrtovana ter dobro vsebinsko in organizacijsko izpeljana. Na koncu morajo učitelji vedno analizirati uresničevanje postavljenih ciljev. Učenci naj bodo dejavno vključeni v čim več faz učnega procesa, pri čemer naj bo v ospredju samostojno delo učencev.

Digitalna tehnologija (DT) je prodrla v vse pore našega življenja in tudi učni proces se temu vplivu ni mogel izogniti. Raba DT pa je eskalirala v času kovida in pri dijakih dosegla prenasíčenost. Zato je smiselno razmišljati o eksperimentih, kjer imajo dijaki opravka z enostavnimi materialnimi sredstvi, kjer uporabijo čim več svojih čutov, kjer razvijajo ročne spretnosti in se seznanijo s presečenjenji realnih situacij. Pri tem ne izključujemo sodobnih merilnih sistemov (Vernier, Arduino ...), temveč se pri načrtovanju pouka priporoča ustrezno razmerje med klasično in sodobno izvedbo, še posebej v poklicno-tehniškem izobraževanju.

Viri in literatura

- [1] Avčin, F., in Jereb, P. (1983). *Preizkušanje električnih strojev in njihove lastnosti*. Tretja izdaja. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.
- [2] Strnad, J. (1995). *Fizika, Prvi del, Mehanika/Toplota*. Ljubljana: Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije.
- [3] International Organization for Standardization. *Quantities and units, ISO Standards Handbook*, International Organization for Standardization.
- [4] Bergelj, F. (2000). *Osnove meritev*. Ljubljana: Založba FE in FRI.
- [5] Marentič Požarnik, B. (2000). *Psihologija učenja in pouka*. Ljubljana: DZS.
- [6] Marentič Požarnik, B. (1997). *Zbornik Kurikularna prenova, Cilji, izhodišča in možne stranpoti kurikularne prenove*. Ljubljana: MŠŠ.
- [7] Kovač, M. (2003). *Dejavnosti učencev v procesu pouka*. Ljubljana: FŠ.
- [8] Kladnik, R. (2002). *Gibanje, sila, snov*. Ljubljana: DZS.
- [9] Kladnik, R. (1995). *Energija, toplota, zvok, svetloba*. Ljubljana: DZS.



Časopisni članki.

Promocija astronomije: Medpredmetna povezava knjižnice s fiziko

Damjana Andrin
Šolski center Novo mesto

Izvleček

V prispevku je prikazan primer medpredmetne povezave med šolsko knjižnico in fiziko. Opisano je, kako je knjižnica v okviru knjižničnih informacijskih znanj (KIZ) in v medpredmetni povezavi s fiziko dijakom približala knjižnični fond s pomočjo astronomije, večšine iskanja po informacijskih virih ter razširila njihovo fizikalno znanje. Dijaki so bili aktivno udeleženi pri postavitvi razstave pred knjižnico. Končni rezultati so bili pozitivni.

Ključne besede: medpredmetne povezave, razstave, astronomija, knjižnica, branje

Promoting Astronomy: Cross-Curricular Link Between Library and Physics

Abstract

The article aims to describe a cross-curricular link between a school library and physics by explaining how a library introduced students to its astronomy collection, the skills of searching for information resources, and expanded their knowledge of physics in the context of library information skills and a cross-curricular link with physics. The students helped set up the exhibition in front of the library. The outcome was positive.

Keywords: cross-curricular connections, exhibitions, astronomy, library, reading.

Uvod

Razstave so za knjižnico klasična oblika promoviranja gradiva. V prispevku je opisan primer medpredmetne povezave med knjižnico, v okviru izvajanja knjižničnega informacijskega znanja, in predmetom fizika. Osrednja tema je bila astronomija, saj je bila leta 2019 petdeseta obletnica, ko je prvi človek stopil na Luno ter deseta obletnica mednarodnega leta astronomije, kar se je ponudilo kot odlično izhodišče za tako skupno delo. S tem smo se pridružili dogodkom v sklopu »100 ur astronomije«, ki na pobudo Mednarodne astronomske zveze (IAU) potekajo po vsem svetu [1]. S tem projektom smo dijakom in dijakinjam približali ne samo teme iz fizike in astronomije, ampak smo jim tudi pokazali, kako lahko s pomočjo knjižnice pridejo do revij, knjig ter drugih virov. Z medpredmetno povezavo s knjižnico smo želeli tudi dolgoročno spodbuditi obiskovanje šolske knjižnice ter izposojanje gradiv na teme, ki dijake in dijakinje zanimajo.

Glavni cilji opisane medpredmetne povezave so torej bili: motivacija za branje literature s področja astronomije in preostalega naravoslovja; poglobitev znanja s področja astronomije; uporaba knjižnice, njenih storitev in opreme; izbira primernih informacijskih virov in razvijanje informacijske pismenosti; uporaba pridobljenega znanja pri pouku in zunajšolskih dejavnostih; povečanje izposoje tega gradiva v knjižnici. Vključeni so bili dijaki prvega letnika tehniške gimnazije pri urah fizike.

Pričakovani rezultati sodelovanja: razstava in zadovoljstvo vseh udeležениh, dijaki se seznani s knjižničnim fondom s področja astronomije in ga tudi uporabljajo pri izobraževalnem procesu; dijaki postanejo redni uporabniki knjižnice.

Uporabljeni didaktični pristopi: timsko delo, sodelovalno učenje, razlaga, pogovor, delo z informacijskimi viri, praktično delo – izdelava izdelka.



Slika 1: Modelčki in polica v knjižnici z astronomijo.

Opis izvedbe projekta

V uvodnem delu projekta so dijaki pri uri fizike obravnavali teoretična izhodišča osrednje astronomske teme in se seznanili s cilji obiska knjižnice: ob obletnici obeh astronomskih dogodkov bodo dijaki poiskali informacije o raziskovanju vesolja in se osredotočili na podatke o

misiji Apollo ter raziskovanju Lune, informacije in literaturo bodo pridobili v šolski knjižnici ter na podlagi zbranih gradiv in vsebin pripravili razstavo. V nadaljevanju aktivnosti so dijaki skupaj z učiteljico fizike prišli v knjižnico, kjer smo jim predstavili različne vire in metode njihove uporabe.

Dijaki so najprej poiskali informacije o raziskovanju vesolja in misijah na Luno. Pri tem so uporabili spletne vire, revije ter knjižnično gradivo. Profesorica fizike je bila dijakom ves čas na voljo za svetovanje in strokovno pomoč. Knjižničarke smo jim pomagale iskati po različnih virih, ki so dostopni v šolski knjižnici. Poleg praktičnega dela so iskali po literaturi o astronomiji in poglobljali znanje o tej vedi.

Na spletnih straneh vesoljskih agencij NASA in ESA so poiskali in natisnili načrte za sestavljanje modelčkov, saj so se odločili, da bodo z njimi popestrili razstavo. Izdelali so modelčke vesoljskih postaj, sond, Hubblovega teleskopa in Apolla 11.

V sklepnem delu smo dijaki, profesorica fizike in knjižničarke izbrali izdelane modelčke ter določili, katere knjige in časopisni članki bodo na razstavi. Nekaj literature, časopisnih člankov in okvirni naslov smo v knjižnici pripravili že na začetku sodelovanja. Preostale modelčke smo razporedili po knjižnici, kjer so še vedno na ogled. S profesorjem informatike smo se dogovorili za izdelavo QR-kod s povezavami na različne spletne vsebine za obiskovalce razstave.



Slika 2: Izdelava modelčkov.



Slika 3: Hubblov teleskop.

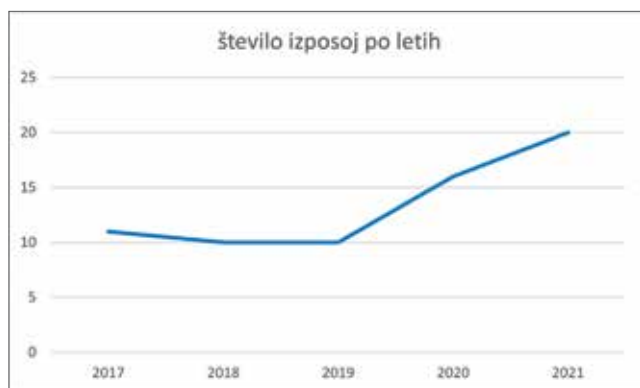
K ogledu razstave smo povabili tudi druge učitelje in dijake, knjižničarke pa smo ves čas na razstavo vabile tudi obiskovalce knjižnice. Slikovno gradivo z razstave je bilo na ogled tudi na knjižnični spletni strani. V času razstave je potekal vpis novih dijakov v srednjo šolo. Bodoči dijaki šole so tako lahko že pred začetkom šolanja na naši šoli spoznali delček naše bogate knjižnične zbirke, predvsem pa zbirke knjig s področja astronomije. Na končni evalvaciji smo ugotovili, da je bilo tako sodelovanje zelo dobrodošla sprememba za vse udeležene.



Slika 4: Razstava pred knjižnico.

Empirični podatki

S pomočjo programa COBISS/Izposoja smo pridobili podatke o izposoji gradiva. Zanimalo nas je obdobje dveh let pred in po razstavi. Podatki so bili razveseljivi.



Slika 5: Grafični prikaz izposoje gradiva.

Kot je razvidno z grafa, smo dosegli svoj cilj. V obdobju po razstavi je bila ta literatura bistveno bolj izposojana. Podatki so sicer nekoliko pomanjkljivi, saj v prikaz ni zajeta čitalniška izposoja, ki v knjižnici ni računalniško podprta. Upoštevati pa je treba tudi obdobje pandemije kovida 19, saj je med letoma 2020 in 2022 pouk pogosto potekal od doma, knjižnica pa je bila zaprta. Verjamemo, da bi bil rezultat brez pandemičnih razmer še boljši.

Zaključek

Predstavljeno medpredmetno sodelovanje med knjižnico in predmetom fizika se je izkazalo za zelo dobro. Končni rezultat je bila razstava z naslovom »Misija na Luno«, ki smo jo z dijaki postavili pred knjižnico in ki je sovpadala s petdeseto obletnico prvega pristanka na Luni ter z deseto obletnico mednarodnega leta astronomije. Z dobrim sodelovanjem in timskim delom smo izvedli zanimiv projekt, ki so se ga dijaki aktivno udeležili. Dijaki so teoretično znanje podkrepili s praktičnim delom in dodatno spoznali fond knjižnice s področja astronomije. Nenehna promocija fonda in delo z dijaki, ki ju v skladu priporočili KIZ knjižnica izvaja ves čas, sta bila v tem primeru dobre prakse nekoliko drugačna.

Na koncu projekta so dijaki izrazili zadovoljstvo s takim načinom dela in z izbrano osrednjo temo pa tudi željo po podobnem sodelovanju v prihodnje. Še posebej koristno se jim je zdelo sodelovanje pri pripravi razstave. Po mnenju profesorice fizike in knjižničark je projekt potekal po pričakovanjih.

Zelo pomembna pri takem delu se nam zdita zares dobra povezanost in sodelovanje učitelja in knjižničarja pri timskem delu. Tako je mogoče nevsiljivo popestriti delo z dijaki, ki so bili veliko bolj sproščeni in ustvarjalni. Knjižnica se je tako izkazala za dober učni prostor, dijaki so pridobili znanje, ki je lahko veliko trajnejše.

Podatki o izposoji gradiva so kazali na njeno povečanje, ki je bilo tudi eden od naših glavnih ciljev. Nekatere razstavljene knjige so bile izposojene po daljšem času.

Tak način dela se je izkazal kot dober, to pa je dobro izhodišče za nadaljnje vključevanje knjižnice v izobraževalni proces naravoslovja.

Viri in literatura

- [1] Mednarodna astronomska zveza: 100 ur astronomije. Pridobljeno 29. 9. 2022 s spletne strani: <https://www.iau.org/public/oao/100-hours-of-astronomy/>
- [2] Vodnik za šolske knjižničarje (1999). Ljubljana: Zavod Republike Slovenije za šolstvo.
- [3] Fekonja, R. (2004). Branje in pismenost: vloga šolske knjižnice pri spodbujanju branja. Šolska knjižnica, 14(3), 132–139.
- [4] Posodobitve pouka v gimnazijski praksi (2010). Knjižnično informacijsko znanje. Ljubljana: Zavod za šolstvo.
- [5] Eršte, A.: Razstava astronomske literature: Misija na Luno. Pridobljeno 3. 10. 2022 s spletne strani: <https://www.portalvvesolje.si/za-sole/porocila-s-sol>

Dva poskusa s Soncem

dr. Primož Kajdič

Oddelek za vesoljske znanosti

Geofizikalni inštitut

Narodna avtonomna univerza Mehike

Izvleček

V prispevku opišem učni dejavnosti, povezani z nam najbližjo zvezdo – Soncem. Pri prvi učenci ponovijo poskus, ki ga je leta 1800 izvedel znameniti britanski astronom William Herschel, pri čemer je po naključju odkril infrardečo svetlobo. Učenci se ob tem poskusu naučijo, da je Sončeva svetloba, ki ji pogosto pravimo vidna oziroma bela svetloba, v resnici sestavljena iz mešanice barv. Izvejo tudi, da obstaja očem nevidna, infrardeča svetloba in da ta veliko učinkoviteje greje predmete, na primer termometre, kot bela svetloba.

Pri drugi dejavnosti učenci izdelajo kamero obskuro, ki jo uporabijo za opazovanje Sončevih peg. Te pege narišejo na bel papir ter primerjajo risbe, ki jih naredijo v obdobju več dni ali tednov. Naučijo se, da Sončeve pege navidezno spreminjajo svojo lego na Sončevem disku, s tem pa ponovijo odkritje velikega znanstvenika Galilea Galileja, namreč, da se Sonce vrti. Če je opazovanj dovolj, učenci lahko celo ocenijo vrtilno dobo Sonca.

Ključne besede: Sonce, spekter, barve, infrardeča svetloba, Sončeve pege, kamera obskura

Two Experiments with Sun

Abstract

The author describes two experiments related to our closest star, the Sun. As part of the first activity, students replicate an experiment by the famous British astronomer William Herschel in 1800, when he serendipitously discovered infrared light. Through this activity, students learn that sunlight, which we often call visible or white light, consists of all possible colours. They become aware of the existence of infrared light, which is invisible to the eye but much more efficient at heating objects, such as thermometers, than white light.

As part of the second activity, students construct a camera obscura to observe sunspots. They draw these spots on a piece of white paper and compare their drawings over a period of several days or weeks. By noticing that sunspots seem to change their position on the Sun's disk, they can confirm the great scientist Galileo Galilei's discovery that the Sun rotates. With enough observations, students can even estimate the rotation period of the Sun.

Keywords: Sun, spectrum, colours, infrared light, Sunspots, camera obscura.

1 Sončev spekter

Ta eksperiment je leta 1800 izvedel britanski astronom William Herschel (1738–1822), širši javnosti poznan kot odkritelj Urana. Herschel je nameraval ugotoviti, kolikšen delež prispevajo k toploti posamezne barve v mavrici, torej v vidnem delu Sončevega spektra. Poskus je zasnoval tako, da je s pomočjo steklene prizme na steno temne sobe projiciral mavrico, nato pa opazoval, kako se je spremenila temperatura termometrov, ki jih je namestil na tiste predele stene, ki so bili obsijani z vijolično,

modro, zeleno, rumeno ter rdečo svetlobo. Herschel je ugotovil, da je bila končna temperatura vsakega termometra različna in da je naraščala od vijolične proti rdeči barvi. Za primerjavo se je odločil izmeriti še temperaturo zraven rdeče barve, torej zunaj mavrice. Na njegovo presenečenje je zdaj termometer pokazal temperaturo, ki jo bila bistveno višja od katere koli barve v mavrici. Herschel je tako odkril očem nevidno svetlobo, ki jo je poimenoval »toplotni žarki«, danes pa ji pravimo infrardeča svetloba.



Slika 1: William Herschel, 1785. Avtor: Lemuel Francis Abbott. Vir: Wikipedija.

1.1 Izvedba poskusa

Za izvedbo tega poskusa potrebujemo:

- večjo kartonasto ali leseno škatlo,
- stekleno prizmo,
- štiri ali pet termometrov,
- črno barvo in
- lepilo.

Poskus se izvede na prostem, zanj pa je potrebno jasno, sončno vreme. Spodnjo stran termometrov, kjer se nahaja večina alkohola oziroma živega srebra, najprej pobarvamo s črno barvo. Tako se bodo termometri hitreje ogreli, kar bo prispevalo k uspehu poskusa.

Nato pripravimo škatlo. Najprej odstranimo eno stranico. Če škatla ni kocka, odstranimo eno stranico z največjo površino. Sredi roba druge stranice izrežemo režo, po velikosti enako stekleni prizmi. Tej stranici bomo

rekli sprednja stranica. V režo vtaknemo prizmo in jo prilepimo. Med poskusom škatlo postavimo tako, da je sprednja stranica obrnjena proti Soncu, notranjost škatle pa ni neposredno izpostavljena Sončevi svetlobi. Prizma je v pravilnem položaju, ko se v škatli pojavi mavrica, kot prikazuje Slika 2.

Najprej zabeležimo začetno temperaturo, ki jo prikazujejo termometri. Nato jih pravilno namestimo. Tri ali štiri, odvisno od velikosti mavrice, postavimo tako, da njihov položaj sovпада z različnimi barvami spektra. En termometer namestimo zunaj mavrice, in sicer zraven rdeče barve. Počakamo približno pet minut in opazujemo, kaj se z njimi dogaja. Po preteku tega časa zapišemo temperaturo, ki jo prikazuje vsak termometer.

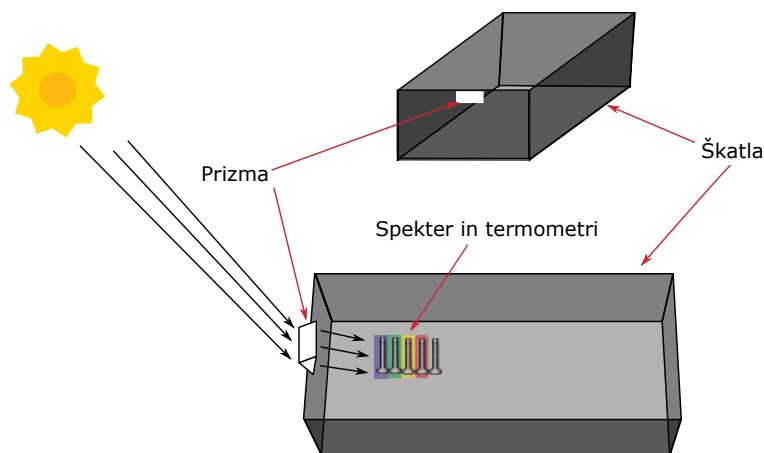
Kaj opazimo? Se je temperatura, ki jo prikazujejo termometri, povišala ali znižala? Kateri termometer prikazuje najvišjo temperaturo?

2 Sončeve pege

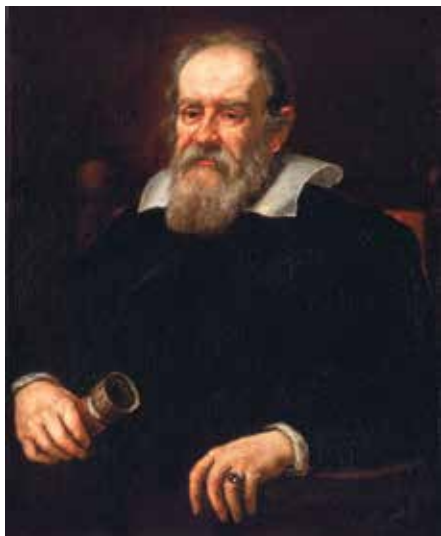
Sončeve pege je leta 1610 odkril veliki italijanski znanstvenik Galileo Galilej (1564–1642), ko je proti Soncu obrnil svoj preprosti teleskop in si skozenj ogledoval površje naše zvezde. To so območja na Sončevem površju, ki so hladnejša od okolice, zato sevajo manj svetlobe in se na fotografijah Sonca v vidni svetlobi pojavljajo kot temne lise.

Danes vemo, da Sonca ne smemo neposredno opazovati brez ustrezne zaščite niti s prostim očesom, še manj pa s teleskopom ali daljnogledom, saj si lahko uničimo vid. Galilej je imel »srečo«, da je bil njegov teleskop zelo majhen, tako da si vida ni uničil. Sonce je sistematično opazoval in ugotovil, da se navidezni položaj Sončevih peg skozi čas spreminja. To dejstvo je pravilno pripisal vrtenju Sonca okoli lastne osi ter celo ocenil vrtilno dobo tega nebesnega telesa.

Seveda je bila ta ocena samo približek, saj danes vemo, da se Sonce ne vrti kot togo telo, njegova vrtilna doba pa se spreminja s heliografsko širino in znaša 25,4 dneva na ekvatorju ter 34,4 dneva v bližini polov.



Slika 2: Herschlov poskus.



Slika 3: Galileo Galilei, 1636. Avtor: Justus Sustermans. Vir: Wikipedija.

2.1 Izvedba poskusa

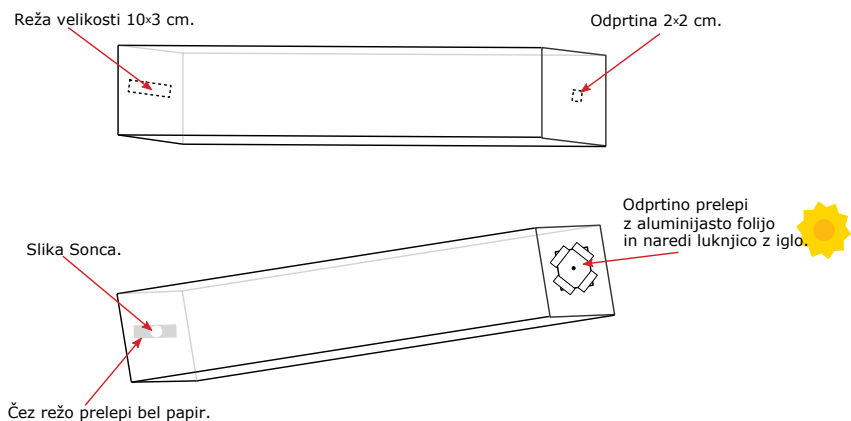
Za opazovanje Sončevih peg bomo izdelali posebno verzijo kamere obskure, za kar potrebujemo:

- karton ali kartonasto škatlo,
- škarje ali nož,
- aluminijasto folijo,
- bel papir,
- lepilni trak in
- svinčnik (da bomo Sončeve pege na bel list tudi narisali).

Sončeve pege lahko brez teleskopa ali daljnogleda opazujemo s kamero obskuro. To latinsko poimenovanje pomeni »temna soba«, vendar bo naša kamera obskura narejena iz kartonaste ali lesene škatle. Prav bo prišla že škatla za čevlje, za boljši uspeh eksperimenta pa naj bo škatla dolga vsaj 60 cm ter široka vsaj 15 cm.

Izdelava kamere obskure je preprosta. Najprej naredimo kartonasto škatlo, kot kaže slika. Na sredini ene od stranic izrežemo režo velikosti 10 cm × 3 cm, na nasprotni stranici pa odprtino 2 cm × 2 cm. Čez režo prelepimo bel papir, čez odprtino pa aluminijasto folijo, ki jo na sredini prebodemo z iglo. Tako naredimo luknjico, ki jo med opazovanjem usmerimo proti Soncu, in na papirju se bo prikazala slika Sonca. Medtem ko dva učenca držita kamero obskuro v pravilnem položaju, naj tretji učenec s svinčnikom na papir nariše rob projekcije Sonca ter položi peg. Za lažjo izvedbo poskusa lahko učenci izdelajo posebno stojalo, da bo kamera obskura med risanjem peg pri miru.

Sončeve pege bodo vidne kot majhne, temne lise. Označiti je treba še najbolj zgornjo in najbolj spodnjo točko na Sončevem površju, ki predstavljata približen položaj severnega ter južnega tečaja. Razlog, da gre samo za približek, je ta, da os vrtenja Sonca ni nujno pravokotna na zveznico z Zemljo. Nato papir odstranimo, na zadnjo stran pa zapišemo datum in uro opazovanja ter imena učencev, ki so sodelovali pri poskusu. Če je le mogoče, naj učenci opazovanja ponovijo več dni zapored ter primerjajo, kako se skozi čas spreminjata število ter položaj Sončevih peg. Če pege rišemo nekaj tednov, lahko celo ocenimo vrtilno dobo Sonca.



Slika 4: Izdelava kamere obskure.

Viri in literatura

- [1] The Herschel Experiment, Cool Cosmos, https://coolcosmos.ipac.caltech.edu/page/lesson_herschel_experiment
- [2] Herschel's experiment, Cool Cosmos, https://coolcosmos.ipac.caltech.edu/page/herschel_experiment
- [3] Build a Sunspot Viewer, Society, <https://www.nationalgeographic.org/activity/build-a-sunspot-viewer/>
- [4] Galileo Galilei, Wikipedija, https://sl.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei
- [5] William Herschel, Wikipedija, https://sl.wikipedia.org/wiki/William_Herschel



Tlak v tekočinah: Izdelava hidravlične naprave

Barbara Fir

Osnovna šola Belokranjskega odreda Semič

Osnovni pripomočki za izdelavo
hidravlične naprave.

Izvleček

V članku je predstavljen scenarij za obravnavo nove učne snovi v obliki simulacije avtentične učne situacije. Učiteljica prevzame vlogo direktorice podjetja Dobra igrača, ki na podlagi razpisa povabi oblikovalce (učence) na sedež podjetja, kjer najprej preverijo njihovo predznanje, pripravijo zanje nekaj usposabljanj, nato pa jih povabijo k oblikovanju in izdelavi naprave.

Ključne besede: avtentična učna situacija, tlak v tekočinah, hidravlična naprava

Pressure in Fluids – Hydraulic Device

Abstract

The article presents a scenario on dealing with new learning material in the form of a simulation of an authentic learning situation. The teacher assumes the role of a director of the company Dobra igrača, and invites designers (students) to the company's headquarters, where they first check their prior knowledge, prepare different trainings for them, and then invite them to design and manufacture the device.

Keywords: authentic learning situation, pressure in fluids, hydraulic device.

Uvod

Obravnava poglavja »Tlak v tekočinah« je za večino učiteljev velik izziv, saj je treba smiselno načrtovati aktivnosti, s katerimi bodo učenci spoznali in razumeli ključne koncepte, izvedli poskuse, razvijali svoje miselne procese

in gradili na že pridobljenih znanjih. Dobro je, da učitelj pri načrtovanju aktivnosti upošteva različne učne stile in sposobnosti učencev ter jim omogoči priložnost za praktične izkušnje, ki jim bodo pomagale razumeti delovanje tlaka v tekočinah.

V nadaljevanju predstavljam primer, pri katerem gre za simulacijo avtentične situacije, saj sem pred učence postavila problem oz. bolje rečeno izziv, ki sem si ga zamislila za potrebe doseganja učnih ciljev (simuliramo) in ki je prav tako namenjen zamišljeni publiki. Učenci so postavljeni v situacijo, s katero se bodo nekateri med njimi v življenju verjetno srečali, če bodo takšni ali drugačni oblikovalci ali pa ko bodo promovirali svoje delo in izdelke.

Glavni namen predstavitve zgodbe oz. situacije je ta, da se učenci vživijo vanjo, da vzbudimo njihovo zanimanje in da začnejo razmišljati o problemu oziroma izzivu. Tako postane naloga za učence smiselna, vredna vloženega truda (v tem primeru gre tudi za tekmovanje za najboljšo igračo) in omogoča uporabo znanja. Učitelj pri tem ni samo pisec scenarija oziroma tisti, ki vse pripravi in poskrbi za izvedbo scenarija, ampak ima lahko v dani situaciji tudi aktivno vlogo.

Scenarij je pripravljen tako, da učence popelje skozi vse faze učnega procesa, od preverjanja predznanja do pridobivanja novih znanj, ki so potrebna za izdelavo naprave, in na koncu do predstavitve same naprave. Učenci imajo vas čas jasne in razumljive cilje, ki so oblikovani v duhu avtentične situacije in vloge, ki jo igrajo učenci v njej.

Učenci:

- opredelijo kapljevine in ločijo kapljevine in pline po njihovih lastnostih,
- vedo, da kapljevine in pline uvrščamo med tekočine,
- raziščejo, kako se prenaša povečanje tlaka v mirujoči tekočini v zaprti posodi,



Slika 1: Pripomočki za vlogo učiteljice.

- ugotovijo smer sil zaradi tlaka tekočine na ploskev telesa in stene posode,
- pojasnijo odvisnost sile od velikosti ploskve pri enakem tlaku tekočine,
- izdelajo model preproste hidravlične naprave.

Potek dela

Nekega dne se na vratih učilnice za fiziko pojavi napis »Dobra igrača«. Učenci vstopijo v razred, kjer jih pričakam s priponko podjetja Dobra igrača in z mapo z logotipom podjetja.

Povabim jih, da se posedejo. Predstavim se jim kot direktorica podjetja, ki je razpisalo natečaj za novo hidravlično igračo, ki naj bi jo izdelali kot vrhunski strokovnjaki, izbrani na natečaju podjetja. Seznanim jih z aktivnostmi, ki sem jih zanje pripravila:

1. Preverjanje predznanja
2. Oblikovanje razvojnih skupin
3. Izobraževanje
4. Izdelava igrač
5. Predstavitve
6. Refleksija

Preverjanje predznanja

Preverjanje predznanja izvedem z aplikacijo Plickers, dostopno na www.plickers.com [1]. Pripravim vprašanja izbirnega tipa (str. 40 zgoraj) in kartončke s kodami za učence. Učenci odgovorijo na vprašanje, ki ga projiciram z ustrezno obrnjenim kartončkom. S telefonom ali tabličnim računalnikom poskeniram vse kartončke in dobim povratno informacijo o uspešnosti učencev. Za preverjanje predznanja lahko uporabimo tudi različne vhodne lističe, krajše diagnostične teste ali kvize.

Glede na rezultate preverjanja znanja učence razdelim v homogene skupine (trije do štirje učenci v skupini). Za učence, ki so dosegli slabše rezultate, pripravim aktivnost za ponovitev snovi o tlaku (str. 40 spodaj) in v nadaljevanju navodila za samostojno učenje diferenciram tako, da novo učno snov spoznajo manj podrobno.

Raziskovanje tlaka v tekočinah

Učenci po navodilih na učnem listu za delo (str. 41–42) samostojno predelajo poglavje o tlaku v tekočinah in izvedejo enostavne eksperimente s poudarkom na izkustvenem učenju. Kot glavni vir informacij uporabljajo učbenik, pri iskanju odgovorov pa si lahko pomagajo tudi z e-učbenikom in drugimi viri na spletu. Učence usmerjam pri njihovem delu, pomagam pri izvajanju eksperimentov in podajam sprotno povratno informacijo.

Izdelava hidravlične naprave

Učenci na spletu poiščejo primere modelov hidravličnih naprav (dvigalo, most ...) Pogovorimo se o ciljih in kriterijih uspešnosti ter jih zapišemo.

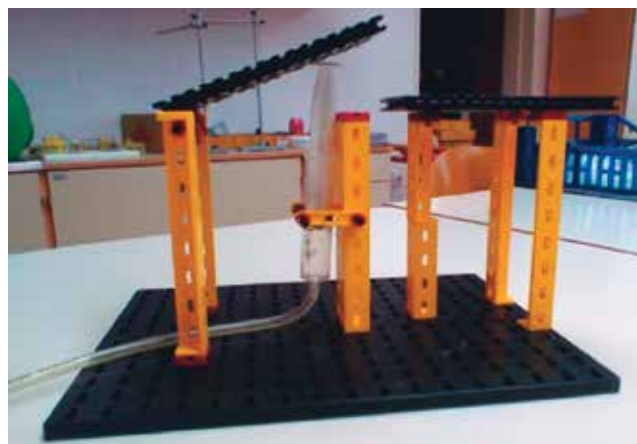
Preglednica 1: Kriteriji uspešnosti

Cilji	Kriteriji uspešnosti
1. Izdelati hidravlično igračo	– Znam izdelati hidravlično igračo.
2. Raziskati delovanje hidravličnih naprav	– Vem, kaj so tekočine in katere so njihove lastnosti. – Vem, kaj se zgodi s tlakom v tekočini, če se tlak na enem mestu poveča. – Vem, kakšna je smer sile tekočine na steno posode. – Znam narisati silo tekočine na steno posode. – Znam naštetati vsaj tri hidravlične naprave.
3. Predstaviti igračo	– Igračo poimenujem. – Prikažem delovanje igrače (v živo in na videu). – Razložim delovanje igrače.

Sledita načrtovanje in izdelava naprave. V tej fazi učenec dopustim, da se samostojno odločajo, kako se bodo lotili reševanja naloge. Ker želim, da učenci opravijo nalogo v predvidenem času in v šoli, jih omejim s pripomočki. Na voljo imajo zbirko Fischertechnik, cevko, dve brizgi z različnima presekom in barvno tekočino. Omejitev pripomočkov je tudi idealna prilika za reševanje problemov, ki se zato pojavijo. Pri tem spodbujam sodelovanje med skupinami in iskanje ustreznih dodatnih pripomočkov v učilnici, v kabinetu za fiziko, pri hišniku itd. Pripravim tudi namig s skrivnostno škatlo, v kateri je že izdelana naprava, vendar lahko vsaka skupina v škatlo pogleda samo enkrat. Učence pri delu ponovno usmerjam, prisluhnem njihovi komunikaciji in dajem povratne informacije. Še zlasti sem pozorna na razlago delovanja že izdelane hidravlične naprave.

Predstavitev dokazov

Učenci napravo poimenujejo in se pripravijo na njeno predstavitev. S telefonom ali tabličnim računalnikom posnamejo delovanje naprave, ki so jo izdelali, in kratek video brez večjega urejanja dodajo v zbirko, ki je dostopna vsem učencem. Sama največkrat uporabim zid v Padletu, dostopen na povezavi padlet.com [4], in povezavo do njega delim z učenci. Smisel te aktivnosti je v tem, da lahko z učenci kadarkoli pogledamo njihove izdelke in se o njih pogovorimo. Lahko se namreč zgodi, da zaradi časovne stiske izdelkov ne uspemo predstaviti ali pa potrebujemo pripomočke za izdelavo tudi v drugem oddelku in je treba naprave razdreti. S sliko, ki jo projiciramo hkrati, ko učenec demonstrira delovanje naprave, omogočimo, da vsi učenci dobro vidijo, kaj so naredili njihovi sošolci.



Slika 2: Dvižni most.



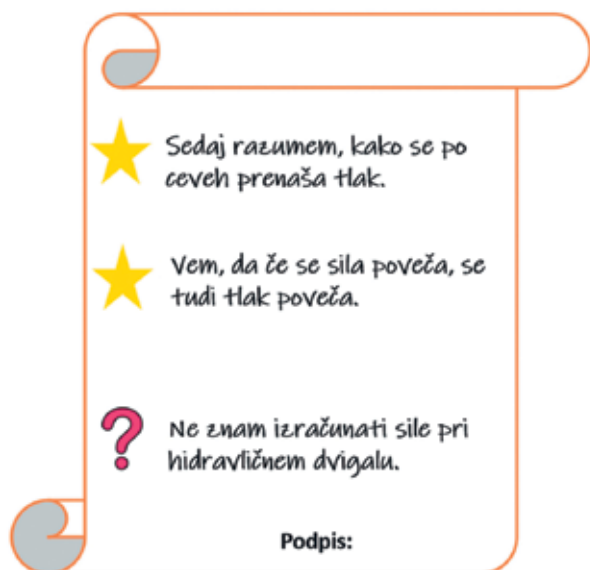
Slika 3: Žerjav.

Povratna informacija

Po končanih predstavitvah učencem posredujem ustno povratno informacijo o njihovem delu in napravah, ki so jih izdelali. V duhu avtentične situacije kot direktorica podjetja izberem najboljšo igračo in zmagovalni skupini čestitam za uspeh. Tudi učenci mi podajo povratno informacijo, tako da na listič zapišejo dve stvari, ki so si ju zapomnili, in vprašanje, ki se jim še poraja v zvezi z obravnavano snovjo. Povratna informacija učencev je izhodišče za načrtovanje naslednje šolske ure, ko odgovorim na zastavljena vprašanja oz. pripravim naloge in aktivnosti za odpravljanje primanjkljajev.

Refleksija

Po končanih aktivnostih spodbudim učence k razmisleku o njihovem učenju. V pomoč jim projiciram začetne povedi [5], ki jih nadaljujejo s svojo refleksijo. Zapisi so tako bogatejši, učenci pa se naučijo, da lahko svoje mnenje izrazijo na več različnih načinov. Na primer:



Slika 4: Povratna informacija učenca.

- To je bila čudovita učna izkušnja, ker že dolgo nisem tako delal v skupini.
- Užival sem pri učenju, ker smo se učili na drugačen, zanimiv način.
- Moj najljubši del je bil, ko smo sestavljali hidravlično dvigalo.

Zaključek

Predstavljene aktivnosti izvedem v treh zaporednih šolskih urah. Organizacijsko predlagam naslednje možnosti:

- izvedba na naravoslovnem dnevu, kar je najlažje organizirati;
- medpredmetna povezava z matematiko ter tehniko in tehnologijo, kar verjetno pomeni zamenjavo ur na urniku;
- tri zaporedne ure fizike, kar zagotovo pomeni zamenjavo ur na urniku.

Če nimamo teh možnosti, aktivnosti izvedemo ločeno v treh urah, in sicer:

- 1. ura: aktivacija in preverjanje predznanja ter učenje o tlaku v tekočinah;
- 2. ura: načrtovanje hidravlične naprave in njena izdelava;
- 3. ura: izboljšava hidravlične naprave, predstavitve in refleksija.

Učenci so pri delu izredno motivirani, saj se zaradi avtentične situacije, v kateri dobijo svojo vlogo, počutijo pomembne. Zaradi vnaprej zastavljenih ciljev ves čas vedo, do kod morajo priti. Delo v homogenih skupinah in diferenciacija jim omogočata, da delajo v lastnem tempu in dosežejo uspeh v skladu s svojimi sposobnostmi.

Viri

- [1] Aplikacija Plickers <https://www.plickers.com> (24. 3. 2023)
- [2] Beznec, B. (2013). *Moja prva fizika 1*. Ljubljana: Modrijan založba d. o. o.
- [3] <https://encyklopediapoznania.sk/clanok/7521/pascalov-zakon-hydraulicky-lis-silovy-prevod> (24. 3. 2023)
- [4] Padlet <https://padlet.com/>
- [5] Refleksija, pogled nazaj, pogled naprej http://jazon.splet.arnes.si/files/2018/12/Refleksija_Pogled-nazaj-pogled-naprej.pdf (24. 2. 2023)

Preverjanje predznanja

Obkroži črko, da bo trditev pravilna.

Tlak je fizikalna količina, ki nam pove:

- a) v kolikšni meri neko telo pritiska na drugo.
- b) velikost sile na ploskovno enoto.
- c) velikost sile na dolžinsko enoto.
- d) velikost sile na prostorninsko enoto.

Simbol za tlak je:

- a) T .
- b) t .
- c) P .
- d) p .

Izberi enačbo za računanje tlaka.

- a) $p = F \cdot S$
- b) $p = \frac{m}{S}$
- c) $p = \frac{F}{S}$
- d) $p = F + S$

Tlak je samo v trdnih snoveh, v tekočinah ga ni.

- a) DA
- b) NE

Katera od naštetih snovi ni tekočina?

- a) Voda
- b) Zrak
- c) Olje
- d) Vse tri so tekočine.

Ponovitev o tlaku

S pomočjo zvezka in gradiva v učbeniku [1] na straneh 108 do 114 ponovi osnovne pojme o tlaku in zapiši:

- a) simbol za ploščino: _____,
- b) simbol za tlak: _____,
- c) enačbo za računanje tlaka: _____,
- č) osnovno enoto za tlak: _____ = _____.

Odgovori na vprašanja:

- a) Kaj se zgodi s tlakom pod ploskvijo, če silo, ki deluje na ploskev, 2-krat, 3-krat ... povečamo?

- b) Kaj se zgodi s tlakom pod ploskvijo, če ploskev, na katero deluje sila, 2-krat, 3-krat ... povečamo?

Raziskovanje tlaka v tekočinah

Gradivo: Učbenik *Moja prva fizika 1* [2], stran 122 do 124

Navodilo: Preberi razlago v učbeniku na strani 122, dopolni povedi oz. zapiši odgovore.

1. Snovi se v naravi nahajajo v treh agregatnih stanjih:

a) _____. Te snovi imenujemo _____.

b) _____. Te snovi imenujemo _____.

c) _____. Te snovi imenujemo _____.

Kako s skupnim imenom imenujemo snovi, ki se nahajajo v agregatnem stanju b in c?

Zaradi katere lastnosti jih tako imenujemo? _____

Zakaj snovi v agregatnem stanju b poimenujemo s takim imenom?

2. Razišči, kaj se zgodi s tlakom v tekočini, če se tlak v tekočini na enem mestu poveča.

Najprej izvedi preprost poskus:

Na mizo postavi plastenko, polno vode, kot kaže fotografija, in jo na vsakem koncu močno primi. Plastenko močno stisni z levo roko.

Ali pod desno roko občutiš kakšno spremembo? Opiši.



Slika 5: Čutim tlak v tekočini.

Poskus ponovi še z desno roko. Kaj občutiš pod levo roko?

Preberi še razlago v učbeniku [2] na strani 123 in zapiši, kaj se zgodi, če tlak v tekočini na enem mestu povečamo.

3. Razišči, kakšna je smer sile tekočine na steno posode.

Poskus izvedi pri enem od umivalnikov.

V naluknjano vrečko do polovice naliž vodo. Vrečko drži v umivalniku tako, da sta označena kvadrata obrnjena levo in desno od tebe.

Vrečko stisni.

Opazuj jakost vodnih curkov in smer vodnih curkov glede na steno vrečke.

Zapiši svoje ugotovitve.



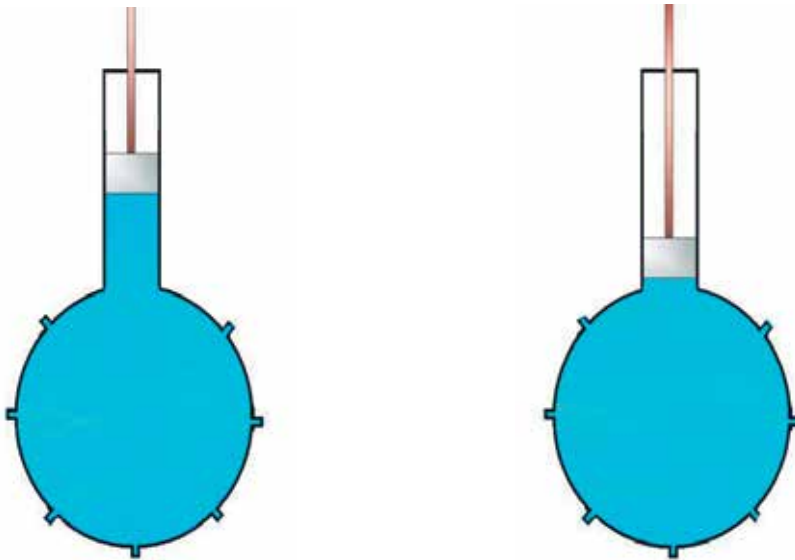
Slika 6: Sila tekočine na stene posode.

Kakšna je velikost sile vode na steno vrečke?

Kakšna je smer sile vode na steno vrečke?

Povečaj tlak vode v vrečki. Kaj se zgodi s silo vode na stene vrečke?

4. Na povezavi url.sio.si/tlak [3] si ogledaj animacijo in *nariši silo* tekočine na steno posode pri dveh legah batov. Uporabi geotrikotnik, upoštevaj ugotovitve iz dejavnosti 3.



5. Na spletu poišči primere hidravličnih naprav in jih nekaj naštej:

6. V učbeniku [1] poišči razlago o delovanju hidravličnega dvigala in dopolni poved:

Če je ploščina večjega bata 2-krat, 3-krat, 4-krat ... večja od ploščine manjšega bata, je sila, s katero večji bat dviga predmet, _____ od sile, s katero delujemo na manjši bat.

Risanje pojavov I: Kako predstaviti pojav s sliko

dr. Mojca Čepič

Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta

Poročanje o opazovanih pojavih je ena od osnovnih naravoslovnih veščin, ki naj bi jih usvojili učenci med šolanjem. Uporabnost risanja ob diskusiji, ločevanja med opisom in razlago, združevanje vsega trojega v koherentno in prepričljivo razlago meji na umetnost. A vendar za risanje, opisovanje in razlago obstajajo določena pravila, in če jih smiselno uporabimo, lahko razprave o različnih pojavih učinkovito predstavimo drugim, bodisi kolegom bodisi učencem.

V tem prispevku se lotimo najprej pravil risanja. Opisovanje in razlago pa pustimo za prihodnjič. Aktivnost učenca ali učitelja bomo imenovali »risanje«, čeprav bi lahko bilo imenovano tudi skiciranje ali včasih tudi slikanje. Aktivnost, imenovana »risanje«, ne zajema fotografiranja, saj je njen namen, da risar ozavešči in načrtno nariše zgolj pomembne značilnosti opazovanega pojava. Vseeno pa mora biti slika dovolj natančna, da opazovalec slike prepozna pojav in dogajanje. Izdelek bomo imenovali »slika« kot nadpomenko za risbo, skico ali shemo, čeprav se s slednjimi v tej kolumni ne bomo intenzivno ukvarjali.

V poučevanju fizike, a tudi v raziskovanju, risanje uporabljamo zelo pogosto, zato se običajno niti ne sprašujemo, ali za risanje obstajajo določena pravila. Ko na tem mestu govorim o risanju, nimam v mislih grafičnih predstavitev rezultatov in odvisnosti, temveč risanje v smislu ponazarjanja izbranih predmetov in njihovih spreminjajočih se lastnosti, ki jih v fiziki običajno imenujemo »pojavi«. Risanje je tudi zelo močan instrument usmerjanja in spodbujanja pozornosti.

Moja kolegica, raziskovalka v fiziki mehke snovi, pravi, da ko se loti članka, najprej pogleda slikovno gradivo, nato izdela grafične predstavitve, a najbolj se posveti risanju struktur, in šele tedaj se ji mnoga vprašanja dokončno razjasnijo. Ker se raziskovalno ukvarja z lastnostmi snovi iz relativno velikih molekul iz sto ali več atomov, pomeni »struktura« način, kako se te molekule zlagajo med seboj v različnih termodinamskih fazah.

S to ilustracijo sem želela povedati, da je risanje strukture, sheme, pojava nekaj, kar prisili oko v opazovanje podrobnosti ter možgane v globlji razmislek o dogajanju, in ga je zato smiselno čim več uporabljati. Poleg tega marsikateri učenec lažje razume s sliko podprto razlago kot zgolj besedni opis, še posebej, če sliko nariše sam. Risanje vključuje več čutil kot le poslušanje ali poslušanje in pisanje, zato je učenje bolj učinkovito.

V fiziki tudi vemo, da je mnogo sestavin pojavov za sliko nevidnih. Kot sestavina pojava imenujem različne lastnosti, ki se spreminjajo ali pa tudi ne. Največkrat so to opazovane neodvisne, odvisne in kontrolne spremenljivke, včasih pa so pomembne tudi katere druge okoliščine, ki jih je treba pojasniti za boljše razumevanje. Za predstavitev nevidnih dogajanj je fizika do podrobnosti razvila slikovne predstavitve s strogimi dogovori, kako rišemo sile, svetlobne curke, širjenje zvoka, različna polja in podobno. Vendar bo v tem prispevku poudarek na vidnih in opazljivih spremembah, seveda pa je mogoče vključevati tudi »nevidne« komponente, če to zahtevajo okoliščine. Torej, razpravljali bomo predvsem o tem, kako rišemo to, kar pri opazovanju poskusa vidimo. To pa pomeni tudi, da mora učitelj ob postavljanju poskusa poskrbeti, da bodo lastnosti, za katere želi, da jih učenci opazijo, dobro vidne.

Splošna pravila za risanje slik

Predmete in pojave rišemo shematično. Izognemo se risanju podrobnosti, ki na pojav ne vplivajo. Risanje shem ima svoje simbolne dogovore, prav tako risanje dogajanj, kjer ni vidnih sprememb in predstavljamo s sliko že opis in razlago dogajanja. Risanje je posebej pomembno na nekaterih naravoslovnih področjih, npr. v botaniki. Narisana slika vsebuje prav vse pomembne značilnosti posamezne vrste, medtem ko fotografija posameznega primerka vseh podrobnosti, ki so pomembne, običajno ne more (dovolj jasno) prikazati.

Razlika med risanjem pojavov in predmetov je velika. Predmeti se med risanjem ne spreminjajo, risar si jih po potrebi lahko večkrat ogleda in na sliki naredi popravke, če so ti potrebni. Pojav pomeni, da se lastnosti »predmeta« spreminjajo s časom in jih je zato težje podrobneje opazovati in predstavljati. Z besedo »predmet« običajno poimenujem nežive in oprijemljive objekte, ki jim je mogoče izmeriti aditivne lastnosti, kot so masa, prostornina itd. Beseda predmet je v nekem smislu nadpomenka tudi za »zmuzljive« predmete, za tekočine in pline, npr. zrak ali voda v kozarcu ali celo rečni vodotok. Besedo »reč« uporabljam še nekoliko širše, kot je predlagal pokojni kolega dr. Janez Ferbar. Beseda reč vključuje predmete, a tudi rastline, živali in ljudi. Tako predmeti kot reči so glavni akterji pri risanju pojavov, pri katerih lahko spremljamo vidne spremembe.

Kot že omenjeno, pri pojavih se pogosto dogajajo tudi nevidne spremembe, ki jih včasih prav tako pogosto poskušamo zajeti s sliko, npr. spreminjanje temperature ali širjenje zvočnega ali elektromagnetnega valovanja skozi prostor. Ker pa risanje spodbuja ozaveščanje dogajanja, spodbujamo risanje pojavov tudi tedaj, ko se slikovna predstavitev sicer ne spreminja, a jo z dodatki v obliki opomb, žarkov, silnic itd. vseeno lahko smiselno vključimo v dogajanje. Vendar se moramo zavedati, da predstavitev nevidnega sodijo bolj v področje opisa ali razlage. Naj ilustriram: če kozarec z vročo vodo postavimo na mizo v prostoru, se na notranji strani orosi. To vidimo in lahko narišemo. Če postavimo v kozarec termometer, lahko na sliki narišemo termometer in vanj vrednosti, ki jih kaže digitalni termometer, ali višino alkoholnega stolpca analognega termometra. To smo lahko videli. Če pa ob strani le zapišemo, da je voda vroča oziroma da ima toliko in toliko stopinj, pa to ni več risanje vidnega, temveč kombinacija informacij, pridobljenih na način, ki na sliki ni viden, npr. v vodo smo potunkali prst ali s termometrom izmerili temperaturo in nato termometer odstranili. Smiselna kombinacija tega, kar vidimo, in tega, kar vemo, je na sliki pogosta in dobrodošla. A pogosto se zgodi, da učenci potem ne ločijo več med tem, kaj so zares videli, in tem, kaj so izvedeli o pojavu na drug način. Zato je priporočljivo, da vsake toliko učenci izvedejo čisto opazovalno risalno vajo, ki se nato nadaljuje v opisovanje in razlago dogajanja.

O dogajanju poročamo običajno z risanjem več slik. Slike morajo biti urejene v časovnem sosledju od leve proti desni, od zgoraj navzdol.

Osnovno pravilo je, da rišemo veliko. Če rečem veliko, to pomeni, da so na sliki dobro razločene pomembne podrobnosti. Kako velika slika dejansko je, je odvisno od predmeta ali pojava,

Risanje vključuje več čutil kot le poslušanje ali poslušanje in pisanje, zato je učenje bolj učinkovito; smiselno ga je čim več uporabljati.

Predmete in pojave rišemo shematično. Izognemo se risanju podrobnosti, ki na pojav ne vplivajo.

Osnovno pravilo je, da rišemo veliko; na sliki morajo biti dobro razločene pomembne podrobnosti.

ki ga rišemo, a A5-format zvezka naj ne bi vseboval več kot dve sliki na širino strani, če je podrobnosti na sliki malo, če jih je več, pa ne več kot dve sliki na stran. V večjih zvezkih je število slik lahko večje, a ponovno ne več kot tri slike v vrsti ali ne več kot tri na stran, če sta v vrsti največ dve sliki.

Za uvajanje v sporočanje s sliko je smiselno, da učitelj manj pomembne podrobnosti vnaprej nariše in učenci oziroma dijaki pomembne podrobnosti samo dorišejo. Na ta način učitelj navaja učence na velikost slik ter njihovo razporejanje na papirju, ki je na voljo. S tem učitelj tudi prepreči ukvarjanje s številnimi podrobnostmi predmetov, ki za dogajanje niso pomembne, npr. barvanje vode, če je ta obarvana za boljšo vidljivost, ali risanje predmetov, ki niso del poskusa. Prav tako učence navadi na shematsko risanje v dveh dimenzijah, saj je večino pojavov mogoče ponazoriti brez prostorskega risanja. Poleg tega je risanje oziroma dorisovanje napovedi izidov poskusov tehnika, ki omogoči učitelju izjemno hitro ugotavljanje predstav, ki jih o določeni temi imajo učenci.

Naslednje pravilo je, da rišemo zgolj tisto, kar vidimo. Tipična napaka pri risanju je na primer valovita vodna gladina. Študentje so se celo razburjali, da obstaja dogovor, da se voda vedno tako riše.

Analizirajmo podrobneje, kako različne podrobnosti, povezane s pojavi, ki jih želimo prikazati na slikah, določajo tudi, koliko slik je smiselno narisati.

Na Pedagoški fakulteti uporabljamo za vpeljavo risanja zelo preprost poskus, katerega postavitev si lahko ogledate na sliki 1. Plastenka, ki ima v večjem delu konstanten presek, ima na spodnjem delu izvrtano manjšo luknjico. Običajno jo naredimo tako, da v plastiko zarinemo razžarjeno debelejšo iglo, naš laborant Goran pa je te luknjice včasih tudi vrtal z vrtalnikom, ker je tako dosegel večjo enakost presekov luknjic. Luknjico zamašimo s trajno elastičnim kitom, v plastenko natočimo vodo skoraj do vrha, plastenko pa zamašimo z navojnim zamaškom. Plastenko postavimo na podstavek, podstavek pa v večjo prestrežno posodo. Za podstavek običajno uporabimo standardno litrsko kocko, dno plastenke je zato 10 cm nad dnom prestrezne posode.

Naloga študentov je, da opazujejo iztekanje vode iz plastenke in pojav predstavijo s sliko. Če poskus dejansko opazujemo, je delitev na različne faze poskusa odvisna od učenca.



Slika 1: Postavitev poskusa. Plastenka stoji na podstavku, da je curek bolje viden in lažje spremljamo, kako se spreminjajo njegove lastnosti.

Rišemo zgolj tisto, kar vidimo.

Postavite se v vlogo učenca, izvedite poskus iztekanja vode iz plastenke in dogajanje predstavite z risanjem.

Naj na tem mestu prekinem razpravo o risanju in bralca povabim v vlogo učenca in ga prosim, da poskus najprej izvede in nato tudi nariše. Kako bo z risanjem predstavil dogajanje, prepuščam njegovi iniciativi. Izkušnja risanja pa je v veliko pomoč ob razpravi, koliko slik uporabiti za predstavitev dogajanja in kaj naj vsebujejo.

V naslednji številki *Fizike v šoli* pa se bomo posvetili pravilom, ki nam pomagajo ob odločitvi, koliko slik narisati za predstavitev pojava s sliko in kako je število slik odvisno od tega, katere podrobnosti pri pojavu želimo prikazati.

IZ ZALOŽBE ZAVODA ZA ŠOLSTVO

Individualizirani program

Izid
avgust 2023



Priročnik za **kvalitetno pripravo in evalvacijo individualiziranega programa** za otroke s posebnimi potrebami temelji na sodobnih teoretičnih in empiričnih raziskavah ter primerih iz prakse

- Celovito in sistematično obravnava **procesnost** in vse **ključne elemente individualiziranega programa**,
- jasno opredeljuje **naloge članov strokovne skupine**,
- predstavi **pomen aktivne vloge staršev in učenca**,
- prikaže načrtovanje **konkretnih, merljivih ciljev** in **prilagoditev** ter sprotne in končne **evalvacijo učinkovitosti**,
- **izpostavi pristop sodelovalnega poučevanja** med učiteljem in izvajalcem DSP z možnimi modeli izvedbe,
- pripomore k **profesionalnemu razvoju pedagoških delavcev** in kakovostnejšemu uresničevanju inkluzivne šole,
- pomembno dopolnjuje skrb za celostno **vklučevanje** otrok in mladostnikov s posebnimi potrebami.

Priročnik bo strokovnim delavcem v podporo, saj podaja pomembne usmeritve in ponazoritve, doprinaša k razvoju inkluzivne šole ter na najpomembnejših področjih omogočila poenotenje strokovnega dela z učenci s posebnimi potrebami.

Priročnik prinaša praktične napotke in zgleds iz prakse, ki vam bodo v pomoč pri načrtovanju in kvalitetnemu delu z učenci s posebnimi potrebami.

Prijazno vas vabimo k oddaji naročila.

cena v prednaročilu 12,80 €
redna cena 18,00 €

**Prednaročila
do 15. julija
2023**

Priročnik lahko v **prednaročilu** naročite po pošti (Zavod RS za šolstvo, Poljanska c. 28, 1000 Ljubljana), elektronski pošti (zalozba@zrss.si) ali na spletni strani www.zrss.si.

Izkušnje mladih učiteljev s pristopom ISLE

Gregor Brumec

II. gimnazija Maribor

Kristina Pahor

Vector International Academy, Ljubljana

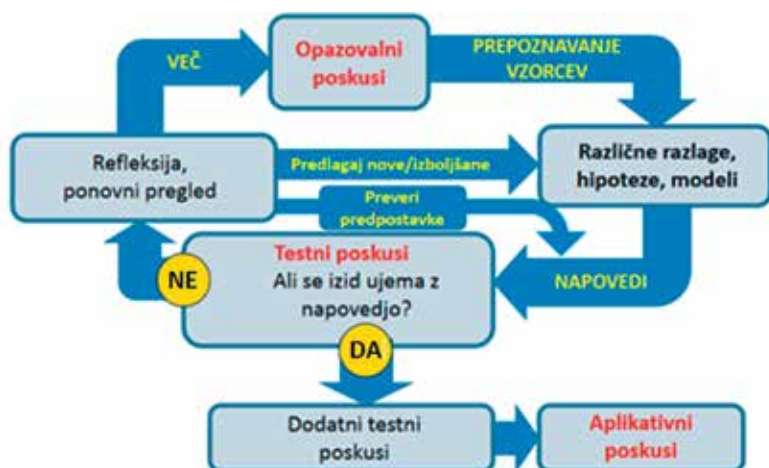
Sva mlada učitelja, ki pri pouku fizike uporabljata pristop ISLE. V prispevku bova predstavila, kaj to pomeni in kakšne so najine praktične izkušnje. Investigative Science Learning Environment (ISLE) ali po slovensko »znanstvenoraziskovalno učno okolje« je uveljavljen učni pristop aktivnega poučevanja fizike. Čeprav je bilo o njem že veliko povedanega, tudi v tej reviji [1], je učiteljev, ki ga uporabljajo, v slovenskih šolah še vedno malo. Zdi se, da učitelji cenijo sveže ideje in predloge kolegov iz prakse, zato sva se odločila deliti svoje izkušnje s poukom ISLE. Predstavila bova tipično uro, kako se pripravljava nanjo, katere pripomočke uporablja, kako rešujeva časovno stisko (»saj bi delal tako, toda ni dovolj časa«), kako ocenjujeva in kakšni so odzivi dijakov.

Preden začneva opisovati osebno izkušnjo, bi rada na kratko opisala pristop ISLE. Osnovna ideja tega pristopa je, da dijaki pri pouku sodelujejo v aktivnostih, v katerih posnemajo načine dela in razmišljanja znanstvenikov pri nastajanju novega znanja. Središče takega učnega okolja so dijaki, ki delajo v majhnih skupinah, idealno po trije ali štirje. Pristop je pred 30 leti začela razvijati Eugenia Etkina in se od takrat nenehno izpopolnjuje. ISLE poleg fizikalni vsebini pripisuje ključno vlogo tudi *procesu*, v katerem nastaja znanje. Ob vprašanju »Kako je« so v ISLE zato pomembna vprašanja tudi »Kako vemo«, »Po čem vemo«, »Iz katerih poskusov to sklepamo« itn. Proces nastajanja znanja lahko razdelimo na značilne elemente, ki so shematsko prikazani na Sliki 1.

Proces se po navadi začne z opazovanjem. Dijaki opazujejo (vnaprej pripravljen) poskus ali pojav, prepoznavajo vzorce in predlagajo različne razlage zanje. Nato predlagajo testne poskuse, s katerimi bi testirali predlagane razlage. Pomembno je, da še preden testne poskuse dejansko izvedejo, napovejo, kakšne izide pričakujejo na podlagi predlaganih razlag. Če se izid testnega poskusa ujema z napovedjo, to še ne pomeni, da je predlagana razlaga pravilna. Tako kot pri znanstvenem raziskovanju so tudi tu potrebni dodatni testni poskusi. Vedno lahko trdimo le, da poskus ni ovrgel hipoteze, ne pa, da jo je dokazal. Če se izid testnega poskusa

ISLE (znanstveno-raziskovalno učno okolje) je uveljavljen učni pristop aktivnega poučevanja fizike.

Vedno lahko trdimo le, da poskus ni ovrgel hipoteze, ne pa, da jo je dokazal.



Etkina and Van Heuvelen, 2001, 2007

Slika 1: Shema procesa ISLE. Prevedeno iz [5].

ne ujema z napovedjo, je mogočih več poti. Predlagane razlage je treba ponovno pregledati, premisliti, ali so bile uporabljene predpostavke upravičene, ali pa ponovno opazovati. Vse nasteto vodi v izboljšanje razlag. Proces se nato ponovi. Ko najdemo razlago, ki prestane številne testne poskuse, jo sprejmemo in novo znanje uporabimo še v aplikativnih poskusih.

V raziskavi [3] so pokazali, da shema procesa ISLE uspešno opisuje glavne korake, ki jih znanstveniki uporabljajo pri reševanju eksperimentalnih problemov. Proces ISLE se tudi dobro ujema s tem, kar danes vemo o delovanju možganov, konkretno o tem, kako se ljudje učimo [4]. To je namreč naravni način usvajanja znanja. Poleg opisanega procesa je pri uporabi pristopa ISLE pri poučevanju treba poudariti še dva pomembna vidika. Prvi vidik je, kot omenjeno zgoraj, delo po skupinah in ustvarjanje skupnosti. Drugi pomembni vidik je, da dijaki pri odkrivanju novih pojmov čim več uporabljajo različne predstavitve – na primer diagrame, grafe in šele nato matematične prikaze.

V nadaljevanju se bova na kratko predstavila in nato po poglavjih poskusila ilustrirati svoje učiteljsko delo. Odločila sva se, da svoje vtise zapiševa v obliki dialoga, v katerem se primerjava in dopolnjujeva.

Predstavitvev in pomen učiteljskega poklica

Kristina: Prihajam iz zamejstva, šolska pot me je vodila skozi tri različne šolske sisteme – italijanskega, nemškega in slovenskega. Nazadnje sem pristala na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani (FMF), kjer sem najprej diplomirala iz splošne fizike, nato pa vpisala pedagoški magisterij. Pred odločitvijo za poklic profesorja fizike sem eno poletje delala na Institutu »Jožef Stefan«, kjer sem kljub pestremu in zanimivemu delu začutila, da me vendarle vleče v delo z ljudmi.

Gregor: Sem magistrski študent pedagoške fizike na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani (FMF), obenem pa zaposlen na II. gimnaziji Maribor kot učitelj fizike. Poklic učitelja me je zanimal že v otroštvu, vendar nisem bil nikoli posebej odločen o tem, da bom to tudi postal. Tako kot Kristina sem tudi jaz diplomiral iz fizike (UN) na FMF. V zadnjem letniku dodiplomskega študija sem med drugim izbral predmet Didaktika fizike 1, ki me je navdušil in predvsem obrnil na glavo moje dotedanje predstave o učenju in poučevanju fizike. Takrat sem vedel, da želim postati učitelj.

Kristina: Poučevanje ni služba, je poklic. Nekaj te vleče nazaj v šolske klopi, tokrat z druge strani. Občutek, da vračaš družbi nekaj, kar si od nje dobil, veselje nad druženjem z mladimi in dinamičnost tega poklica. Učiteljski poklic je poslanstvo. Veliko mi pomeni zavedanje, da lahko, čeprav malenkostno, vplivam na prihodnost in odločitve mladih, kar seveda prinaša veliko odgovornost, zato je ključno, kako poučujemo.

Kaj sva prinesla s FMF

Gregor: Po končani prvi stopnji sem se vpisal na magistrski program Pedagoška fizika na naši fakulteti. Osrednja predmeta tega programa sta Didaktika fizike 2 in 3, ki ju vodi prof. dr. Gorazd Planinšič. Pri teh predmetih smo bili študenti izpostavljeni podobnemu pouku, kot naj bi ga izvajali sami. Pouk je zasnovan na temeljih učnega pristopa ISLE.

Kristina: Ena od iztočnic, ki sem jih prejela na FMF: če veš, kateri način poučevanja je najboljši – najučinkovitejši – je neetično, da bi poučeval na katerikoli drug način. To je bila zaključna misel prvega predavanja profesorja Planinšiča, ki se mi je za vedno vtisnila v spomin.

Najini šoli

Kristina: Poučujem na mednarodni zasebni šoli Vector International Academy v Ljubljani, kjer sem začela leta 2021. Posebnost šole so majhni razredi – do deset dijakov. Šola je enakovredna gimnaziji, imamo pa le en oddelek na letnik, kar pomeni, da sem edini profesor fizike in da je kolektiv majhen. Tudi učni načrt se razlikuje od državnega. V prvih dveh letnikih

Proces ISLE se tudi dobro ujema s tem, kar danes vemo o delovanju možganov, konkretno o tem, kako se ljudje učimo [4]. To je namreč naravni način usvajanja znanja.

Če veš, kateri način poučevanja je najboljši – najučinkovitejši – je neetično, da bi poučeval na katerikoli drug način.

imamo t. i. program IGCSE¹, kjer se predela večina tematik, ki jih vsebuje tudi slovenski učni načrt, vendar na bolj kvalitativen in aplikativen način, v tretjem in četrtem letniku pa poučujemo program mednarodne mature – IB. Ta učni načrt je akademsko zelo zahteven, konceptualno podoben prvima letnikoma fakultete, le da se ne računa z odvodi in integrali. Izvaja se na osnovnem in višjem nivoju, tako da imajo dijaki tri ali pet ur fizike tedensko. Učni načrt za mednarodno matura se spreminja vsakih sedem let, ravno letos se vpeljuje prenovljen učni načrt.

Gregor: II. gimnazija Maribor je javna šola, kjer izvajamo programe splošna gimnazija, športna gimnazija in mednarodna matura, ki jo opisuje Kristina. Za zdaj poučujem le v prvih treh letnikih programa splošne in športne gimnazije.

Tipična ura učitelja ISLE in elementi, ki jih uporablja

Kristina: Pri pripravi na pouk se nenehno odločam o tem, katere vsebine bomo predelali z aktivnim poukom in kje bom zadeve pohitrila z razlago. Menim, da je pri usvajanju novega znanja ključno, da dijaki najprej vidijo opazovalni poskus, da spoznajo novo poglavje na preprost način, pri čemer imajo vsi enakovredne možnosti. Pri predlaganju mogočih razlag za opazovalni poskus namreč ni potrebno predznanje, le opazovanje. Po navadi dijaki težijo k temu, da bi »uganili« pravo razlago, treba pa jih je spodbujati, da naštejejo vse možne razlage, četudi se nekatere zdijo manj verjetne. Pri določenih opazovalnih poskusih je to seveda lažje kot pri drugih.

Poleg učnih ur, kjer odkrivamo novo znanje, se za aktivni pouk odločam, kadar gre za procese, za katere se mi zdi ključno, da jih dijaki sami razumejo – konkreten primer je princip superpozicije pri valovanju. Uporabljam tudi kvize, ki služijo kot formativno preverjanje, kadar se z določenim razredom vidimo prvič v danem tednu. Dobro strukturiran kviz lahko prihrani čas pri pregledovanju domačih nalog. Aktivni pouk izvajamo po skupinah. Dijaki aktivnost najprej predelajo v svoji skupini (največ štirje dijaki), nato pa delo primerjajo še skupine med sabo (Slika 2).



Slika 2: Ena od skupin si ogleduje delo druge skupine.

Pri usvajanju novega znanja je ključno, da dijaki najprej vidijo opazovalni poskus, da spoznajo novo poglavje na preprost način.

Za aktivni pouk se odločam, kadar gre za procese, za katere se mi zdi ključno, da jih dijaki sami razumejo.

¹ Kratica International GCSE označuje mednarodni izpit, ki ga izvaja organizacija Cambridge Assessment International Education. International GCSE (IGCSE) je običajno namenjen dijakom, starih od 14 do 16 let, in je na voljo za več predmetov, vključno z matematiko, znanostmi, jezikoslovjem in humanističnimi predmeti. Izpitni program temelji na britanskem sistemu GCSE (General Certificate of Secondary Education), vendar je prilagojen za mednarodno občinstvo. IGCSE izpitni program se izvaja v številnih državah po svetu in se lahko uporabi kot vstopna točka v mednarodno priznane programe srednjega izobraževanja.



Slika 3: Skupinsko delo ob belih tablah v učilnici s tradicionalno postavitevjo miz.

Gregor: Učne ure in elementi pristopa ISLE, ki jih pri določeni učni uri uporabim, so seveda odvisni od več dejavnikov. Vsem učnim uram je skupno, da dijaki, kadar je le mogoče, delajo po skupinah in na bele table, ki jih imajo na mizah. Ker v fizikalnih učilnicah uči več različnih učiteljev, so mize razvrščene tradicionalno. Dijaki bele table zato pred uro vzamejo sami in jih postavijo na določene mize (največkrat na mize v vsako drugo vrsto), tako da se potem po dva obrneta nazaj in lahko enostavno tvorijo skupino (Slika 3).

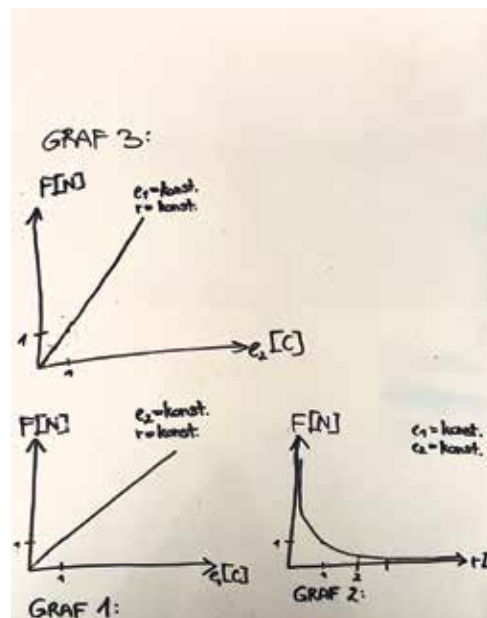
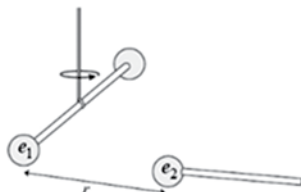
V fizikalni učilnici imamo sedem belih tabel, kar večinoma zadostuje, saj so v eni skupini idealno trije ali štirje dijaki. Skupine z več člani so neučinkovite, saj nekateri nimajo priložnosti za sodelovanje. Aktivnosti, ki jih dijaki izvajajo po skupinah, so tipično dolge od tri do deset minut. Nato delo prekinemo, dijaki končajo skupinsko debato in prisluhnejo drug drugemu ter meni. Med delom hodim po razredu in se pogovarjam z dijaki. Če je možno, najraje prisedem k skupini – kot da sem eden od članov. Aktivnosti oz. naloge, ki jih dijaki v skupinah rešujejo, so zelo različne:

- **Uvodne aktivnosti, kjer morajo dijaki prepoznati vzorec v opažanjih opazovalnega poskusa in na podlagi vzorca sklepati o splošnem pravilu.** Primer: opazovalni poskusi, pri katerih opazimo, da je med trkoma dveh vozičkov sila prvega vozička na drugega ob vseh časih enaka kot sila drugega na prvega (uporabim Vernierjev senzor za silo). Dijaki na podlagi tega opažanja predlagajo tretji Newtonov zakon. Vedno pazim, da damo zakonitosti ime šele potem, ko smo že spoznali njeno vsebino. Zato učne ure skoraj nikoli ne začnemo z zapisom »naslova«, temveč tega povemo šele na koncu ure, ko naredimo pregled.

Ime zakonitosti damo šele potem, ko smo že spoznali njeno vsebino.

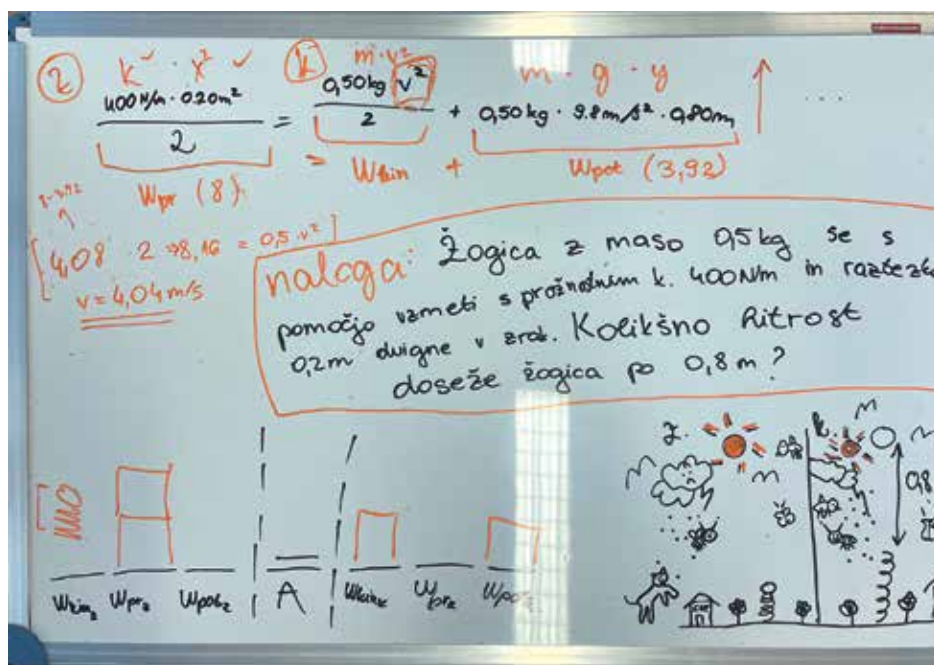
- Podatke predstavite v obliki grafa na beli tabli.
- Kaj so neodvisne spremenljivke in kaj je odvisna spremenljivka v Coulombovem poskusu?
- Analizirajte spreminjanje odvisne spremenljivke, medtem ko spreminjate po eno neodvisno spremenljivko naenkrat. Na ta način poiščite vzorce v podatkih in oblikujte matematično pravilo, ki bo te vzorce opisovalo.

Naboji (e_1, e_2)	Razdalja	Sila
1, 1 (enota)	1 (enota)	1 (enota)
1/2, 1	1	1/2
1/4, 1	1	1/4
1, 1/2	1	1/2
1, 1/4	1	1/4
1/2, 1/2	1	1/4
1/4, 1/4	1	1/16
1, 1	2	1/4
1, 1	3	1/9
1, 1	4	1/16



Sliki 4 in 5: Del navodil za aktivnost na temo Coulombovega poskusa in primer bele table, ki je nastala pri tej aktivnosti.

- **Uvodne aktivnosti, kjer morajo dijaki prepoznati vzorec v danih podatkih.** Dijaki prejmejo delovne liste, na katerih so tabele z meritvami eksperimenta, ki ga opišem ali celo pokažem (včasih samo video). Primer: meritve sile v odvisnosti od razdalje med nabojema in sile v odvisnosti od velikosti naboja. Dijaki prepoznajo sorazmerja in sami predlagajo Coulombov zakon (Slika 4). Podobne aktivnosti sem pripravil tudi za obravnavo drugega Newtonovega zakona, specifične toplote, prevajanja toplote, enačbe stanja idealnega plina ipd.
- **Aktivnosti, kjer se dijaki domislijo testnih poskusov.** Primer: Domislite se poskusa, s katerim lahko ovrmemo tretji Newtonov zakon.
- **Aktivnosti, kjer dijaki rešujejo naloge.** Naloge so bodisi konceptualne bodisi tradicionalne iz učbenika.
- **Aktivnosti, kjer dijaki dobijo podano rešitev neke naloge in se skušajo domisliti svojega besedila naloge, ki bo skladna s prikazano rešitvijo.** Pravimo jim obratne naloge. Primer naloge: »Dijaki so reševali nalogo, pri kateri so zapisali spodnjo enačbo (črna pisava na vrhu Slike 6). Zasnujte nalogo, ki bo skladna z zapisano enačbo.«
- **Še veliko drugih tipov aktivnosti, ki jih najdem v gradivih, ki jih omenjam spodaj.**



Slika 6: Primer rešene obratne naloge. Dijaki so se domislili naloge, ki je skladna s podano enačbo. Proces so poleg besedila ponazorili še s simbolnim zapisom, energijskim stolpčnim diagramom in skico.

Ne delajo pa dijaki ves čas po skupinah. Po uvodnih aktivnostih, ko so dijaki opazili, kar je pri določenih temi ključno, nadenemo pojavu ali enačbi ime in naredimo zapis v zvezek na povsem tradicionalen način. Takrat napišem naslov in spodaj kratek pregled tega, kar smo se naučili. Ta zapis je včasih na koncu ure, včasih na začetku naslednje, različno. Zapis (tako kot tudi aktivnosti) črpam iz učbenika, ki ga omenjam spodaj. Pazim na to, da zapis dejansko napišem z besedami (ne samo enačbe). Manjšega števila ur nimam v fizikalnih učilnicah, zato takrat belih tabel ne moremo uporabljati, skupinsko delo pa je močno oteženo. Dijaki takrat še vedno lahko delajo po skupinah, toda uporabljajo zvezek in o svojih idejah ne morejo elegantno poročati ostalim. Nekaj časa sem to reševal tako, da sem prinesel liste formata A3 in navadne flomastre, a sem to pozneje opustil.

Priprava na pouk in gradiva, ki jih uporabljava

Gregor: Pri delu se zanašam skoraj izključno na preverjene aktivnosti, ki so objavljene v gradivih ISLE. Nekatere aktivnosti črpam neposredno iz gradiv za predmet Didaktika fizike, ki pa so zelo sorodna vsem objavljenim aktivnostim. Učitelj za pristop ISLE potrebuje naslednja gradiva, ki so jih napisali avtorji pristopa:

Zapis o tem, kar smo se naučili, napišemo z besedami in ne samo z enačbo.

– **College Physics: Explore and Apply**, druga izdaja. To je glavno gradivo. Moja priprava poteka tako, da vsebine in zaporedje iz tega učbenika uskladim z učnim načrtom ter učbenikom, ki ga uporabljamo na Drugi. V tem učbeniku so tudi izpostavljene rubrike (»okvirčki«), na podlagi katerih pripravim prej omenjene pregledne zapise za dijake.

– **Active Learning Guide (ALG) for College Physics: Explore and Apply**, druga izdaja. To je nabor aktivnosti, ki jih morajo opraviti dijaki. Največ aktivnosti črpam od tukaj. Posamezne aktivnosti prevedem in pripravim delovne liste.

– **On-line Active Learning Guide (OALG)**. Gradiva so nastajala leta 2020 kot odziv na kovidno krizo. Izbrani slovenski prevodi so objavljeni po poglavjih na spletni strani »Stalno strokovno spopolnjevanje«. Gradiva so uporabna, ko nimam opreme za kakšen eksperiment, saj je v njih veliko posnetih poskusov in lahko delamo s posnetki.

– **Instructor's Guide for College Physics: Explore and Apply**, druga izdaja. To za zdaj še premalo uporabljam. Tukaj so zbrani nasveti in navodila za učitelja, na kaj naj bo pri obravnavi pozoren.

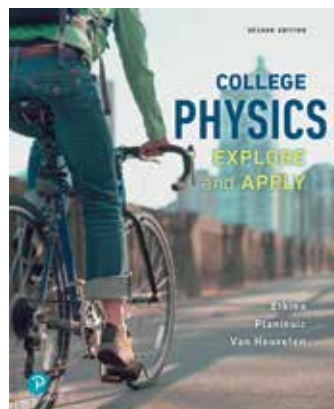
Vsa gradiva je mogoče dobiti v elektronski različici. Prednost teh štirih gradiv je, da so med seboj usklajena. Poglavje 4.3 v knjigi sovпада s poglavjem 4.3 v vseh ostalih gradivih. Pri vsaki temi najprej pogledam knjigo in nato izberem stvari, ki jih je treba obdelati, da pokrijem vse iz učnega načrta. Za pripravo posamezne učne ure pogosto pripravim delovni list. Prevedem in prilagodim aktivnosti iz gradiv in dodam kaj svojega. Delovne liste dosledno številčim, da se dijaki z njimi znajdejo. Našteta in še mnoga druga gradiva ISLE je mogoče dobiti tudi med datotekami v Facebook skupini »Exploring and Applying Physics«. Skupini se lahko pridruži vsak, ki ga to zanima.

Kristina: Osebnost me je kot učiteljico začetnico najbolj zaposlilo spoznavanje novih učnih načrtov, saj se kar precej razlikujejo od slovenskih. Med spoznavanjem vsebine sem ves čas razmišljala, kako uporabiti pristop ISLE. Učni jezik na naši šoli je angleščina, kar je z vidika gradiv ISLE velika olajšava. Tudi zame je najpriročajše gradivo *Active Learning Guide (ALG)*.

Ko se pripravljam na uro, podobno kot Gregor najprej premislim o vsebini in cilju, nato posežem po ALG-ju in ugotavljam, katere vsebine lahko dijaki sami usvojijo s pomočjo aktivnosti od tam. Včasih kakšno aktivnost priredim – skržim ali razširim. Ključno vprašanje, ki si ga postavljam med pripravo na uro, je, kaj bodo v danem trenutku počeli *dijaki*? (Za razliko od vprašanja, kaj bom v danem trenutku počela sama.)

Pripomočki, ki jih uporablja pri delu

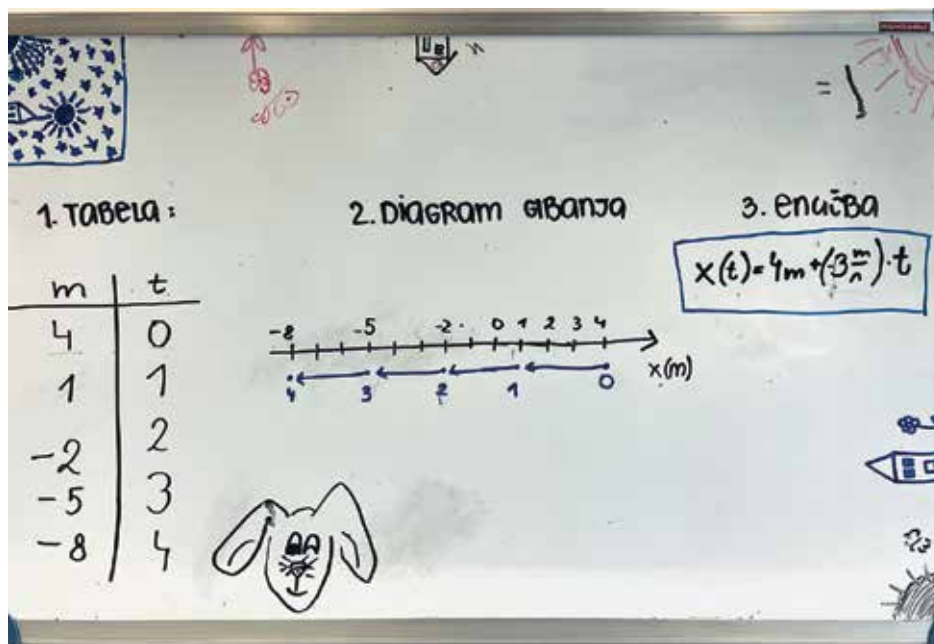
Gregor: Najpomembnejši pripomoček so flomastri in bele table, ki jih je šola imela, še preden sem septembra 2022 začel poučevati, za kar je po vsej verjetnosti odgovoren ravnatelj in profesor fizike dr. Marko Jagodič. Na Sliki 8 je primer bele table, na kateri so dijaki ponazorili isti proces (premo enakomerno gibanje) s tremi različnimi reprezentacijami: s tabelo, diagramom gibanja in enačbo. Na Sliki 9 je vidno, kako včasih po aktivnostih razporedimo table na robu učilnice. Table damo v »izložbo« in dijaki si ogledajo delo drug drugega ter primerjajo ugotovitve. Ob tablah se skupaj pogovorimo o ugotovitvah. Kot sem že omenil, je aktivni pouk delno otežen pri štirih učnih urah na teden, ko pouk ne poteka v fizikalni učilnici. Takrat se pogosto zatečem k uporabi posnetih eksperimentov, skupinsko delo pa izvajamo ob delovnih listih oz. brez belih tabel. Večino eksperimentalne opreme, ki jo potrebujem, sem našel na šoli. Nekaj stvari prinesem tudi sam, na primer puščice iz kartona, fen in žogo ter kroglo, ki je zelo uporaben pripomoček. Letos nisem posebej zahteven glede opreme in se nekako poskušam po najboljših zmožnostih znajti sam, za prihodnje leto pa moram razmisliti, katero opremo bi lahko šola dodatno naročila.



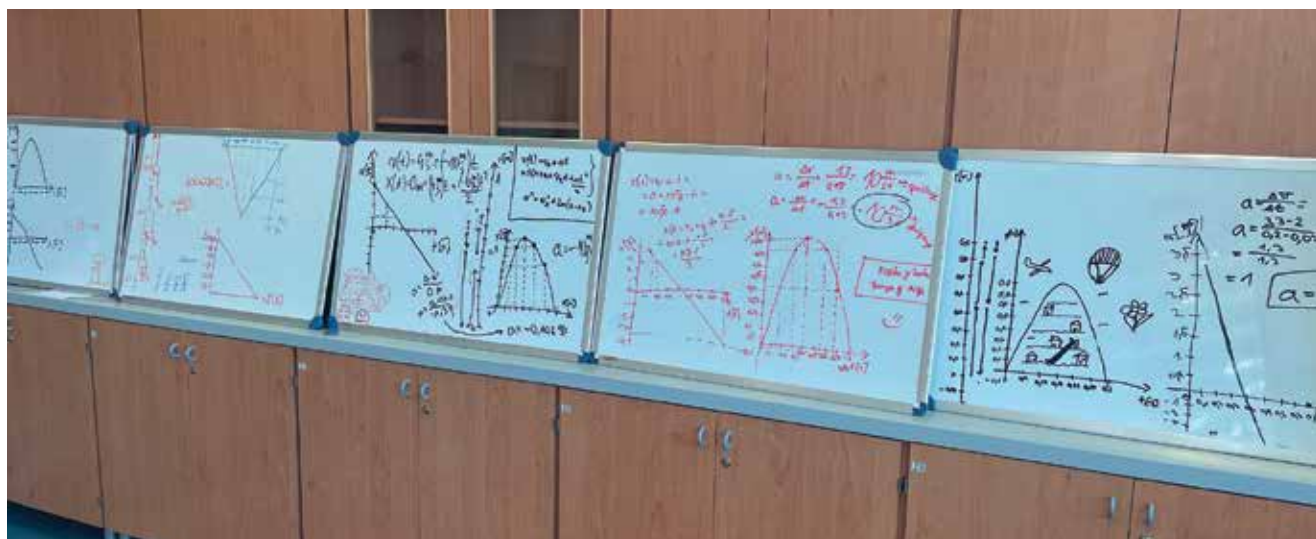
Slika 7: Naslovnica učbenika.

Našteta in še mnoga druga gradiva ISLE je mogoče dobiti tudi med datotekami v Facebook skupini »Exploring and Applying Physics«.

Ključno vprašanje, ki si ga postavljam med pripravo na uro, je, kaj bodo v danem trenutku počeli dijaki?



Slika 8: Primer bele table.



Slika 9: Postavitev za skupinsko diskusijo.

Kristina: Pri delu uporabljam eksperimentalno opremo, kakršno najdemo v vsaki šoli. Ker sem začela poučevati, ko je naša šola šele nastajala, sem bila primorana sama naročiti opremo za fizikalno učilnico, kar je za učitelja začetnika vse prej kot lahko. Zelo veliko uporabljam vsakdanje predmete, na primer žogo za kegljanje (bowling) ali biljard. Uporabljamo tudi bele table, vendar je šola priskrbela le tiste manjšega formata.

Časovni vidik, usklajevanje z učbenikom in drugi izzivi

Kristina: Če je pouk zasnovan tako, da so dijaki glavni igralci, ki z učnimi aktivnostmi usvajajo novo znanje, je ključnega pomena, da so motivirani za lastno angažiranost. Opažam, da jih najlažje pripravim do dela tako, da jim predstavim aktivnost ter omenim, zakaj to delamo – po navadi zato, da bodo odkrili novo znanje, izpeljali določeno enačbo ali pa krepili določeno znanstveno sposobnost. Kljub temu se zgodi, da izvedba določene aktivnosti traja dlje, kot je bilo mišljeno v pripravi na uro. Ključno je, da je učitelj nenehno aktiven in spremlja delo skupin. Če nam primanjkuje časa, po navadi počakam, da je vsaj ena skupina prišla do končnih ugotovitev. Ta skupina nato izsledke predstavi še preostalim sošolcem. Pri tem je

Ključno je, da je učitelj nenehno aktiven in spremlja delo skupin.

nujno, da kasneje s kakšnim formativnim vprašanjem preverim, ali so tudi drugi usvojili vsa potrebna znanja/ideje. Drug pomemben vidik časovne komponente aktivnega pouka je, da jim za vsako aktivnost vnaprej povem, koliko minut imajo na voljo, in da sem nato dosledna pri odmerjanju časa.

ALG je izredno bogato gradivo in šolskih ur še zdaleč ni dovolj za vso njegovo vsebino. Žal šolskih ur prav tako ni dovolj, da bi vse znanje dijaki usvojili sami. Ali pa je narava poglavja taka, da je težko izvesti opazovalne in testne poskuse – na primer pri poučevanju astrofizike. Zato pristop ISLE kombiniram s frontalnim poučevanjem, kjer poskušam celoten razred z vprašanji pripeljati do končnih spoznanj, pri čemer se trudim vedno osredotočiti se na dijake, ne nase kot učitelja.

Gregor: Dejstvo je, da se skozi snov prebijam počasneje kot moji izkušenejši sodelavci. Sredi februarja se je sodelavec začudil, da smo še vedno pri Kirchhoffovih zakonih, saj je sam name-raval kmalu začeti z magnetno z indukcijo (leto sva začela enako). Načeloma se ne vznemir-jam preveč, saj smo marsikje porabili veliko časa tudi za izbirne vsebine. Menim, da obvezne vsebine v učnem načrtu niso preobsežne, in načrtujem, da bom do konca leta obdelal podobne vsebinske sklope kot nekateri sodelavci, le da bom izpustil več izbirnih vsebin. V zaostanku smo tudi zaradi moje neizkušenosti in dejstva, da v letnem načrtu nisem znal pravilno oceniti porabe časa. Opažam, da bi lahko včasih zadeve pohitril, pa jih zaradi lastne nepripravljenosti ali tempa ne zmorem. Dijaki, ki imajo fiziko na maturi, snov v četrtem letniku ponovijo in razširijo.

Usklajevanje z učnikom sem že omenjal. Na šoli uporabljamo prenovljene Kladnikove uč-benike. Trudim se, da približno sledimo poglavjem v učbeniku in predvsem da dijaki rešujejo tudi naloge iz učbenika. Učbenik je zunanji vir znanja, ki mu za dani predmet dijaki najbolj zaupajo, zato se trudim, da ga tudi uporabljamo in da to, kar se učimo, povežemo z vsebinami v učbeniku. Trudim se tudi uporabljati vsaj delno konsistentne oznake, vsekakor pa se s tem ne obremenjujem preveč.

Poleg časovnih je še veliko drugih izzivov. Nekateri izzivi so praktične narave, drugi bolj oseb-ni. Omenjal sem že izzive, povezane z opremo in učilnicami. Najzahtevnejše zame je, da delo poteka iz tedna v teden zelo hitro, in pogosto ni zares veliko časa, ki bi ga lahko posvetil podrobnemu načrtovanju ur in razmisleku, kot bi si seveda želel. Nekatere pomembne ele-mente pouka večkrat izpustim, na primer motivacijo, testne poskuse, aplikativne poskuse in refleksijo. V »najhujšem« primeru se zgodi, da se pouk zreducira na opazovalne poskuse, kjer dijaki prepoznajo določene vzorce, ki jih potem povzamemo oz. zapišemo, nato pa se lotimo reševanja nalog oz. vaj. Včasih se zgodi, da kakšne aktivnosti ne premislim dovolj. Velik izziv je, da mi veliko pomeni odobravanje dijakov, zato je zame precej stresno, ko dijaki s čim niso povsem zadovoljni. To je povezano s tem, da aktivni pouk ni vedno najhvaležnejši, saj se pogosto zgodi, da se dijaki med uro znajdejo v situaciji, ko so soočeni z zahtevnimi izzivi ali pa celo z izzivi, kjer ne vedo točno, kaj se od njih pričakuje. V takih trenutkih bi bilo najlažje opustiti aktivni pouk in se posvetiti skrbno pripravljeni razlagi, kar bi verjetno celo mnogi di-jaki dojemali kot »boljši« pouk. Obenem vem, da bo aktivna udeležba dijakov gotovo povečala učenje med uro, čeprav se med učno uro morda ne bo zdelo tako.

Obenem vem, da bo aktivna udeležba dijakov gotovo povečala učenje med uro, čeprav se med učno uro morda ne bo zdelo tako.

Ocenjevanje

Kristina: Pomembna razlika v primerjavi s tradicionalnim načinom poučevanja je tudi v sis-temu ocenjevanja. Na FMF smo pri Didaktiki fizike spoznali pomen tega, da imajo dijaki možnost izboljšave svojih izdelkov. Tak način dela zahteva od učitelja veliko truda, vendar menim, da je smiseln. Poteka tako, da pri pisnih ocenjevanjih dijakom sporočim le pridoblje-no število točk ter jim posredujem elektronsko kopijo testa, ki so ga oddali. Nato imajo na voljo približno tri dni, da me prepričajo, ali znajo za več. To lahko storijo z oddajo temeljite poprave, v kateri morajo odgovoriti na spodnja vprašanja (za vsako nepravilno rešeno nalogo):

1. Kaj sem naredil/-a narobe?
2. Kako je pravilno?
3. Zakaj je prišlo do napake?
4. Kako sem prišel/-a do pravega odgovora?

Pri sistemu ocenjevanja je pomembno, da imajo dijaki možnost izboljšave svojih izdelkov.

Pri tem je ključno, da sami poiščejo svoje napake. Po dosedanjih izkušnjah se je izkazalo, da je to izjemno poučen proces tako zanje kot zame. Refleksija o tem, zakaj so storili napako, mi nudi vpogled v njihov način razmišljanja, kar je ogledalo (ne)uspeha pouka v razredu – primer refleksije je na Sliki 10.

Kaj sem naredil/-a narobe?	Zakaj sem naredil/-a napako v prvem razmisleku? Kaj me je vodilo do napačnega razmisleka?	Kako sem pridobil/-a novo znanje, na podlagi katerega sem naredil/-a popravek?	Kaj sem se naučil/-a? Kako lahko naslednjič ravnam oz. se učim drugače?
Predpostavil/-a sem, da ker je snov plin in so delci med seboj bolj oddaljeni in se gibljejo hitreje, da bo povprečna kinetična energija plina večja kot pri trdnih molekulah.	Imel/-a sem napačno predstavo o povprečni kinetični energiji trdnih snovi in se nisem osredotočil/-a na pravi del vprašanja.	Pregledal/-a sem svoje zapiske in govoril/-a z učiteljem med potekom pouka.	

Slika 10: Primer dijakove refleksije v popravi naloge iz testa. Naloga in njena rešitev nista priloženi.

Osebnostno sem se za ta način ocenjevanja odločila le pri starejših dijakih, torej v 3. in 4. letniku, saj se je v razredu izkazalo, da se morajo mlajši dijaki še naučiti reflektiranja o lastnem učenju. Ostaja seveda dvom o tem, ali lahko trdim, da dijak po popravi zares zna, česar v testu ni pokazal. V majhnih razrednih skupnostih je to lažje, saj lahko s pomočjo dijaških poprav pri pouku posameznika vprašam o nečem, kjer dvomim o njegovem znanju, ne vem pa, kako naj se s tem soočim v večjih razrednih skupnostih. Po natančnem pregledu poprav določim končno število točk, ki ga nato upoštevam tudi v redovalnici.

Gregor: Sam (za zdaj) ne ocenjujem na način, ki ga opisuje Kristina, za kar je več razlogov. Glavni je, da bi bilo pri količini dijakov, ki jih učim, to časovno zelo zahtevno. Učim devet razredov in v vsakem je približno 30 dijakov, kar v seštevku pomeni slabih 270 dijakov. Poleg tega na šoli pri ocenjevanju upoštevamo določena skupna izhodišča. Menim, da je trenutno zame najprimernejše, da se pri ocenjevanju držim ustaljenega načina dela. Ko bom premislil, v kakšni obliki in v kakšni meri bi lahko spodbujal ponovno oddajo izdelkov, bom naredil korak naprej tudi v tej smeri. Ne glede na to se ISLE zrcali v tipih nalog, ki jih na pisnem ocenjevanju rešujejo dijaki. V vseh letnikih sem na primer v preizkus vključil tudi obratno nalogo, kjer je podano reševanje naloge (enačba, graf ...), dijaki pa morajo napisati konsistentno besedilo naloge (Slika 11). Tudi to je z vidika ocenjevalca časovno potratno, še posebej, ko se v besedilih, ki jih tvorijo dijaki, pojavljajo neskladja med različnimi reprezentacijami. Vključim tudi naloge, kjer morajo dijaki izkazati, da znajo prehajati med različnimi reprezentacijami istega pojava (graf, diagram, tabela, skica, besedni opis itn.)

Naloga 3. Dijaki so reševali nalogo iz energij. Med reševanjem so zapisali spodnjo enačbo.

$$(1/2) (70 \text{ kg}) (5,0 \text{ m/s})^2 + F (6,0 \text{ m}) \cos(180^\circ) = 0$$

a) Nariši energijski stolpčni diagram za proces, ki bo skladen z zapisano enačbo. (2t)
 b) Nariši skico začetnega in končnega stanja za izmišljen proces, ki bo skladen z enačbo. Dobro definiraj sistem. Na skici nariši tudi vse zunanje sile na sistem. (2t)
 c) Zapiši navodilo naloge, ki bi jo lahko reševali dijaki, tako da bo besedilo skladno z zgornjo enačbo. V besedilu uporabi količine iz enačbe in natančno definiraj sistem. (2t)

(6 točk)

Slika 11: Primer obratne naloge iz pisnega ocenjevanja znanja.

Odziv dijakov in sodelavcev na ISLE

Gregor: V anketi, ki sem jo pred kratkim poslal dijakom, sem med drugim postavil vprašanje, ali imajo raje tradicionalni pouk (učitelj razlaga pred tablo) ali aktivni pouk (pouk po skupinah z belimi tablam). Presenetilo in razveselilo me je, da je kar 82 % vprašanih bolj naklonjenih aktivnemu pouku (anketa je bila objavljena po prvem pisnem preizkusu znanja). Učenje v skupini je za dijake lahko tudi stresno, saj jih nenehno sili, da stopajo iz območja udobja. Dijaki so na tradicionalni pouk močno navezani, zato delno razumem, da bi nekateri (sicer manjšina) raje sedeli v tišini in poslušali ter zapisovali mojo razlago. Kot je omenila Kristina, vemo, da takšen pouk ni etičen ob zavedanju, kako neučinkovit je.

Sodelavci me pri delu spodbujajo. Pogosto potrebujem pomoč pri iskanju ali pripravi eksperimentalne opreme, za kar so vedno na voljo. Prav tako mi pomagajo pri pripravi pisnih preizkusov znanja. O pouku se v kabinetu pogovarjamo, hkrati pa si idej ne vsiljujemo, kar se mi zdi zelo pomembno in za kar sem tudi zelo hvaležen. Srečo imam/-o, da je podpornik aktivnega pouka tudi ravnatelj. Odzivi dijakov so, sodeč po anketi, v splošnem pozitivni, kar lahko ilustriram z nekaj njihovimi izjavami:

»Od samostojnega reševanja na belo tablo odnesem več kot samo od poslušanja profesorjev in predavanj pred tablo.«

»Boljše je, ker sami iščemo ideje in se aktivno brez zadržkov in strahu pogovarjamo o temi.«

»Tako delo [po skupinah] je dobro, saj moraš razmisliti in nimaš rešitve 'na pladnju'. Pomankljivost je, da ne veš vedno, kaj točno delaš, ampak na koncu skupaj predebatiramo, tako da ni dilem.«

»Zelo mi je všeč, saj me prisili, da že sproti razumem snov in ne puščam vsega učenja za en teden pred testom.«

»Všeč mi je, saj smo postavljeni pred izziv. Pouku je lažje slediti, saj se vse nejasnosti razrešijo takoj, ker lahko vprašanja postavimo med reševanjem in brez izpostavljanja pred celim razredom.«

»Bela tabla je boljša od običajnega pouka, ker si hitreje zapomnim, če neko stvar naredim sama, kot pa da nekdo samo razlaga.«

Velika večina dijakov je bolj naklonjena aktivnemu kot tradicionalnemu pouku.

Aktivni pouk je boljši, saj si hitreje zapomnim, če neko stvar naredim sama, kot pa da zgolj sledim razlagi.

V enem od vprašanj iz ankete so dijaki zapisali nekaj specifičnega, kar so se naučili pri fiziki:

»Vata se ob hitrem povečanju tlaka vžge.«

»Naučil sem se, kako pomembno je določiti sistem in kaj vse se spremeni, če ga določimo drugače. Naučil sem se risati diagram energije [energijski stolpčni diagram]. Ko izpeljujemo enačbe, se naučim povezati snov s kakšno drugo snovjo.«

»Naučila/izboljšala sem skupinsko delo oz. sposobnost delovanja v skupini, ki sem mu bila zaradi uporabe belih tabel bolj izpostavljena.«

»Če podrgneš stekleno palico s svilo, se bo palica naelektrila pozitivno.«

Kristina: Vodstvo šole in sodelavci so metodo ISLE zelo pozitivno sprejeli. Priredili smo tudi delavnico, kjer so se lahko poglobljeje seznanili s tem učnim pristopom ter ga aplicirali še na druge šolske predmete (poleg fizike).

Dijaške odzive sem zbrala s krajšo anonimno anketo. Vprašala sem jih, ali imajo raje delo po skupinah (torej aktivnosti) ali dele ure, ki vključujejo mojo razlago, ter kaj so si pri letošnjem pouku fizike najbolj zapomnili.

Rada bi delila nekaj dijaških izjav o delu v skupinah:

»Všeč mi je delo v skupini, saj se lahko učimo drug od drugega.«

»Raje imam aktivnosti v skupinah, saj menim, da nas spodbujajo k razmišljanju in medsebojni pomoči. Poleg tega so koristne, ker lahko vidimo različne poglede na določene teme.«

Anketa je bila zame izjemno poučna, kar ponovno poudari pomen enega pomembnejših vidikov pristopa ISLE, za refleksijo katerega žal velikokrat na koncu ure zmanjka časa. Pomembno je, da so dijaki sposobni razmišljati o lastnem učnem procesu, je pa refleksija nekaj, kar se dijaki naučijo delati po dovolj ponovitvah.

Sklepne misli

Kristina: Tukaj bi seveda lahko razglabljali o prednostih poučevanja po pristopu ISLE. Če strnem, bi lahko rekla, da je bistvo pristopa to, da spremljamo nastajanje znanja pri dijakih. Pri aktivnostih hitro pridejo na dan nepopolne ideje, ki jih sproti dopolnimo. Glavni nasvet za učitelje, ki bi želeli delati podobno, je: bodite dosledni. Ko vpelješ nek nov sistem, ki ga dijaki niso vajeni, je potrebnega nekaj časa in kar precej vztrajnosti, da ga dijaki ponotranjijo, vendar je na koncu vredno.

Ne predstavljam si poučevanja brez poznavanja pristopa ISLE. Hvaležna sem, da sem na fakulteti spoznala ta način poučevanja in da lahko posegam po tako kakovostnih gradivih. Sodeč po odzivih mojih dijakov, jim ISLE zelo ustreza. Med drugim menim, da je aktivni pouk edini način, da današnji dijaki ohranijo osredotočenost, saj so vajeni tega, da se jim nenehno nekaj dogaja. Pri urah, ko se zatečem k tradicionalni razlagi snovi, pogosto opazim, da dijaki težje sledijo, zato si bom v prihodnosti prizadevala aktivno poučevati tudi tematike, kjer je izvajanje poskusov oteženo (npr. astronomija).

Gregor: Rad bi poudaril, kako hvaležen sem, da sem spoznal ISLE. Niti pomisliti si ne upam, koliko težje bi mi bilo brez tega znanja, še posebej kot mlademu učitelju. Dejstvo, da je ISLE akademsko uveljavljen pristop, mi daje samozavest že samo po sebi, odzivi dijakov na ISLE pa so to samozavest še okrepili. Če odmislim bele table in aktivni pouk, so dodana vrednost že skrbna izbira uvodnih poskusov, načini vpeljave pojmov in ideje za naloge. Toplo vabim učitelje, da se razgledajo po gradivih in tudi sami ugotovijo, kako lahko obravnavo določene snovi spremenijo, osvežijo ali izboljšajo.

Pomembno je, da so dijaki sposobni razmišljati o lastnem učnem procesu.

Aktivni pouk je edini način, da današnji dijaki ohranijo osredotočenost.

Dodana vrednost so že skrbna izbira uvodnih poskusov, načini vpeljave pojmov in ideje za naloge.

Viri in literatura

- [1] Planinšič, G. (2019). Aktivni pouk: zakaj in kako. *Fizika v šoli*, 24(2), str. 13–18.
- [2] Etkina, E. in Van Heuleven, A. (2007). Investigative Science Learning Environment – A Science Process Approach to Learning Physics. Graduate School of Education, Rutgers University, New Brunswick, NJ, 08901, str. 4–8.
- [3] Poklinek Čančula, M., Planinšič, G. in Etkina, E. (2015). Analyzing patterns in experts' approaches to solving experimental problems, *American journal of physics: a publication of American association of physics teachers*, 83(4), str. 366–374.
- [4] Zull, J. E. (2002). *The art of changing the brain*. Stylus publishing.
- [5] Etkina, E., D. T. Brookes, D. T. in Planinšič, G. (2019). Investigative Science Learning Environment, When learning physics mirrors doing physics, IOP Publishing, ZDA.
- [6] Etkina, E., Planinšič, G., Van Heuvelen, A. (2018). *College physics: explore and apply*, 2nd ed. New York: Pearson.
- [7] Etkina, E., Brookes, D., Planinsic, G., Van Heuvelen, A. (2019). *College physics, Active Learning Guide*. San Francisco, CA: Pearson Education, Inc.

Kaj je POLJE

Razmišljanje ob članku *Higgsov bozon in škatle skrivnosti: Kako deluje znanost?* iz revije *Fizika v šoli*, 2022/1, str. 29.

Peter Prelog

upokojeni učitelj fizike

Prebral sem prijazno sporočilo avtorjev, treh slovenskih fizikov, da je za razumevanje moderne fizike pojem POLJE ključnega pomena. Tako naj veljajo za bodoči fizikalni pouk nekakšne apriorne resnice, aksiomi, »božje zapovedi«:

FOTON JE VZBUJENO STANJE ELEKTROMAGNETNEGA POLJA;

ELEKTRON JE VZBUJENO STANJE ELEKTRONSKEGA POLJA;

HIGGSOV BOZON JE VZBUJENO STANJE HIGGSOVEGA POLJA ... itd.

Strokovna pojasnila o Higgsovem bozonu so za učitelje zelo dobrodošla (in smo lahko strokovnjakom hvaležni zanje!), morda bi to učitelji potrebovali pri pouku (če sploh v šoli povedo kaj o tem bozonu!) Toda – ali si s tem člankom učitelj lahko kaj pomaga tudi pri osnovnem fizikalnem pouku? Seveda ne zanikam fizikalnih resnic, ampak bi rad dobil predvsem pojasnila v zvezi s pojmom POLJE, ki pa se mu tudi pri osnovnih razlagah ne moremo izogniti.

Brez polj bi torej na tem svetu ne bilo ničesar, to je za fizikalni pouk pomembna trditev. Po mnenju avtorjev članka pa bi tega učenci ne mogli razumeti, ker nimajo pravega razumevanja principov NARAVE ZNANOSTI zaradi sedanjih učnih načrtov, ki te principe v pouk vsiljujejo le IMPLICITNO (toda glej zgoraj!), ne pa EKSPPLICITNO (po virih na 36. strani *FvŠ* je to mnenje *Amerikancev* o pouku fizike v *amerikanskih* šolah – le kaj naj bi oni vedeli o učnih načrtih in o razumevanju učencev – pri nas?!!) Ali pa je to mnenje avtorjev o pouku, ki so ga bili oni deležni na naših šolah?

Pa prav na pojem POLJE so se obesili, ki je v našem pouku vedno bil nekaj zelo nedoločenega. Če se prav spomnim, sem POLJE pri pouku vpeljal kot nekakšno definicijo, ki je zato ni bilo treba posebej razlagati (npr.: »če delujejo nekje v *prostoru* okoli naelektrenih teles električne sile, *bomo rekli*, da je tam električno polje«, ki ga opredeljuje fizikalna količina »jakost električnega polja«, $E = \dots$ PAZI: najprej je naboj, potem električne sile, polje!) Vabim avtorje, naj najprej prikažejo boljše, »edino pravo« (seveda EKSPPLICITNO) razlago POLJA (brez naboja?), potem šele naboj itd. – toda na srednješolskem nivoju (osnovno šolo in vrtec, ki ga omenjajo avtorji, pustimo zaenkrat pri miru)! Prelistal sem kar nekaj takih in drugačnih učbenikov, pa nisem našel primernejše definicije polja, povsod se temu izognejo (tudi na fakultetah!) V članku v *FvŠ* pa beremo:

»Polja si lahko predstavljamo kot vodo, ki zaseda VSO PROSTORNINO MORJA. Če gladino morja vzbudimo s kamenčkom, lahko NAD GLADINO opazimo pljusk vode. Ta pljusk si lahko predstavljamo kot delce. Higgsov bozon je tako kot nekakšen pljusk, ki nastane, ko vzbudimo Higgsovo polje. – Higgsovo polje zapolnjuje VSE KOTIČKE VESOLJA.«

Razlagalne primerjave je vedno treba sprejemati z nekaj rezerve – toda prejšnji odstavek potisne pljuske, BOZONE, NAD GLADINO Higgsovega polja: kje pa je to? Vemo, kje je gladina globokega morja, toda kje ima gladino vesolje? Morda pa omejitev na gladino ni dobra, saj mi živimo »v morju«, v notranjosti vesolja, kjer se tu pa tam najde tudi kak naboj, elektron, Higgsov bozon! In od kod je priletel ta »kamenček«? Ali je to nek delec? Kateri delec? (natančneje, bolj »znanstveno«: »pljusk« katerega polja je ta vzbujevalni delec, najprej so bila vendar samo polja!?)

Ob misli, da se vendar posledice takih pojavov (trenutno?, s hitrostjo c ?) širijo POVSOD PO PROSTORU v neskončnost, je polje (so polja!) povsod tam (razen izjem?), kjer je prostor? Torej je ves prostor vesolja že napolnjen s polji? (Izjema npr.: votla kovinska krogla, ki plava

v električnem polju, v notranjosti nima polja – je pa tam prostor, torej ta pojma tam le nista enakovredna!)

Se pa POLJE po svoji nedoločeni imenitno ujema s starim »ETROM« ...! Že »izumitelj« polja Faraday je definiral: POLJE v okolici naelektrenega telesa je PROSTOR s spremenjenimi lastnostmi. To sem našel v Strnadovih *Zgodbah iz fizike* (str. 154), tam je tudi razlaga razmikanja plošč naelektrenega kondenzatorja; pri tem lahko POLJU pripišemo energijo, ki je ni dobilo od naboja kondenzatorja (lahko pa pripišemo to energijo tudi PROSTORU, saj ima »lastnosti«?)

Torej – kaj je bilo v tem kondenzatorskem primeru prvotno: delci z nabojem ali polje? Članek trdi, da brez polja ni delcev! Če si predstavljamo oboje kot pljus (članek!) na površini vode ali mozolj na koži, seveda ni dvoma: lahko je koža brez mozolja, ni pa mozolja brez kože! Toda od kod potem prvotno POLJE, če nikjer ni naboja?

V starih časih smo npr. razlagali, da kondenzator, dve kovinski plošči, naelektrimo tako, da nanju porinemo naelektrene delce, jih »nabijemo«. Ti naboji pa potem delujejo na daljavo in se zato med ploščama pojavi električno polje. Taka razlaga sedaj verjetno ni več ustrezna: morda sedaj kondenzator naelektrimo tako, da vanj porinemo šop silnic električnega polja – in takoj bodo tu tudi naboji na ploščah! Vendar pa bo EKSPLICITNA razlaga vsega tega malce težja?

Izrazoslovje: Če v ELEKTRONSKEM POLJU najdem elektrone, imajo ti naboj – torej je v ELEKTRONSKEM POLJU tudi ELEKTRIČNO POLJE? V HIGGSOVEM POLJU imajo delci mase, torej je tam tudi GRAVITACIJSKO POLJE. Kako hkrati delujeta ti polji? Taka – in podobna »neumna« vprašanja lahko učitelj fizike pričakuje pri pouku, rad bi vedel, kakšni naj bili (vsaj) srednješolsko pravilni odgovori!

Sprijazniti se moramo s tem (takšno je mnenje pravih fizikov!), da je osnova novega modela POLJE, toda pri tem moramo priznati, da sploh ne vemo, kako naj bi z njim srednješolce dostojno (EKSPLICITNO!) seznanili! (Pa menda ne bomo še pri pouku fizike v srednji šoli megle prodajali, tega je že pri politiki dovolj!)

Naj bo torej POLJE – le Faradayu v čast! Morda bi se pa splačalo pogovarjati o tem, ali ta – še precej zmedena vrhunška fizika – sploh spada v srednjo šolo! Toda tudi če izpustimo Higgso, se posledicam novih razlag ne moremo izogniti pri osnovnih razlagah, npr. pri razlagi nabijanja kondenzatorja.

(Lahko pa srednješolcem – v imenu ta zaresne fizike – razlagamo spontani zlom simetrije z BEH-mehanizmom /članek! Seveda EKSPLICITNO!!) Morda tudi v osnovni šoli (ha, ha ...)?! Verjetnost »5 sigma« je prav privlačna – toda ali ne bi namesto ponujanja privlačne modne kombinacije številke in grške besede kolege malce bolj opozorili na pomen verjetnosti v modernih razlagah: npr. na verjetnost, da je ta Higgsova razlaga sploh prava (kot so delno to avtorji sami storili) ... Ta verjetnost resničnosti moderne fizike se je celo Einsteinu zdela problematična ...

V oči mi je padlo tudi besedilo na 36. strani – avtorji so se zares potrudili in nam prijazno napisali celotno stran virov in literature. Pri tem sem se spomnil na mladega inženirja in družinskega očeta, ki mi je odkrito rekel, da bi danes svoje otroke (ki so sedaj že odrasli) vzgajal čisto drugače: »materni jezik« v družini bi bila angleščina in bi jim tako najbolj pomagal vstopiti v naše »slovensko« strokovno življenje. Cela 36. stran z 22 »viri« – samo v angleščini – to potrjuje! Ali res ni nihče napisal v slovenščini nič »higgsovske« uporabnega? *Ta 36. stran je prava slika »slovenskosti« slovenskih fizikalnih izobražencev.*

Morda bi res bilo najenostavnejše fiziko učiti – tudi pri nas – kar v angleščini?

peter.prelog@siol.net

Intervju s slovensko znanstvenico dr. Natašo Vaupotič

Uredniški odbor revije *Fizika v šoli*

Nataša Vaupotič je poznana slovenska fizičarka, zavzeta promotorka fizike, zelo aktivna tako na pedagoškem kot raziskovalnem področju. Zaposlena je na Fakulteti za naravoslovje in matematiko (FNM) Univerze v Mariboru (UM) kot redna profesorica za fiziko, na Inštitutu Jožef Stefan pa kot znanstvena svetnica. Dva mandata, osem let, je bila dekanica FNM, med letoma 2015 in 2018 pa prorektorica za izobraževalno dejavnost na UM. Znanstvenoraziskovalno deluje na področju tekočih kristalov, ki je trenutno eno najaktualnejših področij fizike s številnimi aplikacijami v gospodarstvu. Za svoje delo je bila večkrat nagrajena doma in v tujini, leta 2021 je prejela najvišje državno priznanje Republike Slovenije za pomembne (raziskovalne) dosežke, Zoisovo priznanje. Trenutno je predsednica Odbora Republike Slovenije za podelitev nagrad in priznanj za izjemne dosežke v znanstvenoraziskovalni in razvojni dejavnosti.

*dr. Marko Marhl,
član uredniškega odbora revije Fizika v šoli*



1. Se lahko na kratko predstavite?

Sem redna profesorica za fiziko na Fakulteti za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru in znanstvena svetnica na Inštitutu Jožef Stefan. Predavam na študijskem programu Fizika, na vseh treh stopnjah, k nekaterim od teh predavanj se priključujejo tudi študenti in študentke pedagoške fizike. Dva mandata (med letoma 2007 in 2015) sem bila dekanica Fakultete za naravoslovje in matematiko, med letoma 2015 in 2018 pa prorektorica za izobraževalno dejavnost na Univerzi v Mariboru.

2. S čim se ukvarjate?

Raziskujem na področju fizike tekočih kristalov. S tem področjem se ukvarjam od diplome, pa vedno delam nekaj čisto novega, saj se področje izjemno hitro razvija. Začela sem kot eksperimentalka na Inštitutu Jožef Stefan, a eksperimentalno delo ni bilo možno, ko sem se vrnila v Maribor, zato sem se začela ukvarjati z modeliranjem tekočih kristalov. Osnovni gradniki snovi, ki jo imenujemo tekoči kristal, so velike organske molekule, njihova značilnost pa je, da se, na primer, v nekem temperaturnem območju, zlagajo tako, da dobimo anizotropno tekočino, v kateri se fizikalne lastnosti v različnih smereh razlikujejo. To je tekočokristalno agregatno stanje oz. tekočokristalna faza. Če so osnovni gradniki podolgovate molekule, se v najpreprostejši tekočokristalni fazi dolge osi molekul v nekem temperaturnem območju v povprečju uredijo v določeni smeri, ki jo imenujemo direktor. Še vedno imamo tekočino, a so fizikalne lastnosti odvisne od smeri. Na primer viskoznost tekočine je manjša za tok v smeri direktorja in večja za tok v smeri pravokotno nanj. Če se skozi tak material razširja svetloba, je hitrost razširjanja odvisna od smeri razširjanja in od polarizacije svetlobe. Zaradi anizotropne tekočinske faze (določen material lahko ima celo več anizotropnih faz) so tekoči kristali izjemno široko uporabni. Najbolj njihovo uporabo seveda poznamo iz vsakdanjega življenja, ker omogočajo izdelavo tankih zaslonov. Vendar je uporabnost tekočih kristalov bistveno širša. Njihove lastnosti se spreminjajo s temperaturo, zato jih lahko uporabimo za senzorje temperature. Ker so to tekočine, se že ob majhnih tlačnih spremembah lahko močno deformirajo in jih zato uporabljamo kot merilnike tlaka in mehanske napetosti. Dolge osi molekul preprosto zavrtimo že z manjšimi električnimi in magnetnimi polji, s tem pa se tudi spremenijo fizikalne lastnosti v določeni smeri (na primer prepustnost tekočokristalne celice za svetlo-

bo) in tako dobimo merilnike električnega in magnetnega polja. Zelo pomembna lastnost tekočerkristalne faze so zelo majhne elastične konstante. Zato deformacija, ki jo v ureditvi povzroči nek delec, ki ga z mikroskopom ne vidimo, povzroči spremembe na mikrometrskem nivoju, kar pa lahko opazujemo z optičnim mikroskopom. Tako so tekoči kristali uporabni tudi za biosenzorje, na primer za detekcijo virusov, bakterij, beljakovin ...

Sama se sicer večinoma ukvarjam s čisto temeljnimi raziskavami novih materialov. Raziskujemo fizikalne lastnosti novih materialov, razmišljamo, kako jih kemijsko spremeniti, da bodo imeli bolj izražene določene fizikalne lastnosti, na tej osnovi pa seveda tudi podamo možnosti za praktično uporabo. Trenutno so aktualni tako imenovani feroelektrični nematiki. Nematska faza je zgoraj omenjena najpreprostejša tekočerkristalna faza, kjer so v povprečju poravnane dolge osi molekul. Molekule imajo vzdolž dolge osi električni dipolni moment. Ker smo v tekočinah, so ti električni dipolni momenti praviloma z enako verjetnostjo usmerjeni v eno ali drugo smer vzdolž direktorja, a pred nekaj leti so odkrili materiale, kjer se pri dovolj nizki temperaturi tudi električni dipolni momenti usmerijo v isto smer. Tako dobimo polarno tekočino, ki je zanimiva že samo zato, ker dejansko obstaja. Trenutno se ukvarjamo z raziskovanjem fizikalnih lastnosti različnih materialov, ki imajo feroelektrično nematsko fazo, hkrati pa nas zanima, katere druge faze še v takih materialih obstajajo, na primer, ali imajo v določenem temperaturnem območju tudi faze z bolj kompleksnimi tridimenzionalnimi mrežami feroelektrične ureditve molekul. Praktična uporaba je za take materiale res izjemna: za pretvornike mehanske napetosti v električni signal, za pretvorbo električnega signala v mehansko deformacijo, za električno krmiljenje širine fotonske reže, dinamično krmiljenje smeri laserskega snopa idr.

Izven Slovenije raziskovalno največ sodelujem z raziskovalci in raziskovalkami na oddelku za kemijo na Univerzi v Varšavi in na Univerzi v Aberdeenu, v laboratoriju Lawrence Berkeley v ZDA, na Univerzi Strathclyde v Glasgowu, na Tokijskem inštitutu za tehnologijo, na inštitutu Riken na Japonskem ...

Kaj pa prosti čas?

Prostega časa je sicer zelo malo, ampak zanima me veliko stvari, zato mi v tretjem življenjskem obdobju, če ga dočakam, res ne bo dolgčas. Rada kaj postorim okoli hiše, predvsem imam rada cvetočo okolico. Rada se učim tuje jezike. Poleg angleščine, ki jo seveda uporabljam in razvijam pri raziskovalnem delu, sem se že učila italijanščino, nemščino, francoščino in poljščino. Sem sicer bolj pasiven uporabnik, ampak »prodali me ravno ne bi«, kot smo včasih rekli. Začela sem »napadati« tudi kitajščino, a neuspešno – ni bilo dovolj časa za vajo. Noben dopust ne mine brez zaloge knjig, ki si jih nabiram skozi leto. Kupovanje knjig je kar moja šibkost, ampak sedaj mi počasi zmanjkuje prostora za police in omare in se

malo kontroliram ☺. Dopusti pa so zdaj že bolj uživaški, včasih pa so bili tudi kolesarski, potapljaški ... Sedaj pa malo hribi, malo kolo, šnorklanje v toplih tropskih morjih ... In ja, saj ni res, pa je, pred par leti sem začela smučati in pozimi res uživam v soncu in razgledih na snežnih (pol)strminah ☺.

3. Kdaj in kako ste opazili, da vas fizika zanima oziroma da vam je všeč?

Zanimiva mi je postala v srednji šoli. Še ko sem se vpisovala na II. gimnazijo v Mariboru, sem kolebala, ali naj se prijavim ali ne, ker sem vedela, da je fizika moja šibka točka, saj iz osnovne šole nisem prinesla pravega znanja in razumevanja. Spomnim se, da je profesorica fizike prvo uro na gimnaziji vsakega posebej vprašala, zakaj se je vpisal na Drugo, pa sem kar butnila, da zato, ker me zanimata in veselita matematika in kemija. Ona pa se je le nasmehnila in rekla, da se bo potrudila, da me bo veselila tudi fizika. A bili smo prva ali druga generacija usmerjenecv, začeli smo z elektromagnetnim valovanjem, če se prav spomnim, skratka, ni imela možnosti. Stanje se je izboljšalo, ko smo prišli do mehanike, pa vseeno.

Mislim, da se mi je pravo veselje tudi do fizike razvilo v tretjem in četrtem letniku, ko sem bila dijakinja na United World College of the Adriatic v Devinu pri Trstu, ena od dveh štipendistk iz Slovenije. Kodločitvi za študij fizike pa je botrovalo še to, da sem ugotovila, da je tista matematika, ki me zanima, pravzaprav na fiziki (in ne na študiju matematike), kemiji pa sem se raje izognila, ker imam kar nekaj alergij, pa nisem tvegala, da bi se izobrazila za delo, ki ga na koncu zaradi kakšne alergije ne bi mogla opravljati. Resno sem razmišljala tudi o študiju angleščine in italijanščine, a sem se odločila, da bodo jeziki raje moj hobi.

4. Je kdo posebej vplival na vašo izbiro študija fizike? Morda starši, učitelji ali učiteljice? Vas je kdo pozitivno spodbujal?

Živela sem z mamo, ki me je vedno spodbujala za študij. Delo za šolo in to, da doštudiram, je bilo zanjo najpomembnejše. Na samo izbiro fizike ni vplivala, mi pa je finančno omogočila, da sem šla študirat v Ljubljano, kar ni bilo lahko. Takrat se namreč fizike še ni dalo študirati v Mariboru, to je možno šele zadnjih 15 let. Na srečo sem dobila tudi kadrovske štipendije v bivšem TAM-u. Tako da je šlo. Sicer pa kot študentka nisem imela velikih potreb, a je že zgolj vožnja iz Maribora v Ljubljano in nazaj ter samo bivanje v Ljubljani predstavljalo kar znaten strošek.

5. Kakšen je bil odnos učiteljev ali učiteljic, profesorjev ali profesorice fizike, sošolcev in sošolk do vas in vašega zanimanja za fiziko? Se je ta odnos kaj spreminjal s stopnjo šolanja – v osnovni šoli, srednji šoli, na fakulteti? Imate občutek, da so vas obravnavali kot enakovredno sošolcem moškega spola?

V osnovni in srednji šoli sem imela to srečo, da sem bila v razredih, kjer smo se zelo dobro razumeli. Čeprav sem bila »pridna punčka«, ki ni naredila nikoli ničesar mimo pravil in se v družbi izven pouka nisem pojavljala, so me nekako kar tolerirali – morda zato, ker sem vedno bila pripravljena pomagati, kaj razložiti, se skupaj učiti. Nekega pretiranega zanimanja za fiziko na srednji šoli pri meni še tako ali tako ni bilo. V Devinu pa razreda v našem pomenu besede več ni bilo, saj je vsak imel samo tiste predmete, ki jih je izbral za maturo. Pri fiziki nas je bilo v skupini okoli deset, tako deklet kot fantov, in ni bilo nič čudnega, da so v skupini za maturo iz fizike tudi dekleta. Na fakulteti pa smo sploh bili fantastičen letnik. Deklet nas je sicer bilo za vzorec, pa saj nas vseh skupaj po končanem prvem letniku ni bilo več prav veliko. Da bi bila deležna drugačne obravnave, ker sem ženska, se ne spomnim. Nisem imela ne privilegijev ne ovir zaradi tega. Tega na fiziki res ni bilo. Žal pa to marsikje še vedno obstaja, kot mi je omenila kolegica, ki se je nato s fizike preselila na neko drugo fakulteto Univerze v Lju-

bljani. Na fiziki pa je vedno bilo pomembno samo to, kaj znaš in kaj si sposoben narediti.

Tudi na Univerzo v Mariboru sem prišla v izjemno pozitivno in spodbudno delovno okolje. Seveda sem tekom življenja bolj po ovinkih kot direktno kdaj slišala kaj neprimerne, ampak taki ljudje vedno so in bodo, zato se s tem sploh nisem ukvarjala.

6. Bi želeli našim bralkam in bralcem še kaj sporočiti?

Fizika je zakon! Še vedno menim, da je to najboljši študij za uspešno življenje, pa ne samo zaradi atraktivnih in nikoli dolgočasnih služb (kar pogledajte na spletu, kaj vse počnejo naši diplomanti), temveč za uspešno življenje nasploh. Največ, kar ti fizika da, je vztrajnost in to, da se ne prestrašiš problemov, temveč so ti izziv. Fiziki in fizičarke izzive najprej razčlenimo, nato pa jih postopno in vztrajno rešujemo. In tukaj nimam v mislih samo fizikalnih izzivov, znanje je uporabno na številnih področjih, tudi za spopadanje z večjimi ali manjšimi življenjskimi izzivi.



Pojasnilo k sliki: Ko tekoče kristale pogledamo pod mikroskopom, vidimo čudovite barvne vzorce. Na fotografiji je pogled skozi mikroskop na opno iz tekočerkristalne faze, v kateri so urejene dolge osi molekul, poleg tega pa se molekule še zložijo v plasti. Barve so v tem primeru posledica interference svetlobe na tanki plasti. Različne barve pomenijo, da se debelina opne s krajem spreminja, v tem primeru na prav poseben način, debelejši deli opne se namreč labirintno zajedajo v tanjše in obratno. Pojav je še posebej zanimiv zato, ker smo naučeni, da bo tekočina vedno želela imeti najmanjšo možno površino, v tem primeru pa želi imeti čim večjo. V povprečju je opna debela nekaj 100 nm. Avtor fotografije: dr. Damian Pociecha.

O projektu ARphymedes: Poučevanje fizike z razširjeno resničnostjo

dr. Saša Ziherl, dr. Katarina Susman in dr. Jerneja Pavlin

Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta, Ljubljana, Slovenija

Predmet fizika postaja vse pomembnejši del osnovnošolskega izobraževanja, saj je današnja družba močno usmerjena v znanost in tehnološki razvoj [1]. Obenem pa je v osnovni šoli zaslediti pomanjkanje zanimanja za predmet. Učenci dojemajo fiziko kot preplet zapletenih konceptov, ki jih ne razumejo, kar otežuje reševanje problemov in vodi v neuspeh ter izogibanje predmetu [2]. Ker je fizika predvsem eksperimentalni predmet, je povečanje zanimanja učencev pomembno in ključno za ustrezno izvajanje eksperimentov, tako demonstracijskih kot samostojno izvedenih. Nedavno je svet preplavila pandemija in učitelji so bili primorani prenesti kombinacijo eksperimentalnega dela in teorije v spletno učno okolje, kar je bil za večino velik izziv [3]. Ena od interaktivnih metod, ki bi lahko do neke mere pomagala preseči to omejitev, je uporaba razširjene resničnosti (RR, angl. *augmented reality* oz. AR). RR je tudi vse večje področje zanimanja za spodbujanje celovitega učenja. V zadnjem času je zaslediti porast literature o uporabi RR v razredu, ki poudarja njene prednosti in slabosti. Prve vključujejo boljše razumevanje učne snovi in večje zanimanje učencev, druge pa neproduktivno izvajanje pouka in poudarjanje razlik med učenci [4]. Še več, rezultati sinteze raziskav kažejo, da je integracija razširjene resničnosti z gradivi za poučevanje in učenje sposobna podpreti proces učenja fizike in učne dosežke učencev. Ugotovljeno je bilo tudi, da razširjena resničnost, ki temelji na problemih, osmisli učenje [5].

Na tem področju delujemo tudi v okviru triletnega projekta Erasmus+ z naslovom »AR made for students« (okrajšano: ARphymedes, št. financiranja: 2020-1-SK01-KA201-078391), ki se je pričel leta 2020 in se ukvarja z vključitvijo RR v pouk fizike. Konzorcij projekta sestavljajo partnerji z Univerze sv. Cirila in Metoda v Trnavi (Slovaška, prijavitelji), Slovaške tehniške Univerze v Bratislavi (Slovaška), Tallinna Tehnikaulikool (Estonija), Univerze v Ljubljani (Slovenija), Viteco srl (Italija),



Diadrasis (Grčija) in Universitatea Tehnica »Gheorghe Asachi« Din Iasi (Romunija). Logotip projekta je prikazan na sliki 1.

Cilji projekta so:

1. povečati vključenost učencev pri pouku fizike, zlasti tistih, ki trenutno dosegajo sorazmerno slabe rezultate pri fiziki;
2. izboljšati povprečne dosežke pri obravnavani temi z uporabo razvite knjige za učence in učitelje;
3. omiliti težave, povezane s pomanjkanjem pripomočkov in gradiv, kar olajša pripravo interaktivnih ur.

Primarna ciljna publika so učenci, stari od 11 do 15 let, in osnovnošolski učitelji fizike. Pričakovani rezultat projekta je tako imenovana pedagoška zbirka orodij za pouk fizike z zgodovinskim pridihom, ki vključuje knjigo za učence, priročnik za učitelje, aplikacijo z moduli RR in gradivo za usposabljanje učiteljev. Knjiga za učence bo temeljila na inovativnem pristopu, saj bo združila digitalno tehnologijo z virtualnimi (animacije) in resničnimi eksperimenti (zbirka videoposnetkov) s pripravljenim konceptualnim zemljevidom izbranih problemov. Koncept knjige z uporabo aplikacije RR je pridobivanje razširjenih podatkov s kamero na tablici ali pametnem telefonu. Aplikacija prepozna sprožilce – slike, ki na tablici ali telefonu »oživijo«. Ta koncept se uporablja za povečanje interaktivnosti izobraževalnih knjig [6]. Z namenom približanja knjige učencem bo učence skozi knjigo vodil glavni lik Arphy. Knjiga bo oblikovana malo drugače kot običajni učbeniki, saj bosta po dve strani povezani med sabo. Primer je na sliki 2. Priročnik za učitelje bo vključeval gradiva za podporo poučevanju in dodatna gradiva, ki bodo objavljena na spletni strani projekta (<https://arphymedes.eu>). Vsako poglavje priročnika bo vključevalo osnovna navodila za uporabo knjige, naloge z rešitvami, pogoste napačne predstave učencev in priporočila za izvedbo eksperimentov.

Konzorcij projekta si prizadeva približati fiziko učencem z razvojem izobraževalnega orodja, ki združuje uporabo knjig in RR prek pametnega telefona, in verjame, da bo razviti komplet orodij učence motiviral za učenje ter



Slika 1: Logotip projekta ARphymedes.

prispeval k poglobljanju znanja. S kombinacijo knjige, ki predstavlja vir informacij, in aplikacije RR, ki bo pri-

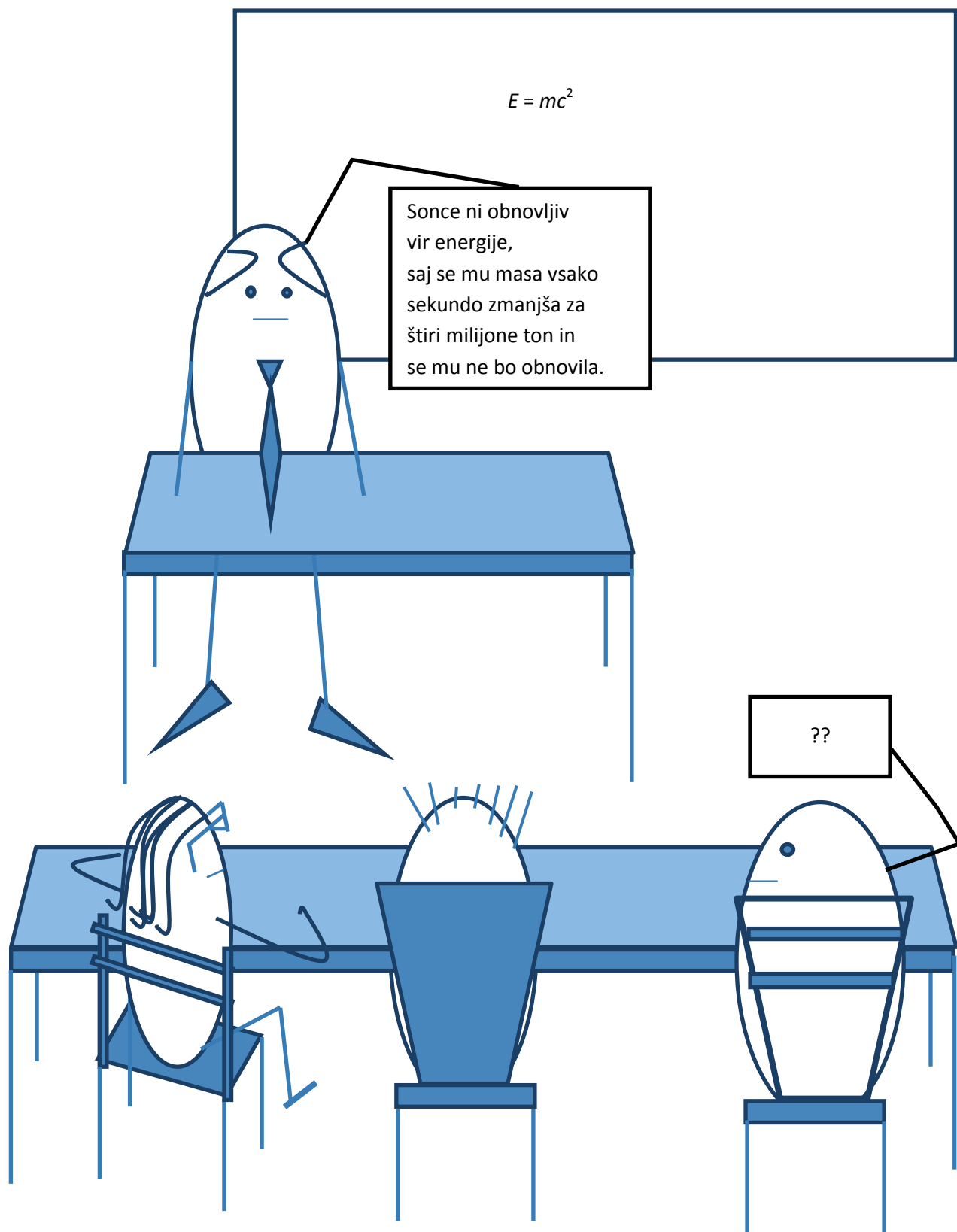
tegnila učenčevo pozornost, bomo vzpostavili povezavo med tradicionalnim in digitalnim učenjem.



Slika 2: Primer dveh strani iz knjige za učence.

Viri in literatura

- [1] Yuliati, L., Parno, P., Hapsari, A. A., Nurhidayah, F., Halim, L. (2018). Scientific Literacy and Physics Problem Solving Skills Trough Inquiry-Based Learning for STEM Education. *Journal of Physics: Conference Series*, 1108.
- [2] Giudo, R. M. (2013). Attitude and Motivation towards Learning Physics. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2087–2093.
- [3] Campari, E. G., Barbetta, M., Braibant, S., Cuzzuol, N., Geusuato, A., Maggiore, L., Marulli, F., Venturoli, G., Vignali, C. (2021). Physics Laboratory at Home During the COVID-19 Pandemic. *The Physics Teacher*, 59 (1), 68–71.
- [4] Yilmaz, O. (2021). Augmented Reality in Science Education: An Application in Higher Education. *Shanlax International Journal of Education*, 9, 136–148.
- [5] Wulandari, Sintia & Catur Wibowo, Firmanul & Astra, I. (2021). A Review of Research on The Use of Augmented Reality in Physics Learning. *Journal of Physics: Conference Series*.
- [6] Jesionkowska, J., Wild, F., Deval, Y. (2020). Active Learning Augmented Reality for STEAM Education—A Case Study. *Education Sciences*, 10(8).





digdaktika

Zaključna konferenca projekta
Dvig digitalne kompetentnosti

Ljubljana, 30. 8. 2023

Konferenca **DIGDAKTIKA** je posvečena načrtnemu razvoju in dvigu digitalne kompetentnosti.

Predavanja in predstavitve bodo odgovorile na nekatera vprašanja, ki jih prinaša digitalizacija izobraževanja in odprle prostor za razmislek skozi teme:

Spremenjene
navade učiteljev
in učencev zaradi
uporabe digitalne
tehnologije

Pomen in vloga
digitalnih strategij

Umetna inteligenca

Razvoj digitalne
didaktike

Primeri iz
prakse za vodenje
in podporo učencem
pri razvoju digitalnih
kompetenc

Vidimo se **30. avgusta 2023 v Cankarjevem domu**, v živo ali na daljavo.

Konferenca Digdaktika bo trajala osem ur in je brez kotizacije.