

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, potreben 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.

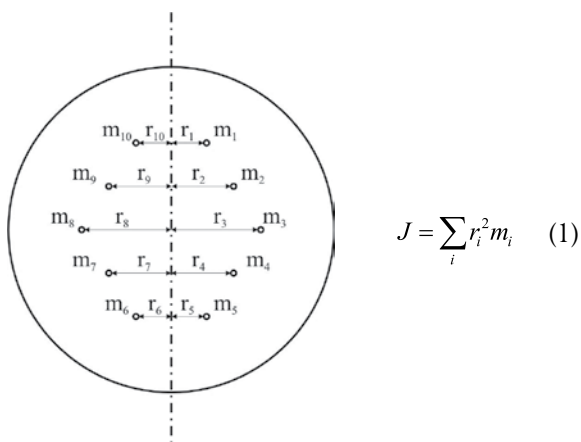
2 Opredelitev merjene količine – vztrajnostnega momenta

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.

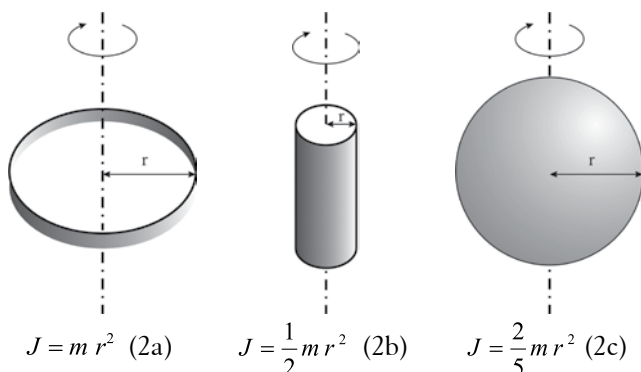
Za masni vztrajnostni moment je po standardu SIST ISO 80000 predvidena oznaka J . Enota za vztrajnostni moment je poimenovana **kilogram kvadratni meter**. Predpisana mednarodna oznaka za enoto pa je kgm^2 . [3]

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:

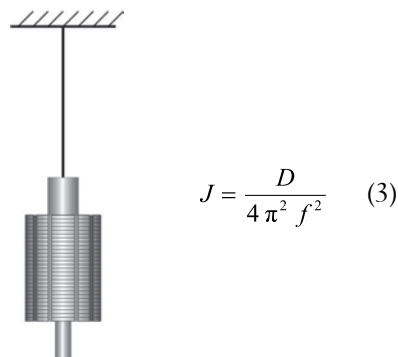
- računsko: s pomočjo definicijske enačbe (1) ali s pomočjo izpeljanih enačb (slika 2);

- 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]

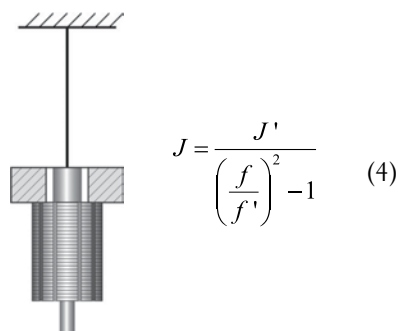
Dijake opozorimo, da bomo za svoje meritve uporabili nekaj fizikalnih enačb, ki presegajo zahtevnost srednješolskega pouka fizike, lahko pa te enačbe uporabljamo pri praktičnem delu in preverjamo veljavnost merilnih metod.



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]

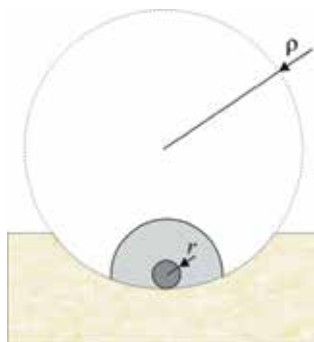


Slika 4: Nihalo z dodatno maso.

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]

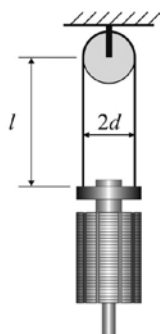


Slika 5: Kotalna klop.

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

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.

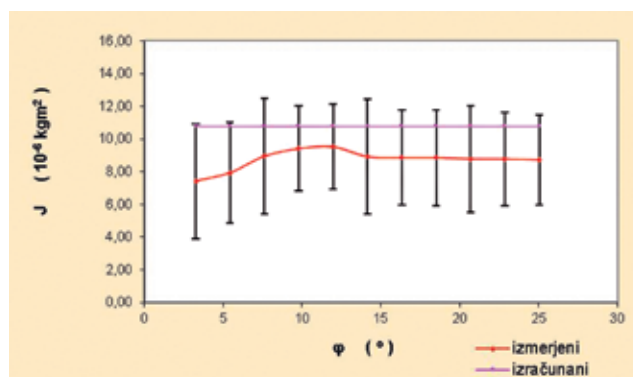
Na nižjem nivoju je mogoče izvesti eksperimentalne vaje, pri katerih dijaki merijo frekvenco kotaljenja, tehtajo vzorec in določijo vztrajnostni moment s pomočjo enačbe 5 ter dobljeno vrednost primerjajo z izračunano vrednostjo vztrajnostnega momenta valja s pomočjo enačbe 8.



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

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.

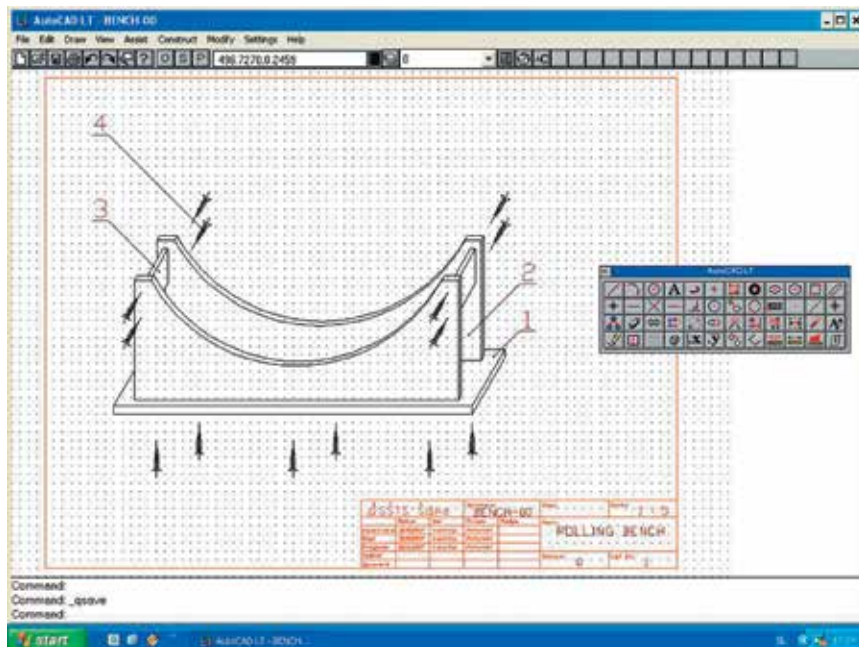
Pri praktičnem pouku učitelj vodi dijake nižjih letnikov od priprave materiala prek izdelave osnovnih sestavnih delov, zaščite površin sestavnih delov do končne montaže in funkcionalnega preizkusa kotalne klopi. V višjih letnikih lahko dijaki demontirajo motor in ustrezno pripravijo rotor za izvedbo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