

Dvigovanje uteži s segrevanjem idealnega plina

doc. dr. Andreja Šarlah

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko

Izvleček

Obravnava lastnosti plinov in poskusi z njimi so prisotni po celotni izobraževalni vertikali, vendar izkušnje kažejo, da se tudi med študenti fizike še pojavljajo težave pri razumevanju procesov z idealnim plinom. Dijaki in študenti, ki niso imeli priložnosti, da bi si ustvarili dobro miselno sliko o spremembi plina pri konstantnem tlaku, le-to težje prepoznajo že v vzorčnem poskusu. Zamisel o spremembi plina pri konstantni prostornini je lažje predstavljiva, vendar lahko v novi situaciji, ki zahteva povezanost znanja z drugih področij, postane težji kognitivni izziv. V članku predstavljamo nalogo, ki združuje znano realizacijo spremembe pri konstantnem tlaku in spremembo pri konstantni prostornini v netipični izvedbi. Dijake spodbuja h gradnji koherentnega znanja, učitelju pa daje informacije o doseganju različnih ravni razumevanja obravnavane snovi.

Ključne besede: idealni plin, izo spremembe, upodobitve

Weight Lifting by Heating Ideal Gas

Abstract

The properties of gases and the related experiments are a standard topic at all levels of education. However, experience suggests that even physics major students show deficit in understanding them. Students who have not created a good mental image of the heating of a gas at constant pressure also find it difficult to visualise the process during a model experiment. It is easier for students to visualise the constant volume process. Nevertheless, if a new context for a correct visualisation is provided, a coherent understanding is needed, and the problem requires a higher cognitive load. We present a problem which combines a well-known isobaric experiment and an isochoric process in an atypical set-up. The task stimulates the students to build more coherent knowledge and provides the teacher with the information on the achieved level of understanding.

Keywords: ideal gas model, iso processes, representations.

1 Uvod

Že kurikulum za vrtce predvideva raziskovanje plinov in njihovih lastnosti [1]. Poskusi s plini, predvsem obravnava lastnosti zraka, ne le z vidika njegovega pomena za življenje, so nato stalnica tudi v osnovnošolskem izobraževanju [2]. V zadnji triadi osnovne šole učenci pri pouku kemije in fizike kvalitativno spoznajo delčno zgradbo snovi, povezavo med temperaturo in gibanjem delcev snovi, v okviru izbirnih vsebin pa lahko tudi že medsebojno odvisnost tlaka, temperature in prostornine plina. V srednješolskem izobraževanju sledi kvantitativna nadgradnja obravnave plinov v okviru modela idealnega plina (v nadaljevanju idealni plin), ponovno tako pri pouku kemije kot pri pouku fizike [3]. Idealni plin je prav tako ena od standardnih tem v uvodnih fizikalnih predmetih na univerzitetni ravni. Pomemben je tako kot model, ki dobro opiše realne pline, kot tudi kot primer, na katerem lahko uvedemo in obravnavamo koncepte in zakone termodinamike. Pri poznejših specialističnih predmetih se predvidevata poznavanje in razumevanje sprememb idealnega plina, a izkušnje kažejo, da imajo številni študenti s tem težave.

Že kurikulum za vrtce predvideva raziskovanje plinov in njihovih lastnosti.

Stanje plinov in spremembe opisujemo na makroskopski ravni, za razumevanje pojavov pa je ključen tudi pogled na mikroskopski ravni. Dijakom povezuje razmišljanja na mikro- in makroravni pogosto povzroča težave in jo dojemajo kot (preveč) abstraktno [4, 5]. Vendar težave dijakov pri razumevanju procesov z idealnim plinom niso vezane le na povezavo razmišljanja na več ravneh. Na makroskopski ravni opišemo stanje plina z njegovo množino in vrsto ter s termodinamičnimi spremenljivkami, tlakom, temperaturo in prostornino. Zaradi velikega števila spremenljivk je tudi sama obravnava na makroskopski ravni številnim dijakom in študentom precejšen izziv. Izkušnje pa tudi študije kažejo, da se dijaki in študenti z večjim številom spremenljivk spoprijemajo tako, da bodisi nekaterih od njih ne upoštevajo, različne spremenljivke združijo v eno ali pa procese nezavedno razdelijo v zaporedje procesov, ki omogoča obravnavo manjšega števila spremenljivk hkrati [6].

Pri obravnavi idealnega plina posvetimo posebno pozornost spremembam, pri katerih je ena od termodinamičnih spremenljivk konstantna. Vsem takim spremembam skupaj recimo *izo spremembe*. Z obravnavo izo sprememb po eni strani dijaki spoznajo zgodovinski razvoj znanja o plinih, po drugi strani pa je obravnava izo sprememb plina smiselna tudi z didaktičnega vidika. Pri izo spremembah namreč ostaneta le dve spremenljivki, odvisna in neodvisna, kot na primer v primerih iz mehanike, ki so dijakom že domači.

Študentom pri predmetu Didaktika fizike 1, ki ga obiskujejo študenti tretjega letnika izobraževalne smeri na Oddelku za fiziko Fakultete za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani in kot izbirni predmet tudi nekateri drugi študenti fizike, smo dali v reševanje nalogo, s katero smo želeli preveriti način reševanja in vpliv načina na uspešnost reševanja. Rezultati so nas spodbudili, da smo v reševanje naloge vključili še študente prvega letnika fizike, učitelje fizike, ki so se udeležili delavnice v okviru programa Stalnega strokovnega spopolnjevanja za učitelje fizike [7], ki ga organiziramo na UL FMF, in manjši vzorec dijakov drugega in četrtega letnika ene od gimnazij z višjim vstopnim pragom.

Študente smo prosili, da so poleg same rešitve naloge zapisali tudi svoj način razmišljanja ter morebitne težave in neuspele poskuse, z nekaterimi smo naknadno opravili tudi intervjuje. Učitelji fizike so nalogo reševali v majhnih skupinah, tako da smo njihovo delo in razmisleke lahko sproti spremljali. Na podlagi rezultatov, ki smo jih dobili pri študentih prvega letnika, in diskusije z učitelji fizike smo za dijake naredili dodatno, lažjo različico naloge. Ta sicer ne preverja vseh učnih ciljev, ki jih preverja izvirna naloga, vendar omogoča, da nalogo uspešno rešijo tudi dijaki, ki bi napačno rešili prvi del naloge. Dijaki drugega letnika gimnazije so bili razdeljeni v dve skupini – dijaki iz prve skupine so dobili v reševanje izvirno različico naloge, dijaki iz druge pa spremenjeno različico. Dijaki četrtega letnika so bili gimnazijci, ki so fiziko izbrali kot maturitetni predmet. Reševali so izvirno različico naloge. Vsi dijaki in študenti so nalogo reševali kmalu za tem, ko so končali obravnavo termodinamike.

V nadaljevanju predstavljamo nalogo ter kvalitativno analizo rešitev. V analizi se predvsem posvetimo pravilnosti rešitev oziroma tipičnim napakam, ki smo jih opazili, predstavimo nekatere vzroke zanje in predlagamo, kako lahko učitelj pomaga dijakom s težavami, da izboljšajo razumevanje.

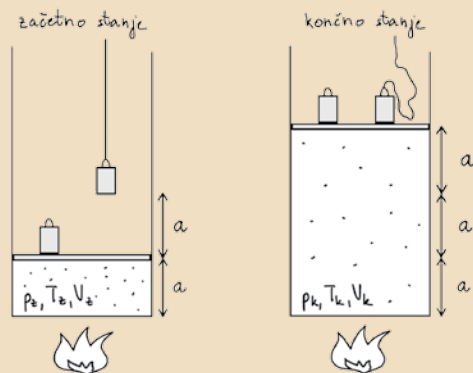
2 Predstavitev naloge

Prva različica naloge (izvirna, prvi delovni list)

Dvigovanje uteži s segrevanjem idealnega plina

V valju, ki ga zapira pomični bat, imamo idealni plin (glejte sliko, začetno stanje). Na batu je utež. Trenje med batom in steno valja je zanemarljivo. Nad batom je obešena druga enaka utež, kot kaže slika. Pod valj postavimo gorilnik. Po določenem času opazimo, da se je bat dvignil (glejte sliko, končno stanje).

Pri obravnavi idealnega plina posvetimo posebno pozornost spremembam, pri katerih je ena od termodinamičnih spremenljivk konstantna.



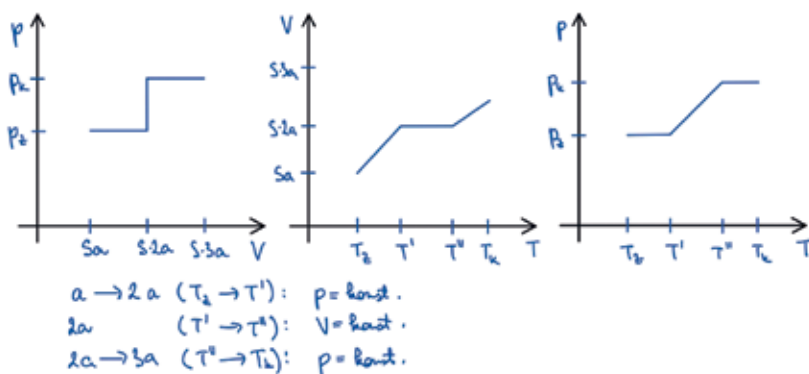
- Narišite graf $p(V)$ za plin v valju med začetnim in končnim stanjem. Navedite morebitne predpostavke, ki ste jih sprejeli.
- Narišite še pripadajoča grafa $V(T)$ in $p(T)$ in za isto spremembo kot v a). Navedite morebitne predpostavke, ki ste jih sprejeli.

Predvidena predznanja, ki naj jih ima dijak oziroma študent, da bo uspešno rešil nalogo, vključujejo splošne lastnosti in spremembe idealnega plina, sile, predvsem tudi silo tlaka, ravnotežje sil ter predstavitev termodinamičnih sprememb plina na diagramu $p(V)$.

2.1 Rešitev naloge

Zaradi pomičnega bata (z utežjo) se plin pri segrevanju razpenja pri konstantnem tlaku. Ko bat doseže višino in s tem drugo utež, se ob nadaljnjem segrevanju ne razpenja. Pri konstantni prostornini se mu povečuje tlak, s čimer postopoma prevzema težo druge uteži. Ko je tlak plina dovolj velik, da prevzame vso težo dodatne uteži (vrvica, na kateri je visela druga utež, ni več napeta), bat s premikanjem vzdržuje ta novi tlak. Plin se ponovno razpenja pri konstantnem tlaku, zdaj višjem od začetnega. Spremembo na diagramih $p(V)$, $V(T)$ in $p(T)$ kaže slika 1. Na diagramih so označene vrednosti termodinamičnih spremenljivk v značilnih delih spremembe. Pri tem smo poleg podane predpostavke, da bat drsi brez trenja, privzeli še, da ima vrvica zanemarljivo maso in je neraztegljiva. Če se reševanja naloge lotimo (tudi) računsko, sta pričakovani predpostavki še, da je zanemarljiva tudi masa bata in da je zunaj posode bodisi vakuum bodisi zrak pri normalnem zračnem tlaku.

Zaradi pomičnega bata (z utežjo) se plin pri segrevanju razpenja pri konstantnem tlaku.



Slika 1: Rešitev naloge predstavljajo upodobitve spremembe plina na treh diagramih parov termodinamičnih spremenljivk. Bralcu prepuščamo premislek, kako je z nakloni premic na diagramih $V(T)$ in $p(T)$.

3 Analiza rešitev

3.1 Splošni podatki

Prvo oz. izvirno različico naloge, prvi delovni list, je reševalo 25 študentov UL FMF, ki so obiskovali predmet Didaktika fizike 1 (DIDF1), 42 študentov prvega letnika fizike na UL

FMF, ki so se odzvali vabilu in se udeležili reševanja v terminu predavanj (na daljavo) pri predmetu Proseminar (predmet vpišejo vsi študenti v letniku, namenjen pa je razvijanju in poglobljanju kompetenc za matematični opis fizikalnih problemov), 14 dijakov drugega letnika gimnazije in 20 dijakov četrtega letnika gimnazije. Drugo oz. lažjo različico naloge je reševalo 15 dijakov drugega letnika gimnazije. Razdelitev dijakov drugega letnika v skupini je bila naključna. Enajst študentov D1DF1 je nalogo reševalo v študijskem letu 2019/20, vsi preostali študenti in dijaki pa v šolskem oziroma študijskem letu 2020/21. V času reševanja naloge v šolskem letu 2020/21 je pouk tako v gimnazijah kot na fakultetah potekal na daljavo. Naloga je bila zato študentom zastavljena v obliki spletnega formularja, kamor so oddali tudi fotografije rešitve naloge. Študenti prvega letnika so imeli za reševanje eno uro časa, študenti D1DF1 pa so nalogo reševali kot domačo nalogo, rok za oddajo je bil en teden. Gimnazijci so nalogo reševali kot domačo nalogo; besedilo je bilo podano v datoteki v spletni učilnici. Študenti D1DF1 iz študijskega leta 2019/20 so nalogo reševali kot domačo nalogo in rešitve oddali na spletno učilnico.

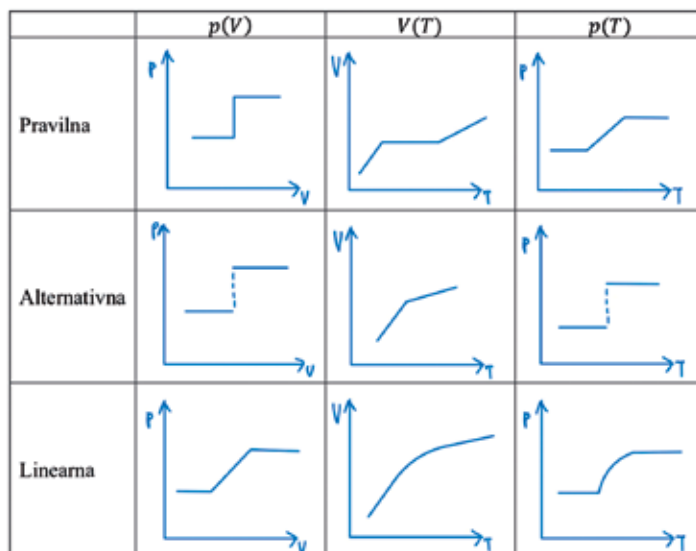
Vzorci reševanja naloge se po skupinah ne razlikujejo bistveno. Analiza tipa rešitev naloge, pogostih napak in značilnih razmislekov ter nekaterih vzrokov zanje se zato nanaša na vse vključene skupine. Se pa skupine razlikujejo po deležu pravih rešitev in pojavnosti značilnih težav. Niti študenti niti dijaki sicer ne predstavljajo reprezentativnega vzorca študentov fizike ali gimnazijcev ustreznega letnika. Vseeno uspešnost njihovega reševanja predstavljamo tudi v obliki deleža študentov oziroma dijakov v ustrezni skupini. Še enkrat pa naj poudarimo, da gre v prvi vrsti za izsledke kvalitativne študije.

3.2 Tipi rešitev

Dvigovanje pomičnega bata pri segrevanju plina je vzorčni primer realizacije izobarne spremembe. Mnogi dijaki in študenti jo prepoznajo. Zavedajo se, da je stalni tlak plina določen z maso bata in uteži. Težji korak za vse pa je prepoznati izohorno spremembo v delu poskusa, ko pride do polaganja druge uteži na bat. Glede na potek, kako se tlak spreminja med obema izobarnima spremembama, opazimo poleg pravilne še dva tipa napačnih rešitev. Prvi, pogostejši tip, imenujmo ga *alternativna* rešitev, se od pravilne razlikuje v predpostavki, da se teža druge uteži hipoma prenese na bat ter da se plin na to hipoma odzove s povečanjem tlaka, tako da je ponovno vzpostavljeno ravnovesje sil na bat. Napaka v razumevanju poteka spremembe na diagramu $p(V)$ ni vedno razvidna, nedvoumno pa se pokaže pri upodobitvi spremembe na diagramu $V(T)$. Pri drugem tipu rešitve, imenujmo ga *linearna*, se od trenutka, ko se bat dotakne druge uteži, do trenutka, ko prevzame vso njeno težo, tlak linearno povečuje s prostornino. Linearno povečevanje tlaka ponazarja postopnost povečevanja sile, s katero bat deluje na utež (v nasprotju s skokom pri alternativni rešitvi). Rešitev tipično vključuje tudi skico ali razmislek o silah na bat in o postopnem prenosu teže uteži. Dijaki oziroma študenti, ki med obema izobarnima spremembama narišejo linearno povečevanje tlaka s prostornino, pravilno uporabijo znanje o sili plina na bat in ravnovesju sil, vendar bodisi (i) ne upoštevajo lastnosti vrvice, da le napeta lahko deluje s silo, ali (ii) ne upoštevajo tega, da pri premiku bata nad višino vrvice ne bo več napeta. Ti dijaki oziroma študenti bodo hitro sami prišli do pravilnega razumevanja, če jih bo učitelj usmeril k premisleku o tem, kdaj in kako vrstica deluje s silo na drugo utež. Primerjavo diagramov pri pravilni, alternativni in linearni rešitvi kaže slika 2.

Pri manjšem deležu dijakov in študentov, ki prepoznajo izobarno spremembo, opazimo glede na

Težji korak za vse pa je prepoznati izohorno spremembo v delu poskusa, ko pride do polaganja druge uteži na bat.



Slika 2: Tipi rešitev. Poleg pravilne rešitve se pogosto pojavi tudi alternativna rešitev, v kateri naj bi se tlak, ko bat doseže drugo utež, hipoma povečal na novo vrednost. Med preostalimi napačnimi rešitvami izpostavljamo še rešitev, kjer naj bi se tlak med obema vrednostma, ki ju ima med izobarnima spremembama, spreminjal linearno.

čina spreminjanja tlaka med njima razmislek, da se ob stiku bata z drugo utežjo tlak najprej poveča, zato se mora zmanjšati prostornina. To kandidati bodisi tudi vrišejo v diagrame ali pa ugotovijo, da tak potek ni smiseln, saj ob predvidenem zmanjšanju prostornine bat ne bi bil več v stiku z utežjo. Tistim, ki napake v razmisleku ne uvidijo sami, lahko pomagamo tako, da jih spodbudimo, da situacijo »preizkusijo na lastni koži«. Tako kinestetično doživljanje kot vizualizacija ob tem jim pomagata pri ustvarjanju pravilne miselne slike o tem, kaj se med procesom dogaja [8]. Vlogo premikajočega se bata naj prevzame navpično gibajoča se dlan, namesto druge uteži pa lahko uporabijo tudi šop ključev na vrvici. Isti poskus koristi tudi v primeru čiste alternativne rešitve.

Del kandidatov v opisu spremembe v nalogi ne prepozna pravih procesov. Tipično si, ne da bi nam kdo opisal, pokazal ali ponudil možnost lastne izvedbe poskusa, sami od sebe težko predstavljamo izotermno in izobarno spremembo. Prav to je v intervjuju povedal tudi eden od kandidatov: »Pred seznanitvijo (nekje v preteklosti, najbrž 1. letnik faksa) s to konkretno sliko (utež nad batom) nisem imel dobre predstave o tem, kaj pomeni konstanten tlak. Vselej od takrat dalje imam, ko razmišljam o konstantnem tlaku v kakem sistemu, v mislih to sliko.« Zamisel o izohorni spremembi plina, to je plin v zaprti trdni posodi, je veliko lažje predstavljiva. Vendar je izvedba izohorne spremembe v nalogi netipična in zato zahteva od dijakov uporabo znanja v novi situaciji. Pri prepoznavanju te spremembe sta ključni vizualizacija procesa in uporaba tudi drugih znanj, kot je določitev sil, ki delujejo na sistem, pa tudi njihovo ravnoesje, zato ta del naloge predpostavlja višji kognitivni izziv kot izobarni del.

Tako so rešitve zunaj okvira pravilne, alternativne in linearne bodisi take, da niso prepoznani vsi tipi sprememb med začetnim in končnim stanjem, ali pa je ves proces prepoznan kot istovrstna sprememba. Zanimiv je odziv manjšega dela študentov, ki v opisanem poskusu ali njegovem delu zaradi novega konteksta ali pa predpostavljene »hipnosti« pri srečanju bata z drugo utežjo prepoznajo adiabatno spremembo. Slednji rešitev pojasnijo na primer tako: »Teža mase uteži povzroči, da se tlak plina v posodi v trenutku poveča. Če se tlak v trenutku poveča, se to zgodi tudi s temperaturo, saj lahko polaganje druge uteži obravnavamo kot adiabatno spremembo.«

3.3 Skladnost različnih upodobitev procesa

Ustaljena praksa v gimnaziji je, da spremembe s plini upodabljamo na diagramu $p(V)$. Temu sledita tako učni načrt kot predmetni maturitetni katalog za fiziko ter predvidevata obravnavo in preverjanje te kompetence [3, 9]. Vendar je za uspešnost učenja, doseganje razumevanja in sposobnosti uporabe znanja ter za vzpostavitev povezanosti znanja pomembna uporaba različnih upodobitev [10]. V nalogi je zato poleg predstavitve spremembe na diagramu $p(V)$ predvidena tudi upodobitev na diagramih s preostalima paroma termodinamičnih spremenljivk.

Večina dijakov in študentov, ki nariše spremembo na diagramu $p(V)$ v okviru pravilne ali alternativne rešitve, nariše skladno s tem tudi preostala diagrama. Iz zapisov sodelujočih oziroma pogovora z njimi o razmislekih in poteku reševanja je razvidno, da je marsikateri sodelujoči ob risanju preostalih dveh diagramov prišel do ugotovitev, ki so mu pomagale izboljšati celotno rešitev, torej tudi diagram $p(V)$. V večini primerov gre pri tem za prehod od alternativne k pravilni rešitvi. Med rešitvami s pravilnim oziroma alternativnim diagramom $p(V)$, a z neskladnima preostalima diagramoma gre v večini primerov bodisi za to, da diagrama $V(T)$ in $p(T)$ sploh nista narisana, ali pa je videti, kot da kandidati ne bi razumeli, kaj pomeni, da naj isto spremembo narišejo še na drugih diagramih. Kandidati, ki v diagramu $p(V)$ narišejo linearno rešitev, narišejo v izobarnem delu procesa skladna diagrama $V(T)$ in $p(T)$, v izohornem pa ne. Pri nepravilnih rešitvah upodobitve spremembe plina na različnih diagramih med seboj praviloma niso skladne.

3.4 Uspešnost reševanja v nekaj številkah

Kvantitativni podatki o deležu študentov in dijakov, ki so nalogo rešili pravilno oz. znotraj drugih prepoznanih vzorcev, so predstavljeni v tabelah 1 in 2.

Ustaljena praksa v gimnaziji je, da spremembe s plini upodabljamo na diagramu $p(V)$.

Tabela 1: Uspešnost reševanja izvirne naloge med študenti prvega letnika fizike (42 študentov) in študenti pri predmetu Didaktika fizike 1 (DIDF1, 25 študentov). Poleg deleža študentov, ki so v dani skupini nalogo reševali na določen način, je v oklepaju podano še njihovo število. V stolpcu »Skladnost ...« je podan delež študentov (v oklepaju pa njihovo število), ki so diagrama $V(T)$ in $p(T)$ narisali v skladu z narisanim diagramom $p(V)$. To je, da vsi trije diagrami predstavljajo isti proces ne glede na pravilnost diagrama $p(V)$. Delež je računat glede na število študentov, ki so narisali diagram $p(V)$ ustreznega tipa rešitve.

Rešitev	Študenti prvega letnika ($N = 42$)		Študenti pri DIDF1 ($N = 25$)	
	$p(V)$	Skladnost $V(T), p(T)$ s $p(V)$	$p(V)$	Skladnost $V(T), p(T)$ s $p(V)$
Pravilna	52 % (22)	90 % (20)	72 % (18)	100 % (18)
Alternativna	24 % (10)	80 % (8)	12 % (3)	67 % (2)
Napačna	24 % (10)	(0)	16 % (4)	(0)
Linearna	5 % (2)	(0)	4 % (1)	(0)

Tabela 2: Uspešnost reševanja izvirne naloge med dijaki gimnazije. Za pojasnilo oznak glejte pripis k tabeli 1.

Rešitev	Drugi letnik ($N = 14$)		Četrty letnik ($N = 20$)	
	$p(V)$	Skladnost $V(T), p(T)$	$p(V)$	Skladnost $V(T), p(T)$
Pravilna	14 % (2)	50 % (1)	65 % (13)	100 % (13)
Alternativna	29 % (4)	100 % (4)	10 % (2)	(0)
Napačna	57 % (8)	38 % (3)	25 % (5)	5 % (1)
Linearna	(0)	(0)	5 % (1)	(0)

Uspešnost reševanja naloge se po skupinah razlikuje. Pričakovano so nalogo najbolje reševali študenti pri Didaktiki fizike 1 (tabela 1). Ti so tematiko večkrat predelali, nazadnje pri Didaktiki fizike 1 na poglobljen način, pri katerem dajemo poudarek predstavitev problema z različnimi upodobitvami, sistematičnosti reševanja, pojasnjevanju in evalvaciji končnih rešitev. Nalogo je pravilno rešilo 72 % študentov, vsi tudi s skladnimi upodobitvami vseh treh diagramov. Blizu tem rezultatom so tudi rezultati dijakov četrtega letnika izbrane gimnazije, tabela 2. Nalogo je pravilno rešilo 65 % dijakov, tudi ti vsi skladno v vseh upodobitvah. Zanimivo je, da so se študenti prvega letnika fizike z 52 % deležem pravih rešitev odrezali slabše od gimnazijcev zaključnega letnika. Vzrok za to je verjetno tako v tem, da gre pri študentih prvega letnika fizike za splošnejšo populacijo, kot je bila tista v zaključnem letniku izbrane gimnazije (z visokim vstopnim pragom), kot tudi, da sodelujoči študenti ne predstavljajo reprezentativnega vzorca študentov svojega letnika. Višja pojavnost alternativne rešitve med študenti fizike pa morda nakazuje tudi to, da so študenti bolj vajeni abstraktnega mišljenja in dajejo manj poudarka konkretnim zgledom in miselnim slikam o njih, zato so nalogo reševali z manj premisleka o podrobnostih. Navedene razlage bi bilo treba preveriti z dodatnimi intervjuji in z razširitvijo raziskave na večje in bolj reprezentativne skupine sodelujočih.

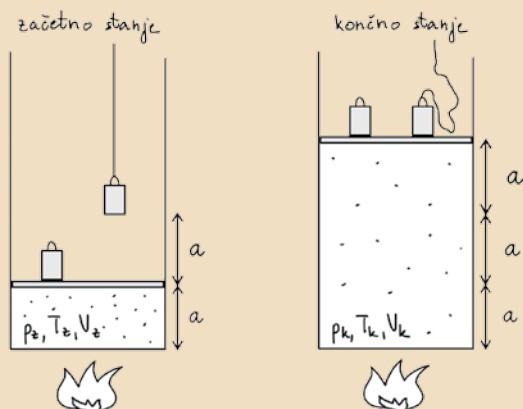
Naš namen je, da bi nalogo uspešno rešila večina dijakov, pri čemer bi naloga še vedno spodbujala tudi dosego višjih kognitivnih ciljev.

3.5 Primernost naloge za gimnazijce

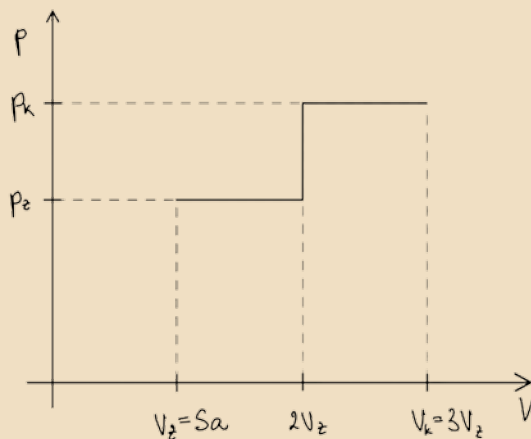
Da bi naloga predstavljala primeren izziv tudi za splošno populacijo gimnazijcev, smo pripravili lažjo različico naloge, drugi delovni list. Naš namen je, da bi nalogo uspešno rešila večina dijakov, pri čemer bi naloga še vedno spodbujala tudi dosego višjih kognitivnih ciljev. Tako v nalogi poleg opisa poskusa podamo tudi njegovo upodobitev na diagramu $p(V)$, dijaki pa morajo narisano odvisnost pojasniti in proces upodobiti še z diagramoma $V(T)$ in $p(T)$. Da bi pridobili informacije o uspešnosti transformacije naloge, smo sodelujoče dijake razdelili v dve naključni skupini – dijaki v prvi so reševali izvirno različico naloge, dijaki v drugi pa lažjo, namenjeno gimnazijcem.

Dvigovanje uteži s segrevanjem idealnega plina

V valju, ki ga zapira pomični bat, imamo idealni plin (glejte sliko, začetno stanje). Na batu je utež. Trenje med batom in steno valja je zanemarljivo. Nad batom je obešena druga enaka utež, kot kaže slika. Pod valj postavimo gorilnik. Po določenem času opazimo, da se je bat dvignil (glejte sliko, končno stanje).



- V zgoraj opisani spremembi se tlak s prostornino spreminja tako, kot je narisano na grafu $p(V)$ na sliki desno. Pojasnite narisano odvisnost.
- Za opisano spremembo in usklajeno z odvisnostjo $p(V)$, ki je predstavljena na grafu pod točko a), narišite še pripadajoča grafa $V(T)$ in $p(T)$. Navedite morebitne predpostavke, ki ste jih sprejeli.



Pričakovano se je pokazalo, da predstavlja izvirna naloga za dijake drugega letnika gimnazije precejšen izziv. Nalogo sta pravilno rešila le dva od 14 dijakov, še nadaljnji štirje so jo rešili v okviru alternativne rešitve (tabela 2). Kar štirje dijaki so poskus predstavili kot izotermno spremembo, dva od teh tudi s skladnimi upodobitvami na vseh treh diagramih. Iz zapisa rešitve ni razvidno, kakšen je bil ob tem njihov razmislek, z dijaki pa tudi nismo opravljali intervjujev. Zanimivo je, da je eden od dijakov pravilno prepoznal in pojasnil izohorni del spremembe, medtem ko je za druge dele poskusa z argumentom »se je bat začel premikati, torej se bosta p in V večala enakomerno,« narisal linearno odvisnost tako tlaka od prostornine kot tudi prostornine in tlaka od temperature.

Veliko uspešnejši so bili dijaki drugega letnika gimnazije pri reševanju lažje različice naloge. Prav vsi dijaki so spremembo plina, predstavljeno na diagramu $p(V)$, ustrezno upodobili tudi na diagramih drugih parov termodinamičnih spremenljivk. Dve tretjini sta upodobili pravilno spremembo, tretjina pa je kljub narisani odvisnosti spreminjanja tlaka s prostornino predpostavila, da tlak ob dotiku druge uteži z batom skoči na novo vrednost (tabela 3). Interpretacija narisane naraščanja tlaka pri konstantnem tlaku je vsaj pri delu dijakov lahko posledica nenatančnosti pri matematičnem izražanju (ne ločijo med grafično upodobitvijo

zvezne funkcije in funkcije s skokom) ali, nasprotno, matematične natančnosti – narisana odvisnost $p(V)$ v izohornem delu namreč ne ustreza pogoju za matematično funkcijo.

Tabela 3: Primerjava uspešnosti reševanja različnih različic naloge med dijaki drugega letnika gimnazije. Pri posameznem tipu rešitve je podan delež dijakov glede na število vseh dijakov v dani skupini, v oklepaju pa še njihovo število. Pri rezultatih za lažjo različico naloge je v stolpcu »Skladnost ...« podan delež dijakov (v oklepaju pa njihovo število), ki so diagrama $V(T)$ in $p(T)$ narisali v skladu s podanim diagramom $p(V)$, ki so ga interpretirali kot ga v pravilni ali kot v alternativni rešitvi. V stolpcu »Razlaga $p(V)$ « je podan delež (oziroma število) dijakov, ki so pojasnili podani diagram v okviru ustreznega tipa rešitve. Delež je računat glede na število dijakov v skupini glede skladnosti diagramov $V(T)$, $p(T)$. Oznake v stolpcih za izvirno različico naloge so enaki kot v tabelah 1 in 2.

Rešitev	Drugi letnik – izvirna ($N = 14$)		Drugi letnik – lažja ($N = 15$)	
	$p(V)$	Skladnost $V(T)$, $p(T)$	Skladnost $V(T)$, $p(T)$	Razlaga $p(V)$
Pravilna	14 % (2)	50 % (1)	67 % (10)	60 % (6)
Alternativna	29 % (4)	100 % (4)	33 % (5)	80 % (4)
Napačna	57 % (8)	38 % (3)	(0)	(0)
Linearna	(0)	(0)		

Pričakovano je delež dijakov, ki uspešno pojasnijo podano odvisnost $p(V)$, manjši od deleža dijakov, ki narišejo pravilna diagrama $V(T)$ in $p(T)$. Pogoj za uspešno pojasnilo je, da je dijak prišel do pravilnega razumevanja procesa. Pri tem mora, tako kot je to potrebno pri reševanju izvirne naloge, poznati splošne lastnosti in spremembe idealnega plina, jih prepoznati v podani situaciji in uporabiti znanje o silah, vse to v zanj novem kontekstu. Je pa za razliko od izvirne različice v lažji različici v pomoč upodobitev odvisnosti $p(V)$.

Tako izohorno spremembo ob polaganju druge uteži pravilno pojasni pet od desetih dijakov, ki so narisali pravilna diagrama $V(T)$ in $p(T)$, in še en dijak, ki je kljub temu diagrama $V(T)$ in $p(T)$ narisal v okviru alternativne rešitve. Preostali dijaki, ki so diagrama $V(T)$ in $p(T)$ narisali v okviru alternativne rešitve, so pravilno pojasnili izobarni spremembi. Vsi drugi dijaki diagrama $p(V)$ niso pojasnili, ampak so ga le opisali. To je lahko tako posledica tega, da ne ločijo med opisom in razlago, kar pogosto opazimo tudi pri študentih, ali pa dijaki spremembe niso pojasnili, ker je niso razumeli. Kljub vsemu pa so tudi ti dijaki pokazali dobro znanje splošnih lastnosti in sprememb idealnega plina. V diagramu $p(T)$ so prepoznali vse izo spremembe in jih bodisi poimenovali ali pa zapisali ustrezna razmerja in odvisnosti med termodinamičnimi spremenljivkami.

Dijaki drugega letnika gimnazije, ki so reševali izvirno nalogo, ne le, da v veliki meri niso prepoznali izobarnih delov v poskusu, ampak večina v opisu poskusa ni prepoznala niti dela spremembe s konstantnim tlakom. Primerjava rešitev izvirne in lažje naloge med dijaki istega razreda pokaže, da ne gre za to, da dijaki poskusa z izobarno spremembo sploh ne bi poznali, ampak ga očitno le ne prepoznajo v novi situaciji. Za to jim manjkajo dodatne izkušnje, predvsem pa sposobnost vizualizacije in povezanost znanja.

Čeprav vzorec sodelujočih gimnazijcev ni velik, na podlagi pridobljenih podatkov ocenjujemo, da je lažja različica naloge po težavnosti primerna za splošno populacijo gimnazijcev. Večini dijakov omogoča, da so pri reševanju uspešni. Pri tem jih primerno spodbuja k uporabi znanja tako v znani kot novi situaciji. S ter jim pomaga izgrajevati sposobnosti vizualizacije in povezovati znanje.

Zaključek

Naloga je razširitev vzorčnega poskusa za spremembo plina pri konstantnem tlaku, zato od dijakov zahteva uporabo znanja v novi situaciji. Za razumevanje naloge sta ključni vizualizacija procesa in uporaba tudi drugih znanj, ne le o idealnem plinu, za kar je potrebna po-

Čeprav vzorec sodelujočih gimnazijcev ni velik, na podlagi pridobljenih podatkov ocenjujemo, da je lažja različica naloge po težavnosti primerna za splošno populacijo gimnazijcev.

vezanost znanja. Z reševanjem naloge lahko preverjamo obstoj navedenih kompetenc ali pa spodbujamo njihov razvoj. Za splošno populacijo gimnazijcev je primernejša lažja različica naloge, saj predstavlja primerno težek izziv, ki ga večina dijakov lahko uspešno reši.

Poleg rešitve so v članku podrobno predstavljene tudi opažene težave, ki preprečujejo, da bi si dijaki ustvarili pravilno miselno sliko predvsem izohornega dela poskusa. Težave izpostavljam, saj njihovo poznavanje predstavlja priložnost, na kateri utemeljimo pomoč dijakom, da bodo lahko sami gradili svoje znanje. Predstavimo tudi nekaj konkretnih odzivov in spodbud, s katerimi učitelj vodi dijake do tega, da si ustvarijo svoje miselne slike in sami pridejo do pravilne rešitve.

Z reševanjem naloge lahko preverjamo obstoj navedenih kompetenc ali pa spodbujamo njihov razvoj.

Zahvala

Avtorica se zahvaljuje Gorazdu Planinšiču za koristne nasvete in Timoteju Maroševiću za pomoč pri izvedbi raziskave.

Viri in literatura

- [1] Kurikulum za vrtce, <https://www.gov.si/assets/ministrstva/MIZS/Dokumenti/Sektor-za-predskolsko-vzgojo/Programi/Kurikulum-za-vrtce.pdf> (28. 3. 2022)
- [2] Učni načrti v osnovni šoli: za spoznavanje okolja, https://www.gov.si/assets/ministrstva/MIZS/Dokumenti/Osnovna-sola/Ucni-nacrti/obvezni/UN_spoznavanje_okolja_pop.pdf (28. 3. 2022); za naravoslovje in tehniko, https://www.gov.si/assets/ministrstva/MIZS/Dokumenti/Osnovna-sola/Ucni-nacrti/obvezni/UN_naravoslovje_in_tehnika.pdf (28. 3. 2022); za naravoslovje, https://www.gov.si/assets/ministrstva/MIZS/Dokumenti/Osnovna-sola/Ucni-nacrti/obvezni/UN_naravoslovje.pdf (28. 3. 2022); za kemijo, https://www.gov.si/assets/ministrstva/MIZS/Dokumenti/Osnovna-sola/Ucni-nacrti/obvezni/UN_kemija.pdf (28. 3. 2022); za fiziko, https://www.gov.si/assets/ministrstva/MIZS/Dokumenti/Osnovna-sola/Ucni-nacrti/obvezni/UN_fizika.pdf (28. 3. 2022)
- [3] Učni načrti za gimnazije: Fizika, http://eportal.mss.edus.si/msswww/programi2022/programi/media/pdf/un_gimnazija/2015/UN-FIZIKA-gimn-12.pdf (28. 3. 2022); Kemija http://eportal.mss.edus.si/msswww/programi2022/programi/media/pdf/un_gimnazija/un_kemija_gimn.pdf (28. 3. 2022)
- [4] van Berkel, B., Pilot, A. in Bulte, A. M. W. (2008). Micro-Macro Thinking in Chemical Education: Why and How to Escape. V: Gilbert, J. K. (ur.) in Treagus, D. F. (ur.), *Models and modeling in science education: Multiple Representations in Chemical Education*. New York: Springer.
- [5] Kautz, C. H., Lovrude, M. E., Herron, P. R. L. in McDermott, L. C. (1999). Research on student understanding of the ideal gas law. *Proceedings, 2nd International Conference of the European Science Education Research Association (ESERA), Kiel, Germany*, 1, 83–85.
- [6] Rozier, S. in Viennot, L. (1991). Students' reasoning in thermodynamics. *Int. J. Sci. Educ.*, 13(2), 159–170.
- [7] <http://sss.fmf.uni-lj.si/> (4. 4. 2022).
- [8] Tranquillo, J. (2008), Kinesthetic Learning In The Classroom Paper presented at 2008 Annual Conference & Exposition, Pittsburgh, Pennsylvania. 10.18260/1-2--3389
- [9] Predmetni izpitni katalog za splošno maturo: Fizika, <https://www.ric.si/mma/m-fiz-2021/2019082714564237/?m=1569590472> (28. 3. 2022)
- [10] van Someren, M. W. (ur.), Reimann, P. (ur.), Boshuizen, H. P. A. (ur.) in de Jong, T. (ur.) (1998). *Learning with Multiple Representations. Advances in Learning and Instruction Series*. New York: Pergamon.