

KOMPETENCE, POVEZANE Z EKSPERIMENTALNIM PRISTOPOM PRI REŠEVANJU NARAVOSLOVNIH PROBLEMOV - PRIMER FIZIKA

Gorazd Planinšič

Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

Uvod

Večkrat slišimo ugibanja o tem, ali pouk naravoslovnih predmetov v naših srednjih šolah dijakom da splošna znanja in kompetence, ki jih bodo potrebovali pri nadaljnjem študiju in v življenju. Rezultati raziskave PISA 2006 so pokazali, da so naravoslovni dosežki slovenskih učencev v mednarodnem merilu razmeroma visoki [1], kar gotovo kaže na kakovost obstoječega šolskega sistema in dobro usposobljenost učiteljev naravoslovnih predmetov. Pričujoči članek podrobneje analizira rezultate raziskave PISA 2006, ki se nanašajo na eksperimentalno delo v šoli in uporabo eksperimentalnega pristopa pri reševanju problemov v naravoslovju. V zaključku je podan pregled tistih delov posodobljenega učnega načrta za fiziko, ki se nanašajo na usvajanje znanj in razvoj kompetenc, povezanih z eksperimentalnim pristopom reševanja problemov.

Članek je osredotočen na primer fizike, ki pa je v marsičem relevanten tudi za kemijo in biologijo.

Vloga poskusov pri pouku naravoslovnih predmetov

Vloga in pomen poskusov pri poučevanju naravoslovnih predmetov se spreminjata tako v času kot v prostoru. Medtem ko so bili demonstracijski poskusi pomemben del razlage naravoslovnih pojavov že v sedemnajstem stoletju [2], so se šolski laboratoriji, v katerih dijaki sami izvajajo poskuse, pojavili šele v devetnajstem stoletju [3]. Konec dvajsetega stoletja je bila v Evropi vloga poskusov, ki jih kažejo učitelji, predvsem predstaviti pojav ali podpreti zakonitosti, medtem ko je v istem obdobju začel dobivati poskusi v

ZDA pa tudi v Avstraliji pomembno vlogo rdeče niti, okoli katere učitelj gradi niz vprašanj, s katerimi spodbuja dijake k aktivnemu sodelovanju. Danes je takšna aktivna vloga poskusov in eksperimentov sestavni del pouka naravoslovnih predmetov v večini naprednejših šolskih sistemov.

Poskuse kot del učenja in poučevanja naravoslovnih predmetov lahko razdelimo v dve skupini: na poskuse, ki jih izvajajo dijaki, in tiste, ki jih izvajajo učitelji. Eksperimentalno delo, ki ga izvajajo dijaki, lahko naprej delimo na eksperimentalno delo pri laboratorijskih vajah (v to kategorijo spadajo tudi terenske vaje), eksperimentalno delo pri projektnem delu in eksperimentalno delo, ki ni del rednega pouka (npr. raziskovalne naloge, domači poskusi, poskusi v centrih znanosti itd.), ki pa prispevajo k boljšemu razumevanju učne snovi. Pri laboratorijskih poskusih je izid poskusa ali opazovanja bolj ali manj vnaprej predviden, izvedba pa podrobno opisana v navodilih. Glavni namen laboratorijskih vaj je usvojitev veščin in znanj, povezanih z merjenji, izvedbami postopkov, obdelavo in s prikazom rezultatov ter povezovanje eksperimentalnih rezultatov s teoretičnim znanjem. Pri projektnem delu rešujejo dijaki (praviloma v skupinah) praktične naloge odprtega tipa. Pri tovrstnih nalogah je jasno definiran cilj naloge, pot do cilja pa morajo poiskati dijaki sami [4]. Sestavljaavec projektne naloge pozna možno rešitev, ki pa je pogosto drugačna od tiste, ki jo izberejo dijaki. Organizacija in izvedba projektnega dela je zahtevnejša kot izvedba laboratorijskega dela, toda ob projektnem delu razvijajo dijaki pomembna procesna znanja in kompetence, ki jih ob laboratorijskem delu nimajo možnosti razviti.

Poskuse, ki jih kažejo učitelji, lahko delimo na demonstracijske, interaktivne in motivacijske eksperimente (seveda lahko najdemo tudi takšne, ki hkrati spadajo v dve ali celo vse tri od naštetih kategorij).

Demonstracijski eksperimenti so sestavni del učiteljeve razlage, največkrat kot podpora teoriji, ilustracija pojavov ali prikaz primera iz tehnologije. Interaktivni eksperimenti so sestavni del aktivnih oblik pouka. Njihova osrednja vloga je učenje strategij reševanja naravoslovnih problemov, razvijanje kritičnega mišljenja, spodbujanje diskusije in konfrontacije različnih mnenj [5, 6]. Običajno so sestavljeni iz premišljenih zaporedij napovedi, poskusov, vprašanj in razlag, ki spodbujajo znanstveni pristop pri reševanju problemov in interakcijo med dijaki ter med dijaki in učiteljem. Motivacijski poskusi so v glavnem namenjeni povečanju zanimanja za obravnavano snov ali za celoten predmet in so največkrat predstavljeni na začetku šolskega leta (npr. na informativnem dnevu), lahko pa tudi kot uvodna motivacija na začetku poglavij. Vloga poskusov pri pouku naravoslovnih predmetov je ključnega pomena pri razvijanju sposobnosti formalnega mišljenja. Znano je namreč,

da je od dijakov, ki nadaljujejo študij na univerzah, le tretjina sposobna formalnega razmišljanja brez navezave na konkretno razmišljanje [7]. Poskusi lahko torej predstavljajo most med konkretnim in abstraktnim, seveda ob primerni integraciji v aktivne metode poučevanja.

Kje v rezultatih raziskave PISA 2006 se nahajajo podatki, ki govorijo o eksperimentalnem pristopu pri reševanju problemov?

Da bi lahko iz rezultatov raziskave PISA 2006 razbrali podatke o uspešnosti naših dijakov pri reševanju problemov, ki so vezani na eksperimentalne pristope, si pogledajmo, kje v raziskavi se nahajajo podatki, ki so relevantni za to področje [1]. Tovrstne podatke najdemo tako med nalogami, ki so preverjale *kompetence*, kot med nalogami, ki so preverjale *znanje* po vsebinskih področjih. Kompetence, ki jih dijaki razvijajo ob reševanju problemov in se nanašajo na eksperimentalne pristope, je PISA 2006 preverjala v kategoriji Uporaba naravoslovno-znanstvenih podatkov. Znanja, ki jih dijaki pridobijo ob reševanju takšnih problemov, pa je raziskava preverjala v kategoriji Znanje o naravoslovju, ki je nadalje razdeljena na podkategoriji Znanstveno raziskovanje in Znanstvena razlaga. Iz opisa znanj, ki jih obsegata podkategoriji, je razviden pomen, ki ga daje PISA 2006 eksperimentalnim pristopom reševanja naravoslovnih problemov (glej *Tabelo 1*). Podkategoriji sta med seboj povezani, saj so znanstvene razlage rezultat znanstvenega raziskovanja.

Tabela 1: Podkategoriji Znanstveno raziskovanje in Znanstvena razlaga kategorije Znanje o naravoslovju v raziskavi PISA 2006 [8]

Znanstveno raziskovanje
Izvor (npr. radovednost, znanstvena vprašanja)
Namen (npr. pridobivanje dokazov, ki pomagajo odgovoriti na znanstvena vprašanja, veljavne zamisli, modeli in teorije, ki usmerjajo raziskovanje)
Eksperimenti (npr. različna vprašanja terjajo različno načrtovanje znanstvenih raziskav)
Tipi podatkov (npr. kvantitativni /merjenje/, kvalitativni /opazovanje/)
Merjenje (npr. nezanesljivost, ponovljivost, odstopanja, točnost/natančnost v opremi in postopkih)
Značilnosti rezultatov (npr. empirični, preizkušeni, preverljivi, ponarejeni)
Znanstvene razlage
Tipi (npr. hipoteza, teorija, model, zakon)
Sestava (npr. predstavitev podatkov; vloga razpoložljivega, veljavnega znanja in novih dokazov, kreativnost in domišljija, logika)
Pravila (morajo biti npr. logično dosledna; temeljiti na preverjenih dejstvih in zgodovinskem ter veljavnem znanju)
Rezultati (prinašajo npr. novo znanje, nove metode, nove tehnologije, vodijo k novim vprašanjem in raziskavam)

Primerjava skupnega dosežka slovenskih dijakov z dosežki na posameznih področjih

Iz primerjav skupnega dosežka pri naravoslovju z dosežki na posameznih naravoslovnih področjih je razvidno, da so se slovenski dijaki slabše odrezali prav na zgoraj omenjenih področjih, tj. Uporaba naravoslovno-znanstvenih podatkov (3 točke nižje od skupnega dosežka) in Znanje o naravoslovju (9 točk nižje od skupnega dosežka) (glej *Slika 1*).

Dosežek pri naravoslovju	Razlika med dosežkom na skupni lestvici in dosežkom na posamezni lestvici.							
	Kompetence			Vsebinska področja				
	Prepoznavanje naravoslovno-znanstvenih vprašanj	Znanstveno razlaganje pojavov	Uporaba naravoslovno-znanstvenih podatkov	Znanje o naravoslovju	Sistemi Zemlje in vesolja	Živi sistemi	Fizikalni sistemi	
SLOVAKSKA	400	-13	13	-13	-13	13	11	13
Slovenija	519	-2	4	-3	-9	15	-2	12
Srbija	436	-5	5	-11	-11	5	14	0

Za lažjo predstavo o tem, katere kompetence in znanja so tista, ki našim dijakom v povprečju primanjkujejo, pogledjmo dva primera vprašanj [9]. Pri prvem so se naši dijaki odrezali znatno slabše, pri drugem pa znatno boljše, kot je povprečje OECD.

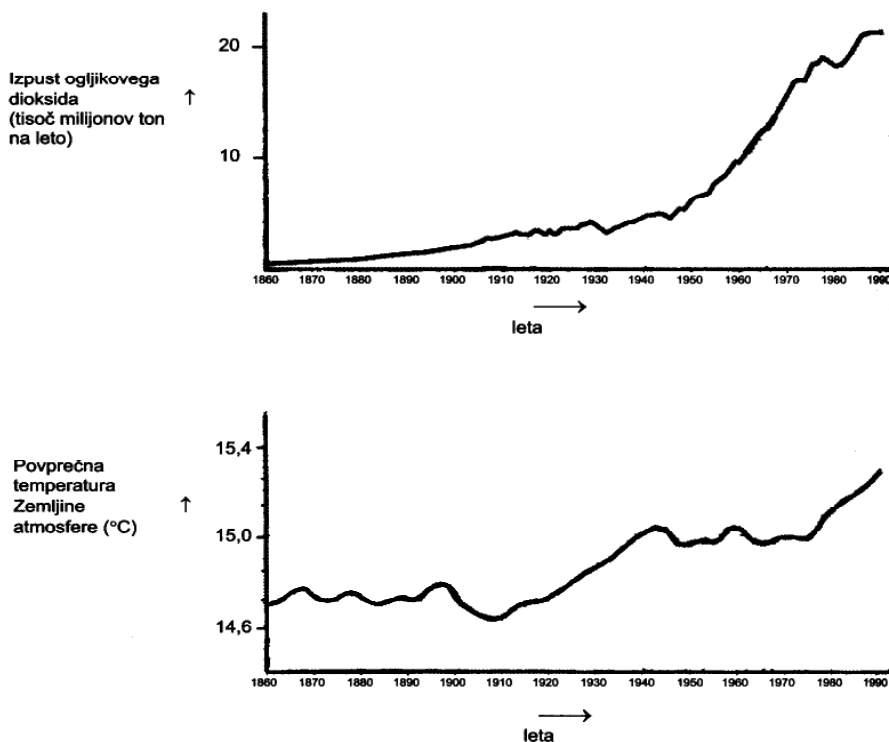
Prvi primer

Naloga: Učinek tople grede, vprašanje: S114Q03

Dijaka Andreja je začelo zanimati, ali je med povprečno temperaturo Zemljine atmosfere in izpustom ogljikovega dioksida na Zemlji morebiti povezava.

V knjižnici je odkril spodnja grafa.

Andrej je na podlagi teh dveh grafov sklepal, da je povišanje povprečne temperature Zemljine atmosfere zagotovo posledica povišanja izpusta ogljikovega dioksida.



Vprašanje: Kaj v teh dveh grafih potrjuje Andrejevo sklepanje?

.....

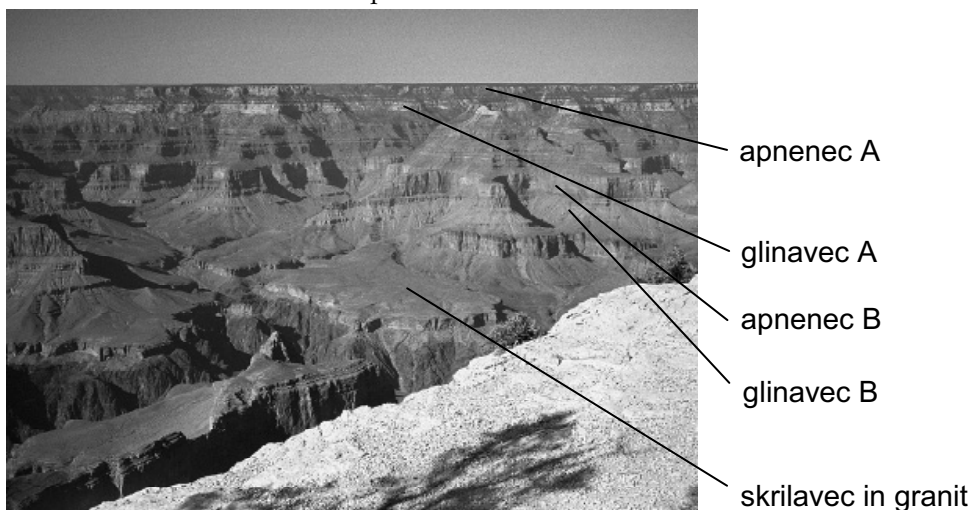
.....

Drugi primer

Naloga: Veliki kanjon, vprašanje: S426Q03

Veliki kanjon (Grand Canyon) leži sredi puščave v ZDA. Je zelo široka in globoka soteska, sestavljena iz več plasti kamnin. V preteklosti so se zaradi premikov v Zemljini skorji te plasti dvignile. Veliki kanjon je danes ponekod globok kar 1,6 km. Po njegovem dnu teče reka Kolorado.

Spodaj je slika Velikega kanjona, posneta z južnega roba. V stenah kanjona lahko vidiš različne plasti kamnin.



Vprašanje: V Velikem kanjonu se temperatura spreminja od manj kot 0 °C do več kot 40 °C. Čeprav je kanjon v puščavi, včasih v kamnitih razpokah najdemo vodo. Kako te temperaturne spremembe in voda v kamnitih razpokah pospešijo razpadanje kamnine?

- A Voda, ki zmrzuje, raztaplja tople kamnine.
- B Voda trdno poveže kamnino.
- C Led zgladi površino kamnine.
- D Voda, ki zmrzuje, se v kamnitih razpokah širi.

Prvi primer spada v skupino vprašanj, ki so preverjala sposobnost uporabe naravoslovno-znanstvenih podatkov. Na to vprašanje je pravilno odgovorilo 42 % slovenskih dijakov, kar je za 12 odstotnih točk slabše od povprečnega dosežka OECD, za 5 odstotnih točk slabše od dosežka avstrijskih in za 25 odstotnih točk slabše od dosežka finskih dijakov. Kot pravilni so bili priznani vsi tisti odgovori, v katerih so dijaki bodisi omenili povišanje (povprečne) temperature in tudi povečanje izpusta CO₂ ali pozitivno zvezo med temperaturo in izpustom CO₂ (z izrazi kot so 'pozitivna zveza', 'podobna oblika', 'sorazmerje' itd).

Naloga je zahtevala od dijakov, da razmislijo, kateri podatki na grafih potrjujejo Andrejevo sklepanje (ne glede na to, ali je sklepal pravilno ali ne!). Primer nakazuje na to, da imajo naši dijaki pomanjkanje kompetenc, izkušenj in znanj, ko gre za kritično mišljenje, interpretacijo meritev, povezovanje vzrokov in posledic ter opis znanstvenega opažanja.

Drugi primer spada v skupino vprašanj, ki so preverjala sposobnost znanstvenega razlaganja pojavov. Na to vprašanje je pravilno odgovorilo 81 % slovenskih dijakov, kar je za 13 odstotnih točk boljše od povprečnega dosežka OECD, za 11 odstotnih točk boljše od dosežka avstrijskih in za 8 odstotnih točk boljše od dosežka finskih dijakov. Pravilni odgovor je odgovor D.

Primer pokaže, da so naši dijaki dobri pri poznavanju ključnega naravoslovnega znanja in teorij, v kar so običajno usmerjeni tradicionalni načini poučevanja naravoslovnih predmetov.

Kje v Vprašalniku za dijake in dijakinje se nahajajo podatki, ki govorijo o eksperimentalnem pristopu pri reševanju naravoslovnih problemov v naših šolah?

Poleg reševanja nalog in odgovarjanja na vprašanja o odnosu do naravoslovja so dijaki v okviru raziskave PISA 2006 v ločenem vprašalniku odgovarjali tudi na vprašanja, ki so se nanašala na njihove osebne okoliščine, učne navade, motivacijo za učenje, zaznavanje učnega okolja, lastne učinkovitosti pri reševanju naravoslovnih nalog in sposobnosti za učenje [1]. Vprašanja, ki se najbolj navezujejo na eksperimentalni pristop pri naravoslovnih predmetih, spadajo v sklop z naslovom »Kako pogosto pri pouku naravoslovnih predmetov, ki jih imaš na urniku, potekajo naslednje dejavnosti?«. Sklop obsega 17 vprašanj, v *Tabeli 2* pa so prikazani deleži posameznih odgovorov na 8 izbranih vprašanj iz omenjenega sklopa. Ker sta pomen in vloga praktičnega dela v poklicnih šolah znatno drugačna kot v gimnazijah, so v pričujoči analizi upoštevani le odgovori dijakov iz gimnazij (torej iz splošnih, tehniških, umetniških, klasičnih in ekonomskih gimnazij).

Tabela 2: Frekvence odgovorov na izbrana vprašanja iz Vprašalnika za dijake in dijakinje (v predstavljeno analizo so bili vključeni le odgovori gimnazijcev).

	Pri vseh urah	Pri večini ur	Pri nekaterih urah	Nikoli ali skoraj nikoli
Dijaki v laboratoriju ali naravoslovni učilnici izvajamo praktične poskuse.	8 %	12 %	74 %	7 %
Dijaki moramo sestaviti načrt laboratorijskega poskusa za raziskovanje naravoslovnega problema.	2 %	9 %	42 %	47 %
Dijaki lahko sami pripravimo poskus.	4 %	13 %	43 %	40 %
Dijaki moramo narediti raziskavo, s katero preverimo svoje zamisli.	3 %	14 %	38 %	46 %

Profesor razloži, kako lahko naravoslovno znanje uporabimo pri različnih pojavih.	11 %	40 %	39 %	11 %
Profesor nam s pomočjo naravoslovja pomaga razumeti svet zunaj šole.	8 %	30 %	47 %	15 %
Profesor jasno razloži, kako pomembno je naravoslovno znanje v našem življenju.	8 %	33 %	41 %	17 %
Profesor s primeri uporabe tehnologije pokaže, kako je naravoslovje pomembno za družbo.	5 %	22 %	45 %	28 %

Analiza odgovorov v *Tabeli 2* kaže, da skoraj polovica dijakov v gimnazijah nikoli ali skoraj nikoli ni vključena v samostojno eksperimentalno delo, pri katerem bi morali sami načrtovati poskus, pripraviti poskus ali narediti raziskavo, s katero bi preverili svoje zamisli. Iz odgovorov lahko tudi razberemo, da po mnenju dijakov več kot polovica učiteljev naravoslovnih predmetov le pri nekaterih urah, ali še to ne, predstavi povezavo med učnimi vsebinami in svetom zunaj šole ali pomembnost naravoslovnega znanja in tehnologije za družbo. Med ugotovitvama obstaja povezava, saj je znano, da lahko naravoslovne vsebine iz učnega načrta učinkovito povežemo z vsakdanjim življenjem in s tehnologijo prav z eksperimentalnimi pristopi, ki vključujejo aktualne tematike ter številne predmete in materiale, ki so plod sodobne tehnologije.

Samostojno in ustvarjalno eksperimentalno raziskovalno delo v šoli pa pozitivno vpliva tudi na samopodobo dijakov glede uspešnosti pri na-

ravoslovnih predmetih (glej *Tabelo 3*). Korelacije sicer niso velike, so pa značilne in zgovorne.¹

Tabela 3: Korelacije med načrtovanjem poskusov (krepko tiskana trditev) in pozitivno samopodobo ter motivacijo pri naravoslovnih predmetih.

Dijaki moramo sestaviti načrt laboratorijskega poskusa za raziskovanje naravoslovnega problema.	Korelacija
Naravoslovne predmete se učim, ker vem, da so zame koristni.	0,13
Učenje naravoslovnih predmetov je zame vredno, ker bo to znanje izboljšalo moje možnosti za napredovanje v poklicu.	0,13
Nove vsebine pri naravoslovnih predmetih bi se zlahka naučil/-a.	0,16
Naravoslovni predmeti so zame lahki.	0,12
Pri pouku naravoslovnih predmetov snov dobro razumem.	0,13

Nekoliko večja pozitivna vzročna povezanost se kaže med učiteljevo sposobnostjo povezovanja učnih vsebin s svetom zunaj šole in spoznanjem dijakov o pomembnosti naravoslovja in tehnologije za njihov bodoči poklic in življenje (*Tabela 4*).

Tabela 4: Korelacije med sposobnostjo profesorja za povezovanje učnih vsebin s svetom zunaj šole (krepko tiskana trditev) in motivacijo za učenje naravoslovnih predmetov ter izbiro poklica, ki je povezan z naravoslovjem.

Profesor nam s pomočjo naravoslovja pomaga razumeti svet zunaj šole.	Korelacija
Pri naravoslovnih predmetih se je vredno potruditi, ker mi bo to pomagalo pri delu, ki ga želim opravljati kasneje v življenju.	0,26
Kar se naučim pri naravoslovnih predmetih, je zame pomembno, ker bom to potreboval/-a pri svojem nadaljnjem šolanju.	0,26
Naravoslovne predmete se učim, ker vem, da so zame koristni.	0,29
Učenje naravoslovnih predmetov je zame vredno, ker bo to znanje izboljšalo moje možnosti za napredovanje v poklicu.	0,26
Pri naravoslovnih predmetih se bom naučil/-a veliko stvari, ki mi bodo pomagale najti zaposlitev.	0,25

Kje v posodobljenem učnem načrtu za fiziko za gimnazije najdemo možnost za vključevanje eksperimentalnih pristopov v pouk?

V letu 2006 je bila na državni ravni imenovana krovna Komisija za posodabljanje učnih načrtov za vse predmete na douniverzitetni ravni izobraževanja. Ministrstvo je v sodelovanju z Zavodom RS za šolstvo imenovalo tudi predmetne komisije, sestavljene iz svetovalcev Zavoda, učiteljev in predstavnikov fakultet, ki so pripravile predloge sprememb posameznih učnih načrtov za osnovno šolo in gimnazijo. Pouk po posodobljenih uč-

nih načrtih se je začel izvajati v gimnazijah v šolskem letu 2008/2009, v osnovnih šolah pa se bo v šolskem letu 2009/2010.

Sestavljavci posodobljenega učnega načrta za fiziko (kratko posodobljeni UN) so dali velik poudarek na vključevanje eksperimentalnih pristopov v pouk fizike in integraciji takšnih pristopov v različne aktivne oblike pouka in učenja. Posodobljeni UN narekuje razvijanje kompetenc in znanj ob eksperimentalnih pristopih in eksperimentlanem praktičnem delu v okviru naslednjih enot učnega načrta (navedeni so citati iz posodobljenega UN):

V okviru *Ciljev*

Dijaki ...

- ... se učijo natančno opazovati ... analizirati pojave in procese,
- ... znajo razpravljati o svojih eksperimentalnih izkušnjah,
- ... znajo načrtovati preproste poskuse ter jih tudi samostojno izvesti.

V okviru *Pričakovanih dosežkov po 3. letniku*, poglavje Procesna znanja in veščine

- Obvladovanje osnovnih veščin eksperimentiranja
- Iskanje, obdelava in vrednotenje podatkov iz različnih virov
- Zmožnost predstavljanja projektov, preprostih raziskav, lastnih idej

V okviru *Didaktičnih priporočil*

Izdatneje vključevati sodobne oblike in metode dela, kot so:

- ... samostojno delo in delo v skupinah,
- ... problemski pouk,
- ... projektno učno delo,
- ... sodobne eksperimentalne vaje dijakov,
- ... računalniške meritve, terenske vaje.

V okviru samostojnega poglavja *Eksperimentalno delo*

- Tradicionalne eksperimentalne vaje ... nadomeščati s sodobnejšimi
- Razvijanje samostojnega opazovanja, razmišljanja, sklepanja in preprostega raziskovanja
- Usvajanje nove učne snovi ob eksperimentiranju
- Uporaba sodobnih merilnih pripomočkov itd.

V okviru samostojnega poglavja o *Aktivnih oblikah in metodah pouka*

- Nove oblike pouka in pristopi, ki spodbudijo aktivno sodelovanje vseh učencev
- Dijaki aktivno sodelujejo ... v diskusiji, z razmišljanjem ali izvajanjem poskusov.
- Dijaki samostojno ali v skupinah rešujejo problemske naloge ali izvajajo eksperimente.
- Med dijaki poteka izmenjava mnenj ter konfrontacija alternativnih predstav in idej.

Kot je razvidno iz predstavljenih izsekov iz posodobljenega učnega načrta za fiziko, ta omogoča ustvarjanje pogojev, v katerih bi lahko dosegli izboljšanje manjkajočih znanj in kompetenc, toda le, če bodo zagotovljeni ustrezna sredstva in čas za razvoj gradiv in izobraževanje učiteljev.

Zaključek

Rezultati raziskave PISA 2006 so pokazali, da so naravoslovni dosežki slovenskih učencev v mednarodnem merilu v povprečju razmeroma visoki, da pa našim dijakom primanjkuje znanj in kompetenc, povezanih z eksperimentalnim pristopom pri reševanju naravoslovnih problemov. Podrobna analiza reševanja nalog s področja naravoslovja kaže na to, da so naši dijaki dobri pri poznavanju ključnega naravoslovnega znanja in teorij, v kar so običajno usmerjeni tradicionalni načini poučevanja naravoslovnih predmetov, kaže pa tudi na določeno pomanjkanje kompetenc, izkušenj in znanj, ko gre za interpretacijo podatkov, kritično mišljenje, povezovanje vzrokov in posledic ter opis znanstvenega opažanja. Te ugotovitve se ujemajo z analizo Vprašalnika za dijake in diakinje (prav tako del raziskave PISA 2006), ki pokaže, da je le manjši del dijakov v gimnazijah vključen

v samostojno eksperimentalno delo, pri katerem morajo sami načrtovati poskus in preveriti svoje zamisli, in da po mnenju dijakov učitelji naravoslovnih predmetov le redko uspejo pokazati povezanost učnih vsebin z vsakdanjim življenjem. Iz podrobne analize je tudi razvidno, da obstaja pozitivna vzročna zveza med omenjenima aktivnostima in motivacijo dijakov za učenje naravoslovnih predmetov ter izbiro poklicev, ki so povezani z naravoslovjem. Nedavna posodobitev učnega načrta za fiziko omogoča ustvarjanje pogojev, v katerih bi lahko dosegli izboljšanje manjkajočih znanj in kompetenc, toda le, če bodo zagotovljeni ustrezna sredstva in čas za razvoj gradiv in izobraževanje učiteljev.

Opombe

- [1] Korelacija izraža statistično določljiv odnos med dvema pojavoma. Korelacijski koeficient lahko zavzame vrednost med -1 in 1 (na primer, če je korelacijski koeficient 0 , pojava nista povezana; 1 , povečanje pri prvem pojavu vselej povzroči povečanje pri drugem pojavu; -1 , povečanje pri prvem pojavu vselej povzroči zmanjšanje pri drugem pojavu).

Literatura

- [1] *Nacionalno poročilo PISA 2006: naravoslovni, bralni in matematični dosežki slovenskih učencev*, (uredile M Štraus, M Repež, S Štigl), 1. izd., Ljubljana: Nacionalni center PISA, Pedagoški inštitut, 2007.
- [2] C Taylor, *The art and science of lecture demonstrations*, Adam Hilger, Bristol and Philadelphia, 1988.
- [3] *Practical work in school science – which way now?*, Ed.: J Wellington, Routledge, New York, 1998.
- [4] G Planinšič, »Project laboratory for first-year students«, *Eur. J. Phys.*, 28 (2007) S71-S82.
- [5] A V Heuvelen, E Etkina, *The Physics Active Learning Guide*, Adison Wesley, San Francisco, 2006.
- [6] D Sokoloff, R Thornton, *Interactive Lecture Demonstrations*, John Willey & sons inc, 2004.
- [7] Renner J W 1976 »Significant physics content and intellectual development« *Phys. Educ.* 11 458
- [8] *Izhodišča merjenja naravoslovne pismenosti v raziskavi PISA 2006*, dopolnjena izdaja (priredile in uredile: M Repež, A Bačnik, M Štraus, prevod K Dobrila), Ljubljana, Nacionalni center PISA, Pedagoški inštitut, 2008.
- [9] *PISA 2006: naloge iz naravoslovne pismenosti*, (uredila M Repež, prevod K Dobrila et al) 1. izd., Ljubljana: nacionalni center PISA, Pedagoški inštitut, 2008.