

PISA 2025 – Konceptualni okvir prirodoslovne pismenosti

Nacionalni centar za vanjsko vrednovanje obrazovanja

Zagreb, rujan 2026.

PREVODITELJI:

Petra Bušelić, Elena Gotal, Tea Mendek

LEKTORICA:

Mirjana Gašperov

Ovaj tekst izvorno je objavila na engleskom jeziku Organizacija za ekonomsku suradnju i razvoj (OECD) u okviru publikacije **OECD (2026), *PISA 2025 Assessment and Analytical Framework*, PISA, OECD Publishing, Paris**, <https://doi.org/10.1787/86c36975-en>. Ovaj prijevod nije izradio OECD i ne bi se trebao smatrati službenim prijevodom OECD-a. Za kvalitetu prijevoda i njegovu usklađenost s izvornim tekstom isključivo su odgovorni autori prijevoda. U slučaju bilo kakvih neslaganja između izvornog teksta i prijevoda, samo se izvorni tekst smatra valjanim.



Ova publikacija distribuira se pod uvjetima međunarodne autorskopravne licence Creative Commons (Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 IGO - CC BY-NC-SA 3.0 IGO, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/>) kojom se dozvoljava svaka nekomercijalna uporaba, umnažanje, redistribucija i prilagodba u bilo kojem mediju ili formatu bez daljnjih ograničenja sve dok se na primjeren način daje zasluga autoru/autorima i izvoru/izvorima, dok se navode poveznice na licencu Creative Commons, dok se navodi koje su izmjene napravljene te dok se izmijenjeno ili prilagođeno djelo dijeli pod istim uvjetima.

SADRŽAJ

Zahvale	1
I. Uvod	3
II. Zašto je prirodoslovlje važno?	4
III. Ishodi prirodoslovnoga obrazovanja za 15-godišnjake	8
Prirodoslovne kompetencije: Razrada	13
IV. Organizacija domene	21
Konteksti za zadatke	21
Prirodoslovno znanje	24
Prirodoslovne kompetencije: opis postignuća	30
Znanstveni identitet	34
V. Ispitne značajke	41
Kognitivne razine	41
Obilježja ispita	44
Vrste zadataka	46
Struktura ispita	47
Ljestvice postignuća	48
Izješćivanje o trendovima	48
VI. Znanosti o okolišu	51
Uvod	51
Sposobnost djelovanja u antropocenu	53
Kompetencije za djelovanje u antropocenu	54
Kompetencije za djelovanje u antropocenu na djelu	55
Ljestvica ekološke pismenosti	56
Ispitivanje za ljestvicu ekološke pismenosti	58
VII. Primjeri zadataka iz prirodoslovlja	59
VIII. Literatura	60

ZAHVALE

Ovaj dokument nastao je u okviru konzorcija podugovaratelja PISA 2025 *Core 2*, kojim upravlja Oxford University Press (OUP). Dvije osnovne stručne skupine, Stručna skupina za prirodoslovlje (SEG) i Stručna skupina za znanosti o okolišu (ESEG), nadopunjene su dvjema recenzentskim skupinama: Proširenom stručnom skupinom za prirodoslovlje i Vanjskom stručnom skupinom za prirodoslovlje.

Stručna skupina za prirodoslovlje

Jonathan Osborne, Sveučilište Stanford, SAD (voditelj)
Doris Jorde, Sveučilište u Oslu, Norveška
Joe Krajeik, Michigan State University, SAD
Yew Jin Lee, Nacionalni institut za obrazovanje, Singapur
Knut Neuman, Institut za matematičko i prirodoslovno obrazovanje u Leibnizu, Njemačka
Nacira Ramia, Sveučilište San Francisco de Quito, Ekvador
Russell Tytler, Sveučilište Deakin, Australija
Young Shin Park, Sveučilište Chosun, Južna Koreja

Stručna skupina za znanosti o okolišu

Peta White, Sveučilište Deakin, Australija (voditeljica)
Nicole Ardoin, Sveučilište Stanford, SAD
Chris Eames, Sveučilište u Waikatu, Novi Zeland
Martha Monroe, Sveučilište u Floridi, SAD

Proširena stručna skupina za prirodoslovlje

Marilar Jiménez Aleixandre, Sveučilište Santiago de Compostela, Španjolska
Jan Alexis Nielsen, Sveučilište u Kopenhagenu, Danska
Louise Archer, University College London, UK
Maurice Cheng, Sveučilište u Waikatu / Sveučilište u Hong Kongu
Cary Sneider, Portland State University, SAD
Charles Tracy, Institut za fiziku, UK
Erin Furtak, Sveučilište u Koloradu, Boulder, SAD

Vanjska stručna skupina za prirodoslovlje

Marianne Cutler, Udruženje za prirodoslovno obrazovanje (*The Association for Science Education*), UK;
Peter Finegold, Kraljevsko društvo (*The Royal Society*), UK
Danièle Gibney, Kraljevsko društvo za kemiju (*Royal Society of Chemistry*), UK
Florence Le Hebel, Sveučilište u Lyonu, Francuska
Gia Khatishashvili, Nacionalni ispitni centar, Gruzija

Oleksandr Kozlenko, Institut za pedagogiju Nacionalne akademije pedagoških znanosti,
Ukrajina

Birgit Neuhaus, Sveučilište Ludwig-Maximilians u Münchenu, Njemačka

Monika Olšáková, Projekt za promicanje pisanja i kritičkog mišljenja, Češka Republika

Magnus Oskarsson, Sveučilište Mid Sweden, Švedska

Insa Melle, Sveučilište u Dortmundu, Njemačka

Jolanta Pauliukienė, Nacionalna agencija za obrazovanje, Litva

Annette Upmeier zu Belzen, Sveučilište Humboldt, Njemačka

Oxford University Press

Dave Leach (voditelj projekta)

Alexandra Tomescu (voditeljica za sadržaje iz prirodoslovlja)

Amie Hewish (voditeljica za sadržaje iz prirodoslovlja)

Uma S (konzultantica za razvoj ispitnog okvira i ispita)

Akansha Yadav (izrađivač zadataka)

Dr Aarnout Brombacher (pomoćni koordinator)

Susie Fyvie (koordinatorica projekta)

I. UVOD

Temeljni je cilj PISA istraživanja ispitati u kojoj su se mjeri učenici sposobni koristiti svojim znanjem i razumijevanjem, što se očituje kroz njihovu sposobnost da iskažu određen skup kompetencija. Kompetencije koje se usvajaju kroz obrazovanje o prirodoslovlju smatraju se ključnim obrazovnim ishodom (Rychen i Salganik, 2003), a definiraju se kao sposobnost (inter)aktivne upotrebe prirodoslovnoga znanja i podataka – drugim riječima, prirodoslovna pismenost jest „sposobnost bavljenja pitanjima i idejama iz područja prirodoslovlja kao promišljajući građanin”, koji na temelju njih može donositi informirane odluke. U ovome dokumentu taj je ishod definiran kroz tri specifične kompetencije koje predstavljaju glavni cilj prirodoslovnoga obrazovanja za sve učenike. Stoga prirodoslovne kompetencije koje čine temelj međunarodnoga ispitivanja 15-godišnjaka 2025. godine odgovaraju na pitanje: *Što je ono važno što mladi trebaju znati, što cijene i što su sposobni učiniti u situacijama koje zahtijevaju uporabu prirodoslovnoga i tehnološkoga znanja?*

Svrha ovoga dokumenta jest opisati i obrazložiti konceptualni okvir na kojemu se temelje instrumenti za ispitivanje ishoda prirodoslovnoga obrazovanja, odnosno glavne domene u istraživanju PISA 2025. U prethodnim konceptualnim okvirima PISA-e za vrednovanje prirodoslovlja (OECD, 1999, 2003, 2006, 2016) razrađen je koncept prirodoslovne pismenosti kao osnove za vrednovanje. U ovome dokumentu ishodi prirodoslovnoga obrazovanja definirani su kroz tri kompetencije koje bi pojedinac trebao pokazati, a koje čine temelj ispitivanja (Wiliam, 2010). Stručna radna skupina za razvoj konceptualnoga okvira istraživanja PISA 2025 doradila je i proširila kompetencije definirane okvirom istraživanja PISA 2015.

II. ZAŠTO JE PRIRODOSLOVLJE VAŽNO?

Prirodoslovno je obrazovanje važno. S jedne strane, tu je ekonomski imperativ s kojim se suočavaju sve zemlje OECD-a da osiguraju obrazovanje budućih generacija znanstvenika. Međutim, taj cilj ne opravdava osnovno prirodoslovno obrazovanje za sve učenike od vrtićke dobi do 15 ili više godina starosti. Prirodoslovlje zaslužuje svoje mjesto u kurikulumu zajedno s matematičkom i čitalačkom pismenosti zbog dvaju temeljnih razloga. Kao prvo, znanje iz područja prirodoslovlja predstavlja veliko kulturno i intelektualno postignuće. U razdoblju nešto duljem od 400 godina naše razumijevanje živoga i neživoga svijeta potpuno se promijenilo, unaprijedivši opće blagostanje i zdravlje na načine koji su u prošlosti bili potpuno nezamislivi. Znanost je iz temelja promijenila naše razumijevanje svemira u kojemu živimo, prirode ljudskoga tijela, materije koja nas okružuje, načina na koji smo stvoreni, prijenosa bolesti i njihove prevencije te još mnogo toga. Upravo se obrazovanjem to kulturno postignuće prenosi na buduće generacije.

Oni koji imaju iskustvo prirodoslovnoga obrazovanja trebali bi imati razvijenu svijest o tome kakvo intelektualno postignuće znanost predstavlja. Trebali bi moći navesti glavne znanstvene ideje koje su trajno promijenile našu kulturu i objasniti zašto. Osim toga, trebali bi moći istaknuti transcendentálnu prirodu prirodoslovnoga znanja i pojava koje ono može objasniti; diviti se ljepoti toga znanja i prepoznati da se radi o intelektualnoj kreativnosti koja ne zamišlja svijet onakvim kakav on izgleda, već kao onaj koji često prkosi zdravomu razumu (Wolpert, 1992). Primjer je toga ideja da izmjenu dana i noći uzrokuje okretanje Zemlje, a ne Sunca, ili ideja da izgledamo poput svojih roditelja jer svaka stanica u našem tijelu nosi kemijski kodiranu poruku koja omogućuje našu replikaciju.

Kao drugo, poznavanje i razumijevanje znanosti te načina na koji ona stvara pouzdano znanje ključno je za građane od kojih se očekuje donošenje informiranih osobnih odluka o različitim temama poput zdravlja i okoliša kako bi mogli djelovati unutar svojih obitelji, lokalne zajednice i širega društva. To je posebno važno u 21. stoljeću kada se čovječanstvo suočava s neizvjesnom budućnosti dok ulazi u antropocen, geološku epohu u kojoj ljudski utjecaj značajno mijenja Zemljine sustave, a znanja iz prirodoslovlja postaju važna na individualnoj, regionalnoj i globalnoj razini dok nastojimo reagirati na te utjecaje.

Upravo su prirodne znanosti te koje nam govore da je život kakav poznajemo u krizi i koje nas upozoravaju na klimatske promjene i smanjenje bioraznolikosti – možda najvažnija pitanja našega vremena – što utječe na sve vrste, na mnoge nepovratno, i ubrzava šesto masovno izumiranje (Dirzo i sur., 2014). Izazovi s kojima se suočavamo kao populacija od 7 milijardi ljudi s ograničenim prirodnim resursima jesu potreba za čistom vodom, opskrba hranom, suzbijanje bolesti i njihova prevencija, održiva proizvodnja energije i mnogi drugi koji uglavnom proizlaze iz klimatskih promjena koje je uzrokovao čovjek (IPCC, 2021). Nošenje sa svim tim izazovima svakako će zahtijevati velik doprinos prirodnih znanosti i tehnologije, kao i drugih područja ljudskoga znanja.

Škola i obrazovanje imaju ključnu ulogu u pripremi mladih ljudi za suočavanje s navedenim izazovima, razvijajući njihovu sposobnost djelovanja u eri antropocena. Prirodoslovno obrazovani građani i društva razumiju kako vrednovati i prosuđivati vjerodostojnost znanstvenih informacija i analiza da bi djelovali informirano, s ciljem postizanja potrebnih promjena, bilo na lokalnoj razini, gdje se pojedinci i institucije suočavaju s odlukama o postupcima koji utječu na njihovo zdravlje i opskrbu hranom, bilo na nacionalnoj razini. Prirodoslovno obrazovanje također može pridonijeti razvoju etike brige i pravednosti koja prepoznaje međuovisnost svih živih bića te omogućiti sustavno razmišljanje i kreativnost radi osmišljavanja učinkovitih strategija za postizanje potrebnih promjena.

I na osobnoj se razini pojedinci suočavaju s izborom o tome kako postupiti, npr. hoće li i kakvo će meso jesti, hoće li se baviti održivom poljoprivredom, cijepiti se i još mnogo toga. Sve to zahtijeva od građana da budu sposobni procijeniti podatke, stručnjake i druga mišljenja. Nadalje, kao što tvrdi Europska komisija, rješenja za političke i etičke dileme koje uključuju znanost i tehnologiju „ne mogu biti predmetom informirane rasprave ako mladi ne posjeduju određenu znanstvenu svijest” (Europska komisija, 1995, str. 28). No, „to ne znači da svaki pojedinac mora postati znanstvenik”, već se misli na „pružanje prirodoslovnoga obrazovanja koje bi mladima omogućilo da donose informirane odluke koje utječu na njihovu okolinu i da u širem smislu razumiju društvene implikacije rasprava stručnjaka” (ibid., str. 28). To podrazumijeva poznavanje društvenih normi i praksi koje je znanost uspostavila kako bi osigurala pouzdanost spoznaja poput važnosti znanstvenoga konsenzusa, pokazatelja stručnosti, ograničenja povjerenja u rezultate i mehanizama koji su razvijeni s ciljem izbjegavanja pogrešaka.

Eksplוזija informacija na internetu zahtijeva još veću kompetentnost u procjeni znanstvenih izvješća u medijima i na društvenim mrežama, posebno zbog toga što je prirodoslovlje u fokusu većine tih pitanja. Posebno je to važno u situaciji kada 85 % adolescenata navodi da upotrebljava Google, dvije trećine navodi da upotrebljava YouTube, a otprilike polovina navodi da upotrebljava Wikipediju. U današnje vrijeme najmanje četvrtina mladih dobiva vijesti i aktualne informacije putem društvenih medija ili internetskih izvora. Nove tehnologije ubrzavaju i pojačavaju komunikaciju, što vrijedi i za informacije i za dezinformacije. Kao rezultat toga lažne vijesti mogu na Twitteru/X-u putovati brže, dalje i šire nego točne informacije (Vosoughi i sur., 2018). Jedna nesretna posljedica toga jest da su znanstvene informacije postale politizirane i osporavane, kako od onih koji tvrde da imaju znanstveni kredibilitet, tako i od onih koji žele pobiti njihovu valjanost (Oreskes i Conway, 2010; Michaels, 2020).

Stoga specifični cilj prirodoslovnoga obrazovanja treba biti razvoj kompetencije za „istraživanje, vrednovanje i upotrebu znanstvenih podataka za donošenje odluka i djelovanje”. Ta se kompetencija može razviti samo eksplicitnim poučavanjem spoznajnih značajki i društvenih praksi koje podržavaju prakticiranje znanosti. Na primjer, ona zahtijeva razumijevanje kada i zašto vjerovati znanosti (Oreskes, 2019). Danas živimo u društvu u kojemu svi spoznajno ovisimo o stručnosti (Hardwig, 1985; Norris, 1997; Nichols, 2017; Lynch, 2016). Svakodnevno se suočavamo s odlukama poput onih je li opravdano kupiti električni automobil, prestati jesti industrijski proizvedeno meso ili postaviti solarne ploče. Nestručnjacima ponekad nedostaje dubina znanja potrebna za donošenje informirane prosudbe (Hardwig, 1985). Stoga je izazov pred nama procijeniti stručnost u mnoštvu poluinformacija (pogrešnih informacija) ili, još gore,

namjerno iskrivljenih informacija. Bergstrom i West neuvijeno su to opisali kao potrebu za kompetencijom prepoznavanja i osporavanja „smeća” (Bergstrom i West, 2020). U slučaju znanstvenih informacija, osnovu te kompetencije čini znanje da se povjerenje u znanost gradi zajedničkim dogovorom među znanstvenicima. S obzirom na to da znanstveni proces nije nepogrešiv, a povijest znanosti može se promatrati kao povijest pogrešaka (Allchin, 2012), znanost ima dobro uspostavljene mehanizme za provjeru znanstvenih tvrdnji i prepoznavanje pogrešaka, a sve to pomaže uspostaviti povjerenja u znanje koje nudi.

Osim toga, prirodoslovno obrazovanje ne zahtijeva samo poznavanje koncepata i teorija iz područja prirodnih znanosti, već i poznavanje ustaljenih postupaka i praksi povezanih s provedbom znanstvenih istraživanja te svijest o tome kako oni omogućuju napredak znanosti. Stoga prirodoslovno obrazovani pojedinci raspolažu znanjem o glavnim konceptima i idejama koje su u osnovi znanstvene i tehnološke misli, razumiju kako je do toga znanja došlo, kako funkcioniraju ustaljene znanstvene prakse, kako se postignuto znanje podupire dokazima ili teorijskim objašnjenjima i, što je još važnije, kakve društvene strukture omogućuju stvaranje vjerodostojnoga znanja.

Pojednostavnjeno rečeno, prvo pitanje pri procjeni nekoga znanstvenog rada ili članka jest postoji li već znanstveni konsenzus po tom pitanju, a zatim je li prošao recenziju. Također, ako se neko znanstveno postignuće osporava, potrebno je procijeniti kakva je stručnost i kakvi su dokazi onih koji je osporavaju. Jesu li oni možda u sukobu interesa? Ukratko, potrebno je postaviti pitanje zašto vjerovati kritičarima umjesto postignutomu konsenzusu. Stoga u raspravama o cijepljenju očekujemo od prirodoslovno pismenih učenika da postave sljedeća pitanja: *Kakav je znanstveni konsenzus po pitanju cijepljenja?*, *Na kojim se dokazima taj konsenzus temelji?*, *Kakva je znanstvena stručnost onih koji ga dovode u pitanje?* i *Na kojim se dokazima temelji kritika?*. Prosudbe o stručnosti zahtijevaju poznavanje mehanizama kojima društvo provodi provjeru stručnosti poput: *Koje kvalifikacije ima ta osoba?*, *U kojoj je instituciji zaposlena?* i *Kakav je njezin ugled unutar struke?*. Dok osobne odluke mogu uključivati pitanja vrijednosti i druga uvjerenja, ipak je važno poznavati i razumjeti relevantnu znanost.

Osim toga, prirodoslovno obrazovanje mora istovremeno biti i široko i primjenjivo. Stoga se PISA-in konceptualni okvir za prirodoslovlje odnosi na poznavanje znanosti, znanstveno utemeljenih tehnologija te znanstvenih i inženjerskih praksi. Međutim, treba napomenuti da se znanost i tehnologija razlikuju u svojoj namjeni, procesima i proizvodima. Tehnologija se pita što možemo učiniti s tim znanjem tražeći optimalno rješenje za neki ljudski problem, pri čemu može postojati više od jednoga optimalnog rješenja. Nasuprot tomu, znanost nastoji odgovoriti na tri pitanja o materijalnome svijetu: 1. *Što postoji?*, 2. *Zašto se neka pojava događa?* i 3. *Kako to znamo?*.

Ipak, znanost i tehnologija usko su povezane. Nove znanstvene spoznaje omogućuju nove tehnologije, kao što je na primjer napredak u znanosti o materijalima doveo da razvoja boljih baterija, solarnih ploča, lakših zrakoplova i još mnogo toga. Isto tako, nove tehnologije mogu dovesti do novih znanstvenih spoznaja razvojem, na primjer boljih teleskopa, mikroskopa i digitalnih aparata. No, mladi bi također trebali moći prepoznati da, iako znanost i tehnologija često nude rješenja, one se paradoksalno također mogu promatrati kao izvor rizika i izvor novih problema koje zatim ponovno trebaju rješavati; kao što su problem zbrinjavanja baterija iz

električnih automobila ili posljedice za okoliš zbog vađenja kobalta za izradu baterija. Stoga pojedinci trebaju moći razmotriti posljedice primjene znanstvenih spoznaja i problema koje bi one mogle predstavljati za njih same, kao i za društvo u cjelini.

Nedvojbeno će brojni izazovi 21. stoljeća zahtijevati inovativna rješenja temeljena na znanstvenome razmišljanju i znanstvenim otkrićima. Nedavni razvoj novih mRNA cjepiva i njihov potencijal za liječenje drugih bolesti poput karcinoma jedan je takav primjer. Drugi je izazov razvoj učinkovitije opskrbe obnovljivom energijom, uključujući nove tehnologije kao što je vodik. Društvu će biti potrebni kvalitetno obrazovani pojedinci koji će predvoditi istraživanja i tehnološke inovacije radi suočavanja s gospodarskim, društvenim i ekološkim izazovima svijeta. Ipak, da bi se uključili u šire društvo, osim znanja o znanosti i tehnologiji takvi će znanstvenici također morati duboko razumjeti načine na koje funkcionira znanstvena zajednica, njezina ograničenja, kao i posljedice primjene znanosti i tehnologije.

III. ISHODI PRIRODOSLOVNOGA OBRAZOVANJA ZA 15-GODIŠNJAKE

Trenutačna razmatranja željenih ishoda prirodoslovnoga obrazovanja snažno su ukorijenjena u uvjerenju da je znanje iz prirodoslovlja toliko važno da bi trebalo biti dijelom obrazovanja svake mlade osobe (npr. *American Association for the Advancement of Science* [Američko udruženje za unaprjeđenje znanosti], 1989; *Confederacion de Sociedades Cientificas de España* [Udruženje znanstvenih društava Španjolske], 2011; Millar i Osborne, 1998; *National Research Council* [Nacionalno vijeće za istraživanja], 2012; *Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland* – KMK [Tajništvo Stalne konferencije ministara obrazovanja i kulture saveznih pokrajina SR Njemačke], 2005 a-c; Ministarstvo obrazovanja Tajvana 1999 i Ministarstvo obrazovanja Kine, 2017 a-c). Doista, u mnogim zemljama prirodoslovlje je prema školskom kurikulumu obavezan predmet, od predškolske dobi do završetka obaveznoga dijela obrazovanja.

Brojni od spomenutih dokumenata prioritiziraju građanski odgoj. Međutim, na međunarodnoj razini brojni nastavni planovi i programi prirodoslovnih predmeta kao primarni cilj prirodoslovnoga obrazovanja ističu stvaranje sljedeće generacije znanstvenika (Millar i Osborne, 1998, Osborne i Dillon, 2008). Ta dva cilja nisu uvijek kompatibilna. Pokušaji razrješavanja nesrazmjera između potreba većine učenika, koji neće postati znanstvenici, i potreba manjega broja učenika koji će postati znanstvenici, dovela je do naglaska na poučavanju prirodoslovlja kroz istraživanje (*National Academy of Science*, 1995; *National Research Council*, 2000) novih kurikularnih modela (Millar, 2006) te odnedavno i do razvoja kompetencija sa skupom od osam znanstvenih praksi (*National Research Council*, 2012) koje obuhvaćaju potrebe obiju skupina. Spomenuti konceptualni okviri, zajedno s kurikulumima, ne stavljaju naglasak na obrazovanje pojedinca kao stvaratelja novoga prirodoslovnog znanja, već na obrazovanje mladih ljudi kao dobro potkovanih i kritičnih korisnika prirodoslovnoga znanja – što je kompetencija koja će koristiti svima tijekom života (Glavna uprava za istraživanja i inovacije [Europska komisija], 2020).

Za razumijevanje i sudjelovanje u kritičkim raspravama, donošenje odluka te djelovanje po pitanju problema koji uključuju znanost i tehnologiju, tri su kompetencije ključne za ovu domenu PISA istraživanja. Prva kompetencija odnosi se na sposobnost pružanja objašnjenja za prirodne pojave, tehničke proizvode i tehnologiju, ali i za njihove posljedice na društvo. Ona zahtijeva poznavanje glavnih ideja znanosti, uporabe njezinih modela, pitanja koja čine okvir za njezinu praksu i ciljeve, ali i širega društvenog te ekološkog konteksta unutar kojega znanost djeluje. Druga kompetencija odnosi se na sposobnost osmišljavanja i vrednovanja nacrtu znanstvenih istraživanja te na sposobnost kritičkoga tumačenja znanstvenih podataka i dokaza, odnosno na sposobnost procjene odgovara li nacrt nekoga istraživanja njegovoj svrsi, kako se on može poboljšati i jesu li pritom poštovane odgovarajuće procedure. Ta kompetencija obuhvaća i sposobnost znanstvenoga tumačenja i procjene podataka i dokaza, kao i sposobnost prosudbe jesu li izvedeni zaključci ispravni. Treća se kompetencija prirodoslovne pismenosti odnosi na sposobnost pronalaženja i kritičke procjene podataka u znanosti – kako bi se na temelju toga znanja donosile odluke o djelovanju.

Stoga su u istraživanju PISA 2025 ishodi prirodoslovnoga obrazovanja 15-godišnjaka definirani trima kompetencijama kao što je prikazano u okviru 1.

Okvir 1. Prirodoslovne kompetencije u istraživanju PISA 2025

Definicija prirodoslovnih kompetencija u istraživanju PISA 2025

Prirodoslovno obrazovana osoba može sudjelovati u argumentiranoj raspravi o temama iz područja znanosti, održivosti i tehnologije s ciljem informiranoga djelovanja. To zahtijeva sljedeće kompetencije:

1. Znanstveno objašnjenje pojava:

prepoznati, osmisliti, primijeniti i procijeniti objašnjenja za prirodne i tehnološke pojave.

2. Osmišljavanje i vrednovanje nacrtu znanstvenih istraživanja te kritičko tumačenje znanstvenih podataka i dokaza:

procijeniti i vrednovati načine znanstvenoga istraživanja o nekome pitanju te kritički protumačiti i vrednovati znanstvene podatke.

3. Istraživanje, vrednovanje i upotreba znanstvenih podataka za donošenje odluka i djelovanje:

pronaći znanstvene podatke o nekome globalnom, lokalnom ili osobnom problemu iz područja prirodoslovlja te procijeniti njihovu vjerodostojnost, potencijalne nedostatke te posljedice za osobne i društvene odluke.

Sve navedene kompetencije zahtijevaju znanje (okvir 2.). Znanstveno objašnjenje pojava, na primjer, zahtijeva poznavanje prirodoslovnih sadržaja – što ćemo u daljnjemu tekstu nazivati **sadržajnim znanjem**, kao i poznavanje prirode znanstvenih objašnjenja te dokaza koji ih podupiru. Druga i treća kompetencija zahtijevaju više od onoga što trenutačno znamo. One ovise o razumijevanju načina na koji dolazimo do znanstvenih spoznaja i do koje se mjere u njih možemo pouzdati. Stoga se neki istraživači zalažu za poučavanje „prirode znanosti” (Lederman, 2006), „ideja o znanosti” (Millar i Osborne, 1998) ili, nešto recentnije, „znanstvenih praksi” (*National Research Council*, 2012). Prepoznavanje i određivanje karakterističnih obilježja znanstvenih istraživanja zahtijeva poznavanje standardnih postupaka koji čine osnovu različitih metoda i praksi kojima se uspostavlja prirodoslovno znanje – što ćemo u daljnjemu tekstu nazivati **proceduralnim znanjem**. Konačno, prirodoslovne kompetencije zahtijevaju i **epistemološko znanje**, odnosno razumijevanje razloga koji stoje u pozadini ustaljenih praksi u znanstvenim istraživanjima; statusa iznesenih tvrdnji o određenome znanju, značenja temeljnih pojmova kao što su teorija, hipoteza i podatci, važnosti konsenzusa, znanja kako procijeniti kompetentnost stručnjaka, načina na koje se znanstveni podatci mogu neprimjereno upotrebljavati i prezentirati te doprinosa prirodoslovnoga znanja u oblikovanju odgovora i osmišljavanju rješenja.

Okvir 2. Prirodoslovno znanje u istraživanju PISA 2025

Definicija prirodoslovnoga znanja u istraživanju PISA 2025

Ovaj dokument temelji se na nazoru da se prirodoslovno znanje sastoji od triju različitih, ali međusobno povezanih komponenata ili vrsta znanja. Prvu i najpoznatiju komponentu čini znanje o činjenicama, konceptima, idejama i teorijama o prirodnome svijetu koje je znanost iznjedrila. Kao primjer možemo navesti znanje o tome kako biljke sintetiziraju složene molekule uz pomoć svjetlosti, vode i ugljikova dioksida ili znanje o čestičnoj prirodi tvari. Ta se vrsta znanja naziva „**sadržajno znanje**” ili „znanje o sadržajima prirodoslovlja”.

Drugo, poznavanje postupaka koje znanstvenici primjenjuju kako bi izgradili prirodoslovno znanje naziva se „**proceduralno znanje**”. Ono se odnosi na poznavanje praksi i koncepata na kojima se temelji empirijsko istraživanje, kao što su ponavljanje mjerenja radi smanjenja mogućnosti pogreške i nesigurnosti u rezultate ili kontrola varijabli i standardni postupci u prezentaciji i priopćavanju podataka (Millar, Lubben, Gott, & Duggan, 1995). Oni su razrađeni kao skup „koncepata dokaza” (Gott, Duggan, & Roberts, 2008).

Treće, razumijevanje znanosti kao prakse također zahtijeva „**epistemološko znanje**” koje se odnosi na razumijevanje uloge određenih konstrukata i definiranje obilježja koji su ključni za proces izgradnje znanja u znanosti (Duschl, 2007). Epistemološko znanje odnosi se na razumijevanje uloge koju u znanosti imaju pitanja, promatranja, teorije, hipoteze, modeli i argumenti, odnosno vrijednosti i problemi koji oblikuju istraživačko pitanje i pokreću istraživanje. Ono se također odnosi na prepoznavanje različitih oblika znanstvenoga istraživanja te važnosti recenzije i znanstvenoga konsenzusa u izgradnji znanja kojemu se može vjerovati.

Detalnija razrada triju vrsta znanja nalazi se u potpoglavlju *Prirodoslovno znanje* i u okvirima 6., 7., i 8.

Osim sadržajnoga znanja, i proceduralno i epistemološko znanje potrebni su za utvrđivanje koja su pitanja prikladna za provedbu znanstvenoga istraživanja, prosudbu je li upotrijebljena odgovarajuća procedura koja osigurava opravdanost iznesenih tvrdnji te razlikovanje važnosti znanstvenih tvrdnji i dokaza od vrijednosnih i ekonomskih razmatranja. Pri razradi ove definicije ishoda prirodoslovnoga obrazovanja važno je uzeti u obzir da tijekom života pojedinci neće stjecati znanje provodeći znanstvena istraživanja, već služeći se izvorima kao što su knjižnice i internet. Proceduralno, epistemološko i sadržajno znanje ključni su za donošenje odluka jesu li tvrdnje koje se iznose u znanstvenim tekstovima i suvremenim medijima postavljene poštujući potrebne procedure i jesu li one opravdane.

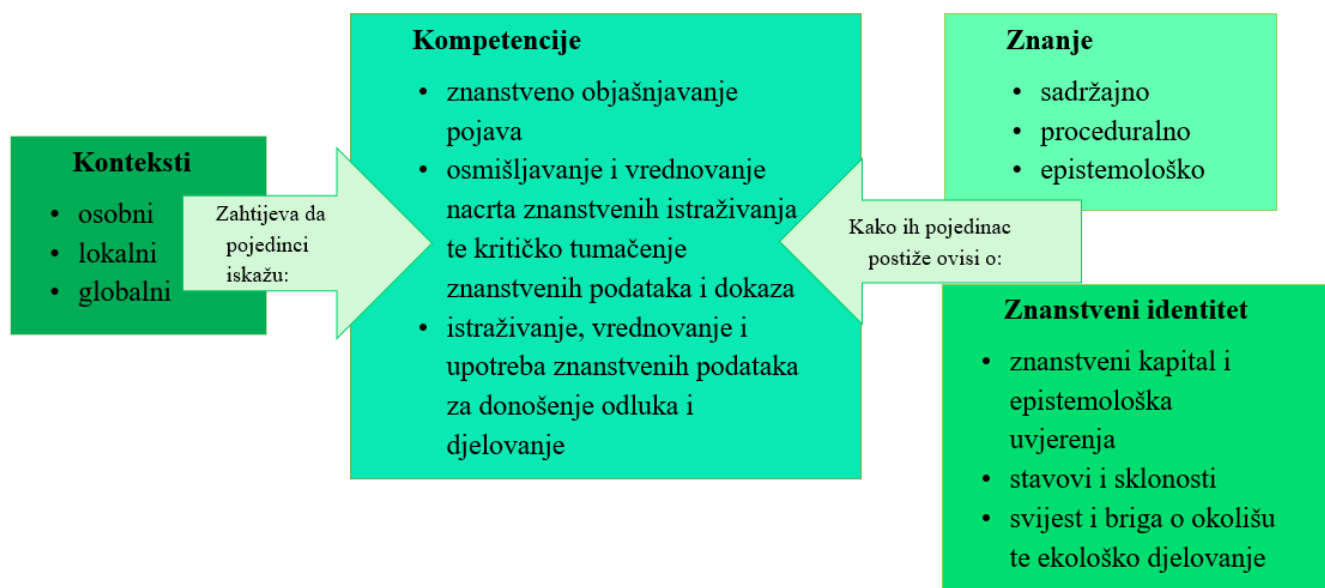
Sva tri oblika prirodoslovnoga znanja potrebna su da bi se dostigle tri kompetencije predstavljene u ovome konceptualnom okviru. Stoga će istraživanje PISA 2025 biti usmjereno na ispitivanje kompetencija 15-godišnjaka, odnosno u kojoj ih mjeri mogu iskazati u različitim osobnim, lokalnim (nacionalnih) i globalnim kontekstima. Ta se perspektiva razlikuje od većine školskih programa za prirodoslovlje, u kojima uglavnom dominira sadržajno znanje, dok su u konceptualnome okviru zastupljeniji oblici znanja potrebni za aktivno sudjelovanje u suvremenome društvu.

Nadalje, perspektiva koja se temelji na kompetencijama priznaje postojanje afektivnoga elementa u učenikovu iskazivanju kompetencija. Odnosno, osjećaj znanstvenoga identiteta, stavovi ili sklonost prema znanosti odredit će razinu zainteresiranosti učenika, održati njihovu angažiranost te ih potaknuti na djelovanje (Osborne, Simon i Collins, 2003; Moote, Archer i sur., 2020).

Također, prirodoslovno obrazovanje trebalo bi kod učenika razviti kompetencije koje će im omogućiti djelovanje. To se može odnositi na djelovanje na osobnoj razini ili na razini kućanstva, kao što su na primjer naponi za očuvanje resursa ili kupnja i izbjegavanje proizvoda u skladu s vrijednosnim kriterijima. No, djelovati se može i na drugim razinama, kako bi se podigla svijest unutar zajednice ili ponudilo rješenja za ekološke probleme. Spremnost na djelovanje takve vrste zahtijeva znanje, ali isto tako i viziju te nadu da rješenja postoje; kao i učinkovitost – individualnu i kolektivnu, odnosno uvjerenje da pojedinac može pridonijeti takvim rješenjima.

Na temelju iznesenoga, prirodoslovno obrazovan pojedinac bit će zainteresiran za teme znanosti i okoliša, baviti se pitanjima koja postavljaju znanost, zdravlje, tehnologija i održivost te osjećati smislenu povezanost znanosti sa svojim životom. Većina neće biti zaposlena u znanstvenim institucijama, ali će moći prepoznati da su znanost, tehnologija i istraživanje važan element suvremene kulture koji oblikuje većinu naših razmišljanja i životnih interesa. Navedeni stavovi i sklonosti ispituju se zasebnim upitnikom za učenike.

U prikazu 1. sažeto su predstavljeni ishodi prirodoslovnoga obrazovanja i njihovi međusobni odnosi.

Prikaz 1. Okvir za ispitivanje prirodoslovlja u istraživanju PISA 2025


Napomene

U sljedećim napomenama pojašnjeno je što u istraživanju PISA 2025 čini prirodoslovno i ekološki obrazovanog 15-godišnjaka/inju.

- U ispitivanju prirodoslovlja u PISA-i naglasak je na primjeni znanstvenih spoznaja u svakodnevnome životnom kontekstu.
- U svrhu PISA istraživanja, važno je napomenuti da će se navedene kompetencije ispitivati samo na temelju znanja koje se može razumno očekivati od 15-godišnjaka: znanje o konceptima i idejama znanosti (sadržajno znanje), znanje o postupcima i strategijama koji se upotrebljavaju u svim oblicima znanstvenoga istraživanja (proceduralno znanje) te znanje o načinu na koji se ideje u znanosti podupiru i dokazuju (epistemološko znanje).
- U cijelome konceptualnom okviru pojam „prirodni svijet” upotrebljava se za označavanje pojava povezanih s bilo kojim predmetom (živim ili neživim) ili pojava koje se odvijaju u materijalnome svijetu.
- U ovome dokumentu pojam „prirodoslovlje” i „znanost” upotrebljavaju se kao opći pojmovi i odnose se na bilo koju ili na sve prirodne znanosti: fiziku, kemiju, biologiju, znanosti o Zemlji i svemiru i ekologiju. Pojam „tehnologija” upotrebljava se u vrlo širokome smislu i označava svaku sustavnu praksu osmišljavanja rješenja za neki ljudski problem. Tehnologija obuhvaća sve vrste sustava i procesa kojih je autor čovjek te nije ograničena samo na, kao što se to recentno shvaća, suvremene računalne i komunikacijske uređaje. Tehnologija nastaje kad inženjeri primjenjuju svoje razumijevanje prirodnoga svijeta i ljudskoga ponašanja kako bi osmislili načine da zadovolje ljudske želje i potrebe. U nekim se zemljama, posebice u SAD-u, kao sinonim upotrebljava izraz „inženjerstvo”.

- Znanje i kompetentnost u rješavanju prirodoslovnih problema nisu ograničeni samo na područje prirodnih znanosti. Ekonomija, političke znanosti, sociologija, psihologija i antropologija također imaju svoju ulogu u osmišljavanju smislenih, svrhovitih, etički opravdanih i provedivih rješenja. Međutim, PISA ispitivanje konkretno je usmjereno na prirodoslovne kompetencije koje su u podlozi takvih rješenja.
- U poglavlju o pitanjima okoliša upotrebljavaju se tri izraza – „okolišni”, „ekološki” i „socio-ekološki”. Iako među njima postoji određeno preklapanje, znanost o okolišu oslanja se na sve znanosti, uključujući i ekologiju. Ekologija pak ima suženiji fokus i nastoji razumjeti međusobnu povezanost unutar i između ekosustava. Pojam „socio-ekološki” ukazuje na proširenu, sustavnu perspektivu na blisku povezanost ljudskih i prirodnih sustava u odnosu na ekološke izazove i krize – kao što su održivo upravljanje vodonosnicima koji opskrbljuju vodom rijeke i jezera, poljoprivredu i urbane zajednice (Young i sur., 2006; Eisemenger i sur., 2020).

Prirodoslovne kompetencije: Razrada

U ovome potpoglavlju obrazložena je svaka od triju prirodoslovnih kompetencija i objašnjeno je zašto se smatraju ključnima za ishode prirodoslovnoga obrazovanja.

1. kompetencija: Znanstveno objašnjenje pojava

Kulturološko postignuće znanosti leži u objasnidbenim teorijama koje su promijenile naše poimanje prirodnoga svijeta, kao što je ona da rotacija Zemlje uzrokuje izmjenu dana i noći ili ideja o mikroorganizmima kao uzročnicima bolesti. Štoviše, navedene spoznaje omogućile su razvoj tehnologije koja nam olakšava svakodnevni život – na primjer kroz prevenciju bolesti i globalnu povezanost. Sposobnost znanstvenoga objašnjavanja pojava materijalnoga svijeta dakako ovisi o poznavanju glavnih objasnidbenih ideja znanosti (Harlen, 2010).

Pronalaženje objašnjenja za znanstvene, tehnološke i okolišne pojave zahtijeva više od same sposobnosti prisjećanja i primjene teorija, objasnidbenih ideja, podataka i činjenica (sadržajno znanje). Ono također zahtijeva razumijevanje načina na koji je to znanje postignuto, kao i razinu povjerenja u znanstvene tvrdnje. Da bi vladao ovom kompetencijom, učenik mora poznavati standardizirane procedure i prakse znanstvenoga istraživanja (proceduralno znanje), ali i razumjeti njihovu ulogu u potkrepljivanju znanja koje je znanost proizvela (epistemološko znanje).

Sposobnost znanstvenoga objašnjavanja pojava zahtijeva da se služimo različitim konstruktima i nevidljivim entitetima kao što atomi, stanice i kemijske reakcije te povezivanjem promatranoga s njegovim prikazom ili modelom oslanjajući se na dokaze (Braaten i Windschitl, 2011). Na primjer, nastajanje novih sojeva virusa može se povezati s teorijom evolucije, a razlike u svojstvima kemijskih elemenata s njihovim položajem u periodnome sustavu elemenata. Objašnjenja su često uzročno-posljedične prirode jer povezuju neku pojavu sa širim

objasnidbenim modelom ili teorijom, poput kinetičke teorije plinova ili Newtonovih zakona. Mogu biti jednostavna ili uključivati niz povezanih argumenata. Na primjer, objašnjenje za dugu može biti jednostavno i navoditi da kapljice razlažu svjetlost na sastavne boje ili može biti složeno i oslanjati se na načela disperzije, totalnu refleksiju i refrakciju te uključivati prikaze, uzimajući u obzir oblik i položaj duge. U biologiji se načela građe i funkcije te prilagodbe organizama upotrebljavaju za objašnjenje njihove građe i ponašanja, kao što su razlike među vrstama koje žive u različitim staništima.

Međutim, kada objašnjenja nisu posve sigurna ili su spekulativna, ona moraju biti valjano potkrijepljena argumentima (Osborne i Patterson, 2011) te u skladu s dokazima (Berland i Reiser, 2008). Predviđanja i predlaganje rješenja zahtijevaju argumente koji su utemeljeni u teorijama, konceptima ili dokazima. Na primjer, ako želimo predvidjeti koji će predmet plutati na vodi, to podrazumijeva poznavanje načela relativne gustoće predmeta. Navedeno znanje može nam omogućiti pronalazak rješenja. Tumačenje društvenih i osobnih posljedica znanstvenih spoznaja također čini važan aspekt prirodoslovne kompetencije, kao što je na primjer objašnjenje strategija za kontrolu isparavanja u praksama očuvanja vode.

Pronalaženje objašnjenja često uključuje razmišljanje na temelju modela (Lehrer i Schauble, 2006), no koji nikada ne mogu biti potpuni prikaz stvarnosti. Bohrov model atoma, na primjer, nije vjerodostojan prikaz atoma; nasljeđivanje i ekspresija fenotipa mnogo su više od uvida koji nudi Mendelov zakon nasljeđivanja, a jednadžba stanja idealnoga plina vrijedi samo u uvjetima u njezinu nazivu – idealnim. Navedene teorije funkcioniraju zato što su zadovoljavajuće, odnosno „dovoljno istinite” (Elgin, 2017). Nadalje, s obzirom na to da modeli služe kao prikazi, moraju biti konstruirani uz pomoć dijagrama, slika ili formula (Tytler i Prain, 2018), no uz njih mora doći i objašnjenje što prikazuju, na koji način te koji su njihovi nedostaci. Električna struja obično se prikazuje na primjeru protoka vode iz slavine, no dok je to korisno za objašnjenje načina funkcioniranja ampermetra zato što je ekvivalentan mjeracu protoka vode, to je ipak nedostavno za objašnjenje zašto se svjetlo automatski upali pritiskom prekidača. Zato je razumijevanje ključne uloge modela u znanstvenim objašnjenjima, odnosno kako se ona priopćavaju na odgovarajući način, važan ishod prirodoslovnoga obrazovanja. K tomu, mnoga objašnjenja zahtijevaju razumijevanje cijelih sustava, elemenata od kojih su oni sastavljeni i međudjelovanja tih elemenata; na primjer klimatske promjene, zagađenje voda, plastika i njezin utjecaj na ekosustav.

Kako bi proizveli objašnjenja, znanstvenici su razvili ontološki zoološki vrt s nepoznatim entitetima i konceptima, na primjer elektronima, genima, molekulama, točkastim nabojima, kemijskim elementima, spojevima te konceptima poput topline, električne energije, akceleracije i brojnih drugih (Ogborn i sur., 1996) – od kojih su mnogi apstraktni. Pritom se koriste različitim stilovima zaključivanja: matematičkom dedukcijom, eksperimentalnim istraživanjima, hipotetskim modeliranjem, kategorizacijama i klasifikacijama, probabilističkim i statističkim razmišljanjem te povijesno utemeljenim evolucijskim zaključivanjem (Crombie, 1994) u svrhu konstrukcije modela materijalnoga svijeta (Lehrer i Schauble, 2006), uz pomoć triju oblika argumentacije – indukcije, dedukcije i abdukcije (zaključivanje do najboljega mogućeg objašnjenja).

2. kompetencija: Osmišljavanje i vrednovanje nacrtu znanstvenih istraživanja te kritičko tumačenje znanstvenih podataka i dokaza

Poznavanje prirodoslovlja podrazumijeva da učenici razumiju nastojanje znanstvenih istraživanja da stvore pouzdano znanje o prirodnome svijetu, ali i ljudski stvorenome svijetu (Ziman, 1979; Longino, 1990; Oreskes 2019). Istraživanje prirodnoga i materijalnoga svijeta može imati brojne oblike. Jedan od njih odnosi se na utvrđivanje raspona raznolikosti i rasprostranjenosti živih vrsta, stijena ili tvari – poznat kao proces kategorizacije i klasifikacije. Studije kontroliranih eksperimenata u kojima su varijable utvrđene i kontrolirane omogućuju ispitivanje dobro definiranih hipoteza, dok simulacije i modeliranja omogućuju ispitivanje teorija u odnosu na skup podataka prikupljen promatranjem.

Podatci dobiveni promatranjem i eksperimentom imaju dvojaku ulogu. S jedne strane, mogu proizvesti pitanja o prirodi obrazaca i opažanja koja vode do razvoja modela i objasnidbenih hipoteza koje omogućuju predviđanje. S druge su strane eksperimenti, kao i njima dobiveni podatci, ključni za ispitivanje valjanosti predviđanja na temelju novih hipoteza i modela.

Znanstvenici rijetko rade izolirano te su uglavnom članovi istraživačkih skupina ili timova koji intenzivno surađuju s kolegama na nacionalnoj i međunarodnoj razini. Tvrdnje o novim spoznajama uvijek se doživljavaju kao privremene jer se nakon kritičke recenzije može utvrditi da nisu znanstveno utemeljene. Kritička recenzija formalni je mehanizam koji je uspostavila znanstvena zajednica kako bi osigurala objektivnost prirodoslovnoga znanja (Longino, 1990). Stoga se znanstvenici obvezuju objaviti svoja otkrića ili izvijestiti o njima, kao i o metodama kojima su se koristili u dobivanju dokaza. Time se osigurava, barem u načelu, ponovljivost empirijskih istraživanja te potvrđivanje ili osporavanje rezultata.

Mjerenja, međutim, nikada ne mogu biti apsolutno precizna. Dapače, sva su podložna određenom stupnju pogreške. Stoga je veći dio rada eksperimentalnoga znanstvenika posvećen umanjivanju nesigurnosti rezultata ponavljanjem mjerenja, prikupljanjem većega broja uzoraka, konstrukcijom instrumenata veće preciznosti te upotrebom statističkih tehnika koje procjenjuju stupanj pouzdanosti rezultata. Podatci potom podliježu analizi i selekciji te se moraju pročistiti kako bi se utvrdili obrasci u njihovoj pozadini. Navedeno zahtijeva proces tumačenja i vrednovanja usporedbom rezultata s predviđanjima te procjenu vjerojatnosti o slučajnosti ishoda, kao i alternativna objašnjenja. Učenici stoga trebaju razviti svijest o tome da nijedno mjerenje ne može biti apsolutno točno te da postoje standardizirani načini svođenja pogreške na minimum (ponavljanje mjerenja, uzimanje prosjeka, uklanjanje vrijednosti koje odstupaju itd.).

Nesigurnost mjerenja znači da se naše povjerenje u dobivene rezultate izražava u terminima vjerojatnosti. Znanstvenici svakoj tvrdnji pristupaju s određenom dozom sumnje, neovisno o tome iznosi li stupanj povjerenja 51 % (tek je malo vjerojatnije da je tvrdnja istinita nego lažna) ili 99,99 % (velika je vjerojatnost da je tvrdnja istinita). Taj oblik rasuđivanja znanstvenicima s jedne strane omogućuje da lakše prihvate nesigurnost, ali i da, s druge strane, promijene stajalište u trenutku kada pristignu novi dokazi. Donošenje odluka uvijek uključuje određen stupanj nesigurnosti. No, iako nam znanost ne može pružiti apsolutnu sigurnost, to ne znači da ne vjerujemo njezinim rezultatima. Stupanj znanstvenoga konsenzusa o nalazima istraživanja može usmjeriti naše djelovanje, kao na primjer znanstveni konsenzus o klimatskim promjenama

(Oreskes, 2004). Svi pojedinci trebaju prepoznati takvo povjerenje u rezultate kao izvor snage znanosti, no imajući na umu da uvijek postoji mogućnost slučajnoga otkrića. Zato nam dosljedni rezultati u opsežnim programima istraživanja pružaju sigurnost da je vjerojatnost slučajnoga otkrića izrazito malena. Sve navedeno oslanja se na **proceduralno znanje**.

Procjena znanstvenih dokaza može zahtijevati razumijevanje koncepta normalne raspodjele i razlike između srednje vrijednosti i medijana, kao i razumijevanje da se pouzdanost obično izražava intervalom pouzdanosti te da će u svakoj populaciji doći do varijabilnosti i odstupanja. Nadalje, učenici moraju razumjeti da što je uzorak veći, manja je vjerojatnost pogreške. Na temelju toga znanja prirodoslovno obrazovan pojedinac trebao bi moći donositi prosudbe o statističkim podatcima propitujući, na primjer, kako protumačiti odstupanja. Isto tako, trebao bi razumjeti da se pojam značajnosti temelji na ideji da dobiveni rezultat ne predstavlja nasumičan učinak. Na primjer, 15-godišnjaci bi trebali biti sposobni objasniti zašto je pogrešno temeljiti argumente na odstupanjima (primjer bake koja je doživjela 98 godina pušeći 28 cigareta dnevno).

Znanost ima dobro utvrđene procedure, kao što je upotreba kontrola, koje predstavljaju temelj logičkoga argumenta za uspostavu uzročnih tvrdnji. Upotreba kontrola omogućuje istraživaču da svaku promjenu u percipiranome ishodu može pripisati promjeni neke određene značajke. Kad se navedene tehnike ne bi upotrebljavale, rezultati bi bili nejasni i stoga neupotrebljivi (ne bi im se moglo vjerovati). Također, kvalitetni objasnidbeni modeli temelj su svake pouzdane uzročne veze. Na primjer, korelacija između geografske širine i melanoma objašnjava se učinkom UV-zračenja na stanice. Dvostruko slijepo ispitivanje još je jedan od načina utvrđivanja uzročnosti koji znanstvenicima jamči da na rezultate nisu utjecali ni ispitanici ni istraživači. Navedene ideje predstavljaju temelje znanosti i s njima su se trebali susresti svi 15-godišnjaci, koji bi trebali moći objasniti njihovu ključnu ulogu u potkrepljivanju znanstvenih otkrića.

Međutim, ne temelji se sva znanost na spomenutim metodama. Neki znanstvenici provedu cijeli život u uredu, razvijajući objasnidbene modele, često matematičke. Drugi znanstvenici poput taksonoma, ekologa i epidemiologa bave se utvrđivanjem obrazaca i međudjelovanja u prirodnome svijetu koji traže objašnjenje. Astrofizičari, klimatski znanstvenici i geolozi ne mogu provoditi istraživanja izravno u prirodnome svijetu, već podatke prikupljaju pomnim promatranjima. Njihova se znanost oslanja na postupak zaključivanja do najboljega mogućeg objašnjenja (abdukcija) i na razmatranju širokoga spektra hipoteza te odbacivanju onih koje nisu u skladu s dokazima. Stoga informirani građanin treba biti upoznat s cijelim spektrom znanstvenih metoda. Također, treba moći razlikovati uzrok od korelacije; na primjer, da porast prodaje sladoleda i porast napada morskih pasa ljeti nisu uzročno povezani, dok obolijevanje od raka pluća jest uzročno povezano s pušenjem.

Vladanje ovom kompetencijom zahtijeva poznavanje ustaljenih procedura i praksi u znanosti (**proceduralno znanje**) te uloge navedenih postupaka u argumentaciji tvrdnji koje znanost iznosi (**epistemološko znanje**). Ova se kompetencija također oslanja na poznavanje sadržaja (**sadržajno znanje**) kako bi se postavila odgovarajuća pitanja, a rezultati bili ispravno protumačeni. Proceduralno i epistemološko znanje imaju dvije funkcije. Prvo, navedeno znanje potrebno je pojedincima kako bi procijenili znanstvena istraživanja i odlučili jesu li poštovane odgovarajuće procedure, a zaključci opravdani. Drugo, pojedinci koji imaju to znanje trebaju

moći procijeniti, barem na općenitoj razini, je li znanstveno pitanje istraženo na odgovarajući način.

Tumačenje znanstvenih podataka zapravo je temeljna aktivnost znanosti koju bi svi učenici trebali razumjeti barem na osnovnoj razini. Inicijalno tumačenje podataka započinje traženjem obrazaca i izradom jednostavnih tabličnih prikaza i grafičkim vizualizacijama kao što su tortni i stupčasti dijagrami, dijagrami raspršenosti ili Vennovi dijagrami, npr. distribucije visine učenika u razredu, boje njihovih očiju i kose ili broja različitih živih vrsta pronađenih na školskom igralištu. Na višoj razini tumačenje podataka zahtijeva upotrebu složenijih skupova podataka i analitičkih alata koje nude proračunske tablice, sofisticiraniji alati za analizu podataka namijenjeni školama, statistički paketi, osnovni računalni modeli i algoritmi.

Nadalje, sve smo češće suočeni s različitim prikazima, često vizualnim ili grafičkim, složenih skupova podataka koje je potrebno iščitati, protumačiti i prosuditi. Stoga bi se kroz prirodoslovno obrazovanje pojedinac trebao upoznati s čestim oblicima prikaza podataka, na primjer linearnim i nelinearnim skalama ili uobičajenim pogreškama u prikazima, kao što su neprikladne skale izražene jednostavnim jezikom. Učenici bi trebali moći uspoređivati podatke na jednostavnim tekstualnim prikazima, dijagramima i grafičkim prikazima. To im je znanje potrebno kako bi mogli prepoznati što čini pouzdan i valjan dokaz te znati kako pravilno prikazati podatke. Znanstvenici donose odluke o tome kako prikazati podatke u grafikonima, dijagramima ili, sve češće, u složenijim simulacijama ili 3D vizualizacijama kako bi cjelokupan prikaz bio jasniji, ali i uvjerljiviji. Utvrđivanje bilo kojega odnosa ili obrasca mora se temeljiti na poznavanju standardnih obrazaca.

No, potrebno je više od razumijevanja samoga postupka kojim su dobiveni podatci. To jest, učenici trebaju moći prosuditi je li određen postupak prikladan i jesu li tvrdnje koje su njime dobivene opravdane (**epistemološko znanje**). Na primjer, određen skup podataka može se protumačiti na nekoliko različitih načina; zato argumentacija i kritika imaju ključnu ulogu u određivanju najboljega zaključka. Neovisno o tomu je li riječ o novoj teoriji, novom načinu prikupljanja podataka ili novom tumačenju starijih podataka, argumentacija je sredstvo kojim se znanstvenici i tehnolozi koriste kako bi potkrijepili nove ideje. Neslaganje među znanstvenicima stoga je normalna, a ne neuobičajena pojava. Upravo se kritičnost i skeptičan stav prema svim empirijskim dokazima smatraju jednom od glavnih karakteristika profesionalnoga znanstvenika.

U temelju je ove kompetencije razumijevanje da znanost zahtijeva skup znanstvenih procedura – od postavljanja odgovarajućih znanstvenih pitanja i upotrebe znanstvenih ideja za postavljanje odgovarajućega eksperimenta ili terenskoga opažanja, preko analize i tumačenja podataka, sve do uključivanja u raspravu i kritiku radi prosudbe koje je objašnjenje najbolje (Ford, 2008). Ideja o znanosti kao skupu zajedničkih praksi zajednice proizišla iz rada povjesničara, filozofa, psihologa i sociologa tijekom proteklih četrdeset godina pokazuje kako su razvoj teorije, promišljanje i testiranje zapravo komponente širega skupa aktivnosti, koji uključuje i mreže sudionika i institucija (Longino, 2002), posebne načine govora i pisanja (Halliday i Martin, 1993; Lemke, 1990), razvoj modela za prikaz sustava i pojava (Neressian, 2008), prediktivno zaključivanje (Crombie, 1994) i izradu instrumenata koji omogućuju ispitivanje hipoteza eksperimentom ili promatranjem (Giere i sur., 2006).

3. kompetencija: Istraživanje, vrednovanje i upotreba znanstvenih podataka za donošenje odluka i djelovanje

Istinsko je znanje kolektivno dobro. Internet danas omogućuje brz i jednostavan pristup znanju kakav je prije 20 godina bio jednostavno nezamisliv. Uobičajena je pretpostavka da je to dobro i, s jedne strane, to je istina. Internet nam nudi odgovore na pitanja o svemu – od toga kako popraviti bicikl do odgovora o zdravstvenim problemima. Osim toga, omogućio je okupljanje izoliranih pojedinaca oko zajedničkih interesa.

Međutim, diljem svijeta raste zabrinutost zbog lakoće s kojom ljudi prihvaćaju uvjerenja za koja se tvrdi da su „znanstvena”, no za koje nema značajnih materijalnih dokaza koji bi ih potkrijepili, već upravo suprotno. Bez obzira na to radi li se o ideji da je Zemlja ravna ploča, da cjepiva uzrokuju autizam ili da su klimatske promjene obmana, spremnost pojedinca na prisvajanje iracionalnih uvjerenja – iracionalnih u smislu nepostojanja dokaza ili toga da su dokazi koji ih potkrepljuju dvojbeni – pobuđuje razlog za ozbiljnu zabrinutost. Dok je istinsko znanje kolektivno dobro, ono manjkavo ili lažno predstavlja i individualnu i kolektivnu opasnost. Na primjer, ideja o tome da su cjepiva štetna ne ugrožava samo živote onih koji podupiru takvu ideju, već i živote cijele zajednice koja ovisi o visokoj procijepljenosti kako bi osigurala svoje zdravlje. Doticaj s podacima iz znanosti i njihova prosudba ne zahtijevaju samo razumijevanje znanstvenih koncepata, već i znanja iz prirodoslovlja.

Stoga su za ovu kompetenciju ključni znanje i razumijevanje načina na koji nastaje pouzdano prirodoslovno znanje, ali i kako „financijski interesi pokušavaju „iskriviti” znanost, predstaviti pseudoznanost kao znanost, a pouzdanu znanost prikazati kao „smeće” ili poticati sliku nesigurnosti ondje gdje su znanstvenici postigli solidan konsenzus (Höttecke i Allchin, 2020, str. 4). Razumijevanje navedenoga zahtijeva epistemološko znanje i oslanja se na znanje o društvenim praksama znanosti. Prvo, od prirodoslovno pismene osobe traži se osnovno razumijevanje izmjena koje se događaju na putu od laboratorija do publikacije ili „od epruvete do YouTubea”. Drugo, pojedinac treba biti svjestan da ljudi imaju nesvjesnu potrebu za potvrđivanjem svojih predrasuda – žive unutar „mjehura” i gledaju vijesti koje podržavaju one stavove i percepcije koje već imaju. Svim znanstvenim tvrdnjama treba pristupiti oprezno i prvo postaviti pitanja o mogućem sukobu interesa, postoji li znanstveni konsenzus te procijeniti stručnost izvora. Ukratko, proces prosudbe ne započinje preispitivanjem znanstvenih rezultata, jer ni najkompetentniji neznanstvenici ne posjeduju za to dovoljno znanja, već započinje provjerom vjerodostojnosti izvora informacije, kao i njegove potencijalne pristranosti. Je li, recimo, o otkriću izvijestio netko tko ima stručno znanje u relevantnome području znanosti? U suvremenome kontekstu medijska pismenost, posebno ona digitalna, zauzima ključno mjesto u obrazovanju svih učenika (Höttecke i Allchin, 2020; Kozyreva, Lewandosky i Hertwig, 2020; Bergstrom i West, 2020) – posebno u trenutku kada istraživanja upućuju na slabu sposobnost učenika da procjenjuju izvore (Breakstone i sur., 2021).

Nadalje, u temelju je ove kompetencije razumijevanje da je znanost kolektivni pothvat te da kao takva nije nepogrešiva. Na mnogo načina pogreška predstavlja normu u znanosti (Allchin, 2012). Međutim, dok pojedini znanstvenici ili skupine mogu biti u krivu, zajednica je pouzdanija i cilj joj je postići prevladavajući konsenzus. Štoviše, takav konsenzus predstavlja konsenzus

stručnjaka (Collins i Evans, 2007; Oreskes, 204, 2019; Selinger i Crease, 2006), što ilustrira izvješće IPCC-a o klimatskim promjenama koje je ujedinilo rezultate istraživačkih skupina diljem svijeta. U znanosti također ne prevladava demokracija u kojoj bi stajališta jednoga znanstvenika vrijedila jednako kao ona drugog znanstvenika. Vrijedi mišljenje onih koji imaju relevantno znanje, vještine tumačenja rezultata te svijest o mogućnosti pogreške prilikom zaključivanja. Stoga je primjerice peticija o potencijalnome štetnom učinku cjepiva besmislena ako njezini potpisnici nisu znanstveni stručnjaci.

Prirodoslovno pismen pojedinac također treba razumjeti da ideja usamljenoga znanstvenika koji dolazi do „velikih” otkrića ne predstavlja stvarnost. Znanost je zapravo kolektivna, suradnička vježba u kojoj znanstvenici međusobno provjeravaju svoje ideje kako bi prepoznali pogreške u radu, na primjer kroz kritičku recenziju (epistemološko znanje). Stvaranje znanja ovisi o dijalektici između konstrukcije i kritike te je to neslaganje ujedno normativno i produktivno (Ford, 2008). Znanstveno obrazovan pojedinac razumije zašto je kritika ključna za konstrukciju znanja u znanosti te zašto će se neka znanost u nastajanju, posebno ako ne postoji dobro utemeljeni konsenzus, mijenjati i razvijati. Dobar su primjer toga suvremeni klimatski modeli koji se neprestano razvijaju i poboljšavaju, dok se ne postigne prevladavajući konsenzus, povećavajući točnost njihovih predviđanja i prepoznavanja doprinosa ljudskoga utjecaja. Posljedično, znanstveno utemeljene preporuke mijenjaju se proporcionalno povećanom pristupu kvalitetnim podacima. Pri formiranju stajališta o bilo kojoj znanstvenoj tvrdnji te odluci o djelovanju, informirani građanin treba postavljati pitanja o tome što je znanstveni konsenzus, jesu li oni koji iznose određene tvrdnje znanstveno kompetentni te kojim se podacima i dokazima koriste kako bi potkrijepili svoje tvrdnje. Na temelju navedenih informacija pojedinac bi trebao moći uputiti kritiku onim argumentima koji su pogrešni, na primjer da će smanjenje ograničenja brzine s 50 na 30 km/h imati malen učinak ili da rizik štetnosti cjepiva nadmašuje njegove pozitivne učinke. Stoga se ova kompetencija u velikoj mjeri oslanja na epistemološko znanje.

Pri procjeni djelovanja učenici trebaju znati da svako djelovanje sa sobom nosi određen rizik. Odluke u kojemu smjeru djelovati često se donose u odsutnosti sveobuhvatnih znanstvenih spoznaja i ta je nesigurnost inherentna značajka znanosti (proceduralno i epistemološko znanje). Znanost rijetko nudi znanje s potpunom sigurnosti. Stoga većina odluka zahtijeva procjenu rizika (Beck, 1992; Adam, Beck i van Loon, 2000). Suočeni s potencijalno ozbiljnom i nepovratnom prijetnjom, kao što je iskrčivanje amazonske prašume ili upotreba nuklearne energije, obično se primjenjuje načelo predostrožnosti. Na primjer, statistika rizika također uzima u obzir samo smrtno ishode, a ne ozljede, pa je odluka o preuzimanju rizika različita, odnosno ovisi o tome radi li se o individualnome riziku (vožnja biciklom), populacijskome riziku (virusna prijetnja ili nova bolest), sustavnome riziku (gubitak bioraznolikosti) ili je u pitanju odnos životnoga vijeka i neposrednoga rizika (pušenje deset cigareta samo danas ili deset cigareta dnevno tijekom života). Dodatno, većina odluka ove prirode ima i normativnu i društvenu dimenziju koje također treba uzeti u obzir.

Donošenje prosudbi o osobnim i društvenim politikama često može uključivati suočavanje s nerazriješenim ili osporavanim znanjem, gdje znanstvenici rade u složenim i ponekad promjenjivim okruženjima, ali također uključuje postizanje ravnoteže između suprotstavljenih interesa i vrijednosti odvojenih od znanosti. Procjena rizika u takvim situacijama može biti teška

te uključivati uravnotežene prosudbe o statusu prirodoslovnoga znanja u odnosu na druge vrijednosti i interese. Na primjer, trenutačno se ističe kako će električni automobili smanjiti našu ovisnost o fosilnim gorivima te smanjiti zagađenje. No, električni automobili zahtijevaju rudarenje rijetkih metala te imaju takav utjecaj na okoliš i društvo koji postavlja pitanja socijalne pravde kao što su nehumane i eksploatacijske prakse u svrhu iskorištavanja lokalne radne snage i njihova okoliša.

IV. ORGANIZACIJA DOMENE

U svrhu ispitivanja u ciklusu PISA 2025 definicija ishoda prirodoslovnoga obrazovanja sastoji se od četiriju međusobno povezanih komponenata, prikazanih u tablici 1.

Tablica 1. Komponente prirodoslovnoga obrazovanja

1. Konteksti	Obuhvaćaju osobne, lokalne, nacionalne i globalne teme; aktualne i povijesne, koje zahtijevaju određeno razumijevanje znanosti i tehnologije.
2. Znanje	Odnosi se na razumijevanje glavnih činjenica, koncepata i teorija koji čine temelj prirodoslovnoga znanja. Ono uključuje znanje o prirodnome svijetu i o tehnološkim artefaktima (sadržajno znanje), poznavanje načina kako se do takva znanja dolazi (proceduralno znanje) te razumijevanje razloga koji leže u temelju znanstvenih procedura i opravdanosti njihove upotrebe (epistemološko znanje).
3. Kompetencije	Odnosi se na sposobnost znanstvenoga objašnjavanja pojava; osmišljavanja i vrednovanja nacrtu znanstvenih istraživanja i kritičkoga tumačenja znanstvenih podataka i dokaza te na sposobnost istraživanja, vrednovanja i upotrebe znanstvenih podataka za donošenje odluka.
4. Znanstveni identitet	Obuhvaća sklonosti, sposobnost djelovanja i stavove prema znanosti te osobni kapital iskazan osobnim interesom za prirodne znanosti i tehnologiju. Također uključuje uvažavanje znanstvenoga pristupa istraživanju, gdje je primjenjivo, te percepciju i svijest o ekološkoj problematici.

Svaka komponenta bit će objašnjena u nastavku.

Konteksti za zadatke

U istraživanju PISA 2025 važna prirodoslovna znanja ispituju se uz pomoć specifičnih konteksta koji tematiziraju pitanja i izbore relevantne za obrazovanje o prirodoslovlju i okolišu u zemljama sudionicama. Međutim, ti konteksti neće biti ograničeni na zajedničke aspekte nacionalnih kurikuluma, već će se u ispitivanju tražiti dokazi o uspješnome vladanju trima prirodoslovnim kompetencijama u važnim situacijama koje odražavaju osobni, lokalni, nacionalni i globalni kontekst.

Zadaci neće biti ograničeni na kontekst poučavanja prirodoslovlja u školi. U ispitivanju prirodoslovlja u istraživanju PISA 2025 naglasak je na situacijama koje se odnose na učenika, obitelj i skupine vršnjaka (osobni kontekst), na zajednicu (lokalni i nacionalni kontekst) i na život

diljem svijeta (globalni kontekst). Zajednički kontekst čine teme povezane s tehnologijom i okolišem. Također, za neke teme primjenjiv je i povijesni kontekst, koji može biti važan za ispitivanje učeničkoga razumijevanja procesa i praksi uključenih u unaprjeđenje znanstvenih spoznaja.

U tablici 2. navedeni su konteksti primjene znanosti i tehnologije u osobnome, lokalnom i nacionalnom te globalnom okruženju koje primarno služe kao konteksti za zadatke. Konteksti primjene izvedeni su iz širokoga spektra životnih situacija i općenito će biti usklađeni s područjima primjene prirodoslovne pismenosti iz prethodnih konceptualnih okvira PISA-e. Konteksti će se također birati na temelju njihove relevantnosti za interese i živote učenika. U ovome ciklusu PISA istraživanja to su sljedeća područja primjene: zdravlje i bolesti, prirodni resursi, utjecaji na okoliš i klimatske promjene, opasnosti te suvremeni znanstveni i tehnološki napredak i izazovi.¹ To su područja u kojima prirodoslovna kompetencija ima posebnu vrijednost za pojedince i zajednice u poboljšanju i održavanju kvalitete života te razvoju javnih politika.

Tablica 2. Konteksti za ispitivanje prirodoslovne pismenosti u istraživanju PISA 2025

	Osobni	Lokalni/nacionalni	Globalni
Zdravlje i bolesti	- očuvanje zdravlja, nesreće, prehrana, cijepljenje	- kontrola bolesti, prenošenje bolesti, izbor hrane, pretilost, zdravlje zajednice	- pandemije, sigurnost hrane, zdravi životni stilovi
Prirodni resursi	- osobna potrošnja materijala, vrsta hrane i energije - konzumiranje lokalno proizvedenih namirnica - odabir bezmliječne i vegetarijanske prehrane	- opstanak ljudske populacije, kvaliteta života, sigurnost, proizvodnja i distribucija hrane, opskrba energijom - ekološki utjecaj rudarenja i vađenja resursa - proizvodnja obnovljive energije	- obnovljivi i neobnovljivi izvori energije, prirodni sustavi, porast stanovništva, održivo iskorištavanje vrsta i zemljišta - bioraznolikost i njezina vrijednost
Uticaji na okoliš i	- održive navike recikliranja i	- prostorni raspored stanovništva, gospodarenje	- održivost okoliša, upravljanje

¹ Op. prev. Vjerojatno omaškom, u izvorniku na engleskome jeziku navedena su područja iz prethodnih ciklusa istraživanja PISA 2015. Stoga je tekst prijevoda prilagođen kako bi odgovarao područjima ciklusa PISA 2025 navedenima u tablici 2.: „kvaliteta okoliša” sada čini područje „utjecaji na okoliš i klimatske promjene”, a „granice znanosti i tehnologije” novo područje „suvremeni znanstveni i tehnološki napredak i izazovi”.

klimatske promjene	smanjenje korištenja resursa	otpadom, utjecaj na okoliš - bavljenje održivom poljoprivredom	onečišćenjem i kvalitetom zraka, gubitak tla/biomase - masovno izumiranje vrsta - zakiseljavanje oceana
Opasnosti	- procjena rizika načina života	- brze promjene (npr. potresi, vremenske neprilike), spore i progresivne promjene (npr. obalna erozija, taloženje), procjena rizika	- prijetnje zbog klimatskih promjena, utjecaj moderne komunikacije, energija i njezina proizvodnja, npr. frakturiranje, nuklearna energija, plin
Suvremeni znanstveni i tehnološki napredak i izazovi	- znanstveni aspekti upotrebe novih tehnologija, npr. genetski inženjering, virtualna stvarnost	- novi materijali, uređaji i procesi, genetska modifikacija, tehnologija i zdravlje, promet, upotreba umjetne inteligencije, tehnologija prepoznavanja lica ²	- istraživanje svemira, podrijetlo i struktura svemira

No, ispitivanje prirodoslovlja u PISA-i ipak nije ispitivanje konteksta – PISA ispituje kompetencije i znanje u specifičnim kontekstima. Međutim, konteksti se odabiru na temelju znanja i razumijevanja koji se mogu očekivati od učenika u dobi od 15 godina.

Osjetljivost na jezične i kulturološke razlike imat će prioritet pri izradi i odabiru zadataka; ne samo radi valjanosti ispitivanja već i zbog poštovanja navedenih razlika među zemljama sudionicama. Međutim, u provedbi bilo kojega međunarodnog ispitivanja nije moguće uključiti

² Op. prev. *Tehnologija prepoznavanja lica* navedena je u izvorniku, vjerojatno greškom, pod lokalnim/nacionalnim opasnostima, zajedno s potresima, erozijom tla itd.

razlike u tradicionalnome i lokalnome znanju o prirodnim pojavama koje postoje među zemljama sudionicama. No, to ne znači da se želi zanemariti doprinos takvih znanja u domicilnim kulturama.

Prirodoslovno znanje³

Tri kompetencije koje se razvijaju prirodoslovnim obrazovanjem zahtijevaju tri oblika znanja o kojima se govori u nastavku.

Sadržajno znanje

U ispitivanju prirodoslovne pismenosti PISA 2025 može se ispitati samo uzorak sadržajne domene prirodoslovlja. Stoga je važno da se odabir znanja za ispitivanje vodi jasnim kriterijima. Znanje koje će se ispitivati bit će odabrano iz velikih područja fizike, kemije, biologije, znanosti o Zemlji i svemiru i to prema kriterijima da je to znanje:

- relevantno za stvarne životne situacije
- trajno korisno i predstavlja važan znanstveni koncept ili veliku i dobro potkrijepljenu objasnidbenu teoriju
- primjereno stupnju razvoja petnaestogodišnjaka.

Stoga se pretpostavlja da učenici imaju određeno znanje o glavnim objasnidbenim idejama i teorijama znanosti, na primjer o onima koje se mogu naći u Harlen (2010). To uključuje ideje kao što su naše razumijevanje razvoja i razmjera svemira, čestični model građe tvari i teorija evolucije prirodnom selekcijom. Navedeni primjeri ideja samo su ilustrativni i ne predstavljaju sve ideje i teorije koje bi se mogle smatrati ključnima za prirodoslovno obrazovanje pojedinca. Štoviše, unutar bilo koje od ovih domena, bilo sadržajnih domena ili znanstvene prakse, postoji hijerarhija napretka o kojoj je potrebno voditi računa prilikom formuliranja ispitnih zadataka (Alonzo i Gotwals, 2012).

U okviru 3. prikazane su kategorije sadržajnog znanja i primjeri odabrani na temelju navedenih kriterija. To nije sveobuhvatan popis znanja obuhvaćenoga ispitivanjem PISA, ali predstavlja znanje potrebno za razumijevanje prirodnoga svijeta i za smisljena iskustva u osobnome, lokalnom, nacionalnom i globalnom kontekstu. U ovome konceptualnom okviru upotrebljava se izraz „sustavi” umjesto „znanosti” u opisivačima sadržajnog znanja. Namjera je prenijeti ideju da građani moraju razumjeti koncepte iz fizike i znanosti o životu te znanosti o Zemlji i svemiru i njihovu primjenu u kontekstima u kojima su elementi znanja međuovisni ili interdisciplinarni. Pojave koje se na jednoj razini promatraju kao podsustavi mogu činiti cjelovite sustave na nižoj razini. Na primjer, krvožilni sustav može se promatrati kao sustav po sebi ili kao

³ Op. prev. Kompetencije su u izvorniku obrađene prije znanja; u prijevodu je promijenjen redoslijed kako bi odgovarao poretku u tablici 1.

podstavak ljudskoga tijela, a molekula se može proučavati kao stabilna konfiguracija atoma, ali i kao podstavak stanice ili plina. Stoga primjena prirodoslovnoga znanja i uporaba prirodoslovnih kompetencija zahtijeva razmatranje toga koji se sustav i koje razgraničenje primjenjuju u određenome kontekstu.

Osim toga, razumijevanje brojnih suvremenih izazova s kojima se čovječanstvo suočava i utjecaja ljudi na planet zahtijeva poznavanje međuovisnosti živih bića. To je prirodoslovno znanje kojim se primjerice objašnjava uloga glavnih grabežljivaca, važnost pčela ili utjecaj krčenja šuma.

Okvir 3. Sadržajno znanje prirodoslovlja u istraživanju PISA 2025

Fizikalni sustavi – zahtijevaju poznavanje sljedećih sadržaja:

- građa i svojstva tvari (npr. čestični model, veze, promjene stanja, toplinska i električna vodljivost)
- kemijske promjene tvari (npr. kemijske reakcije, prijenos energije, kiseline/lužine)
- gibanje i sile (npr. brzina, trenje) i djelovanje na daljinu (npr. magnetska, gravitacijska i elektrostatička sila te njihovo međudjelovanje)
- energija i njezina pretvorba (npr. očuvanje, rasipanje, kemijske reakcije)
- međudjelovanje energije i tvari (npr. svjetlosni i radio valovi, zvučni i seizmički valovi, upijanje zračenja ugljikova dioksida).

Živi sustavi – zahtijevaju poznavanje sljedećih sadržaja:

- koncept organizma (uključujući životinje, biljke i mikroorganizme – npr. virusi, bakterije)
- geni (npr. ekspresija, nasljeđivanje/nasljedstvo, biotehnologija) i njihovo međudjelovanje s okolišem
- stanice (uključujući strukturu i funkciju, energiju, disanje (oksidacija ugljika), fotosintezu (vezivanje ugljika), rast itd.)
- biljni i životinjski sustavi, njihovo zdravlje i održavanje (npr. cirkulacija / krvožilni sustav, razmnožavanje, disanje, izlučivanje, probava/prehrana) i povezani međuodnosi
- biološka evolucija (bioraznolikost, genetska varijacija, prilagodba i prirodna selekcija)
- ekosustavi (npr. protok tvari i energije, hranidbeni lanci, stanište, poremećaj, npr. zagađenje)
- biosfera (npr. održivost globalnog ekosustava)
- međudjelovanje ljudi i njihov utjecaj i učinak na okoliš, druge vrste i održivost.

Sustavi Zemlje i svemira – zahtijevaju poznavanje sljedećih sadržaja:

- struktura Zemljina sustava (npr. atmosfera, hidrosfera, litosfera; tektonika ploča, seizmologija)
- ograničenost mineralnih resursa, njihovo iskorištavanje i utjecaj iskorištavanja na okoliš
- energija u Zemljinim sustavima (npr. izvori, globalno zatopljenje, tektonika ploča, geološki ciklusi, kruženje vode)
- voda; opskrba i čuvanje (npr. slatka voda, vodonosnici)
- međudjelovanje i promjene u Zemljinim sustavima (npr. klimatske promjene, geokemijski ciklusi, konstruktivne i destruktivne tektonske sile, zakiseljavanje oceana)
- Zemljina prošlost (npr. fosili, podrijetlo i evolucija, erozija i taloženje)
- Zemlja u svemiru (npr. Mjesečeve mijene, solarni sustavi, galaksije)
- podrijetlo svemira i Sunčeva sustava (npr. nastanak zvijezda, nastanak planeta, teorija Velikoga praska).

Osim sadržajnog znanja, prirodoslovno obrazovan pojedinac trebao bi razumjeti da izgradnja znanja ovisi o skupu međuovisnih praksi (*National Research Council*, 2012) koje od znanstvenika zahtijevaju:

- postavljanje pitanja o materijalnome svijetu
- razvoj i upotrebu modela
- planiranje i provedbu istraživanja
- analizu i tumačenje podataka
- upotrebu matematičkoga i računalnoga razmišljanja
- izvođenje objašnjenja
- upuštanje u raspravu temeljenu na dokazima
- pronalaženje, procjenu i prijenos informacija.

Navedene prakse zahtijevaju samo proceduralno ili epistemološko znanje ili obje vrste znanja, što je predstavljeno u nastavku.

Proceduralno znanje

Osnovni je cilj znanosti pronaći objašnjenja za pojave u materijalnome svijetu. Najprije se razvijaju okvirna objašnjenja, koja se zatim ispituju empirijskim istraživanjem. Empirijsko istraživanje temelji se na određenim, utvrđenim konceptima kao što su zavisne i nezavisne varijable, kontrola varijabli, vrste mjerenja, tipovi pogrešaka, metode minimiziranja pogrešaka, uobičajeni obrasci koji se mogu uočiti u podacima i metode predstavljanja podataka. Upravo to poznavanje ključnih koncepata i postupaka u znanstvenome istraživanju čini temelj prikupljanja, analize i tumačenja znanstvenih podataka. Te ideje tvore osnovu proceduralnoga znanja koje se

također naziva i „koncepti dokaza” (Gott, Duggan i Roberts, 2008; Millar, Lubben, Gott i Duggan, 1995).

Proceduralno znanje može se shvatiti kao poznavanje standardnih postupaka i praksi kojima se znanstvenici koriste za dobivanje pouzdanih i valjanih podataka. Takvo znanje potrebno je i za provedbu znanstvenoga istraživanja i za kritičku analizu dokaza kojima se podupiru tvrdnje izvedene na temelju podataka. Očekuje se, na primjer, da će učenici biti svjesni da postoje različite razine povjerenja u prirodoslovno znanje i da mogu objasniti zašto na primjer ne polažemo jednako povjerenje u mjerenja brzine svjetlosti (koja je mjerena mnogo puta, sve preciznijim instrumentima) za razliku od mjerenja ribljega fonda u sjevernome Atlantiku ili populacije planinskih lavova u Kaliforniji. U primjerima navedenim u okviru 4. iskazane su opće značajke proceduralnoga znanja koje se može ispitivati u istraživanju PISA 2025.

Okvir 4. Proceduralno znanje u istraživanju PISA 2025

Proceduralno znanje

- koncept varijabli, uključujući zavisne, nezavisne i kontrolne varijable
- koncepti mjerenja, npr. kvantitativna [mjerenja], kvalitativna [opažanja], upotreba ljestvice te kategoričkih i kontinuiranih varijabli
- načini procjene i umanjivanja nesigurnosti kao što su ponavljanje i izračunavanje prosjeka mjerenja
- mehanizmi kojima se osiguravaju preciznost (stupanj slaganja između ponovljenih mjerenja iste količine) i točnost podataka (stupanj slaganja između izmjerene količine i stvarne vrijednosti mjere)
- uobičajeni načini sažimanja i prikazivanja podataka s pomoću tablica, grafikona i dijagrama te njihova odgovarajuća upotreba
- strategije kontrole varijabli i njihova uloga u nacrtu istraživanja ili upotreba randomiziranih kontroliranih ispitivanja kako bi se izbjegli zbunjujući rezultati i prepoznali mogući uzročni mehanizmi
- prikladnost nacrta istraživanja za određeno znanstveno pitanje, npr. eksperimentalni nacrt, terensko istraživanje, traženje obrazaca; uloga kontrola u utvrđivanju uzročnosti
- procesi stručne recenzije kojima znanstvena zajednica osigurava pouzdanost tvrdnji

Epistemološko znanje

Epistemološko znanje obuhvaća poznavanje konstrukata i glavnih obilježja koji su ključni za proces izgradnje znanja u znanosti i njegovo potkrepljivanje. Stoga epistemološko znanje pruža

utemeljenje za procedure i postupke znanstvenika, znanje o strukturama i glavnim značajkama kojima se vode znanstvena istraživanja te temeljno vjerovanje u tvrdnje koje znanost iznosi o prirodnom svijetu. Ukratko, epistemološko znanje daje objašnjenje i potkrepljenje za opravdanost znanstvenih tvrdnji. Razlika između proceduralnoga i epistemološkoga znanja vidljiva je na primjeru sposobnosti objašnjenja za to što je strategija kontrole varijabli (proceduralno znanje) i sposobnosti objašnjenja zašto je upotreba strategije kontrole varijabli ili ponavljanje mjerenja ključno za uspostavu znanja u prirodoslovlju (epistemološko znanje).

Petnaestogodišnjaci bi, na primjer, trebali znati da je svaki model čestične građe tvari pojednostavljen prikaz te moći objasniti da Bohrov model atoma predstavlja ograničen prikaz onoga što znamo o atomu i njegovim sastavnim dijelovima, no da je temeljen na najboljim dokazima toga vremena. Trebali bi znati da je konstrukcija modela, bilo reprezentacijskih, apstraktnih ili matematičkih, ključno obilježje znanosti i da su takvi modeli više poput geografske karte nego li točan prikaz odnosno preslika materijalnoga svijeta. Cilj je modela zapravo stvoriti prikaz koji omogućuje razumijevanje pojave, a ne replicirati samu pojavu (Elgin, 2017). Dobri modeli također omogućuju izvođenje hipoteza i predviđanja.

Prirodoslovno obrazovani petnaestogodišnjaci također bi trebali razumjeti da se znanstvenici oslanjaju na podatke da bi produbili svoje spoznaje te da je argument osnovno obilježje znanosti. Također, trebali bi biti svjesni da postoje različite vrste argumenata u znanostima. Na primjer, neki su argumenti u znanosti hipotetičko-deduktivni (npr. Kopernikov argument za heliocentrični sustav), neki su induktivni (očuvanje energije), a neki se temelje na zaključivanju do najboljeg objašnjenja (Darwinova teorija evolucije ili Wegenerov argument za pomicanje kontinenata) na temelju najboljih dostupnih dokaza.

Prirodoslovno obrazovan petnaestogodišnjak trebao bi pokazati osnovno razumijevanje suradničke i zajedničke prirode znanstvenoga istraživanja i kako se time razvija pouzdano znanje. Trebao bi moći objasniti kako strategija kontrole varijabli omogućuje stvaranje pouzdanoga znanja (ukratko, da se promatrani učinak može pripisati nezavisnoj varijabli). Trebao bi poznavati ulogu i važnost stručne recenzije kao mehanizma kojim se znanstvena zajednica služi za provjeru tvrdnji o novim spoznajama te radi postizanja konsenzusa; znati da su pogreške svojstvene znanosti, da sva nova znanstvena otkrića provjeravaju drugi znanstvenici koji su stručni u tom području, da su samo recenzirana otkrića vrijedna povjerenja te da postoji hijerarhija časopisa unutar znanstvene zajednice, npr. *Science*, *Nature*, *Cell*, *The Lancet*, *New England Medical Journal* itd. Na primjer, učenik bi trebao moći objasniti svrhu recenzije i ponavljanja istraživanja radi umanjivanja moguće pogreške i stvaranja znanja kojemu se može vjerovati. Trebao bi moći objasniti da pojam teorije u znanosti ne znači isto što i u svakodnevnom govoru, gdje se upotrebljava kao sinonim za „nagađanje” ili „predosjećaj”.

U okviru 5. prikazana su glavna obilježja epistemološkoga znanja. U svojoj osnovi epistemološko znanje sastoji se od četiriju elemenata: znanje o ulozi modela u znanosti, o ulozi podataka i dokaza u znanosti, o prirodi znanstvenoga zaključivanja te suradničkoj i o zajedničkoj prirodi znanstvenih istraživanja.

Okvir 5. Epistemološko znanje u istraživanju PISA 2025

Epistemološko znanje

Obuhvaća poznavanje konstrukata i ključnih obilježja znanosti, odnosno razumijevanje:

- prirode znanstvenih promatranja, činjenica, hipoteza, modela i teorija
- svrhe i ciljeva prirodnih znanosti (proizvesti pouzdana objašnjenja o prirodnome svijetu i predvidjeti buduće događaje) za razliku od tehnologije (ponuditi optimalna rješenja za ljudske potrebe)
- vrijednosti prirodnih znanosti, npr. predanost recenziji radova, objektivnosti i otklanjanju pristranosti.

Točnije, to zahtijeva razumijevanje sljedećega:

Modeli

- kako se razumijevanje materijalnoga svijeta stvara upotrebom fizičkih, konceptualnih, sustavnih i matematičkih modela u znanosti, npr. model čestične građe tvari
- razlike između modela i stvarnosti, npr. model je prikaz nečega što može biti premaleno da bi se vidjelo ili preveliko da bi se zamislilo; npr. Bohrov model atoma
- kako modeli omogućuju predviđanja i objašnjenja; npr. model dnevnih gibanja Sunca i Zemlje
- kako ograničenja modela (npr. broj varijabli, jednostavni modeli nasuprot složenim modelima, kvaliteta danih podataka) ograničavaju njihovu upotrebu

Podatci i dokazi u znanstvenim tvrdnjama

- kako se u znanosti tvrdnje potkrepljuju podacima, metodama, zaključivanjem i procjenjivanjem
- kako nastaju znanstveni dokazi, npr. priroda radnji koje poduzimaju znanstvenici
- kako pogreške u mjerenju utječu na stupanj povjerenja u znanstvene spoznaje

Priroda znanstvenoga razmišljanja

- različiti oblici empirijskih istraživanja, npr. eksperiment, terenski rad i njegova uloga, kontrolirani eksperimenti, utvrđivanje obrazaca
- vrste zaključivanja (dedukcija, abdukcija, indukcija, probabilističko razmišljanje) koje se upotrebljavaju za stvaranje znanja i njihov cilj (provjera objasnidbenih hipoteza ili utvrđivanje obrazaca i entiteta) te primjeri za svaku vrstu, npr. Newtonovi zakoni gibanja* (dedukcija), Mendelovi zakoni (indukcija), teorija evolucije (abdukcija)

- etičke dileme koje se pojavljuju u znanstvenoj praksi, npr. pokusi na životinjama, sukobi interesa
- uloga prirodoslovnoga znanja, zajedno s drugim oblicima znanja, u prepoznavanju i rješavanju društvenih i tehnoloških problema te njegova ograničenja

Suradnička i zajednička priroda znanosti

- kako se neko znanstveno istraživanje financira i vrsta potpore (npr. državna, privatna) te mehanizmi odlučivanja
- važnost konsenzusa za povjerenje u znanstvenu tvrdnju
- kako recenzija pomaže uspostavi povjerenja u znanstvene tvrdnje i ovisi o znanstvenoj zajednici
- ključne znanstvene prakse koje znanstvenici poduzimaju s ciljem stvaranja zajedničkoga znanja, njihova uloga i suradnička priroda
- granice sigurnosti i povjerenja u znanstvena otkrića, kako se izražavaju, razvoj sigurnosti i uloga konsenzusa
- kako se znanstvena otkrića komuniciraju unutar zajednice i prema javnosti (npr. objave prije tiska, recenzirani časopisi, javna komunikacija).

Umjesto izravnog ispitivanja razumiju li učenici značajke iz okvira 5., epistemološko znanje najvjerojatnije će se ispitivati pragmatično, u kontekstu u kojemu se od učenika traži da protumače i odgovore na pitanje koje zahtijeva određeno epistemološko znanje. Na primjer, od učenika se može tražiti da utvrde opravdavaju li podatci neki zaključak ili koji dokaz najbolje podupire hipotezu postavljenu u zadatku te da objasne zašto.

Prirodoslovne kompetencije: opis postignuća

U ovome odjeljku donosi se detaljan opis postignuća i sposobnosti koje se mogu očekivati za svaku kompetenciju. Prirodoslovne kompetencije opisane u okvirima 6. – 8. odražavaju pogled na znanost kao skup društvenih i epistemoloških praksi koje su zajedničke svim znanostima (*National Research Council, 2012*). Stoga su sve te kompetencije formulirane kao radnje. Time se ističe ne samo što bi prirodoslovno obrazovana osoba trebala razumjeti već i što bi trebala moći učiniti. Vladanje navedenim kompetencijama upravo je ono što dijelom razlikuje iskusnoga znanstvenika od početnika. Iako bi bilo nerazumno očekivati da petnaestogodišnji učenik posjeduje stručnost znanstvenika, od prirodoslovno obrazovanoga učenika može se očekivati da cijeni ulogu i važnost znanstvenika te da provodi otprilike slične prakse.

Okvir 6. Prva prirodoslovna kompetencija u istraživanju PISA 2025

Znanstveno objašnjavanje pojava

Proizvesti i procijeniti objašnjenja i rješenja za različite prirodne i tehnološke pojave te probleme, iskazujući sposobnost:

- prisjećanja i primjene odgovarajućega prirodoslovnog znanja
- upotrebe različitih oblika prikaza i njihove usporedbe
- predlaganja i obrazlaganja odgovarajućih znanstvenih predviđanja i rješenja
- prepoznavanja, izrade i vrednovanja modela
- prepoznavanja i razvijanja objasnidbenih hipoteza za pojave u materijalnome svijetu
- objašnjavanja potencijalnih posljedica prirodoslovnoga znanja za društvo.

Petnaestogodišnjaci koji pokazuju sposobnost znanstvenoga objašnjavanja pojava mogu se prisjetiti odgovarajućega znanja u danoj situaciji i primijeniti ga za objašnjavanje određene pojave. Objašnjenja u znanosti zahtijevaju različite oblike prikaza i učenici moraju biti sposobni služiti se pisanim tekstom, dijagramima i grafikonima. Objašnjavanje također uključuje predviđanje što će se dogoditi i predlaganje rješenja za probleme povezane s prirodoslovljem (na primjer, planiranje načina ublažavanja porasta razine mora u budućnosti). Od prirodoslovno obrazovane osobe očekuje se da se osloni na standardne znanstvene modele prilikom izrade i/ili procjene prikaza s ciljem objašnjavanja svakodnevnih pojava, kao što su brže isparavanje vode za toploga dana, načini na koje bi unošenje novoga organizma moglo poremetiti stanište i zašto su plinovi stlačivi za razliku od tekućina, te da na temelju tih objašnjenja daje predviđanja.

Sadržajno znanje iz prirodoslovlja također se može upotrijebiti za prepoznavanje ili osmišljavanje okvirnih objasnidbenih hipoteza u kontekstima u kojima su znanje ili podatci nedostatni. Petnaestogodišnjaci bi trebali moći objasniti potencijalne posljedice znanstvenih spoznaja na društvo: na primjer, spoznaja o ponašanju virusa i bakterija za donošenje dobrih socijalnih politika radi sprječavanja zaraze ili poznavanja kemijskih procesa za osmišljavanje održivijih rješenja poput razvoja dugotrajnih baterija.

Okvir 7. Druga prirodoslovna kompetencija u istraživanju PISA 2025

Osmišljavanje i vrednovanje nacrtu znanstvenih istraživanja te kritičko tumačenje znanstvenih podataka i dokaza

Osmisliti i vrednovati znanstvena istraživanja, poznavati znanstvene pristupe rješavanju problema i tumačiti podatke, iskazujući sposobnost:

- prepoznavanja pitanja u nekome znanstvenom istraživanju
- predlaganja odgovarajućega nacrtu istraživanja
- vrednovanja je li nacrt istraživanja prikladan za pitanje koje se želi istražiti
- tumačenja podataka u različitim prikazima; izvođenja odgovarajućih zaključaka iz podataka i procjene njihove vrijednosti.

Kompetencija osmišljavanja i vrednovanja nacrtu znanstvenih istraživanja te kritičkoga tumačenja znanstvenih podataka i dokaza oslanja se na sposobnost razlikovanja onih pitanja na koja se može primjereno odgovoriti znanstvenim istraživanjem od drugih vrsta pitanja koja se oslanjaju na drukčije načine spoznavanja svijeta. Vrednovanje pitanja također zahtijeva prosudbu vrijednosti ishoda i njihove važnosti. Na primjer, cjepivo protiv malarije znanstveno se istražuje desetljećima te bi, s obzirom na broj ljudi koji su preminuli od te bolesti, bilo koje otkriće koje bi ukazivalo na to da je takvo cjepivo moguće, bilo ključno.

Ova kompetencija podrazumijeva i proceduralno i sadržajno poznavanje ključnih značajki eksperimentalnoga istraživanja i drugih oblika znanstvenih istraživanja. Na primjer, u slučaju eksperimentalnoga istraživanja važno je poznavati koje se količine mogu mjeriti, koje se varijable mogu mijenjati, a koje zahtijevaju kontrolu. Također, važno je znati što treba poduzeti kako bi se prikupili točni i precizni podatci. U slučaju razvoja simulacija za modeliranje pojave, npr. klimatskih promjena, širenje virusa ili učinka trčanja na tjelesnu temperaturu, pojedinac treba moći prepoznati relevantne varijable i procijeniti njihovo podudaranje s empirijskim podacima. Ova kompetencija također zahtijeva sposobnost utvrđivanja vodi li se istraživanje nekom temeljnom teorijskom pretpostavkom ili pak nastoji utvrditi prepoznatljive obrasce, na primjer u radu epidemiologa.

Kako bi iskazao ovu kompetenciju, znanstveno obrazovan pojedinac trebao bi moći protumačiti i razumjeti osnovne oblike znanstvenih podataka i dokaza na temelju kojih se iznose znanstvene tvrdnje i izvesti zaključak na temelju podataka prikazanih standardnim jednostavnim oblicima, na primjer prikaze s podacima o koronavirusu, podatke o kvaliteti zraka ili statistike o stanovništvu. Također, trebao bi moći procijeniti koji se zaključci mogu izvesti na temelju tih dokaza i jesu li oni opravdani, oslanjajući se na znanje o suštinskoj nesigurnosti podataka i načinima na koje bi mogli biti pogrešno predstavljeni te uklapaju li se u znanstveni dogovor i vjerodostojnost izvora. Pojedinac koji posjeduje ovu kompetenciju može protumačiti značenje znanstvenih dokaza i njihove posljedice za određenu publiku vlastitim riječima, koristeći se dijagramima ili drugim prikladnim prikazima. Nadalje, može zahtijevati upotrebu osnovnih

matematičkih alata za analizu ili sažimanje podataka te sposobnost upotrebe standardnih metoda za transformaciju podataka u različite prikaze.

Ova kompetencija uključuje sposobnost prepoznavanja kako se skupovi podataka mogu transformirati u različite vrste vizualnoga prikaza i kako odabrati odgovarajući prikaz za odgovor na postavljeno pitanje. To uključuje sposobnost prepoznavanja na koji način različite vrste prikaza podataka naglašavaju ili skrivaju različite aspekte podataka, na primjer upotreba logaritamskih ljestvica za prikaz brojeva u rasponu više redova veličine (Harford, 2020; Bergstrom i West, 2020). Takvo je znanje temelj podatkovne pismenosti i prikaza podataka koji su uobičajeni na internetu i u medijima.

Okvir 8. Treća prirodoslovna kompetencija u istraživanju PISA 2025

Istraživanje, vrednovanje i upotreba znanstvenih podataka za donošenje odluka i djelovanje

Istražiti i vrednovati znanstvene tvrdnje i argumente prikazane na različite načine i donositi odgovarajuće zaključke, iskazujući sposobnost:

- pretraživanja, vrednovanja i komuniciranja relevantnih prednosti različitih izvora informacija (znanstvenih, društvenih, ekonomskih i etičkih) koji mogu biti važni ili vrijedni za donošenje odluka o znanstvenim pitanjima te podupiru li oni neki argument ili rješenje
- razlikovanja tvrdnji temeljenih na čvrstim znanstvenim dokazima, mišljenja stručnjaka od mišljenja nestručnjaka i navođenja razloga za to razlikovanje
- oblikovanja argumenta koji podržava odgovarajući znanstveni zaključak iz skupa podataka
- kritiziranja standardnih nedostataka u znanstvenim argumentima koristeći se epistemološkim i proceduralnim znanjem, na primjer pogrešne pretpostavke, uzrok nasuprot korelaciji, pogrešna objašnjenja, generalizacije na temelju ograničenih podataka
- opravdavanja odluka upotrebom znanstvenih argumenata, bilo pojedinačnih ili zajedničkih, koji doprinose rješavanju suvremenih problema ili održivu razvoju.

U posljednjemu desetljeću došlo je do eksplozije u količini i protoku informacija te sposobnosti pojedinca da pristupi tim informacijama. Nažalost, kao i protok valjanih i pouzdanih informacija, povećava se i protok polovičnih informacija, ali i dezinformacija. Kada je riječ o znanstvenim informacijama, važno je da svi građani budu sposobni prosuditi o utemeljenosti i valjanosti informacija o nekoj temi iz područja znanosti. Važnost informacija i dezinformacija tijekom pandemije koronavirusa 2020. godine izvrstan je primjer: treba li nositi masku, koje su opasnosti povezane s koronavirusom i koja je vrijednost mogućih lijekova/cjepiva.

Većina pojedinaca doći će u kontakt sa znanosti kroz sekundarne izvore i sekundarne podatke. Kako bi ih mogli vrednovati, pojedinci moraju razumjeti kako procijeniti pouzdanost izvora i

njegovu stručnost, kao i pouzdanost publikacije u kojoj je objavljen; zatim ulogu recenzije, standardna pitanja u ispitivanju kvalitete podataka, na primjer o točnosti, preciznosti i veličini uzorka te uobičajene nedostatke u argumentima (generalizacija na temelju ograničenih podataka, razlikovanje uzroka od korelacije).

Prirodoslovno obrazovana osoba trebala bi razumjeti važnost razvijanja skeptičnoga pristupa, posebno prema medijskim izvješćima o pojedinačnim otkrićima u znanosti, prepoznajući da se sva istraživanja nadovezuju na prethodni rad, da su otkrića bilo kojega istraživanja uvijek podložna određenom stupnju nesigurnosti te da istraživanje može biti pristrano prema nekomu izvoru financiranja. Ova kompetencija od učenika zahtijeva proceduralno i epistemološko znanje, ali se također može odnositi, u različitoj mjeri, i na njihovo sadržajno znanje.

Cilj prirodoslovnoga obrazovanja trebao bi biti razvoj kompetencija potrebnih za istraživanje, vrednovanje i upotrebu znanstvenih podataka za donošenje odluka i djelovanje u vezi s osobnim, lokalnim i globalnim pitanjima znanosti. To zahtijeva osnovne kompetencije „selektivnoga klikanja” (engl. *click restraint*, odabira stranica na koju će se kliknuti) i „lateralnoga čitanja” (engl. *lateral reading*, odnosi se na istraživanja izvora) kojima se provjerivači činjenične točnosti (engl. *fact-checkers*) koriste za provjeru vjerodostojnosti izvora (Breakstone i sur., 2021). Nadalje, petnaestogodišnjaci bi se trebali znati služiti Wikipedijom radi utvrđivanja postoji li znanstveni konsenzus o nekoj temi. Osim toga, prirodoslovno obrazovani petnaestogodišnjaci trebali bi moći prepoznati neke od pretpostavki, tvrdnji, dokaza i obrazloženja u znanstvenome argumentu te moći razviti argumente na temelju dostupnih znanstvenih dokaza i informacija, na primjer u vezi s cijepljenjem, neutralizacijom ugljičnoga otiska, očuvanjem vode ili kvalitetom zraka. Također, trebali bi moći **prepoznati** uobičajene nedostatke: **pogrešne pretpostavke** (na primjer da ljudsko ponašanje ne doprinosi klimatskim promjenama), **razlikovati korelacije od uzročnosti** (na primjer da veličina populacije roda i stopa nataliteta u nekoj zemlji, ili porast prodaje sladoleda i napada morskih pasa ljeti čine korelacije, ali nisu uzročno povezani), **prepoznati pogrešna objašnjenja** (na primjer da cjepiva uzrokuju autizam ili razlikovati vremensku prognozu od klime – na primjer prepoznati promašenost tvrdnje kao što je ova: „Ako znanstvenici ne mogu predvidjeti ni vremensku prognozu za sljedeća dva tjedna, kako onda mogu predvidjeti kakva će biti klima za 20 godina?”) te **prepoznati pogrešne generalizacije iz ograničenih podataka**, na primjer iz malih uzoraka. Osim toga, trebaju uvidjeti da je znanost samo jedan od čimbenika, poput ekonomskih, bihevioralnih i vrijednosnih, na temelju kojih se donose odluke te prepoznati na koji način prirodoslovno znanje i praksa ulaze s drugim čimbenicima u međuodnos.

Znanstveni identitet

Uvrštavanje identiteta kao jedne od glavnih dimenzija konstrukta prirodoslovne pismenosti i ishoda u istraživanju PISA 2025 temelji se na načelu da, iako su prirodoslovno znanje i kompetencije važni i vrijedni za budućnost mladih, ishodi koji se odnose na znanstveni identitet također su ključni za njihovu sposobnost djelovanja i aktivno obavljanje građanske uloge u svijetu koji se silovito mijenja. Ti se ishodi odnose na to u kojoj se mjeri mladi osjećaju smisleno povezanim sa znanosti, u kojoj se mjeri prepoznaju i osjećaju prepoznato od drugih kao

zainteresirani/kompetentni po pitanju znanosti (Carlone i Johnson, 2007) te u kojoj mjeri ulaze u odnos sa znanosti kao njezini kritični konzumenti i donositelji odluka u svom svakodnevnom životu (Bell i sur., 2018).

Pogledi mladih ljudi na sebe kao pojedince koji su zainteresirani za znanost te cijene znanost i znanstveni način razmišljanja obuhvaćeni su konceptom prirodoslovnoga identiteta. Cilj je istraživanja PISA procijeniti znanje i kompetencije petnaestogodišnjaka za znanstveni pristup svijetu, a potpun uvid ne može se ostvariti bez mjerenja njihova osjećaja za mogućnost djelovanja, njihovih stavova te vrijednosti koje gaje po pitanju znanosti. Ukratko, ako se prirodoslovno znanje i kompetencije ne cijene kao način razmišljanja i bivanja u svijetu, prirodoslovno obrazovanje nije uspjelo postići jedan od svojih glavnih ciljeva. S obzirom na uključivanje nove kompetencije „istraživanja, vrednovanja i upotrebe znanstvenih podataka za donošenje odluka i djelovanje”, koja stavlja još veći naglasak na sposobnost petnaestogodišnjaka da se služe svojim znanjem, razmatranje navedenih obilježja prirodoslovnoga identiteta postaje još važnije. Nije dovoljno „poznavati” znanost ako ne postoji jasna poveznica s njezinom primjenom.

Konstrukt znanstvenoga identiteta nadilazi razmatranja kratkoročnih stavova i emotivnih odgovora na prirodoslovlje i s njim povezane događaje u učionici te obuhvaća aktivno bavljenje znanosti i dugoročne težnje u smislu osobnih procesa oblikovanih sociokulturnim strukturama i interakcijom s drugima koje formiraju osjećaj sebstva (Ashbacher i sur., 2014). Koncept se pokazao moćnim u tumačenju iskustva prirodnih znanosti i stavova prirodoslovlja kod manjinskih zajednica te kulturološki i etnički različitih učenika (uključujući domicilne učenike i imigrantske zajednice; Calabrese Barton i sur., 2013). Stoga on pruža snažnu kritičku perspektivu i perspektivu socijalne pravde na interakcije učenika s prirodoslovljem u školama te daje važnu perspektivu za izvješćivanje o prirodoslovnim kompetencijama PISA-e na nacionalnoj i globalnoj razini (Archer i sur., 2017; Archer, DeWitt i Osborne, 2015). Za sve učenike pokazalo se da im njihovo poistovjećivanje sa znanosti pomaže u učenju.

Međutim, konstrukt znanstvenoga identiteta složen je. Iz perspektive mjerenja obuhvaća niz koncepata koji se odnose na percepcije, sklonosti i vrijednosti te stavove/afekte. To uključuje samopoimanje učenika (Jansen i sur., 2015), odnosno mjeru njihove percepcije vlastitih kompetencija u prirodoslovlju; samoučinkovitost (Bandura, 1997), što je mjera njihove percepcije sposobnosti obavljanja znanstvenih zadataka u svakodnevnom životu; zatim sposobnost djelovanja, motivaciju, epistemološka uvjerenja te znanstveni kapital (Archer, Dawson, DeWitt, Seakins i Wong, 2015). Samoučinkovitost i kolektivna učinkovitost ključne su vještine koje pomažu odrediti vjeruju li mladi da mogu raditi na rješavanju problema i koliko su u tome učinkoviti.

Znanstveni kapital sociološki je koncept koji se odnosi na oblike kulturnoga i društvenoga kapitala povezane sa znanosti (Bourdieu, 1992, 2010). Iz perspektive mjerenja sastoji se od četiriju različitih komponenti: 1. znanje i razumijevanje koji se odnose na znanost, 2. stavovi i sklonosti u vezi s prirodnim znanostima (npr. osjećaj povezanosti sa znanosti, viđenje znanosti koja se poučava u školi kao relevantne za svakodnevni život), 3. bavljenje znanosti iz razonode/zadovoljstva (npr. praćenje znanstvenih tema na društvenim medijima) i 4. društveni kapital povezan sa znanosti (npr. poznavanje ljudi zainteresiranih za znanost, potpora bližnjih u razvijanju i praćenju znanstvenih interesa; Archer i sur., 2015). Navedeni elementi znanstvenoga

kapitala zajedno podupiru identifikaciju mladih sa znanosti – odnosno u kojoj se mjeri unutar svojega društvenog konteksta vide kao „osobe za znanost” i do koje mjere mogu kritički procijeniti i upotrebljavati znanost u svojem životu. Stavovi, koji su u istraživanju PISA 2015 činili primarnu dimenziju, ovdje su podvedeni pod okvir identiteta.

Glavna razlika unutar literature o stavovima (Gardner, 1975; Osborne, Simon i Collins, 2003; Tytler, 2014) jest ona između stavova prema znanosti i znanstvenih stavova. Dok se prvi mjere razinom interesa za znanstvena pitanja i aktivnosti, drugi predstavljaju mjeru sklonosti pozitivnomu vrednovanju znanstvenoga načina razmišljanja i znanstvenoga rada, uključujući poštovanje dokaza kao temelja za iznošenje tvrdnji, objašnjavanje i odlučivanje.

Međutim, takva binarna razlika nije dovoljna. Na primjer, nedavno se pojavio interes za estetskim aspektima rada znanstvenika (Wickman, 2006) i reakcijama učenika na aspekte školske znanosti (Anderhag, Hamza i Wickman, 2015; Jakobson i Wickman, 2008; Wickman, Prain i Tytler, 2021) koje povezuju osjećaji poput zahvalnosti, zanimanja, čuđenja ili čak strahopoštovanja prema prirodnim pojavama, npr. određenim živim bićima poput kukaca, načinu rada televizora, objašnjenju Mjesečevih mijena, načinima preobrazbe podataka ili prirodi znanstvenoga argumenta utemeljenoga na dokazima. Konstrukt znanstvene estetike naglašava da postoji kontinuitet između značenja i osjećaja (Dewey, 1929/1996; Lemke, 1990; 2015) te da sav konceptualni rad uključuje predanost određenoj estetici. Richard Dawkins (1997), na primjer opisuje „strahopoštovanje od kojega prolaze trnci i koje zaustavlja dah... koje moderna znanost može pružiti.” Charles Darwin slavno je naglasio veličanstvenost pogleda na život koji sugerira njegova teorija prirodne selekcije (Darwin, 1968).

Osim toga, poznato je da osobe koje su sklone redovitom doživljavanju strahopoštovanja imaju povećanu toleranciju na dvosmislenost i nesigurnost (Shiota, Keltner i John, 2006). Gottlieb i sur. (2018) pokazali su da sklonost doživljavanju strahopoštovanja omogućuje preciznije razumijevanje načina na koji znanost funkcionira, odbacivanje kreacionizma i odbacivanje neopravdanih teleoloških objašnjenja u širem smislu. Razvoj znanstvenoga identiteta stoga se može promatrati kao razvoj „ukusa” za znanost (Anderhag, 2017, prema Bourdieu, 1984). To je u skladu sa stajalištima iz psihološke literature koja pokazuju recipročan odnos između kognicije i afekta (Hidi, Renninger i Krapp, 2004; Schiepe-Tiska, 2016).

Ekološke krize predstavljaju gorući globalni problem. Prijetnje okolišu sve su očitije u svakodnevnom životu učenika, uključujući sve veću pažnju medija. Pred učenike se stavlja izazov da shvate i aktivno odgovore na složena pitanja okoliša koja uključuju znanstvene spoznaje i mogu zahtijevati osobno odlučivanje i djelovanje. Poznavanje izazova za okoliš, briga zbog tih prijetnji te sklonost nadi važne su sastavnice koncepta sposobnosti djelovanja u antropocenu (Li i Monroe, 2017; 2019; Ojala, 2015) i važan dio konstrukta znanstvenoga identiteta u istraživanju PISA 2025.

Konstrukt prirodoslovnoga identiteta u istraživanju PISA 2025 oslanja se na niz elemenata koji pridonose znanstvenomu identitetu, odražavajući potrebu za procjenom kompetencija relevantnih za život u 21. stoljeću i posebno naglašavajući sposobnost učenika da se služe znanstvenim podacima pri donošenju odluka i djelovanju – što su elementi koji će se mjeriti i kognitivnim i nekognitivnim instrumentima u istraživanju PISA.

Definiranje prirodoslovnog identiteta u istraživanju PISA 2025

U istraživanju PISA 2025 ispitivat će se sljedeći elementi znanstvenoga identiteta:

- znanstveni kapital i epistemološka uvjerenja
 - znanstveni kapital: znanja o znanosti, bavljenje znanošću i društveni kapital
 - epistemološka uvjerenja: opće vrijednosti znanosti i znanstvenoga istraživanja
- znanstveni kapital: stavovi i sklonosti
 - znanstveno samopoimanje (osjećaj sebstva u odnosu na znanost, uključujući buduće djelovanje)
 - znanstvena samoučinkovitost
 - uživanje u znanosti
 - instrumentalna motivacija
- ekološka svijest, briga za okoliš i djelovanje za zaštitu okoliša
 - ekološka svijest
 - briga za okoliš
 - djelovanje za zaštitu okoliša.

Za mjerenje su odabrana ova područja jer čine važna obilježja prirodoslovno obrazovanoga pojedinca.

Znanstveni kapital predstavlja sveobuhvatnu mjeru prirodoslovnoga znanja koje pojedinac posjeduje, njegova angažmana, formalnoga i neformalnoga, u aktivnostima znanstvene prirode, njegovih stavova i sklonosti te njegova znanja i razumijevanja znanstvenoga rada stečenoga izvan škole, npr. ako se roditelji bave znanošću ili znanstvenim radom.

Epistemološka uvjerenja prikazana u okviru 9. usko su povezana s učeničkim pozitivnim vrednovanjem znanstvenih perspektiva i pristupa istraživanju koji uključuju uvažavanje objekata, proizvoda i procesa koji pokreću znanstveno istraživanje. Ova se dimenzija znanstvenog identiteta učenika potvrđuje kroz predanost dokazima kao temelju vjerovanja u znanstvena objašnjenja materijalnoga svijeta, neopterećenost neizvjesnošću i pojmom rizika, vrednovanje argumenata i rasprava utemeljenih na dokazima kao sredstvima utvrđivanja valjanosti bilo koje ideje i predanost znanstvenomu pristupu istraživanju kada je to potrebno.

U okviru epistemoloških uvjerenja, za kompetenciju „istraživanja, vrednovanja i upotrebe znanstvenih podataka za donošenje odluka i djelovanje” potrebna je sklonost kritičkom razmišljanju u znanosti. Vrlo je poželjno da mladi razviju sljedeće elemente sklonosti kritičkom razmišljanju: sposobnost i samopouzdanje da kritički pristupaju znanosti, sklonost da se služe znanošću kao jednim od svojih intelektualnih alata za donošenje odluka koje uključuju višestruke oblike znanja, svijest o suprotstavljenim vrijednostima i tvrdnjama u vezi sa znanstvenim temama, zabrinutost zbog pitanja jednakosti povezanih s razvojem i primjenom znanosti i tehnologije te promišljen stav o znanstvenim pitanjima koji uzima u obzir znanstvene dokaze.

Od važnosti je ovdje kritička usmjerenost na ulogu znanosti u prepoznavanju i rješavanju pitanja okoliša/održivosti, uključujući osmišljavanje znanstvenih rješenja koja doprinose

jednakosti i društvenoj pravdi. To se odražava u brizi za okoliš i aktivnostima za očuvanje planeta te spremnosti na poduzimanje odgovarajućih znanstveno utemeljenih akcija. Konkretno, ta se orijentacija iskazuje sposobnošću prepoznavanja složenosti brojnih ekoloških pitanja i identificiranja suprotstavljenih znanstvenih načela i društvenih razmatranja u odlučivanju ili zagovaranju određenih praksi.

Stavovi i sklonosti prema znanosti prikazani u okviru 7. igraju značajnu ulogu u interesu, pažnji i reakciji učenika na znanost i tehnologiju, kao i na pitanja koja su im posebno važna. Jedan od ciljeva prirodoslovnoga obrazovanja jest razvoj stavova koji učenike potiču da se bave znanstvenim pitanjima i temama. Takvi su stavovi potrebni za rješavanje osobnih, lokalnih, nacionalnih i globalnih problema s kojima će se mladi ljudi susresti u svojem životu. Interes za znanost također je povezan s postignućima i težnjama za daljnjim studiranjem, karijerom i cjeloživotnim učenjem u znanosti. Na primjer, značajan dio literature govori da se kod većine pojedinaca koji imaju znanstvenu karijeru interes za znanost pojavio do 14. godine života (Ormerod i Duckworth, 1975; Tai, Qi Liu, Maltese i Fan, 2006). Zabrinutost politike mnogih zemalja OECD-a zbog broja učenika, posebno žena, koji biraju studij fizike, inženjerstva i računalstva čini mjerenje stavova prema znanosti važnim aspektom PISA istraživanja.

Za istraživanje PISA 2025 raniji koncepti ekološke svijesti i ekološkoga optimizma prilagođeni su i prošireni kao koncept ekološke svijesti, brige za okoliš i djelovanja za zaštitu okoliša, kao što je prikazano u okviru 8. S obzirom na velike izazove koje predstavljaju prijetnje antropogeno uzrokovanih klimatskih promjena, gubitak bioraznolikosti, a odnedavno i globalna pandemija te na značajne pokrete među mladima koji se temelje na brizi za međugeneracijsku pravdu (vidljive, na primjer, u štrajkovima mladih za klimu), postoji hitna potreba za istraživanjem dimenzija identiteta povezanih s kompetencijama, brigom i djelovanjem usmjerenima na zaštitu okoliša. U kojoj mjeri mladi prihvaćaju znanost kao temeljnu za pružanje rješenja za navedene krize i u kojoj mjeri vide sebe kao sposobne za djelovanje na osobnoj, lokalnoj i globalnoj razini po tim pitanjima?

Okvir 9. Znanstveni kapital i epistemološka uvjerenja

Znanstveni kapital

Na ovu dimenziju znanstvenog identiteta upućuje:

- razumijevanje prirode određenoga rada u znanosti
- opća razina poznavanja znanstvenih ideja
- osjećaj povezanosti sa znanosti i osobna relevantnost znanosti
- bavljenje znanstvenim aktivnostima kod kuće i u školi
- poznavanje i podrška od ljudi zainteresiranih za znanost.

Epistemološka uvjerenja

Na ovu dimenziju znanstvenog identiteta upućuje:

- posvećenost dokazima kao temelju za vjerovanje u objašnjenja o materijalnome svijetu
- predanost znanstvenomu načinu istraživanja kada je on prikladan
- vrednovanje kritike kao načina utvrđivanja valjanosti bilo koje ideje
- razvoj interesa za znanstvene pojave i s njima povezane modele i objašnjenja
- povjerenje u tvrdnje postignute konsenzusom znanstvenika i relevantnih stručnjaka u usporedbi s drugim izvorima informacija
- uvažavanje nesigurnosti kao značajke svojstvene svim znanstvenim istraživanjima i njezinih posljedica
- uvažavanje da znanstvene spoznaje evoluiraju i mijenjaju se
- razumijevanje da znanost može dati značajan doprinos rješavanju društvenih i okolišnih pitanja.

Okvir 10. Stavovi i sklonosti

Stavovi i sklonosti

Na ovu dimenziju znanstvenog identiteta upućuje:

- spremnost za bavljenje znanstvenim temama i kritičko razmatranje problema primjenom znanosti, ali i drugih oblika znanja ili vrijednosti
- koliko se pojedinac poistovjećuje sa znanosti: prepoznavanje sposobnosti kod sebe i drugih za bavljenje znanstvenim pojavama
- koliko se učenik smatra sposobnim u prirodnim znanostima
- razina interesa učenika za znanstvenu karijeru ili proučavanje znanosti nakon završetka škole
- raspon izvannastavnih i izvanškolskih znanstvenih aktivnosti u koje se učenici uključuju
- koliko učenici vole učiti o znanosti u školi i izvan nje.

Okvir 11. Ekološka svijest, briga za okoliš i djelovanje za zaštitu okoliša

Ekološka svijest, briga za okoliš, djelovanje za zaštitu okoliša

Ovaj koncept označava:

- zauzimanje kritičke perspektive utemeljene na dokazima o osobnim i društveno relevantnim pitanjima okoliša (uključujući ekološku svijest, brigu i djelovanje za zaštitu okoliša)
- svijest o pitanjima zaštite okoliša i prepoznavanje znanstvene i društvene složenosti koja stoji iza ekološki održivih radnji
- brigu za okoliš i održivo življenje te s njima povezana pitanja jednakosti i društvene pravde
- kritičku procjenu uloge znanosti i drugih čimbenika u održivim praksama
- spremnost za prihvaćanje i promicanje ekološki održivih praksi
- osjećaj sposobnosti za osobno djelovanje utemeljeno na znanstvenim spoznajama i razumijevanju okoliša.

Daljnja razrada nekih od ovih koncepata može se pronaći u Konceptualnom okviru za upitnike u istraživanju PISA 2025 i u knjizi *Science-Related Outcomes: Attitudes, Motivation, Value Beliefs, Strategies* [*Prirodoslovni ishodi: stavovi, motivacija, vrijednosna uvjerenja, strategije*] (Schiepe-Tiska i sur., 2016), koju potpisuje tim koji je razvio okvir za ispitivanje prirodoslovlja u istraživanju PISA 2015.

V. ISPITNE ZNAČAJKE

Kognitivne razine

Ključna je značajka konceptualnoga okvira istraživanja PISA 2025 definiranje kognitivnih razina u ispitivanju prirodoslovne pismenosti i triju prirodoslovnih kompetencija. U ispitnim okvirima težina zadatka, koja se određuje empirijski, često se poistovjećuje s kognitivnom razinom. No, empirijska težina zadatka procjenjuje se na temelju udjela ispitanika koji su uspješno riješili taj zadatak, čime se procjenjuje ukupna sposobnost populacije ispitanika u njegovu rješavanju, dok se kognitivne razine odnose na vrstu potrebnih mentalnih procesa (Davis i Buckendahl, 2011). Stoga sastavljači zadataka, upotrebljavajući ovaj konceptualni okvir, trebaju voditi računa o tome koju razinu traže određenim zadatkom, tj. koji se kognitivni proces zahtijeva od učenika. Na primjer, neki zadatak može se pokazati vrlo teškim jer se njime ispituje znanje koje nije općepoznato, iako kognitivno zahtijeva jednostavno prisjećanje. Suprotno tomu, zadatak može biti kognitivno zahtjevan jer od učenika traži povezivanje i razmatranje različitih znanja – od kojih se svakoga lako prisjetiti. Stoga PISA-ini ispitni instrumenti ne trebaju samo razlikovati lake od teških ispitnih zadataka već ispit također treba pružiti informacije o tome kako se učenici različitih sposobnosti mogu nositi s problemima na različitim kognitivnim razinama (Brookhart i Nitko, 2011).

Kompetencije su formulirane nizom pojmova koji definiraju svaku kognitivnu razinu upotrebom glagola kao što su „prepoznati”, „protumačiti”, „analizirati” i „vrednovati”. Međutim, ti glagoli sami po sebi ne označavaju nužno hijerarhijski redoslijed zahtjevnosti koja ovisi o razini znanja potrebnoj za rješavanje zadatka. Od objave prve Bloomove taksonomije (Bloom, 1956) razvijene su različite klasifikacije kognitivnih razina, a u nastavku su ukratko opisane one koje su poslužile razvoju znanja i kompetencija u okviru istraživanja PISA 2025. One se uglavnom temelje na kategorizaciji vrsta znanja i s njima povezanih kognitivnih procesa koji se upotrebljavaju u opisu obrazovnih ciljeva ili ispitnih zadataka.

Revidirana Bloomova taksonomija (Anderson i Krathwohl, 2001) obuhvaća četiri kategorije znanja – činjenično, konceptualno, proceduralno i metakognitivno. U toj kategorizaciji oblici znanja poredani su hijerarhijski i razlikuju se od šest kategorija postignuća iz prve Bloomove taksonomije – pamćenje, razumijevanje, primjena, analiza, prosudba i stvaranje. U Andersonovu i Krathwohljevu okviru te se dvije dimenzije smatraju neovisnima, što dopušta križanje nižih razina znanja s vještinama višega reda i obrnuto.

Još se jedna shema može pronaći u okviru koji se temelji na „dubini znanja” („DZ”; engl. DOK – *depth of knowledge*), koju je Webb (1997) razvio specifično kao rješenje za nesrazmjer između ispitivanja i obrazovnih očekivanja od učenika. Prema Webbu, razine dubine znanja mogu se odrediti samo uzimajući u obzir i složenost sadržaja i postignuća. Njegova se shema sastoji od četiriju glavnih kategorija: 1. razina (prisjećanje), 2. razina (primjena vještina i/ili konceptualnoga znanja), 3. razina (strateško mišljenje) i 4. razina (prošireno mišljenje). Svakoj kategoriji pridružen je velik broj glagola kojima se može opisati kognitivno postignuće, a neki se pojavljuju i na više razina. Navedeni okvir nudi cjelovitiji pogled na učenje i ispitne zadatke te zahtijeva i

analizu sadržaja i kognitivnoga procesa koji se traže u zadatku. Webbov pristup s dubinama znanja jednostavnija je, ali operativnija inačica taksonomije SOLO (engl. *structure of observed learning outcome*; Biggs i Collis, 1982), koja opisuje kontinuum učeničkoga razumijevanja kroz pet različitih faza: od predstrukturne razine, preko razina jednostavnoga razumijevanja, složenijega razumijevanja i razine povezivanja, do razine proširenoga apstraktnog razumijevanja.

Nedavno su Tekkumru-Kisa, Stein i Doyle (2020) objavili shemu koja razrađuje razine zahtjevnosti zadataka i razine mišljenja potrebne za pristupanje različitim vrstama zadataka i znanstvenih praksi. To omogućuje uvid u prirodu zadataka višega reda i njihovih zahtjeva koji su posebno važni za ovaj konceptualni okvir te zadataka kojima bi se mogle ispitivati kompetencije na višim razinama.

Pri sastavljanju takva okvira prepoznato je da postoje izazovi u razvoju ispitnih zadataka na temelju kognitivne hijerarhije. Tri su glavna izazova:

- Previše se napora ulaže u uklapanje ispitnih zadataka u određene kognitivne okvire, što može dovesti do slabo razvijenih zadataka.
- Pojavljuju se razlike između namjeravanih i stvarnih zahtjeva okvira koji definiraju rigorozne, kognitivno zahtjevnije ciljeve te zadatci koji operacionaliziraju standard na kognitivno mnogo manje zahtjevan način.
- Bez dobro definiranoga i razumljivoga kognitivnog okvira, pisanje i razvoj zadataka često su usmjereni na težinu zadatka i upotrebljavaju ograničen raspon kognitivnih procesa i tipova znanja, koji se zatim samo opisuju i tumače *post hoc*; umjesto da se temelje na teoriji rastuće kompetencije.

U razvoju kognitivnih razina za konceptualni okvir istraživanja PISA 2025 primijenjen je pristup koji se oslanja na navedene okvire. Budući da kompetencije zauzimaju središnje mjesto, zadatak je kognitivnoga okvira procijeniti ih i izvijestiti o njima kroz cijeli raspon učeničkih sposobnosti. Webbove razine dubina znanja nude taksonomiju kognitivnih razina prema kojoj zadatci trebaju biti definirani i kognitivnom razinom (glagolima poput *analizirati*, *poredati*, *usporediti*) i očekivanom dubinom znanja.

Prikaz 2. Okvir za kognitivne razine u istraživanju PISA 2025

		Kompetencije			Dubina znanja		
		Znanstveno objašnjavanje pojava	Osmišljavanje i vrednovanje nacрта znanstvenih istraživanja te kritičko tumačenje znanstvenih podataka i dokaza	Istraživanje, vrednovanje i uporaba znanstvenih podataka za donošenje odluka i djelovanje	Niska	Srednja	Visoka
Znanje	Sadržajno znanje						
	Proceduralno znanje						
	Epistemološko znanje						

Mreža na prikazu 2. predstavlja okvir za definiranje zadataka prema dvjema dimenzijama, znanju i kompetencijama. Osim toga, svaki zadatak može se definirati i prema trećoj dimenziji, na temelju taksonomije dubine znanja. To omogućuje operacionalizaciju kognitivnih razina jer se svaki zadatak može kategorizirati prema sljedećim razinama:

- **niska:** Zahtijeva provedbu nekoga postupka u jednome koraku, na primjer postupka koji traži prisjećanje i primjenu neke činjenice, pojma, načela ili koncepta, ili pak izvlačenje nekoga podatka iz grafikona ili tablice. Postupak u jednome koraku također može značiti sortiranje prema jednomu kriteriju, klasifikaciju prema lako uočljivim, makroskopskim značajkama, prepoznavanje podupire li ili ne neki element dokaza određenu tvrdnju, ili primjenu svakodnevnih ili jednostavnih školskih znanstvenih koncepata za objašnjenja u poznatim kontekstima, npr. zašto se metalna žlica zagrije kada se stavi u vrući napitak.
- **srednja:** Zahtijeva primjenu bilo kojega od triju oblika znanja (sadržajno, proceduralno, epistemološko) za opis ili objašnjenje pojava, odabir odgovarajućih postupaka koji uključuju dva ili više koraka, organizaciju/prikaz podataka, tumačenje ili upotrebu jednostavnih skupova podataka ili grafikona za podupiranje ili ispitivanje tvrdnje, osmišljavanje argumenta iz ograničenih dokaza u poznatim kontekstima ili upotrebu standardnih modela za objašnjenje u poznatim kontekstima. Kognitivno bi to zahtijevalo dva ili više koraka u zaključivanju ili primjenu jedne ideje ili podatka u jednome koraku, u pravilu u poznatim kontekstima. Na temelju dvaju ili više dokaza prepoznati njihovu prikladnu ili neprikladnu uporabu.

- **visoka:** Zahtijeva analizu složenih informacija ili podataka, sintezu ili prosudbu dokaza, obrazlaganje i zaključivanje na temelju različitih izvora, razvoj plana ili niza koraka radi istraživanja i rješavanja problema ili kritiku pogrešnog argumenta uz pomoć složenih ili apstraktnih koncepata. Ova razina kognitivno zahtijeva dva ili više koraka u zaključivanju, primjenu dviju ili više ideja, prosudbu razilazećih tvrdnji, razmatranje pobijajućih ili kvalificirajućih tvrdnji, često u nepoznatome kontekstu, te sposobnost povezivanja dvaju ili više prikaza u smislenu cjelinu.

Dakle, zadatci koji zahtijevaju prisjećanje samo jednoga podatka nisu kognitivno zahtjevniji, čak i ako se traži prilično složeno znanje. S druge strane, zadatci koji zahtijevaju prisjećanje više od jednoga podatka te usporedbu i procjenu relevantnosti suprotstavljenih vrijednosti smatraju se kognitivno zahtjevnijima. Stoga težina zadatka predstavlja kombinaciju stupnja njegove složenosti i traženoga opsega ili dubine znanja te kognitivnih procesa potrebnih za njegovo rješavanje.

Zaključno, čimbenici koji određuju kognitivnu razinu zadataka kojima se vrednuju prirodoslovna postignuća uključuju:

- broj i stupanj složenosti elemenata znanja koje zahtijeva zadatak
- razinu poznavanja i prethodnoga znanja koje učenici trebaju imati o relevantnom sadržajnom, proceduralnom i epistemološkom znanju
- kognitivni proces koji zadatak zahtijeva, npr. prisjećanje, analiza, procjena
- mjeru u kojoj oblikovanje odgovora ovisi o modelima ili apstraktnim znanstvenim idejama.

Navedeni pristup s četirima čimbenicima omogućuje obuhvatnije mjerenje prirodoslovnih kompetencija u širem rasponu učeničkih sposobnosti. Kategorizacija kognitivnih procesa potrebnih za kompetencije koje čine osnovu prirodoslovne pismenosti, zajedno s razmatranjem dubine potrebnoga znanja, nudi model za određivanje kognitivne razine pojedinih zadataka. Osim toga, njegova relativna jednostavnost omogućuje manje problema pri njegovoj primjeni. Upotreba navedenoga kognitivnog okvira također će olakšati razvoj definicije opisnih parametara u skalama postignuća (vidi prikaz 3. *Alat za izradu i analizu ispitnih cjelina i zadataka za kognitivni upitnik*).

Obilježja ispita

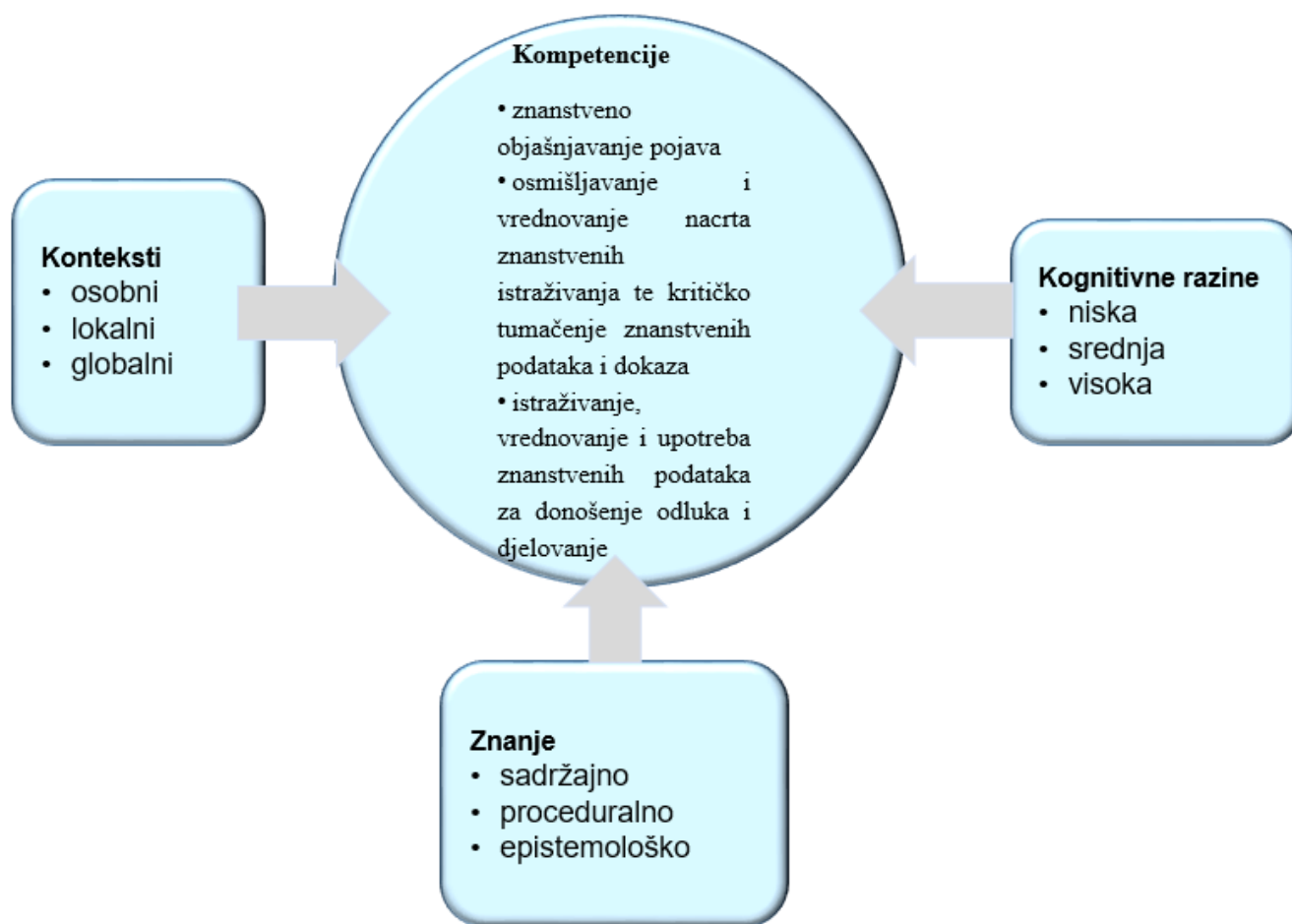
U skladu s PISA-inom definicijom znanstvenih ishoda, ispitni zadatci zahtijevat će upotrebu i primjenu prirodoslovnih kompetencija i znanja u zadanome kontekstu.

Prikaz 3. predstavlja varijaciju prikaza 1., s osnovnim komponentama PISA-ina okvira za ispitivanje prirodoslovne kompetencije 2025. godine, na način da povezuje okvir sa strukturom i sadržajem ispitnih cjelina. Može se upotrijebiti sintetički kao alat za planiranje ispitnih vježbi, ali i analitički kao alat za priučavanje rezultata standardnih ispitnih vježbi. Kao polazište za izradu ispitnih cjelina pokazuje potrebu da se razmotre konteksti koji će poslužiti kao poticaj za zadatak,

kompetencije potrebne za odgovaranje na pitanja ili probleme, ključno znanje potrebno za vježbu te kognitivne zahtjeve.

Ispitna cjelina definirana je specifičnim poticajem za zadatak koji može biti kratki pisani odlomak ili tekst koji prati tablicu, dijagram ili grafikon. U ispitnim jedinicama u PISA 2015 istraživanju poticajni materijal je po prvi put uključivao dinamične poticaje poput animacija i interaktivnih simulacija. Oni će također biti uključeni u PISA 2025 ispit i koristit će se svim poboljšanim raspoloživim mogućnostima. Zadatci su skup neovisno bodovanih različitih vrsta pitanja, kao što je prikazano u primjerima o kojima je već bilo riječi.

Prikaz 3. Alat za izradu i analizu ispitnih cjelina i zadataka za kognitivni upitnik



Razlog zbog kojega se u PISA istraživanju upotrebljavaju ispitne cjeline jest omogućavanje upotrebe konteksta koji oponašaju stvarnost koliko god je to moguće, odražavajući složenost životnih situacija, uz istovremeno učinkovito trošenje ispitnoga vremena. Povezivanje nekoliko pitanja uz jednu situaciju umjesto postavljanje odvojenih pitanja o većemu broju različitih situacija smanjuje ukupno vrijeme koje je učeniku potrebno da se upozna s materijalom u svakom zadatku. No, također je potrebno voditi računa o tome da svaki bod unutar ispitne cjeline bude

neovisan o drugima, kao i da smanjen broj mogućih konteksta u ispitu obuhvati dovoljno različitih situacija kako bi se pristranost zbog izbora konteksta svela na minimum.

Ispitne cjeline u istraživanju PISA 2025 zahtijevat će upotrebu svih triju znanstvenih kompetencija i oslanjati se na sva tri oblika prirodoslovnoga znanja. U većini slučajeva svakom ispitnom cjelinom ispitivat će se više kompetencija i kategorija znanja. Međutim, pojedinačnim zadacima može se ispitati samo jedna vrsta znanja, kao i jedna kompetencija.

S obzirom na to da će učenici trebati pročitati tekst kako bi razumjeli zadatak iz područja prirodoslovlja i riješili ga, postavlja se pitanje o njihovoj potrebnoj razini čitalačke pismenosti. Polazni materijal i zadatci bit će napisani jasnim, jednostavnim, kratkim i sintaktički pojednostavnjenim jezikom, koliko je to moguće, a da se ne izgubi namjeravano značenje. Broj koncepata koji se uvodi u svakome odlomku bit će ograničen. U području prirodoslovlja izbjegavat će se zadatci kojima se ispituju čitalačke ili matematičke kompetencije.

Vrste zadataka

Za ispitivanje kompetencija i prirodoslovnoga znanja definiranih u ovome konceptualnom okviru upotrebljavat će se tri vrste zadataka, a od svake vrste bit će otprilike trećina zadataka:

Zadatci jednostavnoga višestrukog izbora – zadatci u kojima se traži:

- odabir jednoga među četiri odgovora
- odabir „vruće točke” – elementa na koji se može kliknuti unutar grafičkoga prikaza ili teksta.

Zadatci složenoga višestrukog izbora – zadatci u kojima se traži:

- odgovori „da/ne” na niz povezanih pitanja koja se boduju kao jedan zadatak (format zadatka koji je bio tipičan u istraživanju PISA 2006)
- odabir više od jednoga odgovora u nizu
- dovršavanje rečenice popunjavanjem praznina tako da se odgovor odabere iz padajućega izbornika
- odgovori tipa „povuci i ispusti” koji učenicima omogućuju da pomiču elemente na zaslonu kako bi ih povezali, poredali ili razvrstali.

Zadatci otvorenoga tipa – zadatci u kojima se traži pisanje ili crtanje odgovora.

- Zadatci otvorenoga tipa u prirodoslovlju obično traže pisani odgovor u rasponu od jednoga izraza do kratkoga odlomka (npr. dvije do četiri rečenice objašnjenja). Malen broj zadataka zahtijeva crtanje (npr. grafikona ili dijagrama). Za ispit na računalu svi takvi zadatci bit će podržani jednostavnim uređivačima crteža prilagođenima konkretnomu zadatku.

U istraživanju PISA 2025, kao što je bio slučaj u istraživanju PISA 2015 [u kojemu je glavna domena također bila prirodoslovna pismenost, op. prev.], na neke će se zadatke odgovarati unutar interaktivnih simulacija: učenik će, na primjer trebati manipulirati varijablama u simuliranome znanstvenom istraživanju ili konstruirati objašnjenje za promatrano ponašanje simuliranoga sustava. Odgovori na takve interaktivne zadatke vjerojatno će se bodovati kao zadatci složenoga višestrukog izbora, dok će se odgovori na interaktivne zadatke koji su dovoljno otvoreni tretirati kao zadatci otvorenoga tipa.

Struktura ispita

Istraživanje PISA 2025 provodit će se prvenstveno na računalu. Svi novi zadatci iz područja prirodoslovlja bit će izrađeni s ciljem računalne provedbe, uz papirnatu provedbu, gdje god je to moguće. Papirnata provedba istraživanja prilagođena je zemljama koje ne provode istraživanje na računalima.

Ciljana raspodjela između triju komponenti znanja – sadržajnoga, proceduralnoga i epistemološkoga – prikazana je u tablici 3. kroz postotne udjele bodova. Tablica također prikazuje ciljanu raspodjelu bodova prema kategorijama znanja. Ti se omjeri uglavnom pridržavaju prethodnoga okvira i odražavaju konsenzus stručnjaka koji su konzultirani u pripremi ovoga okvira.

Oni kognitivni elementi iz okvira za prirodoslovlje koji doprinose sposobnosti djelovanja u antropocenu mjerit će se ljestvicom navedenom u sljedećemu poglavlju o okolišu kako bi se izmjerilo u kojoj mjeri učenici posjeduju tu kompetenciju.

Tablica 3. Ciljana raspodjela bodova prema vrstama znanja

Vrste znanja	Sustavi			Ukupno
	Fizikalni sustavi	Živi sustavi	Sustavi Zemlje i svemira	
Sadržajno	15 – 20 %	15 – 20 %	10 – 15 %	38 – 48 %
Proceduralno	10 – 13 %	10 – 13 %	7 – 10 %	27 – 33 %
Epistemološko	8 – 11 %	8 – 11 %	7 – 10 %	24 – 30 %
Ukupno	37 %	37 %	26 %	100 %

Ciljana raspodjela za prirodoslovne kompetencije prikazana je u tablici 4. Omjeri su odabrani tako da se otprilike polovina zadataka oslanja na sadržajno znanje, a polovina na proceduralno i/ili epistemološko znanje.

Konteksti zadataka bit će raspoređeni na osobne, lokalne/nacionalne i globalne otprilike u omjeru 1 : 2 : 1, kao što je bilo i u istraživanju PISA 2015. Za ispitne cjeline upotrebljavat će se širok izbor područja primjene, tako da se u najvećoj mogućoj mjeri zadovolje različita ograničenja raspodjele bodova prema prikazima u tablicama 3 i 4.

Tablica 4. Ciljana raspodjela bodova prema prirodoslovnim kompetencijama

Prirodoslovne kompetencije	% bodova (približno)
Znanstveno objašnjavanje pojava	36 – 44 %
Vrednovanje i osmišljavanje nacrtu znanstvenih istraživanja i kritičko tumačenje znanstvenih podataka i dokaza	24 – 36 %
Istraživanje, vrednovanje i upotreba znanstvenih podataka za donošenje odluka i djelovanje	24 – 36 %
UKUPNO	100 %

Ljestvice postignuća

Razvoj ljestvica učeničkih postignuća ključan je za ispunjavanje ciljeva PISA istraživanja. Opisna ljestvica razina kompetencija mora se temeljiti na teoriji o tome kako se kompetencija razvija, a ne samo na *post-hoc* tumačenju onoga što su izmjerili zadatci veće težine. Stoga je okvir istraživanja PISA 2006 izričito definirao parametre povećanja kompetencija i napredovanja, omogućujući sastavljačima zadataka da osmisle zadatke koji pokazuju taj porast sposobnosti (Kane, 2006; Mislevy i Haertel, 2006). Početni nacrti opisa razina postignuća prikazani su u nastavku, iako će ih vjerojatno trebati doraditi kad se prikupe podatci nakon probnoga ispitivanja zadataka na terenu. Iako je mogućnost usporedbe s razinama iz istraživanja PISA 2015 maksimizirana kako bi se omogućile analize trendova, ugrađeni su novi elementi okvira PISA 2025, kao što je nova kompetencija „Istraživanje, vrednovanje i uporaba znanstvenih podataka za donošenje odluka i djelovanje”.

Izvješćivanje o trendovima

Određen broj zadataka ponavlja se u svakom ciklusu istraživanja s ciljem praćenja trendova tijekom godina. Ti zadatci omogućuju usporedbu ukupnoga postignutog uspjeha učenika na ispitu s prethodnim godinama. Izvješćivati se može samo o trendovima za ukupno postignuće, ali ne i za pojedinačne kompetencije jer se one mijenjaju svakih devet godina.

Tablica 5. Predložena ljestvica postignuća za istraživanje PISA 2025

Razina	Opis
6	Na razini 6 učenici su sposobni u radu u nepoznatome kontekstu oslanjati se na niz zahtjevnih znanstvenih teorija, načela i koncepata iz različitih disciplina kako bi izgradili modele, razmotrili njihova ograničenja i upotrijebili te modele za osmišljavanje ili vrednovanje znanstvenih objašnjenja složenih pojava. Mogu primijeniti ta objašnjenja za predviđanje ne samo pojava već i potencijalnoga daljnjeg razvoja ili posljedica za društvo. Učenici mogu donositi prosudbe na temelju višestrukih kriterija kako bi odredili i objasnili svrhu različitih znanstvenih istraživanja i njihovu usklađenost s prvotnom namjerom, tj. pitanjem na koje ona pokušavaju odgovoriti. Mogu primijeniti svoje epistemološko i proceduralno znanje kako bi procijenili više alternativnih nacrtu složenih istraživanja kao što su eksperimenti, terenske studije ili simulacije te argumentirali svoj odabir. Sposobni su protumačiti i usporediti podatke iz različitih oblika prikaza skupova podataka. Također, mogu procijeniti tumačenja složenih skupova podataka oslanjajući se na proceduralno i epistemološko znanje kako bi donijeli potkrijepljene zaključke o njihovoj točnosti i preciznosti. Oslanjajući se na kognitivno zahtjevne i raznorodne izvore koji sadržavaju i tekstualne i grafičke podatke, učenici mogu

	prepoznati koji su izvori najpouzdaniji na temelju jednoga ili više znanstvenih kriterija ili postupaka činjenične provjere. Na temelju toga mogu donijeti odgovarajuće zaključke. Sposobni su opravdati svoj izbor oslanjajući se na sadržajno, proceduralno ili epistemološko znanje iz prirodoslovlja te na društvena, etička ili ekonomska razmatranja. Osim toga, mogu prepoznati premise argumenta ili jedan ili više nedostataka u izvorima znanstvenih podataka – bilo u njihovoj vjerodostojnosti, upotrebi dokaza ili u upotrijebljenim argumentima. Na temelju vlastite prosudbe mogu argumentirano obrazložiti moguće odluke i postupke uzimajući u obzir mnogostrukost problema.
5	Na razini 5 učenici se mogu osloniti na niz srednje do visoko zahtjevnih znanstvenih teorija, načela i koncepata kako bi prepoznali i objasnili poznate pojave u svim kontekstima. Sposobni su upotrijebiti ta objašnjenja za predviđanje. Mogu prepoznati snage i ograničenja nekoga modela. Oslanjajući se na proceduralno i epistemološko znanje, učenici mogu odrediti i objasniti svrhu različitih istraživanja i razlikovati neovisne, ovisne i kontrolne varijable u znanstvenome istraživanju. Mogu primijeniti svoje epistemološko i proceduralno znanje za prosudbu alternativnih eksperimentalnih/istraživačkih nacrti i opravdati svoj izbor. Također, mogu interpretirati složenije prikaze podataka, obrazložiti je li dano objašnjenje manjkavo te objasniti koje bi tumačenje bilo prikladnije. Oslanjajući se na srednje do visoko zahtjevne i raznorodne izvore koji sadrže i tekstualne i grafičke podatke, učenici mogu odrediti koji su izvori najpouzdaniji na temelju jednoga ili više znanstvenih kriterija ili standardnih postupaka činjenične provjere. Sposobni su opravdati svoj odabir oslanjajući se na sadržajno, proceduralno ili epistemološko znanje iz prirodoslovlja te na društvena, etička ili ekonomska razmatranja. Mogu prepoznati premisu argumenta ili nedostatak nekoga izvora – bilo u njegovoj vjerodostojnosti, upotrebi dokaza ili u upotrijebljenim argumentima. Na temelju vlastite prosudbe mogu argumentirano obrazložiti moguće odluke i postupke.
4	Na razini 4 učenici mogu osmisliti i vrednovati znanstvena objašnjenja pojava oslanjajući se na niz srednje do visoko zahtjevnih znanstvenih načela i različitih prikaza. U stanju su prepoznati snagu i ograničenja nekoga modela. Na temelju svojega proceduralnog i epistemološkog znanja mogu predložiti eksperimentalne ili istraživačke nacрте koji uključuju dvije ili više neovisnih varijabli u ograničenome kontekstu. Sposobni su opravdati nacrt istraživanja koristeći se proceduralnim ili epistemološkim znanjem. Mogu protumačiti jednostavne prikaze podataka i procijeniti valjanost znanstvenih tvrdnji na temelju tih podataka. S obzirom na potrebu za podacima za informirano donošenje odluka i djelovanje, učenici se mogu osloniti na više srednje zahtjevnih i raznorodnih izvora koji sadrže tekstualne i grafičke podatke kako bi prepoznali koji je izvor najpouzdaniji, uz pomoć nekoga od osnovnih postupaka činjenične provjere ili drugoga znanstveno utemeljenoga kriterija. Mogu odrediti koji dokaz podupire neku tvrdnju i odrediti radi li se o znanstvenome, gospodarskome ili društvenome pitanju. Sposobni su opravdati svoj izbor. U slučaju nekoliko mogućih pogrešaka u izvoru ili njegovu tumačenju sposobni su prepoznati pogrešku i opisati je.
3	Na razini 3 učenici su sposobni osmisliti i vrednovati znanstvena objašnjenja i modele pojava uz odgovarajuću pomoć ili podršku oslanjajući se na srednje zahtjevna znanstvena načela, koncepte i prikaze. Mogu prepoznati prednosti i mane jednostavnoga modela. Mogu obrazložiti jednostavan nacrt istraživanja koji uključuje kontrolu varijabli ili uzorkovanje populacije te razlikovati znanstveno od neznanstvenoga pitanja služeći se elementima proceduralnoga i epistemološkoga znanja. Na temelju svojega proceduralnog ili epistemološkog znanja sposobni su pronaći pogrešku u tumačenju nekoga skupa podataka. S druge strane, mogu ponuditi valjano tumačenje jednostavnoga skupa podataka prikazanih tablično ili grafički. U slučaju potrebe za informiranim donošenjem odluka i djelovanjem učenici se mogu osloniti na srednje zahtjevne izvore među kojima znaju prepoznati one relevantne i opravdati svoj izbor. Mogu procijeniti pouzdanost izvora na temelju jednoga ili više kriterija te potkrijepiti svoj izbor pozivanjem na dokaze. Mogu procijeniti je li neka znanstvena metoda prikladna za odgovor na postavljeno pitanje.

2	Na razini 2 učenici mogu razlikovati znanstveno od neznanstvenoga objašnjenja za svakodnevne/uobičajene prirodoslovne pojave u poznatim osobnim, lokalnim ili globalnim kontekstima oslanjajući se na poznavanje nisko do srednje zahtjevnih znanstvenih koncepata. Mogu ponuditi jednostavno objašnjenje za svakodnevnu ili poznatu prirodoslovnu pojavu oslanjajući se na osnovna znanstvena načela i koncepte koji se poučavaju u školi. U stanju su procijeniti nacрте jednostavnih istraživanja oslanjajući se na elemente proceduralnoga znanja i prepoznati prikladna tumačenja skupova podataka s jednostavnim odnosima, kao i odstupanja i moguće razloge njihove pojave. Na temelju svojega epistemološkog znanja mogu prepoznati odgovarajuća objašnjenja za različite vrijednosti mjerenja. U slučaju potrebe za informiranim donošenjem odluka i djelovanjem, među nisko do srednje zahtjevnim izvorima mogu prepoznati koji je izvor relevantan za djelovanje po pitanju određenoga znanstvenog problema i opravdati svoj odabir. Mogu utvrditi pouzdanost izvora na temelju jednoga kriterija, npr. relevantne stručnosti, znanstvenoga konsenzusa ili osnova znanosti. Mogu prepoznati koji dokaz podupire neku tvrdnju iz jednostavnoga grafičkog ili tabličnog prikaza podataka.
1a	Na razini 1a učenici mogu odrediti znanstveno objašnjenje jednostavne pojave u poznatome osobnom, lokalnom ili globalnom kontekstu oslanjajući se na kognitivno nisko zahtjevno, osnovno poznavanje prirodoslovnih sadržaja, podataka ili dokaza. Mogu odabrati najprikladniji nacrt istraživanja koji uključuje kontrolu jedne varijable oslanjajući se na nisko zahtjevno proceduralno znanje. Učenici mogu prepoznati jedan relevantan dokaz za djelovanje po pitanju određenoga znanstvenog problema.
1b	Na razini 1b učenici mogu prepoznati znanstveno objašnjenje svakodnevne makroskopske pojave u osobnome ili lokalnome kontekstu. Oslanjajući se na nisko zahtjevno proceduralno znanje, mogu odrediti koji bi od dvaju nacрта istraživanja bio bolji za istraživanje odgovora na neko pitanje. Među različitim tumačenjima jednostavnih podataka mogu odabrati koji je skup ili grafički prikaz bolji. Učenici mogu odrediti relevantan izvor među nekoliko dokaza za informirano djelovanje po pitanju nekoga znanstvenog problema.

Predloženi opisi razina temelje se na okviru istraživanja PISA 2025 opisanome u ovom dokumentu i nude kvalitativan opis razlika između razina postignuća. Čimbenici za određivanje kognitivne zahtjevnosti zadataka za ispitivanje prirodoslovlja ugrađeni u opisane ljestvice postignuća uključuju:

- broj i stupanj složenosti elemenata znanja koje zahtijeva zadatak
- razinu poznavanja i prethodnoga znanja koje učenici trebaju imati o relevantnom sadržajnom, proceduralnom i epistemološkom znanju
- kognitivni proces koji zadatak zahtijeva, npr. prisjećanje, analiza, procjena
- mjeru u kojoj oblikovanje odgovora ovisi o modelima ili apstraktnim znanstvenim idejama.

Namjera je u ispitu ravnomjerno raspodijeliti zadatke na svim razinama.

VI. ZNANOSTI O OKOLIŠU

Uvod

Ljudski utjecaj značajno mijenja Zemljine sustave (IPCC, 2021). Promjene su započele industrijalizacijom 1800-ih i eksponencijalno su se povećale od 1950. godine (Lewis i Maslin, 2015). Iako ljudi imaju najviši životni standard i očekivani životni vijek dosad (Pinker, 2018; Rosling i Rönnlund, 2019), većina je drugih živih organizama u krizi – krizi koja prijeti i čovječanstvu. Klimatske promjene i gubitak bioraznolikosti utječu na sve vrste, na mnoge od njih i nepovratno, te ubrzavaju šesto masovno izumiranje (Dirzo i sur., 2014). Ljudski utjecaj u antropocenu doveo je do značajnih poremećaja u sustavima unutar biosfere, hidrosfere, geosfere i atmosfere (IPCC, 2021). Stoga se čovječanstvo suočava s neizvjesnom budućnosti. Za mnoge ljude, posebno mlade, klimatske promjene smatraju se najvećim izazovom našega vremena. Kako bi se odgovorilo na taj izazov, prirodoslovno znanje i mišljenje ključni su za donošenje individualnih, zajedničkih i globalnih odluka za ublažavanje utjecaja i prilagodbu održivijim praksama i sustavima (Steffen i sur., 2021).

S rastućom populacijom s više od 7 milijardi ljudi i ograničenim prirodnim resursima, neki su od predstojećih izazova osiguravanje čistoga zraka i vode, osiguravanje sigurnosti hrane, upravljanje bolestima, proizvodnja obnovljive energije, težnja za zdravljem i blagostanjem te odgovorno upravljanje vlastitim životnim izborima kako bismo osigurali dovoljno resursa za sve vrste i buduće generacije (IPCC, 2021; Baronsky i sur., 2012; Rockstrom i sur., 2009). Suočavanje s navedenim izazovima, ali i brojnim drugima koje je izazvao čovjekov utjecaj na okoliš, zahtijevat će od mladih da budu u stanju razumjeti i djelovati na temelju doprinosa znanosti i tehnologije, uz druge discipline i sustave znanja (Schipper i sur., 2021).

Prirodoslovno obrazovani 15-godišnjaci morat će procjenjivati izvore informacija o tim pitanjima i razmišljati kreativno i sustavno kako bi istražili i razmotrili odgovarajuće smjerove djelovanja za očuvanje i obnavljanje Zemljinih sustava (Young i sur., 2006). Prirodoslovno znanje važno je za donošenje odluka i poduzimanje koraka koji doprinose održivim životnim izborima pojedinaca i zajednica te razvoju kritičkoga mišljenja, medijske pismenosti i nade potrebne za rješavanje ovoga izazova (Monroe i sur., 2019).

Jednako tako, uvažavanje različitih sustava znanja i poštovanje kulturne baštine doprinosi potencijalnim rješenjima (Reyes-Garcia i sur., 2019). Mladi ljudi trebaju biti svjesni kako sustavi vlasti i moći mogu oblikovati društvena i ekološka pitanja te utjecati na pitanja okoliša (Berkes i Folke, 1998; Muller, Hemminh i Rigney, 2019; Young i sur., 2006). Mladima će koristiti međugeneracijski zajednički rad na rješavanju socio-ekoloških nejednakosti, ali i pri osnivanju i održavanju zdravih zajednica (Thiery i sur., 2021). Navedeno će zahtijevati obrazovanje koje podupire mlade ljude u razvijanju etike brige i pravde (Merrett, 2004; Skovdal i Evans, 2017) temeljene na svjetonazoru koji se može unaprijediti znanstvenim obrazovanjem koje predstavlja ekocentrični svjetonazor – ljudi kao dio okoliša, a ne odvojeni od njega. Spomenuta perspektiva sustavnoga razmišljanja nužna je za pogled izvan uobičajenih obrazaca i linearnih odnosa, kao potpora u donošenju održivih životnih izbora. Na primjer, sustavno razmišljanje može biti korisno pri razmatranju učinaka osobnih izbora (kao što je pitanje usvajanja prehrane pretežno temeljene

na povrću ili upotreba javnoga prijevoza), lokalnih izbora (npr. rad na smanjenju dostupnosti plastike za jednokratnu upotrebu), djelovanja zajednice (suradnja s drugima radi uključivanja u građanske akcije za promjenu regionalnoga prometnog sustava) ili globalnih izbora (npr. podržavanje međunarodne politike smanjenja ovisnosti o fosilnim gorivima).

Sposobnost djelovanja u antropocenu obvezuje 15-godišnjake da provedu potrebne promjene kako bi ostvarili svoje ciljeve (OECD, 2019). Također, od njih se očekuje da kritički procjenjuju jesu li tvrdnje koje se odnose na složena pitanja sustavne prirode utemeljene na dokazima te jesu li ih iznijeli legitimni stručnjaci. Da bi iskazali sposobnost djelovanja u antropocenu, 15-godišnjaci će se trebati služiti prosudbom pri odlučivanju o postavljanju ciljeva koji će dovesti do promjena, kao i o tome kako odgovorno djelovati i donositi odluke na temelju ispitivanja i procjene dokaza na znanstveni način. Sposobnost donošenja odluka o vlastitome odgovornom ponašanju, ali i odgovornome ponašanju drugih osoba predstavlja mjeru djelovanja u antropocenu. Primjer odgovornoga djelovanja u antropocenu uključuje promišljanje o izboru osobnoga stila života i uvođenje promjena, utjecaj na druge da promišljaju i uvedu promjene te pružanje povratnih informacija organizacijama i vladama o potrebnim promjenama. Spomenuti postupci pridonose boljemu upravljanju resursima (kružna gospodarstva u kojima se materijal reciklira, a preostali otpad uklanja).

Prirodoslovno obrazovanje nužno je ako želimo da mladi ljudi imaju barem osnovno znanje o Zemljinim sustavima i njihovu međudjelovanju s ljudskim sustavima. Razumijevanje razine složenosti navedenih socio-ekoloških pitanja i njihova međudjelovanja, upotrebom odgovarajućih alata (poput mapiranja sustava), ključno je za pripremu mladih ljudi za nošenje sa suvremenim izazovima, kao što su ublažavanje klimatskih promjena i prateća prilagodba. U ovim nesigurnim vremenima mladi trebaju usvojiti sljedeće stavove i sklonosti za rad na postizanju sustavnih promjena i održivosti, bilo kao pojedinci, u suradnji s drugima ili međugeneracijski:

- **sustavno razmišljanje** – sposobnost prepoznavanja složenih interakcija među relevantnim varijablama i razumijevanje posljedica promjena tih varijabli
- **samoučinkovitost** – uvjerenje da je pojedinac sposoban djelovati
- **kolektivna učinkovitost** – uvjerenje da određena skupina može ispuniti svoje ciljeve
- **sloboda izbora** – percepcija da pojedinac može utjecati na vlastite postupke i okolnosti
- **nada** – osjećaj da postoji put prema potencijalnoj budućnosti koja je vrijedna postizanja.

Navedene komponente međusobno su isprepletene jer sposobnost prepoznavanja složenih sustava zahtijeva razmatranje kako bi određena intervencija mogla poboljšati situaciju, odnosno uvjerenje da netko posjeduje slobodu izbora i učinkovitost u poduzimanju željenih radnji te da postizanje bilo kojega cilja pridonosi viziji budućnosti koja je poželjna i puna nade (Ajzen, 1985; Snyder, Rand i Sigmon, 2001). Također, oni koji vjeruju da njihova skupina može učinkovito djelovati, imaju izraženiji osjećaj samoučinkovitosti (Jugert i sur., 2016). Slično tomu, očekivanje da će rezultati biti postignuti čini ključan element nade i učinkovitosti.

Sposobnosti sustavnoga razmišljanja važne su u svim područjima prirodoslovnoga obrazovanja, dok pitanja zaštite okoliša predstavljaju važan primjer potrebe da se problemima pristupa na sustavnoj razini. Sustavi mogu biti ekološki, društveni ili njihova kombinacija. Iako učitelji obično poučavaju kako prepoznati funkciju pojedine komponente unutar sustava (npr.

planeta i zvijezda ili vena i limfnih čvorova), međudjelovanje navedenih komponenti često stvara nove strukture i funkcije. Težnja za razumijevanjem sustava i njegovih složenih veza omogućuje nam da prepoznamo kako i kada promjena jedne varijable u sustavu može utjecati na druge.

Pritom se nada ističe kao ključan element za rješavanje složenih socio-ekoloških pitanja. Bez nade, uvjerenje da se trenutačna nevolja neće promijeniti ili poboljšati može rezultirati pojavom anksioznosti, depresije i osjećaja bespomoćnosti (Peterson i sur., 1993). Prostorno-vremenski raspon suvremenih ekoloških problema poput klimatskih promjena i gubitka bioraznolikosti doveo je do definicije nade koja uključuje one radnje koje se mogu poduzeti u zajedništvu s drugima (Li i Monroe, 2017; 2019) – odnosno kolektivnu učinkovitost. Do nje dolazi kada pojedinci surađuju sa zajednicama u svrhu pokretanja promjena (Ojala, 2012; Li i Monroe, 2017; 2019; Ardoin, Bowers i Wheaton, 2022). Spajanje osjećaja nade sa znanjem o složenosti međusobno povezanih Zemljinih sustava omogućit će rješavanje ekoloških i društvenih izazova (Ojala, 2015). Ključ je toga ishoda uvjerenje da su rješenja moguća i da postoje koraci koje pojedinci, zajednice, organizacije, poduzeća i vlade (Li i Monroe, 2019) mogu poduzeti. Stoga je mjerenje osjećaju li mladi ljudi nadu u budućnost važno za procjenu u kojoj su mjeri spremni djelovati u antropocenu.

Sposobnost djelovanja u antropocenu

Središnji konstrukt ishoda prirodoslovnoga obrazovanja učenika povezanih s pitanjima okoliša koji se mjeri istraživanjem PISA 2025 definiran je kao sposobnost djelovanja u antropocenu (engl. *Agency in the Anthropocene*; v. okvir 12). Cjelovita razrada konstrukta i s njime povezanih kompetencija može se pronaći u popratnome dokumentu (OECD, 2022).

Okvir 12.: Djelovanje u antropocenu

Sposobnost djelovanja u antropocenu: Definicija

Sposobnost djelovanja u antropocenu zahtijeva razumijevanje da su Zemljini sustavi već značajno izmijenjeni ljudskim utjecajem te da se taj proces i dalje nastavlja. Mladi ljudi koji imaju sposobnost djelovanja u antropocenu vjeruju da će njihovi postupci po pitanju ublažavanja klimatskih promjena, gubitka bioraznolikosti, nestašice vode te drugih složenih pitanja i kriza biti cijenjeni, podržani i uspješni. Sposobnost djelovanja u antropocenu odnosi se na načine postojanja i postupanja u svijetu koji ljude vidi kao dio ekosustava, a ne odvojene od njega, priznajući i poštujući sve žive vrste i njihovu međuovisnost. Mladi s razvijenom sposobnosti djelovanja u antropocenu uzimaju u obzir da su društva na različite načine mogla nanijeti nepravdu te rade na osnaživanju svih ljudi da doprinesu zajednici i dobrobiti ekosustava. Oni pokazuju nadu, otpornost i učinkovitost u suočavanju s krizama koje su i društvene i ekološke. Štoviše, oni poštuju i vrednuju različitost perspektiva i sustava znanja te iskazuju sposobnost građanske suradnje, kako s drugim mladim ljudima, tako i međugeneracijski, na pitanjima ostvarenja dobrobiti zajednice i održive budućnosti. Mladi koji iskazuju sposobnost djelovanja u antropocenu djeluju na različitim razinama: kao pojedinci i u suradnji s drugima, lokalno i globalno, kako bi razumjeli složene izazove s kojima se susreću sva bića u našim zajednicama i kako bi ponudili neka rješenja.

Kompetencije za djelovanje u antropocenu

Antropocen predstavlja vrijeme značajnih izazova za naše društvene strukture i Zemljine sustave. Suočavanje s njima od nas će zahtijevati da pažljivo razmotrimo neke promjene: promjene u načinima na koje kao ljudi postupamo jedni prema drugima, ali i kako postupamo prema prirodi; promjene u našem okolišu, prije svega; promjene u tehnologiji te promjene u našem sustavu vrijednosti. Mladim ljudima koji odrastaju u doba antropocena bit će potrebne tri temeljne kompetencije, definirane u okviru 13., koje stoje u pozadini koncepta sposobnosti djelovanja u antropocenu, a čiji će se elementi mjeriti u sklopu ispitivanja prirodoslovne pismenosti u istraživanju PISA 2025.

Okvir 13.: Kompetencije za djelovanje u antropocenu

Petnaestogodišnji učenici koji iskazuju sposobnost djelovanja u antropocenu mogu:

1. objasniti utjecaj ljudskoga djelovanja na Zemljine sustave
2. informirano djelovati na temelju kritičke prosudbe različitih izvora dokaza i primjene kreativnoga, sustavnoga i međugeneracijskoga mišljenja s ciljem obnove i očuvanja okoliša
3. iskazati nadu i poštovanje prema različitim perspektivama u traženju rješenja za društveno-ekološke krize.

Kompetencije za djelovanje u antropocenu na djelu

Svaku od kompetencija za djelovanje u antropocenu čini niz sposobnosti koje su detaljnije opisane u nastavku. Kompetencije sačinjavaju i kognitivni i nekognitivni elementi, odražavajući prirodu sposobnosti djelovanja u antropocenu.

1. kompetencija: Objasniti utjecaj ljudskoga djelovanja na Zemljine sustave

Ova se kompetencija oslanja na elemente koji se mjere prvom prirodoslovnom kompetencijom (*Znanstveno objašnjenje pojava*), no ona je usmjerena na ljudsko djelovanje kako bi se istražilo učenikovo razumijevanje ljudskoga utjecaja na Zemljine sustave. Ona zahtijeva sadržajno i proceduralno znanje.

Petnaestogodišnji učenici koji mogu objasniti utjecaj ljudskoga djelovanja na Zemljine sustave mogu:

1. objasniti fizičke, žive i Zemljine sustave koji su relevantni za okoliš te njihovo međusobno djelovanje
2. istražiti i primijeniti znanja o ljudskome međudjelovanju s tim sustavima tijekom vremena
3. primijeniti znanje da bi objasnili negativne i pozitivne ljudske utjecaje na Zemljine sustave tijekom vremena
4. objasniti kako društveni, kulturni ili gospodarski čimbenici doprinose tim utjecajima.

2. kompetencija: Informirano djelovati na temelju kritičke prosudbe različitih izvora dokaza i primjene kreativnoga, sustavnoga i međugeneracijskoga mišljenja s ciljem obnove i očuvanja okoliša

Ova se kompetencija oslanja na elemente koji se mjere drugom (Osmišljavanje i vrednovanje nacrta znanstvenih istraživanja te kritičko tumačenje znanstvenih podataka i dokaza) i trećom prirodoslovnom kompetencijom (Istraživanje, vrednovanje i upotreba znanstvenih podataka za donošenje odluka i djelovanje). Ona zahtijeva sadržajno, proceduralno i epistemološko znanje.

Petnaestogodišnji učenici koji mogu informirano djelovati na temelju kritičke prosudbe različitih izvora dokaza i primjene kreativnoga, sustavnoga i međugeneracijskoga mišljenja s ciljem obnove i očuvanja okoliša mogu:

1. pronaći dokaze i kritički ih procijeniti upotrebljavajući različita saznanja i izvore
2. procijeniti i osmisliti potencijalna rješenja za društveno-ekološka pitanja koristeći se kreativnim i sustavnim mišljenjem te uzimajući u obzir posljedice za sadašnje i buduće generacije
3. angažirati se, pojedinačno i kolektivno, u građanskim procesima za donošenje informiranih i usuglašenih odluka
4. postaviti ciljeve, surađivati s drugim mladim ljudima i odraslima različitih generacija te djelovati u svrhu regenerativnih i trajnih društveno-ekoloških promjena na različitim razinama (od lokalne do globalne).

3. kompetencija: Iskazati nadu i poštovanje prema različitim perspektivama u traženju rješenja za društveno-ekološke krize

Ova kompetencija sadržava elemente koji se mjere konstruktom znanstvenoga identiteta; uključujući epistemološka uvjerenja, sklonost brizi i brizi o drugim ljudima, drugim vrstama i planetu te osjećaj učinkovitosti i djelotvornosti u rješavanju društveno-ekoloških kriza. Ona zahtijeva sadržajno, proceduralno i epistemološko znanje.

Petnaestogodišnji učenici koji, polazeći od etike brige i pravde, pokazuju otpornost, nadu, učinkovitost i poštovanje prema različitim perspektivama u traženju rješenja za društvene i ekološke izazove mogu:

1. procijeniti postupke polazeći od etike i brige jednih za druge te za sve vrste na temelju svjetonazora u kojemu su ljudi dio okoliša, a ne odvojeni od njega (ekocentričnost)
2. spoznati brojne načine na koje društva nanose nepravdu te raditi na osnaživanju svih ljudi kako bi doprinijeli dobrobiti zajednice i ekosustava
3. pokazati otpornost, nadu i učinkovitost, pojedinačno i kolektivno, u odgovoru na društveno-ekološke krize
4. poštovati različita viđenja problema i tražiti rješenja za obnavljanje ugroženih zajednica i ekosustava (Reyes-Garcia, i sur., 2019).

Ljestvica ekološke pismenosti

U ovome potpoglavlju prikazana je ljestvica ekološke pismenosti (tablica 6.) koja se temelji samo na kognitivnim elementima opisanim u ovome konceptualnom okviru.

Važno je napomenuti da se sve kompetencije sposobnosti djelovanja u antropocenu ne mogu mjeriti kognitivnim testom. Zbog toga će za zadatke iz prirodoslovlja, koji se odnose na pitanja okoliša, a odgovaraju gore opisanim kompetencijama, biti izrađena posebna ljestvica kojom će se mjeriti sposobnost djelovanja u antropocenu. Nekognitivni elementi ispitivat će se zasebno, upitnikom o stavovima.

Tablica 6.: Ljestvica postignuća ekološke pismenosti u istraživanju PISA 2025

Razina	Opis
6	Na razini 6 učenici mogu na temelju svojega znanja iz prirodoslovlja i služeći se sustavnim razmišljanjem na visokoj kognitivnoj razini objasniti na koji način funkcioniraju Zemljini sustavi, kako međusobno djeluju i kako se mijenjaju tijekom vremena, uključujući dugoročne i dalekosežne utjecaje čovjeka. Mogu prosuditi o kvaliteti znanstvenih dokaza i potkrijepiti tvrdnje o pozitivnim ili negativnim utjecajima na Zemljine sustave služeći se znanstvenim argumentima utemeljenima na dokazima. Učenici na ovoj razini mogu prosuditi rješenja za složene izazove uzimajući u obzir njihovu okolišnu, društvenu i gospodarsku dimenziju. Mogu procijeniti kada je potreban kompromis, predvidjeti neželjene posljedice i razmotriti utjecaj na sadašnje i buduće generacije. Učenici mogu potkrijepiti odluke i postupke za rješavanje društveno-ekoloških izaziva koristeći se dokazima iz različitih perspektiva.
5	Na razini 5 učenici mogu na temelju svojega razumijevanja znanosti na srednjoj do visokoj kognitivnoj razini objasniti složena međudjelovanja između Zemljinih sustava i kumulativnog utjecaja čovjeka tijekom vremena. Mogu razmotriti informacije iz više izvora kako bi procijenili njihovu pouzdanost, pristranost i jačinu dokaza koji ih podupiru. Na ovoj razini učenici mogu prosuditi i usporediti različita rješenja za društveno-ekološke probleme koristeći se znanstvenim ili ekološkim zaključivanjem. Na temelju trendova u podacima mogu predvidjeti vjerojatne posljedice za okoliš i objasniti utjecaj ljudskih intervencija na Zemljine sustave. Učenici mogu potkrijepiti odluke o rizicima povezanim s okolišem i klimom uzimajući u obzir okolišne ili društvene čimbenike koje podupiru dokazi.
4	Na razini 4 učenici mogu na temelju znanstvenih ideja na srednjoj do visokoj kognitivnoj razini objasniti na koji način funkcioniraju Zemljini sustavi, kako međusobno djeluju i reagiraju na čovjekov utjecaj. Mogu analizirati grafičke, eksperimentalne ili modelirane dokaze kako bi procijenili društveno-ekološke izazove. Učenici mogu prepoznati čimbenike koji pridonose socio-ekološkim promjenama i objasniti kao individualno i kolektivno djelovanje može utjecati na šire sustave. Mogu predložiti korake za smanjenje okolišnih i klimatskih rizika te procijeniti njihove prednosti i mane. Učenici mogu opravdati odluke na temelju okolišnih, društvenih, kulturnih i gospodarskih razloga, pokazujući sposobnost zaključivanja o Zemljinim sustavima.
3	Na razini 3 učenici mogu na temelju svojega znanja na umjerenom kognitivnom stupnju objasniti kako ljudske aktivnosti doprinose promjenama u Zemljinim sustavima. Mogu protumačiti i usporediti podatke kako bi odredili obrasce, trendove i odnose povezane s utjecajima na okoliš. Na ovoj razini učenici mogu procijeniti pozitivne i negativne posljedice predloženih rješenja za okolišne i klimatske rizike. Mogu prepoznati potencijalnu pristranost i komentirati vjerodostojnost izvora informacija. Mogu objasniti kao promjene u okolišu mogu utjecati na zajednice i ekosustave tijekom vremena. Učenici mogu potkrijepiti odluke i postupke na temelju ekološkog zaključivanja uzimajući u obzir još jedan dodatni društveni, kulturni ili gospodarski čimbenik.
2	Na razini 2 učenici mogu na temelju svojega znanja na niskoj do srednjoj kognitivnoj razini objasniti kako ljudske aktivnosti utječu na Zemljine sustave, uključujući namjeravane pozitivne pomake ili neželjene negativne posljedice. Mogu protumačiti jednostavne podatke, grafikone ili primjere kako bi objasnili te utjecaje. Učenici na ovoj razini mogu prepoznati prednost ili nedostatak predloženoga rješenja za problem u okolišu i prepoznati osnovne značajke pouzdane informacije. Mogu objasniti kako praktično rješenje za neki društveno-ekološki izazov može utjecati na njih ili njihovu obitelj. Učenici mogu odabrati najbolje potkrepljenje za neku odluku za rješavanje okolišnoga ili klimatskog rizika koristeći se jednostavnim i jasnim zaključivanjem.

Razina	Opis
1a	Na razini 1a učenici mogu na temelju svojega znanja na niskoj kognitivnoj razini prepoznati jednoznačan primjer ljudske aktivnosti koja ima negativan ili pozitivan utjecaj na Zemljin sustav. Mogu navesti jedan podatak ili dokaz kako bi potkrijepili neku tvrdnju.
1b	Na razini 1b učenici mogu na temelju svojega znanja na niskoj kognitivnoj razini prepoznati jednoznačan primjer ljudske aktivnosti koja ima negativan ili pozitivan utjecaj na Zemljin sustav.

Ispitivanje za ljestvicu ekološke pismenosti

Ljestvica ekološke pismenosti bit će konstruirana na temelju zadataka koji traže sadržajno, proceduralno ili epistemološko znanje iz konceptualnoga okvira za prirodoslovlje, a koje je jasno povezano s onim dijelom prirodoslovlja koji se odnosi na pitanja okoliša i ekologije. Slično ispitivanje ekološke pismenosti provedeno je 2006. godine u „Projektu zelenih 15-godišnjaka”. S obzirom na kognitivnu usmjerenost ispita, bit će moguće ispitati samo 1. i 2. kompetenciju, dok će za cjelovito mjerenje konstrukta biti potrebno postaviti pitanja o sljedećim elementima, koji će se ispitivati nekognitivnim upitnikom:

- prirodoslovno znanje potrebno za odgovor na tvrdnje o okolišu ili zdravlju koje iznose ljudi ili interesne skupine na temelju drukčijih vrijednosti i znanja (npr. odgovor osobi koja odbija cijepljenje na temelju činjenice da određen postotak ljudi razvije ozbiljne nuspojave ili koja tvrdi da je određen broj cijepljenih osoba preminuo)
- utvrđivanje koji su od različitih stavova o kontroverznim pitanjima okoliša znanstveno utemeljeni, a koji se temelje na drukčijim znanjima i vrijednostima
- odvagivanje različitih rješenja s obzirom na znanstvene spoznaje relevantne za neki osobni ili društveni zdravstveni/okolišni problem, npr. trebamo li na velikim zabavama upotrebljavati plastične čaše ili pak staklene čaše i prati ih u perilici posuđa – znanost bi se odnosila na potrošnju energije za pranje posuđa, potrošnju vode i deterdženta, podatke o recikliranju plastike itd. – moglo bi se jednostavno pitati koje su ideje relevantne za tu odluku
- prepoznavanje društvenih i ekoloških čimbenika koji čine okvir znanstvenoga istraživanja u nekome području (npr. U istraživanjima i razvoju tehničkoga dizajna mobilnih telefona, na temelju kojih se pitanja može očekivati donošenje odluka, i kakvim se načelima vode (gospodarska, kulturna, etička, okolišna), s određenoga popisa? – vađenje rijetkih metala eksploatacijskim praksama, cijena njihova vađenja, mogućnost reciklaže materijala, marketinška kampanja povezana s telefonom, mišljenja korisnika o boji telefona)
- predviđanje posljedica u različitim dijelovima društveno-ekološkoga sustava koje bi proizašle iz određenih odluka, npr. s obzirom na mapiranje složenoga sustava vodonosnika kojim se stanovništvo koristi na više načina, ali koji je sve više zagađen upotrebom pesticida u poljoprivredi o kojoj zajednica ovisi za hranu i egzistenciju,

predvidjeti koje bi posljedice na okoliš mogle proizići iz određene odluke o upotrebi vode ili pesticida, a što bi moglo ovisiti o poznavanju putova kroz povezane gospodarske/rekreacijske sustave koji vode natrag do utjecaja na okoliš.

VII. PRIMJERI ZADATAKA IZ PRIRODOSLOVLJA

Primjeri zadataka prevedeni na hrvatski jezik objavljeni su na poveznici <https://pisa.ncvvo.hr/primjeri-pisa-zadataka/>.

VIII. LITERATURA

- Adam, B., Beck, U. i Van Loon, J. (ur.). (2000). *The risk society and beyond: critical issues for social theory*. Sage.
- Ajzen, I. (1985). From intentions to actions: A theory of planned behavior. U: Kuhl, J. i J. Beckman (ur.) *Action-control: From cognition to behavior*. Heidelberg: Springer, str. 11–39.
- Allchin, D. (2012). Teaching the nature of science through scientific errors. *Science Education*, 96(5), 904–926. <https://doi.org/10.1002/sce.21019>
- Alonzo, A. C. i A. W. Gotwals, ur. (2012). *Learning Progressions in Science: Current Challenges and Future Directions*. Rotterdam, Sense Publishers.
- American Association for the Advancement of Science. (1989). *Science for all Americans: a Project 2061 report on literacy goals in science, mathematics and technology*. Washington, D.C.: AAAS.
- Anderhag P. (2017). Taste for Science: A Bourdieu-Pragmatism approach to interest, aesthetics and learning. U: A. Bellocchi, C. Quigley & K. Otrell-Cass (ur.), *Exploring emotions, aesthetics and wellbeing in science education research*, str. 39–54. Chem: Springer.
- Anderhag, P., Wickman, P.-O., Bergqvist, K., Jakobson, B., Hamza, K.M., & Säljö, R. (2016). Why do secondary school students lose their interest in science? Or does it never emerge? A possible and overlooked explanation. *Science Education*, 100(5), 791–813.
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A Taxonomy for Learning, teaching and Assessing: A revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. London: Longman.
- Archer, L., Dawson, E., Dewitt, J., Godec, S., King, H., Mau, A., Nomikou, E., & Seakins, A. (2017). Killing curiosity? An analysis of celebrated identity performances among teachers and students in nine London secondary science classrooms. *Science Education*, 101(5), 741–764.
- Archer, L., Dewitt J., & Osborne, J. (2015). Is science for us? Black students' and parents' views of science and science careers. *Science Education*, 99, 199–237
- Archer, L., Dawson, E., DeWitt, J., Seakins, A., & Wong, B. (2015). "Science capital": A conceptual, methodological, and empirical argument for extending bourdieusian notions of capital beyond the arts. *Journal of research in science teaching*, 52(7), 922–948.
- Ardoin, N.M., Bowers, A.W., & Wheaton, M. (u postupku recenzije) Leveraging Collective Action and Environmental Literacy to Address Complex Sustainability Challenges.
- Arnold, R. D., & Wade, J. P. (2015). A Definition of Systems Thinking: A Systems Approach. *Procedia Computer Science*, 44, 669–678. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.050>
- Bourdieu, P. (1984). *A social critique of the judgement of taste*. Traducido del francés por R. Nice. Londres, Routledge.
- Bourdieu, P. (1992). *Language and symbolic power*. Cambridge, UK: Polity Press.
- Bourdieu, P. (2010). *Sociology is a martial art*. New York, NY: New Press.

- Aschbacher, P. R., Ing, M., & Tsai, S. M. (2014). Is science me? Exploring middle school students' STEM career aspirations. *Journal of Science Education and Technology*, 23(6), 735–743.
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Barnosky, A. D., Hadly, E. A., Bascompte, J., Berlow, E. L., Brown, J. H., Fortelius, M., ... i Smith, A. B. (2012). Approaching a state shift in Earth's biosphere. *Nature*, 486(7401), 52–58.
- Beck, U. (1992). From industrial society to the risk society: Questions of survival, social structure and ecological enlightenment. *Theory, culture & society*, 9(1), 97–123.
- Bergstrom, C. T. and J. D. West (2020). *Calling bullshit: the art of skepticism in a data-driven world*, Random House.
- Berkes, F. & Folke, C. (1998). *Linking Social and Ecological Systems: Management practices and social mechanisms for building resilience*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Berland, L. K., & Reiser, B. (2008). Making Sense of Argumentation and Explanation. *Science Education*, 93(1), 26–55.
- Biggs, J. i K. Collis (1982). *Evaluating the quality of learning: The SOLO taxonomy*. New York, Academic Press.
- Bloom, B. S. (Ed.). (1956). *Taxonomy of educational objectives: the classification of educational goals Handbook 1, Cognitive domain*. London: Longmans.
- Bøe, M. V., Henriksen, E. K., Lyons, T., & Schreiner, C. (2011). Participation in science and technology: young people and achievement-related choices in late-modern societies. *Studies in Science Education*, 47(1), 37–72.
- Bogner, F. i M. Wiseman (1999), "Toward Measuring Adolescent Environmental Perception", *European Psychologist*, 4(3).
- Braaten, M., & Windschitl, M. (2011). Working toward a stronger conceptualization of scientific explanation for science education. *Science Education*, 95(4), 639–669.
- Breakstone, J., Smith, M., Wineburg, S., Rapaport, A., Carle, J., Garland, M., & Saavedra, A. (2021). Students' Civic Online Reasoning: A National Portrait. *Educational Researcher*, 50(8), 505–515. doi:10.3102/0013189x211017495
- Brookhart, S.M., & Nitko, A.J. (2011) Strategies For Constructing Assessments of Higher Order Thinking Skills. U: G. Schraw & D.R. Robinson (ur.) *Assessment of Higher Order Thinking Skills* (str. 327–359). North Carolina: IAP.
- Calabrese Barton, A., Kang, H., Tan, E., O'Neill, T. B., Bautista-Guerra, J., & Brecklin, C. (2013). Crafting a future in science: Tracing middle school girls' identity work over time and space. *American Educational Research Journal*, 50, 37–75. <https://doi.org/10.3102/0002831212458142>.
- Carlone, H. B., & Johnson, A. (2007). Understanding the science experiences of successful women of color: Science identity as an analytic lens. *Journal of Research in Science Teaching*, 44, 1187–1218.
- Collins, H., & Evans, R. (2008). *Rethinking expertise*. University of Chicago Press.

- Confederacion de Sociedades Cientificas de España (2011). Informe ENCIENDE. Enseñanza de las Ciencias en la Didáctica Escolar para edades tempranas en España. Madrid: Author.
- Crombie, A. C. (1994). *Styles of scientific thinking in the European tradition: The history of argument and explanation especially in the mathematical and biomedical sciences and arts* (Vol. 1). Duckworth London.
- Davis, S.L., & Buckendahl, C.W. (2011) Incorporating Cognitive Demand in Credentialing Examinations. U: G. Schraw i D.R. Robinson (ur.) *Assessment of Higher Order Thinking Skills* (str. 327–359). North Carolina: IAP.
- Derr, V., Chawla, L. and Mintzer, M. 2018. *Placemaking with children and youth*. NY: New Village Press.
- Dewey, J. (1929/1996). Art as experience. U: L. Hickman (ur.) *Later Works 10, The Collected Works of John Dewey, 1882–1953: The Electronic Edition*. Charlottesville, VA: IntelLex Corporation.
- Directorate-General for Research and Innovation (European Commission). (2020). *Science with and for Society in Horizon 2020*. European Commission. Brussels.
- Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. J., & Collen, B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345(6195), 401–406.
- Drechsel, B., Carstensen, C., & Prenzel, M. (2011). The role of content and context in PISA interest scales – A study of the embedded interest items in the PISA 2006 Science assessment. *International Journal of Science Education*, Volume 33, Number 1, 73–95.
- Duschl, R. (2007). Science Education in Three-Part Harmony: Balancing Conceptual, Epistemic and Social Learning Goals. *Review of Research in Education*, 32, 268–291.
- Eagles, P.F.J. and R. Demare (1999), “Factors Influencing Children’s Environmental Attitudes”, *The Journal of Environmental Education*, 30 (4).
- Eisenmenger, N., Pichler, M., Nora, K., Dominik, N., Plank, B., Ekaterina, S., ... i Gingrich, S. (2020). The Sustainable Development Goals prioritize economic growth over sustainable resource use: a critical reflection on the SDGs from a socio-ecological perspective. *Sustainability Science*, 15(4), 1101–1110.
- Elgin, C. Z. (2017). *True Enough*. Cambridge, MA, Harvard University Press.
- European Commission. (1995). *White paper on education and training: Teaching and learning—Towards the learning society (White paper)*. Luxembourg: Office for Official Publications in European Countries.
- Fensham, P. (1985). Science for all: A reflective essay. *Journal of Curriculum Studies*, 17(4), 415–435.
- Ford, M. J. (2008) Disciplinary Authority and Accountability in Scientific Practice and Learning. *Science Education* 92, 3: 404–23. <http://dx.doi.org/10.1002/sce.20263>.
- Gardner, P. L. (1975). Attitudes to Science. *Studies in Science Education*, 2, 1–41.
- Giere, R., Bickle, J., & Maudlin, R. F. (2006). *Understanding Scientific Reasoning* (5. izdanje). Thomson Wadsworth.
- Gott, R., Duggan, S. i Roberts, R. (2008). *Concepts of evidence*. University of Durham. Preuzeto s: <http://www.dur.ac.uk/rosalyn.roberts/Evidence/cofev.htm>, 23. rujna 2012.

- Halliday, M. A. K., & Martin, J. R. (ur.). (1993). *Writing science: Literacy and discursive power*. London: Falmer Press.
- Hardwig, J. (1985). Epistemic dependence. *The Journal of Philosophy*, 82, 335–349.
- Harford, T. (2020). *How to Make the World Add Up: Ten Rules for Thinking Differently About Numbers*. Hachette UK.
- Harlen, W. E. (2010). *Principles and big ideas of science education*.
- Hidi, S., Renninger, K. i Krapp, A. (2004). Interest, a motivational variable that combines affective and cognitive functioning. U: D. Yun Dai & R. Sternberg (ur.), *Motivation, emotion and cognition* (str. 89–119). Lawrence Erlbaum.
- Hornsey, M. J., Harris, E. A., Bain, P. G., & Fielding, K. S. (2016). Meta-analyses of the determinants and outcomes of belief in climate change. *Nature Climate Change*, 6(6), 622–626.
- Höttecke, D., & Allchin, D. (2020). Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media. *Science Education*, n/a(n/a). <https://doi.org/10.1002/sce.21575>
- IPCC Climate Change (2021). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu i B. Zhou (ur.)]. Cambridge University Press.
- Jakobson, B., & Wickman, P.-O. (2008). The roles of aesthetic experience in elementary school science. *Research in Science Education*, 38(1), 45–66.
- Jansen, M., Scherer, R. i Schroeders, U. (2015). Students' self-concept and self-efficacy in the sciences: Differential relations to antecedents and educational outcomes. *Contemporary Educational Psychology*, 41, 13–24.
- Jensen, B.B. i K. Schnack. 1997. The action competence approach in environmental education. *Environmental Education Research*, 3(2): 163–178.
- Jugert, P., Greenaway, K. H., Barth, M., Büchner, R., Eisentraut, S. i Fritsche, I. (2016). Collective efficacy increases pro-environmental intentions through increasing self-efficacy. *Journal of Environmental Psychology*, 48, 12–23.
doi:10.1016/j.jenvp.2016.08.003
- Kane, M. (2006). Validation. U: R.L. Brennan (ur.), *Educational measurement* (4. izdanje, str. 17–64). Westport, CT: American Council on Education, Praeger Publishers.
- Klopfer, L. E. (1971). Evaluation of Learning in Science. U: B. S. Bloom, J. T. Hastings i G. F. Madaus (ur.), *Handbook of Formative and Summative Evaluation of Student Learning*. London: McGraw-Hill Book Company.
- Klopfer, L. E. (1976). A structure for the affective domain in relation to science education. *Science Education*, 60(3), 299–312.
- Kozyreva, A., S. Lewandowsky i R. Hertwig (2020). „Citizens Versus the Internet: Confronting Digital Challenges with Cognitive Tools.” *Psychological Science in the Public Interest*, 21(3): 103–156.
- Kuhn, D. (2010). Teaching and learning science as argument. [10.1002/sce.20395]. *Science*

Education, 94(5), 810–824.

Lederman, N. G. (2006). Nature of Science: Past, Present and Future. U: S. Abell i N. G. Lederman (ur.), *Handbook of Research on Science Education* (str. 831–879). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Lehrer, R., & Schauble, L. (2006). Cultivating model-based reasoning in science education. U: K. Sawyer (ur.), *Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (str. 371–388). Cambridge University Press.

Lemke, J. L. (1990). *Talking science: Language, learning and values*. Norwood, NJ: Ablex.

Lemke J. (2015). Feeling and meaning: A unitary bio-semiotic account. U: P. Trifonas (ur.), *International Handbook of Semiotics* (str. 589–616). Springer: Dordrecht.

Lewis, S. L., & Maslin, M. A. (2015). Defining the anthropocene. *Nature*, 519(7542), 171–180.

Li, C. & Monroe. M.C. (2017). Development and validation of the climate change hope scale for high school students. *Environment and Behavior*, 50(4): 454–479.

Li, C. J. & Monroe, M.C. (2019). Exploring the essential psychological factors in fostering hope concerning climate change. *Environmental Education Research*. 1–19.

<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13504622.2017.1367916>.

Longino, H. E. (1990). *Science as Social Knowledge*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Lynch, M. P. (2016). *The Internet of Us: Knowing more and understanding less in the age of big data*. WW Norton & Company.

Merrett, C.D. (2004) Social Justice: What Is It? Why Teach It?, *Journal of Geography*, 103:3, 93–101, DOI: 10.1080/00221340408978584

Michaels, D. (2020). *The triumph of doubt: dark money and the science of deception*. Oxford University Press.

Millar, R. (2006). Twenty First Century Science: Insights from the Design and Implementation of a Scientific Literacy Approach in School Science. *International Journal of Science Education*, 28(13), 1499–1521.

Millar, R. i Osborne, J. F. (ur.). (1998). *Beyond 2000: Science Education for the Future*. London: King's College London.

Millar, R., Lubben, F., Gott, R. i Duggan, S. (1995). Investigating in the school science laboratory: conceptual and procedural knowledge and their influence on performance. *Research Papers in Education*, 9(2), 207–248.

Ministry of Education, P. R. China. (2017a). *Biology curriculum standards for senior high school (in Chinese)* [普通高中生物课程标准]. Beijing: People's Education Press.

Ministry of Education, P. R. China. (2017b). *Chemistry curriculum standards for senior high school (in Chinese)* [普通高中地理课程标准]. Beijing: People's Education Press.

Ministry of Education, P. R. China. (2017d). *Physics curriculum standards for senior high school (in Chinese)* [普通高中物理课程标准]. Beijing: People's Education Press.

Mislevy, Robert J. i Geneva D. Haertel (2006) Implications of Evidence-Centered Design for Educational Testing. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 25 (4), 6–20.

- Moote, J., Archer, L., DeWitt, J. i MacLeod, E. (2020). Science capital or STEM capital? Exploring relationships between science capital and technology, engineering, and maths aspirations and attitudes among young people aged 17/18. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(8), 1228–1249.
- Monroe, M. C., Plate, R. R., Oxarart, A., Bowers, A. i Chaves, W. A. (2019). Identifying effective climate change education strategies: a systematic review of the research. *Environmental Education Research*, 25(6), 791–812.
- Muller, S., Hemming, S. i Rigney, D. (2019) Indigenous sovereignties: relational ontologies and environmental management. *Geographical Research*, 57, 399–410. <https://doi.org/10.1111/1745-5871.12362>.
- National Academy of Science. (1995). *National Science Education Standards*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards*. Washington D.C.: National Academy Press.
- National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington, DC.: Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education.
- Nercessian, N. (2008). Model-Based Reasoning in Scientific Practice. U: R. A. Duschl i R. E. Grandy (ur.), *Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation* (str. 57–79). Rotterdam, Netherlands: Sense.
- Neuvonen, Markus, Kari Kivinen i Mikko Salo. Fact-Checking for Educators and Future Voters. Factbar EDU (Factbar EDU, Finland: 2018).
- Nichols, T. (2017). *The Death of Expertise: the Campaign Against Established Knowledge and Why it Matters*. Oxford University Press.
- Norris, S. P. (1997). Intellectual Independence for Nonscientists and Other Content-Transcendent Goals of Science Education. *Science Education*, 81(2), 239–258.
- OECD (1999). *Measuring Student Knowledge and Skills: A New Framework for Assessment*. Paris, OECD (Organizacija za gospodarsku suradnju i razvoj).
- OECD. (2000). *Measuring Student Knowledge and Skills: The PISA 2000 Assessment of Reading, Mathematical and Scientific Literacy*. Paris: OECD.
- OECD. (2003). *The PISA 2003 Assessment Framework: Mathematics, Reading, Science and Problem Solving Knowledge and Skills*. Paris: OECD.
- OECD. (2006). *The PISA 2006 Assessment Framework for Science, Reading and Mathematics*. Paris: OECD.
- OECD. (2009) *Green at Fifteen*. Paris: OECD
- OECD. (2007). *PISA 2006: Science Competencies for Tomorrow's World: Volume 1: Analysis*. Paris: OECD.
- OECD (2009). *PISA 2006 Technical Report*. Paris: OECD
- OECD. (2011). What kinds of careers do boys and girls expect for themselves? *PISA in focus*. Paris: OECD.
- OECD (2016), Paris. (2016). *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science*,

- Reading, Mathematic and Financial Literacy*, PISA,. Paris, OECD Publishing.
- OECD. (2019). *OECD Future of Education and Skills 2030 Concept Note Student Agency for 2030*. Preuzeto s: https://www.oecd.org/education/2030-project/teaching-and-learning/learning/student-agency/Student_Agency_for_2030_concept_note.pdf
- OECD. (2022). *Agency in the Anthropocene*. Paris, OECD (Organizacija za gospodarsku suradnju i razvoj).
- Ogborn, J., Kress, G. R., Martins, I. i McGillicuddy, K. (1996). *Explaining Science in the Classroom*. Open University Press.
- Ojala, M. (2012). Hope and climate change: The importance of hope for environmental engagement among young people. *Environmental Education Research*, 18(5), 625–642.
- Ojala, M. (2015). Hope in the face of climate change: Associations with environmental engagement and student perceptions of teachers' emotion communication style and future orientation. *The Journal of Environmental Education*, 46(3), 133–148.
- Oreskes, N. (2004). The Scientific Consensus on Climate Change. *Science*, 306, 1686. <https://doi.org/10.1126/science.1103618>
- Oreskes, N. (2019). *Why Trust Science?*. Princeton University Press.
- Oreskes, N. i Conway, E. M. (2010). *Merchants of Doubt*. Bloomsbury Press.
- UNESCO. (2020). *Education for Sustainable Development: A Roadmap*. Preuzeto s: <https://doi.org/10.54675/YFRE1448>
- Ormerod, M. B. i Duckworth, D. (1975). *Pupils' Attitudes to Science*. Slough: NFER.
- Osborne, J. F. (2010). Arguing to Learn in Science: The Role of Collaborative, Critical Discourse. *Science*, 328, 463–466.
- Osborne, J. F. i Dillon, J. (2008). *Science Education in Europe: Critical Reflections*. London: Nuffield Foundation.
- Osborne, J. F. i Patterson, A. (2011). Scientific argument and explanation: A necessary distinction? *Science Education*, 95(4), 627–638. <https://doi.org/10.1002/sce.20438>
- Osborne, J. F., Simon, S. i Collins, S. (2003). Attitudes towards Science: A Review of the Literature and its Implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049–1079.
- Peterson, C., Maier, S.F. i Seligman, M.E.P. (1993). *Learned helplessness*. NY: Oxford University Press.
- Pinker, S. (2018). *Enlightenment NOW: The Case for Reason, Science, Humanism and Progress*. Allen Lane.
- Reyes-García, V., Fernández-Llamazares, Á., McElwee, P., Molnár, Z., Öllerer, K., Wilson, S.J. i Brondizio, E.S. (2019). The contributions of Indigenous Peoples and local communities to ecological restoration. *Restoration Ecology*, 27, 3–8. <https://doi.org/10.1111/rec.12894>
- Rickinson, M. (2001), Learners and Learning in Environmental Education: A Critical Review of the Evidence, *Environmental Education Research* 7(3).
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., ... i Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472–475.
- Rosling, H. i Rönnlund, A. R. (2019). *Factfulness*. Sceptre.

- Rychen, D. S. i Salganik, L. H. (ur.). (2003). *Definition and Selection of Key competencies: Executive Summary*. Göttingen, Germany: Hogrefe.
- Schibeci, R. A. (1984). Attitudes to Science: an update. *Studies in Science Education*, 11, 26–59.
- Schiepe-Tiska, A., N. Roczen, K. Müller, M. Prenzel i J. Osborne (2016). Science-Related Outcomes: Attitudes, Motivation, Value Beliefs, Strategies. Assessing Contexts of Learning: An International Perspective. S. Kuger, E. Klieme, N. Jude i D. Kaplan. Dordrecht, Springer: 301–329.
- Schipper, E. L. F., Dubash, N. K. i Mulugetta, Y. (2021). Climate change research and the search for solutions: rethinking interdisciplinarity. *Climatic Change*, 168(3), 1–11.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. München: Luchterhand.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. München: Luchterhand.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) (2005c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. München: Luchterhand.
- Selinger, E. i Crease, R. P. (2006). *The philosophy of expertise*. Columbia University Press.
- Skovdal, M., Evans, R. (2017) The emergence of an ethic of care in rural Kenyan schools? Perspectives of teachers and orphaned and vulnerable pupils, *Children's Geographies*, 15:2, 160–176. DOI: 10.1080/14733285.2016.1214236
- Snyder, C.R., K.L. Rand i D.R. Sigmon. (2001). Hope theory. A member of the positive psychology family. U: C.R. Snyder and S.J. Lopez (ur.), *Handbook of positive psychology*, 257–75. New York, NY: Oxford University Press.
- Steffen, W., Persson, Å., Deutsch, L., Zalasiewicz, J., Williams, M., Richardson, K., ... i Svedin, U. (2011). The Anthropocene: From global change to planetary stewardship. *Ambio*, 40(7), 739–761.
- Tai, R. H., Qi Liu, C., Maltese, A. V. i Fan, X. (2006). Planning Early for Careers in Science. *Science*, 312, 1143–1145.
- Taiwan Ministry of Education. (1999). Curriculum outlines for „Nature Science and Living Technology”. Taipei, Taiwan: Ministry of Education.
- Tekkumru-Kisa, M., M. K. Stein i W. Doyle (2020). „Theory and Research on Tasks Revisited: Task as a Context for Students’ Thinking in the Era of Ambitious Reforms in Mathematics and Science.” *Educational Researcher* 49(8): 606–617.
- Tytler, R. (2014). Attitudes, Identity, and Aspirations toward Science. U: N. G. Lederman i S. K. Abell (ur.), *Handbook of Research on Science Education*, Volume II (82–103). New York: Routledge.
- Tytler, R., Prain, V. i Hubber, P. (2018). Representation construction as a core disciplinary literacy. U: K-S. Tang & K. Danielsson (ur.) (2018). *Global developments in*

- literacy research for science education* (str. 301–317). Singapore: Springer.
- UNEP. (2012). 21 Issues for the 21st Century: Result of the UNEP Foresight Process on Emerging Environmental Issues. United Nations Environment Programme (UNEP). Nairobi, Kenya.
- UNESCO (2003), „UNESCO and the International Decade of Education for Sustainable Development (2005–2015)”, *UNESCO International Science, Technology and Environmental Education Newsletter*, Vol. XXVIII, br. 1–2, UNESCO, Paris.
- UNESCO (2005) International Implementation Scheme for the UN Decade of Education for Sustainable Development, UNESCO, Paris.
- Uzzell, D. 1999. Education for environmental action in the community: New roles and relationships. *Cambridge Journal of Education* 29(3): 397–413.
- Vosoughi, S., Roy, D. i Aral, S. (2018). The spread of true and false news online. *Science*, 359(6380), 1146–1151. <https://doi.org/10.1126/science.aap9559>
- Weaver, A. (2002), “Determinants of Environmental Attitudes: A Five-Country Comparison”, *International Journal of Sociology*, 32(1).
- Webb, N. L. (1997). Criteria for alignment of expectations and assessments in mathematics and science education. Washington, DC, Council of Chief State School Officers and National Institute for Science Education Research Monograph.
- Wickman, P. O. (2006). *Aesthetic experience in science education: Learning and meaning-making as situated talk and action*. Routledge.
- Wickman, P.-O., Prain, V. i Tytler, R. (2021). Aesthetics, affect, and making meaning in science: An introduction. *International Journal of Science Education* (Special issue on Aesthetics in Science Education).
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09500693.2021.1912434>
- Wiliam, D. (2010). What Counts as Evidence of Educational Achievement? The Role of Constructs in the Pursuit of Equity in Assessment. *Review of Research in Education*, 34, 254–284.
- Wolpert, L. (1992). *The Unnatural Nature of Science*. Faber and Faber.
- Young, O.R., Berkhout, F., Gallopin, G. C., Janssen, M.A., Ostrom, E. i Van der Leew, S. (2006). The globalization of socio-ecological systems: an agenda for scientific research. *Global Environmental Change*, 16(3), 304–316.
- Ziman, J. (1979). *Reliable Knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press.