

PRIMITÍV AXIÓMÁK (P-PRIMEK) A TANULÓK GONDOLKODÁSÁBAN

P-PRIMS IN STUDENTS' THINKING

Tóth Zoltán¹, Bárány Zsolt Béla²

¹CSc, nyug. egyetemi docens, Debreceni Egyetem TTK Kémiai Intézet, Debrecen
toth.zoltan@science.unideb.hu

²középiskolai tanár, Debreceni Református Kollégium Dóczy Gimnáziuma, Debrecen
baranyz@gmail.com

ÖSSZEFOGLALÁS

A mindennapi tapasztalatokból származó primitív axiómák (p-primek) gyakran okoznak fogalmi megértési problémát a természettudományok tanulása során. Ezzel kapcsolatban végztünk egy keresztmetszeti vizsgálatot középiskolások körében, amelynek során kilenc olyan p-prim-alapú fogalmi megértési problémát tártunk fel, amelyet eddig csak feltételeztünk.

ABSTRACT

The naive axioms (phenomenological primitives, p-prims) based on everyday experiences often cause conceptual comprehension difficulties in science learning. In this regard, some examples from a cross-sectional study among high school (secondary school) students are presented. In the course of our empirical study, we managed to explore nine p-prim-based misunderstandings that have only been hypothesized.

Kulcsszavak: fogalmi megértés, tévképzet, primitív axiómák, keresztmetszeti vizsgálat, középiskolás tanulók

Keywords: conceptual understanding, misconception, phenomenological primitives, cross-sectional study, high school (secondary school) students

BEVEZETÉS

A tanulók természettudományos fogalmak tanulásával és megértésével kapcsolatos problémáinak, valamint fogalmi fejlődésének vizsgálata mintegy fél évszázaddal ezelőtt kezdődött. Magyarországon az 1990-es évektől indultak ilyen jellegű kutatások elsősorban Csapó Benő vezetésével (lásd például Korom, 1997, 1998, 2005). Ezek során kiderült, hogy a tanulóknak számos olyan elképzésük van a világról, amely nem egyezik meg a tudományos világgéppel. Az ilyen, tudományosan nem helytálló elképzeléseket, fogalmakat nevezzük – nem kis leegyszerűs-

rűsítéssel – tévképzeteknek. Az utóbbi húsz évben – azon túl, hogy tudományos cikkek tízezrei tárgyalják a tanulók természettudományos tévképzeteit – vita bontakozott ki arról, hogy a tanulóknak ez a tudományosan nem helytálló „kiindulási” tudása mennyire koherens (naív elmélet) vagy inkább izolált, intuitív ötleteknek kell-e tekintenünk azokat (lásd például Taber, 2008; Leonard et al., 2014). Számos kutatás (például Fotou–Abrahams, 2016) azt mutatja, hogy új helyzetekben a tanulók gondolkodását könnyebb megérteni izolált tudásdarabok feltételezésével, semmint koherens, naív elméletekkel. Az izolált tudásdarabokból jönnek létre azok a primitív axiómák (phenomenological primitives, p-primek), amelyek újraszerveződése eredményezheti a tanulást, illetve a fogalmi váltást.

PRIMITÍV AXIÓMÁK (P-PRIMEK)

A p-primek (fenomenológiai primitívek) olyan tapasztalatokon nyugvó naív axiómák, melyek igazságtartalmát gondolkodás nélkül elfogadjuk. A fogalmat Andrea diSessa vezette be és alkalmazta a tanulók fizikai fogalmakkal kapcsolatos megértési problémáinak és hibás feladatmegoldásainak értelmezésére (diSessa, 1988, 1993). A p-prim nem egy tanult fogalom, hanem a mindennapi tapasztalatból levont következtetés, amely egy-egy jelenség értelmezéséhez kötődik. Amikor egy (természettudományos) problémát kell megoldanunk, akkor gyakran nyúlunk ezekhez a rövidített gondolkodási sémákhoz – nemritkán sikerrel. A p-primek egyik „haszna”, hogy gyors döntést, válaszadást tesznek lehetővé. Ugyanakkor, mivel gondolkodás nélkül elfogadjuk őket, néhány esetben helytelen döntésre juthatunk, ha nem elemezzük a megoldandó probléma finomszerkezetét. A p-primek fogalmi megértési zavarokban játszott szerepét elsősorban a fizikában tanulmányozták (például diSessa, 1988, 1993; Hammer, 1996; Masson–Legendre, 2008; Fotou–Abrahams, 2016), kevesebb vizsgálat történt kémiában (Talanquer, 2006¹; Taber, 2008; Tóth, 2013) és biológiában (Southerland et al., 2001). Néhány p-primet mutat be az *1. táblázat*.

1. táblázat. Példák a szakirodalomban leírt p-primekre

P-prim	Megnyilvánulása (forrás)
Az üresség feltöltése: az anyagok és tárgyak elfoglalják az üres helyeket („a természet irtózik a vákuumtól”)	„A homok kitölti a kivájt üreget.” (diSessa, 1993, 219.)
Az ellentétek vonzzák/kioltják egymást	„Amikor egy sav és egy bázis keveredik, a kapott oldat semleges lesz.” (Talanquer, 2006, 815.)

¹ Bár Vicente Talanquer nem használja a 'p-prim' kifejezést, az általa bemutatott kategóriák lényegében egy-egy p-primnek felelnek meg, ahogy erre Keith S. Taber (2014, 456.) is rámutatott.

1. táblázat folytatása

P-prim	Megnyilvánulása (forrás)
Aktív/fenntartó ágens: bármilyen változás valamilyen külső beavatkozás eredménye	„A mozgáshoz erő szükséges.” (diSessa, 1993, 217.) „Az aktív ágensek hatása passzív ágensekre kémiai reakciót hoz létre.” (Talanquer, 2006, 815.)
A nagyobb hatás mindig nagyobb változás: a nagyobb/erősebb hatás nagyobb/erősebb változást eredményez	„A nehezebb tárgyak gyorsabban esnek le, mint a könnyebbek.” (Fotou–Abrahams, 2016, 3.)
A közelebbi mindig erősebb: ha közelebb vagyunk egy forráshoz, erősebbnek érezzük a hatását, mintha távolabb lennénk	„Nyáron azért van melegebb, mint télen, mert nyáron a Föld közelebb van a Naphoz, mint télen.” (Hammer, 1996, 102.)
Folytonosság: az anyag egyre kisebb részekre osztható, de a részek tulajdonságai megegyeznek az anyagéval	„A rézatomok vörösek, és melegítés hatására kitépődnek.” (Talanquer, 2006, 813.)
Anyagiság, kézzelfoghatóság: az elvont fogalmaknak és folyamatoknak is anyagi természetű jellemzőik vannak	„A hó úgy viselkedik, mint a folyadékok.” (Talanquer, 2006, 815.)
Lényegiség: az anyag bizonyos tulajdonságai akkor is megmaradnak, ha az anyag megváltozik	„A rozsdá a vas egy fajtája.” (Talanquer, 2006, 815.) „Az ezüst-nitrát nem reagál sósavval, mert az ezüst sem lép reakcióba sósavval.” (Tóth, 2016, 335.)
A szükséglet mint a változás oka: a folyamatok valamilyen cél, valamilyen szükséglet elérése érdekében mennek végbe	„Az atomok vegyüléskor nemegész-szerkezetre törekszenek.” (Talanquer, 2006, 815.) „A hófajd azért változtatja fehérre a színét télen, hogy a vadászok nehezebben vegyék észre.” (Southerland et al., 2001, 338.)
A dolgok olyanok, amilyenek látszanak	„A Nap – láthatóan – kisebb, mint a Föld” (URL1)
A tárgyak mindig lefelé esnek	„A gravitáció mindig lefelé mutat.” (Fotou–Abrahams, 2016, 4.)
Lineáris sorrendiség: bármely rendszer változása lineáris események sorozata	„Az egyensúlyra vezető folyamatokban az átalakulás befejeződése után indul meg a termékek visszaalakulása.” (Talanquer, 2006, 815.)
Reprezentativitás: a dolgok (felszíni) hasonlóságának felismerése	„Mivel a NaCl oldódik vízben, ezért a hozzá hasonló képletű NaBr is oldódik.” (Maeyer–Talanquer, 2010, 974.)
Additivitás: az anyagok tulajdonságai összeadódnak	„Kék és sárga színű anyagok reakciója zöld színű terméket eredményez.” (Talanquer, 2008, 110.)

1. táblázat folytatása

P-prim	Megnyilvánulása (forrás)
A több az mindig jobb: több dolog jobb/ erősebb/nagyobb/hatékonyabb, mint a kevesebb dolog	„A 10 perce forrásban lévő víz melegebb, mint az, amelyik csak éppen forni kezd.” (URL1) „A pirimidin erősebb bázis, mint a piridin, mert több nitrogénatomot tartalmaz.” (Tóth, 2013, 299.) „Az atomméret egy perióduson belül a rendszámmal nő, mert az atomot egyre több elemi részecske építi fel.” (Tóth, 2013, 299.)
A keményebb mindig stabilisabb: a kemény tárgyak időtállóbbak, stabilisabbak, mint a puha tárgyak	„A gyémánt stabilisabb módosulata a szénnek, mint a grafit, mert a gyémánt sokkal keményebb anyag.” (Tóth, 2013, 300.)
A nedves mindig nehezebb: a nedves anyagok, tárgyak nehezebbek, mint a szárazak	„A nedves levegő nehezebb, mint a száraz levegő.” (Tóth, 2013, 301.)
A természetes mindig egészséges: a természetes anyagok, a természetes úton létrehozott dolgok egészségesebbek, mint a mesterségesek („modern” vis vitalis elmélet)	„A paprikából kivont C-vitamin egészségesebb, mint a gyógyszergyárban készített C-vitamin.” (Tóth, 2013, 301.)
Az egyensúly mindig egyenlőség: az egymással egyensúlyban lévő dolgok mennyisége is megegyezik egymással	„Egyensúlyban a termékek koncentrációja megegyezik a kiindulási anyagok koncentrációjával.” (Tóth, 2013, 302.)
A káros mindig csúnya: a káros/egésztelen/gonosz dolgok általában csúnyák, undorítóak	„A méregtelenítő lábfürdőben képződő csúnya anyag a szervezetből kiáramló méreganyag.” (Tóth, 2013, 303.)
Ohm-féle p-prim: a nagyobb erőfeszítés (lendület) nagyobb hatást, a nagyobb ellenállás kisebb hatást eredményez	„A gravitációnak erős hatása van a levegőben lévő tárgyakra, de alig van hatása a földön lévőkre.” (Hammer, 1996, 115.)

SAJÁT VIZSGÁLATOK²

Mivel Magyarországon még nem történtek vizsgálatok a p-primeknek a tanulók gondolkodását befolyásoló hatásával kapcsolatban, ezért célul tűztük ki ennek vizsgálatát néhány természettudományos – többségében kémiai jellegű – probléma megoldásában.

² Az itt bemutatott eredmények Bárány Zsolt Béla: *Csak hiszed! Középszkolás tanulók naiv axiómáinak nyomában* című pedagógus-szakvizsgás dolgozatából (Debreceni Egyetem, 2015., téma-vezető: Tóth Zoltán) származnak.



A 2014/15-ös tanévben lebonyolított írásbeli vizsgálatban egy debreceni szak-középiskola 9–13. évfolyamos tanulói vettek részt összesen 429-en.

A mérőeszköz tizennyolc, többségében nyílt végű feladatot tartalmazott. Minden feladat esetén kértük a válasz(tás) indoklását is. A felmérőlap teljes mintára vonatkozó Cronbach-alfa értéke 0,756-nak adódott. A tanulók válaszaiból kategóriákat képeztünk, és vizsgáltuk azok gyakoriságát, valamint értékeltük szakmai helyességüket is.

Az eredményességet tekintve az egyes évfolyamok átlagai 30–40% között változtak. Az évfolyamok eredménye között egyedül a 9. évfolyam esetén találtunk szignifikáns különbséget a többi évfolyam javára.

A tanulói válaszok tartalmi elemzésének legfontosabb eredményét láthatjuk a 2. táblázatban.

2. táblázat. Az empirikus vizsgálat során előfordult leggyakoribb válaszkategóriák

Válasz (gyakoriság)	Megjegyzés
Miért van nyáron meleg és télen hideg?	
Mert nyáron a Föld közelebb van a Naphoz, mint télen. (34%)	p-prim: a közelebbi mindig erősebb
Nyáron nagyobb a napsugarak beesési szöge, télen pedig kisebb. Nyáron a Nap távolabb van a Földtől, télen pedig közelebb. (31%)	a helyes válasz
Mikor lesz melegebb a víz: ha 5 percig, vagy ha 15 percig forraljuk?	
A forrásban lévő víz hőmérséklete nem változik. (34%)	a helyes válasz
Minél tovább melegítjük, annál melegebb lesz. (33%)	p-prim: a több az mindig jobb
Az ammóniához hasonlóan, a szerves vegyületekben található nitrogénatom is képes a nemkötő elektronpárjával hidrogénion megkötésére, vagyis ezek a szerves vegyületek bázisként viselkednek. Az alábbiakban a piridin és a pirimidin szerkezete látható. Melyik az erősebb bázis: a piridin vagy a pirimidin?	
 piridin	 pirimidin
A pirimidin az erősebb bázis, mert két hidrogénion megkötésére képes. (63%)	p-prim: a több az mindig erősebb (újdonság)
A piridin az erősebb bázis, mert az egy nitrogénatomja erősebben polarizál, mint a pirimidinben található kettő. (1%)	a helyes(hez közeli) válasz

2. táblázat folytatása

Válasz (gyakoriság)	Megjegyzés
A periódusos rendszer második periódusában, a p-mezőben található a ${}_5\text{B}$, a ${}_6\text{C}$, a ${}_7\text{N}$, az ${}_8\text{O}$, a ${}_9\text{F}$ és a ${}_{10}\text{Ne}$. Hogyan változik a felsorolt atomok mérete a rendszám függvényében?	
Az atomok mérete egyre nő, mert egyre több lesz az atomot felépítő elemi részecskék száma, és az elektronok egyre nagyobb elektronfelhőt képeznek. (65%)	p-prim: a több az mindig nagyobb (újdság)
A rendszám növekedésével csökken az atomok mérete, mert az egyre növekvő magtöltés egyre erősebben vonzza az azonos alhéjon található elektronokat. (7%)	a helyes válasz
Egy garázsban két, egyenként 10 literes benzines kanna van. Az egyik teljesen tele van benzinnel, míg a másikban mindössze 1 liter üzemanyag van. Tűzveszélyességi szempontból melyik kanna a sokkal veszélyesebb?	
A tele kanna a veszélyesebb, mert több benne az anyag, nagyobb tüzet eredményezhet. (44%)	p-prim: a több az mindig hatékonyabb (újdság)
Az 1 liter benzin a veszélyesebb, mert a kannában nagyobb mennyiségű a benzingőz, illetve az oxigén, így könnyebben gyullad. (41%)	a helyes válasz
Hogyan változik a savi erősség a $\text{HF} - \text{HCl} - \text{HBr} - \text{HI}$ sorban? A választott grafikon betűjelét karikázd be, a választásodat indokold meg!	
A:	B:
<p>A hidrogén-halogenidek sáverősségének változása</p> <p>A hidrogén-halogenidek sáverőssége</p> <p>HF HCl HBr HI</p>	<p>A hidrogén-halogenidek sáverősségének változása</p> <p>A hidrogén-halogenidek sáverőssége</p> <p>HF HCl HBr HI</p>
C:	D:
<p>A hidrogén-halogenidek sáverősségének változása</p> <p>A hidrogén-halogenidek sáverőssége</p> <p>HF HCl HBr HI</p>	<p>A hidrogén-halogenidek sáverősségének változása</p> <p>A hidrogén-halogenidek sáverőssége</p> <p>HF HCl HBr HI</p>
C (50%)	p-prim: reprezentativitás, a jól ismert HCl a legerősebb sav
B (6%)	a helyes válasz

2. táblázat folytatása

Válasz (gyakoriság)	Megjegyzés
Melyik az egészségesebb: a paprikából kivont C-vitamin, vagy a gyógyszergyárban szintetikusán előállított C-vitamin?	
A paprikából kivont vitamin az egészségesebb, mert az természetes eredetű. (46%)	p-prim: a természetes mindig egészséges (újdonság)
A paprikából kivont vitamin az egészségesebb, mert abban egyéb fontos, természetes anyagok is lehetnek (vagy: mert nem szennyezett). (36%)	szövegértési probléma
Egyforma egészséges mind a két forrásból származó vitamin, mert ugyanarról az anyagról van szó. (11%)	a helyes válasz
A szénnek két kristályos módosulata, a gyémánt és a grafit közül melyik a stabilisabb?	
A gyémánt a stabilisabb, mert atomrácós szerkezetű, erősebb a kötés az atomok között, erősebb a rácsa. (36%)	tévképzet: a tanult ismeret helytelen alkalmazása
A gyémánt a stabilisabb, mert a legkeményebb anyag a Földön. (19%)	p-prim: a keményebb mindig stabilisabb (újdonság)
A grafit a stabilisabb, mert a gyémánt idővel grafitná alakul. (14%)	a helyes válasz
Melyik a nehezebb: az azonos térfogatú, hőmérsékletű és nyomású száraz vagy nedves levegő?	
A nedves levegő a nehezebb, mert abban több molekula, például még víz is van. (36%)	tévképzet: a gázok szerkezetének helytelen értelmezése
A nedves levegő a nehezebb, mert a víztartalom nehezíti, nagyobb lesz a tömege/sűrűsége. (31%)	p-prim: a nedves mindig nehezebb
A száraz levegő, mert a víz kisebb moláris tömegű, így a száraz levegőnek nagyobb az átlagos moláris tömege, a sűrűsége. (8%)	a helyes válasz
A kémiaszertárban egymás mellett két edényt találunk. A címkék felirata szerint az egyikben higany van, a másikban naftalin. A higanyról közismert, hogy közönséges körülmények között az egyetlen cseppfolyós halmazállapotú fém, régebben a hőmérőkben használták. A naftalin fehér színű szilárd anyag, amit korábban molyirtóként alkalmaztak. Melyik a stabilisabb: a higany vagy a naftalin?	
A naftalin a stabilisabb, mert szilárd. (32%)	p-prim: a szilárd stabilisabb, mint a folyadék (újdonság)
A higany a stabilisabb, mert fém, erős fémrácsa van erős fémes kötésekkel. (17%)	a helyes(hez közeli) válasz

2. táblázat folytatása

Válasz (gyakoriság)	Megjegyzés
Melyik grafikonon írhatja le a leginkább valószínű formában a kiindulási anyagok és termékek koncentrációjának változását az egyensúlyi állapot kialakulása közben?	
A:	B:
<p>A reagensek és a termékek koncentrációjának változása az egyensúly kialakulása során</p> <p>Koncentráció (mol/dm³)</p> <p>Idő (s)</p> <p>--- kiindulási anyagok — termékek</p>	<p>A reagensek és a termékek koncentrációjának változása az egyensúly kialakulása során</p> <p>Koncentráció (mol/dm³)</p> <p>Idő (s)</p> <p>--- kiindulási anyagok — termékek</p>
C:	D:
<p>A reagensek és a termékek koncentrációjának változása az egyensúly kialakulása során</p> <p>Koncentráció (mol/dm³)</p> <p>Idő (s)</p> <p>--- kiindulási anyagok — termékek</p>	<p>A reagensek és a termékek koncentrációjának változása az egyensúly kialakulása során</p> <p>Koncentráció (mol/dm³)</p> <p>Idő (s)</p> <p>--- kiindulási anyagok — termékek</p>
B (60%) Egyensúlyi állapotban a kiindulási anyagok és termékek koncentrációja megegyezik. (23%)	p-prim: az egyensúly mindig egyenlőség (újdonság)
A (21%)	a helyes válasz
Melyik a nagyobb sűrűségű: a fémnátrium vagy a víz?	
A fémnátrium kisebb sűrűségű, mert úszik a víz tetején. (35%)	a helyes válasz
A fémnátrium nagyobb sűrűségű, mert az egy fém/szilárd. (27%)	p-prim: a szilárd anyagok nehezebbek, mint a folyadékok (újdonság)
A fémnátrium nagyobb sűrűségű, mert a moláris tömege nagyobb, mint a vízé. (10%)	tévképzet: a tanult ismeretek helytelen alkalmazása

2. táblázat folytatása

Válasz (gyakoriság)	Megjegyzés
A benzin cseppfolyós szénhidrogének (például C_7H_{16} , C_8H_{18}) elegye. A sűrűsége kisebb, mint a víz. Melyiknek nagyobb a sűrűsége: a benzingőznek vagy a vízgőznek?	
A vízgőz sűrűsége a nagyobb, mert a vízé is nagyobb volt, mint a benziné. (41%)	p-prim: lényegiség (újdonság)
A benzingőz sűrűsége a nagyobb, mert az összetevők moláris tömege (sűrűsége) is nagyobb. (13%)	a helyes válasz
Annak a nagyobb a gőzsűrűsége, amelyik könnyebben párolog. (4%)	p-prim (?)

A válaszok tartalmi elemzése számos esetben mutatta a p-primek megjelenését a tanulók gondolkodásában, néhány esetben tetten érhető volt a tanult ismeretek helytelen alkalmazása is („tévképzet”). Kilenc esetben sikerült empirikus adatokkal alátámasztani olyan, a kémiában eddig csak feltételezett fogalmi megértési problémát, melynek gyökere részben vagy egészben a p-primek gondolkodást befolyásoló hatásában keresendő („újdonság”).

ÖSSZEFOGLALÁS

Eredményeink megerősítik azt a nemzetközi szakirodalomban már széles körben tárgyalt tényt, hogy a tanulók gondolkodását befolyásolják a mindennapi tapasztalatok alapján kialakult p-primek. Ez alól a magyar szakközépiskolás tanulók sem kivételek. Empirikus vizsgálatunk során sikerült feltárni kilenc, a kémiában eddig még csak feltételezett, p-prim-alapú fogalmi megértési problémát is.

IRODALOM

- diSessa, A. A. (1988): Knowledge in Pieces. In: Forman, G. – Pufall, P. (eds.): *Constructivism in the Computer Age*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Publishers, 49–70.
- diSessa, A. A. (1993): Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10, 2, 105–225. <https://canvas.northwestern.edu/courses/93054/files/6764748/download?verifier=YeAP-R95V7jHM1gcZI8hgLynRIOF9t22ocupAcXHd>
- Fotou, N. – Abrahams, I. (2016): Students' Analogical Reasoning in Novel Situations: Theory-like Misconceptions or P-Prims? *Physics Education*, 51, 7, 1–6. DOI: 10.1088/0031-9120/51/4/044003, https://www.researchgate.net/publication/303869786_Students'_analogical_reasoning_in_novel_situations_Theory-like_misconceptions_or_p-prims
- Hammer, D. (1996): Misconceptions or P-Prims: How May Alternative Perspectives of Cognitive Structure Influence Instructional Perceptions and Intentions? *The Journal of the Learning*

- Sciences*, 5, 2, 97–127. <http://ccl.northwestern.edu/constructionism/2012LS452/assignments/5/MisconceptionsOrP-Prims.pdf>
- Korom E. (1997): Naív elméletek és tévképzetek a természettudományos fogalmak tanulásában. *Magyar Pedagógia*, 97, 1, 19–41. <http://www.magyarpedagogia.hu/document/196.pdf>
- Korom E. (1998): Az iskolai és a hétköznapi tudás ellentmondásai: a természettudományos tévképzetek. In: Csapó B. (szerk.): *Iskolai tudás*. Budapest: Osiris Kiadó, 139–167.
- Korom E. (2005): *Fogalmi fejlődés és fogalmi váltás*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó
- Leonard, M. J. – Kalinowski, S. T. – Andrews, T. C. (2014): Misconceptions Yesterday, Today, and Tomorrow. *CBE – Life Sciences Education*, 13, 179–186. DOI: 10.1187/cbe.13-12-0244, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4041497/>
- Maeyer, J. – Talanquer, V. (2010): The Role of Intuitive Heuristics in Students' Thinking: Ranking Chemical Substances. *Science Education*, 94, 963–984. https://www.researchgate.net/publication/227664710_The_role_of_intuitive_heuristics_in_students'_thinking_Ranking_chemical_substances
- Masson, S. – Legendre, M-F. (2008): Effects of Using Historical Microworlds on Conceptual Change: A P-Prim Analysis. *International Journal of Environmental and Science Education*, 3, 3, 115–130. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ894855.pdf>
- Southerland, S. A. – Abrams, E. – Cummins, C. L. et al. (2001): Understanding Students' Explanations of Biological Phenomena: Conceptual Frameworks or P-Prims? *Science Education*, 85, 328–348. http://jittl.science.iupui.edu/JiTT_RESOURCES/p_prims_Biology.pdf
- Taber, K. S. (2008): Conceptual Resources for Learning Science: Issues of Transience and Grain-size in Cognition and Cognitive Structure. *Journal of Learning Science*, 30, 1027–1053. DOI: 10.1080/09500690701485082, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00513348/document>
- Taber, K. S. (2014): The Significance of Implicit Knowledge for Learning and Teaching Chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 15, 447–461. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2014/rp/c4rp00124a>
- Talanquer, V. (2006): Commonsense Chemistry: A Model for Understanding Students' Alternative Conceptions. *Journal of Chemical Education*, 83, 5, 812–816. https://www.researchgate.net/publication/231267449_Commonsense_Chemistry_A_Model_for_Understanding_Students'_Alternative_Conceptions
- Talanquer, V. (2008): Students' Predictions about the Sensory Properties of Chemical Compounds: Additive Versus Emergent Frameworks. *Science Education*, 92, 1, 96–114. <https://tinyurl.com/v5vzskh>
- Tóth Z. (2013): Janus-arcú axiómáink: A p-primek. *Középiszkolai Kémiai Lapok*, 40, 4, 297–304. https://www.kokel.mke.org.hu/images/docs/2013_4/KK1304_valoban.pdf
- Tóth Z. (2016): A tanulók kémiai gondolkodásának néhány jellemzője. *Magyar Kémikusok Lapja*, 71, 11, 334–338. http://epa.oszk.hu/03000/03005/00010/pdf/EPA03005_MKL_2016_11_334-338.pdf
- URL1: Werby, O.: *What Is a P-Prim?* <https://interfaces.com/blog/2010/10/what-is-a-p-prim/>