



Szólláthné Sebestyén Zita

■ Nyíregyházi Egyetem, Környezettudományi Intézet | sebestyen.zita@nye.hu

A LEGO® alkalmazása a kémiaoktatásban

„Toys enable us to construct who we are, appreciate our personal and collective pasts, prepare for the future in a world of constant flux, and live for the moment, having fun.”

K. M. Jackson

A kémia mint tantárgy nagy előnye, hogy oktatása nem elválasztható a kísérletektől, a közvetlen tapasztalatszerzéstől, melyekkel könnyű a diákok érdeklődését felkelteni. De ennek a tudományának is vannak olyan területei, ahol fantáziára, elvont gondolkodásra van szükség, például a molekuláris vagy atomi szintű jelenségeknél. Ezek modellezése régóta jelen van az oktatásban. Az elmúlt évtizedekben meghatározó trenddé vált az oktatási segédanyagok digitalizálása és az a remény, hogy a fiatalok így a saját nyelvükön, a saját eszközeiken keresztül kapják majd meg a tudást, és ez majd megkönnyíti a folyamatot. Talán elérkeztünk már ahhoz a ponthoz, amikor újra nagy jelentőséget nyer, ha valamit a diák kezébe tudunk adni, ami nem digitális, mert nem újabb online játékra van szüksége, hanem például a finommotoros képességeinek használatára, fejlesztésére.

A LEGO® építőköcek erre nyújtanak lehetőséget, akár a kémiaórákon is. Egy viszonylag olcsó, könnyen (akár használtan is) beszerezhető játékról van szó, amely ismerős lehet a diákoknak. Könnyen átépíthető, a változások jól követhetőek a modellekkel. Az építőelemek változatos alakja és színei megannyi lehetőséget rejtenek. Nem kell korlátoznunk a fantáziánkat a térszerkezetek lemásolására, csak el kell vonatkoztatnunk az eddig használt sablonoktól.

Halmazállapotok, kristályrácsok, elemi cellák

A legalapvetőbb jelenség, amelynek modellezésénél felhasználhatjuk a LEGO®-t, az a részecskék helyzete a különböző halmazállapotokban [1]. Két dimenzióban ábrázolva, ahol egy részecskét egy darab 1×1-es építőkocka képvisel, hangsúlyozhatjuk azok távolságát, rendszerezettségüket és a részecskemozgás lehetőségét, illetve utalhatunk a közöttük létrejövő kölcsönhatások erősségére. Greyer szerint ez a kétdimenziós módszer közvetlen számonkérésre – alaplapok beszedése – vagy beadandó / házi feladat készítésére is alkalmas, ahol elegendő a modellek fotóját digitálisan visszaküldeni. Ez a szemléltetési eszköz így online oktatás esetén is alkalmazható.

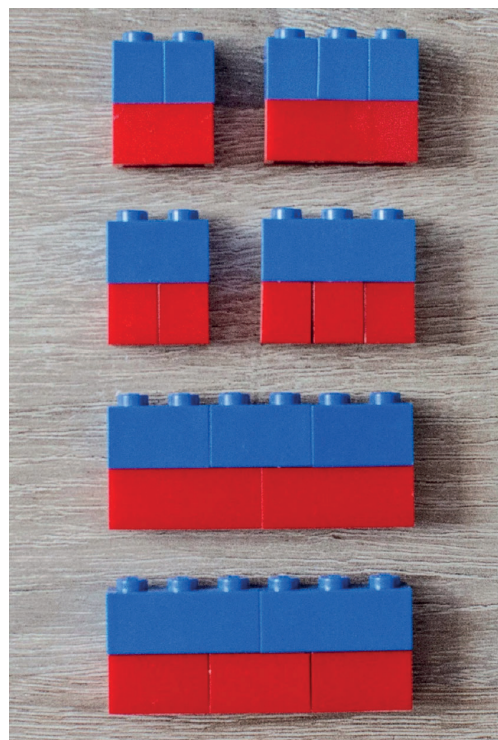
A kristályszerkezetek modellezése már mélyebb kémiai tudást feltételez, és háromdimenziós ábrázolást igényel, amelyre a LEGO® is alkalmas lehet. Az építőköcek alkalmazása abban az esetben praktikus, ha a ráccspontokon található részecskék mérete hasonló: helyettesíthetők 1×1-es vagy 2×2-es elemekkel, illetve több elemből összerakott 3×3×2-es vagy 4×4×3-as tömbökkel [2].

Az anyagi minőséget különböző színekkel lehet jelölni. Annak ellenére, hogy ebben a tárgykörben más szemléltetési eszközök is rendelkezésre állnak, a LEGO®-nál két előnyt lehet megemlíteni: az elemi cellát rétegenként is fel lehet építeni és bemutatni, illetve nagyobb tömbök használata esetén az elemi cellák határainál részecske-töredékeket is beépíthetünk (pl. ha csak az adott részecske negyede tartozik abba a cellába). A *Wisconsini Egyetem* munkatársai aprólékosan kidolgozott példátárat is közzétettek különböző kristályszerkezet leírására, építési útmutatókkal segítve az alkalmazásukat az oktatásban [3].

Sztöchiometriai képlet és molekulatömeg

Az ionrácsos vegyületeknél a pontos sztöchiometria megállapítása, a képletek felírása is begyakorlást igényel a tanulás kezdeti szakaszában. Az angolszász irodalomban erre a kérdésre a leggyakrabban alkalmazott eljárás az úgynevezett „criss-cross” módszer. A magyarul cikcakk-módszernek fordítható eljárásban először össze kell hasonlítani a pozitív és a negatív ionok töltés-

1. ábra. Különböző összetételű ionvegyületek ábrázolása LEGO®-elemekkel (például jelenthetik a következőket: Na₂S, K₃N, MgF₂, Al(CN)₃, Ca₃P₂, Al₂O₃)





számát. Ha abszolút értékük megegyezik, akkor 1:1 arányban kell felírni az ionokat a képletben. Ha különbözik, akkor „keresztbe” kell beírni a töltésszámokat, tehát a pozitív ion töltésszámát a negatív ion sztöchiometriai számaként töltés nélkül, és fordítva [4]. Ha van a töltéseknek közös osztójuk, akkor azzal egyszerűsíteni kell az arányt, és kész a sztöchiometriai képlet.

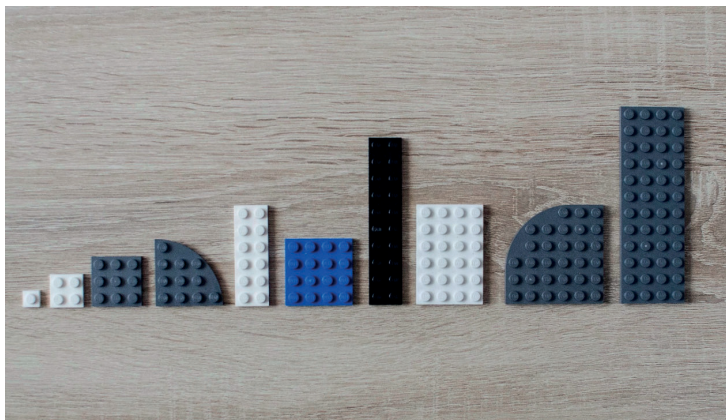
Ugyanez a feladat megoldható LEGO®-kockákkal is, ahol az építőelemek hossza (a kapcsolódási pontok száma) a töltések számával megegyezik: tehát az 1×1-es elem egyszeres töltésű, a 2×1-es kétszeres és így tovább [5]. Az ellentétes töltéseket különböző színekkel jelölhetjük. Több egymás mellé helyezett „pozitív töltésű” elemhez elkezdjük alulról csatlakoztatni a „negatívakat” egészen addig, amíg a lehető legkevesebb egész számú elemmel tudunk teljes lefedettséget elérni (1. ábra).

Ruddick három párhuzamos középiskolai osztályban vizsgálta a LEGO® hatékonyságát a képletírás tanulási folyamatában összehasonlítva a cikcakk-módszerrel és egy online oktató játékkal („Rainbow Matrix”) [5]. A különböző oktatási formák alkalmazása után ugyanazon a számonkérésen a LEGO®-csoport szignifikánsan jobb eredményt ért el a másik kettőhöz viszonyítva (az online játék eredményes használatához hosszabb begyakorlási időre lett volna szükség).

Az építőkockák mennyiségi jellemzők ábrázolására is használhatóak, hiszen a kapcsolódási pontjaik arányosak a felületükkel, illetve a tömegükkel is. Megfelelő méretű LEGO®-lapokból „atomként” adható össze a molekulatömeg. Itt a kialakított formának kisebb a jelentősége, nem kell, hogy feltétlenül a pontos térszerkezetre utaljon, egyes funkciós csoportok ábrázolása azonban hasznos lehet. Egy-egy molekula többféle elrendezésben ábrázolható, a lényeg, hogy a végeredmény arányos legyen a molekulatömeggel.

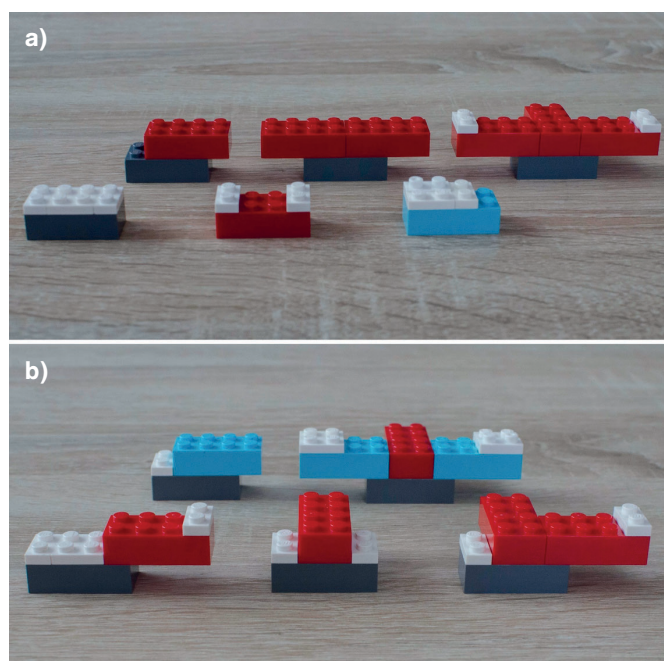
Ezek a kézbe adható „tömegek” jól használhatóak a tömegmegmaradás törvényének hangsúlyozására a reakcióegyenletek felírásakor, vagy később a zöld kémiai mérőszámok bevezetésére [6], illetve az egyes reakcióutak összehasonlításához, hiszen a kiinduláshoz használt építőkockákkal el kell számolni (főtermék, melléktermék, katalizátor, esetleg a kiindulási anyag feleslege). A Hudson és munkatársai által leírt példában a fehér 1×1-es elem fogja reprezentálni a hidrogénatomot, a piros 4×4-es az oxigént, a sárga 4×8-as pedig a ként [6]. (Az anyagi minőség színkódolása itt is megjelenik.) Ebből az is következik, hogy bár nagy a variációja a LEGO®-elemeknek, mégsem tudjuk velük bármelyik atomot helyettesíteni, gondoljunk csak a páratlan vagy nem egész számú atomtömegekre (2. ábra).

2. ábra. Példák LEGO®-elemekkel szimbolizálható atomokra és atomtömegekre: ^1H , ^4He , ^9Be , ^{11}B , ^{12}C , ^{16}O , ^{20}Ne , ^{24}Mg , ^{31}P , ^{48}Ti



Az oktett-szabály és a molekulaszervezeti modellek

Hasonló logikát követ a Lin és munkatársai által leírt molekula-modell, amely abból indul ki, hogy hány elektron helyezkedjen el az atom külső elektronhéján a nemegázszerkezet eléréséhez [7]. A szerzők praktikusán csak a szerves vegyületeket felépítő atomokat helyettesítették LEGO®-építőkockákkal: a hidrogént fehér 2×1-es, a szén, oxigént, nitrogént, ként pedig megfelelő színű 2×4-es elemekkel. Azok a kapcsolódási pontok, amelyek más építőkockákkal átfedésbe kerülnek, közös elektronok, tehát kötő elektronpárok lesznek, a szabadon maradt pontok pedig nem-kötők. Így a legalapvetőbb szerves (és szervetlen) vegyületek is felépíthetők (3. ábra), ráadásul többféleképpen. Mivel itt sem a pontos térszerkezetet kell leutánozni, több jó megoldás is elfogadható, viszont egészen más szemléletet igényel, mint a térszerkezet összerakása. Leginkább lineáris elrendezés esetén alkalmazható, a gyűrűs szerkezetek kialakítása a LEGO®-elemek paraméterei miatt nehézkes vagy lehetetlen.



3. ábra. Az oktett-szabálynak megfelelően kirakott molekula-modellek [7]: a) CO , CO_2 , H_2CO_3 , CH_4 , H_2O , NH_3 ; b) HCN , NH_2CONH_2 , CH_3OH , HCHO , HCOOH

De nem kell lemondanunk arról, hogy a molekulák térszerkezetét is modellezzük az építőkockákkal. Az elemi cellához hasonlóan itt is választhatunk különböző méretű elemek vagy tömbök közül, melyek egy adott atomot szimbolizálnak. Sajnos a LEGO® itt sem tekinthető univerzális megoldásnak, ráadásul számtalan más, kézbe adható szemléltetőeszköz áll már rendelkezésre a témában (golyómodellek, golyó-pálcika modellek stb.), a digitális megoldásokról nem is beszélve. Ennek ellenére jó néhány szerkezet kirakható LEGO®-val is, legyenek azok hosszú szénhidrogénláncot tartalmazó molekulák [2] vagy akár polimerek. Az utóbbi esetben egy LEGO®-egységgel nemcsak egy atomot, hanem akár egy egész monomert is helyettesíthetünk, így kevesebb építőanyagra (készletre) van szükség egy óriásmolekula megépítéséhez. Az egyik legegyszerűbb ilyen polimer a polietilén [8], de találhatunk példát az irodalomban akár a poli(dimetilsziloxán) modellezésére is [9]. Ha elegendő egyforma építőkocka áll rendelkezésre, poliszacharidokat is felépíthetünk (amilo-



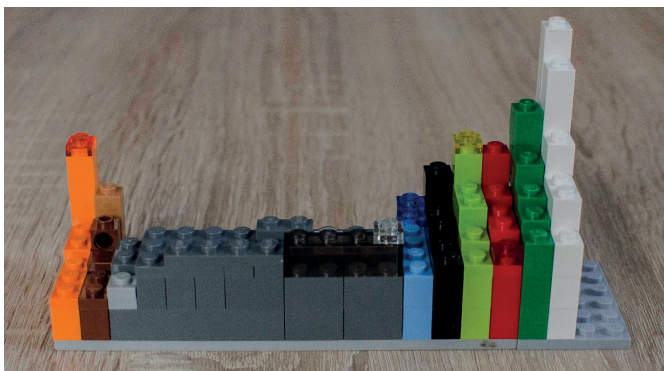
pektint, amilózt és cellulózt), különbséget téve az α - és β -D-glükóz szerkezete között [10].

Az elektronok beépülési sorrendje és a periódusos rendszer

Tapasztalataim szerint a hazai szakmai fórumokon nem az volt a leghangsúlyosabb oktatási kérdés, hogyan tanulják meg a diákok felírni az ionos vegyületek képletét, de arról már hallottam diszkussziót, hány éves kortól lehet, illetve kellene elmagyarázni számukra az atomok elektronszerkezetét, és milyen oktatási segédanyagokkal. Az elektronok beépülési sorrendjének logikája, és ehhez kapcsolódóan az elemek periodikus tulajdonságai a periódusos rendszerben egyértelműen az építőkövek használata felé terelhetnek bennünket.

A periódusos rendszert illetően gyakran csak addig jutnak el a LEGO®-felhasználók, hogy a táblán építőkövekkel rakják ki a vegyjeleket [11], de ez még nem tekinthető nagy előrelépésnek.

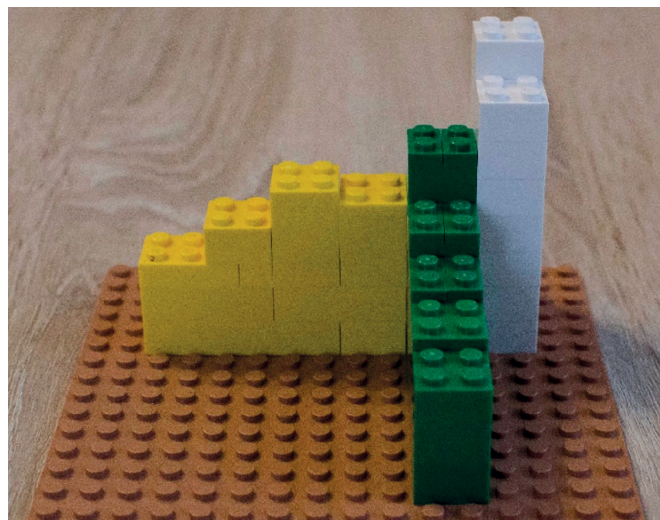
Az elemek periodikusan változó tulajdonságainak ábrázolása viszont hiánypótlónak nevezhető [12]. *Melaku és munkatársai* az atom-, illetve ionsugarak, az első ionizációs energia és az elektronegativitás változásait ábrázolták három dimenzióban oly módon, hogy az xy-alapsíkra vetítik a periódusos rendszert, és a z-tengelyen jelölik az adott tulajdonság mértékét, mindezt oszlop-diagram-szerűen, LEGO®-elemekkel kirakva (4. ábra).



4. ábra. Az első ionizációs energia változása a periódusos rendszerben [12]

Az atomok és a kationok, illetve az anionok sugarát egy-egy közös diagramon ábrázolták lépcsőzetesen, de ez véleményem szerint túl sok információ egy demonstrációban. A másik nehézség, hogy ha a kis különbségeket is szándékunkban áll érzékelteni, összességében túl magas oszlopokat lehet építeni. Emiatt sokszor a z-tengelyen való ábrázolás nem a nullától indul, hanem közel a legkisebb képviselt értékhez. Emellett gyakran ragasztó használatára is szükség lehet. A szerzők találékonyságáról beszél, hogy a jobb megértés és ábrázolhatóság érdekében vagy csak bizonyos főcsoportokat, vagy egy fél periódust és egy rá merőleges főcsoportot ábrázolnak (5. ábra), így bemutatva mindkét irányban a változást.

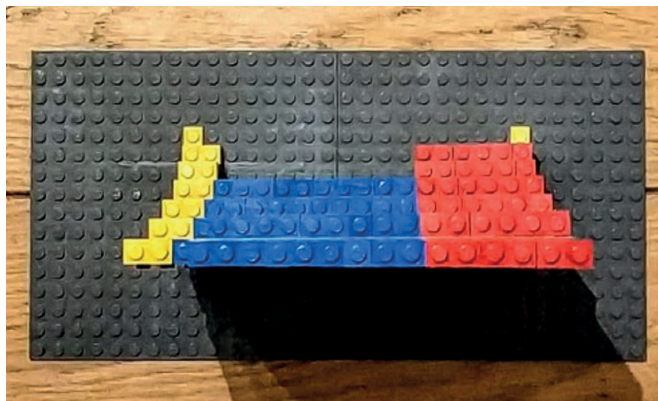
Ezek az ábrázolások gyengeségeik ellenére alkalmasnak bizonyultak arra, hogy vak vagy gyengén látó diákokkal is megismertessék a témát. Mivel számukra a színek kevésbé érzékelhetőek, a színes építőköveket véletlenszerű sorrendben építették be a diagramokba. Látó hallgatók is kipróbálták a segédeszközöket bekötött szemmel is, és annyira felkeltették a figyelmüket, hogy további módosításokat javasoljanak [12]. Az ő esetükben a színekkel további információkat lehet beépíteni a rendszerbe.



5. ábra. Az első ionizációs energia változása a periódusos rendszerben, kiemelve a hidrogént, a második periódust és a VII.A főcsoportot [12]

A *Wisconsini Egyetemen* megpróbálkoztak azzal, hogy az általuk felépített periódusos rendszerre pillantva valamit megtudjunk az atomok külső elektronjairól is [13]. Ebben a táblázatban minden kémiai elem egy 2×4-es építőkövet kapott, melynek felületén újabb kockák felhelyezésével lehetett jelölni a külső elektronok számát. Sajnos itt a párosítatlan elektronok elkülönítése nehézkes volt. Az építők a főcsoportbeli fémek, félfémek és nemfémek, illetve az átmenetifémek jelölésére különböző színeket választottak, míg az elektronok színe mindenütt megegyezett.

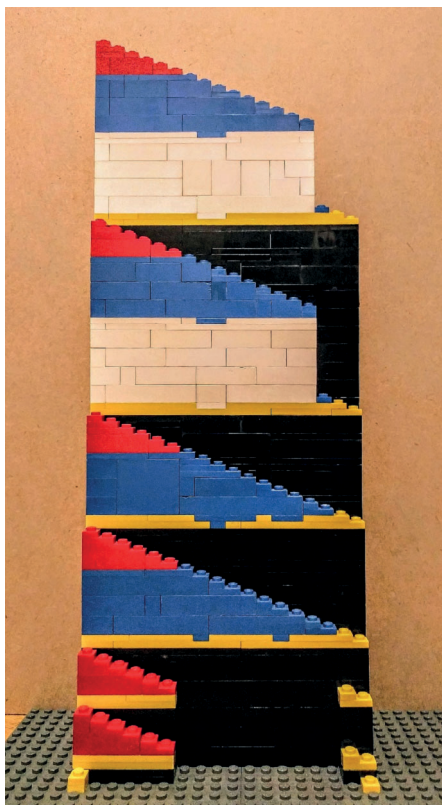
A legtalálékonyabb megoldás egy versenyfelhívásra készült a periódusos rendszer összeállításának 150 éves évfordulójára [14]. Felülnézetből igen egyszerű képet kapunk a periódusos rendszer mezőiről, különböző színekkel jelölve (6. ábra).



6. ábra. A periódusos rendszer Bartók–Pártay-féle modellje felülnézetből [14]

Oldalnézetből viszont egy monumentális építmény tárul elénk, ahol minden elemnél megállapíthatjuk az összes elektronszámot a hozzá tartozó oszlop magasságából, és vizuálisan elkülöníthetjük a lezárt héjak elektronjait (fekete építőkövek) a külső héjon található elektronoktól (7. ábra). A színkód segít megkülönböztetni az s-, p-, d- és f-elektronokat is egymástól. A kontrasztos színek miatt igazán szembeötlő az elektronok beépülésében tapasztalható néhány „szokatlan” lépés is.

A LEGO®-készletek változásával a lehetőségeink is bővülnek. A 2020-as években bevezetett LEGO® DOTS kicsi, színes és lapos dí-



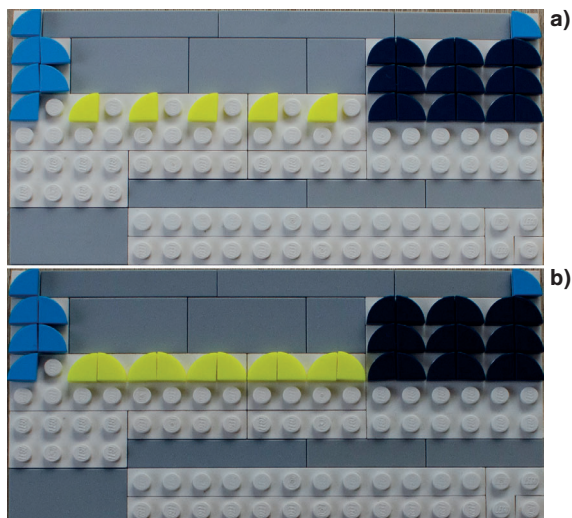
7. ábra.
A periódusos
rendszer Bartók-
Pártay-féle
modellje
oldalnézetből [14]

szítőelemekkel van tele. Az online keresőkben már találhatunk ebből készített periódusos rendszereket is, de itt sem látnak tovább a vegyjelek betűinek kirakásán, ami ráadásul még kevésbé olvasható.

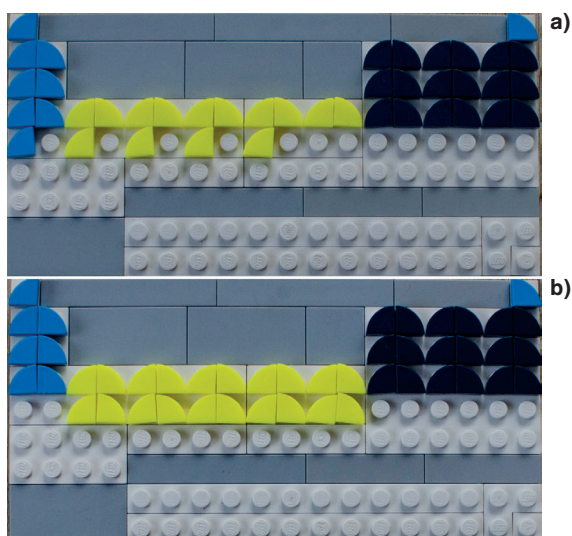
A különböző színes elemekkel viszont – a szerző ötlete alapján – megvalósítható a periódusos rendszer lépésről lépésre történő felépítése, az elektronok beépülési sorrendjében. A megfelelő alaplap könnyen kialakítható a periódusos rendszer üres rubrikáinak lefedésével (sima, semleges színű építőelemekkel), és legalább egy 18×8 egység nagyságú téglalapra van szükségünk. Az elektronokat negyedkör alakú elemekkel szimbolizálhatjuk. Ennek előnye, hogy derékszögű csúcsát többféle irányban lerakhatjuk: a bal alsó vagy a jobb alsó sarkot kiválasztva megkülönböztethetjük az ellentétes spinű elektronokat, egymás mellé rakva őket pedig félkört alkotnak, így az elektrópár jól vizualizálható. A különböző alhéjakra beépülő elektronok színe különböző is lehet. A különleges elektronszerkezettel bíró atomok ezzel a módszerrel is jól kiemelhetők (8–9. ábra).

Az ehhez hasonló építőjátékoknál megszokott, hogy építési útmutatót is mellékelnek hozzájuk. Ezeknél az oktatási segédanyagoknál ez elengedhetetlen, és nagy lehetőség is akár az önálló tanuláshoz, gyakorláshoz, akár azért, mert más információkat is tartalmazhat például arról az elemről, melynek az utolsó elektronja éppen bekerül az adott alhéjra.

Tehát a LEGO®-készletek használatának már ismert előnyeit kiegészíthetjük azzal, hogy online oktatás esetén is alkalmazható, „kézbe adható” modell készíthető, amely akár beadandó készítésére, akár számonkérésre is alkalmas. A módszer hatékonysága az ionos vegyületek képletének felírásánál bizonyítást nyert, és a többi témakörben is vizsgálható. Számos esetben vak vagy gyengén látó hallgatók számára is tapinthatóvá teheti az információt, ami látó hallgatók számára is érdekes tapasztalat lehet. Az építési útmutatók alkalmazásával a diák nem kész modellt kap, inkább neki kell felépítenie a modellt, ami előzetes tudást feltételez. Ha ezzel még nem rendelkezik, az útmutató a segítségére lehet,



8. ábra. Az elektronok beépülési sorrendje a periódusos rendszerben ábrázolva: a) króm: $[Ar] 3d^5 4s^1$; b) réz: $[Ar] 3d^{10} 4s^1$



9. ábra. Az elektronok beépülési sorrendje a periódusos rendszerben ábrázolva: a) nióbium: $[Kr] 4d^4 5s^1$; b) palládium: $[Kr] 4d^{10}$

melyből más információkhoz (tananyaghoz) is hozzájuthat, és a tanulást összekapcsolhatja az építés élményével.

IRODALOM

- [1] M. J. Greyer, J. Chem. Educ. (2017) 94(2), 202.
- [2] Exploring the Nanoworld with LEGO® Bricks: <https://chem.beloit.edu/edetc/LEGO/PDFfiles/nanobook.PDF> (2023.12.27.)
- [3] LEGO® Chrystals: <https://chem.beloit.edu/edetc/LEGO/crystal.html> (2023.12.27.)
- [4] N. J. Tro, Introductory Chemistry (4th Edition), Prentice Hall, Upper Saddle River (NJ), 2011.
- [5] K. W. Ruddick, Improving Chemical Education from High School to College Using a More Hands-on Approach (dissertation), ProQuest LCC, Ann Arbor (MI), 2012.
- [6] R. Hudson, D. Leaman, K. E. Kawamura, K. N. Esdale, S. Glaisher, A. Bishop, J. L. Katz, J. Chem. Educ. (2016) 93(4), 691.
- [7] H. J. Lin, J. Lehoang, I. Kwan, A. Baghaee, P. Prasad, S. J. Ha-Chen, T. Moss, J. D. Woods, Biochem. Mol. Biol. (2018) 46(1), 54.
- [8] S. Enthaler, J. Chem. Educ. (2017) 94(11), 1746.
- [9] D. J. Campbell, J. D. Miller, S. J. Bannon, L. M. Obermaier, J. Chem. Educ. (2011) 88(5), 602.
- [10] R. Horikoshi, The Chemical Educator (2017) 22, 191.
- [11] T. S. Kuntzleman, K. N. Rohrer, B. W. Baldwin, J. Kingsley, C. L. Schaerer, D. K. Sayers, V. B. West, J. Chem. Educ. (2013) 90(10), 1346.
- [12] S. Melaku, J. O. Schreck, K. Griffin, R. B. Dabke, J. Chem. Educ. (2016) 93(6), 1049.
- [13] LEGO® Periodic Table: <https://chem.beloit.edu/edetc/LEGO/LEGO%20PT%20final.html> (2023.12.27.)
- [14] Periodic table from Lego: <https://liviabpartay.wordpress.com/2019/10/04/periodic-table-from-lego/> (2023.12.27.)