

# FOTÓ-SZINTÉZIS

**Az Élet és Tudomány 2009/25-ös számából megtudhattuk, hogy lényegében mindenki színvak, a fekete néha fehér, látásunk torz és korlátos, és eleve minden, amit látunk, becsapás. Az emberi faj ennek ellenére egyelőre jó túlélőnek bizonyul, aminek szükséges feltétele, hogy a világban való vizuális tájékozódása kellően kifinomult és objektív legyen.**

**2. rész**

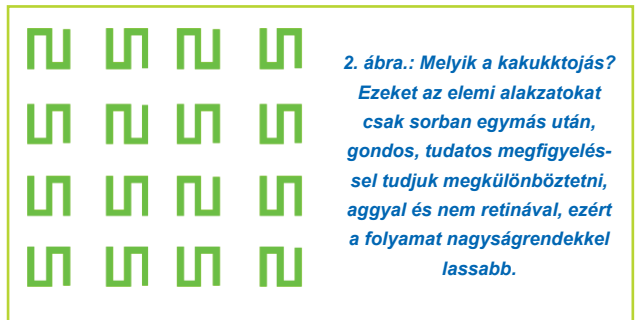
Folytassuk tovább ennek a látászolagos ellentmondásnak az elemzését a látás agyi szintű feldolgozási folyamatainak feltárással. *Optikai* illúziók helyett ezért mostantól *vizuális* csalódásokról lesz szó.

## A sok-képernyős retina színház

Agyunk egy különleges nyúlványa a szemfenéken található retina – itt kezdődik a fény hatására gerjesztett elekt-

kus leképezést a szervezet nem csak a látásnál használja – a tapintásérzékelés is ilyen módon működik, amit Arisztotelész két-orr illúziója szemléltet megdöbbentő módon: tegyük keresztbe mutató és középső ujjainkat és csukott szemmel húzogassuk a kereszttezett részt az orrunk hegyén (lehetőleg úgy, hogy a főnökiünk ne lás-son közben). Ha koncentrálunk, a kereszttezett leképezés így két orr illúzióját idézi elő kétujjni távolságban.

Alapvető tulajdonsága a neurális képi feldolgozásnak az információ nagyfokú szűrése, tömörítése. A képi bemenet felesleges 90 százalékatól a neuronjaink egyszerűen megszabadulnak, hogy ne terheljék túl az agy-procészt. Ha a figyelmiünket a látástól eltávolítjuk (azaz belebambulunk a nagyvilágba), a képi feldolgozás mértéke még ehhez képest is nagyban lecsökken – minek is fáradjunk vele. De vajon a világ is megszűnik ilyenkor?



romos jelek feldolgozása. A látvány idegi feldolgozásának alapja a bejövő kép párhuzamos csatornákra bontása. Egy bemeneti képből a retina adott tulajdonságra érzékeny sejt-rendszerei sok kis képet alkotnak úgy, hogy minden új képen csak bizonyos tulajdonságok jelennek meg, mint például a mozgás, az élek, az egyes színek stb. A retinából az agyba haladó látóideg keresztmetszete leegyszerűsítve úgy néz ki, mint egy TV-szerviz, ahol sok képernyő van egymás mellett és mindegyiken ugyanaz a film megy, de mind kicsit más-kepp. Ezt a sok elemi képernyőt – melynek pixelei idegi elektromos jelek, azaz akciós potenciálok – az agy magasabb szintű területei egyesítik majd újra össze az észlelt látványnyá.

A jelek az agyba nagyjából *topografikusan* jutnak el, azaz a közeli képpontok az agyban is közeli feldolgozó egységekbe kerülnek. A topografi-

## KISLEXIKON

**bottom-up jelfeldolgozás:** reflexszerű folyamat, melyben az alacsony szintű feldolgozó egység (például látás esetén a retina) küld utasításokat az agynak. A folyamat pontatlan, de nagyon gyors. Bottom-up módszerrel kapjuk fel a fejünket, ha hirtelen meglátunk egy szörnyet magunk mellett.

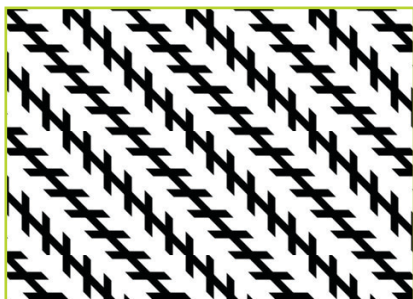
**top-down jelfeldolgozás:** tudatos, tanult, magas szintű értelmezési módja az érzékszervi bemeneteknek – ennél fogva lassú de pontos elemzést biztosít. Top-down folyamattal ismerjük fel, hogy a mellettünk megjelenő szörny mégis inkább a minket üdvözlő barátunk, aki ráadásul pisztácia fagyit is hoz nekünk.

**topografikus leképezés:** olyan leképezés, melyben az eredetileg közeli elemek a leképezés után is közelieliek maradnak. Ilyen egy nagyítólcence leképezése, és nagyjából ilyen a bőrfelületünk, illetve az aktuális látvány agyi reprezentációja is



3. ábra.: A kép szélén és közepén lévő fehér ugyanolyan színű, de a környezet az észlelést úgy módosítja, hogy a kör közepe szinte világít. A jelenség oka a laterális gátlás a színérzékelő sejtek működésében.

FORRÁS: [HTTP://WWW.RITSUMEI.AC.JP/~AKITAOKA/INDEX-E.HTML](http://www.ritsumei.ac.jp/~AKITAOKA/INDEX-E.HTML),  
A SZERZŐ ENGEDÉLYÉVEL



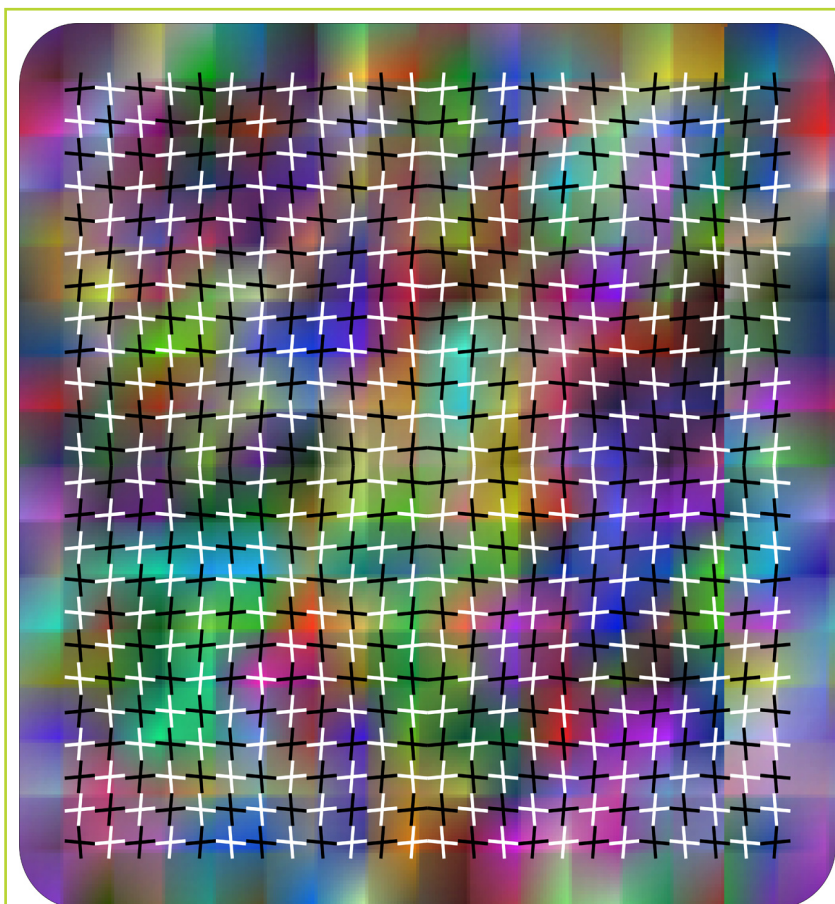
4. ábra.: Zöllner illúzió: a hosszú vonalak nem tűnnek párhuzamosnak az őket tarkító kis vonalak miatt. A képet részben magyarázza az irányselektív sejtek működésében a laterális gátlás, a teljes magyarázatról azonban máig sok vita folyik.

A retina (és a magasabb agyterületek) sejtjeinek, sejtcsoportjainak mind saját feladata van, mint a méheknek a méhkasban. Az elemi látványokért (vonalak, színek, pöttyök, mozgás) is különböző sejtek felelősek. Léteznek irányselektív sejtek, amelyek csak akkor adnak jelet, ha a látványt bizonyos irányú vonalak tarkítják, léteznek mozgásselektív sejtek, amelyek csak mozgás észlelésekor „tüzelnek”. A retina dolgozza fel ezeket az elemi különbségeket, úgynevezett *bottom-up* módon, ezért ezeket hamar észre vesszük (1. ábra).

Az általános környezetben ritkábban előforduló alakzatokhoz ellenben nem tartozik elemi retinális feldolgozás, erre specializálódott sejtcsoport, ezért ezek megfigyeléséhez az agy bevonása szükséges, ami jóval lassabb, úgynevezett *top-down* folyamat (2. ábra)

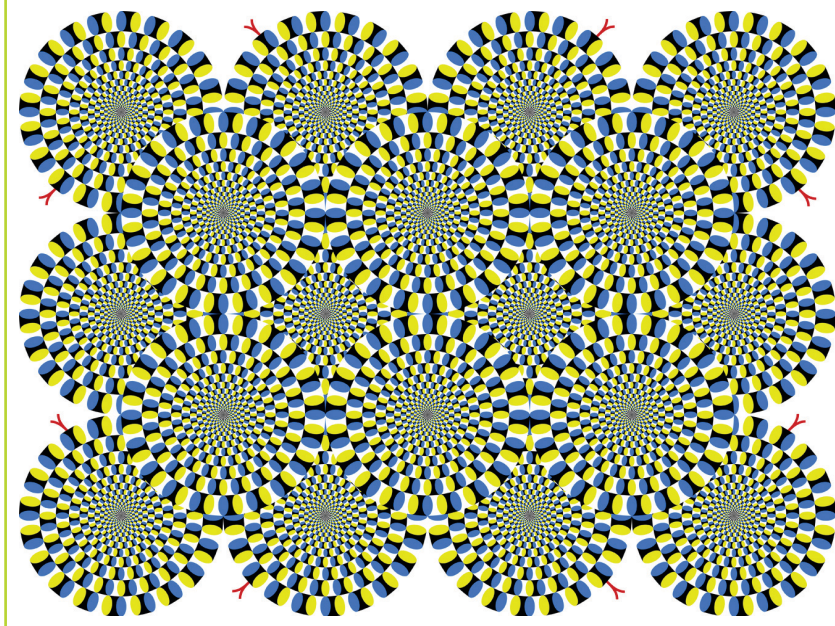
A látvány feldolgozása tanult folyamat is, a neuronok a látványtól fejlődnek. Egy kísérletben macskáknak kiskorukban csak vízszintes vonalakat mutattak, később a függőlegeseket nem tudták jól felismerni, mivel a függőleges irányhoz tartozó irányselektív sejtjeik nem fejlődtek megfelelően. Ezért fontos, hogy gyerekeink sok szép lássanak kiskorukban – összetett, változatos, természetes látványt, hogy agyuk egészségesen fejlődhessen!

A retina és az agy sejtjeinek jó részét úgynevezett *laterális gátlás* jellemzi, azaz egy neuron úgy küld jelet, hogy a környékbeli neuronok jelküldését közben gátolja kissé. Ez az elv az adott képi csatorna éleit és kontrasztjait kiemeli a háttérből. A laterális gátlás szá-



5. ábra.: Az illúziók magukért beszélnek, annak ellenére, hogy a magyarázatokra egyelőre nincs magabiztos és teljes válasz.

FORRÁS: [HTTP://WWW.RITSUMEI.AC.JP/~AKITAOKA/INDEX-E.HTML](http://www.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/index-e.html), A SZERZŐ ENGEDÉLYÉVEL



mos optikai csalódásnak alapja. A 3. ábrán azt láthatjuk, hogyan befolyásolja a színek észlelését a környezet színe. A 4. ábrán szintén a laterális gátlás hatását szemlélhet-

jük, de az irányselektív sejtek működésében.

A mozgásselektív sejtek létezéséről közlekedési rendőrként vagy sikertelen stoppolás alkalmával győ-



zódhatunk meg, ha ugyanis a látványban folyamatos egyirányú mozgás van (sok autó jön egy irányból), a sejtek ehhez adaptálódnak – a mozgás megszűnésével ellentétes irányú mozgást fogunk észlelni. Hosszú vezetési vagy kirándulási után szintén emiatt „távolodik” a táj.

Számos egyéb geometrikus optikai csalódás létezik, amiket részben magyaráz a retinális neuronok működése, a szakkádok jelensége, a laterális gátlás vagy a fókuszálási kényszer, de sok illúzió okát máig homály fedi. Az alábbi képek – annak ellenére, hogy az általuk okozott élmény igen egyértelmű – összetettebb magyarázatot igényelnek jórészt az előző elvek alapján (5. ábra) Ilyen és hasonló illúziókat a képzőművészek is szeretnek létrehozni műveiken, elég csak M. C. Escherre, Arcimboldóra vagy Rob Gonsalvesre gondolni.

### Betömött vakfolt vagy megszüntetett valóság?

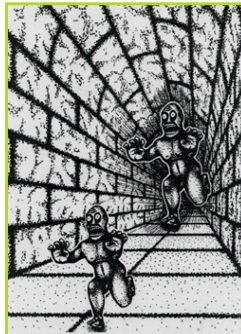
A retinához kötődő utolsó csalódástípusunk igazi „szemfényvesztés”, mely átvezet minket a látás magas szintű, kognitív folyamataihoz. Az agy ugyanis folytonos, értelmezhető világot próbál élni vetíteni, még akkor is, amikor épp fogalma sincs, hogy mi az objektív valóság. Erre utal a legtöbb közlekedési baleszt is. „Nem láttam, hogy ott van...”,

sírja a kétségbeesett tettes vagy áldozat, mert nehéz feldolgoznia, hogy valami tényleg ott volt, ahol ő nem látta.

Amit nem látunk, az nincs. A hátunk mögött lévő térről például alig veszünk tudomást. Mozgassuk az ujjainkat, és vigyük ki oldalt a látóterünkéből. Mit érzünk, amikor eltűnik? Sok embert azért ütnek el a zebrán, mert nem veszik észre lassan kialakuló látótérkiesésüket, nem alkalmazkodnak kisebb látószögű valóságukhoz. Ezek alapján elgondolkodtató a vakfolt kérdése. Ahol a látóideg kilép a szemből, a retinán van egy néhány négyzetmilliméternyi folt fényérzékeny nélkül. Az ehhez tartozó képtartományt soha nem látjuk, a bemeneten minden egyes pillanatban van egy fekete (fény nélküli) lyuk. Persze az agyunk ezt is kitölti – jobb híján a folt környezetében lévő színek átlagolásával. De hogy a vakfoltban valójában mi van, az néha észrevétlen titok marad (6. ábra).

### Agyas képfeldolgozás és képes agy-feloldozás

A retinából kilépő előfeldolgozott képi információ az agyba érve egyre



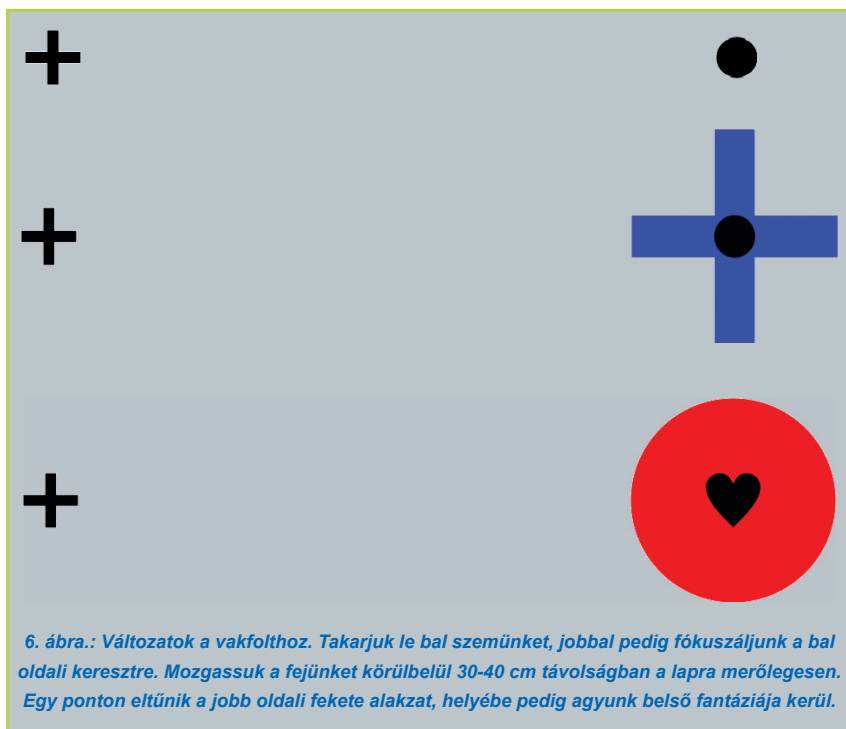
7. ábra.: A Ponzo-illúzió egy változata. Melyik szörny nagyobb a képen? Pedig ugyanakkorák. Az észlelt méretkülönbség abból adódik, hogy a háttér miatt térben helyezük el őket és az észlelt látványt megtoldjuk tapasztalatunkkal, miszerint a távolabbi tárgyak kisebbnek tűnnek.

FORRÁS: ROGER N. SHEPARD © 1990

magasabb szintű, egyre bonyolultabb neurális hálózatokba jut, útja során pedig egyre veszít topografikus jellegéből, irányultságából, feldolgozott észleléssé alakul. A vizuális kéreg különböző területei felelősek a színlátás integrációjáért, a figyelni mechanizmusok irányításáért, a sztereó látás kialakításáért, a különböző érzékszervekből jövő információk összehangolásáért, az objektumfelismerésért, mozgásintegrációért, a látvány mozgásfüggetlenítéséért stb. Az agy ellenünk elkövetett trükkjei közül talán a legijesztőbb annak a kérdésnek az elemzése, hogy egy adott pillanatban a múltat, a jelent vagy a jövőt látjuk? A szembe jutó fény és az észlelt belső kép megjelenése között ugyanis eltelik némi idő (körülbelül egy tized másodperc). Ha az agy az aktuális bemenetet vetítené élni, mindig késeve látnánk a valóságot. Mivel tapasztalataink alapján a jelent látjuk, azt kell feltételeznünk, hogy az agy a bemenet-höz képest mindig egy megjósolt jövőt mutat az addigi „tanulmányai” alapján. A valóság objektív észlelése ennél fogva teljes mértékben és minden pillanatban esetlegessé válik.

A látás végletes szubjektivitásának egy másik bizonyítéka a figyelem irányíthatósága. Figyelmi mechanizmusunk révén ugyanis csak azt látjuk igazán, amit akarunk, és csak annyira, amennyire épp szükségünk van rá. Ha kulcsot keresünk a fiókban, nem tudjuk felidézni, hogy milyen színű ceruzák voltak mellette, ha ceruzát keresünk, a kulcsot észre sem vesszük. Emellett rögtön felismerünk egy ötforintost, de vajon meg tudjuk-e mondani kapásból, hogy melyik lábán támaszkodik rajta a kócsag?

Agyunk egyik figyelemreméltó képessége a háromdimenziós, perspektivikus látás. „Természetes”, hogy a vilá-



6. ábra.: Változatok a vakfolthoz. Takarjuk le bal szemünket, jobbal pedig fókuszáljunk a bal oldali keresztre. Mozgassuk a fejünket körülbelül 30-40 cm távolságban a lapra merőlegesen. Egy ponton eltűnik a jobb oldali fekete alakzat, helyébe pedig agyunk belső fantáziája kerül.

got két szemünk segítségével 3D-ben látjuk, de még egy sík papírlapot is képesek vagyunk mélységgel el látni, 3D-be képezni. Ez azonban nem mindig volt így. Régi festményeken nincs perspektivikus ábrázolás, a zulu pedig kutatások szerint kevésbé látnak néhány olyan optikai csalódást, ami perspektívához, szabályos négyzetekhez, alakzatokhoz kötődik, mivel mindennapi életük mentesebb az ilyen objektumoktól, látásuk erre nem specializálódott. A perspektivikus



**10. ábra.: Az arcfelismerés nagyon kifinomult, automatikusan mesteri szintű. Nézzük meg jól az alábbi két képet. Milyen különbségeket látunk közöttük? Most fordítsuk az újságot fejfelé. Ugyanazt látjuk? Vigyázat, ijesztő!**

den esetben értelmezhetőnek gondolja. Ebből a jóhiszeműségből adódik, hogy sok esetben azt is értelmezi, aminek semmi értelme sincs. Ezt a szüntelen kategorizációs kényszerrel használja ki a 9. ábrán látható kép.

Az objektumfelismerésnek egy fontos válfaja az emberi arcok észlelése, hiszen ez erősen része mindennapjainknak. Emberi arcfelismerésben igazi profik vagyunk. Két csíkosfejű nádi-pozsáta között az átlagember nehezen tud különbséget tenni. Ennél könnyebb, de még mindig nehéz feladat például az Európában élőknél a távol-keleti



**8. ábra.: Az A-val és B-vel jelölt négyzetek ugyanolyan színűek, de A-t sötétebbnek képzeljük a valóban látottnál, mert erős fény esik rá, B-t világosabbnak, mert árnyékban van. A tapasztalat jóhiszeműen, de drasztikus módon torzítja a valóságot, miközben mi erről mit sem sejtünk.**

FORRÁS: EDWARD H. ADELSON

látás tapasztalati úton fejlődik, automatikus előtanulmányainkhoz pedig ragaszkodunk – a 7. ábrán is inkább súlyosan becsapjuk magunkat tudásunk miatt.

A látvány értelmezésének alapja az objektumfelismerés. A bejövő kép tárgyait agyunk a múlt tapasztalatai alapján automatikusan kategorizálja, jellemzőkkel látja el, szint, méretet ad nekik, elhelyezi a térben, érzelmeket szór köréjük, és csak ezután vetíti elénk, hogy azt hihessük, akkor és úgy láttuk meg. A már ismert tárgyakat jobban látjuk, az ismeretleneket szisztematikusan vizsgálgatjuk, hogy minél hamarabb kategorizálhassuk. Ezt bitojzína ez a modor is, alyebenn a beűt uagyn keevrve vnaank, mgiés knyően ovlsasuk, mret szaavénknt ét rmelzzeük a szgveöt és aozn bleül sztine mdiengy, mi van.

Az objektumfelismerésnek egy érdekes kategóriája a fény-árnyék viszonyokhoz kötődik. Életünk során a fény mindig fölülről jön, onnan süt a nap és a lámpáink is onnan világítanak. Emellett megtanultuk, hogy derült napfényben a tárgyak élénkebbnek tűnnek, míg árnyékban vesztenek színeikből. A 8. ábrán látható csalódás ezekre az automatizálódott előtanulmányokra alapoz, és magas szintű tanult tudás alapján módosítja gyökeresen a látás érzetét.

Az ember látókérge „optimista”, hiszen a külső világot min-

arcok felismerése, saját környezetünkben pedig emberek ezreinek vagyunk képesek nem csak a személyét, de hangulatuk legkisebb rezdüléseit is megkülönböztetni. E magas prioritás következtében a nonfiguratív ábrákban is arcokat látunk, a 10. ábra képpárján pedig azt figyelhetjük meg, hogy mennyivel hatékonyabb az arcfelismerés, mint a fejen álló arcok felismerése. Az objektumfelismerésen alapuló optikai csalódások között az utolsó jellegzetes irányt a kétértelmű ábrák képezik. Festők és grafikusok tucatjai használták ki azt a ténytet, hogy az agy kategorizál, egyszerre csak egyféleképpen értelmez, a képen tényleg csak azt látja, amihez épp kedve van.

Cikkünkben megtanultuk, hogy agyunkkal valójában mindent annak látunk, aminek éppen akarjuk. A látás tehát ugyan a világ objektív és hatékony leképezésére jött létre, az észlelt látvány mégis szinte csak abszurd módon szubjektív lehet. Ennek a két elvnek egyszerre engedelmeskedünk, az arányokat pedig akár tudatosan is állíthatjuk. Látásunk ugyanúgy fejleszthető, mint hallásunk, a mindennapi látvány élvezeti értéke ezáltal elképesztő mértékben nőhet. Az érzékszerveinkre koncentrálni fantasztikus élmény, mertőlünk el a részletekben, éljük néha csak a látványnak, ugyanúgy, mint máskor csak a zenének, és boldogabb, élményekben gazdagabb emberek leszünk.

VÁSÁRHELYI GÁBOR



**9. ábra.: Az értelmezési kényszer nagy úr! Melyik dobókocka van legfelül?**

FORRÁS: [HTTP://WWW.123OPTICALILLUSIONS.COM/](http://www.123OPTICALILLUSIONS.COM/)