

Stanislas Dehaene: *A rugalmas agy. Miért tanulunk hatékonyabban, mint a gépek?* Typotex, 2022, Test és lélek sorozat; ISBN: 9789634931867

„Kezdjétek tanítványaitok alaposabb tanulmányozásán; mert egész bizonyos, hogy nem ismeritek őket eléggé...” – Jean-Jaques Rousseau: *Emil vagy a nevelésről* (1762)

„Furcsa és szinte meghökkentő dolog, hogy ismerjük az emberi test minden zugát, katalogizáltuk a bolygó összes állatát, leírtuk és elkereszteltük az összes fűszálat, ugyanakkor a pszichológiai technikákat évszázadok óta meghagytuk a maguk empirizmusában, mintha kisebb jelentőségűek lennének a kuruzslók, az állattenyésztők vagy a földművesek technikáinál” – Jean Piaget: *La pédagogie moderne* (Modern pedagógia, 1949)

– a könyv két mottója.

Agyunk a laikus számára felfoghatatlanul bonyolult és sűrű rendszer. A tudomány állása szerint nagyjából 86 milliárd idegsejtet tartalmaz, és – Dehaene szavait idézve – ezek között „ezerbillió összeköttetést.” Méretét tekintve nyilvánvaló, milyen óriási e rendszer elemeinek sűrűsége, ami a számuk nagyságán messze túl is nehezíti a vizsgálatát. Az agy működésének – egyebek közt a tanulás agyi folyamatainak – modern kutatása a tudomány egyik legnehezebb és legfontosabb területe.

Kezdjük ezúttal a remek, mindig megbízható tudományos és magasszintű ismeretterjesztő könyvek kiadója, a *Typotex ajánlójával*: „Az elmúlt harminc évben jelentős előrelépés történt az agy rugalmasságának és a tanulás alapjainak megértésében. Agyunk születésünktől fogva olyan tehetséggel rendelkezik, amelyet még a legjobb mesterségesintelligencia-szoftver sem képes utánozni: ez a tanulás hatékonysága. (Óvatosan! A materializmus keretei között semmi sem szól az ellen, hogy a technológiák fejlődésével a mesterséges intelligencia utóléri, s túl is szárnyalhatja az agy képességeit. Erre még visszatérünk, és a könyv angol nyelvű kiadásának címe végén ott is szerepel: ‘...Jelenleg’ – Osman P.) A csecsemők gyorsabban és mélyebben tanulnak, mint a mai legerősebb gépek. Ez a figyelemre méltó képesség pedig tovább fokozható az iskoláztatással. Az oktatás megsokszorozza agyunk amúgy is jelentős képességeit – de lehet-e javítani rajta? *Stanislas Dehaene francia agykutató, kognitív pszichológus segít megértenünk azokat a szabályokat, amelyek alapján agyunk memorizál és megért, vagy éppen ellenkezőleg, felejt és téveszt.* Multidiszciplináris nézőpontból – felhasználva a kognitív tudományokból és a neurobiológiából, valamint a mesterséges intelligencia és az oktatás kutatásából eredő adatokat – mutatja be gyerekek és felnőttek tanulási folyamatait. E könyv segítségével beható ismereteket szerezhetünk (intuitív) tanulási folyamatainkról, hogy agyunk lehetőségeit és saját kognitív működésünket alaposabban megismerjük és kihasználjuk.” (Kiemelések a recenzió szerzőjétől.)

Eredeti francia címe pontosabban adja vissza a mondandót: Tanulni! Az agy képességei kihívás elé állítják a gépeket. Az angol kiadás címe: Hogyan tanulunk: miért tanulnak az agyak jobban, mint bármilyen gép..... jelenleg.

Tanulni pedig a legjobbaktól, tehát „íme bizonyság...” az alábbiakban:

*A Tudományok Pápai Akadémiája* (The Pontifical Academy of Sciences, Vatican City): Dehaenet igen alapos, 300 szónál nagyobb ismertetéssel mutatja be: (az akadémia gyökerei, a honlapján olvashatók szerint, „1603-ban alapított Accademia dei Lincei-hez nyúlnak vissza, amely a világ legelső kizárólag tudományos akadémiája volt.”)

*Prof. Stanislas Dehaene*, kinevezés 2008. június 9., szakterülete kísérleti kognitív pszichológia, címe professzor. Az ismertetés felettébb impozáns, hosszú felsorolást ad a különböző országokból kapott magas díjaiból, kitüntetéseiből és akadémiai tagságaiból, amelyek így igencsak nagy tudományos megbecsülést tanúsítanak. Ezt követi tudományos kutatási tevékenységének, eredményeinek és felfedezéseinek hasonlóképp impozáns, hosszú összegzése, amelyben természetesen megjelenik a legmodernebb vizsgálati technológiák alkalmazása. Innen egyetlen részt emelünk ki: „2005 szeptemberében a párizsi Collège de France (alapította 1530-ban I. Ferenc király) újonnan létrehozott Kísérleti Kognitív Pszichológia Intézetének vezetőjévé nevezték ki egyetemi tanári rangban. Kutatási területe a specifikus kognitív funkciók – beszéd, számolás, érvelés – agyi alapjainak vizsgálata, a legmodernebb eszközök és módszerek széles körével.” (<https://www.pas.va/en/academicians/ordinary/dehaene.html>)

*The Royal Society:*

*Bemutakozása:* „Kezdeteink természettudósok és orvosok 1660-as 'láthatatlan kollégiumában' vannak. Ma mi vagyunk az Egyesült Királyság természettudományos akadémiája, és a világ legkiemelkedőbb tudósai közül mintegy 1600-nak a közössége. A legrégebbi folyamatosan fennálló tudományos akadémia. Alapvető célunk, ahogyan azt az 1660-as alapokmányunk rögzíti, felismerni, elősegíteni és támogatni a kiválóságot a tudományban, és bátorítani a tudomány fejlesztését és hasznosítását az emberiség javára.”

*Professor Stanislas Dehaene, Foreign Member Elected: 2023* – A bemutatás Dehaene már fent említett Collège de France pozíciója mellett elmondja, hogy ő az igazgatója „Franciaország élenjáró, agyi képalkotással foglalkozó kutatóközpontjának, a NeuroSpin-nek”. Kutatói tevékenységének itteni összegzéséből: „Kutatásaiban magatartási és agyi képalkotó technikákat alkalmaz annak vizsgálatára, miként szerez az agy új képességeket a nyelv és a tanulás révén. Arra összpontosítva, hogyan tanulunk meg szavakat és számokat olvasni, az agyi folyamatok egy szabatos elméletét javasolta a tudatos feldolgozásra. Összehasonlítva a felnőtt emberek, gyerekek, valamint a nem ember főemlősök képességeit, továbbá összevetve az írni-olvasni tudókat az analfabétákkal, kutatásai arra irányulnak, hogy elkülönítse az evolúciós léptékben ősi kognitív számolást a jelenlegi, elképzelhetően emberspecifikustól. 2018-ban elnöke lett az újonnan létrehozott Francia Tudományos Oktatási és Nevelési Központnak, amely a kormányzat tanácsadója a tanulás és tanítás tudományos megközelítéseinek.

Számos könyv szerzője, amelyeket több mint 15 nyelvre fordítottak le. (<https://royalsociety.org/people/stanislas-dehaene-36217/>)

*National Academy of Sciences (USA):*

„*Stanislas Dehaene*: Psychological and Cognitive Sciences, Membership Type: International Member (elected 2010)

Kutatási területe bemutatásából: „Specifikusan emberi kognitív funkciók agyi alapjait vizsgálja. Kutatócsapata számos kísérleti módszert alkalmaz, köztük agyi időérzékelést egészséges embereknél, agyilag sérült páciensek kognitív elemzéseit a legmodernebb agyi képalkotó technikákkal. Kisebb neurális hálózatok formális modelljeinek alkotásával és szimulálásával igyekeznek kapcsolatokat kimutatni a molekuláris, fiziológiai, képalkotási és magatartási adatok között.” (<https://www.nasonline.org/member-directory/members/20022445.html>)

A *Goodreads* idézettel indít a *The New York Times Book Review*-ből: „Vannak szavak, amelyek olyannyira ismerősek, hogy inkább elfedik, mintsem megvilágítják a dolgot, amelyet jelentenek, és ilyen a 'tanulás' is. Olyan hétköznapiak tűnik, mindenki teszi. Valójában mégis inkább *egy fekete doboz, amelyet Dehaene* tör fel nekünk, hogy megmutassa a benne rejtőző *csodás titkokat. Ez egy megvilágító erejű merülés* agyunk kimagasló tanulási képessége kutatásának legújabb eredményeibe, s a gépekben rejlő lehetőségekbe, amelyeket arra programozunk, hogy utánozzák ezeket. Az emberi agy egy rendkívüli tanuló gép. Egyedülálló a képessége, hogy átprogramozza magát, és mindezzel az ösztönzés legjobb forrása a jelenlegi MI-fejlesztés számára. De mindezt miként teszi, melyek tanulási képességeink velünk született biológiai alapjai, s milyen elvek alakítják azok hatékonyságát? *E könyvben Dehaene a számítástechnika-tudomány, a neurobiológia és a kognitív pszichológia mai tudásának határaiig megy*, hogy megmagyarázza, valójában miként működik a tanulás, és hogyan használjuk fel a legjobban az agy tanulási algoritmusait az iskoláinkban és az egyetemeken, szintúgy a mindennapi életben, és minden életkorban.”

A *Publishers Weekly ajánlójából*: „Dehaene ezt a tanulmányát a tanulás tudományának szenteli. Első fele nagyjából az agy fiziológiájával foglalkozik, érintve, egyebek közt, hogy *miként tudja a tanulás fizikailag megváltoztatni az agyat*, mint pl. az agykéreg megvastagodása. Rámutat, hogy 'még a baba is kódolja a külső világot, absztrakt és szisztematikus szabályokat alkalmazva – egy képesség, amely megkerüli a hagyományos mesterséges neurális hálózatokat'. Második fele, amely kevésbé technikai, és jóval közérthetőbb, a tanulás 'négy pillérét' vizsgálja. Felhossa, miként tudja segíteni az élvezet a tanulást – Dehaene megjegyzi, hogy a nevetés fokozni látszik a kíváncsiságot és az emlékezést. Miközben a terület további kutatására hív, megteszi a potenciálisan leginkább ellentmondásos állítását, legalább is a neurodiverzitás szószólói számára: 'Mindannyian ugyanazokkal az akadályokkal szembesülünk a tanulás során, és ugyanazok a tanítási módszerek tudnak átsegíteni rajtuk.' A könyv olykor nem oly nagyon könnyen érthető, ám ezzel együtt is tanulságokban gazdag

az oktatóknak, szülőknak, és mindenkinek, akit érdekel, miként lehet a leghatékonyabban támogatni a tudás megszerzésének törekvését.”

*Jöjjön tehát maga a könyv!*

*Expozíció:* „Számos idegtudós empirista: a felvilágosodásra nagy hatást gyakorló angol filozófussal, John Locke-kal együtt úgy vélik, hogy az agy a környezetéből nyeri tudását. Szerintük az agykérgi áramkörök legfőbb tulajdonsága plaszticitásuk, alkalmazkodóképességük. Valóban, az idegsejtek folyamatosan módosítják szinapszisaikat a kapott bemenetek függvényében. De akkor Felipének, aki meg van fosztva a látás és a mozgás révén beérkező információktól, gyökeresen más lénynek kellene lennie.” – Felipe Dehaene bevezető példája: kisfiú, akinek mind a négy végtagja csaknem teljesen lebénult, teljesen megvakult, ám szellemileg bámulatosan ép, aktív. Kórházi ágyán történeteket alkot, amelyek „hősökről és hősnőkről, hegyekről és tavakról szólnak, amelyeket soha nem fog látni, de amelyekről éppúgy álmodik, mint bármely kisfiú. Milyen csoda folytán alakultak ki nála kifejezetten normális kognitív képességek?

Felipe esete egyáltalán nem elszigetelt: széles körben ismert Helen Keller vagy Marie Heurtin története, akik siketvakok voltak, de megtanulták a jelnyelvet, majd társadalmi életet élő felnőtté váltak. A könyv lapjain további embereket is bemutatok, akiknek az esete reményeim szerint megkérdőjelezi az olvasó tanulással kapcsolatos esetleges előítéleteit. Emmanuel Giroux például 11 éves kora óta vak, de kiváló matematikus, aki szerint ’mindazt, ami a geometriában alapvető, csak a szellem látja jól, a szemnek láthatatlan’. Hogyan tud eligazodni az algebrai geometriában, síkokkal, gömbökkel és sokszögekkel foglalatzkodni anélkül, hogy valaha is látná őket? *Kiderül majd, hogy ugyanazokat az agyi áramköröket használja, mint más matematikusok, de látókérgét, amely korántsem inaktív, szintén újrahasznosította a matematika műveléséhez.*

Bemutatom majd Nicót is, a fiatal festőt, aki a párizsi Marmottan Múzeumban tett egyetlen látogatása során kiváló másolatot készített Monet híres festményéről, A felkelő nap impressziójáról. Mi ebben a kivételes? Semmi, hacsak nem az, hogy Nicónak egyetlen agyféltekéje van, a bal – hároméves korában szinte a teljes jobb féltekéjét eltávolították! Nico agya azonban alkalmazkodott ehhez a helyzethez, így összes képessége a megmaradt bal féltekébe került, kezdve a beszédétől az íráson, olvasáson, rajzoláson, festésen és informatikán át a vívásig, amelyben a nemzetközi kerekesszékes versenyek egyik bajnoka. *Felejtünk el mindent, amit a két félteke szerepéről tudni vélünk*, mert Nico esete azt bizonyítja, hogy a jobb félteke segítsége nélkül is lehet valaki művész: az agyi plaszticitás csodákra képes! (L. Norman Doidge: *Hogyan gyógyul az agy? Figyelemre méltó felfedezések és gyógyulások a neuroplaszticitás világából*. Park Kiadó, 2016 – Iparjogvédelmi és Szerzői Jogi Szemle 2017. /1. sz.; Norman Doidge: *A változó agy – Elképesztő történetek az agy kutatás élvonalából*. Park Könyvkiadó, 2011 – Iparjogvédelmi és Szerzői Jogi Szemle 2011./3. sz. – Osman P.)

Meglátogatjuk a baljós emlékezetű bukaresti árvaházakat is, ahol a gyermekek születésüktől kezdve szinte teljesen elhagyatva éltek – mégis néhányan, akiket egy- vagy két éves koruk előtt örökbe fogadtak, évekkal később csaknem normális iskolai pályát futottak be.

*Mindezek a példák az emberi agy rendkívüli ellenálló képességét szemléltetik: a tanulás szikráját még olyan súlyos traumák sem tudják kioltani, mint a vakság, az egyik agyfélteke elvesztése vagy a társadalmi elszigeteltség. Nyelv, olvasás, matematika, művészi alkotás: az emberi faj összes kivételes képessége, amellyel egyetlen más főemlős sem rendelkezik (erős kérdés, mit is jelent e tekintetben a nyelv, hiszen ismeretes, hogy számos faj képes valamilyen kommunikációra, egyesek igen fejlettre is – Osman P.) ellenáll az egyik agyfélteke, a látás vagy a mozgásképesség elvesztésének. Egyszóval a tanulás létfontosságú elv – az emberi agynak pedig óriási a rugalmassága, képes megváltoztatni magát és alkalmazkodni. Ugyanakkor felfedezünk majd drámai ellenpéldákat is, ahol a tanulási képesség, úgy tűnik, kihunyt. Vegyük a tiszta alexiát, azt, hogy valaki képtelen egyetlen szót is elolvasni. Személyesen vizsgáltam meg több felnőttet, valaha kiváló olvasókat, akik egy apró, az agy nagyon kis területére korlátozódó stroke miatt még olyan egyszerű szavakat sem tudtak kibetűzni, mint például a 'te' vagy a 'tó'. Emlékszem egy ragyogóan okos, három nyelven beszélő hölgyre, aki azon kesergett, hogy agysérülése óta kétévnyi erőfeszítést követően sem tudta meghaladni a kezdő első osztályosok olvasási szintjét, amely betűről betűre botladozik, és elakad minden szónál. Miért nem tudott tanulni többé? És miért mutatják bizonyos diszlexiás, diszkalkuliás vagy diszpraxiás gyermekek ugyanezt a vakságot az olvasás, a számolás vagy a mozdulatok terén?*

*Az agyi plaszticitás szeszélyesnek tűnik: néha óriási hiányosságokat küzd le, néha viszont sorsára hagy motivált, intelligens, de bizonyos, tartósnak tűnő hiányosságokkal sújtott gyermekeket és felnőtteket. Talán speciális agyi áramköröktől függ? Vajon felnőttkorban bezárulnak? Meg lehet-e újra nyitni őket? Milyen szabályok irányítják? Hogyan lehet a gyermek agya születésétől kezdve egész fiatalsága alatt ennyire hatékony? Milyen algoritmusokat ültetett az evolúció agyi áramköreinkbe, hogy azok le tudják képezni a külvilágot? Megértésük lehetővé tenné-e, hogy jobban és gyorsabban tanuljunk? Vajon ihletet meríthetünk-e belőlük arra, hogy hatékonyabbá tegyük a gépeket, a mesterséges intelligenciát, amely végső soron minket fog utánozni vagy akár felül is múl? Többek között ilyen kérdésekre kísérel meg választ adni ez a könyv multidiszciplináris nézőpontból, a kognitív tudomány és az idegtudomány felfedezéseire támaszkodva, valamint a mesterségesintelligencia- és az oktatáskutatás adatainak felhasználásával.” – Szédületes belegondolni, milyen fejlődést hozhat majd az agykutatásban, ha a várhatóan exponenciálisan fejlődő és bővülő képességekkel bíró MI elsajátítja és továbbviszi a kognitív és az idegtudományok eredményeit, és ezt egyesíti az agy leképezésére és modellezésére szolgáló képességeivel – különösen, ha számításba vesszük azt is, hogy a MI-k a mindenek internete útján történő együttműködésekkel gyakorlatilag korlátlanul tudják majd bővíteni az így összegezhető adatbázisaikat, tudásukat, képességeiket és kapacitásaikat.*

### *Miért létezik tanulás?*

„Miért kell tanulnunk? *A tanulási készség pusztá léte is kérdéseket vet fel.* Nem lenne jobb, ha gyermekeink az első naptól kezdve tudnák, hogyan kell beszélni és gondolkodni, mint Pallasz Athénéé, aki a legenda szerint fegyverrel és sisakban, csatakiáltással ugrott elő Zeusz fejéből? Miért nem születünk előre huzalozottan, programozott szoftverrel és a túléléshez szükséges összes tudással? Az életért folytatott darwini küzdelemben vajon nem egy éretten született, másoknál többet tudó élőlény volna a nyertes? Miért találta fel az evolúció a tanulást?

Válaszom egyszerű: *az agy teljes előhuzalozása nem lehetséges és nem is kívánatos.* De tényleg lehetetlen? Igen, mert ha a DNS-nek meg kellene határozni tudásunk minden részletét, akkor egyszerűen nem lenne meg hozzá a szükséges tárolási kapacitása. (Ennek részletes, alapos matematikai bizonyítása következik – Osman P.)

Ez az egyszerű számításra épülő érv azonban nem elég annak megmagyarázására, hogy *a tanulás miért általánosan elterjedt az állatvilágban.* Tekintsünk olyan egyszerű, agykéreg nélküli szervezeteket, mint a földigiliszták, a gyümölcslegyek vagy a tengeri uborkák: nem egy viselkedésük még nekik is tanult. A C. elegans nevű kis féreg – más néven fonálféreg – rövid idő alatt a laboratóriumok sztárjává vált. Ez a szervezet hihetetlen mértékben előrehuzalozott: a legtöbb egyed pontosan 959 sejtet tartalmaz, köztük 302 idegsejtet, amelyek valamennyi összeköttetése ismert és reprodukálható. De még ez a faj is tanul.” Erre is elegáns és alapos magyarázat következik, amelynek helytálló volta könnyen belátható. A kulcsmondat belőle: „A tanulás nem más, mint az evolúció találmánya.” Hogy ez miként valósul meg, nagyon érdekes és tanulságos. A dolog veleje: „A természetes szelekció, e Darwin által leírt algoritmus révén alkalmazkodnak az egyes szervezetek az ökológiai fülkékükhöz, de ezt kínos lassúsággal teszik: nem alkalmazkodó egyedek nemzedékeinek kell kihalniuk, mígnem a kedvező mutáció elkezdi növelni a túlélési esélyeket. *A tanulási képesség sokkal gyorsabban működik:* néhány perc alatt megváltoztathatja a viselkedést. És ez teszi a tanulást annyira érdekessé: általa a lehető leghamarabb lehet alkalmazkodni a kiszámíthatatlan körülményekhez. (Pontosan ezért van, hogy öntanuló, önfejlesztő MI-kről beszélünk: azok is ugyanígy tanulásal fejlesztik a képességeiket, alkalmazkodnak, fejlődnek – Osman P.)

*Gondolkodásunk kompromisszum eredménye:* sok a velünk született elem (az összes nagy intuitív kategória, amellyel a világot képekre, hangokra, mozgásokra, tárgyakra, állatokra, emberekre, okokra és okozatokra osztjuk fel), de mégis több a tanult, amely ezeket a korai képességeket finomítja.”

„*Az emberi faj specialitásává vált a tanulás.* Agyunkban paraméterek milliárdjai alkalmazkodhatnak szabadon környezetünkhöz, nyelvünkhöz, kultúránkhöz, rokonainkhoz, ételeinkhez stb. *Az evolúció pontosan meghatározta, hogy agyunkban mely agyi áramkörök vannak előre huzalozva, és melyek nyitottak a környezetre.* Fajunk esetében a tanulás részeseése különösen nagy, mert gyermekkorunk hosszú évekre kitolódott. A nyelv és a matematika segítségével hipotéziseink tere potenciálisan végtelen kombinációvá sokszorozó-

dik – még akkor is, ha ezek mind evolúciónk során örökölt rögzített, változatlan alapokon nyugszanak.

*Homo docens*: Ha egyetlen szóval kellene összefoglalnom fajunk különleges tehetségét, a 'tanulás' főnevet választanám. Nem egyszerűen Homo sapiensek vagyunk, hanem Homo docensek, mert amit a világról általában tudunk, annak nagy része nem adott a számunkra: a környezetünkől vagy a körülöttünk lévő személyektől tanultuk meg. Egyetlen állatfaj sem tudta hozzánk hasonlóan felfedezni a természet világának titkait. A tűzgyújtástól és az eszközök készítésétől kezdve a mezőgazdaság, a hajózás feltalálásán át az atommaghasadás előidézéséig az emberiség története állandó felfedezés. Mindezeknek a diadaloknak a forrása egyetlen titok: *agyunk rendkívüli képessége révén képesek vagyunk hipotéziseket megfogalmazni és kiválasztani közülük azokat, amelyeket a környezetünkről alkotott szilárd tudássá alakítunk.*"

Az előző fejtegetéseket olvasva az ember fejében ott motoszkál, milyen sokrétű jelentéssel bír a „tanulás”, milyen sokféle minőségét foglalja magában így a tanulás fogalma, a legegyszerűbb állatfajoktól a kimagasló tudósokig. Hosszú út áll előttünk, hogy Dehaene végigvezessen könyve mondandóján, s az első rész tárgya épp ez: Mi a tanulás? Két alapvető dichotómiát az ember és a többi élőlény között e tekintetben már látunk. Egyiküket most írta le: képesek vagyunk hipotéziseket megfogalmazni és közülük a megfelelő módon kiválasztottakat tudássá szilárdítani. A másik a tudatos cselekvés mind a tanulásban, mind a tudás átadásában, magyarán a tanításban. Természetesen igen sok faj egyedei tanítják a kölykeiket, de az sokkal inkább beépített program, nem pedig a célt szem előtt tartó tudatos cselekvés. Más, szintűgy nagyon izgalmas kérdés, hogy miként lehet kódolva a tanítás programja ezeknek az állatoknak az operációs rendszerébe.

*Tanuljunk tanulni!* Akár tragikusnak is mondható, és nagyon igaz a helyzetkép, amellyel ez a rész indul: „Az oktatás megsokszorozza agyunk amúgy is jelentős képességeit – de lehetne-e javítani rajtuk? Az iskolában, az egyetemen és a munkahelyen, egyre gyorsabb alkalmazkodásra kényszerítve, agyunk tanulási algoritmusaival zsonglörködünk. *Csakhogya ezt intuitív módon tesszük, anélkül, hogy valaha is megtanultuk volna, hogyan kell tanulni! Senki sem magyarázta el nekünk azokat a szabályokat, amelyek alapján agyunk az emlékezetbe vés és megért dolgokat, vagy éppen ellenkezőleg, felejt és téveszt.* (Vannak persze régóta ismert technikák a tanultak megjegyzésére és felidézésére, ám vajon túlzás-e azokat többnyire barkácsszintűnek nevezni? S igazából mennyi szilárd ismeretünk van arról, miként működtethetnénk jobban ezeket az agyi mechanizmusainkat? Dehaene ígéretes állítással folytatja – Osman P.) Az elmúlt harminc évben jelentős előrelépés történt az agy plaszticitásának és a tanulás alapjainak megértése terén. A memória működése, a figyelem szerepe, az alvás fontossága megannyi felfedezés, amelyek mindannyiunkra nézve számos következményt vonnak maguk után. A könyv végére érve remélem, hogy sokkal többet tud majd az olvasó saját tanulási folyamatairól.”

„A gépek kihívása: Az emberi intelligencia ma új kihívással szembesül: immár nem az egyetlen, ami tanulni képes. Az algoritmusok minden tudásterületen kihívást jelentenek fajunk számára, mert elsajátítják – néha még nálunk is jobban – az arcok vagy hangok felismerését, a beszéd átírását, az idegen nyelvek fordítását, a gépek vezérlését, sőt még a sakkot vagy a go játékot is. Ma a machine learning (gépi tanulás) több milliárd dolláros iparággá vált, amelyet egyre inkább az agyunk működése inspirál.

Hogyan működnek ezek a mesterségesintelligencia-algoritmusok? Segítenek-e nekünk az alapelveik megérteni, mi a tanulás? Sikerül-e már utánozniuk agyműködésünket, vagy még mindig sokat kell tanulniuk? Ebben a könyvben teljes fejezetet szentelek ezeknek a kérdéseknek. Noha a számítógép-tudomány jelenlegi fejlődése lenyűgöző, határai világosak.” Ez, finoman szólva mehökkentő kijelentésnek tűnik. Vajon nem rokon-e a fizika tudománytörténetének híres epizódjával? „Ebben a tudományágban már szinte mindent felfedeztek, és már csak néhány jelentéktelen lyukat kell betömni!” – 1867-ben az érettségi előtt álló Max Planck fizikaprofesszora, Philip von Jolly ezzel a megjegyzéssel hűtötte az elméleti fizika iránti érdeklődését – abban az időben sok fizikus gondolta így. ([http://mesterandras.hu/wp-content/uploads/2020/03/Modern\\_fizika\\_szuletese2020\\_03\\_17.pdf](http://mesterandras.hu/wp-content/uploads/2020/03/Modern_fizika_szuletese2020_03_17.pdf)) Tudjuk, mi jött a „jelentéktelen lyukak” helyett. Dehaene természetesen részletes magyarázattal indokolja e nézetét.

*Könyve tartalmát a tanulásról így összegzi:*

„Matematikai tétel bizonyítja: csak a valószínűségek, azaz a tanultakkal kapcsolatos bizonytalanságokra építő műveletek manipulálása teszi lehetővé, hogy minden információból a lehető legtöbbet nyerjük ki. Úgy tűnik, agyunk felfedezte azt a trükköt, hogy folyamatosan nyomon követi az egyes információkkal kapcsolatos bizonytalanságokat, és azokat minden egyes tanulás során frissíti. Ezt nevezik *a statisztikus agy elméletének: a valószínűségek manipulálása révén optimalizálja agyunk a tanulási képességét*. E hipotézist számos kísérleti adat is alátámasztja. Még a csecsemők is megértik a valószínűségeket, amelyek mélyen be vannak vésődve agyi áramköreinkbe. Úgy tűnik, hogy minden gyerek tudóspalántaként viselkedik, mindezt anélkül, hogy tudná, agya hipotéziseket fogalmaz meg, valódi tudományos elméleteket, amelyeket minden újabb tapasztalatával tesztl. A valószínűségekkel kapcsolatos okoskodás szintén nem tudatos, de mélyen beépült a tanulás logikájába, és lehetővé teszi a hamis hipotézisek fokozatos elvetését, azt, hogy csak a működő elméletek őrződjenek meg. Ma a bayesinek nevezett új algoritmusok kezdik formalizálni és megvalósítani a tanulás ezen új elképzelését. *Fogadni mernék arra, hogy ezek az algoritmusok forradalmasítják a machine learninget, hisz lassan már a tudósokhoz mérhető hatékonysággal képesek absztrakt információk kinyerésére.*

Vizsgáljuk meg tehát, mit értünk ma tanulás alatt.

A *Mi a tanulás?* c. részben a tanulás jelenlegi elméleteit tekintjük át, figyelembe véve azok konkrét megvalósítását a számítógépekben. Ez egyben alkalmat kínál arra, hogy megha-



tározzuk, mit jelent a tanulás. Ha összehasonlítjuk a számítógépes algoritmusok teljesítményét agyunkéval – in silico az in vivóval szemben –, belátjuk majd, hogy az optimális tanulásnak a valószínűségek és a statisztikák észszerű felhasználására kell támaszkodnia. A 'minden velünk született' és a 'minden szerzett' között *megjelenik egy új modell: a bayesi agy modellje, egy valóságos neurális statisztikus*. Ezen elmélet szerint génjeink a fejlődő agyban a priori feltevések hatalmas tereit hozzák létre, valamint mechanizmusokat, amelyek lehetővé teszik azok adaptálását a külvilágból jövő bemenetekhez – és agyunk e hipotézisek közül választja ki azokat, amelyek a külvilághoz a legjobban illeszkednek.

De valóban megfelel ez az elmélet agyunk működésének? *A Hogyan tanul az agyunk? c. részben az emberi csecsemő bölcsője fölé hajolunk; igazi kis tanuló gép, akit gyakran utánzunk, de soha nem érünk fel vele. A legfrissebb adatok azt mutatják: a gyermek valóban statisztikuspalánta, ahogyan a Bayes-féle elmélet előre jelzi. Káprázatos intuíciói a nyelv, a geometria, a számok vagy a statisztika területén megerősítik, hogy egyáltalán nem 'üres lap', idegi áramkörei születésétől kezdve jól szerveződnek és hipotéziseket vetnek fel a külvilággal kapcsolatban.* (Ezeket az ab ovo képességeket az evolúció a törzsfajlás hosszú menete során alakította ki, adaptálva az ember működésének akkor még lassan változó peremfeltételeihez. Vajon mire jut egy csecsemő olyan működési környezetben, amely nem felel annak, amire ez a veleszületett programja felkészítette? S ezek szerint kezdetől fogva képesnek kell lennie érzékelni annyit a való világból, hogy annak alapján jól tudjon válogatni e hipotézisekből – Osman P.) De jelentős bennük a plaszticitás is, ami a sejt szintű módosulások állandó pezsgésében nyilvánul meg. *Ebben a statisztikus gépben a veleszületett és a tanult korántsem ellentétes, hanem kombinálódik egymással. Az eredmény egy jól szervezett és formálható rendszer, amely képes az önjavításra agykárosodás esetén, valamint az agyi hálózatok újrahasznosítására olyan készségek elsajátítása érdekében, mint például az olvasás megtanulása vagy a matematika művelése.*

*A tanulás négy pillére* című harmadik részben néhány olyan trükköt ismertettek, amelyek agyunkat a tanulás ma ismert leghatékonyabb eszközévé teszik. *Négy alapvető mechanizmus* nagymértékben módosíthatja tanulási képességünket. Először is a *figyelem*: idegi áramkörök együttese, amelyek kiválasztják, felerősítik és terjesztik az általunk fontosnak értékelt jeleket, és megszámszorozzák vagy akár -ezerszeresítik azok képviselőjét a memóriánkban. Másodszor az *aktív bevonódás*: egy passzív szervezet szinte semmit sem tanul, mert a tanulásához az szükséges, hogy az agy kíváncsian és aktívan hipotéziseket alkosson. Harmadik téma, egyben az aktív bevonódás természetes kiegészítése: *a hiba és a meglepetés jelzései*. Ezek azok, amelyek az egész agyban szétterjedve kijavítják mentális modelljeinket, kiiktatják a nem megfelelő hipotéziseket, és meghagyják a leghelyesebbeket. Végül a negyedik tényező a *konzolidáció*, avagy megszilárdítás: agyunk idővel összegyűjti mindazt, amire szert tett, és átviszi a hosszú távú memóriába, hogy a további tanulásához erőforrásokat szabadítson fel. Az ismétlés alapvető szerepet játszik az emlékek megszilárdításában. *De kitün-*

*tett szerepe van e folyamaton belül az alvásnak is, amely távolról sem a tétlenség időszaka, mivel ilyenkor az agy átismétli és újrakódolja mindazt a tudást, amire a nap során szert tett.*

Ezek a tényezők univerzálisak: legyen szó csecsemőről, gyermekről vagy felnőttől, életkortól függetlenül, *mindvégig alapvetően befolyásolják a tanulási képességet. Ezért kell megtanulnunk* kézben tartani őket. Végül visszatérek e tudományos eredmények következményeire. Szokásaink megváltoztatása az iskolában, otthon vagy a munkahelyen nem feltétlenül olyan bonyolult, mint gondoljuk. A játékkal, az örömmel, a kíváncsisággal, a szocializációval, a figyelem összpontosításával vagy az alvással kapcsolatos igen egyszerű ötletek továbbfejleszthetik agyunk amúgy is legfőbb tehetségét: a tanulást.”

*Nézzünk kicsit a részletekbe!*

Tehát Mi a tanulás? E rész érdekes mottóval indul: „Az intelligenciát felfoghatjuk úgy, mint a nyers információk hasznos és kiaknázzható ismeretekké alakításának képességét. – Demis Hassabis, a DeepMind alapítója (2017).” De mi is az intelligencia? Sajátos módon, általánosan elfogadott, egzakt definíciónk nincs rá. Az Encyclopaedia Britannica szócikéből: „Az emberi intelligencia szellemi tulajdonság, amely a következő képességekből áll: tanulni a tapasztalatokból, alkalmazkodni új helyzetekhez, megérteni és alkalmazni absztrakt koncepciókat, és felhasználni a tudást környezetünk kezelésére, irányítására. A szakterületen sok próbálkozás célozta az intelligencia pontos meghatározását. Legújabbban azonban a pszichológusok többnyire megegyeznek, hogy a környezethez történő alkalmazkodás a kulcs annak megértéséhez, mi az intelligencia és miként működik.”

A rész két fejezetből áll: 1. Hogyan tanulnak a neurális hálózatok? 2. Miért tanul jobban az agyunk, mint a gépek? Nézzünk bele!

Az 1. fejezethez: „*A tanulás a világról alkotott modell finomítása*”. Ezzel indít, s ebbe nyilvánvalóan beletartozik maguknak a modelleknek a megalkotása, a világ agyi leképezése. „E nagyrészt nem tudatos elméleti reprezentációk gazdagsága minden képzeletet felülmúl. Felnőtt agyunk a világ több ezer redukált modelljének ad otthont. Izgalmas felismerés, hogy az álmokban előkerülő összes – néha nagyon bonyolult – gondolat csak az agyunkban létező belső modellek terméke. De a valóságról is álmodunk: agyunk folyamatosan hipotéziseket és értelmezési kereteket vetít elénk a külvilágról, amelyek értelmet adnak az érzékelésekből hozzánk eljutó adatfolyamnak. Belső modell nélkül ezek a nyers bemenetek felfoghatatlannak maradnának. *Tanulni annyi, mint megalkotni agyunkban a világ egy új modelljét. A tanulás teszi lehetővé az agy számára, hogy a valóság egy addig nem ismert szeletét ragadja meg.* Agyunk minden esetben a valóság új oldalát internalizálja: úgy módosítja hálózatait, hogy egy addig általa nem uralt területet tegyen magáévá.” – Az ember itt elgondolkodik: agyunk kapacitása véges a „világ redukált modelljeinek” alkotásában és tárolásában, ami korlátozza a valóság feldolgozásában. Az MI várható képességei ebben feltehetően mindinkább a korlátlant közelítik, ennek minden következményével.

A következő rész címe/tárgya „*A tanulás a mentális modell paramétereinek beállítása*”. Könnyen követhető, gyakorlatias példák elemzése segít megérteni. Apró részlet: még azt is megtudjuk – nyelvtanulásban igen hasznos! –, hogy a különféle nyelvek modelljében mit jelent „a fej helyzete”.

Jól vezetnek végig ezek a címek a lényegen: „*A tanulás a kombinatorika lehetőségeinek kiaknázása*”. Az indító példát a nyelvészetből veszi, a nyelv kombinatorikai szerkezetének agyi elsajátítását és kezelését hozza fel. „*Egy nyelvet elsajátítani annyi, mint felfedezni azokat a paramétereiket, amelyek ezt a kombinatorikát minden szinten szabályozzák*”. Agyunk úgy kezeli a tanulás problémáját, hogy megteremti a nyelv szerkezetének – az elemi hangtól kezdve az egész mondatig vagy akár a beszédig – hierarchikus, többszintű modelljét, és a hierarchikus lebontás ezen elve minden érzékelési rendszerben megismétlődik.” – Ugyanezt megmutatja a látásban, vizuális érzékelésben is. A modellezés, a kombinatorika bekapcsolása pedig nyilvánvalóan behozza gondolataink közé a számítógép lehetőségeit. Például Dehaene is felhozta, hogy „az algoritmusok” képesek megtanulni a sakkot és a go játékot. Ezek alkalmazott kombinatorikának is tekinthetők – a mesterséges intelligencia pedig már mindkettőben megverte a világ legjobbait.

„*A tanulás hibáink minimalizálása*”: „*A mesterséges neurális hálózatoknak nevezett számítógépes algoritmusokat közvetlenül az agykéreg hierarchikus szerveződése inspirálja*”. Mély hálózatoknak is nevezik őket, mert egymást követő rétegek piramisából állnak, amelyek mindegyike az előző réteg szabályszerűségeit elemzi. *Több ilyen réteget kombinálva kapunk egy rendkívül nagy teljesítményű tanulási eszközt, amely a legkülönbözőbb problémákhoz képes alkalmazkodni*. A mai hálózatok tucatnyi egymást követő réteget tartalmaznak, amelyek egyre távolabb találhatók a szenzoros bemenetektől, egyre okosabbak, és bemeneteik egyre absztraktabb tulajdonságait képesek azonosítani.” – A példa egy neurális hálózat a kézírásos karakterek felismerésére, amelyet a kanadai posta évekig használt az irányítószámok automatikus feldolgozására. Itt már a gépi felismerés működésének mikéntjét vázolja: „Az első rétegeket közvetlenül a képhez kapcsolják: szűrőket alkalmaznak, amelyek a vonalak és görbék töredékeit ismerik fel. Minél magasabbra lépünk a hierarchiában, ezek a szűrők annál szélesebbé és összetettebbé válnak, mígnem olyan mesterséges idegsejtekkig jutunk, amelyek egy teljes karakternek felelnek meg, függetlenül annak helyzetétől és írásmódjától. Ezeket a tulajdonságokat nem egy programozó írja elő: teljes egészében az egységek közti összeköttetések milliőiből származnak. Az összeköttetések, mihelyt egy automatikus algoritmus kiigazítja őket, meghatározzák azt a szűrőt, amelyet a bemeneteire minden egyes mesterséges idegsejt alkalmaz: ezek révén az egyik idegsejt a 2-es számjegyre, egy másik pedig a 3-asra reagál.

Hogyan történik e több millió kapcsolat szabályozása? *A hálózat rájön, hogy hibázott, és megpróbálja úgy kiigazítani paramétereit, hogy ezt a hibát csökkentse*. Minden téves válasz rendkívül értékes információt nyújt. A hiba előjelével megmutatja, mit kellett volna tenni a sikerhez. Visszatérve a hiba forrásaihoz, a gépnek sikerül rájönnie, hogyan kellett volna be-

állítani a paramétereket a hibák elkerüléséhez.” – Dehaene a fegyvertávcső beállítását hozza analógiaként: látva, miként téveszt a találat, igazítják a távcső beállítását a fegyverhez képest: „Milliónyi bemenete, kimenete és állítható paramétere ellenére a legtöbb mesterséges neurális hálózat sem működik másképp. Megfigyelik és felhasználják hibáikat, hogy belső állapotukat úgy állítsák be, ahogy az számukra a hiba csökkentéséhez a lehető legmegfelelőbbnek tűnik.” A mikéntjének magyarázatában megjelenik a „felügyelt tanulás”, másrészt „a hiba-visszaterjesztéssel történő tanulás”.

„A gépi tanulás területe ugyanakkor az eltelt 30 év alatt óriási haladást ért el, és a kutatók sok további trükköt is felfedeztek a tanulás megkönnyítésére. Bemutatok néhányat ömlesztve: látni fogjuk, hogy sokat elmondanak rólunk és tanulási funkcióinkról.” Ebből már csak az alcímek: *A tanulás a lehetőségek terének felfedezése / A tanulás a jutalmazási funkció optimalizálása / A tanulás a keresési tér szűkítése / A tanulás a priori hipotézisek felállítására.*

Fentebb felvetettük, honnan a csecsemő hipotézisei. Íme Dehaene magyarázata: „Agyunk szerkezete a várandósság alatt érvényesülő genetikai program szerint halad, beszűkítve ezzel a keresési teret, megkönnyítve és felgyorsítva a későbbi tanulást. A számítógéptudósok hiperparamétereikről beszélnek – ezek a magas szintű változók határozzák meg a rétegek számát, az idegsejtek típusát, összeköttetések általános módját, vagy például azt a tény, hogy a retina bármely pontján megkettőződnek és így tovább. *Agyunkban ezek a változók a genomunk részei, már nem kell őket megtanulnunk – fajunk az evolúció során építette be őket.* Agyunk tehát nem passzív módon van kitéve az érzékszervi bemeneteknek. Éppen ellenkezőleg, *eleve birtokolja az evolúció során felállított elvont hipotéziseket, amelyeket a külvilágra vetít.*” Érdekes informatikai kérdés, miként vannak ezek a hipotézisek és azok kezelése kódolva a genomban, és vajon – ha az evolúció lassúságával is – gyarapszik-e, változik-e az embernek ez az a veleszületett tudása?

Már csak belekukkantunk a következő fejezetbe: *Miért tanul jobban az agyunk, mint a gépek?* Eretnek, de visszafojthatatlan megjegyzés: vajon nem csak idő kérdése, amíg a kérdésben lévő állítás megdől? Úgy hatvan éve egy cukorka méretű integrált áramkör egy bitet tárolt. Ma közönséges online áruházak nagyságrenddel sem nagyobb méretű, terabyte (1012 byte) kapacitású szilárdtesttárolót (SSD) kínálnak pár tízezer forintért. A működési sebesség is nagyjából így alakult. Agyunk jelenlegi előnye a gépekkel szemben a messze fejlettebb architektúrája, messze nagyobb sűrűsége, s a működési módok, amelyeket csak ezek tehetnek lehetségessé. S ha a hardverfejlesztés is eljut idáig? És miért ne juthatna? „Aki megéri, meglátja.”... az Olvasó pedig azt is, miként támasztja alá Dehaene a maga álláspontját.

*Dr. Osman Péter*