

## **Čo je gén a prečo je to zložitá otázka**

Výzvy pre univerzitné vzdelávanie v biomedicínskych vedách<sup>1</sup>

Lubomír Tomáška

Katedra genetiky, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave

Čo je to gén? Zdalo by sa, že od vzniku tohto centrálného genetického pojmu v roku 1909 v tom máme jasno. Skutočne, zatiaľ čo predstava Johansenových súčasníkov nebola odlišná od tej, ktorú mal v roku 1865 Gregor Mendel o “svojich” faktoroch, teda veľmi abstraktná, postupne sa začala konkretizovať. Morganova skupina gény definitívne umiestnila na chromozómy (dočasne) ako nedeliteľné “atomárne” jednotky; v 1940-tych rokoch sa rozvinula predstava génu ako jednotky zabezpečujúcej tvorbu bielkoviny (napr. enzýmu); v 1950-tych rokoch už bolo dosť dôkazov, že ich materiálnym základom je DNA a po dešifrovaní genetického kódu v 1960-rokoch vznikla učebnicová definícia génu: úsek DNA špecifikujúci funkčný proteín, a/alebo RNA. Potom sa však veci začali komplikovať: alternatívne miesta štartu transkripcie, alternatívny zostrih, *trans-splicing*, prekrývajúce sa kódujúce oblasti, editovanie RNA, nekonvenčná translácia, génové siete, a ďalšie menej alebo viac komplikované fenomény viedli k tomu, že dnes nemáme jasnú všeobijajúcu definíciu génu. Len pre ilustráciu jeden z posledných pokusov z apríla 2017 v časopise *Genetics*:<sup>2</sup> “Gén je sekvencia DNA (ktorej segmenty nemusia byť nevyhnutne susediace), ktorá špecifikuje jednu alebo viac RNA alebo proteínov, ktoré sú využívané génovými regulačnými sieťami a participujú ako ich elementy, často s nepriamym účinkom, alebo ako ich výsledok, pričom v tomto prípade majú priamejší efekt na fenotyp.”

Nezrozumiteľnosť tejto definície, hoci je bližšie realite ako konvenčná definícia z 1960-tych rokov, je iba jednou z mnohých ilustrácií pozitívnych i negatívnych stránok dnešnej vedy. Vybraným z nich, a zvlášť tým, ktoré sa týkajú výzvam súčasného univerzitného vzdelávania, je venovaný tento text.

Vedci, a zďaleka nie len slovenskí, sa často sťažujú na nedostatočné finančné zdroje. Čísla, ktoré sú k dispozícii však tento pesimizmus veľmi nepodporujú. Ročné investície do výskumu v posledných rokoch dosahujú astronomické 2 trilióny amerických dolárov a dlhodobo vykazujú medziročný nárast okolo 7 %<sup>3</sup>. Tento trend začal počas, ale hlavne bezprostredne po skončení druhej svetovej vojny a v USA bol najjasnejšie artikulovaný Vannevarom Bushom, ktorý pre amerického prezidenta Trumana ako riaditeľ Úradu pre vedecký výskum a vývoj<sup>4</sup> publikoval správu pod názvom *Science: The Endless Frontier*.<sup>5</sup> V nej zdôvodňuje význam kumulovaného

<sup>1</sup> Tento text vznikol z poznámok z rokov 2010-2017 a do finálnej podoby sa dostal vďaka príprave na diskusie s mladými vedcami z Pavilónu lekárskeho centra SAV (27. apríl 2017), resp. s účastníkmi stretnutia vo vedeckej kaviarni *EduCafe* (9. máj 2017). Všetkým diskutujúcim ďakujem za podnetné komentáre. Prvá časť, venovaná hodnoteniu “kvality” vedeckého výskumu, je modifikovanou a skrátenou verziou textu, ktorý bol v roku 2016 diskutovaný vo Vedeckej rade Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského je publikovaný v júlovom (2017) čísle časopisu *Vesmír* (<http://casopis.vesmír.cz>; Tomáška (2017)). Druhá časť je rozšírením úvah prezentovaných v Tomáška (2011).

<sup>2</sup> Portin a Wilkins (2017); “A gene is a DNA sequence (whose component segments do not necessarily need to be physically contiguous) that specifies one or more sequence-related RNAs/proteins that are both evoked by gene regulatory networks and participate as elements in genetic regulatory networks, often with indirect effects, or as outputs of gene regulatory networks, the latter yielding more direct phenotypic effect.”

<sup>3</sup> Zastrow (2014)

<sup>4</sup> Office of Scientific Research and Development

<sup>5</sup> Bush (1945); <https://ia800207.us.archive.org/12/items/scienceendlessfr00unit/scienceendlessfr00unit.pdf>

rastu finančnej podpory základného výskumu, ktorý by predovšetkým v oblasti biomedicíny mal viesť k zlepšeniu zdravia a kvality života. To, že toto odporúčanie americké vlády akceptovali nezávisle od toho, či bol vo funkcii republikán, alebo demokrat, je jedným z dôvodov povojnovej dominancie americkej vedy.<sup>6</sup>

V súčasnosti finančné zdroje sponzorujú prácu približne 10 miliónov vedcov, ktorí za jeden rok strávia v laboratóriu približne 26 miliárd hodín (2,9 milióna rokov), čo je čas, ktorý nás delí od obdobia, keď sa na Zemi vyskytoval *Australopithecus africanus*. Nárast počtu vedeckých pracovníkov pritom ďalej pokračuje. Do vedeckej komunity v poslednom roku pribudlo viac ako štvrt' milióna nových absolventov doktorandského štúdia (približne 2-krát viac ako pred 10 rokmi). Aktuálnu početnosť výskumníkov ilustruje aj fakt, že v súčasnosti vo vede pracuje vyše 90 % všetkých ľudí, ktorí sa jej kedykoľvek (v minulosti, či prítomnosti) venovali. S počtom výskumníkom pravdaže koreluje aj celková vedecká produktivita meraná počtom publikácií. Databáza *Web of Science* (WoS) v súčasnosti eviduje takmer 100 miliónov vedeckých článkov. Len v poslednom roku sa rozrástla o približne jeden milión nových záznamov, čo je o približne 3 % viac, ako v roku predchádzajúcom. Nové publikácie tak pribúdajú s frekvenciou jedna za 30 sekúnd.

Tieto závažné čísla by mohli ilustrovať zlaté časy súčasnej vedy. Skutočne, každý deň iba pri zbežnom listovaní iba vzorky vedeckých periodík čítame o nových dôležitých objavoch, nových nádejných liekoch, či nových sofistikovaných technikách. Ohromná expanzia vedeckej komunity však skrýva niekoľko problémov.

Na rozdiel od 1950-tych rokov je v súčasnosti nárast počtu výskumníkov rýchlejší ako nárast zdrojov, ktoré ich podporujú. To spôsobuje ohromnú kompetíciu, ktorá prekročila hranice únosnosti. Uvedomili si to napríklad aj štyria významní predstavitelia americkej biomedicíny<sup>7</sup>, ktorí vo svojich analýzach ukazujú, že predstava Vannevara Busha z 1950-tych rokov, teda že financie na výskum v USA budú donekonečna rásť, je iluzórna. Ilustrujú to napríklad faktom, že reálne finančné zdroje najväčšej americkej biomedicínskej grantovej agentúry (*National Institutes of Health; NIH*) boli v roku 2014 boli na úrovni 25 % rozpočtu v roku 2003<sup>8</sup>. To má za následok napríklad: (1) zníženie úspešnosti grantových aplikácií z 30 na menej ako 10 %; (2) zvýšenie priemerného veku úspešných uchádzačov o granty; (3) favorizovanie aplikácií s garantovaným výsledkom pred riskantnejšími projektmi, ktoré však majú potenciál priniesť zásadnejšie objavy.

Expanzia vedeckej komunity a jej produkcie okrem iného komplikuje objektívne posudzovanie kvality vedeckých výstupov. Komunita ľudí, ktorí sa venovali molekulárnej biológii v 1960-tych rokoch mala prinajlepšom niekoľko stoviek členov, ktorí sa navzájom priamo alebo nepriamo poznali a čítali svoje práce. Dnes sú stovky tisíc výskumníkov separovaní do úzkych oblastí a ani v nich nie je jednoduché sa orientovať. Namiesto kvalifikovaného *peer-review* pri hodnotení kvality výskumu sa čoraz viac využívajú scientometrické parametre. Ani na vlastných pracoviskách už často nevieme, čo robí kolega/kolegyňa vo veľajšom laboratóriu, vieme však, koľko karentovaných publikácií (s impakt faktorom nad 1,0) vyprodukoval/a. Mendel ani Darwin by v tomto prostredí nenašli ani postdoktoranské miesto. Tlak na publikovanie vysokoimpaktovaných a trendových publikácií má veľmi negatívny efekt: vo vedeckej literatúre je čoraz viac

---

<sup>6</sup> pozri však Mervis (2017)

<sup>7</sup> Alberts a kol. (2014; 2015)

<sup>8</sup> A to ešte autori nepočítali s tým, že prezident Trump v návrhu rozpočtu na rok 2018 urobí NIH škrt vo výške 5,8 miliardy dolárov, čo je v porovnaní s rokom 2016 redukcia o takmer 18 percent (Mervis, 2017).

nereprodukovateľných výsledkov.<sup>9</sup> Prieskum Americkej spoločnosti pre bunkovú biológiu<sup>10</sup> odhalil, že 72 % respondentov nebolo schopných zopakovať výsledky publikované v iných laboratóriách. V troch nezávislých štúdiách sa reproducibilita výsledkov článkov z oblasti biomedicíny pohybovala od 11 po 45 %.<sup>11</sup> Nedávny odhad finančných následkov nereproducibility výsledkov len z oblasti predklinických štúdií dospel k sume 28 miliárd amerických dolárov.<sup>12</sup> Dôvodov pre nereprodukovateľnosť výsledkov môže byť pravdaže veľa, od špecifických podmienok protokolu, ktoré nie je možné jednoducho opísať slovami, až po zámerné podvody skresľujúce (či úplne fabrikované) výsledky. Faktom však je, že vysoká frakcia vysokoprofilových publikácií má s kvalitou spoločné len veľmi málo.

Naopak, na systéme sa priživuje stále viac parazitov, ktorí využívajú jeho deformácie a produkujú balast využívajúc rôzne formy "medializácie" svojich pseudovýsledkov zabezpečujúce body v inštitucionálnom hodnotení. Publikovanie výsledkov bez *peer-review* praktizované tzv. predátorskými časopismi (ktoré sú často aj indexované a majú impakt faktor) sa stáva veľkým problémom. Autori sú neustále atakovaní mailami z pochybných adries ponúkajúcim za menší, či vyšší poplatok rýchle publikovanie výsledkov bez zdržovania sa posudzovaním ich kvality. A mnohí autori túto možnosť využívajú. V extrémnych prípadoch zadajú internetovej firme iba tému a za poplatok dostanú článok aj s výsledkami (pravdaže vygenerovanými v počítači podľa ich preferencií).<sup>13</sup> Jednoducho, existuje veľa možností, ako dostať do tlače článok, ktorého obsah sa od reálne získaných výsledkov líši (interval je pritom široký; začína pri marginálnych úpravách a končí stopercentným výmyslom).

Ďalším patologickým javom, dokumentovaným empirickými štúdiami je, že napriek enormnej produktivite vedeckej komunity, približne 80 % všetkých článkov okrem autorov, editora časopisu a posudzovateľov neprečíta vôbec nikto!<sup>14</sup> Okrem iného to ukazuje fakt, že vysoká frakcia citácií, teda ďalšieho parametra hodnotenia kvality vedeckej publikácie, je neadekvátna, nepresná, alebo úplne náhodne zvolená. Na základe štatistickej analýzy takýchto chýb Mikhail Simkin a Vwani Roychowdhury<sup>15</sup> dospeli k tomu, že iba približne 20 % citujúcich autorov pôvodnú publikáciu skutočne aj čítalo (v realite ich mohlo byť ešte menej, keďže ďalší mohli kopírovať správnu verziu citácie). Diethard Tautz z Max Planckovho ústavu v Plöne vo svojej analýze pre magazín *LabTimes* v tejto súvislosti dopĺňa ešte jeden moderný trend: v prípade mnohoautorských publikácií si celý text neprečítajú ani samotní autori!<sup>16</sup>

Paradoxom je, že počet publikácií a počet citácií sú základnými parametrami pre hodnotenie kvality individuí i inštitúcií. Žijeme v období kultu excelentnosti. To

---

<sup>9</sup> Harris (2017); Kaelin Jr. (2017)

<sup>10</sup> *American Society for Cell Biology*

<sup>11</sup> Kaiser (2015); pozri však tiež Garraway (2017).

<sup>12</sup> Freedman a kol. (2015)

<sup>13</sup> <http://www.scientificamerican.com/article/for-sale-your-name-here-in-a-prestigious-science-journal/>

<sup>14</sup> Je otázne, či to tak bolo vždy. Dalo by sa totiž špekulovať, že uľahčenie prístupu k literatúre prostredníctvom internetu znížilo jej cenu. Inými slovami, ešte pred 25 rokmi bolo na prečítanie článku potrebné ísť do knižnice, požičať si časopis, prípadne poslať (a zaplatiť) žiadamku o reprint. Po takýchto investíciách človek cítil vnútorný záväzok si vybojovaný článok aj prečítať. Dnes, keď na otvorenie článku stačí pár klikov, takáto motivácia často chýba. Mnohí si asi povedia, že sa k textu vrátia neskôr, pričom väčšinou to pri končí pri tomto nenaplnenom odhodlaní. Okrem toho sa zmenil aj spôsob prehľadávania literatúry. V minulosti ľudia listovali v časopisoch a prechádzali celými ich obsahmi a na základe toho si vyberali, čo budú čítať. Dnes sa k článkom dostávajú viac cez browsovanie databáz prostredníctvom kľúčových slov, alebo na základe e-mailových alertov. Vyplýva to aj toho, že časopisov je snáď o rád viac, ako pred štvrtstoročím, ale aj z pohodlnosti. Stálo by za to zistiť, koľko ľudí dnes pravidelne skutočne prelistuje aspoň základný balík časopisov.

<sup>15</sup> Simkin a Roychowdhury (2003)

<sup>16</sup> Tautz (2014) [cit. v *LabTimes* 5/2014, 3]

by samo osebe nebolo zlé, keby bol termín excelentnosť naviazaný na parametre, ktoré sú evidentne skorumpované. Tento problém sa zvlášť vyníma na úrovni univerzít, ktoré majú od čias Wilhelma von Humboldta ambíciu byť pôdou pre excelenciu a výnimočnosť. Aká je realita? Aby sme sa nezamotali do miestnych slovenských špecifik, pozrime sa na ňu očami švajčiarskeho ekonóma Mathiasa Binswagera<sup>17</sup>: „Univerzity, ktoré sa na povrchu prezentujú ako chrámy vedeckej excelencie, sú tlačené do participácie na publikačnej olympiáde, ... hoci dôležitosť mnohých publikácií je nulová a okrem bodov do hodnotenia nemajú žiadny význam. V skutočnosti viac publikácií vedie v len k zvýšeniu počtu strán papiera, ale tento počet nehovorí o vedeckom význame príspevku vôbec nič, tak ako irelevantný je počet nôt pre kvalitu príslušnej skladby.”

Napriek tomu súčasný systém hodnotenia postupne nahradil pôvodnú motiváciu vedeckej práce „Taste for Science” ambíciou „Taste for Publications”, pretože tá je podmienkou vstupu do klubu excelencie. „Predpoklad, že univerzity majú za cieľ hľadanie pravdy sa stáva čoraz väčšou fikciou. Moderné univerzity sú hnané ambíciou po excelentnosti a v tomto zmysle hľadanie pravdy nie je veľmi užitočné.” Táto ambícia vedie okrem iného aj k tomu, že priemerní a nekreatívni vedecí pracovníci sú motivovaní k produkcii publikácií. Fakt, že tieto práce sú z hľadiska nárastu vedeckého poznania absolútne neužitočné, nie je argumentom. „Nečinnosť bola nahradená produkciou nonsensu”<sup>18</sup>.

Podľa jedného z anonymných prieskumov takmer 5 % amerických vedcov priznalo, že publikovalo viac krát ten istý výsledok.<sup>19,20</sup> Producenti nonsensu však zďaleka nie sú jediní, kto kontaminuje vedeckú literatúru. Aj kreatívni ľudia sa stávajú obeťami systému stimulujúceho excelentnosť meranú počtom publikácií a citácií. Aby dostali publikácie do „vysokoimpaktových” časopisov, často urobia takmer čokoľvek, čo od nich požadujú oponenti. Tento vzorec správania, nazývaný aj „akademickou prostitúciou”, vedie okrem iného ku konformite obsahu, čo Gerhard Fröhlich vyjadruje nasledovne: „Vo vede prevládajú podobné podmienky ako v katolíckej cirkvi: cenzúra, oportunistický a adaptácia na hlavný prúd. Výsledkom je, že sa vyvíja technokratický spôsob hodnotenia a hierarchizácie, ktorý brzdi vedecký pokrok.”<sup>21</sup>

Skúsme si urobiť krátku predbežnú rekapituláciu: 10 miliónov vedcov na celom svete každý deň síce vychrlí niekoľko tisíc publikácií tie však majú vysokú šancu, že (1) si ich nikto neprečíta, (2) nikto sa na ne neodvolá a (3) aj v prípade, že sa stane opak, tak v polovici prípadov (z hocijakých dôvodov) budú výsledky nereprodukovateľné. A to všetko za 2 trilióny amerických dolárov. Veda, ktorej

---

<sup>17</sup> Binswanger (2014); ešte všeobecnejšie sa téme venuje rakúsky filozof Konrad Paul Liessmann (Liessmann, 2011, 2015).

<sup>18</sup> V pôvodnom znení je tento odkaz presnejší: „Non-performance has been replaced by the performance of nonsense.”

<sup>19</sup> Six (2008) [cit. v Binswanger (2014)].

<sup>20</sup> V experimente, ktorý uskutočnil editor časopisu *Science* John Bohannon, sa ten istý článok s vymysleným menom autora a vyfabrikovaným obsahom podarilo dostať do 157 časopisov (Bohannon, 2013). Ešte systematickejší výskum urobili nedávno poľskí autori, ktorí “ponúkli” rôznym časopisom vymyslenú editorku Annu O. Szust (oszust je v poľštine podvod) s absolútne neadekvátnou kvalifikáciou pre funkciu členky edičnej rady. Z 350 oslovených časopisov ju 50 akceptovalo (väčšinou s podmienkou priamej platby, alebo podielu na zisku) a u mnohých stále figuruje v zozname členov edičnej rady, hoci boli informovaní o tom, že ide o neexistujúcu osobu (Sorokowski a kol., 2017). Českým recesistom sa takto podarilo za člena edičnej rady jedného časopisu Josefa Švejka; <http://www.scirea.org/journal/EditorialBoard?JournalID=88000>.

<sup>21</sup> Fröhlich (2007); [cit. v Binswanger (2014)].

cieľom je „hľadanie pravdy“<sup>22</sup> je dnes skôr inštitucionalizovanou fabrikou, v ktorej veľká časť prevádzok produkuje informačný smog.

Nie je preto prekvapivé, že veľká frakcia výskumníkov (aj z vyššie uvedených dôvodov) z vedeckého prostredia odchádza a na trhu práce sa tak objavuje stále viac prekvalifikovaných, vysokošpecializovaných a ťažko zamestnateľných, prevažne mladých ľudí. Konkrétne, v USA 60 % absolventov doktorandského štúdia nepokračuje vo vedeckej kariére<sup>23</sup>.

Všetko uvedené v prvom pláne ilustruje ekonomický problém, v ktorom sa súčasná veda nachádza: veľké množstvo peňazí sa prehajdáka na nereprodukovateľné výsledky, plnenie databáz bezcennými publikáciami a vzdelávaním ľudí, ktorí v najproduktívnejšom veku strácajú zamestnanie, ilúzie, alebo najčastejšie oboje.

Je tu však ešte jeden problém. Nie tak nápadný, ale snáď ešte dôležitejší: Ako v tejto situácii vzdelávať nových adeptov vedy, zvlášť v biomedicíne, ktorá je uvedeným trendom postihnutá zrejme najväčšie. Ako zabezpečiť, aby v konkurenčnom prostredí, ktoré ich čaká uspeli a stali sa členmi relatívne málopočetného klubu, ktorí priamo, alebo aspoň nepriamo prispieva do rozširovania ľudského poznania? Budem sa snažiť tento problém prezentovať ako globálny, aj keď pravdaže môžeme diskutovať aj o lokálnych špecifikách. Použijem pritom príklady z genetiky s predpokladom, že analogické príklady by sa dali uviesť aj z iných odborov. Zároveň popíšem výzvy súčasného vysokoškolského vzdelávania v biomedicíne skôr vo forme otázok s cieľom vyprovokovať o nich diskusiu.

Začnem otázkou, ktorá je zdanlivo triviálna: čo by mal vedieť absolvent genetiky --- z genetiky? Ešte koncom 1980-tych rokov táto otázka bola jednoduchá: rozsah znalostí by sa mal prekrývať z rozsahom overených vysokoškolských učebníc, ktoré skutočne pokrývali celý odbor. Za necelých 30 rokov odtvtedy, ako som končil vysokoškolské štúdium sa však situácia dramaticky zmenila. Učebnice genetiky sú jednak oveľa objemnejšie a jednak zďaleka nepostihujú všetko podstatné. Už len z toho dôvodu, že ani aktuálne vydanie neobsahuje nové, dôležité poznatky. Okrem toho, niektoré základné princípy a pojmy, v ktorých sme mali pred štrťstoročím viac-menej jasno sú dnes oveľa ťažšie uchopiteľné. Ako ilustruje príklad z úvodu: definícia génu, ktorá bola tak jasná v 1970-tych rokoch (gén je úsek DNA zabezpečujúci tvorbu funkčného proteínu alebo RNA) dnes už nie je postačujúca a alternatívy sú nepresné, či príliš komplikované.

Ako by mal potom chápať pojem gén magister genetiky? Je moderná definícia génu lepšia, ako konvenčná predstava z 1960-tych rokov? Ak áno, je pochopiteľná pre študenta (resp. pre učiteľa)? Samotní autori tej najnovšej z nich o nej píšu ako o provizórnom riešení (*tentative solution*).<sup>24</sup> Bez ohľadu na odpoveď na vyššie uvedené otázky tento príklad ilustruje, koncepcia génu (ktorý sa mimochodom ako termín v databáze *PubMed* vyskytuje vo vyše 2 miliónoch publikácií) je len o niečo konkrétnejšia, ako za čias Johannsena. Má to dve príčiny. Jednak gén je abstraktný pojem a jeho význam podlieha zmenám. Po druhé, tieto zmeny sú čoraz frekventovanejšie, čo je spôsobené ohromným nárastom informácií, ktoré nám predstavu génu značne komplikujú.

To, že je to nárast skutočne ohromný, sa dá dokumentovať analýzou umožnenou bibliografickými databázami. Napríklad, keď som sa ako študent druhého

<sup>22</sup> "Veda je hľadaním pravdy" je názov rozhovoru, ktorý urobili Michal Ač a Karol Fajth pre nedeľné vydanie Pravdy v druhej polovici 1980. rokov. Je pozoruhodné, že rozhovor v denníku ÚV KSS prešiel cenzúrou. Podstatnejšie však je, že je v ňom aj po 30 rokoch aj pre diskutovanú tému veľa stále platných a inšpiratívnych myšlienok; nakoniec, ako vo všetkých Kováčových textoch; pozri <http://www.biocenter.sk/lkpublics.html>.

<sup>23</sup> Alberts a kol. (2014)

<sup>24</sup> Portin a Wilkins (2017)

ročníka na podnet môjho školiteľa v roku 1986 začal zaujímať o teloméry, tento termín sa objavil v 25 publikáciách; všetky sa teoreticky dali prečítať. O 30 rokov neskôr je teloméram venovaných takmer 50-krát viac prác. Termín "genomika" sa prvýkrát objavil v roku 1987 (v 55 publikáciách), minulý rok figuroval v takmer 20000 textoch. Pojem za pojmom sa v početnosti za štvrtstoročie posunul často o minimálne jeden rád. Niektoré termíny, ktoré sú stále iba v pubertálnom veku, napríklad CRISPR, sú v početnosti výskytu už na čele rebríčka. Čo z týchto nových výsledkov zaradiť do študijných plánov? Ako vyberať tie najpodstatnejšie? Kto z učiteľov, samých špecializovaných len na niektoré oblasti, tento výber urobí a bude schopných kompetentne tému spracovať? Alebo treba čakať, kým to urobia editori etablovaných učebníc? Nebude to pre aktuálnych absolventov neskoro? A keď sa plány doplnia o nové témy, ktoré z tých starších vyradiť?

Problém sa pritom netýka iba aktualizácie kurikúl o moderné (trendové) témy. Otázne je, či nie je potrebné revidovať konvenčný spôsob výučby genetiky. Všetky učebnice začínajú Mendelovými pravidlami dedičnosti. Je to úplne logické: kde začať s vysvetľovaním pravidiel ako pri Mendelových experimentoch? Zároveň je to krásny osobný príbeh, ktorý vysvetľovanie značne zatraktívňuje. Dnes však vieme, že dedičnosť väčšiny fenotypových prejavov sa nedá vysvetliť jednoduchou mendelovskou dedičnosťou. Do veľkej miery sú mendelovské znaky výnimkou. V didaktike je pritom dôležité najprv vysvetliť všeobecne platné princípy a výnimkám sa venovať v pokročilejších kurzoch. Nehladiac na to, že sme často svedkami, že práve indoktrinácia študentov mendelovskou genetikou v základnom kurze spôsobuje, že mnohé pojmy chybné chápú (viď napríklad<sup>25</sup>). Aká je však alternatíva? Začať kvantitatívnou genetikou podmienenou dobrými základmi v štatistike, ktoré mnohí študenti nemajú. Vysvetľovaním podstaty *genome-wide association studies* (GWAS)? Je to vôbec predstaviteľné? Niektoré americké univerzity podnikajú v tomto zmysle pokusy o dramatickú zmenu svojich kurikúl genetiky. Je však otázne, či sa do takeého experimentu púšťať skôr, ako bude jasné, že skutočne funguje. To však môže trvať roky. Čo ak sa ten experiment ukáže ako úspešný? Nebude to veľké meškanie?

Sú to zložité strategické otázky. A sú aj ďalšie: čo by mal vedieť absolvent genetiky, či iného biologického odboru z biológie ako takej? Aj evolučná biológia, strešná biologická disciplína, sa dramaticky rozvíja; čo všetko z nej by mal biológ ovládať? A z fyziológie? Zoológie? Botaniky? Mikrobiológie? Viroológie? Antropológie? Chémie? Matematiky? Informatiky? Väčšina z týchto disciplín sa rozvíja podobným tempom ako genetika. A čas, resp. kognitívne kapacity sú obmedzené. Nemá pravdu Bruce Alberts propagujúci tézu "*less is more*", kde namiesto širokého pokrytia vednej disciplíny by sme sa mali skôr orientovať na príklady ilustrujúce ako je možno dopracovať sa k vedeckým poznatkom?<sup>26</sup> Pritom by sme chceli, aby sa vysokoškolsky vzdelaní ľudia vedeli vyjadrovať k celospoločenským témam. Stačí im na to výbava zo strednej školy a z rodiny? Alebo by im univerzity mali poskytnúť "dovzdelanie" aj v tomto smere?<sup>27</sup>

Tým sa však dostávame k veľkej dileme: je cieľom univerzitného vzdelávania produkovať učencov podobných tým, ktorí boli úspešní od renesancie až do 50.-60. rokov minulého storočia? Je o takýchto ľuďoch vôbec záujem? Je to ohromné množstvo vedomostí, ktoré by museli mať, aby sa do takejto kategórie kvalifikovali vôbec uchopiteľné? Nie je dnes skôr praktickejšie pripravovať špecialistov, ktorí sa môžu

<sup>25</sup> Redfield (2012, 2015); Smith a Knight (2012)

<sup>26</sup> Alberts (2017)

<sup>27</sup> Všeobecnejšie sa téme venoval Ladislav Kováč vo svojej prednáške „Pohľad na postavenie študentov vo vysokoškolskom systéme s Slovenskej republiky“; <https://www.youtube.com/watch?v=sIFU8QJ5qM4>

uchytiť práve kvôli práve tejto špecializácii v mnohopočetných tímoch a prispieť síce malým dielom do celkovej skladačky konkrétneho objavu? Je podstatné, aby mali o veciach "big picture"? Individuálna včela tiež (zrejme) nemá predstavu o úli, ale na základe jednoduchých pravidiel v práci svojej špecializácie dokonale participuje na jeho chode, dokonca aj v kreatívnom slova zmysle. Čo však, ak sa v konkurencii takýto špecialista neuchytí? Stále to môže byť šikovný človek, ktorý však tesne pred tridsiatkou zistí, že špecializácia, ktorá mala byť jeho hlavnou zbraňou sa stala jeho hlavným obmedzením. Je potrebné do magisterských a doktorandských kurikúl vo väčšej miere dostať aj kurzy orientované aj na všeobecne použiteľné zručnosti (tzv. *transferable skills*)? Je na to vôbec časový priestor? Ľudia? Táto dilema je absolútne zásadná a rozlúsknuť ju je zodpovednosťou ľudí na univerzitách. Ale dilemy sú dilemami, pretože neponúkajú jednoduché riešenia.

Tu je ďalšia: Predpokladajme, že odpovieme nejakým spôsobom na predchádzajúcu otázku "Čo učiť?". Predpokladajme tiež, že absolvent je vedomostne dobre pripravený na vedeckú kariéru a má potenciál prispieť k rozvoju poznania v danej oblasti. To však nemusí byť dostatočným základom pre to, aby sa mu podaril nejaký dôležitý (prelomový) objav. "Science is imagination in a straitjacket" ("Veda je fantázia vo zvieracej kazajke"), povedal pred rokmi Richard Feynman. Zvieracia kazajka sú obmedzenia dané našim súčasným stavom poznania a fantázia je nástroj na jeho rozšírenie. Vedeckú analýzu úlohy fantázie (*imagination*) vo vede urobil už v druhej polovici 19. storočia pri príležitosti svojej inauguračnej prednášky holandský chemik van't Hoff<sup>28</sup>. K tejto téme ho vyprovokoval istý Hermann Kolbe<sup>29</sup>, v tom čase prominentný nemecký chemik, ktorý napísal zdrvivú kritiku van't Hoffovej práce dôležitosti priestorového usporiadania atómov, ktorou položil základy stereochemie. Kolbe okrem iného píše niečo v tomto zmysle [voľný preklad]: "Aj by som túto prácu ignoroval, keby sa k nej pozitívne nevyjadril rešpektovaný chemik Johannes Wislicenus<sup>30</sup>. Dr. van't Hoff, zamestnaný na Vysokej škole veterinárskej v Utrechte spochybňuje exaktný chemický výskum. Zdá sa mu oveľa pohodlnejšie osedlať Pegasa (bezpochyby požičaného zo školskej stajne) a vo svojej Chémii v priestore [La Chimie dans L'Espace] sa odvažuje štverať na chemický Parnassus<sup>31</sup>. Detailne kritizovať tento článok je nemožné, pretože imaginácia/fantazírovanie autora ho kompletne zbavilo kontaktu s realitou a je pre triezveho chemika úplne nezrozumiteľný."

Odhladnuc od faktu, že van't Hoff sa stal prvým nositeľom Nobelovej ceny za chémiu a Kolbeho meno dnes už poznajú iba špecialisti organickí chemici je podstatnejšie to, že uvedená aféra van't Hoffa stimulovala zamyslieť sa nad úlohou fantazírovania/predstavivosti vo vede.<sup>32</sup> Robil to tak, že hľadal náznaky pre fantazírovanie v citátoch a biografiách skupiny 200 prominentných vedcov<sup>33</sup> a zistil, že takmer tretina z nich vykazovala zmysel pre fantazírovanie. Boli medzi nimi ľudia ako Galileo, Watt, Koperník, Goethe, da Vinci, Kepler, Leibniz a iní. Medzi nimi boli dokonca takí, ktorí vykazovali náznaky patologického fantazírovania hraničiaceho s

<sup>28</sup> Jacobus Henricus van't Hoff (1852-1911) – holandský chemik, prvý nositeľ Nobelovej ceny za chémiu, jeden so zakladateľov fyzikálnej chémie, podieľal sa na formulovaní princípov chemickej afinity, kinetiky, termodynamiky a stereochemie.

<sup>29</sup> Herman Kolbe (1818-1884)

<sup>30</sup> Johannes Wislicenus (1835-1902) – nemecký chemik, známy predovšetkým prácou v oblasti stereochemie.

Objavil izoméry kyseliny mliečnej, ako prvý príklad chemických substancií s rovnakým chemickým zložením, ale s rôznymi vlastnosťami.

<sup>31</sup> Parnassus (Parnas), hora v Grécku spojená s viacerými mytologickými postavami, včítane múz. Z tohto dôvodu je často používaný ako metafora pre mystifikáciu.

<sup>32</sup> Van't Hoff a Benfey (1960)

<sup>33</sup> Znak fantazírovania napríklad bol, keď príslušný vedec písal básne, maľoval obrazy, skladal hudbu, a pod.

halucináciami. Príkladmi sú Davy, Descartes, Ampère, či Newton.<sup>34</sup> Van't Hoffov text je zaujímavé čítať až do konca, pretože v posledných pasážach si povzdychol (pripomínam, že sa píše rok 1878) [voľný preklad]: *“Počet vedcov sa zvyšuje. Pôvodne iba veľká motivácia a výnimočná kvalita dokázali adeptovi vedy pomôcť prekonať prekážky na ceste ku vedeckej kariére. Dnes je cesta voľná a dobre prešliapaná. Má to však svoje následky: so zvyšujúcim sa počtom klesá hodnota priemeru. Zriedkavé dary, ako je schopnosť fantazírovať, sa dostávajú do nepriaznivej pozície. Objavy sa dnes dosahujú masovejším štýlom, pripomínajúc systematickú strelbu na pevnosť zo všetkých strán hory namiesto cieleného a účinného útoku aký napríklad využil Napoleon na porážku Britov pri Toulon<sup>35</sup>. Obidve stratégie sú použiteľné, tá prvá je však (okrem elegancie) aj lacnejšia na ľudské a finančné zdroje”*.

Ako uspeje taký človek, akého popisuje van't Hoff v súčasnom prostredí? V prostredí, v ktorom čoraz viac silnie tlak na “využitelnosť” výsledkov, v priamom rozpore z tézou, ktorú prvý krát jasne prezentoval Abraham Flexner<sup>36</sup>, zakladateľ *Institute for Advanced Study* v Princetone. Vo svojej krátkej eseji *The Usefulness of Useless Knowledge*<sup>37</sup> na viacerých príkladoch ilustroval, že technický pokrok je bytostne závislý od výskumu motivovaného zvedavosťou (*curiosity-driven research*) a nie aplikačnými motívmi. Flexnerovi hrdinovia nie sú Marconi a Edison, ale Maxwell a Hertz, ktorí boli hnaní ambíciou po fundamentálnom poznaní.<sup>38</sup> V časti venovanej vzdelávaniu Flexner píše [voľný preklad]: *“Báseň, symfónia, obraz, matematický výrok, nový vedecký fakt, všetky tieto veci sú dostatočným zdôvodnením existencie univerzít a výskumných ústavov.”*<sup>39</sup> Jeho modelom je *Institute for Advanced Studies*, ktorý: *“existuje ako raj pre učencov, ktorí, podobne ako básnici a skladatelia, môžu robiť čo uznajú za vhodné a ktorí dosiahnu najviac v prípade, že je im to umožnené.”*<sup>40</sup>

V dnešnej dobe, v ktorej sa kľúčovými slovami stávajú translačný výskum a prenos poznatkov do praxe (*transfer of knowledge*) sa Flexnerova idea dostáva do defenzívy. Pritom technologické invencie ako polymerázová reťazová reakcia, CRISPR-Cas, či optogenetika by nemohli vzniknúť nebyť výskumu, často pre väčšinovú časť komunity “obskúrnych” organizmov a exotických fenoménov s nimi

---

<sup>34</sup> Fakt, že kreativita má podobný genetický základ ako niektoré patologické mentálne stavy (napr. schizofrénia, manio-depresívne stavy) dokazujú aj recentnejšie experimentálne štúdie (Crespi a kol., 2007; Keller a Visscher, 2015; Power a kol., 2015) a hypotézy (Kováč, 1999; 2008), v ktorých je rozvinutá provokatívna myšlienka: *„The high incidence of both mental disorders (about one per cent of human population each), as well as their apparent polygenic determination, suggest that, as long as the abnormal genes involved in the two psychoses are present in individuals at subthreshold levels, no overt psychopathology becomes manifest. Rather, such individuals may profit from superior social acceptance and enjoy higher Darwinian fitness due to emotional excentricity, which fuels ambitions, strong motivations to work and to display, and exuberant artistic and scientific creativity.“*

<sup>35</sup> Bitka o Toulon (známa tiež ako Obliehanie Toulon (29.8.-19.12.1793), v ktorej Napoleon dokázal poraziť britskú flotilu; víťazstvo dôležité pre kontrolu Stredozemného mora; [https://en.wikipedia.org/wiki/Siege\\_of\\_Toulon](https://en.wikipedia.org/wiki/Siege_of_Toulon))

<sup>36</sup> Abraham Flexner (1866-1959) – podieľal sa na reforme amerického vysokoškolského systému, prvý riaditeľ (1930-1939) *Institute for Advanced Study* v Princetone, ktorý na jeho radu založili súrodenci Bambergerovci (Louis Bamberg a Felix Fuldová). Zaslúžil sa o získanie viacerých renomovaných európskych vedcov (napr. Alberta Einsteina (1933)), ktorí emigrovali z Hitlerom okupovaných krajín. Aj vďaka nemu sa USA stali centrom vedy.

<sup>37</sup> Flexner a Dijkgraaf (2017)

<sup>38</sup> *“Maxwell and Hertz [...] could invent nothing [but] they were geniuses and useful men without thought of use. Marconi was a clever inventor with no thought but use.”*

<sup>39</sup> *“A poem, a symphony, a painting, a mathematical truth, a new scientific fact, all bear in themselves all the justification that universities, colleges, and institutes of research need or require.”*

<sup>40</sup> *“exists as a paradise for scholars who, like poets and musicians, have won the right to do as they please and who accomplish most when they enabled to do so.”*

spojených.<sup>41</sup> Realita je však iná. Flexnerov nasledovník, aktuálny riaditeľ *Institute for Advanced Studies* Robbert Dijkgraaf to sumarizuje vo svojej eseji *The World of Tomorrow*<sup>42</sup> [voľne preložené]: “*Metrika, ktorá je používaná na hodnotenie kvality a impaktu vedeckých projektov - hoci neexistuje všeobecne akceptovateľný model takéhoto merania - systematicky znemožňuje veľké objavy v prospech predikovateľných výsledkov. Tento fetišizmus, posadnutosť číslami, je predovšetkým v spoločenských vedách [...] devastujúci.*”<sup>43</sup> Ako potom pripravovať nových adeptov vedy? Do ideálneho Flexnerovho sveta? Alebo do aktuálnej reality impakt faktorov, h indexov, vedeckých parkov a aplikácií?

S tým súvisí aj ďalší problematický trend: zatiaľ čo v 1950-tych rokoch minulého storočia nastupovalo do prvého ročníka európskych univerzít približne 5 % populácie absolventov stredných škôl, v súčasnosti je to takmer polovica všetkých maturantov. Z elitárskych inštitúcií sa stali továrne na masovú výrobu vysokoškolákov. Univerzitní učitelia riešia ďalšiu didaktickú dilemu, ktorá bola skôr typická pre základné školy: snažiť sa výučbu upraviť prospôsobiť (pod)priemernému študentovi, ktorého úroveň schopností v dôsledku sprístupnenia vysokoškolského štúdia každému, dramaticky klesla? Alebo sa sústrediť iba na tých schopných a motivovaných a počítať s tým, že z toho budú profitovať aj ostatní?

Bez ohľadu na to, či sa absolventov skôr či neskôr rozšíri vedeckú komunitu a zapoja sa do masovej produkcie publikácií, z ktorých väčšina okamihom uverejnenia splní svoju jedinou úlohu: priniesť body do hodnotenia. Je v tejto mase miesto aj pre fantazírujúcich heretikov? Uspel by taký aplikant na pohovore na PhD pozíciu, kde sa očakávajú asertivita a sugestívny prejav, ktoré nemusia byť hlavnými charakteristikami nekonformných ľudí a ktorých fantazírovanie môže byť pre členov prijímacej komisie skôr rušivé? A ak sa aj na dráhu výskumníkov dostanú, nebudú to práve oni, ktorí budú z tlakov na “produktivitu” znechutení a skôr alebo neskôr rezignujú?

Progres vo vede pritom nie je závislý iba od skupiny géniov rúcajúcich khunovské paradigmy, ale aj početnou komunitou talentovaných ľudí, ktorí nové myšlienky rozvíjajú. Už zmieňovaný van't Hoff to ilustroval na príklade dvoch významných prírodovedcov. Konkrétne píše [voľný preklad]<sup>44</sup>: “*Couvier raz porovnal dvoch veľkých chemikov, Vauquelina<sup>45</sup> a Davyho<sup>46</sup>. Napriek všetkým objavom, ktoré Vauquelin urobil, nemôže byť postavený na roveň s Davym. Vauquelinovo meno nájdeme v paragrafoch, Davyho meno je v názvoch kapitol. Vauquelin je pozorovateľ s lampášom, ktorý báda v temných kútoch, Davy je orol, ktorý osvietil celú oblasť fyziky a chémie horiacou pochodňou. Vauquelin v zozname ľudí s imagináciou chýba, Davy, vedec, básnik a vizionár je v ňom jasne prítomný*”.

To, čo sme si doteraz povedali ilustruje neradostnú situáciu. V súčasnom systéme by by mal problém tak Davy, ako aj Vauquelin. Tlačení do rýchloprodukcie

---

<sup>41</sup> Nedávna štúdia ukázala, že cieľené investície do tzv. aplikovaného výskumu nie sú z hľadiska aplikovateľnosti (napr. vo forme patentu) zhodnocované lepšie ako investície do tzv. základného výskumu (Li a kol., 2017).

<sup>42</sup> Flexner a Dijkgraaf (2017)

<sup>43</sup> “*The metrics used to assess the quality and impact of research proposals - even in the absence of a broadly accepted framework for such measurements - systematically undercut path breaking scholarship in favor of more predictable goal-oriented research. This number fetishism comes at a great cost, particularly for the humanities and social sciences, whose subtle, complex values and insights easily become invisible when viewed in this harsh quantitative light.*”

<sup>44</sup> Van 't Hoff a Benfey (1960)

<sup>45</sup> Louis Nicolas Vauquelin (1763-1829) – francúzsky chemik a farmakológ, okrem iného objavil berýlium a chróm.

<sup>46</sup> Sir Humphry Davy (1778-1829) – britský chemik, objaviteľ draslíka, sodíka, vápnika, stroncia, horčíka a iných prvkov; zakladateľ elektrochémie.

nereprodukovateľných výsledkov, špecializovaní na limitovaný repertoár techník a vyhárajúci pod vplyvom devalvácie pojmu excelentný výskum nemáme jasné odpovede na otázky ako najlepšie nastaviť univerzitné vzdelávanie budúcich prírodovedcov a ako dať šancu uspieť Davyom i Vauquelinom.

Ak sa zhodneme na tom, že uvedené otázky sú dôležité pri zamýšľaní sa o budúcnosti (prírodovedného) univerzitného vzdelávania, je pozoruhodné, že “vizionársky” materiál *Učiace sa Slovensko* sa o nich vôbec nezmieňuje. Veľa priestoru je venovaných vnútornému a vonkajšiemu systému zabezpečovania kvality, profesijne zameraným študijným programom, funkčným miestam profesorov a docentov, participácii na projektoch pre prax, atď. Imaginácia sa v 226 stranovom dokumente vyskytuje iba raz (str. 74, 1-16.01 Venovať zvýšenú pozornosť fyzickému prostrediu škôl): “Niektoré priestory vyvolávajú negatívne emócie a umožňujú iba tradičné, frontálne vyučovanie, iné svojím vzhlľadom a flexibilitou priamo provokujú imagináciu a tvorivosť učiteľov aj žiakov”, fantázia úplne chýba, kreativita ako kľúčové slovo sa v časti venovanej vysokým kolám objavuje iba v pasáži o vedeckých parkoch, ktorých “úlohou ... je okrem iného: “... poskytovať prostredie, ktoré zlepšuje kultúru inovácií, kreativity a kvality [...] zameriavať pozornosť na podniky, výskumné inštitúcie, ako aj na ľudí, [...] pracovať v globálnom prostredí a uľahčovať internacionalizáciu svojich domácich spoločností.”

Technokratický charakter takéhoto typu dokumentu je na jednej strane logický, je však na škodu veci, že jeho autori rezignovali aspoň na formulovanie nami diskutovaných otázok. Ak sú však tieto otázky dôležité a zároveň sa nezdá sa, že by tento názor zdieľali aj tvorcovia systému, ako sa v tejto situácii zachovať na úrovni univerzitných katedier?

Takto sformulovaný problém dáva priestor na pozitívne ladenú záverečnú časť. Možno, že odpovede na predchádzajúce otázky uľahčí táto téza: “Samozrejme, v modernej dobe musí škola aj pripravovať na zamestnania, ktoré sú stále náročnejšie na vedomosti, a vedomostí je stále viac. Lenže napĺňanie detských hlávok znalosťami a formovanie profesionálne zdatných odborníkov je iba druhou stranou mince vzdelávania – povedal by som akýmsi samozrejým dôsledkom jej prvej strany, a teda čímsi odvodeným; tou prvou stranou, tvrdím, že dôležitejšou, je vytváranie sebavedomej, silnej a zároveň citlivej a empatickej osobnosti. A tú môže vytvárať len iná silná osobnosť – učiteľ.”<sup>47</sup>

V centre vzdelávania, nielen na základných a stredných školách, ale aj na univerzitách stoja učitelia. A tí majú oproti kolegom na nižších stupňoch jednu obrovskú výhodu: nie sú viazaní žiadnymi centrálnymi stanovenými sylabami, plánmi, nariadeniami. Tá výhoda v sebe skrýva jeden veľký paradox, ktorým je takmer úplná ignorancia kvality pedagogickej práce na univerzitách. Inštitúcie nezaujíma, kto ako učí; podstatné sú opäť iba čísla, počty študentov, či študento-kreditov. To však dáva univerzitným učiteľom úplnú slobodu: môžu experimentovať s formou prednášok, so spôsobom interakcie so študentami na seminároch, na konzultáciách, či neformálnych diskusiách. Môžu slobodne využívať didaktické triky, ktoré objavili ich predchodcovia<sup>48</sup>, alebo vymýšľať nové. Môžu sa so študentmi hrať. Môžu využívať pridanú hodnotu univerzitného prostredia kombinujúceho vedecké bádanie s

---

<sup>47</sup> Kováč (1992; 2009)

<sup>48</sup> Tu sú neobmedzené možnosti; od odporúčani klasikov (Faraday and Bragg, 1974), cez inšpiráciu z kurzov dostupných na internete (<https://www.mooc-list.com>), špecializované monografie a časopisy, ktoré sa venujú didaktickým otázkam na univerzitách všeobecne (Svinicki a kol., 2013), alebo konkrétne výučbe prírodných vied (<http://www.lifescied.org>), po rôzne webové portály, ktoré ponúkajú veľký repertoár možností pre univerzitných pedagógov i študentov (napr. [www.iBiology.org](http://www.iBiology.org); [www.scienceintheclassroom.org](http://www.scienceintheclassroom.org))

pedagogickými aktivitami. Môžu sa nechať inšpirovať úvahami o nutnosti zohľadňovania našej biologickej výbavy a evolučnej histórie s pedagogikou.<sup>49</sup>

Pravdaže, to všetko s podmienkou, že sa akademická pôda znova stane miestom, v ktorom študovať, vzdelávať a bádať je privilégium. Iste, aby sa tak stalo, sú potrebné systémové zmeny. Skúsme nad nimi rozmýšľať. A medzitým, ak nerezignujeme na základné poslanie vzdelania,<sup>47</sup> sa nám snád' podarí prispieť k príprave ľudí ako bol Vauqueline a Davy.

## Literatúra

- Van 't Hoff, J.H., Benfey, O.T. (1960). The role of imagination in science: Van't Hoff's inaugural address. *J. Chem. Educ.* 37, 467–470.
- Alberts, B. (2017). Science for life. *Science* 355, 1353.
- Alberts, B., Kirschner, M.W., Tilghman, S., Varmus, H. (2014). Rescuing US biomedical research from its systemic flaws. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 111, 5773–5777.
- Alberts, B., Kirschner, M.W., Tilghman, S., Varmus, H. (2015). Opinion: Addressing systemic problems in the biomedical research enterprise. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 112, 1912–1913.
- Binswanger, M. (2014). Excellence by nonsense: The competition for publications in modern science. In *Opening Science*, Cham: Springer International Publishing, pp. 49–72.
- Bohannon, J. (2013). Who's afraid of peer review? *Science* 342, 60–65.
- Bush, V. (1945). Science: The endless frontier. A report to the president on a program for postwar scientific research. Reprinted by National Science Foundation, 1960.
- Crespi, B., Summers, K., Dorus, S. (2007). Adaptive evolution of genes underlying schizophrenia. *Proc. R. Soc. London B Biol. Sci.* 274, 2801–2810.
- Faraday, M., Bragg, L. (1974). Advice to Lecturers. The Royal Institution of Great Britain.
- Flexner, A., Dijkgraaf, R. (2017). The Usefulness of Useless Knowledge, with a companion essay by Robbert Dijkgraaf. Princeton University Press.
- Freedman, L.P., Cockburn, I.M., Simcoe, T.S. (2015). The economics of reproducibility in preclinical research. *PLoS Biol.* 13, e1002165.
- Fröhlich, G. (2007). Peer Review und Abweisungsrate: Prestigeschmuck wissenschaftlicher Journale. *Forsch. Und Lehre* 338–339. [cit. v Binswanger, M. (2014)].
- Garraway, L. (2017). Remember why we work on cancer. *Nature* 543, 613–615.
- Harris, R. (2017). Rigor Mortis. How Sloppy Science Creates Worthless Cures, Crushes Hopes, and Wastes Billions. Basic Books.
- Kaelin Jr., G. (2017). Publish houses of brick, not mansions of straw. *Nature* 545, 387.
- Kaiser, J. (2015). The cancer test. *Science* 348, 1411–1413.
- Keller, M.C., Visscher, P.M. (2015). Genetic variation links creativity to psychiatric disorders. *Nat. Neurosci.* 18, 928–929.
- Kováč, L. (1992). Krása a vznešenosť učiteľského povolania. Bradlo, Bratislava.
- Kováč, L. (1995). Biopedagogy: teaching and learning in the optics of cognitive biology. In Stránský, Z. Z. (Ed.) *The University on the Threshold of the New Millennium*. Vol. I. Masaryk University, Brno, pp. 83–88.
- Kováč, L. (1999). Evolutionary primacy of emotions: The brain is a gland and psychoses are emotional derangement. *Abstr. a Lect. Symp. Evol. Theory Psychopathol.* New York.
- Kováč, L. (2008). "Finitics". A plea for biological realism. *EMBO Rep.* 9, 703–708.
- Kováč, L. (2009). Učiteľské povolanie je najkrajším a najvznešenejším. *Učiteľské Noviny* 58, 4–6.
- Kováč, L. (2013). Biopedagogy. *EMBO Rep.* 14, 294.
- Li, D., Azoulay, P., Sampat, B.N. (2017). The applied value of public investments in biomedical research. *Science* 356, 78–81.
- Liessmann, K.P. (2011). *Teorie nevzdělanosti. Omyly společnosti vědění.* Academia, Praha.
- Liessmann, K.P. (2015). *Hodina duchů.* Academia, Praha.
- Mervis, J. (2017). Trump's 2018 budget proposal "devalues" science. *Science* 355, 1246–1247.
- Portin, P., Wilkins, A. (2017). The evolving definition of the term "Gene." *Genetics* 205, 1353–1364.
- Power, R.A., Steinberg, S., Bjornsdottir, G., Rietveld, C.A., Abdellaoui, A., Nivard, M.M., Johannesson, M., Galesloot, T.E., Hottenga, J.J., Willemsen, G., et al. (2015). Polygenic risk scores for schizophrenia and bipolar disorder predict creativity. *Nat. Neurosci.* 18, 953–955.
- Redfield, R.J. (2012). "Why do we have to learn this Stuff?"—A new genetics for 21st century

<sup>49</sup> Kováč (1995; 2013)

- students. *PLoS Biol.* *10*, e1001356.
- Redfield, R.J. (2015). Putting my money where my mouth is: the Useful Genetics project. *Trends Genet.* *31*, 195–200.
- Simkin, M. V, Roychowdhury, V.P. (2003). Read before you cite! *Complex Syst.* *14*, 269–274.
- Six, A. (2008). Schreibkrampf unter Forschern. *Neue Zürcher Zeitung Am Sonntag* 67. [cit. v Binswanger, cit. M. (2014)].
- Smith, M.K., Knight, J.K. (2012). Using the genetics concept assessment to document persistent conceptual difficulties in undergraduate genetics courses. *Genetics* *191*, 21–32.
- Sorokowski, P., Kulczycki, E., Sorokowska, A., Pisanski, K. (2017). Predatory journals recruit fake editor. *Nature* *543*, 481–483.
- Svinicki, M., McKeachie, W., Nicol, D. (2013). *McKeachie's teaching tips : strategies, research, and theory for college and university teachers*. Wadsworth Publishing; 14 edition.
- Tautz, D. (2014). Neuer Turm in Babel? *LaborJournal Online*; [http://www.laborjournal.de/rubric/essays/j\\_03.lasso](http://www.laborjournal.de/rubric/essays/j_03.lasso) cit v *LabTimes* 5/2014, 3.
- Tomáška, L. (2011). Training biology's new romantics. The challenge of educating young biologists to keep up with the pace of modern molecular biology. *EMBO Rep.* *12*, 398–400.
- Tomáška, L. (2017). Vedná politika v prechode. Ako môžu viesť dobre mienené pravidlá k zlyhaniu systému. *Vesmír* *96*, 450–453.
- Zastrow, M. (2014). Science in 2015. *Nature* *517*, 12–13.