

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Petr Štěpánek

Poznámky ke kvantitativním metodám hodnocení vědecké práce

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 20 (1975), No. 2, 94--99

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138559>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1975

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

týkají fundamentálních vlastností a zákonů hmoty. Tento růst však bude nepochybně pokračovat. Můžeme předpokládat, že lidstvo najde nové způsoby řešení rozporu mezi poznaným a ještě nepoznaným; nynější neznalost metody a prostředků nemůže být důvodem, abychom vytyčovali meze poznání.

Postup poznání do nitra hmoty je existenčním problémem lidké civilizace, toho, jaké všeobecné cíle společnost sleduje, jaký hlavní smysl v životě člověka spatřuje. Naše vědomí je svého druhu promítací plocha, kterou si vytvořila hmota k poznání sebe samé. Vycházíme-li z toho, že smyslem lidského bytí je poznání objektivních zákonitostí světa, bude se věda neohraničeně rozvíjet a pronikat do oblastí stále nových jevů a zkoumat hmotu do šíře i do nitra. Úspěšné řešení tohoto problému poznání a ovládnutí přírody vyžaduje takovou organizaci společnosti, která optimálně zajistí prozkoumání přírodních a společenských zákonitostí. Takovou společností může být jen lidstvo, které se sjednotilo na komunistických principech.

Závěrem upozorníme na jeden aktuální sociální problém. Již dnes se věda stává součástí výrobních sil, věcí stále většího počtu lidí. Na zabezpečení vědeckého experimentování se v naší době přímo či nepřímo účastní všichni pracující lidé. Pracující masy jako hlavní výrobní síla společnosti se stávají poprvé v dějinách faktickými účastníky pohybu poznání do nitra hmoty i do rozsáhlých dálek kosmu. To odráží novou etapu narůstání role lidových vrstev v oblasti rozvoje duchovní a s ní také intelektuální činnosti. Přitom má lid vedoucí úlohu v revolučním procesu, který rozrušuje základy kapitalistického vykořisťování a poroby a tím vytváří neohraničené možnosti v poznání a ovládnutí přírodních procesů. Tak se sociální revoluce sjednocuje bezprostředně s technickou a vědeckou revolucí, jak to vyžaduje nejen rozvoj společnosti, ale i poznání, s nimiž je spjat hlavní smysl lidské existence.

---

## diskuse

### Poznámky ke kvantitativním metodám hodnocení vědecké práce

*Petr Štěpánek, Praha*

Problematika zákonitostí a hodnocení vědecké práce nabývá na důležitosti v době rozvíjející se vědeckotechnické revoluce z mnoha přirozených důvodů. Na jedné straně je zde tlak na investice do

výzkumu a s tím související otázka, jak rozdělovat prostředky efektivně, na druhé straně potřeba vhodně využívat morálních i ekonomických stimulů k povzbuzování vědecké práce a v neposlední řadě i otázky postupu v profesionální kariéře. Je zákonité, že výzkum a hodnocení vědecké práce se začíná provádět vědecky na potřebné metodologické úrovni. Prudce se rozvíjí „věda o vědě“, které je věnována zasloužená pozornost ve vyspělých zemích socialistických i kapitalistických. Těmto otázkám je věnována velká řada prací, které se objevují jednak v sociologických a dokumentaristických časopisech, jednak v nově vzniklých specializovaných časopisech (Naukověděnije i informatika, Naučno-techničeskaja informacia apod.). Existuje

i řada monografií počínaje dnes už klasickou knihou D. J. PRICE [17] až k novějším pracím sovětských autorů DOBROVA, NALIMOVA, MULČENKA, KOZAČKOVA a dalších ([7], [11], [19]).

Vědecká práce patří k důležitým úkolům vysokých škol, a je proto třeba, aby i její hodnocení bylo prováděno na vysoké metodologické úrovni. Přitom věda o vědě nabízí dnes nové možnosti a způsoby, jak vědeckou práci hodnotit. Přeceňovat tradiční hlediska a nevyužívat tyto možnosti je dnes již anachronismem, kterým se vyznačuje neodpovědný přístup. Pokusíme se alespoň stručně popsat některé kvantitativní metody hodnocení produktivity, kvality a efektivnosti (nákladů) vědecké práce.

#### **a — hodnocení produktivity vědecké práce**

Vědecká produkce mívá různé formy, z nichž k nejdůležitějším bezesporu patří publikační činnost. Teprve zveřejněním získává vědecký výsledek svou pravou hodnotu, může být studován, podroben kritice, využíván a může se stát i východiskem k dalšímu výzkumu. Vědecká práce, která přináší nové výsledky, se nakonec vždy projeví v publikacích. To je jeden z rozdílů, jimiž se vědecká práce liší od práce odborné. Výrobně hospodářská činnost, která ani v delším časovém období nepřinese publikovatelné výsledky, může být velmi užitečná, ale není důvodu považovat ji za práci vědeckou.

Pro potřeby hodnocení je účelné rozdělit publikace podle druhu, obvykle na

- vědecké práce časopisecké
- přehledné články (review articles)
- monografie
- učebnice a skripta

– práce metodického charakteru

– výzkumné zprávy a patenty

Počet publikací a jejich rozložení v čase je důležitou kvantitativní veličinou při hodnocení produktivity vědecké práce. Zde se ovšem dostáváme do oblasti působnosti tzv. Lotkova zákona ([16]), který lze formulovat takto: počet autorů, kteří publikovali k danému tématu nebo v daném oboru v určité periodě  $p$  prací, je úměrný veličině  $1/p^2$ . Jinými slovy na 100 autorů jediné práce jest pouze jeden autor desíti prací. Pozdější výzkumy ukázaly, že koeficient mocniny závisí na „otevřenosti“ zkoumané populace. Koeficient rovný dvěma odpovídá otevřeným populacím (mezinárodní časopisy, světová vědecká produkce). U národních populací se hodnota koeficientu blíží k číslu 1,5 a v uzavřených populacích, např. vědeckých institucí, má hodnotu přibližně 1, (tedy na sto autorů jediné práce je deset autorů deseti prací). Byly konstatovány i určité změny koeficientu pro různé vědní obory, ale to v těchto souvislostech není podstatné. Počet publikací jako míra produktivity vědecké práce dává možnost srovnávání a hodnocení v produktivní části populace (která ovšem může tvořit jen menší část). Hyperbolické rozložení počtu autorů podle počtu publikovaných prací naznačuje, že můžeme očekávat i vysoké procento pracovníků ústavů nebo vysokých škol, kteří ve zkoumaném období nepublikovali, případně nepublikovali vůbec. I když je to skutečnost na první pohled zarážející, je třeba s ní počítat. Práce, které mají více autorů se při hodnocení někdy započítávají jen příslušným zlomkem podle počtu spoluautorů. Tato metoda vede k rozlišení především v těch oborech vědy, kde vzrůstá počet spoluautorů jedné práce. V matematice, kde zatím většina prací má jediného autora

(průměrná hodnota 1,2 autora na jednu práci), nezískáme tímto postupem výrazně odlišné výsledky, i když u jednotlivců se mohou údaje dosti lišit. Bylo by možné zavést i další hlediska pro hodnocení publikační činnosti, zda práce byla publikována v domácích nebo zahraničním časopise, jazyk v němž byla otištěna, kvalitu časopisu a podobná méně formální kritéria. Jejich význam ovšem nelze přeceňovat, jsou vhodná spíše pro dokreslení.

Vztah věku a produktivity bývá jednou z častých námitek proti porovnávání údajů o publikační činnosti. Obecně bývá přijímán názor, že produktivita měřená např. počtem publikací za rok má jednoduchý průběh, do určité doby stoupá a po dosažení vrcholu nastává trvalý pokles. Výzkumy zaměřené na tyto otázky danou hypotézu nepotvrzují. Z tohoto hlediska je zajímavá práce [14], která zahrnuje údaje z oblasti matematiky. Na materiálu získaném z bibliografických údajů Matematického ústavu ČSAV v Praze bylo zjištěno, že průměrný počet prací publikovaných za rok roste od počáteční hodnoty 0,5 ve věku 23 let k prvnímu maximu 2 práce za rok po dosažení 30 let. Potom klesá na hodnotu 1 kolem věku 35 let a znovu roste ke druhému a třetímu maximu (2 práce za rok) v období kolem 38 a 40 let. Po nižší periodě (1 práce) kolem 45 let roste k absolutnímu maximu ve věku 48 let. Vysoká produktivnost, měřená počtem publikací za rok je tedy i při jistém kolísání rozdělena do časového intervalu 25–30 let. Dá se očekávat, že po zveřejnění bibliografických údajů matematickofyzikální fakulty UK z let 1953–1973 nebude mezi údaji v Akademii a na univerzitě podstatný rozdíl. Homogenní věková struktura naší matematiky, kdy naprostá většina pracovníků je mladší padesáti let, dává tedy dobré možnosti i pro kvantitativní srovnání.

## **b — hodnocení kvality vědecké práce — citační index**

Vedle počtu publikací bývá hodnocen i ohlas na publikované práce, který se užívá jako míra vhodná k posouzení kvality a podnětnosti jednotlivých prací. Základní formou ohlasu (již dříve užívanou k hodnocení) jsou citace v knihách a především v časopisech. K nim se řadí i další, méně formální charakteristiky jako jsou pozvání na konference (invited lectures), udělené vědecké ceny a odměny, čestné tituly, členství v zahraničních a domácích vědeckých společnostech apod.

Radikální zlom v oblasti bibliometrie i hodnocení ohlasu znamená založení SCIENCE CITATION INDEX (SCI) v roce 1964. SCI se osvědčil jako užitečná pomůcka pro bibliografii a užívá se jej i v dalších oblastech, zejména v sociologii vědy. Dnes existuje již velmi rozsáhlá literatura o SCI ([2]); základní funkce SCI byla u nás popsána v pracích [5], [6]. Podle údajů zpracovaných vydavatelem vzrostl počet zpracovávaných časopisů z 1 146 titulů v roce 1965 na 2 180 titulů v roce 1969. V roce 1972 dosahuje kolem 2 300 titulů. Rozdělení časopisů podle jednotlivých zemí odpovídá podílu na světovém produktu. Československo je zastoupeno jedním procentem, tj. asi 22 časopisy. Z matematických časopisů vydávaných u nás jsou zpracovávány Czech. Math. Journal a Acta Univ. Car. serie A. V letech 1964–1969 byly zpracovány citace ve více než 69 tisících jednotlivých číslech časopisů s 1,5 miliónem článků, které obsahovaly 16,8 miliónu citací (tedy průměrně deset citací na jeden článek). Z toho bylo 13,1 miliónu citací na články v časopisech, 98 tisíc na patenty a 3,5 miliónu na ostatní práce. Uvedené citace se

týkaly 6,4 miliónu různých děl vědecké literatury. Ještě v počátečním stadiu, kdy SCI pokrýval jenom 2–3% veškerých vědeckých a technických časopisů, se ukázalo, že SCI obsahuje plnou polovinu odkazů k danému tématu, zatímco tradiční referativní periodika, která mají daleko lepší zdroje, poskytují obvykle jen 65% existujících publikací. Pozdější zkušenosti ukazují, že procento, které je možno získat užitím SCI je mnohem vyšší (kolem 90%). Citované práce jsou v SCI uváděny podle prvního autora, podobně i práce, v nichž je citováno. Tím je dána určitá systematická chyba (podrobněji viz [2], [12]). Plný název práce a ostatní spoluautoři je možno vyhledat v jiném oddílu SCI, a tím tuto chybu korigovat.

Data poskytnutá SCI doplnila údaje o rychlosti stárnutí vědecké informace. Polovina citací v SCI připadá na práce starší 5 let a 35% na práce starší 10 let. K podobným údajům se dochází i v práci [3] rozbořením citací v časopise *Physical Review*: 70% citací na práce z posledních 5 let, 17% na práce od 6 do 10 let a devět procent na práce staré 11–20 let. Zbývají 4% na práce ještě starší. Autoři práce [3] vycházejí z názoru, že citování práce po větším časovém intervalu ukazuje na její větší význam. Užívají proto systému vážených citací, kde práce do 5 let jsou jednotkou, 1 citace na práce staré 6 až 10 let = 4 jednotky, 1 citace na práci starou 11–20 let = 8 jednotek a 1 citace na práci starší 20 let = 17 jednotek. Na skupině 120 fyziků univerzitního směru potom zkoumají vztah mezi počtem publikací jako mírou produktivity a citačním indexem jako mírou kvality vědecké práce na jedné straně k dalším měřítkům – udělené vědecké ceny, prestiž zaměstnávající instituce, nejvyšší hodnosti a ještě k dalším dvěma veličinám zavedeným pro

tento účel, k tzv. sociální viditelnosti a reputační viditelnosti.

Dotazníkem zasláným 2 000 fyzikům se zjišťovalo, které ze skupiny 120 fyziků znají, u kterých znají práce atd. Sociální viditelnost se měří počtem těch fyziků-respondentů, kteří daného fyzika znají. Reputační viditelnost je dána procentem těch respondentů, kteří daného fyzika znají ve skupině těch, kteří neznají jeho práce přímo. Rozbor získaných údajů ukazuje, že citační index významně pozitivně koreluje s ostatními charakteristikami uznání vědecké práce i s mírou reputační a sociální viditelnosti. Samotný počet prací se ukázal v těchto souvislostech nevýznamný.

Provádějí se výzkumy, jak využít citačního indexu k odhadu vědecké produktivity, ke hledání objektivní míry tvůrčích schopností a oceňování výsledků vědecké práce ([1], [4], [7], [8], [10], [13]). Zmínku si zaslouží i provedené studium citačních vazeb s cílem rozlišit díla vysoce a méně vědecká, práce technické a práce nevědecké ([18]). SCI byl užít i ke studiu vazeb mezi základním a aplikovaným výzkumem ([9]). Chceme-li využít SCI k hodnocení vědecké práce, musíme si uvědomit základní fakt, že od okamžiku, kdy je určitá práce publikována, bude třeba určitého časového odstupu k tomu, aby byla citována. Z údajů o stáří citovaných prací které jsme uvedli a z dalších výzkumů vyplývá, že existuje určitý časový interval (pro různé obory různý), v němž je nejpravděpodobnější, že daná práce bude citována. V literatuře se uvádí údaj 3 roky po publikování. To znamená, že na rozdíl od počtu publikací nebo prací daných do tisku, který charakterizuje produktivitu v určitém období prakticky hned po jeho skončení, citační index charakterizuje kvalitu vědecké práce s časovým odstupem

několika let a je vhodný k měření ohlasu prací z delšího časového období. Je dobře připomenout, že citovány jsou opět jen publikace, rozložení citačního indexu je tedy primárně ovlivňováno Lotkovým zákonem. Za předpokladu, že kvalita je nezávislá na počtu prací jednoho pracovníka, můžeme očekávat prudký pokles počtu pracovníků s minimálním citačním indexem 1 ke skupině s citačním indexem více než 5 nebo více než 10. Přitom velké procento populace může mít citační index 0.

Od založení SCI je jeho analýze věnováno velké množství prací, celé odstavce i kapitoly v monografiích o výzkumu vědy kvantitativními metodami (např. [2], [11]). Je vhodné připomenout, že prezidium ČSAV uložilo svým ústavům, aby při hodnocení vědecké práce užívaly citačního indexu. Vedle možnosti, které dává bibliometrii a sociologii vědy, je SCI též výbornou pomůckou při studiu literatury. Všechny dosud vyšlé ročníky jsou dostupné v Univerzitní knihovně, ve Státní technické knihovně nebo v Základní knihovně ČSAV v budově prezidia na Národní třídě v Praze.

### **c — měření efektivity vědecké práce — náklady**

V poslední době se ve světě i u nás setkáváme s pokusy hodnotit efektivnost vědeckého výzkumu. Jednou z užívaných veličin je tzv. průměrný náklad na jednu primární publikaci. Ukázalo se, že pro určitý obor vědy je možno — na základě rozsáhlejšího výzkumu — stanovit poměrně spolehlivý odhad pro průměrnou cenu jedné primární publikace. Na základě průzkumu provedeného v ČSAV bylo zjištěno, že např. v biologických vědách

činil průměrný náklad asi 50 000 Kčs na jednu primární publikaci, v Matematickém ústavu to byla částka asi 17 000 Kčs. I když by se na první pohled zdálo, že převážná část této částky bude dána (především na experimentálních pracovištích) náklady na zařízení, materiály a energii, jsou to naopak mzdové náklady na práci vědeckých pracovníků a laborantů, které tvoří více než polovinu nákladů. Přitom porovnání výsledků jednotlivých pracovišť téhož oboru může podat zajímavá srovnání. Na pracovištích experimentálního výzkumu jsou s tímto způsobem měření efektivity vcelku dobré zkušenosti.

### **Závěr**

Nakonec ještě poznámku o problému oceňování a motivace, který s problémem hodnocení vědecké práce úzce souvisí. Ocenění a uznání výsledků vědecké práce je významným stimulem k rozvíjení a pokračování ve vědecké práci. Má velký význam zejména pro mladé začínající vědecké pracovníky. Výzkumy ukazují ([3], [13]), že pozitivní přijetí výsledků vědecké práce již v době studia nebo v počátcích vědecké dráhy pozitivně ovlivňuje další produktivní práci ve vědě. Pracovníci, kteří dosáhli v počátcích své kariéry dobrých vědeckých výsledků a jejichž vědecké práci se dostalo pozornosti, dosahují velmi dobrých výsledků a jsou produktivní i v pozdějším věku. Naopak pracovníci, kteří v počátcích své odborné dráhy nedosáhli vlastních výsledků nebo jejichž práci se nedostalo vhodného ocenění, mají i později nižší vědeckou produkci nebo ztrácejí o vědeckou práci zájem vůbec. I když nejde o jednoduchý kauzální

vztah, svědčí tato skutečnost ve prospěch pozitivní motivace k vědecké práci.

Rozsáhlé výzkumy věnované problémům vědecké práce ukazují, že kvantitativní metody mají velký význam pro hodnocení vědecké práce. Jako nejdůležitější se ukázaly základní dvě veličiny — počet publikací za dané období jako míra produktivity a citační index jako míra kvality vědecké práce. Tyto dvě veličiny jsou v dobré shodě s ostatními způsoby hodnocení, které si zachovávají svůj význam při podrobnějším rozboru a pro dokreslení.

### Poděkování

*Rád bych poděkoval doc. Dr. K. Berkovi CSc. a ing. J. Vlachému z Ústavu pro filosofii a sociologii ČSAV za množství cenných podnětů, které mi velmi pomohly při psaní tohoto článku. Autor.*

### Literatura

- [1] A. E. BAYER, J. FOLGER, *Some correlates of a citation measure of productivity in science*, *Sociology of Education* 38 (1966), 382—390.
- [2] *Bibliography on citation indexing and Science citation index*, *SCI guide and Journal list*, *Inst. Sci. Inf. Philadelphia (Penn.)* (1971), 18—22
- [3] S. COLE, J. COLE, *Scientific output and recognition — a study in the operation of the reward system in science*, *Am. Soc. Rev.* 32 (1967), 377—390
- [4] L. CRANBERG, *Citations and evaluations*, *Physics Today* 22 (1969), 15
- [5] J. ČERMÁKOVÁ, *Science citation index — interdisciplinární průvodce světovou literaturou vědních oborů*, *Zprávy ČSAV* (1972), 65—71
- [6] J. ČERMÁKOVÁ, *Science citation index — mezinárodní interdisciplinární rejstřík vědecké a technické literatury*, *Vědecké informace ČSAV* 9 (1972) č. 1—4
- [7] G. M. DOBROV, *Nauka o nauce* 2. vydání, *Naukovaja dumka*, Kijev (1970) (1. vydání vyšlo česky Svoboda (1968))
- [8] E. GARFIELD, *ISI's Who is publishing in Science (WIPIS) offers instant acces to research and research workers worldwide*, *Current Contents* (1972) č. 21, 5—7
- [9] E. GARFIELD, *Relationship between basic and applied research illustrated by SCI case study in aenesthesiology*, *Current Contents* (1971) č. 38, 5
- [10] J. MARGOLIS, *Citation indexing and evaluation of scientific papers*, *Science* 155 (1967), 1213—1219
- [11] V. V. NALIMOV, Z. M. MULČENKO, *Naukometrija*, *Nauka*, Moskva (1969)
- [12] *Science citation index 1964—1971 comparative statistical summary*, *SCI guide and Journal List*, *Inst. Sci. Inf. Philadelphia (Penn.)* (1972)
- [13] R. F. VASILEV, *O količestvě publikacij i častotě citirovanija kak naukometričeskich ukazatel'jach*, *Matěrialy k Simpoziumu Issledovanija operacij i analiz razvitija nauki*, Tom 1, *Nauka* (1967), Moskva, 60—70
- [14] J. VLACHÝ, *Remarks on the Productive Age*, *Teorie a metoda* 2 (1970), 121—150
- [15] J. VLACHÝ, *Význam Science citation index pro bibliometrii*, *Vědecké informace ČSAV* (1973) č. 1, 11—20
- [16] A. J. LOTKA, *The frequency Distribution of Scientific Productivity*, *J. Wash. Acad. Sci.* 16 (1926), 317—323
- [17] D. J. PRICE, *Little Science, Big Science*, *Columbia Univ. Press*, N. Y., London (1963)
- [18] D. J. PRICE, *Citation measures of hard science, soft science, Technology and non-science*, *Communication among Scientists and Engineers* (ed. C. E. NELSON, D. K. POLLOCK), D. C. Heath and Co., Lexington, Massachussets (1970), 3—22
- [19] L. S. KOZAČKOV, *Informacionnyje processy v nauke*, *Naukovaja dumka*, Kijev (1973)

---

*Nejdřív dohad, potom důkaz — to je cesta matematických objevů.*

G. PÓLYA

---