

## CHEMICKÝ PRŮMYSL

### OCENĚNÍ INOVAČNÍHO POTENCIÁLU NOVÝCH MATERIÁLŮ

JAN VLACHÝ

Ústav ekonomiky a managementu, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Jankovcova 23, 170 00 Praha 7, Česká republika  
jan.vlachy@vscht.cz

Došlo 8.4.22, přijato 3.5.22.

Klíčová slova: oceňování technologií, inovační management, průmysl nanotechnologií, statistické simulace, reálné opce

• <https://doi.org/10.54779/chl20220432>

#### 1. Úvod

Významným prvkem produktové inovace v řadě odvětví je využívání nově vyvinutých materiálů s odlišnými vlastnostmi oproti tradičním výrobkům. Klasickým příkladem jsou Wichterleho měkké kontaktní čočky<sup>1</sup>, v současnosti je možné sledovat zvýšený zájem o inovace v materiálovém složení elektrických článků<sup>2</sup>. Další perspektivní oblastí vývoje, kterou mezi své priority v oblasti „Key Enabling Technologies“<sup>3</sup> zařadila i Evropská unie v programu Horizon 2020, jsou nanotechnologie, obecně – i když ne zcela ustáleně – charakterizované<sup>4</sup> využitím materiálů s obsahem částic a struktur s minimálně jedním z prostorových rozměrů v rozpětí 1 až 100 nm. Nanotechnologie mají velmi široký záběr, jak z hlediska materiálového, tak aplikačního, sahající od textilního průmyslu<sup>5</sup> až po medicínu<sup>6</sup>.

Z ekonomického pohledu představuje využití nanomateriálů zajímavý – a do určité míry zobecnitelný – případ inovace, kde je nutné rozhodovat o značných počátečních investicích do výzkumu, vývoje a výroby, načež bude kvalitativně odlišný výrobek vstupovat na trh s dosud neznámými poptávkovými a cenovými parametry. Jde tedy o situaci, kdy není produkt umisťován do existujícího tržního prostoru, ale produkt si musí svůj trh vytvořit<sup>7</sup>. Současně s tím se dynamicky vyvíjí i stav a využití výrobních kapacit nanomateriálů, které jsou v těchto produktech využívány. Meziroční odhady růstu globální poptávky po nanomateriálech se pohybují nad 20 procenty; ani zdaleka však nejde o sourodý trh, jedná se o stovky různých materiálů, lišících se kromě chemického složení i tvarem, členi-

ností nebo homogenitou nanosložky<sup>8</sup>, přičemž každý z těchto detailů může mít dramatický dopad na funkční charakteristiku konečného výrobku, ale současně i na cenu daného nanomateriálu. V červenci 2020 tak například jediný výrobce (Merck) nabízel různé formy nanočástic stříbra v cenovém rozmezí od 95 do 7100 € (v přepočtu na objem 25 ml)<sup>9</sup>.

V tradičních odvětvích se rozhodování o zásadních investicích nebo oceňování zpravidla<sup>10,11</sup> odvíjí od prognóz klíčových ekonomických ukazatelů včetně cen vstupů a výstupů nebo poptávky, založených především na extrapolaci historických dat<sup>12</sup>. Jiná je ovšem situace v inovativních odvětvích<sup>13</sup>, kde jsou predikce zatížené značnou mírou nejistoty vnitřních i vnějších procesů, a často ani není možné vycházet z relevantních etalonů hodnoty, protože odpovídající zdroj nebo výrobek se dosud na trhu nenachází.

Cílem článku je proto představit řešení problému investičního rozhodování v inovačním odvětví pomocí komplexního ekonomického modelu. Je založeno na unikátní kombinaci několika analytických metod. V principu jde o problém optimální strategie produktového portfolia z pohledu výrobce nanomateriálu, přičemž dochází k odhadu vstupních poptávkových parametrů kombinací simulace vývoje konkurenčních tržních cen a rekurzivního výpočtu etalonových hodnot pomocí modelu oceňování nákladů životního cyklu.

Článek vychází z výsledků řešení projektu Sustainable Hydrothermal Manufacturing of Nanomaterials<sup>14</sup>, realizovaného v rámci 7. Rámcového programu pro výzkum a technologický rozvoj EU, který se zabýval výzkumem, vývojem a využitím nových materiálových technologií, a jmenovitě jeho 6. pracovního balíčku zaměřeného na komplexní hodnocení ekonomických dopadů, přičemž výzkum v této oblasti pokračoval i po skončení projektu. Ve zkrácené a předběžné podobě byl výsledek formou abstraktu prezentován na konferenci ICCT 2019.

#### 2. Vymezení problému a jeho řešení

Je posuzována udržitelnost investice do výrobního zařízení, které umožní průmyslovou produkci širokého spektra nanomateriálů. Jeho patentovaná, ale dosud nevyužívaná technologie<sup>15</sup> je charakteristická jedinečnou mírou flexibility na výstupu a ekonomik z rozsahu. Bez zásadních technologických změn má být zařízení schopné vyrábět sloučeniny různého složení i charakterizace, a to včetně materiálů s vysokou přidanou hodnotou, které se jinak vyrábějí poměrně neefektivními laboratorními postupy<sup>16</sup>. Jiné z těchto látek se naopak běžně nakupují u průmyslových dodavatelů od výrobců, využívajících různé jednodušší technologie, a dají se proto považovat za komodity<sup>17</sup>.

Kromě provozních rizik, daných novostí technologie v průmyslovém využití, je jakákoliv prognóza zatížena velmi významnými nejistotami na straně poptávky. Ta je způsobena jednak potenciální dostupností materiálových substitutů vyrobených investičně méně náročnými technologiemi, a jednak tržním uplatněním a funkčností konečných nově vyvíjených výrobků, využívajících nanomateriály.

Použitý model vychází z následujících komponent: Kalkulační model slouží k optimalizaci a ocenění produktového portfolia ve výrobě nanomateriálů (v původním projektu byl určen i k algoritmickejšímu objednávkovému postupu ve výrobě), LCC (Life Cycle Cost) model slouží k odhadu hodnot nanomateriálů na základě cen výrobních substitutů. Ke kvantitativnímu řešení modelu pak slouží dva nástroje: citlivostní analýza a statistický simulační model. Každý z těchto prvků zde popíšeme podrobněji.

### 2.1. Aplikace kalkulačního modelu

Průmyslové výrobní zařízení má být schopno produkovat určitou množinu chemických sloučenin v libovolné struktuře. Výroba je sekvenční, reagující na aktuální objednávky, z technologických důvodů se nedrží zásoby finálního produktu. Náklady na změnu produkce předpokládáme nepatrné (vyčištění zařízení průtokem vody, kontrola, časový prostoj). Maximální celková roční výrobní kapacita  $V$  je daná konstrukčním návrhem a bez výrazných dodatečných investičních nákladů ji nebude možné dodatečně měnit.

Z ekonomického hlediska lze každý z možných výrobních nanomateriálů (produktů) charakterizovat jedním z typů, ilustrovaných na obr. 1.

Pro každý produkt  $i$  známe výši přímých nákladů  $C_i$  (jde zejména o cenu surovin a energie), nepřímé náklady  $^F C$  jsou alokovány na plnou kapacitu výrobního zařízení. Parametr tržní ceny  $P_i$  kalibrujeme vůči skutečným tržním cenám konkurenčních výrobců daného nanomateriálu, případně – pokud takové ceny neexistují – jako etalonové hodnoty, odvozené z modelu LCC, popsáno v části 2.2.

Při rozhodování o výrobě konkrétních nanomateriálů používáme standardní kalkulační kritéria<sup>18</sup>: Výroba produktu typu A je – za předpokladu odpovídající tržní po-

ptávky – efektivní vždy, a to až do výše celkové výrobní kapacity. Výroba produktu typu C není efektivní nikdy. Produkt B může být efektivní vyrábět, ale pouze tehdy, pokud se tím dosáhne naplnění výrobní kapacity v kombinaci s produktem A, (tzn.  $V = V_A + V_B$ ), a to minimálně v poměru, který zajistí krytí nepřímých nákladů; musí tedy být splněna nerovnost (1).

$$(P_B - C_B) V_B + (P_A - C_A) V_A > ^F C \quad (1)$$

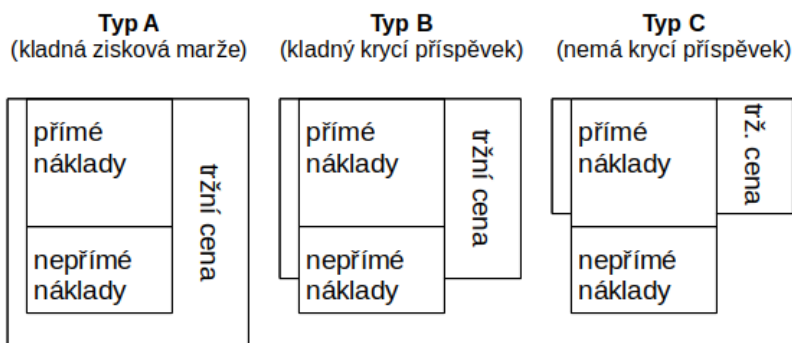
Při řešení modelu je dále nutné pracovat s poptávkovými omezeními, protože projektovaná výrobní kapacita posuzovaného zařízení u některých z potenciálně vyráběných materiálů i velmi výrazně převyšuje aktuální celosvětovou spotřebu. Tato omezení jsou stanovena přímo, odhadem poptávky, nebo je jejich relevance testována hraničními předpoklady, vyplývajícími z citlivostních analýz (viz část 2.3.).

### 2.2. Aplikace modelu LCC

U materiálů s inovačním potenciálem někdy není možné kalibrovat tržní cenu vůči relevantním tržním cenám konkurenčního produktu, ať už proto, že se na trhu v dané specifikaci vůbec nenachází, nebo proto, že se dosud nabízí v řádově nižších objemech, daných možnostmi odlišných výrobních technologií. I tehdy je ale nutné posuzovat jejich výhledový tržní potenciál, daný nově vyvíjenými aplikacemi.

Lze předpokládat, že takové aplikace budou – přinejmenším dočasně – vyvíjeny v synergii s vývojem materiálů samých (s touto vizí bylo složeno i konsorcium původního výzkumného projektu<sup>14</sup>), a pracovní je tedy jejich ocenění v modelu možné chápat i jako transferovou cenu<sup>17</sup>. Kalibraci pak provádíme pomocí specifické aplikace modelu oceňování nákladů životního cyklu konečného výrobku, využívajícího danou materiálovou inovaci.

Modely oceňování nákladů životního cyklu (LCC) jsou v praxi využívány v řadě různých souvislostí<sup>19–21</sup> a obecně je pro ně charakteristický převod nákladů na funkční jednotku<sup>22</sup>, což je pro řešení tohoto problému obzvláště výhodné. Inovatívni výrobky se totiž od tradičních zpravidla neodlišují jen dobou životnosti nebo strukturou nákladů na údržbu, ale například i účinností.



Obr. 1. Charakteristika produktových typů

Aplikaci LCC představuje třístupňový model, zahrnující fázi výroby nanomateriálu (ve které používáme kalkulační model, popsáný v části 2.1.), fázi výroby inovativního konečného výrobku a fázi používání tohoto výrobku, jak ukazuje obr. 2. Funkční jednotku je přitom možné vztáhnout k existujícímu (tradičnímu) výrobku, splňujícímu stejný nebo obdobný účel, ale i k jakémukoliv jiné ocenitelné formě uspokojování dané potřeby. Na obrázku je takový etalon označen jako výrobek E.

Cenový etalon pro každý z uvažovaných nanomateriálů pro výrobu pak může být stanoven přímo z trhu (jako  $^X P$ ) nebo rekurzivně z ceny alternativního výrobku (jako  $^Y P$ ). Konkrétní posuzované případy se vyznačují různými strukturami nákladů a hodnoceného užítka ve fázích výroby i užití konečného výrobku. Obecně jde o rozdíly ve výrobních nákladech, době životnosti, míře užítosti a nákladech na provoz (energie, údržba apod.), včetně jejich časové struktury. Ty je nutné posuzovat za normalizovanou jednotku času, což řešíme kalkulací ekvivalentní anuity s využitím spojitého úročení<sup>23</sup>.

Výsledný vzorec pro odhad tržní ceny na základě etalonu v jednom z použitých případů uvádíme pro ilustraci jako vztah (2).

Hledáme zde mezní tržně uplatnitelnou hodnotu inovativního výrobku  $^N P$  na základě ceny etalonu  $^E P$ , přičemž  $T(N)$  a  $T(E)$  jsou jejich očekávané životnosti,  $S$  je náklad na substituci výrobku u koncového uživatele,  $dC$  je rozdíl ve výrobních nákladech mezi  $N$  a  $E$ ,  $m$  hmotnost nanomateriálu, potřebného pro produkci výrobku  $N$ ,  $^N R$  je poměr výkonnosti výrobku  $N$  oproti  $E$  a  $r$  je diskontní míra (ve spojitém vyjádření).

### 2.3. Aplikace citlivostní analýzy

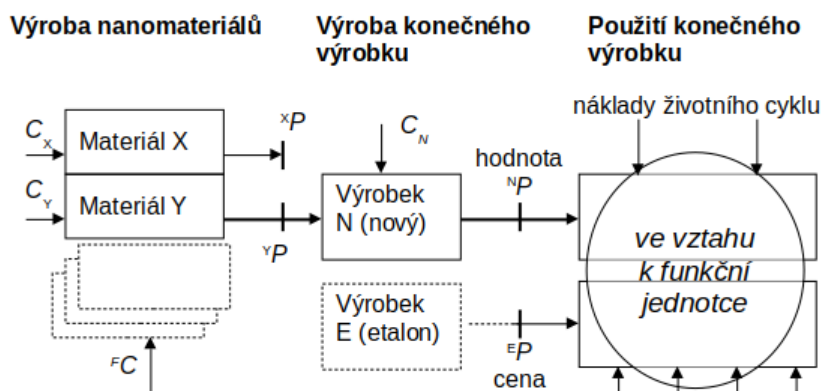
Hlavním rizikovým faktorem uvažovaného výrobního zařízení je tržní poptávka po jednotlivých nanomateriálech, přičemž proměnnou, která v modelu poptávku vyjadřuje, je očekávaná tržní cena (srov.<sup>24</sup>). Pokud by se model řešil deterministicky, tzn. s využitím konstantních hodnot odhadnutých cen, výsledkem by bylo zjištění, zda existuje nebo neexistuje produktové portfolio nanomateriálů, při kterém dosahuje čistá současná hodnota výrobního zařízení bodu zvratu. To by mohlo být za určitých okolností triviální zjištění (zejm. pokud by byl identifikován alespoň jeden nanomateriál typu A s agregátní poptávkou pokrývající kapacitu výrobního zařízení, nebo pokud by naopak neexistoval žádný nanomateriál typu A).

Systém, obsahující značnou míru cenové nejistoty, jak na straně ocenění nanomateriálů, tak koncových výrobků, se ovšem takto deterministicky nechová. Jednotlivé nanomateriály si nemusejí v čase podržet své výchozí ekonomické charakteristiky, typ A se tak může změnit na typ B nebo i C, a naopak. Toto chování vyjadřuje v modelu matice citlivostních průběhů, charakterizující možné budoucí změny tržních cen konkurenčních materiálů  $^X P_i$  a koncových produktů  $^E P_j$ .

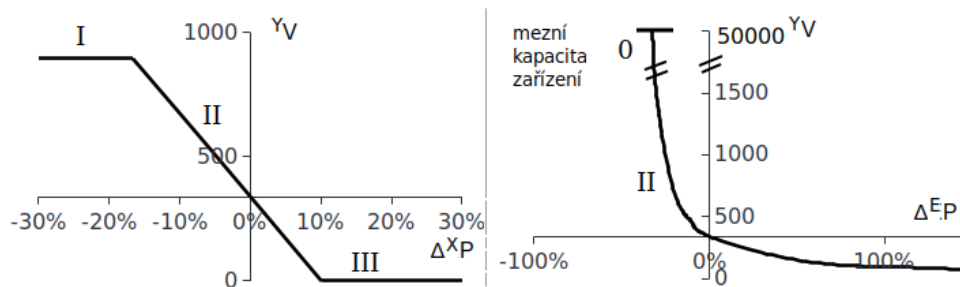
Charakteristický výsledek citlivostní analýzy znázorňují grafy na obr. 3. Jde o řešení problému algoritmicke využití výrobního zařízení, pokud je v určitém okamžiku třeba volit mezi výrobou komoditního nanomateriálu X (aktuálně typu B, se známou tržní cenou  $^X P$ ) a výrobou nanomateriálu Y typu A, jehož poptávka je omezena na speciální využití a je oceněn hodnotou  $^Y P$  implicitně pomocí modelu LCC.

Obě funkce, které jsou v daném znázornění kolmými řezy třírozměrné funkce v počátečním bodě, vyplývají z iterativního řešení rovnic (1) a (2) a jejich výsledkem je

$$^N P \geq [(^E P + S e^{-T(E)r}) (1 - e^{-T(N)r}) (1 + ^N R) / (1 - e^{-T(E)r}) - ^E P - dC - S e^{-T(N)r}] / m \quad (2)$$



Obr. 2. Schéma odvození hodnoty vyráběného materiálu v modelu LCC



Obr. 3. Citlivostní analýza objemu výroby v závislosti na cenách materiálů

vždy bod zvratu pro minimální objem výroby nanomateriálu Y. Ten v intervalu, blízkém počátečnímu stavu a označeném II, roste při růstu ceny  $X^P$ , ale i hodnoty  $Y^P$ . Mimo něj (a v rámci poptávkového omezení) se však charakteristika mění. Rostoucí tržní cena materiálu X (který se posléze stává typem A) může v intervalu III zcela vyloučit potřebu výroby materiálu Y. Klesající cena do intervalu I z něj naopak udělá výrobně zcela neefektivní typ C, načež by se vyráběl pouze materiál Y a nebyla by využita celá výrobní kapacita zařízení. Současně ovšem působí faktor, patrný z druhé funkce. Nižší cena etalonového výrobku E snižuje disponibilní krycí příspěvek materiálu Y, kterého tak musí být na úkor materiálu X vyráběno stále více, dokud není vyčerpána kapacita výrobního zařízení nebo poptávkové omezení materiálu Y, čímž se zařízení stane v intervalu 0 nerentabilním.

### 3. Výsledky a diskuse

Uvedené komponenty jsou součástí statistického simulačního modelu, který pro každý nanomateriál generuje vývoj tržní ceny nebo etalonové hodnoty výrobního

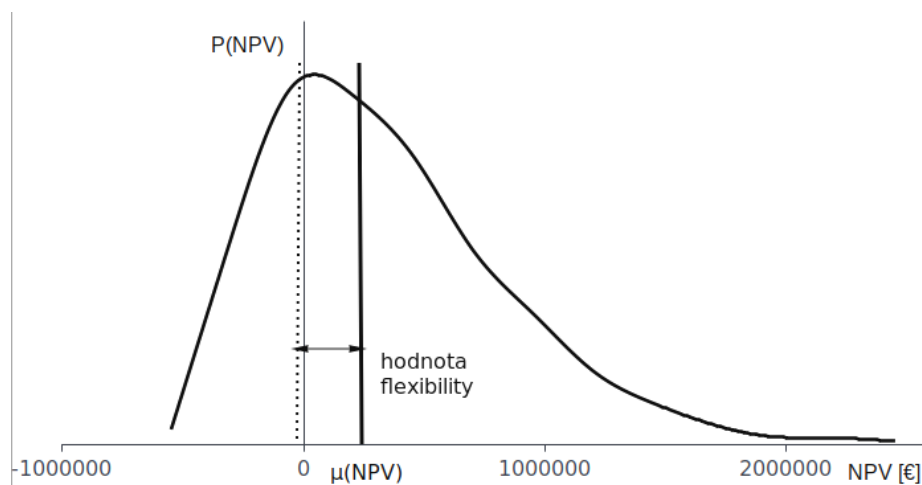
substitutu v čase. V každém scénáři dochází k alokaci výrobní kapacity tak, aby byl v čase  $t$  optimalizován čistý peněžní tok  $CF_t$ , což pro každý simulační běh umožní stanovit čistou současnou hodnotu ( $NPV$  – Net Present Value) ze vztahu (3).

$$NPV = \sum CF_t e^{-rt} \quad (3)$$

Výsledkem simulace je empirické rozdělení hodnot  $NPV$  (obr. 4), představující odhad pravděpodobnostní funkce, jejíž střední hodnota  $\mu(NPV)$  je zvýrazněna plnou čarou.

Analýza tohoto rozdělení umožňuje posoudit hodnotu projektu (a tedy i jeho přijatelnost podle kritéria  $NPV > 0$ ), včetně její rizikovosti. Zajímavé je především srovnání s mnohem nižší hodnotou  $NPV$ , zjištěnou deterministicky a v grafu vyznačenou čárkovaně.

Zjištěný rozdíl ve prospěch střední čisté současné hodnoty výrobního zařízení zjištěné simulačním modelem lze interpretovat hodnotou flexibility substituce ve výrobě. Jedná se o jev, běžně označovaný jako reálná opce, přičemž parametrická statistická simulace je vhodnou metodou jeho oceňování<sup>25,26</sup>. Obecně lze říci, že hodnotu reálných opcí zvyšuje nejistota budoucího vývoje hodnoto-



Obr. 4. Výsledek statistické simulace ocenění výrobního zařízení

tvorných faktorů investičního záměru (zde cen nanomateriálů), a současně míra flexibility projektu reagovat (zde produktovou strukturou) na budoucí změny. Navržené technologické řešení výrobního zařízení je tedy pro daný účel velmi vhodné, a příčinou je právě vysoká hodnota reálné opce v projektu.

Analýza pravděpodobnostního rozdělení funkce *NPV* také demonstruje jeho velmi výraznou pozitivní šikmost. To je příznivý a vysoce žádoucí jev z hlediska řízení rizika, protože extrémní zisky jsou mnohem pravděpodobnější než extrémní ztráty<sup>27</sup>.

#### 4. Závěr

Tvorba a kvantifikace oceňovacího modelu za podmínek velmi vysoké míry nejistoty, obsažené v dynamickém investičním a inovačním prostředí, jakou představuje například oblast vývoje a užití nanotechnologií, vyžaduje komplexní a uvážlivé využití pokročilých analytických nástrojů. V tomto příspěvku jsme ukázali řešení, využívající kombinaci oceňování nákladů životního cyklu, sloužícího k odhadu hodnotových etalonů pro dosud tržně neuplatněné výrobky, a statistické simulace, umožňující uchopit nejistotu budoucího vývoje, a také ocenit vysokou míru produkční flexibility, charakteristickou pro zvolenou výrobní technologii. Analogický postup lze doporučit i pro řešení jiných problémů obdobného charakteru, tedy investičního rozhodování nebo optimalizace v nových a inovačních odvětvích.

#### LITERATURA

1. Wichterle O., Lím, D.: *Nature* 185, 117 (1960).
2. Borah R., Hughson F. R., Johnston J, Nann T.: *Mater. Today Adv.* 6, 100046 (2020).
3. Kučera Z., Vondrák T.: *Ergo* 10(1), 3 (2015).
4. Nanomaterials Definition Matters. *Nat. Nanotechnol.* 14, 193 (2019).
5. Rivero P. J., Urrutia A., Goicoechea J., Arregui F. J.: *Nanoscale Res. Lett.* 10, 501 (2015).
6. Soares S., Sousa J., Pais A., Vitorino C.: *Front. Chem.* 6, 360 (2018).
7. Anderson E., Gatignon H., v knize: *Handbook of New Institutional Economics. Firms and the Creation of New Markets.* (Ménard C., Shirley M. M., ed.). Springer, Berlin 2008.
8. Inshakova E., Inshakov O.: *World Market for Nanomaterials: Structure and Trends. MATEC Web of Conferences* 129, 02013 (2017).
9. <https://www.sigmaaldrich.com/materials-science/material-science-products.html?TablePage=119143966>, staženo 15. 7. 2020
10. Alkaraan F., Northcott D.: *The British Accounting Review* 38(2), 149 (2006).
11. Wnuk-Pel T.: *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 156, 612 (2014).
12. Drury C., Tayles M.: *Management Decision* 35(2), 86 (1997).
13. Buganza T., Verganti R.: *Journal of Product Innovation Management* 23(5), 393 (2006).
14. [http://cordis.europa.eu/projects/rcn/103330\\_en.html](http://cordis.europa.eu/projects/rcn/103330_en.html), staženo 2. 9. 2020.
15. Munn A. S., Dunne P. W., Tang S. V. Y., Lester E. H.: *Chem. Commun.* 51, 12811 (2015).
16. Mato F., Sierra J. B., Alonso E., Cocero M. J., Navarrete A.: *Hydrothermal Manufacturing of Nanomaterials: Reactor Computational Fluid Dynamic Modeling. Proceedings of III. Iberoamerican Conference on Supercritical Fluids, Cartagena de Indias, 2013.*
17. Charitidis C. A., Georgiou P., Koklioti M. A., Trompeta A., Markakis V.: *Manuf. Rev.* 1, 11 (2014).
18. Drury C.: *Management and Cost Accounting.* Cengage, Boston 2007.
19. Dhillon B. S.: *Life Cycle Costing for Engineers.* CRC Press, Boca Raton 2010.
20. Opuku A.: *Int. J. Architecture, Engineering and Construction* 2, 35 (2013).
21. Vlachý J.: *LogForum* 16, 75 (2020).
22. Carlsson B., Taylor D., Hogland W., Marques M.: *Design of Functional Units for Products by a Total Cost Accounting Approach.* University of Kalmar, VINNOVA Report VR 2007:01 (2007).
23. Hastings N. A. J.: *Physical Asset Management.* Springer, London 2010.
24. Fuss C., Vermeulen P.: *Appl. Economics* 40, 2337 (2008).
25. Mun J.: *Modelling Risk.* John Wiley, Hoboken 2006.
26. Vlachý J.: *Contemporary Economics* 10, 153 (2016).
27. Taleb N. N., Douady R.: *Quantitative Finance* 13, 1677 (2013).

#### J. Vlachý (University of Chemistry and Technology Prague): Valuing the Innovation Potential of New Materials

In this paper we address the topic of capital budgeting in highly dynamic and innovative industries, featuring major uncertainties with respect to the future development and acceptance of technologies and end-user products in the market. Focusing on the nanomaterials industry, a model has been developed using empirical data and integrating features of life cycle costing (LCC) and parametric simulation (Monte Carlo). A recursive solution of LCC allows an end-product benchmark costing for the materials, which currently lack commodity market pricing, while the simulation provides a valuation utility for the technology-specific flexibility to switch production. The underlying research offers a broad scope of applications in potentially high-value-added environments.

Keywords: technology valuation, innovation management, nanotechnology industry, statistical simulations, real options

- Vlachý J.: *Chem. Listy* 116, 432–436 (2022).
- <https://doi.org/10.54779/chl20220432>