

# ZDROJE A MEZE RACIONALITY OPČNÍHO OBCHODOVÁNÍ

Jan Vlachý

## Úvod

Blackův-Scholesův model se stal záhy po své publikaci v roce 1973 synonymem racionální vědecké metody ve financích. Figuruje v učebnicích, byla za něj udělena Nobelova cena a [12] patří mezi nejcitovanější články v ekonomii vůbec. Od té doby vzniklo obrovské množství různých analytických vzorců, z nichž většina se odkazuje na tento jediný. Haug [42] jich uvádí přes 280.

Z Blacka, Scholese a jejich souputníka Mertonu se staly doslova ikony finanční ekonomie, i když se vůči takovému zjednodušování občas objevují kritické hlasy, přičemž se mimo jiné poukazuje na roli modelů při prohlubování finančních krizí. Přispěl k tomu fakt, že Nobelův výbor v roce 1997 udělil Mertonovi a Scholesovi cenu za ekonomii za „novou metodu určování hodnoty finančních derivátů,“ stejně jako skutečnost, že shodou okolností zahájila v roce 1973 kotovat akciové opce Chicago Board Options Exchange, největší derivátová burza na světě.

Tento článek je prvním, který se v české odborné literatuře zabývá problematikou opčního oceňování v historickém a širším fenomenologickém kontextu, přičemž se nevyhýbá ani kritickému pohledu na vžitě zjednodušující stereotypy. Zejména zpochybňuje tezi o náhlém přechodu od naivně-spekulativního k vědecky-exaktnímu pojetí derivátů v 70. letech 20. století, a také nabízí ucelený soubor podkladů ke studiu této problematiky. Vychází z velmi rozsáhlé rešerše primárních i sekundárních zdrojů a nachází řadu dosud neprobádaných a nepublikovaných souvislostí i v českém prostředí.

## 1. Předválečná moderna (?–1939)

Opční kontrakty, u nichž lze vystopovat tisíciletou historii [90], bývaly převážně komoditní

a jejich hlavním smyslem bylo zajišťování rizik producentů, respektive zpracovatelů. Šlo tedy v principu o pojistky. Ostatně i v předválečné české terminologii (a v němčině do současnosti) znamenalo slovo prémie pojistné, stejně jako poplatky za uzavření opce, a opčím se říkalo prémiové obchody. Na druhé straně se vždy uzavíraly kontrakty, jejichž prvotním motivem byla především potřeba vrušení ze hry. Šlo o různé loterie, sázky, ale bezpochyby sem patří i kontrakty s tulipánovými cibulkami, z nichž v první polovině 17. století vzešla první spekulativní bublina v dějinách. Na obchodování se tedy pohlíželo i jako na hazardní hru. Do toho dále vstupovali i čistě finanční investoři (arbitrážéři) kteří trhu zpravidla prospívali, protože zvyšovali jeho likviditu a přebírali část rizik, někdy jím ovšem i manipulovali, když se pokoušeli skoupit podstatnou část nabídky a dostat tím trh do úzkých [99].

Z řady zdrojů (např. [82]) je patrné, že naši předkové všechny tyto role trhů, zajišťovací, investiční a spekulativní, jasně vnímali, uměli mezi nimi rozlišovat a jejich spojení jim nepřipadalo nepřírozené. To ukazuje i charakteristika některých dříve běžných instrumentů. Od 17. století jsou dokumentovány a ještě v meziválečném období byly nesmírně populární slosovatelné státní dluhopisy, pozoruhodnou historií mají různé kombinace dluhopisů se životními pojistkami.

Opční obchody se tedy posuzovaly jako výsledek racionálního podnikatelského rozhodnutí, kombinovaný s větší či menší mírou akceptovaného, ba přímo vyhledávaného, rizika. To mnozí nevnímali jako pouhý hazard, ale i jako možnost využít určitých empiricky nebo teoreticky odvozených zákonitostí. Proto se také oblast finanční ekonomie často překrývala s pojistnou matematikou, i když obě disciplíny bohužel později rozdělilo hluboké metodologické

a terminologické schizma. Již od 19. století lze také pozorovat systematické snahy o kvantitativní analýzy trhů a exaktní definice opčních strategií, tedy přístupy, které bychom dnes označili za ekonometrický, respektive arbitrážní.

Prvním, kdo provedl rigidní matematické ocenění finanční opce, byl francouzský matematik Louis Bachelier, jenž ve své doktorské disertaci z roku 1900 [3] modeloval cenové chování francouzských státních dluhopisů. Tzv. rente byla již od Napoleonových dob dominantním instrumentem na pařížské burze, počátkem 20. století byly v těchto perpetuitách emitováno přes 25 miliard franků a čile se obchodovalo na okamžitém, termínovém i opčním trhu. Ze svého modelu, analogicky aplikujícího Fourierovu rovnici tepelné difúze pro Brownův pohyb, a vycházejícího z normálního rozdělení tržních cen aktiva, pak Bachelier, mimo jiné, odvodil i vztah pro oceňování kupních a prodejních opcí.

Bachelier odvedl bezpříkladně průkopnickou práci, protože předběhl vývoj i v rozvoji matematické statistiky. Začátek studia tzv. Markovových řetězců se zpravidla datuje až do roku 1906, rovnice Brownova pohybu publikoval, nezávisle na Bachelierovi, Einstein (šlo o jeden ze tří článků z roku 1905, za něž obdržel v roce 1921 Nobelovu cenu za fyziku). Bachelier sám ve své práci pokračoval několika vědeckými články a knihami, vydanými ve Francii ještě před první světovou válkou. Přestože se jeho přístup může z dnešního pohledu považovat za poněkud nezvyklý (rozvíjel teorii stochastických diferenciálních rovnic, přičemž používal terminologii a východiska hazardu), odvodil mimo jiné několik nových tříd stochastických procesů.

Sám koncept náhodného vývoje tržních cen ovšem ani tehdy nebyl nijak nový. To, co se dnes často označuje jako „náhodná procházka“ stejně jako význam Gaussova rozdělení či funkční závislost volatilitu na druhé odmocnině času, zmiňuje ve své knize z roku 1863 již Regnault [76], kterého zase cituje významný francouzský pojistný matematik Dormoy [26], takže tyto teorie byly dobře známé již v 19. století. Z hlediska finanční matematiky je však klíčová zásada „matematické očekávání spekulanta je nula“, což Bachelier dovazuje z úvahy o poctivé hře a k upřesnění jeho úvah slouží další pohled: „zdá se, že trh, soubor spekulantů, v žádném konkrétním okamžiku nemůže očekávat ani vzestup cen, ani jejich pokles.“ Vše to

ovšem není nic jiného než předpoklad racionálního očekávání, se kterým přišel o šedesát let později Muth [71], respektive rizikové indiference, kterou přijal, ale k logickému závěru nedovedl Boness [14]. Ani Muth ovšem nebyl zpočátku doceněn a prosadila se úvaha o rovnovážné podmínce efektivního trhu (martingale), kterou formuloval Samuelson [86].

V meziválečném období probíhala čilá odborná debata, zaměřená na otázku skutečného stochastického chování trhů. Olivier ve své disertaci z roku 1926 [73] dokazuje sníženou špičatost (leptokurtózu) statistického rozdělení tržních výnosů. Mills ve své knize [68] výslovně uvádí, že „skutečné rozdělení se může výrazně odchylovat od Gaussovského vlivem jedné nebo dvou extrémních cenových změn“ a pomocí statistického testu zamítá Gaussovskou hypotézu, což je zjištění, které po válce na empirických datech učinil až Larson [58]. Working [102] rovněž upozornil na heteroskedasticitu výnosů a poznamenal, že to velmi komplikuje standardní statistické testování. Prvním, kdo pozoroval tlusté konce v rozdělení finančních řad, a dokonce popsal jejich proměnlivou volatilitu v čase, byl patrně Mitchell [69].

V oblasti tržní arbitráže byla dobře známá vazba mezi okamžitými a termínovými cenami aktiv. Jako tzv. úrokovou paritu cizích měn ji k demonstraci zákona jediné ceny použil Keynes [54], v souvislosti s obchodováním na devizových trzích popsal Einzig [27], a také, velmi precizně, Blauová [13], tuto souvislost ale znal a teoreticky odvodil i Bachelier [3]. Z pohledu analýzy opcí byl ale zajímavý zejména objev parity kupní a prodejní opce, tedy zákonitě vazby mezi hodnotami kupní a prodejní opce a termínového obchodu. Weinstein [99] popisuje arbitrážní techniky od poloviny 19. století, kdy se začalo obchodovat s právy (warranty) a konvertibilními dluhopisy. Zdá se však, že fenomén parity znal v nějaké podobě i de la Vega v roce 1688 [23], na což poukazuje Růžička [83]. Používané techniky byly přitom poměrně sofistikované, londýnský obchodník Castelli ([19], s. 74–77) popisuje, jak se v roce 1874 používaly opce v komplexní arbitráži mezi Londýnem a Cañhradem.

Profesor matematiky na Obchodní a námořní akademii v Terstu Vincenz Bronzin publikoval v roce 1908 knížku [17], kde paritu odvodil, ale především z ní pak dospěl k oceňovacím vzorcům pro různé typy opcí. Odvození provedl pro

několik různých alternativních rozdělení cen podkladového aktiva, včetně rovnoměrného, trojúhelníkového, parabolického, exponenciálního a binomického, kromě normálního, se kterým pracoval Bachelier, což je z dnešního pohledu až neuvěřitelně moderní. Na rozdíl od Bacheliera (ale i mnoha novodobých autorů) totiž připouští, že neexistuje jediné možné „racionální“ chování trhů a opční oceňování odvozuje z obecného rozdělení (na tomto hodnocení nic nemění ani skutečnost, že některá z použitých rozdělení jsou pro finanční trhy nerealistická). Navíc odvozuje, stejně jako Bachelier, zjednodušené vzorce pro opce na penězích (tzn. s uplatňovací cenou rovnou ceně termínové), což byly tehdy nejběžnější kontrakty a při absenci výpočetní techniky šlo o věc velmi praktickou. Používal odlišnou sadu parametrů, takže se jeho vzorec formálně lišil jak od Bachelierova, tak Blackova-Scholesova modelu. Zimmermann a Hafner ([103], s. 249–251) uvádějí konverzi mezi Bronzinovým a Blackovým-Scholesovým modelem, i když je konstruovaná dost uměle a účelově.

Mnohé tyto poznatky zdánlivě předběhly svou dobu, jiné jako by na nějakou dobu upadly v zapomnění. Kritické bylo období hospodářské krize, nástupu autoritářských režimů v Evropě, války a poválečných změn poměrů. V Německu a v USA byl obchod s opcemi zakázán již v roce 1931, v Londýně se obchodování s opcemi obnovilo až v roce 1958. Bachelier snad také doplatil na skutečnost, že jeho monografické exkurze do světa burzovních obchodů ([4], [5]) řízením osudu pokaždé těsně předcházely světovému válečnému konfliktu. Přesto byla první kniha velmi úspěšná a prodalo se jí přes 6000 výtisků [21].

Často se má zato, že Bachelierova disertační práce se dostala do širšího povědomí teprve v roce 1964, kdy otiskli její překlad v monografickém sborníku [3], odkud pak čerпали i Merton, Black a Scholes, a Bronzinovo dílo znovuobjevili až Zimmermann a Hafner v roce 2006 [103]. V první polovině dvacátého století však prokazatelně nešlo o neznámé publikace. De Montessus se ve své učebnici [24] zabývá aplikacemi teorie pravděpodobnosti v různých oborech, přičemž celou kapitolu věnuje pravděpodobnostním metodám ve financích, vycházejí z Bacheliera. Barriol, jehož kniha [7] se dočkala několika vydání, aplikuje Bachelierovy poznatky z pohledu pojišťovnictví. Bronzinův

model zase ještě před první světovou válkou rozvíjí v Praze Flusser, o čemž se ještě zmíníme podrobněji.

## 2. Čas znovuobjevování (1950–1973)

Mnohé tedy bylo po válce postupně „objevováno“ znovu a nebyl to nijak rychlý a přímočarý proces. S Bachelierovou prací se v polovině padesátých let seznamuje nejprve statistik Leonard Savage, který k tomu pak podnítil Samuelsona [6]. Ten se již od konce čtyřicátých let věnoval ekonomickým aplikacím matematických metod, vyvinutých v termodynamice [84]. Samuelson je proto o osm let později připraven připodobnit, v souladu s Bachelierem, chování akciového trhu k Brownovu pohybu [85]. Nezávislé publikační prvenství však má fyzik Osborne [72]; je zajímavé a pro další vývoj symptomatické, že se zastává normálního rozdělení, i když sám pozoruje velmi výrazné tlusté konce empirického rozdělení tržních výnosů.

Hypotézu normálního rozdělení ovšem statistickou analýzou empirických dat, včetně předválečných, výslovně zamítají Larson [58] i Alexander [2]. Problému si je vědom i Sprengle [89], když vylučuje normální i logaritmicko-normální rozdělení; ve svém opčním vzorci s ním ale přesto počítá. Důkladně se této otázce věnuje Mandelbrot [63], který rešeršuje i předválečnou literaturu a mimo jiné navrhuje nahradit v modelech normálního rozdělení mocninným (Paretovským) rozdělením. Pro Mandelbrota hypotézu původně uváděl silné ekonomické argumenty i Fama [28], který ovšem později zcela přešel na pozici normálního rozdělení. Ayres [1] poukázal na rozpor ve vývoji opční teorie, stavějící na předpokladu normálně rozdělených výnosů, který vede k jednoduchému analytickému řešení na úkor reálného pohledu. Rovnovážený model rizika, odpovídající modelu oceňování kapitálových aktiv, publikoval dříve než Sharpe [88] pojistný matematik Borch [16], který k němu ovšem připojil důkladnou kritiku portfoliové teorie, založené na pouhých dvou momentech statistického rozdělení, shrnutou slovy: „Nadále budu používat analýzu očekávaná hodnota-rozptyl při výuce, ale budu studenty varovat, že takovou analýzu nesmějí brát vážně a používat v praxi.“

Zásadní diskuse probíhala v tomto období i ve věci definice efektivity trhů a jejich důsledků. Před válkou i nějakou dobu po ní se pozorovaná náhodnost cenových změn (ve smyslu

chybějící autokorelace), kterou potvrdili i Kendall [53], Granger a Morgenstern [37] a Fama ([29], [30]), v zásadě považovala za doklad neefektivnosti trhů, rozporu se zákonitostmi nabídky a poptávky. Zdánlivě totiž vyvracela fundamentální teorii hodnoty, podle níž se měly ceny bezprostředně vracet k rovnovážným. Přelom v tomto vnímání způsobil až Samuelson [86], když konstatoval, že jde naopak o doklad správného fungování trhů, a zejména Fama [30], který teorii efektivních trhů v těchto intencích zformalizoval.

Počátkem 60. let inspiruje Samuelson Sprenklea a Bonesse k odstranění dvou základních teoretických nedostatků Bachelierova modelu, který neuvažoval vliv tržní úrokové sazby a připouštěl vznik záporných cen. Klíčem bylo zavedení předpokladu geometrického Brownova pohybu, tedy nahrazení řady cen v modelu řadou výnosů, z čehož plyne logaritmicko-normální rozdělení cen namísto normálního. Sprenkle [89] zahrnul do modelu rizikovou averzi, drift a logaritmicko-normální rozdělení cen, Boness [14] přidal časovou hodnotu peněz.

Hodnota kupní opce je v Bonessově modelu v zásadě stejná jako u Sprenklea, diskontuje ji však očekávanou mírou výnosu akcie a zjednodušuje předpoklady; Sprenkle ostatně sám připustil ([89], s. 204, 212–213), že se jeho parametry velmi obtížně kalibrují. Samuelson a McKean [87] vzápětí provádějí důkladnou kritiku těchto závěrů, zdůrazňují, že se rizikovost opce může lišit od rizikovosti podkladového aktiva, čímž zpochybňují správnost diskontní míry, jak ji formuloval Boness [14]. Jak Samuelson a McKean, tak Boness však navrhují vzorce, které se od Blackova-Scholesova [12] liší jen použitými předpoklady a lze říci, že principiálně odpovídají zobecněnému Blackovu-Scholesovu vzorci, který publikoval Merton [66]. Ingersoll [47] konstatuje: „Kdyby Boness dovedl svůj předpoklad, že investoři jsou indiferentní k riziku, do logického závěru, že  $\mu = r$ , odvodil by Blackův-Scholesův vzorec“ (připomeňme, že rizikovou indiferenci Boness převzal od Bacheliera).

Východiska arbitrážního oceňování v téže době zcela nezávisle a paralelně rozvíjel i profesor matematiky Edward Thorp, který se počátkem šedesátých let začal věnovat počítačovým statistickým algoritmům pro hledání optimálních strategií u hazardních her a sázek. Inspiroval se takzvaným Kellyho kritériem,

kteří formuloval Kelly [52], ale z matematického hlediska ho odvodil již Bernoulli [9] při řešení tzv. Peterburského paradoxu. Nejprve se Thorp ([92], [93]) zaměřil na tradiční hazard, se značným úspěchem. Pak se na fakultě setkal s dalším matematikem a amatérským investorem Sheenem Kassoufem, který se pokoušel o ekonometrické modelování chování obchodovaných warrantů ([50], [51]), a také několik let úspěšně obchodoval s využitím dávno známých zajišťovacích technik ([96], s. 32).

Ve své společné knize [96] Thorp a Kassouf ukázali, jak je možné identifikovat nadhodnocené a podhodnocené warranty, což ilustrovali pomocí tzv. cenových křivek. Ty první bylo možné prodávat a druhé kupovat, a zajišťovat je přitom nákupem, respektive prodejem podkladových akcií. Při stanovení zajišťovacího poměru nejprve vycházeli z empirického modelu tržních cen, které navrhl Kassouf [51]. Kolem roku 1967 však Thorp dospěl ke vztahu, který odpovídal Sprenkleovu ([94], s. 281), pro praktické účely ho však posléze upravil tak, aby očekávaná hodnota akcie rostla bezrizikovou měrou. Z formálního hlediska byl tedy shodný s Blackovým-Scholesovým vzorcem, pouze nediskontoval očekávanou hodnotu opce, což ovšem odpovídalo tehdejší vypořádávací praxi na trhu s warranty. Thorpův model navíc zahrnoval transakční náklady, takže neidentifikoval arbitrážní příležitosti vůči jediné teoretické ceně, ale odchylky od cenového pásma; postup byl tedy obecnější [95].

Při paušální kritice Bachelierova, stejně jako Bronzinova, modelu je ovšem také nutné být velmi opatrný a vážít některé rozdíly předválečného trhu oproti dnešnímu. Významné kontinentální burzy, včetně pařížské a berlínské, především sjednávaly opce ve formě tzv. dontů (prémie se neplatila při uzavření, ale při vpršení opce), případně jiných opčních kombinací (též [17], s. 2–15). Kromě toho se nezajišťovalo jen termínovými (lhůtními) obchody, ale i promptními, které se zpravidla vypořádávaly k ultimu měsíce, případně dnes neobvyklými deriváty, jako byly tzv. prolongační obchody [40]. Navíc se opce zpravidla uzavíraly krátkodobě (na 1, 2 nebo 3 měsíce), a to převážně na penězích, přičemž úrokové sazby byly poměrně nízké a stabilní [99]. Z pohledu zajišťovacích charakteristik se tedy jejich vlastnosti oproti modelům ze 60. a 70. let lišily méně, než se může na první pohled zdát.

### 3. Black a Scholes (1973–?)

Black a Scholes [12] odvodili svůj známý oceňovací model dvěma různými způsoby. Na jedné straně vyšli z postupu, který publikovali Thorp a Kassouf [96] a z předpokladu dynamického zajišťování portfolia došli k závěru, že je tudíž možné diskontovat očekávanou hodnotu opce bezrizikovou úrokovou sazbou. Jejich alternativní odvození používá model oceňování kapitálových aktiv pro diskontování při tržní nejistotě.

Elegantnější a mnohem obecnější odvození, nezávislé na sporném předpokladu dynamického zajišťování portfolia v reálném čase, ovšem záhy nabídl Rubinstein [79] a Ross [78]. Harrison a Kreps [41] vyšli čistě z teorie pravděpodobnosti, opět se stejným výsledkem. Blackův a Scholesův vzorec se tedy dá čistě formálně odvodit mnoha různými způsoby. Kromě toho ho lze chápat i jako zvláštní případ konvergence snáže srozumitelného a obecnějšího diskrétního stromového modelu, který navrhli Cox et al. [22] a Rendleman, Barter [77], a který se díky své flexibilitě záhy prosadil jako významná metodika v opčním oceňování. Galai [35] odvodil diskontní míru pro opce, čímž ukázal faktickou shodu Blackova-Scholesova modelu s tím, který navrhli Boness [14] a Samuelson [86]. Postup, použitý Blackem a Scholesem, tedy není sám o sobě unikátní a jeho elegantní výstup je zákonitým důsledkem značného zjednodušení řešeného problému.

Klíčovou roli hrály v rychlém prosazení Blackova-Scholesova modelu především místo a čas jeho vzniku. Po válce přešla iniciativa v hospodářství i ekonomickém výzkumu do Spojených států. Před rokem 1973 se tam však s opcemi na burzách neobchodovalo a jejich oceňování bylo velmi neprůhledné, což ostře kontrastuje i s předválečnou Evropou. Ayres [1], Samuelson [86] i Thorp a Kassouf [96] prováděli své analýzy na warrantech, protože jiná data prostě neměli k dispozici. O sebestřednosti amerických autorů svědčí mimo jiné fakt, že mnozí (viz např. [90], s. 5) považují pojem *Derivative Instrument* za vzniklý v 80. letech 20. století. Přitom již bankéř Lion v Praze na počátku 20. století zcela samozřejmě uvádí ([60], s. 7): „Koupě a prodej cenných hodnot jest hlavním obchodem na bursě, vedle toho však ujmuly se i jiné obchodní útvary, jako vedlejší odvětví svérázného zevnějšku, jichž původ odvozujeme z *kmenového obchodu*. Jmenujeme mezi jinými:

zálohový obchod čili stravování cenných papírů, dále zapůjčování akcií a hlavně obchod prémiev.“

Po otevření *Chicago Board Options Exchange* ale ve Spojených státech vzniklo nové, rychle rostoucí odvětví, pro které byl jednoduchý a zdánlivě snadno pochopitelný vzorec vysvozením. Derman, sám původem obchodník, píše ([25], s. 244): „Když nemají obchodníci vůbec žádný model, je snadné je přesvědčit, aby používali první, který je k dispozici. Jakmile mají něco, na co se spoléhají, je mnohem těžší je přesvědčit, aby přijali něco lepšího.“

Kritice je ovšem nutné podrobit především dva základní předpoklady, z nichž Black a Scholes vycházeli, a které se často označují za hlavní přínos jejich práce. Jedním je jednoduchost vzorce, protože zdánlivě umožňuje dosazovat pouze pozorovatelné veličiny, druhým hypotéza bezrizikového dynamického zajištění opce.

Diskutabilní je již posuzování volatilitu jako vstupního parametru. Black a Scholes předpokládali její konstantní hodnotu v čase, z čehož vyplývá, že je možné použít historickou volatilitu daného aktiva. Důsledně vzato by se tedy implicitní volatilita měla rovnat historické volatilitě, Jones [49] ovšem jednoznačně ukazuje, že se tyto veličiny systematicky liší. Již v 70. letech navíc Latane a Rendleman [59] přicházejí s opačným pohledem, stanovením implicitní volatilitu z tržních cen opcí. Takový výpočet lze interpretovat jako očekávanou volatilitu, za předpokladu, že obchodníci skutečně vycházejí z Blackova-Scholesova modelu. Pokud by tomu tak bylo, musel by ale tento parametr být shodný pro všechny opce na stejné podkladové aktivum a se shodným termínem uplatnění.

Blackova, Scholesova a Mertonova vize dynamického zajišťování musí kromě toho vést k logickému závěru, že lze pojistit akciové portfolio. Toho se jako první chopili Leland a Rubinstein [80], kteří tuto představu přetavili ve skutečný podnikatelský záměr. V roce 1981 spouštěli firmu *Leland O'Brien Rubinstein Associates* a od počátku se jim dařilo; do roku 1986 spravovali, přímo či nepřímo (prostřednictvím licencovaného softwaru), 60 miliard dolarů aktiv. Protože na trh brzy vstoupila řada konkurentů, blížil se celkový objem pojištěných aktiv ve Spojených státech 100 miliardám dolarů, tzn. asi 3 % tržní kapitalizace [48]. Zdánilivě dobře fungující systém se zhroutil v říjnu 1987,

kdy pád akciových trhů prudce zvýšil tržní volatilitu a posléze vyčerpал tržní likviditu. Systémy pojištění portfolií selhaly a problém navíc velmi výrazně prohloubily [15]. Je pozoruhodné, že nárůst implicitních volatilit ještě před krachem pozoroval Grossman [38] a upozorňoval na závažnost tohoto jevu, nikdo mu však nenaslouchal a ve vědeckém časopise byl text publikován až se zpožděním. Obdobně se o pár let později dařilo investičnímu fondu *Long Term Capital Management* (LTCM), mezi jehož zakladatele patřili Scholes a Merton a pojištěním byly i tzv. CDS instrumenty (*Credit Default Swaps*), které se dostaly do obecného povědomí při zatím poslední finanční krizi.

Po tržní krizi v roce 1987 se i díky tomu začal ve větší míře projevovat efekt, kterému se říká zkosení volatility (*volatility skew*) nebo volatilitní úsměv (*volatility smile*) [25]. Tento jev se navíc postupně zvyrazňoval a rozšiřoval na další trhy. Bylo ho tedy nutné nějak interpretovat, ať už v rámci Blackova-Scholesova modelu nebo mimo něj.

Existovala pochopitelně možnost, kterou naznačil Mandelbrot [63], a která byla v dalších letech opuštěna. Rubinstein ([81], s. 176) k tomu uvádí: „Je bohužel třeba říci, že Paretovský předpoklad byl dalším výzkumem opomenut a jako příčina tlustých konců se upřednostňuje nestacionarita.“ Některé aktuální výzkumy ([70], [75]) ovšem ukazují, že tato myšlenka není zcela mrtvá. Jiný pohled naznačil i sám Markowitz, který sice ve své analýze portfolia [65] upřednostnil jako míru rizika rozptyl (což převzali všichni, kdo z něj vycházeli), byl si však vědom jeho slabin. Celou kapitolu knihy proto věnoval semivarianci a dokonce uvedl ([65], s. 194), že „analýzy založené na semivarianci vedou k lepším portfoliům než ty, které vycházejí z rozptylu“. K dominantní rozptylu patrně přispěla výpočetní jednoduchost modelů, ale i skutečnost, že u symetrických rozdělení, jako je Gaussovo, které se všeobecně přijalo, není mezi oběma výsledky rozdíl.

V té době byl ovšem Blackův-Scholesův vzorec na vrcholu popularity, a proto se výzkum soustředil především na jeho obhajobu. K tomu mělo sloužit jeho rozšíření o předpoklad stochastické volatility, což provedli Hull a White [46], Heston [44] a řada dalších. Model stochastické volatility v Blackově-Scholesovu modelu, který se s volatilitním úsměvem formálně vypořádává, je bohužel dost složitý a nesnadno interpretovatelný.

Především je však problematická jeho kalibrace. Je totiž třeba určit „volatilitu volatility“, případně její další parametry, což nelze jinak než implicitně. Má tedy spíše akademicko-popisný než prediktivní význam (lze usuzovat, že pokud by se začal ve větší míře používat k arbitráži – deriváty na volatilitu již existují – začal by sám ovlivňovat trh, čímž by vznikl „úsměv volatility volatility“, načež by vznikly modely, počítající s „volatilitou volatility volatility“, atd.) Přesto s jeho pomocí již Hull a White [46], ukázali, že Blackův-Scholesův model reálnou cenu opcí zpravidla podhodnocuje. V této souvislosti je snad až úsměvné, že Black a Scholes se počátkem sedmdesátých let pokusili testovat svůj model nákupem warrantů, které považovali za podhodnocené a prodávali na tom peníze ([11], s. 11).

Kromě toho, jak zdůrazňují Bates [8], Haug a Taleb [43] či Berkowitz [10], obchodníci ve skutečnosti řeší problém jinak. Používají vzorec, který sice běžně označují za Blackův-Scholesův, ale místo aby do něj dosazovali konstantní volatilitu, průběžně ho recalibrují podle implicitních volatilit. Jedná se tedy fakticky o arbitráž ve smyslu, jak ji chápali makléři před rokem 1973, kdy měli k dispozici algoritmy parity, nikoliv oceňovací vzorce, a ocenění tak prováděli „proti trhu.“ Berkowitz [10] takový heuristický postup teoreticky obhajuje a podporuje tím mimo jiné i empiricky podložený poznatek [45] že při opční arbitráži v praxi příliš nezávisí na konkrétním použitém modelu. Cheriau a Jarrow [20] navíc ukázali na modelu i empirických datech, že i tam, kde Blackův-Scholesův model v zásadě odpovídá pozorování, nemusí to být díky platnosti jeho předpokladů, ale naopak, jeho používání může ovlivňovat chování trhu (*Self-Fulfilling Prophecy*). MacKenzie a Millo [63] pak přímo charakterizují volatilitní úsměv jako ochranný mechanismus trhu proti systémovému riziku.

V poslední době se z různých pohledů stále více zpochybňují i základní východiska a empirické důkazy hypotézy efektivních trhů, jak je formuloval Fama [30]. Z teoretického hlediska přitom s konceptem efektivních trhů polemizovali již Grossman a Stiglitz [39] či Milgrom a Stokeyová [67], kteří poukázali na její vnitřní neudržitelnost, danou skutečností, že pokud by obchodováním nebylo možné vydělávat, k žádnému obchodování by nedocházelo. Kritizovat lze i definici hypotézy efektivních trhů. Jde

o takzvaný problém sdružené hypotézy (*Joint Hypothesis Problem*), který ji činí prakticky nefalsifikovatelnou, protože při jakémkoliv testování hypotézy se netestuje pouze soulad trhu s určitým teoretickým chováním, ale současně i toto teoretické chování samé ([62], s. 6–7).

#### 4. České stopy

Stranou evropského vývoje nestála v období do září 1938, kdy zde bylo ukončeno volné obchodování, ani Pražská peněžní bursa, v meziválečném období sedmý nejvýznamnější trh s cennými papíry v Evropě. S opcemi se na ní obchodovalo již od 19. století a vrcholu aktivity dosáhl trh především v dekádě 1927–1937. Opční produkty byly populární i mezi drobnými investory, obchodování se komentovalo v denírním tisku, vycházely popularizační příručky, odborné stati i knihy [99]. Kontinuitu s obdobím před první světovou válkou přitom dokládá například fakt, že podrobná příručka pražského bankéře Liona nedoznala mezi lety 1910 a 1920 s výjimkou názvu a drobných terminologických úprav prakticky žádných změn (srov. [60], [61]).

Autoři se velmi detailně se zabývají různými opčními strategiemi včetně detailních propočtů a je zajímavé, že šlo o látku, podrobně probíranou ve čtvrtých ročnících obchodních akademií, což dokládá i fakt, že autoři bývají jejich profesori ([31], [91], [57]). Pokud se týče příspěvků respektovaných ekonomů k teorii finančních trhů, je zřejmé, že šlo o oblast, která byla na okraji akademického zájmu a patrně se považovala za dost triviální (podobnou zkušenost měl i Bachelier, kterého jeho inovativní práce v této oblasti po zbytek akademické kariéry spíše zatěžovala [21]). Výjimkou potvrzující pravidlo byl Jan Koloušek, profesor na brněnské a pražské technice, který se, kromě jiných otázek obchodů s cennými papíry a jejich oceňování, zabývá matematickým modelováním dlužních instrumentů, přičemž v porovnání se současníky neopomíjí ani otázku úrokového rizika [56].

Několik konkrétních zajišťovacích technik, používaných bankami a bankovními domy, uvádějí v dobové literatuře Paulat ([74], s. 87–95) či Růžička ([83], s. 159–165); vycházelo se zjevně z různých verzí opční parity, ale i zjednodušených statistických modelů. Rolí tvůrců trhu vysvětluje Šmíd ([91], s. 59–60): „...většinu prodejů předních premií a koupí zpětných pré-

mií obstarává bursovní sensál, kterému uvolňuje se tato engagement z kombinací obchodů fixních a stelážových.“ Zajišťovací roli opcí popisuje Šmíd ([91], s. 52) takto: „Hlavní význam má pro spekulanta koupě premie ten, že tvoříc pro něj spekulaci s omezeným rizikem, dává mu možnost, aby, kryt zabezpečujícím kupem, uzavíral v jeho stínu řadu fixních obchodů, které jsou pak vlastním zdrojem jeho zisků a vydělá na obchodu i tehdy, když by posléze od převzetí papírů ustoupil a platil premii.“ Kopecký [57] ve své příručce velmi podrobně analyzuje šedesát různých opčních strategií pomocí uplatňovacích diagramů a doporučuje tuto techniku jako vhodný doplněk k běžnějším kalkulacím a tabelacím.

Nejzajímavějším objevem je ale osobnost Gustava Flussera (1885–1940), otce filozofa Viléma Flussera. Narodil se v Rakovníku a od roku 1902 žil v Praze. Vystudoval matematiku a fyziku na Německé vysoké škole technické a na Karlo-Ferdinandově univerzitě, po nástupu na Německou obchodní akademii v roce 1909 zde učil nejen matematiku, ale i češtinu, později se stal mimořádným univerzitním profesorem [55]. Před první světovou válkou se seznámil s Bronzinovým modelem a v roce Obchodní akademie, ještě jako suplent, publikoval jeho řešení [31], s tím, že opční ocenění zobecnil na třídy statistických rozdělení (polynomické funkce  $n$ -tého řádu, racionální a iracionální algebraické funkce, periodické goniometrické funkce, logaritmické funkce, exponenciální funkce). Je pozoruhodné, že na Bronzinovu [17] knihu stručně odkazuje, a pak na ni bez jakéhokoliv shrnutí či opakování hned navazuje; musela tedy být mezi jeho čtenáři v Praze známá nebo aspoň běžně dostupná.

Později napsal Flusser o obchodech s měnami a cennými papíry knížku [32] a provedl finančně-matematickou analýzu poválečných dluhopisů v nástupnických státech Rakousko-Uherska [33]. V lednu 1939 byl pro židovský původ zbaven přednášek na pražské Německé univerzitě, v den obsazení Československa byl z místa ředitele Německé obchodní akademie v Praze na udání dvou žáků zatčen, nakrátko propuštěn, v září 1939 spolu s dalšími „rukojmími“ z řad českých politických a intelektuálních elit znovu zatčen a jako jeden z mála zahynul v červnu 1940 v Buchenwaldu. Patrně se mu stala osudnou charakteristika pražského německo-česko-židovského intelektuála, politicky

aktivního publicisty, mimo jiné tlumočícího na schůzích československého Národního shromáždění. Masovým deportacím v roce 1941 padlo za oběť několik dalších členů jeho rodiny [34].

Flusserovy práce (srov. [31], [32]) mimo chodem dobře dokládají postoj předválečných praktiků i teoretiků k tržním modelům. Bezpochyby je znáti, a v tomto smyslu byly evropské trhy velmi silně propojeny. Již Brabec v roce 1910 uvádí ([17], s. 129–130), že „francouzská literatura má několik pozoruhodných prací v tomto směru, kdež vyskytují se i autoři, snažící se řešiti příklady souvztažné prostředky vyšší matematiky“ a při popisu zajišťovacích operací se odvolává na jejich matematické odvození v [100] a [35]. Na rozdíl od univerzálních paritních zákonitostí však pro ně nebylo představitelné, považovat čistě statistické modely za základní či jediné vodítko pro rozhodování.

V poválečném období se bohužel České země z dalšího vývoje finanční teorie a praxe vytratily. Pražská Bursa pro zboží a cenné papíry, založená v roce 1871, byla uzavřena během Mnichovských událostí 1938, pak sice ještě ve velmi okleštěné formě fungovala za okupace v letech 1940–1945, po válce však již nebyla obnovena a jednotlivci se mohli prosadit jedine v zahraničí.

Mezi nimi je třeba vyzdvihnout matematika Oldřicha A. Vašička (nar. 1942 v Praze), absolventa aplikované matematiky na FJFI ČVUT a kandidáta věd z teorie pravděpodobnosti na MFF UK, který se po sovětské okupaci v roce 1968 usadil ve Spojených státech. V bance Wells Fargo se podílel na vývoji indexového fondu, což byla tehdy převratná myšlenka. Mezi nejvlivnější osobnosti světové finanční ekonomie se zařadil v roce 1977 článkem [97], řešícím problém stochastického vývoje úrokových sazeb, a další plodnou prací v oblasti úrokového a kreditního modelování [98]. V roce 1989 spoluzaložil firmu KVM (od roku 2002 Moody's KVM), která pro řadu bank a institucí oceňuje riziko kreditních portfolií. Je po něm pojmenován model krátkodobých úrokových sazeb (Vasicek Model) i model kreditního rizika (Kealhofer, McQuown, Vasicek Model).

## Závěr

Přestože se postupy, které na jedné straně používali Kassouf, Thorp či praktici staršího období, a na druhé straně Bachelier, Samuelson,

Black a Scholes, Merton a jejich následovníci, z formálního hlediska příliš neliší, existuje zásadní rozdíl v jejich pojetí a interpretaci. Ti první byli racionální hráči (Thorp byl ale přitom skvělým matematikem), předpokládající, že trhy jsou neefektivní a hledající způsoby, jak toho využít. Chápali, že se pohybují v nejistém prostředí a dosažitelným maximem je zvýšení pravděpodobnosti výhry nad tu, kterou předpokládá herní plán (nebo rozhodnutí neinvestovat), respektive tvořit trh a vydělávat na cenovém rozpětí. Nutným předpokladem úspěchu je pak nutně trpělivost a poslušnost mnoha her s poměrně malými sázkami. Navíc nesmějí všichni účastníci používat stejnou strategii; proto například Thorp publikoval velmi málo, zpravidla až poté, kdy už přešel na nový model.

Druhý pohled vychází z akademické představy, že jsou trhy efektivní nebo se k tomuto stavu blíží, a s použitím správného modelu je tedy možné eliminovat investiční riziko. To má za následek ochotu přijímat rizika příliš nadšeně a levně (prakticky až zadarmo), což mimo jiné vede k vysoké až extrémní míře zadlužení při financování rizikových pozic. Kromě toho má „vědecký“ konsensus za následek značné systémové riziko. Myšlenka efektivního trhu a z něj vycházejících modelů, byť nesmírně elegantní, se tak ukázala být rafinovanou pastí. Buď je totiž trh efektivní, a pak na něm není vůbec rozumné obchodovat, nebo efektivní není, obchodovat lze, ale rozhodně ne na základě Blackovy, Scholesovy a Mertonovy argumentace.

Jejich jména se dostala do učebnic především proto, že se ocitli ve správném čase (1973) na správném místě (Spojené státy). I díky svým mnoha předchůdcům ovšem byli na tuto příležitost připraveni, a v tom jim náleží uznání. Pokud však označení Blackův-Scholesův model něco synonymizuje, pak je to právě dominance nového, ne nutně správného, paradigmatu, což je problém, který vynáší na povrch každá nová finanční krize.

## Literatura

- [1] AYRES, H. Risk Aversion in the Warrant Markets. *Industrial Management Review*. 1963, roč. 5, č. 1, s. 45–53. ISSN 0884-8211.
- [2] ALEXANDER, S.S. Price Movements in Speculative Markets: Trends or Random Walks? *Industrial Management Review*. 1961, roč. 2, č. 2, s. 7–26. ISSN 0884-8211.



- [3] BACHELIER, L.J.-B.A. Théorie de la spéculation. *Annales Scientifiques de l'École Normale Supérieure*. 1900, roč. 3, č. 17, s. 21–86. Anglický překlad Theory of Speculation in Cootner, P.H. (ed.) *The Random Character of Stock Market Prices*. Cambridge (MA): MIT Press, 1964, s. 17–78.
- [4] BACHELIER, L.J.-B.A. *Le Jeu, la Chance et le Hasard*. Paris: E. Flammarion, 1914.
- [5] BACHELIER, L.J.-B.A. *La spéculation et le Calcul des Probabilités*. Paris: Gauthier-Villars, 1938.
- [6] BACHELIER, L.J.-B.A., DAVIS, M., ETHERIDGE, A. *Louis Bachelier's Theory of Speculation: The Origins of Modern Finance*. Princeton (NJ): Princeton University Press, 2006. ISBN 978-0691117522.
- [7] BARRIOL, A. *Théorie et pratique des opérations financières*. Paris: O. Doin, 1908.
- [8] BATES, D.S. Empirical Option Pricing: A Retrospection. *Journal of Econometrics*. 2003, roč. 116, č. 1/2, s. 387–404. ISSN 0304-4076.
- [9] BERNOULLI, D. Specimen theoriae novae de mensura sortis. *Comentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*. 1738, roč. 5, s. 175–192.
- [10] BERKOWITZ, J. On Justifications for the ad hoc Black-Scholes Method of Option Pricing. *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*. 2009, roč. 14, č. 1. ISSN 1081-1826.
- [11] BLACK, F. Living Up to the Model. *Risk*. 1990, roč. 3, č. 3, s. 11–13. ISSN 0952-8776.
- [12] BLACK, F., SCHOLES, M. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*. 1973, roč. 81, č. 3, s. 637–659. ISSN 0022-3808.
- [13] BLAU, G. Some Aspects of the Theory of Futures Trading. *Review of Economic Studies*. 1944, roč. 12, č. 1, s. 1–30. ISSN 0034-6527.
- [14] BONESS, A. Elements of a Theory of Stock-Option Value. *Journal of Political Economy*. 1964, roč. 72, č. 2, s. 163–175. ISSN 0022-3808.
- [15] BOOKSTABER, R. *A Demon of Our Own Design: Markets, Hedge Funds, and the Perils of Financial Innovation*. Hoboken (NJ): John Wiley, 2007. ISBN 978-0470393758.
- [16] BORCH, K. Equilibrium in a Reinsurance Market. *Econometrica*. 1962, roč. 30, č. 3, s. 424–444. ISSN 1468-0262.
- [17] BRABEC, J. *Nauka o bursách*. Praha: Sdružení československého úřednictva ústavů peněžních, 1910.
- [18] BRONZIN, V. *Theorie der Prämien-geschäfte*. Leipzig, Wien: Verlag Franz Deticke, 1908.
- [19] CASTELLI, C. *The Theory of 'Options' in Stock and Shares*. London: Mathieson, 1877.
- [20] CHERIAN, J.A., JARROW, R.A. Options Markets, Self-Fulfilling Prophecies, and Implied Volatilities. *Review of Derivatives Research*. 1998, roč. 2, č. 1, s. 5–37. ISSN 1380-6645.
- [21] COURTAULT, J.-M. et al. Louis Bachelier: On the Centenary of Théorie de la Spéculation. *Mathematical Finance*. 2000, roč. 10, č. 3, s. 341–353. ISSN 0960-1627.
- [22] COX, J.C., ROSS, S.A., RUBINSTEIN, M. Option Pricing: A Simplified Approach. *Journal of Financial Economics*. 1979, roč. 7, č. 1, s. 229–263. ISSN 0304-405X.
- [23] DE LA VEGA, J. *Confusion de Confusiones*. Amsterdam, 1688.
- [24] DE MONTESSUS, R. *Leçons élémentaires sur le Calcul des Probabilités*. Paris: Gauthier-Villars, 1908.
- [25] DERMAN, E. *My Life as a Quant: Reflections on Physics and Finance*. Hoboken (NJ): John Wiley, 2004. ISBN 978-0470192733.
- [26] DORMOY, E. Théorie Mathématique des Jeux de Hazard. *Journal des Actuaire Français*. 1873, roč. 2, č. 5, s. 38–57.
- [27] EINZIG, P. *The Theory of Forward Exchange*. London: Macmillan, 1937.
- [28] FAMA, E.F. Mandelbrot and the stable Paretian Hypothesis. *Journal of Business*. 1963, roč. 36, č. 4, s. 420–429. ISSN 0021-9398.
- [29] FAMA, E.F. The Behavior of Stock Market Prices. *Journal of Business*. 1965, roč. 38, č. 1, s. 34–105. ISSN 0021-9398.
- [30] FAMA, E.F. Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *Journal of Finance*. 1970, roč. 25, č. 2, s. 383–417. ISSN 0022-1082.
- [31] FLUSSER, G. Über die Prämien-grösse bei den Prämien- und Stellagegeschäften. In RIED, T. (ed.) *Fünfundfünfzigster Jahres-Bericht der Prager Handelsakademie*. Prag: Handelsakademie, 1911. s. 1–30.
- [32] FLUSSER, G. *Moderne Arbitrage in Börsenwerten*. Liberec/Reichenberg: Nordböhmischer Verlag, 1926.
- [33] FLUSSER, G. Mathematische Theorie der kurzfristigen Nachkriegsrenten der oesterreichischen Sukzessionsstaaten. In *Einundsiebzigster Jahres-Bericht über die Prager Handelsakademie*. Praha: Prager Handelsakademie, 1927. s. 3–37.
- [34] FLUSSER, V. *Bodenlos: Eine philosophische Autobiographie*. Düsseldorf: Bollmann Verlag, 1992. ISBN 978-3596133901.
- [35] FÜRST, M. *Prämien-, Stellage- und Noch-geschäfte*. Berlin: Haude&Spenner, 1908.

- [36] GALAI, D. On the Boness and Black-Scholes Models for Valuation of Call Options. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*. 1978, roč. 13, č. 1, s. 15–27. ISSN 0022-1090.
- [37] GRANGER, C.W.J., MORGENSTERN, O. Spectral Analysis of New York Stock Market Prices. *Kyklos*. 1963, roč. 16, č. 1, s. 1–27. ISSN 1467-6435.
- [38] GROSSMAN, S.J. An Analysis of the Implications for Futures and Stock Volatility of Program Trading and Dynamic Hedging Strategies. *Journal of Business*. 1988, roč. 61, č. 3, s. 275–298. ISSN 0021-9398.
- [39] GROSSMAN, S.J., STIGLITZ, J.E. Stockholder Unanimity in Making Production and Financial Decisions. *The Quarterly Journal of Economics*. 1980, roč. 94, č. 3, s. 543–566. ISSN 0033-5533.
- [40] HÁJEK, O. *Vývoj, organisace a technika pražské burzy pro zboží a cenné papíry se zvláštním pojednáním o obchodech premiových a stelážích*. Praha: vlastním nákladem, 1929.
- [41] HARRISON, J.M., KREPS, D.M. Martingales and Arbitrage in Multiperiod Securities Markets. *Journal of Economic Theory*. 1979, roč. 20, č. 3, s. 381–408. ISSN 0022-0531.
- [42] HAUG, E.G. *The Complete Guide to Option Pricing Formulas*. 2. vyd. New York: McGraw-Hill, 2007. ISBN 978-0071389976.
- [43] HAUG, E.G., TALEB, N.N. Why We Have Never Used the Black-Scholes-Merton Option Pricing Formula. *Wilmott Magazine*. 2008, roč. 7, č. 1, s. 72–79. ISSN 540-6962.
- [44] HESTON, S.L. A Closed-Form Solution for Options with Stochastic Volatility with Applications to Bond and Currency Options. *Review of Financial Studies*. 1993, roč. 6, č. 2, s. 327–343. ISSN 0893-9454.
- [45] HULL, J.C., SUO, W. A Methodology for Assessing Model Risk and its Application to the Implied Volatility Function Model. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*. 2002, roč. 37, č. 2, s. 297–318. ISSN 0022-1090.
- [46] HULL, J.C., WHITE, A. The Pricing of Options with Stochastic Volatilities. *Journal of Finance*. 1987, roč. 42, č. 2, s. 281–300. ISSN 0022-1082.
- [47] INGERSOLL, J.E. Option Pricing Theory. In EATELL, J. et al. (eds.) *A Dictionary of Economics*. London: Macmillan Press, 1987. ISBN 978-033372357.
- [48] JACOBS, B.I. *Capital Ideas and Market Realities: Option Replication, Investor Behavior, and Stock Market Crashes*. Malden (MA): Blackwell Publishers, 1999. ISBN 978-0631215554.
- [49] JONES, C.S. A Nonlinear Factor Analysis of S&P 500 Index Option Returns. *Journal of Finance*. 2006, roč. 61, č. 5, s. 2325–2363. ISSN 0022-1082.
- [50] KASSOUF, S.T. *Evaluation of Convertible Securities*. New York: Analytic Investors, 1962.
- [51] KASSOUF, S.T. *A Theory and an Econometric Model for Common Stock Purchase Warrants*. Doktorská disertace. New York: Columbia University, 1965.
- [52] KELLY, L.J. A New Interpretation of Information Rate. *Bell System Technical Journal*. 1956, roč. 35, č. 4, s. 917–926. ISSN 1538-7305.
- [53] KENDALL, M.G. The Analysis of Economic Time Series, Part 1: Prices. *Journal of the Royal Statistical Society*. 1953, roč. 116, č. 1, s. 11–34. ISSN 0035-9238.
- [54] KEYNES, J.M. *A Tract on Monetary Reform*. London: Macmillan, 1923.
- [55] KOELTZSCH, I. Gustav Flusser: Biographische Spuren eines deutschen Juden in Prag vor dem zweiten Weltkrieg. *Flusser Studies* [online]. 2007, č. 5, s. 1–13 [cit. 2010-09-10]. Dostupné z: <<http://www.flusserstudies.net/pag/05/Gustav-Flusser.pdf>>. ISSN 1661-5719.
- [56] KOLOUŠEK, J. *Mathematická theorie důchodů jistých a půjček annuitních*. Praha: Sborník Jednoty Českých Matematiků č. 8, 1904.
- [57] KOPECKÝ, J. *Grafické řešení bursovních obchodů*. Kolín: vlastním nákladem, 1925.
- [58] LARSON, A.B. Measurement of a Random Process in Futures Prices. *Food Research Institute Studies*. 1960, roč. 1, č. 3, s. 313–324.
- [59] LATANE, H.A., RENDLEMAN, R.J. Standard Deviations of Stock Price Ratios Implied in Option Prices. *Journal of Finance*. 1976, roč. 31, č. 2, s. 369–382. ISSN 0022-1082.
- [60] LION, J. *Neomylnost při spekulativních obchodech s cennými papíry*. Praha: Bankovní závod J. Lion, 1910.
- [61] LION, J. *Studie prémiového obchodu*. Praha: J. Lion, 1920.
- [62] LO, A.W., MACKINLAY, A.C. *A Non-Random Walk Down Wall Street*. Princeton (NJ): Princeton University Press, 1999. ISBN 978-0691092560.
- [63] MACKENZIE, D., MILLO, Y. Constructing a Market, Performing Theory: The Historical Sociology of a Financial Derivatives Exchange. *American Journal of Sociology*. 2003, roč. 109, č. 1, s. 107–145. ISSN 0002-9602.
- [64] MANDELBRROT, B. The Variation of Certain Speculative Prices. *Journal of Business*. 1963, roč. 36, č. 4, s. 394–419. ISSN 0021-9398.

- [65] MARKOWITZ, H. *Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments*. New Haven (CT): Yale University Press, 1959. ISBN 978-0300013726.
- [66] MERTON, R.C. Theory of Rational Option Pricing. *Bell Journal of Economics and Management Science*. 1973, roč. 4, č. 1, s. 141–183. ISSN 0361-915X.
- [67] MILGROM, P., STOKEY, N. Information, Trade and Common Knowledge. *Journal of Economic Theory*. 1982, roč. 26, č. 1, s. 17–27. ISSN 0022-0531.
- [68] MILLS, F.C. *The Behaviour of Prices*. Cambridge (MA): National Bureau of Economic Research, 1927.
- [69] MITCHELL, W.C. *The Making and Using of Index Numbers*. Washington (DC): U.S. Bureau of Labor Statistics, Bulletin No. 173, 1915.
- [70] MITTNIK, S.R.S., SCHWARTZ, E.S. Value-at-Risk and Asset Allocation with Stable Return Distributions. *Allgemeines Statistisches Archiv*. 2002, roč. 86, č. 1, s. 53–68. ISSN 0002-6018.
- [71] MUTH, J.F. Rational Expectations and the Theory of Price Movements. *Econometrica*. 1961, roč. 29, č. 3, s. 315–335. ISSN 0012-9682.
- [72] OSBORNE, M.F.M. Brownian Motion in the Stock Market. *Operations Research*. 1959, roč. 10, č. 3, s. 145–173. ISSN 0030-364X.
- [73] OLIVIER, M. *Les Nombres Indices de la Variation des Prix*. Doktorská disertace, Paris: Université de Paris, 1926.
- [74] PAULAT, V.J. *Bursa, bursovní obchody a spekulace*. Praha: Všeňečka a spol., 1928.
- [75] RACHEV, S., SCHWARTZ, E.S., TOKAT, Y. The Stable non-Gaussian Asset Allocation: A Comparison with the Classical Approach. *Journal of Economic Dynamics and Control*. 2003, roč. 27, č. 6, s. 937–969. ISSN 0165-1889.
- [76] REGNAULT, J.A.F. *Calcul des Chances et Philosophie de la Bourse*. Paris: Mallet-Bachelier, 1863.
- [77] RENDLEMAN, R.J., BARTER, B.J. Two State Option Pricing. *Journal of Finance*. 1979, roč. 34, č. 5, s. 1092–1110. ISSN 0022-1082.
- [78] ROSS, S.A. The Arbitrage Theory of Capital Asset Pricing. *Journal of Economic Theory*. 1976, roč. 13, č. 3, s. 341–360. ISSN 0022-0531.
- [79] RUBINSTEIN, M. The Valuation of Uncertain Income Streams and the Pricing of Options. *Bell Journal of Economics*. 1976, roč. 7, č. 2, s. 407–425. ISSN 0361-915X.
- [80] RUBINSTEIN, M., LELAND, H.E. Replicating Options with Positions in Stock and Cash. *Financial Analysts Journal*. 1981, roč. 37, č. 4, s. 63–72. ISSN 0015-198X.
- [81] RUBINSTEIN, M. *A History of The Theory of Investments*. New York: John Wiley, 2006. ISBN 978-0471770565.
- [82] RUBROM, M. *Handbuch der Börse-Speculation: vollständige, rein praktische Darstellung des gesammten Börsegeschäfts; als solider Handel mit Papieren zur Capitalsanlage, ferner als rationelle Speculation auf Prämien und Stellagen, und schliesslich auch freies Börse-Spiel nebst den dabei vorkommenden Ausschreitungen, und Börse-Manövers*. Wien: Verlag von Moritz Perles, 1872.
- [83] RŮŽIČKA, O. *Světové peněžní bursy*. Praha: vl. nákladem, 1934.
- [84] SAMUELSON, P.A. *Foundations of Economic Analysis*. Cambridge (MA), Harvard University Press, 1947.
- [85] SAMUELSON, P.A. *Brownian Motion in the Stock Market*. Nепublikovaný rukopis, 1955.
- [86] SAMUELSON, P.A. Proof that Properly Anticipated Prices Fluctuate Randomly. *Industrial Management Review*. 1965, roč. 6, č. 2, s. 41–49. ISSN 0884-8211.
- [87] SAMUELSON, P.A., MCKEAN, H.P. Rational Theory of Warrant Pricing. *Industrial Management Review*. 1965, roč. 6, č. 2, s. 13–39. ISSN 0884-8211.
- [88] SHARPE, W.F. Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk. *Journal of Finance*. 1964, roč. 19, č. 3, s. 425–442. ISSN 0022-1082.
- [89] SPRENKLE, C. Warrant Prices as Indicators of Expectations and Preferences. *Yale Economic Essays*. 1961, roč. 1, č. 2, s. 178–231. ISSN 0044-006X.
- [90] SWAN, E.J. *Building the Global Market: A 4000 Year History of Derivatives*. The Hague: Kluwer Law International, 2000. ISBN 978-9041197597.
- [91] ŠMÍD, A.H. *Arbitráž a spekulace s omezeným rizikem*. Košice: vlastním nákladem, 1925.
- [92] THORP, E.O. A Favorable Strategy for Twenty-One. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1961, roč. 47, č. 1, s. 110–112. ISSN 0027-8424.
- [93] THORP, E.O. *Beat the Dealer: A Winning Strategy for the Game of Twenty-One*. New York: Random House, 1962.
- [94] THORP, E.O. Optimal Gambling Systems for Favorable Games. *Review of the International Statistical Institute*. 1969, roč. 37, č. 3, s. 273–281. ISSN 0373-1138.
- [95] THORP, E.O. Extensions of the Black-Scholes Option Model. *Contributed Papers 39th Session of the International Statistical Institute*. Wien (AT): ISI, 1973, s. 1029–1036.

- [96] THORP, E.O., KASSOUF, S.T. *Beat the Market: A Scientific Stock Market System*. 1st ed. New York: Random House, 1967. 221 s. ISBN 978-0394424392.
- [97] VASICEK, O. An Equilibrium Characterization of the Term Structure. *Journal of Financial Economics*. 1977, roč. 5, č. 2, s. 177–188. ISSN 0304-405X.
- [98] VASICEK, O. *Probability of Loss on Loan Portfolio*. San Francisco (CA): KMV Corporation, 1982.
- [99] VLACHÝ, J. Obchodování s deriváty a pokoutní bankéři: Ohlédnutí za finančním trhem v meziválečném Československu. *Politická ekonomie*. 2011, roč. 59, s. 205–223. ISSN 0032-3233.
- [100] WACHTEL, A. *Prämien-, Stelage- und Nachgeschäfte*. Wien: Adolf Hölder, 1897.
- [101] WEINSTEIN, M.H. *Arbitrage in Securities*. New York: Harper Brothers, 1931.
- [102] WORKING, H. A Random-Difference Series for Use in the Analysis of Time Series. *Journal of the American Statistical Association*. 1934, roč. 29, č. 1, s. 11–24.
- [103] ZIMMERMANN, H., HAFNER, W. Vincenz Bronzin's Option Pricing Theory: Contents, Contribution and Background. In POITRAS, G. (ed.). *Pioneers of Financial Economics*, díl 1. Cheltenham: Edward Elgar, 2006. s. 238–265. ISBN 978-1845423810.

**Ing. Jan Vlachý, Ph.D.**

Vysoká škola finanční a správní  
Fakulta ekonomických věd  
jan@vlachy.cz

Doručeno redakci: 10. 12. 2010  
Recenzováno: 1. 2. 2011, 8. 2. 2011  
Schváleno k publikování: 27. 9. 2013

## Příloha – porovnání modelů oceňování evropské kupní opce

### A) Bachelier (1900)

$$c = (S - X) N(d_1) + \sigma_T \sqrt{T} n(d_1) \quad d_1 = \frac{S - X}{\sigma_T \sqrt{T}} \quad (1)$$

kde  $S$  je cena podkladového aktiva,  $X$  uplatňovací cena opce,  $T$  doba do uplatnění opce (v letech),  $\sigma_T$  roční směrodatná odchylka cen podkladového aktiva,  $N(x)$  je distribuční funkce normovaného normálního rozdělení a  $n(x)$  je funkce hustoty normovaného normálního rozdělení.

### B) Bronzin (1908), pro normální rozdělení (*Fehlgengesetz*) odchylek od termínové ceny

$$c = \frac{e^{-M^2/h^2}}{2h\sqrt{\pi}} - M\psi(hM) \quad h = \frac{1}{\sigma_T \sqrt{2}} \quad (2)$$

kde  $M = X - F$  je odchylka uplatňovací ceny od termínové ceny (*écart*),  $\sigma_T$  očekávaná směrodatná odchylka cen podkladového aktiva za dobu do uplatnění opce. Tabelovanou funkcí  $\psi(x)$  lze odvodit od normovaného normálního rozdělení pomocí vztahu  $\psi(x) = N(-x\sqrt{2})$ . Vzorec (2) je tedy možné upravit na (2a)

$$c = \frac{\sigma_T e^{-M^2/2\sigma_T^2}}{\sqrt{2\pi}} - MN\left(-M/\sigma_T\right) \quad (2a)$$

Pro opci na penězích ( $M = 0$ ) z toho vyplývá velmi jednoduchý vzorec (2b).

$$c_0 = \frac{\sigma_T}{\sqrt{2\pi}} \quad (2b)$$

### C) Sprenkle (1960)

$$c = S e^{\mu T} N(d_1) - (1 - k) X N(d_2) \quad d_1 = \frac{\ln(S/X) + (\mu + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}; d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (3)$$

kde  $\mu$  je očekávaná míra výnosu podkladového aktiva,  $\sigma$  je volatilita (směrodatná odchylka) jeho výnosů a  $k$  je korekční faktor pro míru averze na tržní riziko.

### D) Boness (1964)

$$c = S N(d_1) - X e^{-\mu T} N(d_2) \quad d_1 = \frac{\ln(S/X) + (\mu + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}; d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (4)$$

### E) Samuelson, McKean (1965)

$$c = S e^{(\mu-\omega)T} N(d_1) - X e^{-\omega T} N(d_2) \quad d_1 = \frac{\ln(S/X) + (\mu + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}; d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (5)$$

kde  $\omega$  je očekávaná míra růstu hodnoty opce.

F) Black a Scholes (1973)

$$c = S N(d_1) - X e^{-rT} N(d_2) \quad d_1 = \frac{\ln(S/X) + (r + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}; d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (6)$$

kde  $r$  je bezriziková míra výnosu.

G) Merton (1973), tzv. zobecněný Blackův-Scholesův model

$$c = S e^{yT} N(d_1) - X e^{-rT} N(d_2) \quad d_1 = \frac{\ln(S/X) + (r - y + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}; d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (7)$$

kde  $y$  je očekávaná fundamentální výnosnost podkladového aktiva (dividendová výnosnost).

**Poznámky:**

- Pro snadnější porovnání byla u vzorců sjednocena notace.
- Zatímco u modelů (3) až (7) představuje parametr  $\sigma$  směrodatnou odchylku výnosů podkladového aktiva za jednotku času, vyjádřenou v procentech (volatilitu), u modelů (1) a (2a) jde o směrodatnou odchylku tržních cen, vyjádřenou v peněžní jednotce.
- V modelu (2), (2a) nefiguruje faktor času  $T$ ; ten je implicitně obsažen v parametru  $h$ , respektive  $\sigma_T$ .
- Model (5) se od (4) se liší tím, že dokáže popsat situaci, kdy je očekávaná výnosnost opce vyšší než očekávaná výnosnost podkladového aktiva, tzn.  $\omega > \mu$ , jinak jsou totožné.
- Model (4) odpovídá modelu (6) za předpokladu rovnováhy na trhu s podkladovým aktivem; model (5) odpovídá modelu (7) za předpokladu rovnováhy na trhu s deriváty. Platnost (6) a (7) lze dovést z předpokladu současné rovnováhy na trhu s podkladovým aktivem i jeho deriváty (úplné trhy).
- Modely (1), (2) a (3) hodnotu opce nediskontují; to nemusí být nutně chyba, záleží na přesné specifikaci instrumentu, který oceňují. Mnoho předválečných opcí, ale i pozdější warranty, se ve skutečnosti vypořádávaly k termínu uplatnění, navíc společně s podkladovým aktivem.

## Abstract

**SOURCES AND BOUNDARIES OF OPTION-TRADING RATIONALITY****Jan Vlachý**

*Since its publication in 1973, the Black-Scholes model has become synonymous with scientific method in finance, it has paved the ground for model-based trading and investing, and gained a Nobel Prize.*

*Based on extensive research, this paper demonstrates that 1973 cannot be perceived as the unequivocal inception date of rational options trading, however. Furthermore, there is a good case to be made against indiscriminate use of equilibrium-based models. Arguably, various benchmarking and hedging approaches, used by numerous pre-Black-Scholes practitioners, may have had perfectly sound merit, while the formula's great popularity as a heuristic for rapidly expanding markets in the late 20th Century has turned it into a curse, altering traders' and investors' behaviour, as well as the nature of financial crises.*

*Detailed coverage of the development of corresponding economic thought and research starts in Europe due to its leading and innovative role before World War II, and then passes on to the United States, in line with the redeployment of global economic power. Tight collaboration and swift transmission of ideas between various pre-war markets, as well as academia is shown to be in stark contrast with the subsequent economic and financial breakdown, corresponding to a breach in the continuity of finance research.*

*Complementing the global view, similar points are being made using historical Czech resources. These show that Czechoslovakia used to be an integral part of the global financial environment before becoming part of the Soviet bloc. Two notable personalities of outstanding stature are also introduced, Gustav Flusser (1885–1940) and Oldřich Vašíček (\*1942), whose biographies illustrate the development of financial economics, as well as corollaries of political and social forces.*

**Key Words:** *Financial history, options trading, market research, market efficiency.*

**JEL Classification:** *B16, B26, G01, G11, N20.*