Přístup distribuce ztrát s využitím teorie extrémních hodnot

Jiří Havlický [1]

Abstrakt

Cílem tohoto článku je popsat a aplikovat model pro stanovení výše potřebného kapitálu ke krytí podstupovaného operačního rizika s využitím statistického přístupu distribuce ztrát („LDA") v jeho klasickém pojetí a s využitím teorie extrémních hodnot. První část je věnována popisu hlavní myšlenky a cíle LDA. Poté následuje stručné uvedení hlavních matematických vztahů společně s popisem jednotlivých kroků implementace klasického pojetí LDA. Následně je tento koncept rozšířen s využitím teorie extrémních hodnot a její verze Peak over Threshold. Zbylá část článku je věnována aplikaci LDA na databázi událostí operačního rizika finanční instituce. Získané výsledky prokazují, že teorie extrémních hodnot hraje významnou roli při kvantifikaci operačního rizika ve srovnání s klasickými rozděleními pravděpodobnosti v případech, kdy empirická data vykazují těžký pravý konec rozdělení.

Klíčová slova

operační rizika, přístup distribuce ztrát, teorie extrémních hodnot, value-at-risk

1 Úvod

Článek je věnován kvantifikaci operačního rizika pomocí statistického přístupu distribuce ztrát („LDA"), který se řadí mezi pokročilé přístupy ke stanovení kapitálového požadavku k operačnímu riziku dle požadavků Basel 2. Jedná se o tzv. bottom-up přístup, který je svou podstatou velmi blízký kolektivnímu modelu používanému v oblasti neživotního pojištění.

Cílem článku je popsat a aplikovat model pro stanovení výše potřebného kapitálu ke krytí podstupovaného operačního rizika s využitím statistického přístupu distribuce ztrát v jeho klasickém pojetí a s využitím teorie extrémních hodnot.

První část článku obsahuje popis hlavní myšlenky a cíle LDA. Dále je uvedeno stručné matematické odvození LDA společně s hlavními kroky implementace této metodologie v klasickém pojetí, které je následně rozšířeno pomocí teorie extrémních hodnot a její verze Peak over Threshold.

Druhá část článku je věnována popisu aplikace obou konceptů LDA na databázi událostí operačního rizika finanční instituce společně s porovnáním a hodnocením získaných výsledků a závěrů.

2 Přístup distribuce ztrát („LDA")

Následující podkapitoly obsahují stručný popis hlavní myšlenky a cíle LDA, včetně hlavních matematických vztahů a kroků implementace v jeho klasickém pojetí a s využitím teorie extrémních hodnot.

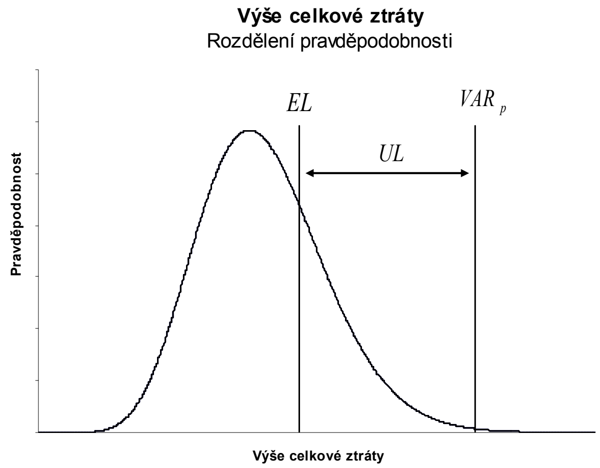
[1] Ing. Jiří Havlický, Českomoravská stavební spořitelna, Vinohradská 3218/169, 100 17 Praha 10, email: jiri_havlicky@cmss.cz. Příspěvek vznikl za podpory Grantové agentury České Republiky pod číslem projektu 402/08/1237.

2.1 Hlavní myšlenka a cíl LDA

Hlavní myšlenka přístupu distribuce ztrát spočívá v tom, že celková ztráta plynoucí z podstupovaného operačního rizika je dána součtem ztrát z individuálních událostí operačního rizika, přičemž počet událostí za zvolený časový interval, jakož i výše ztráty jednotlivých událostí představují náhodné veličiny řídící se vybranými rozděleními pravděpodobnosti.

Cílem přístupu distribuce ztrát je získat rozdělení pravděpodobnosti výše celkové ztráty plynoucí z podstupovaného operačního rizika za určitý časový interval a následný výpočet ukazatelů výše rizika jako jsou hodnota Value-at-risk, očekávaná a neočekávaná ztráta.

Obr.č.1 Očekávaná a neočekávaná ztráta operačního rizika



Hodnota Value-at-risk operačního rizika (VAR) odpovídá potenciální výši celkové ztráty na zvolené hladině významnosti *p* dle následujícího vzorce:

$$VAR_p = F_L^{-1}(1-p), \tag{1}$$

kde F_L^{-1} představuje inverzní funkci k distribuční funkci výše celkové ztráty.

Očekávaná ztráta (EL) je dána střední hodnotou výše celkové ztráty. Neočekávaná ztráta (UL) je pak dána následujícím vzorcem:

$$UL = VAR_p - EL. \tag{2}$$

2.2 Klasické pojetí LDA

Celková ztráta *L* pro danou linii podnikání *i* a typ události *j* za zvolený časový interval je dána následujícím vztahem:

$$L(i,j) = \sum_{n=1}^{N(i,j)} S_n(i,j) \quad , \tag{3}$$

kde $N(i,j)$ představuje počet událostí operačního rizika a $S(i,j)$ značí finanční dopad jedné události operačního rizika. Za předpokladu, že výše ztráty z jedné události je nezávislá na počtu událostí v rámci daného časového intervalu a současně je nezávislá na výši ztrát ostatních událostí, pak lze distribuční funkci celkové ztráty F_L vyjádřit následujícím vzorcem (pro lepší čitelnost jsou vynechány indexy *i* a *j,* pro více informací viz například Panjer, 2006):

$$F_L(x) = \begin{cases} p(0) + \sum_{n=1}^{\infty} p_N(n) F_S^{\,n*}(x) \\ p_N(0) \end{cases} \text{pro} \begin{matrix} x > 0 \\ x = 0, \end{matrix} \tag{4}$$

kde p_N představuje pravděpodobnostní funkci $N(i,j)$, F_S značí distribuční funkci $S(i,j)$ a $F_S^{\,n*}$ představuje n-tou konvoluci *S* se sebou sama, tedy

$$F_S^{\,n*} = F_S^{\,n-1} * F_S\,. \tag{5}$$

Kapitál potřebný ke krytí podstupovaného operačního rizika finanční instituce (*TC*) je pak dán následujícím vztahem:

$$TC = \sum_i \sum_j (EL + UL)_{i,j} \tag{6}$$

pro hladinu významnosti 0,1% a časový horizont 1 roku. Tvorba modelu k získání rozdělení pravděpodobnosti výše celkové ztráty *L* v rámci zvolené linie podnikání *i* a typu události *j* se skládá z tvorby databáze událostí operačního rizika, tvorby modelu četností událostí, tvorby modelu výše ztráty z jedné události a agregace modelů četností a výše ztráty z jedné události.

2.2.1 Tvorba databáze událostí operačního rizika

Tvorba databáze událostí operačního rizika spočívá zejména ve sběru interních dat popisujících realizovaná operační rizika v rámci finanční instituce.

Řada finančních institucí se stále potýká s nedostatkem interních dat. Finanční instituce mohou posílit svou interní datovou základnu prostřednictvím získání externích dat například formou jejich sdílení v rámci finančních skupin nebo prostřednictvím nákupu dat od specializovaných agentur. Další způsob, jak posílit historickou interní datovou základnu je vytvářet interní scénáře událostí, které mohou potenciálně v rámci finanční instituce nastat

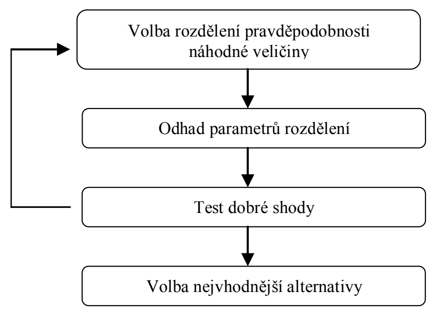
2.2.2 Tvorba modelů četností událostí a výše ztráty z jedné události

Četnost událostí operačního rizika představuje počet událostí, které nastanou během zvoleného časového intervalu a proto odpovídá charakteristikám diskrétní náhodné veličiny.

Model výše ztráty z jedné události reprezentuje finanční dopad jednotlivých událostí operačního rizika a odpovídá tedy charakteristikám spojité náhodné veličiny.

Sestavení modelů četností událostí operačního rizika a výše ztráty z jedné události spočívá v nalezení takových rozdělení pravděpodobnosti diskrétní resp. spojité náhodné veličiny, které nejvíce odpovídají empiricky napozorovaným datům. Proces tvorby modelu četností a výše ztráty z jedné události zobrazuje následující obrázek 2.

Obr.č.2 Proces tvorby modelu četností a výše ztráty z jedné události



Nejpoužívanější rozdělení četností události jsou Poissonovo a binomické rozdělení. V případě rozdělení výše ztráty z jedné události se nejčastěji používá logaritmicko-normální, gama nebo Weibullovo rozdělení z důvodů těžkých pravých konců empiricky napozorovaných finančních ztrát z operačního rizika.

2.2.3 Agregace modelu četností a výše ztráty z jedné události

Rozdělení celkové ztráty plynoucí z podstupovaného operačního rizika získáme agregací rozdělení četností a výše ztráty získaných dle kapitoly 2.2.2 Lze konstatovat, že neexistuje obecná analytická formule na výpočet distribuční funkce celkové ztráty $F_L(x)$. Obecně lze k získání rozdělení agregované (celkové) výše ztráty přistoupit čtyřmi způsoby výpočtu – rekurentně, simulačně, pomocí aproximace, případně inverzní metodou.

Simulační přístup

Simulační přístup spočívá v generování diskrétní náhodné veličiny popisující četnost událostí operačního rizika a na ní navázané generování příslušného počtu realizací spojité náhodné veličiny popisující výši ztráty jednotlivých událostí operačního rizika. Součet generovaných jednotlivých ztrát pak představuje jednu realizaci výše celkové ztráty (přímá aplikace vzorce 3). Mnohonásobným opakováním tohoto algoritmu lze získat velkou množinu realizovaných celkových ztrát, ze které lze následně sestrojit rozdělení pravděpodobnosti celkové ztráty plynoucí z podstupovaného operačního rizika. Pro simulaci náhodných čísel ze zvoleného rozdělení pravděpodobnosti lze použít například metodu *inverzní transformace* nebo *zamítací metodu* (viz například Hušek, 1987).

Panjerův rekurentní vztah

Panjerův rekurentní vztah přistupuje k výpočtu distribuční funkce celkové ztráty $F_L(x)$ pomocí diskretizace rozdělení pravděpodobnosti výše jedné ztráty f_S na základě zvolené peněžní jednotky *C*, kdy distribuční funkci $F_L(x)$ lze pak vyjádřit následujícím vztahem:

$$F_L = F(i \cdot C) = \sum_{j=0}^{i} f_L(j), \tag{7}$$

kde pravděpodobnostní funkci výše celkové ztráty f_L lze vyjádřit pomocí následujícího vztahu:

$$f_L(i) = \frac{1}{(1 - a \times f_s(0))}\left(\sum_{k=1}^{i}\left(a + \frac{b \times k}{i}\right) f_s(k) f_L(i-k)\right), \tag{8}$$

s počáteční podmínkou

$$f_L(0) = p_N(0) + \sum_{n=1}^{\infty} p_N(n) f_s^{*n}(0), \tag{9}$$

za předpokladu, že rozdělení pravděpodobnosti počtu událostí p_N je členem skupiny $(a,b,0)$ a tedy vyhovuje podmínce

$$p_N(n) = \left(a + \frac{b}{n}\right) p_N(n-1) \text{ pro } n > 1. \tag{10}$$

Lze ukázat, že do skupiny diskrétních rozdělení pravděpodobností označované jako $(a,b,0)$ patří Poissonovo, binomické, negativně binomické a geometrické rozdělení. Výpočet hodnot parametrů *a*,*b* je závislý na volbě konkrétního rozdělení (podrobnosti viz například Panjer 2006, Horáková a Mucha, 2006).

2.3 LDA s využitím teorie extrémních hodnot

Klasická rozdělení pravděpodobnosti používaná při modelování výše ztráty nemusí dostatečně vystihovat těžké konce empiricky napozorovaných dat událostí operačního rizika. Při identifikaci vysokých kvantilů může teorie extrémních hodnot zastávat velmi významnou roli.

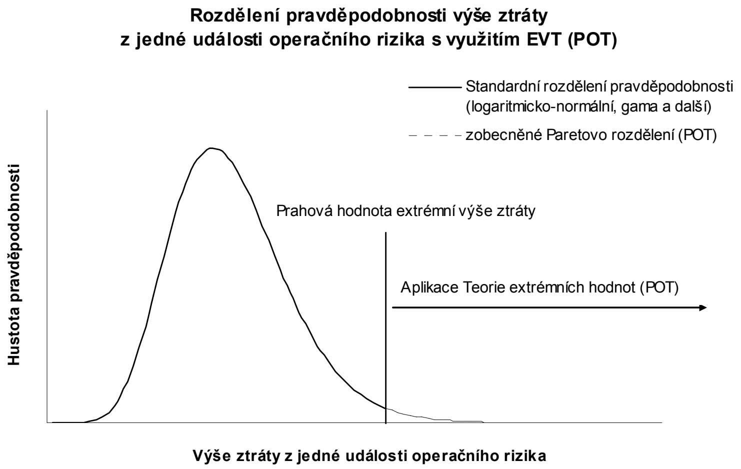
V zásadě existují dva způsoby identifikace extrémů v reálných datech. První způsob se nazývá *Block Maxima* a druhý způsob bývá označován jako *Peak over Threshold (POT)*, který přistupuje k identifikaci extrémních událostí pomocí definování prahové hodnoty, jejíž překročení implikuje výskyt extrémní události.

Na základě příslušného teorému (Pickans (1975), Balkema a de Haan, (1974)) lze konstatovat, že podmíněnou distribuční funkci ztráty z jedné události operačního rizika nad stanovenou dostatečně vysokou prahovou hodnotu lze velmi dobře aproximovat zobecněným Paretovo rozdělením.

2.3.1 Hlavní princip aplikace LDA s POT

Hlavní princip aplikace teorie extrémních hodnot (POT) v rámci přístupu distribuce ztrát spočívá v kombinaci standardního rozdělení pravděpodobnosti (logaritmicko-normální, gama a dalších) pro „normální“ výši ztráty a zobecněného Paretova rozdělení pro „extrémní“ ztráty při tvorbě modelu výše ztráty z jedné události operačního rizika (viz následující obrázek 3).

Obr.č.3 Hlavní princip aplikace teorie extrémních hodnot (POT) v rámci přístupu distribuce ztrát



2.3.2 Hlavní kroky aplikace LDA s POT

Aplikace LDA s využitím teorie extrémních hodnot (POT) spočívá v realizaci stejných kroků jako v případě LDA v jeho klasickém. Tvorba modelu výše ztráty z jedné události je však v tomto případě více náročná a spočívá v následujících krocích:

1. stanovení prahové hodnoty extrémní ztráty
2. tvorba modelu výše ztráty z jedné události do výše zvolené prahové hodnoty,
3. tvorba modelu výše ztráty z jedné události větší než prahová hodnota,
4. agregace modelů z bodů 2 a 3.

Existují různé metody identifikace prahové hodnoty extrémní ztráty jako jsou například grafický vývoj střední exces ztrátové funkce (v okolí zvolené prahové hodnoty má být funkce lineární s pozitivním sklonem), expertní odhad nebo například zvolený percentil empiricky napozorovaných dat. Stanovení prahové hodnoty je kompromis mezi její dostatečně vysokou hodnotou a množstvím dat přesahující její výši pro ocenění parametrů zobecněného Paretova rozdělení.

Tvorba modelu výše ztráty menší než prahová hodnota je shodná s LDA v jeho klasickém pojetí. Tvorba modelu výše ztráty nad prahovou hodnotou spočívá v aplikaci zobecněného Paretova rozdělení v souladu s výše uvedeným teorémem.

3 Aplikace LDA na databázi událostí operačního rizika

Cílem aplikační části je kvantifikace očekávané a neočekávané ztráty plynoucí z operačního rizika finanční instituce v časovém horizontu 1 roku pomocí aplikace přístupu distribuce ztrát v jeho klasickém pojetí a s využitím teorie extrémních hodnot a následné srovnání dosažených výsledků.

3.1 Databáze událostí operačního rizika

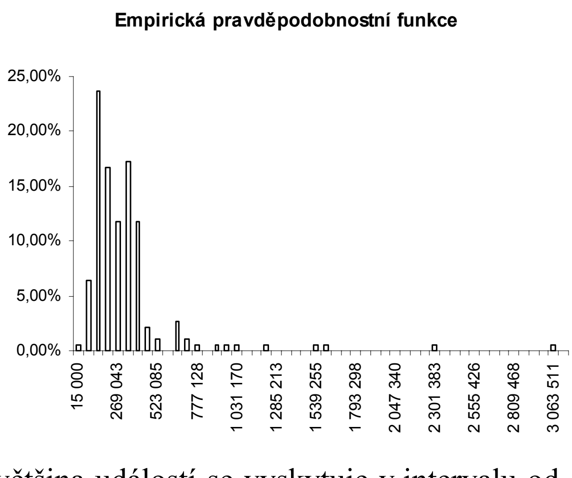
Kalkulace byla provedena na datech popisující události operačního rizika finanční instituce. Data pocházela z obchodní linie „retailové bankovnictví“ a typu události „vnější nekalé jednání“. Při sběru dat nebyl aplikován spodní práh a data nebyla rozšířena o externí zdroj a scénáře operačního rizika. Základní číselné charakteristiky uvádí následující tabulka 1.

Základní informace o databázi událostí operačního rizika	
Střední hodnota výše ztráty	291 941 Kč
Směrodatná odchylka výše ztráty	328 805 Kč
Celkový počet událostí	186
Průměrný počet událostí za rok	47

Tab.č.1 Základní číselné charakteristiky databáze událostí operačního rizika

Pravděpodobnostní funkci získanou z empiricky napozorovaných dat zobrazuje následující graf (obr. 4).

Obr.č.4 Empirická pravděpodobnostní funkce databáze událostí operačního rizika



Z grafu je zřejmé, že většina událostí se vyskytuje v intervalu od 150 000 až 400 000 Kč. Existují i málo četné avšak významnější ztráty a to až do výše cca 3 mil Kč.

3.2 Model četností událostí

Pro model četnostní událostí bylo zvoleno Poissonovo rozdělení, jehož parametr λ byl odhadnut pomocí metody maximální věrohodnosti ve výši 47 událostí za rok (odpovídá průměrnému počtu událostí za 1 rok – viz tabulka 1).

Testy dobré shody Poissonova rozdělení s empiricky napozorovaným počtem události nebyly z praktických důvodů aplikovány (krátká časová řada databáze).

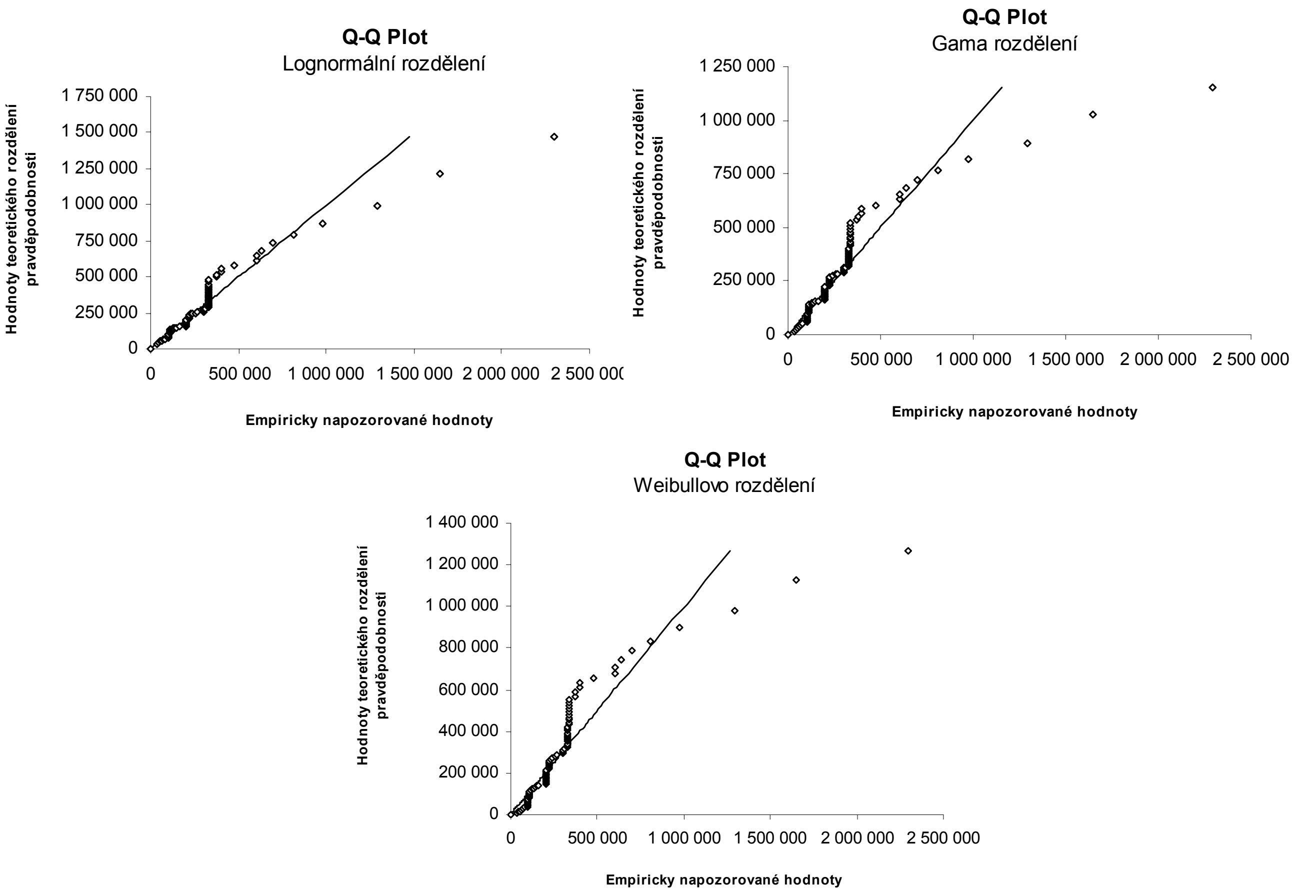
3.3 Model výše ztráty z jedné události

Model výše ztráty z jedné události byl nejprve vytvořen a testován v rámci klasického pojetí LDA pro logaritmicko-normální, gama a Weibullovo rozdělení.

Odhady parametrů jednotlivých rozdělení pravděpodobnosti včetně použité metody odhadu zobrazuje tabulka 2 (pro další výpočty byly aplikovány hodnoty parametrů získané pomocí metody maximální věrohodnosti).

Výsledky grafických testů dobré shody jsou uvedeny v následujících grafech (obr. 5).

Obr.č.5 Výsledky grafických testů dobré shody QQ-Plots pro LDA v klasickém pojetí

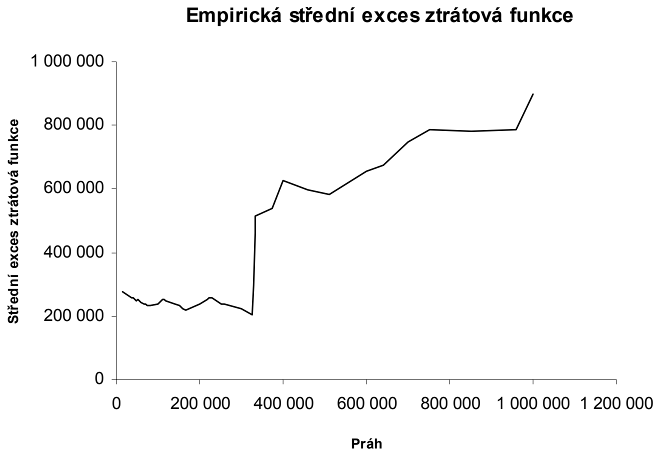


V rámci provedených testů dobré shody se ukázalo, že žádné z testovaných rozdělení pravděpodobnosti nepopisuje věrohodně empiricky napozorovaná data. Nasbíraná data vykazují těžší pravý konec rozdělení oproti zkoumaným teoretickým rozdělením pravděpodobnosti. Z tohoto důvodu bylo dále přistoupeno také k tvorbě modelu LDA s využitím teorie extrémních hodnot.

První krok v rámci tvorby modelu výše ztráty z jedné události s využitím teorie extrémních hodnot představuje stanovení prahu výše extrémní ztráty. Za tímto účelem byla využita metoda grafického zobrazení střední exces ztrátové funkce.

Vzhledem ke skutečnosti, že je potřeba, aby zvolená prahová hodnota byla dostatečně vysoká a zároveň střední exces ztrátová funkce měla lineární (pozitivní) sklon, byla zvolena prahová hodnota ve výši 650 000 Kč.

Obr.č.6 Empirická střední exces ztrátová funkce pro účely stanovení prahové hodnoty pro POT



Druhý krok spočívá v tvorbě modelu výše ztráty z jedné události do výše prahové hodnoty, který metodicky odpovídá klasickému pojetí LDA s využitím dat, jejichž výše nepřesahuje stanovenou prahovou hodnotu. Model výše ztráty byl vytvořen a testován pro shodná rozdělení pravděpodobnosti jako v předchozím případě (logaritmicko-normální, gama a Weibullovo rozdělení).

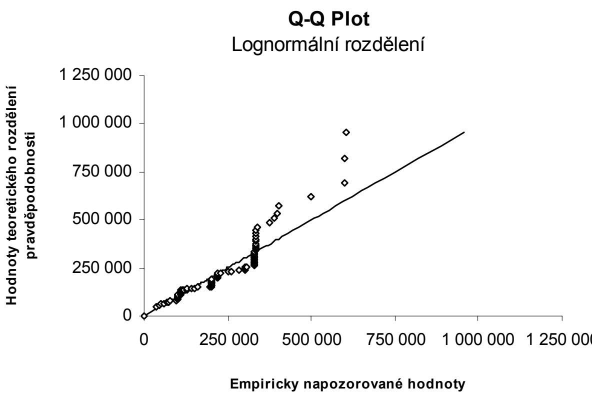
Odhady parametrů rozdělení pravděpodobnosti včetně použité metody odhadu zobrazuje následující tabulka 2 (pro následné výpočty byly dále aplikovány hodnoty parametrů získané pomocí metody maximální věrohodnosti).

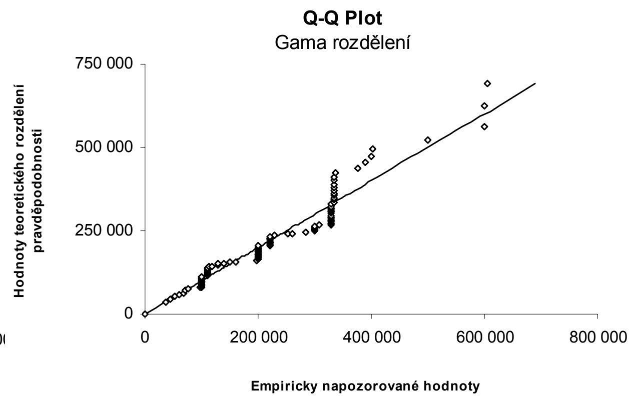
	LDA v klasickém pojetí		**LDA s využitím POT (ztráty do výše prahové hodnoty)**	
Logaritmicko-normální rozdělení	μ	σ	μ	σ
Metoda maximální věrohodnosti	12,28	0,75	12,17	0,62
Metoda Momentů	12,17	0,91	12,21	0,50
Gama rozdělení	α	β	α	β
Metoda maximální věrohodnosti	1,76	165 858	3,14	72 442
Metoda Momentů	0,79	370 333	3,47	65 582
Weibullovo rozdělení	**k**	λ	**k**	λ
Metoda maximální věrohodnosti	1,20	313 827	1,96	257 327
Regresní metoda	1,62	306 078	2,00	256 950

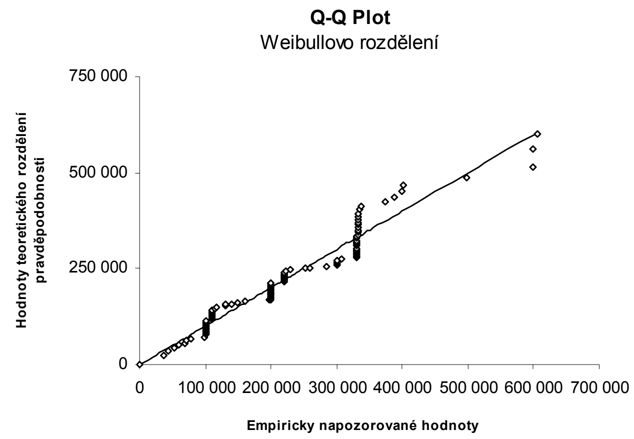
Tab.č.2 Odhady parametrů rozdělení pro model výše ztráty z jedné události

Výsledky provedených grafických testů dobré shody QQ Plots zobrazují následující grafy (obr. 7).

Obr.č.7 Grafické testy dobré shody QQ Plots při aplikaci LDA s využitím teorie extrémních hodnot (POT)







Pro vývoj modelu výše celkové ztráty bylo na základě provedených grafických testů dobré shody použito gama rozdělení, jelikož nejlépe popisuje empiricky napozorovaná data a ve srovnání s Weibullovým rozdělením poskytuje konzervativnější přístup při ohodnocování pravého konce rozdělení.

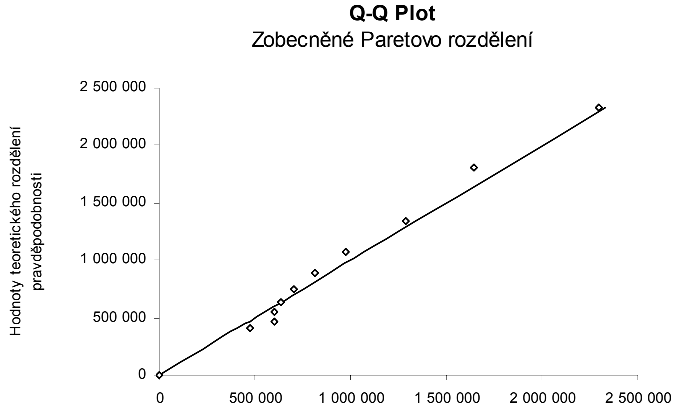
Třetí krok v rámci tvorby modelu výše ztráty z jedné události s využitím teorie extrémních hodnot spočívá v tvorbě modelu ztrát vyšších něž zvolená prahová hodnota pomocí zobecněného Paretova rozdělení. Parametry zobecněného Paretova rozdělení byly odhadnuty metodou maximální věrohodnosti s využitím dat, jejichž výše přesáhla stanovený práh. Výsledky jsou zobrazeny v následující tabulce 3.

Zobecněné Paretovo rozdělení	**Hodnota**
Parametr - σ	599 258
Parametr - ξ	0,1
Práh výše ztráty	650 000
Počet empirických dat přesahujících stanovený práh	11

Tab.č.3 Odhad parametrů zobecněného Paretova rozdělení metodou max. věrohodnosti s využitím ztrát přesahujících stanovený práh

Následující graf (obr. 8) zobrazuje provedený grafický test dobré shody pro zobecněné Paretovo rozdělení. Na základě provedeného testu lze konstatovat, že zobecněné Paretovo rozdělení popisuje věrně těžký pravý konec empiricky napozorovaných dat.

Obr.č.8 QQ Plot zobecněného Paretova rozdělení s využitím ztrát přesahujících stanovený práh

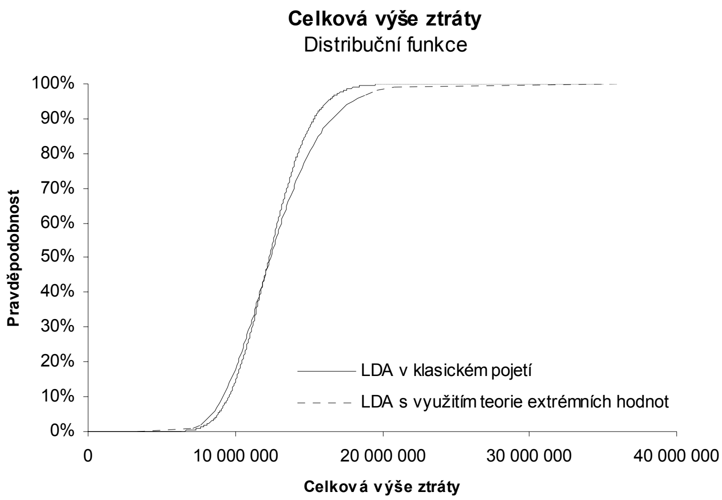


3.4 Agregace modelu četností a výše ztráty

V případě klasického pojetí LDA byla agregace Poissonova s gama rozdělením provedena pomocí Panjerova rekurentního vzorce (vztah 8). Diskretizace gama rozdělení byla provedena metodou středního bodu s peněžní jednotkou ve výši 35 000.

V případě LDA s využitím teorie extrémních hodnot byla agregace Poissonova rozdělení s gama resp. zobecněným Paretovo rozdělením provedena pomocí Monte Carlo simulace, v rámci které bylo provedeno 500 000 scénářů celkové výše ztráty. Získané distribuční funkce celkové ztráty zobrazuje následující graf (obr. 9)

Obr.č.9 Distribuční funkce výše celkové ztráty pro LDA v klasickém pojetí a s využitím POT



3.5 Získané výsledky

Podstupovaná výše operačního rizika vyjádřená očekávanou ztrátou, hodnotou Value-at-Risk a neočekávanou ztrátou je zobrazena v následující tabulce 4.

Výše kapitálu k pokrytí analyzované linie podnikání a typu události je v případě aplikace LDA s využitím teorie extrémních hodnot rovna 24,8 mil. Kč (hodnota Value-at-Risk pro hladinu významnosti 0,1%) a je v porovnání s LDA v klasickém pojetí o 23% vyšší.

Podstupované operační riziko	LDA v klasickém pojetí	LDA s využitím POT	Absolutní rozdíl	Relativní srovnání
Očekávaná ztráta	12 413 826	12 689 234	275 408	+ 2 %
Value-at-Risk (p=5%)	16 275 000	17 962 998	1 687 998	+ 10 %
Value-at-Risk (p=1%)	18 060 000	20 854 899	2 794 899	+ 15 %
Value-at-Risk (p=0,1%)	20 230 000	24 812 373	4 582 373	+ 23 %
Neočekávaná ztráta (p=0,1%)	7 816 174	12 123 139	4 306 965	+ 55 %

Tab.č.4 Výše operačního rizika v rámci modelů LDA v klasickém pojetí a s využitím POT

Dosažené rozdíly ve výši podstupovaného operačního rizika dokládají významnost aplikace teorie extrémních hodnot při kvantifikaci operačního rizika v rámci přístupu distribuce ztrát v případě těžkých konců empiricky napozorovaných dat.

4 Závěr

Článek se zabývá kvantifikací operačního rizika pomocí statistického přístupu distribuce ztrát v jeho klasickém pojetí a s využitím teorie extrémních hodnot. První část je věnována popisu obou konceptů, které jsou následně v druhé části aplikovány na datech o událostech operačního rizika finanční instituce.

Na základě získaných výsledků lze konstatovat, že empirická data o událostech operačního rizika vykazují těžké konce rozdělení a proto zaujímá teorie extrémních hodnot významnou roli při kvantifikaci výše podstupovaného operačního rizika. Výše kapitálu k pokrytí operačního rizika byla v případě LDA s využitím teorie extrémních hodnot o 23% vyšší..

Literatura

[1] AKKIDIZ, I., S., *Guide to optimal operational risk and Basek II*, Auerbach Publications, 2006.

[2] BASEL COMMITTEE ON BAKING SUPERVISION, *International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards – A revised framework,* 2005.

[3] BASEL COMMITTEE ON BAKING SUPERVISION, *Observed range of practice in key elements of Advanced Measurement Approaches*, 2006.

[4] ČNB, *Vyhláška č.123 o pravidlech obezřetného chování bank, spořitelních a úvěrních družtvech a obchodníků s cennými papíry,* 2007.

[5] DAYKIN, C.D., PENTIKÄINEN, T., PESONEN, M. *Practical Risk Theory for Actuaries*, Chapman&Hall, 1996.

[6] HORÁKOVÁ, G., MUCHA, V., *Teória rizika v poistení*, EKONÓM, 2006.

[7] HUŠEK, R. a LAUBER, J. *Simulační modely.* STNL – Nakladatelství technické literatury Praha, 1987.

[8] McNEIL, A. J., Extreme Value Theory for Risk Managers, *Working Paper*, Eidgenössiche Technische Hoschschule Zurich, 1999.

[9] MEDOVA, E., A., KYRIACOU, M., N., Extremes in operational risk management, *Working Paper*, University of Cambridge, 2001.

[10] MOOSA, A., I., A Critique of the Advanced Measurement Approach to Regulatory Capital Against Operational Risk, *Working Paper*, 2007.

[11] PANJER, H. H., *Operational Risk – Modeling Analytics*, John Wiley & Sons, 2006.

Summary

The aim of this paper is to describe the standard Loss distribution approach (“LDA”) and its extended version with the Extreme value theory and apply both concepts on the operational risk database of a financial institution. First part of the paper contains the main idea and the goal of LDA. Then the brief mathematical fundaments and the main steps of

standard LDA are described. The concept is afterwards extended through an Extreme value theory and its version called the Peak over threshold. Rest of the paper consists of the application of both concepts of LDA on the operational risk loss database of a financial institution. Obtained results have proven that the Extreme value theory (in this case the version called Peak over threshold) plays an import role in calculations of the operational risk loss when the empirical data have a heavier right tail in comparison with the classical distribution functions.