

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

**Value at Risk (hodnota v riziku) – jej význam a postavenie v
manažmente rizík finančných inštitúcií**

Bakalárska práca

Študijný program: Manažérska matematika
Študijný odbor: Matematika
Školiace pracovisko: Katedra matematickej analýzy a numerickej matematiky
Vedúci: prof. RNDr. Ing. Ľudomír Šlahor, CSc

Bratislava 2025
Darya Vauchetskaya



Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta: Darya Vauchetskaya
Študijný program: manažérska matematika (Jednoodborové štúdium, bakalársky I. st., denná forma)
Študijný odbor: matematika
Typ záverečnej práce: bakalárska
Jazyk záverečnej práce: slovenský
Sekundárny jazyk: anglický

Názov: Value at Risk (hodnota v riziku) – jej význam a postavenie v manažmente rizík finančných inštitúcií
Value at Risk – its meaning and position in the risk management of financial institutions

Anotácia: Value at Risk (VaR) je štatistická metóda, používaná na meranie a kvantifikáciu úrovne finančného rizika v rámci podnikateľského subjektu alebo investičného portfólia v určitom časovom rámci. Odhaduje potenciálnu stratu, ktorá by mohla nastať v investičnom portfóliu počas daného časového obdobia, za normálnych trhových podmienok na stanovenej úrovni spoľahlivosti.

Cieľom bakalárskej práce je analýza pozitív i negatív tejto metódy v kontexte praktických aplikácií jej užívateľov v procese manažmentu rizík.

Vedúci: prof. RNDr. Ing. Ľudomír Šlahor, CSc.
Katedra: FMFI.KMANM - Katedra matematickej analýzy a numerickej matematiky
Vedúci katedry: doc. RNDr. Zbyněk Kubáček, CSc.

Spôsob prístupnosti elektronickej verzie práce:
bez obmedzenia

Dátum zadania: 25.09.2024

Dátum schválenia: 25.09.2024

doc. RNDr. Michal Demetrian, PhD.
garant študijného programu

.....
študent

.....
vedúci práce

Týmto vyhlasujem, že som túto prácu vypracoval sám s pomocou môjho školiťa...

.....
Vaše meno

Podakovanie

Niekoľko teplých slov - dopísať

Abstrakt

aaaaaaaaaaa_SK

Klíčové slova: ...

Abstract

aaaaaaaaaaa_EN

Keywords: ...

Obsah

Podakovanie	2
Abstrakt	3
Abstract	4
Úvod	6
1 Teoretický základ pre riadenie a hodnotenie trhových rizíki	7
1.1 Všeobecný opis rizík a ich klasifikácia	7
1.2 Kľúčové vlastnosti metódy «Value at Risk»	10
1.3 Spôsob výpočtu metódy «Value at Risk»	12
1.4 Prístupy k testovaniu presnosti metódy „Value at Risk”	15
Záver	18

Úvod

Uviest úvodný text...

Kapitola 1

Teoretický základ pre riadenie a hodnotenie trhových rizíki

1.1 Všeobecný opis rizík a ich klasifikácia

Každý jedinec sa počas svojej existencie nevyhnutne stretáva s pojmom riziko. Podľa historických zdrojov bol tento pojem prvýkrát použitý už pred niekoľkými storočiami. Zvyčajne ho používali ľudia, ktorí lovili rôzne morské živočíchy a museli manévrovať medzi podvodnými prekážkami. Z tohto kontextu pochádza aj slovesný tvar tohto pojmu: "riskovať", čo znamená manévrovať s cieľom vyhnúť sa kolízii.

Aj v súčasnosti má každý človek na podvedomej úrovni pochopenie významu tohto pojmu a spája ho s nebezpečenstvom, ktorému je potrebné vyhnúť, negatívnymi skúsenosťami, ktoré nie sú žiaduce a môžu byť spôsobené neuváženým konaním jednotlivcov alebo skupín. Možno konštatovať, že pojem "riziko" má podobný význam vo všetkých oblastiach činnosti, ale jeho príčiny sú rôzne. Obzvlášť v oblasti financií sa riziko najčastejšie spája so stratou kapitálu a ekonomickými problémami, ktoré sa formovali v priebehu historického vývoja finančných systémov.

Nebezpečné situácie spôsobené vonkajšími faktormi a vytvorené situáciami mimo podniku sa označujú ako riziká. Základom týchto nebezpečenstiev je finančný sektor a činnosti, ktoré regulujú mieru rizika a potenciálne negatívne dôsledky. Za katalyzátory nebezpečenstiev možno považovať aj iné odvetvia, ale tie sa označujú ako vyššie uvedené.

Existuje päť kategórií exogénnych faktorov, ktoré prispievajú k vzniku externých rizík: politická a makroekonomická situácia, zahŕňajúca finančnú a vojenskú atmosféru; katastrofické situácie; faktory súvisiace s medzištátnymi vzťahmi; zmeny v medzinárodnej legislatíve; finančné výkyvy: ceny akcií, znehodnotenie cenných papierov konkrétnych spoločností.

Nepriaznivé situácie spôsobené vnútorným prostredím podniku sú menej nepredvídateľné a ľahšie analyzovateľné. Vzhľadom na úzke prepojenie medzi financiami a rizikami možno interné riziká klasifikovať nasledovne: rozlišujú sa peňažné riziká, ktoré možno ohodnotiť číselnou hodnotou. Existuje súvislosť medzi stupňom intenzity krízovej situácie a finančnými tokmi. Rozlišujú sa aj nefinančné riziká. Finančné riziká možno v rámci disciplíny riadenia katastrof znížiť, zatiaľ čo nefinančné riziká možno minimalizovať. Vo

všeobecnosti sa nehľadajú spôsoby, na úplnú elimináciu rizika, ale skôr spôsoby, ako z vypočítaného a zodpovedne realizovaného riadenia rizík dosiahnuť výhody alebo zisk [1].

K rizikám, ktoré je možné kvantifikovať, patria:

A) Úverové riziko – vzniká v dôsledku potenciálnej alebo reálnej hrozby, ktorá je spôsobená nedostatkom schopnosti finančného subjektu dodržať podmienky menovej dohody (napríklad termín splatenia záväzkov). Tento typ rizika sa týka nielen finančných prostriedkov, ale aj vykonávania poistných opatrení prostredníctvom fondov (úverov), osobných a portfóliových rizík.

B) Riziko likvidity, ktorého dôvodom je nemožnosť plnenia zmluvy medzi podnikom a zákazníkom bez materiálnej škody, zníženia materiálnych zdrojov alebo straty finančných výnosov. Predurčené aktíva, ktoré sú likvidné, majú mimoriadnu hodnotu. Príčinou tohto rizika je neefektívne riadenie nepredvídaných strát peňazí a nedostatok možností na vyrovnanie záväzkov. analýza rizík spojených s likviditou je náročná, pretože existuje veľa rôznych udalostí, ktoré môžu ovplyvniť tento typ rizika.

C) Trhové riziko je spôsobené nízkou úrovňou finančných prostriedkov a príjmov, ktoré sú ovplyvnené variabilitou nákladov na zdroje podniku. Charakteristiky trhového rizika budú podrobnejšie analyzované v nasledujúcich častiach práce.

D) Prevádzkové a technologické riziko predstavuje jeden z faktorov, ktoré spôsobujú problém s dokončením podniku v dôsledku nedostatkov v organizačnej štruktúre a iných faktorov, ako sú softvér, riadenie, regulácia ukazovateľov a celková optimalizácia inštitúcie. Zvyčajne zahŕňa zneužívanie úradných povinností, ignorovanie zavedených interných postupov, zníženú kvalitu produkcie a pravdepodobnosť núdzových situácií (skrat, tornádo, tsunami).

Medzi nekvantifikovateľné riziká patria:

a) Reputačné riziko. Dôvodom vzniku je skutočnosť, že reputácia je dôležitá ako miera dôvery v podnik, ktorá ovplyvňuje nadväzovanie obchodných vzťahov s potenciálnymi finančnými partnermi. Zníženie tohto ukazovateľa vytvára problémy v spolupráci s dodávateľmi a zákazníkmi, čo spôsobuje finančné straty a v prípade použitia úverového financovania až k finančnej kríze. Riziko tohto druhu sprevádza inštitúciu počas jej existencie a nemožno ho podceňovať.

b) Právne riziko. Vzniká v dôsledku nedodržiavania obchodných predpisov, právnych aktov alebo špecifík uzatvorených zmlúv. Dôsledkom tohto typu rizika sú pokuty, finančné straty a straty pozícií vo finančnom sektore. Tento typ rizika je možné minimalizovať zlepšením efektívnosti spoločnosti.

c) Strategické riziko. Vzniká v dôsledku nesprávneho formulovania finančných problémov, nesprávnej definície rozvojových stratégií, nedostatočnej tvorby zoznamu potrebných akcií a opatrení, ktoré sú nevyhnutné na vykonávanie týchto stratégií [1].

Ak by podnik pri svojom fungovaní nezohľadnil potenciálne riziká, mohlo by to viesť k závažným negatívnym dôsledkom. Dôvodom je nevyhnutná prítomnosť týchto rizík v podnikateľskej činnosti, ktorá sa zaoberá peniazmi. Pravdepodobnosť takýchto rizík je širšie definovaná ako usporiadanie podmienok podnikania, ktoré môžu spôsobiť stratu významnej časti kapitálu podniku alebo poklesu ziskovosti v mnohých prípadoch.

Nebezpečné situácie na trhu zvyčajne vznikajú kolísaním cien akcií, dlhopisov alebo cenných papierov, ktoré sú v portfóliu inštitúcie. Trhové riziká sú ovplyvnené nasledujú-

cimi faktormi:

a) Vzťah k trhovej štruktúre – počet subjektov, ktorí majú záujem o nákup alebo predaj určitého finančného majetku, a o celkovú finančnú pozíciu na trhu.

b) Heterogenita finančného trhu – závislosť od fundamentálnych faktorov finančnej situácie emitenta, ako sú jeho ziskovosť a výkonnosť.

c) Prepojenie jednotlivých komponentov trhu – vzájomná závislosť rôznych segmentov finančného trhu a ich prítomnosť vo väčšine podnikateľských projektov, ktoré súvisia s finančnými aktivitami.

Keďže menová sféra je súčasťou konceptu rizika, podniky sa nezameriavajú na úplnú elimináciu rizika tým, že sa vzdajú rizikových rozhodnutí, ale na nájdenie kompromisného a kreatívneho spôsobu, ako zabezpečiť najväčšiu pravdepodobnosť zisku pri najmenšej pravdepodobnosti finančnej straty [2].

Najčastejším prístupom k hodnoteniu trhového rizika je jeho dekompozícia na samostatné, ľahšie analyzovateľné faktory.

Bazilejský výbor navrhuje klasifikáciu trhových rizík nasledovne: úrokové riziko a menové riziko. Okrem toho sa uvažuje aj o riziku súvisiacom s komoditami, ktoré majú úzky vzťah k finančnému trhu.

Riziko variability úrokových hodnôt, ktoré je na prvý pohľad spojené s nepredvídateľnou variabilitou úrokových sadzieb, sa delí na tieto podkategórie:

- riziko kolísania cien materiálov;
- riziko kolísania peňažných príjmov;
- zásadné riziko;
- riziko príležitosti (nepovinné).

Menové riziko je neustále ovplyvňované výkyvmi cien hlavných svetových mien, ako sú americký dolár a euro, ako aj komodít, ako sú zlato a striebro. Na základe charakteru týchto výkyvov a ich vplyvu na finančné operácie možno menové riziko rozdeliť do nasledujúcich skupín:

- riziko prevodu peňazí;
- riziko zmeny menovej jednotky merania (napríklad z dolára na určitú sumu eura alebo naopak);
- riziko zníženia alebo zvýšenia schopnosti podniku vykonávať hotovostné transakcie alebo bojovať o podiel na trhu.

V súčasnej finančnej literatúre sa riziká zásob spomínajú veľmi zriedkavo. Dôvodom je relatívne nízka aktivita akciového trhu. Knihy zahraničných autorov venujú tomuto typu rizika oveľa viac pozornosti, pričom ich základom je teória portfólia a často sa v nich uvádzajú metódy a spôsoby matematického výskumu.

1.2 Kľúčové vlastnosti metódy «Value at Risk»

Potreba veľkých finančných podnikov analyzovať trhové riziká vznikla v 60. rokoch 20. storočia v dôsledku rastúcej volatility na trhu s cennými papiermi. Na konci 20. storočia bol zavedený analytický nástroj s názvom Value at Risk (VaR), ktorého cieľom bolo kvantifikovať trhové riziko pomocou konkrétnej numerickej hodnoty. Tento prístup analýzy poskytol jednotný štandard v metodológii skúmania finančných rizík a stal sa základom pri rozhodovacích procesoch v oblasti riadenia rizík v rôznych sektoroch hospodárskej činnosti.

Koncept Value at Risk (VaR), preložený ako „hodnota v riziku“ alebo „cena rizika“, slúži na hodnotenie potenciálnych finančných strát v rámci konkrétneho portfólia alebo aktíva. Vďaka svojej prehľadnosti, širokému spektru aplikácií a vysokej presnosti výsledkov sa metóda začala využívať nielen vo finančnom sektore, ale aj v ďalších odvetviach ekonomiky, v ktorých je potrebná kvantifikácia rizika.

Pojem Value at Risk (hodnota v riziku) označuje nielen samotný proces výpočtu, ale aj kvantitatívny ukazovateľ trhového rizika. Tento ukazovateľ definuje maximálnu možnú výšku finančnej straty, ktorá s určitou pravdepodobnosťou (zvyčajne 95 % alebo 99 %) neprekročí skutočnú stratu za vopred stanovené časové obdobie. Tento prístup umožňuje efektívne hodnotiť a riadiť riziká spojené s obchodovaním na finančných trhoch.

Odhad hodnoty rizika vychádza zo štatistických údajov z predchádzajúcich časových období. Pri analýze sa skúma hodnota potenciálnych finančných strát daného portfólia cenných papierov v rámci exaktne definovaného časového intervalu Δt . Predpokladajme, že $F_L(l) = P(L \leq l)$ je distribučná funkcia príslušných finančných tokov podniku [3].

Podstatou oceňovania rizika je určenie štatistiky na základe F_L , ktorá vyjadruje mieru expozície riziku, vi ktorom sa dané portfólio nachádza počas definovaného časového intervalu Δt . Pre tieto štatistiky je najväčšia hodnota, ktorú môžu finančné straty nadobudnúť, reprezentovaná ako $\inf F_L(1) = 1$. Táto hodnota predstavuje kritickú úroveň rizika v extrémnych prípadoch.

Avšak vo veľkom počte modelov funkcia rozdelenia peňažných tokov FL nemá hraničnú hodnotu, čo znamená možnosť neobmedzených finančných strát. Pri meraní rizika výhradne na základe maximálnej nožnej straty dochádza k ignorovaniu dôležitých štatistických charakteristík distribučnej funkcie F_L . V tejto súvislosti Value at Risk (VaR) predstavuje rozšírenie tradičného prístupu k hodnoteniu maximálnej potenciálnej straty, pričom sa vyhýba negatívnym vlastnostiam predchádzajúcej miery.

Podstatou tohto prístupu nie je stanovenie absolútnej maximálnej straty, dentifikácia hodnoty straty, ktorú dané portfólio neprekročí s predom určenou pravdepodobnosťou. Inými slovami, ide o definovanie spoľahlivého intervalu s pravdepodobnosťou $\alpha \in (0, 1)$ [4].

Z uvedeného vyplýva, že hodnota Value at Risk (VaR) pre dané portfólio rizikových aktív pri vopred definovanej hladine spoľahlivosti α je určená ako minimálna hodnota l , pre ktorú platí, že pravdepodobnosť, že celková strata L presiahne túto hodnotu, neprekročí úroveň $(1 - \alpha)$. Tento vzťah možno vyjadriť matematicky nasledovne [5]:

$$\text{VaR}_\alpha = \inf\{l \in \mathbb{R} : P(L \leq l) \leq 1 - \alpha\} = \inf\{l \in \mathbb{R} : F_L(l) \geq \alpha\} \quad (1.1)$$

Z hľadiska matematickej štatistiky je VaR jednoducho zhlukom strát. Štandardne sa pre hladinu spoľahlivosti α volia hodnoty $\alpha=0,95$ alebo $\alpha=0,99$. Pre posudzovanie trhových rizík (ako aj operačných rizík) sa často uvažuje časový horizont Δt , ktoré sa často berie ako 1 deň alebo 10 dní, ale môže byť aj dlhšie.

Napriek širokému uplatneniu tejto metriky však z jej definície vyplýva zásadné obmedzenie – VaR pre danú hladinu spoľahlivosti α neposkytuje dostatočné informácie o rozsahu a veľkosti strát, ktoré môžu nastať s pravdepodobnosťou nepresahujúcou $(1 - \alpha)$. Táto skutočnosť predstavuje jednu z hlavných nevýhod využívania VaR ako ukazovateľa rizika [5].

Uvažujme teraz prípad, že rozdelenie výnosov F_L je normálne rozdelenie so strednou hodnotou μ a rozptylom σ^2 , a všimnime si, že úroveň spoľahlivosti α patrí do intervalu $\alpha \in (0, 1)$. Potom:

$$\text{VaR}_\alpha = \mu + \sigma \Phi^{-1}(\alpha), \quad (1.2)$$

kde Φ je funkcia štandardného normálneho rozdelenia a $\Phi^{-1}(\alpha)$ je α -kvantil Φ [10]. Potom platí nasledujúci výraz:

$$P(L \leq \text{VaR}_\alpha) = P\left(\frac{L - \mu}{\sigma} \leq \Phi^{-1}(\alpha)\right) = \Phi\left(\Phi^{-1}(\alpha)\right) = \alpha \quad (1.3)$$

Uvedený výraz sa používa na prístup založený na rozptyle a kovariancii, ktorý je v literatúre bežne označovaný ako delta-normálny prístup pri kvantifikácii rizika.

Vyššie uvedený analytický vzorec má nasledujúci význam: očakávaná výška rizika (VaR) bude väčšia než skutočná výška rizika L počas časového obdobia Δt s pravdepodobnosťou α ($\alpha=0,99; 0,95$ a pod.).

V praxi sa podobné hodnoty získajú, ak namiesto predpokladu normálneho rozdelenia výnosov použijeme t-Studentovo rozdelenie. Ďalej predpokladajme, že naša náhodná hodnota výnosu L je taká, že:

$$\frac{L - \mu}{\sigma}, \quad (1.4)$$

má t-Studentovo rozdelenie so stupňami voľnosti ν . Uvedený model výnosu teda bude $L \sim t(\nu, \mu, \sigma^2)$, kde stredné momenty sú $E(L) = \mu$ a $\text{var}(L) = \frac{\nu\sigma^2}{\nu-2}$, pričom $\nu > 2$. Za predpokladu, že t_α je funkciou štandardného t-Studentovho rozdelenia, získame: [5].

$$\text{VaR}_\alpha = \mu + \sigma t_{\nu-1}(\alpha), \quad (1.5)$$

Na základe vzorca (1.1) možno ukazovateľ Value at Risk (VaR) charakterizovať prostredníctvom nasledujúcich parametrov [6]:

a) Očakávaná úroveň rizika, ktorá sa určuje ako absolútna hodnota, alebo ako percentuálny podiel hodnoty analyzovaného ukazovateľa k určitému časovému okamihu.

b) Časové obdobie, ktoré sa ustanovuje ako minimálna doba potrebná na likvidáciu príslušného aktíva na trhu bez významných finančných strát. Časové obdobie sa stanovuje s prihliadnutím na počet hodín práce alebo hodín predaja. Časový horizont môže byť variabilný v závislosti od konkrétnej situácie, pričom bežné hodnoty zahŕňajú 7 dní, 31 dní alebo 1 rok.

c) Hĺbka časového horizontu retrospektívnych alebo výskumom získaných údajov, ktoré sa používajú na stanovenie VaR [5].

d) Úroveň spoľahlivosti (pravdepodobnosť prekročenia straty), ktorá vyjadruje pravdepodobnosť, že skutočná strata neprekročí stanovenú hodnotu VaR. Pri určovaní tejto úrovne sa vychádza z regulačných odporúčaní, napríklad Bazilejského výboru pre bankový dohľad, ktorý odporúča 99 % spoľahlivosť. V praxi sa však často používa aj hladina 95%, zatiaľ čo v prípadoch so zvýšenou potrebou ochrany pred extrémnymi stratami sa uplatňujú aj hodnoty 99,9 % alebo 99,99 %. Vyššie úrovne spoľahlivosti sú relevantné najmä pre subjekty s vysokým rizikovým profilom alebo pre situácie, kde sú potenciálne straty spojené s výraznými ekonomickými dopadmi.

1.3 Spôsobý výpočtu metódy «Value at Risk»

Najnáročnejším aspektom analýzy Value at Risk (VaR) je určenie rozdelenie peňažných tokov finančného nástroja. Napriek metodologickým výzvam sa neustále vyvíjajú prístupy na jeho odhad, pričom možno identifikovať dva základné prístupy na výpočet hodnoty v riziku [8]:

- Parametrické metódy (odhad finančného nástroja na základe konkrétnych parametrov);
- Neparametrické metódy (oceňujú finančný nástroj všeobecne, pričom nepredkladajú hypotézy o aproximácii určitých hodnôt).

V kontexte analýzy rizika sa významná pozornosť venuje parametrickým metódam, pretože sú jedným z hlavných prístupov. V prípade neparametrických metód nie je potrebné špecifikovať počet premenných, ktoré sa majú použiť na analýzu, ani detailne skúmať charakter funkcie a jej všeobecnú analýzu [7].

Medzi najčastejšie využívané neparametrické metódy patria:

- Historická metóda modelovania
- Variančno-kovariančná metóda
- Metóda simulačného modelovania Monte Carlo

Tieto prístupy vychádzajú z koncepcie vytvorenia vhodnej funkcie založenej na historických údajoch, ktorá reflektuje cenové výkyvy, alebo inými slovami, potenciálne peňažné príjmy a výdavky.

Metóda historického modelovania je založená na predpoklade, že v krátkodobom horizonte sú zmeny trhových cien minimálne alebo zanedbateľné. Jej základným princípom je použiť existujúci časový rad, a nie fiktívny, pre určenie rozdelenia náhodných premenných [8].

Pre realizáciu výpočtov je potrebné definovať základný zoznam cien akcií, časové obdobie, pre ktoré je potrebné určiť rizikovú cenu, a interval spoľahlivosti (hodnotu α).

Pri aplikácii metódy historického modelovania možno identifikovať konkrétne kroky, ktoré zahŕňajú výkyvy hodnôt peňažných príjmov (strát) aktíva alebo ich určitej kombinácie. Výnosy zistené predtým sa zoradia od najnižších po najvyššie a v závislosti od

hodnoty α sa vyberie počet hodnôt tak, aby pomer vybraných hodnôt k celkovému objemu časového radu neprekročil $(1 - \alpha)\%$ počnúc hodnotami menšími ako nula. Ďalšia hodnota, ktorá zodpovedá najmenšiemu poradovému číslu spomedzi tých, ktoré zostali po oddelení, je hodnota Value at Risk, ktorú potrebujeme [2].

Medzi najviditeľnejšie pozitívne vlastnosti tohto prístupu patrí relatívna výpočtová nenáročnosť a transparentnosť. Na získanie čo najpresnejšieho odhadu hodnoty Value at Risk (VaR) je potrebné použiť veľké množstvo historických údajov o cenách aktív. Je však dôležité, aby sa nepoužívalo príliš veľa historických údajov, pretože tie môžu byť zastarané a výsledky hodnoty v riziku nemusia byť presné.

Ďalšou významnou výhodou historického modelovania je absencia potreby stanovenia konkrétného typu rozdelenia peňažných tokov, čím sa eliminuje nutnosť predpokladať štandardné štatistické distribúcie, ako je napríklad normálne rozdelenie. To je užitočné pri analýze fenoménu tzv. "tučných chvostov" (fat tails), ktorý charakterizuje výskyt extrémnych výkyvov na trhu. Napriek tomu je dôležité kriticky posúdiť reprezentatívnosť použitých historických údajov vzhľadom na analyzovaný proces. Medzi negatívne vlastnosti tejto metódy patrí potenciálne dlhý čas potrebný na výpočty [9].

Variančno-kovariančná metóda je jednou z kľúčových súčastí parametrického prístupu k analýze hodnoty v riziku (VaR). Jej podstata spočíva vo výpočte variácie a kovariácie zmien cien aktív na určenie očakávaných strát. Táto metóda vychádza z predpokladu normálneho rozdelenia výnosov a využíva priemerné hodnoty a štandardnú odchýlku na kvantifikáciu rizík.

Kľúčové kroky metódy zahŕňajú:

- 1. Určenie volatility každého aktíva v portfóliu.
- 2. Výpočet korelačnej matice medzi aktívami.
- 3. Aplikáciu získaných parametrov na posúdenie potenciálnych strát pri stanovenom intervale spoľahlivosti (α).

Výhodami metódy sú jej relatívna jednoduchosť a výpočtová efektívnosť, najmä pre portfóliá s malým počtom aktív. Táto metóda je široko používaná vo finančných organizáciách vďaka zrozumiteľnosti matematického aparátu a dostupnosti potrebných údajov [8].

Nevýhody metódy zahŕňajú predpoklad o normálnom rozdelení výnosov a neschopnosť zohľadniť „tučné chvosty“, ktoré môžu ovplyvniť presnosť hodnotenia rizík v reálnych podmienkach. Okrem toho je metóda nedostatočne efektívna pre nelineárne finančné nástroje, ako sú opcie, kde môže byť kritický vplyv zmien volatility alebo špecifická štruktúra výplatných profilov.

Metóda Monte Carlo vykazuje určité podobnosti s historickou metódou, ale v niektorých aspektoch sa od nej zásadne odlišuje. Jedným z týchto rozdielov sú fluktuácie hodnôt aktív, ktoré sa pri metóde Monte Carlo simulované náhodne. Zvolené rozdelenie vychádza z vopred definovaného rozdelenia, ktoré je potrebné špecifikovať. Pri tejto metóde sa používa veľký počet nástrojov na modelovanie zmien hodnôt, pričom jedným z najčastejšie používaných je model Brownovho pohybu.

Zaujímavou variáciou tejto metódy je jej modifikovaná verzia, pri ktorej nie je potrebné určiť rozdelenie náhodných premenných a údaje o sledovaní je možné okamžite zahrnúť do výpočtov. Medzi pozitívne vlastnosti tejto metódy patrí možnosť analyzovať nielen jednu konkrétnu trajektóriu zmien hodnoty aktíva, ako to bolo v predchádzajúcom prípade, ale ľubovoľný počet takýchto zmien, čo zvyšuje kvalitu analýzy.

Medzi negatívne vlastnosti metódy Monte Carlo patria nízka presnosť pri použití príliš malého množstva informácií a aplikácia hypotézy, že peňažné toky sú nezávislé od času [10].

Alternatívnym prístupom k analýze hodnoty v riziku sú metódy s určitými parametrami, ktoré, ako už bolo uvedené, vychádzajú z lokálneho odhadu. Prítomnosť lokálneho ocenenia znamená použitie lineárnej alebo sofistikovanejšej aproximácie hodnotovej funkcie finančného aktíva, ktorá je výsledkom primeraného zohľadnenia faktorov ovplyvňujúcich hodnotu aktíva a posúdenia jeho rizikového profilu.

Medzi vhodné metódy na určenie hodnoty v riziku patrí delta-normálna metóda a delta-gama aproximácia. V modernom finančnom svete je najrozšírenejšou metódou výpočtu práve delta-normálna metóda, ktorá je základom neskôr vyvinutej hodnoty Value at Risk. Kľúčovým predpokladom tejto metódy je, že logaritmické výnosy aktív sledujú normálne rozdelenie.

Za predpokladu normálneho rozdelenia logaritmov hodnotových pomerov (inými slovami, geometrických výnosov) samotné hodnotové pomery budú vykazovať lognormálne rozdelenie. V kontexte finančných trhov môžu byť rozptýlené a stredná hodnota výnosov vo svojej podstate volatilné. Metódy, v ktorých sa volatilita σt mení v čase, začali byť čoraz viac používané.

Pri analýze rizika v dlhších časových horizontoch, napríklad obdobia presahujúce jeden obchodný deň, je vhodné predpokladať, že volatilita zmien hodnôt je úmerná veľkosti časového obdobia, pre ktoré sa riziko hodnotí. Táto hypotéza umožňuje posúdiť riziko na trhu cenných papierov škálovaním hodnoty získanej analýzou za jeden deň pomocou metódy Value at Risk.

V prípade dostatočne krátkych časových období T (menej ako 11 dní) bude hodnotenie považované za dostatočne presné, ak sa použije súčin T .

Delta-normálna metóda má určité pozitívne vlastnosti. Napríklad sa pomocou nej dá ľahko vypočítať riziko prostredníctvom softvérových nástrojov a čas potrebný na získanie potrebných informácií je relatívne krátky. Nevýhodou je však predpoklad normality rozdelenia peňažných tokov, pretože v praxi sa často vyskytujú finančné aktíva, ktorých rozdelenie hustoty pravdepodobnosti výrazne líši. V dôsledku toho môžu byť výsledky Value at Risk, ktoré sú založené na predpoklade normálneho rozdelenia, buď nadhodnotené, alebo podhodnotené [5].

Metóda delta-gama (často označovaná ako delta-gama-vega aproximácia) umožňuje zohľadniť ďalšie relevantné riziká, ako napríklad zmeny delta alebo volatility. To zvyšuje výhody delta-normálnej metódy tým, že umožňuje presnejšie ocenenie nelineárnych finančných nástrojov, avšak zároveň výrazne komplikuje výpočty [8].

1.4 Prístupy k testovaniu presnosti metódy „Value at Risk

Nezávisle od zvolenej metodológie musí byť metóda VaR overená, aby sa predišlo riziku použitia neadekvátnej metódy. Tento proces je známy v odbornej literatúre pod označením „backtesting“. Overovanie metódy umožňuje zistiť, do akej miery je použitá metóda vhodná na hodnotenie trhového rizika v podobe ukazovateľa VaR v reálnych trhových podmienkach [5].

Hodnotenie presnosti metódy si vyžaduje porovnanie vypočítaných hodnôt s empirickými údajmi, čím sa overuje jeho vhodnosť pre dané časové obdobie. Z tohto dôvodu je nutné skontrolovať konzistentnosť prognóz modelu v súvislosti s predpokladmi, z ktorých vychádza výber metódy, ako sú napríklad rozdelenie strát alebo rezíduí. V tejto práci sa na evaluáciu metódy VaR aplikujú trojstupňový nepodmienený test pokrytia a test nezávislosti.

Pri stanovenom intervale spoľahlivosti $q \in (0, 1)$ sa očakáva, že reálna strata X_{t+1} presiahne predpokladanú hodnotu $\text{VaR}_q^t(X_{t+1})$ len v $100(1 - q)\%$ prípadoch. Takéto presiahnutia sa označujú ako VaR-prekročenia (VaR-breaks).

Konkrétne pre metódu VaR, ktorú reflektujú aktuálny vývoj strát a volatilitu, sa predpokladá, že VaR-prekročenia budú nezávislé. Preto spôsob overovania kvality metódy VaR spočíva v testovaní, či metóda vykonáva očakávaný počet VaR-prekročení, ale aj analýzu ich vzájomnej nezávislosti. Na tento účel sa vytvára sekvencia indikátorových premenných, ktoré reprezentujú VaR-prekročenia ako:

$$I_{t+1} = \begin{cases} 1, & \text{ak } X_{t+1} > \text{VaR}_q^t(X_{t+1}), \\ 0, & \text{ak } X_{t+1} \leq \text{VaR}_q^t(X_{t+1}), \end{cases} \quad (1.6)$$

Pre výberovú množinu veľkosti T vypočítané hodnoty VaR tvoria sekvenciu $\{I_t\}_{t=1}^T$ ("sekvencia prekročení"). Základná nulová hypotéza, predpokladá že I_t sú Bernoulliho náhodné premenné s pravdepodobnosťou úspechu $\alpha = 1 - q$. Takto $\{I_t\}_{t=1}^T$ predstavuje sekvenciu nezávislých náhodných rovnomerne rozdelených Bernoulliho premenných. Pravdepodobnostná hustotná funkcia Bernoulliho rozdelenia s parametrom (p) je daná vzorcom:

$$f(I_t; p) = p^{I_t}(1 - p)^{1-I_t}, \quad (1.7)$$

Nezávislý test pokrytia (Unconditional coverage test). Najprv je potrebné overiť, či metóda generuje očakávaný počet VaR-prekročení pri zvolenej hladine spoľahlivosti α . Tento aspekt sa skúma prostredníctvom nezávislého testu pokrytia. Porovnáva sa teoretický podiel π výberu VaR-prekročení s predpokladanou hodnotou α . Nulová hypotéza testu pre nezávislý test pokrytia je: $\pi = \alpha$ [7]. Toto porovnanie sa vykonáva pomocou testu pravdepodobnostného pomeru. Označíme T_1 a T_0 ako počet prekročení a neprekročení vo výbere veľkosti T . Pravdepodobnostná funkcia pre nulovú hypotézu je definovaná nasledovne:

$$L(\alpha) = \prod p^{I_t}(1 - p)^{1-I_t} = p^{T_1}(1 - p)^{T_0} \quad T_t = 1, \quad (1.8)$$

Odhad hodnoty π je vyjadrený ako $\hat{\pi} = \frac{T_1}{T}$, čo predstavuje maximálny odhad pravdepodobnosti π . Maximálna pravdepodobnosť pre výberovú množinu je daná vzťahom:

$$L(\hat{\pi}) = \left(\frac{T_1}{T}\right)^{T_1} \cdot \left(\frac{T_0}{T}\right)^{T_0}, \quad (1.9)$$

Štatistika pomeru pravdepodobnosti sa vypočíta nasledovne:

$$L_{Ruc} = -2 \left[\frac{L(\alpha)}{L(\hat{\pi})} \right], \quad (1.10)$$

Táto štatistika asymptoticky (v T) nasleduje rozdelenie X^2 , čo je náhodná premenná s jedným stupňom voľnosti, takže na odhadovanie možno použiť kvantily rozdelenia $X^2(1)$. Ako uvádza Christoffersen [7], počet pozorovaní T , a ešte viac – počet prekročení T_1 (najmä pre malé α), môže byť v praxi príliš nízky na zabezpečenie spoľahlivosti testu. Namiesto toho autor odporúča vykonať Monte Carlo simuláciu na získanie presnejších p -hodnôt pre daný test.

Testovanie nezávislosti. Ďalej je potrebné overiť, či nie sú VaR-prekročenia nezávislé od seba, či nevykazujú klastrovité správanie. Ak by tomu tak bolo, znamená to, že metóda VaR sa nedostatočne rýchlo prispôsobuje výrazným stratám, čo môže zvýšiť riziko bankrotu v krátkom časovom horizonte, keď sa straty akumulujú. Vedieť, že VaR-prekročenia nie sú nezávislé v praxi, znamená, že pravdepodobnosť prekročenia zajtra, ak sa prekročenie vyskytlo dnes, bude väčšia ako α . Christoffersen navrhuje spôsob, ako vykonať test nezávislosti [7]. Predpokladajme, že sekvencia prekročení $\{I_t\}_{t=1}^T$ je závislá a že môže byť popísaná diskretným Markovovým reťazcom s maticou pravdepodobnosti prechodu:

$$\Pi_1 = \begin{bmatrix} \pi_{00} & \pi_{01} \\ \pi_{10} & \pi_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \pi_{01} & \pi_{01} \\ 1 - \pi_{11} & \pi_{11} \end{bmatrix}, \quad (1.11)$$

kde π_{ij} ($i, j \in \{0, 1\}$) je pravdepodobnosť, že $I_{t+1} = j$ závisí od $I_t = i$.

Napríklad, π_{11} - to je pravdepodobnosť, že VaR-prekročenie nastane aj v nasledujúcom období za predpokladu, že nastalo v predchádzajúcom období. Podľa tohto modelu má význam iba posledný výsledok pre nasledujúci; skoršie výsledky nezohrávajú žiadnu úlohu pri určovaní budúcich prekročení.

Podmienенý test pokrytia (Conditional coverage test). Nakoniec môžu byť dva vyššie uvedené testy skombinované na správne spoločné testovanie pokrytia a nezávislosti. Keďže štatistiky L_{Ruc} a L_{Rind} asymptoticky sledujú rozdelenie $X^2(1)$, ich súčet by mal nasledovať rozdelenie podľa $X^2(2)$. Na základe toho je možné definovať testovaciu štatistiku:

$$L_{Rcc} = L_{Ruc} + L_{Rind} = -2 \left[\frac{L(\alpha)}{L(\hat{\Pi}_1)} \right], \quad (1.12)$$

Podobne ako v predchádzajúcich dvoch testoch, Monte Carlo simulácia sa vykonáva na získanie presnejších p -hodnôt.

Je zrejmé, že s rastúcim počtom pozorovaní sa zvyšuje pravdepodobnosť zamietnutia metódy VaR v prípade jeho nesprávnosti. Na druhej strane, čím nižšia je zadaná pravdepodobnosť, tým náročnejšie posúdiť, či je odhad VaR nadhodnotený. Z tohto dôvodu sa

v praxi často používa pravdepodobnostná hladina 5 %. Ak po overení metódy presnosť odhadu VaR nevyhovuje, je nevyhnutné skontrolovať zvolený model rozdelenia výnosov a jeho parametre na zhodu s tým, čo sa reálne pozoruje, analyzovať retrospektívu údajov na prítomnosť trhových anomálií a prípadne upraviť rozsah hodnotenia vstupných parametrov metódy [8].

Záver

Nejaký záver spísať tu...

Literatúra

- [1] Principles of Risk Management. *Value and Risk Management*. Oxford, UK. P. 33-51.
URL: <https://doi.org/10.1002/9780470759448.ch3>
- [2] Lee H. Value at Risk. *Risk Management*. Singapore, 2021. P. 75-87.
URL: https://doi.org/10.1007/978-981-16-3468-0_7
- [3] What is risk and value management in construction? *Construction Project Management Consultancy Services*. Callon Group.
URL: <https://www.callon.group/blog/what-is-risk-and-value-management-in-construction/>
- [4] Value at Risk and Real Estate Market / *Mimesia Asset Management*.
URL: <https://mimesia.com/blog/value-at-risk-and-real-estate-market-risk-management-approach/>
- [5] Majka M. Value at Risk in Risk Management. *LinkedIn: Log In or Sign Up*.
URL: <https://www.linkedin.com/pulse/value-risk-management-marcin-majka-uy6qf>
- [6] Jorion P. *Value at Risk: The new benchmark for managing financial risk*. USA: The McGraw-Hill Companies, 2007. – 602 p.
- [7] Vzdelávanie na Lvovskej polytechnike. *Domov Vzdelávanie na Lvovskej polytechnike*.
URL: <https://directory.lpnu.ua/en/majors/subject/INEM/8.0/03.00.07/19/2022/en/full/15581>
- [8] Risk management and value management. *Evolution5*. Evolution5.
URL: <https://evolution5.co.uk/construction-project-risk-management-value-management/>
- [9] Leung M.-y., Wei X., Ojo L. D. Developing a Value–Risk Management Model for Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2024. Vol. 150, no. 1.
URL: <https://doi.org/10.1061/jcemd4.coeng-13396>
- [10] What is the value of Risk Management?. *Oku Markets: Currency Management Solutions*.
URL: <https://okumarkets.com/blog/value-of-risk-management/>