UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

Zaključna naloga

Kapitalske zahteve za zavarovalnice

(Capital Requirements in Insurance)

Ime in priimek: Marko Prcać
Študijski program: Matematika
Mentor: izr. prof. dr. Mihael Perman

Koper, september 2015

Ključna dokumentacijska informacija

Ime in PRIIMEK: Marko PRCAĆ

Naslov zaključne naloge: Kapitalske zahteve za zavarovalnice

Kraj: Koper

Leto: 2015

Število listov: 51 Število slik: 6 Število tabel: 4

Število prilog: 1 Število strani prilog: 3 Število referenc: 23

Mentor: izr. prof. dr. Mihael Perman

Ključne besede: Zavarovalništvo, Solventnost II, kapitalske zahteve, kreditno tveganje, statistično modeliranje

Math. Subj. Class. (2010): 97M30, 91B39

Izvleček:
V nalogi najprej predstavimo pomen kapitalskih zahtev za zavarovalnice in kako so se te določale po Solventnosti I. Nato analiziramo probleme takega načina določanja zahtev in podamo kratek pregled zakonodaj, po katerih se Solventnost II zgleduje; opišemo tudi, kako Solventnost II te probleme odpravi. Opisan je postopek določanja zahtevanega solventnostnega kapitala in zahtevanega minimalnega kapitala po Solventnosti II. Fokus naloge je na modulu kreditnega tveganja, podana je izpeljava formule za izračun variance iz temeljnega modela, ki je podrobno opisan. Opisan je tudi način obravnave tveganja iz naslova pozavarovanja in določanje kapitalske zahteve glede na portfelj pozavarovalnih pogodb. Naloga se zaključi s simulacijo, ki podpre vse napisano s številkami.

Key words documentation

Name and SURNAME: Marko PRCAĆ

Title of final project paper: Capital Requirements in Insurance

Place: Koper

Year:2015

Number of pages: 51 Number of figures: 6 Number of tables: 4

Number of appendices: 1 Number of appendix pages: 3 Number of references: 23

Mentor: Assoc. Prof. Mihael Perman, PhD

Keywords: Insurance, Solvency II, capital requirements, credit risk, statistical modelling

Math. Subj. Class. (2010): 97M30, 91B39

Abstract:We begin by describing the importance of capital requirements for insurance companies and then give a brief overview of Solvency I approach to their calculation. Afterwards we analyze the shortcomings of the mentioned approach and describe regulatory frameworks that improved it before Solvency II, We also describe Solvency II solutions for these shortcomings. Formulae for calculation of required solvency capital and the required minimal capital are also given at this point. Further we focus on counterparty default risk module, we derive formulae for variance from the uderlying model, describe treatment of a reinsurance bouquet and back up everything with a simulation of distribution of credit risk that confirms all our claims and helps us to better understand Solvency II regulatory framework.

Zahvala

Očetu in mami bi se rad zahvalil za brezpogojno podporo in pomoč na dosedanji študijski poti, prof. dr. Mihaelu Permanu na zaupanju, ki mi ga je izkazal z dodelitvijo teme in pomoči pri realizaciji tega dela, Karmen pa za razumevanje in potrpežljivost med pisanjem naslednjih strani. Prof. dr. Martinu Milaniču se zahvaljujem za končni pregled diplomskega dela.

Kazalo vsebine

Kazalo tabel

Kazalo slik

Kazalo prilog

Seznam kratic

SCR	Zahtevani solventnostni kapital

1 Uvod

V zaključni nalogi bom opisal pomen kapitalskih zahtev za zavarovalnice. Navedel bom, kako so določene v nekaterih aktualnih uredbah ter kako se bodo določale po novi evropski direktivi Solventnost II, ki bo stopila v veljavo 1. 1. 2016. Opisani bodo razlogi za uvedbo Solventnosti II ter cilji te direktive, podan bo tudi kratek pregled zakonodaj, po katerih se Solventnost II zgleduje. Nato se bom osredotočil na matematično plat direktive in opisal formuli za izračun zahtevanega solventnostnega kapitala in zahtevanega minimalnega kapitala. Zahtevani solventnostni kapital se izračuna modularno, fokus zaključne naloge pa bo na modulu kreditnega tveganja oziroma modulu neplačila nasprotne stranke. Ukvarjal se bom s primerom, ko so stranke zavarovalnica in njene pozavarovalnice. Pojasnil bom, kako so skozi pet kvantitativnih študij razvijalci prišli do ustreznega modela za izračun kapitalskih zahtev iz naslova tega tveganja. Izpeljal bom prehod med formulo v temeljnem modelu in formulo uporabljeno v direktivi. Potem bom še s pomočjo simulacije poskušal najti porazdelitev kreditnega tveganja iz naslova pozavarovanj. Naloga se bo večinoma naslanjala na citiranje, oziroma zaradi primerne dolžine, povzemanje uredb in pripadajočih tehničnih specifikacij. Mnenja o določenih delih uredb bom povzemal iz člankov, ter jih kompiliral, kjer se skladajo, oziroma pojasnil razliko, če je potrebno. Dodal bom znanje pridobljeno na dosedanjem študiju z namenom, da obravnavano temo predstavim jasno in celovito.

2 Kapitalske zahteve zavarovalnic

2.1 Pomen kapitalskih zahtev

Zavarovalništvo je gospodarska panoga, ki ima zelo velik vpliv tako na posameznika, kot na družbo v celoti. Ustrezno zavarovanje zagotavlja fizičnim osebam varnost, podjetjem pa lažje načrtovanje nadaljnega dela in realizacijo zastavljenih ciljev. Trg, ki doživlja malo pretresov, bo deloval bolj tekoče in v spološno zadovoljstvo vseh udeležencev. Zavarovalnice imajo sposobnost, da skozi premije pridobijo veliko količino likvidnih sredstev (še posebej zanimiva so tista iz naslova življenskih zavarovanj zaradi dolge ročnosti). Delež teh sredstev, ki se ne porabi za kritje obveznosti, nastopa na finančnih trgih, tako da zavarovalništvo tudi neposredno prispeva k splošni gospodarski rasti. Zavarovalnice so največji institucionalni investitorji. Po [2] lahko povzamemo, da ima zavarovanje funkcijo ustvarjanja gospodarske varnosti, izravnavanja nevarnosti, odpravljanja motenj v gospodarskem funkcioniranju, ohranjevanje nepretrganosti narodnogospodarskega procesa in ohranjanja življenske ravni. Iz kratkega pregleda funkcij zavarovalništva postane razvidno, da je dobro delujoča zavarovalna industrija bistven faktor ugodne gospodarske klime in splošnega blagostanja v državi. Ne čudi torej, da imajo vodstva držav, oziroma gospodarskih območij tendenco obsežnega in natančnega reguliranja tega izjemno pomembnega področja. Dobra in koristna regulativa mora pred zavarovalnico postaviti ravno prave kapitalske zahteve. Te morajo biti dovolj visoke, da zagotovijo solventnost zavarovalnice z določeno verjetnostjo, ne glede na zunanje vplive (solventnost označuje sposobnost zavarovalnice, da poravna svoje obveznosti). Obenem pa kapitalske zahteve ne smejo premočno ovirati zavarovalnic pri poslovanju in jim onemogočati pridobivanje dobička. V praksi zavarovalnice na podlagi izčrpnih statističnih podatkov z upoštevanjem zakona velikih števil lahko ocenijo, koliko škodnih zahtevkov bodo prejele in koliko sredstev je potrebno nameniti kritju teh škod. Tem sredstvom pravimo zavarovalno-tehnične rezervacije. Naključno, še posebej pa v primeru izjemnih dogodkov, se lahko število zahtevkov poveča, zato pride do situacije, ko postanejo sredstva iz naslova zavarovalno-tehničnih rezervacij nezadostna. Takrat mora (po)zavarovalnica kriti svoje obveznosti s pomočjo lastnega kapitala. Tu se pokaže potreba po kapitalskih zahtevah. Namreč gre pričakovati, da bi (po)zavarovalnice, če zahteve ne bi obstajale, veliko količino lastnih sredstev, v želji po večjem zaslužku, vlagale na finančnih trgih. Tako v primeru neugodnih dogodkov ne bi uspele izpolniti svojih obveznosti do zavarovancev in upravičencev, saj enostavno ne bi razpolagale z dovolj sredstvi za kritje vseh zahtevkov. Torej zavarovalnice brez ustrezne kapitalske sestave ob neugodnih dogodkih sploh ne bi mogle izpolniti svoje primarne naloge in obveze. Neustrezno kritje sklenjenih polic z lastnim kapitalom bi lahko privedlo do družbene nestabilnosti zaradi nezadovoljstva zavarovancev in nezmožnosti okrevanja gospodarstva zaradi pomanjkanja sredstev za odpravljanje škod. Prav tako bi bilo zaupanje v zavarovalnice izgubljeno, zavarovanje samo po sebi pa bi postalo dokaj nesmiselno, če se ne bi mogli zanesti nanj v primeru škod. Neizpolnjevanje obvez do zavarovancev bi lahko imelo tudi negativen vpliv na delničarje zavarovalnic.

Povzamemo lahko, da je pomen kapitalskih zahtev, da zagotovljajo, nemoteno delovanje (po)zavarovalnic tudi v primeru, ko se iz nekega razloga število zahtevkov poveča izven območja, ki ga krijejo zavarovalno-tehnične rezervacije. Ustezno oblikovane kapitalske zahteve torej ščitijo interese zavarovancev, vlivajo zaupanje v zavarovalno industrijo, zmanšujejo tveganje za deličarje zavarovalnic, kljub temu pa omogočajo zavarovalnici ustvaranje dobička in konkurenčnost na trgu [13, 20].

2.2 Določanje kapitalskih zahtev

Cilj zaključne naloge je predstaviti izračun kapitalskih zahtev po standardni formuli direktive Solventnost II. Da bi lahko bolje pojasnil to formulo, bom najprej analiziral dosedanjo prakso na tem področju (Solventnost I). V tem razdelku bom omenil tudi direktive, po katerih je Solventnost II prevzela nekatere elemente. Dosedanje direktive, ki urejajo zavarovalništvo na skupnem evropske trgu, posebej obravnavajo življenska in neživljenska zavarovanja.

Regulacija trga premoženjskih (neživljenjskih) zavarovanj se je začela leta 1973 z direktivo evropskega sveta 73/239/EEC. Ta je bila skozi leta dopolnjevana s členi, ki so urejali novosti kot turistična zavarovanja, avtomobilska zavarovanja in kreditna zavarovanja, prilagoditi se je morala tudi uvedbi evra. Model določanja kapitalskih zahtev se ni bistveno spreminjal od prve direktive, so pa v zadnji direktivi 2002/13/EC povečani nekateri zneski v formuli. Zahtevani minimalni kapital se tako določi bodisi na podlagi letnega zneska premij ali prispevkov, bodisi povprečnih terjatev na izplačilo odškodnin za pretekla tri poslovna leta (pri zavarovalnicah, ki sklepajo zavarovanja, pokrivajoča eno ali več nevarnosti kredita, neurja, toče ali pozebe, se za referenčno obdobje glede povprečnih terjatev na izplačilo odškodnin vzame zadnjih sedem poslovnih let). Opazimo lahko, da višina zahtevanega minimalnega kapitala temelji le na preteklem poslovanju in ne odraža profila tveganja, ki ga zavarovalnica prevzema.

Regulacija trga življenskih zavarovanj se je začela leta 1979 z direktivo evropskega sveta 79/267/EGS. Ta je bila nato v različnih obsegih spremenjena šestkrat, najnovejša pravila pa so zapisana v direktivi 2002/83/EC. Po akutualni direktivi se zahtevani minimalni kapital izračuna na podlagi matematičnih rezervacij in rizičnega kapitala.

Direktivi 2002/83/EC in 73/239/EEC (skupaj z dopolnitvijo 2002/13/EC) tvorita nabor regulativ zavarovalištva, ki jim rečemo kar Solventost I. V naslednjem odstavku so obravnavane pomanjkljivosti takega načina določanja kapitalskih zahtev.

2.3 Razlogi za uvedbo solventnosti II

Solventnost I določa kapitalske zahteve le na podlagi poslovanja v preteklih letih ter zelo grobo upošteva profil tveganj, ki jih zavarovalnica zavaruje (delitev zgolj na življenska in premoženjska zavarovanja). Prav tako se pri izračunu pojavi nesorazmerje med upoštevanjem sredstev in obveznosti zavarovalnice. Problem Solventnosti I in potreba po drugače strukturiranem pristopu k določanju kapitalskih zahtev sta zelo dobro opisani v nasledji misli:

Nesprejemljivo je, da skupno evropsko nadzorno ogrodje za zavarovalništvo v 21. stoletju ni utemeljeno na tveganju in zelo grobo upošteva le eno stran bilance. Evropska unija nujno potrebuje nov regulatorni standard, ki bo razlikoval solventnostne zahteve glede na tveganja, ki izhajajo iz različnih vrst poslovanja in bo spodbujal boljše upravljanje z njimi. Nujno potrebuje standard, ki upošteva tveganje izhajajoče iz lastnih sredstev zavarovalnice. Nujno potrebuje zakonodajo, ki spodbuja k boljšemu upravljanju s tveganji in nujno potrebuje zakonodajo, ki ponuja globok in konsitenten vpogled v stanje zavarovalnic ostalim udeležencem na trgu. (Matthew Elderfield, 9 May 2013)

Zraven zgoraj naštetih zahtev, ki se postavljajo pred Solventnost II, se od direktive pričakuje tudi, da bo upoštevala napredek v zavarovalništu in upravljanju s tveganji, nove finančne tehnike in mednarodne standarde finančnega poročanja. Solventnost II bo poenostavila proces nadzora nad zavarovalnimi skupinami in omogočila lažje prepoznavanje načina njihovega poslovanja. Okrepila bo vlogo nadzornikov finančnih skupin in zagotovila, da specifična tveganja, ki grozijo skupinam niso spregledana. Obenem bo skupinam omogočala, da izkoristijo prednosti diverzifikacije, ki je pogosto značila za njih. Solventnost I se pri določanju kapitalskih zahtev osredotoča predvsem na tehnično tveganje zavarovanja (nepričakovano povečanje števila zahtevko), zato ne ponjuja dobrega pregleda skupnega tveganja, ki mu je zavarovalnica izpostavljena. Solventnost II upošteva več vrst tveganja in so kapitalske zahteve odvisne od realnih tveganj, s katerimi se zavarovalnica sooča. Solventnost II določa tudi bolj konsistentna pravila za vse udeležence kot sedanja direktiva in zahteva vrednotenje sredstev in obveznosti po tržni vrednosti [20].

2.4 Direktive podobne solventnosti II

Nekatere pomanjkljivosti Solventnosti I so bile v Švici, Veliki Britaniji in na Nizozemskem prepoznane in odpravljene že pred uvedbo Solventnosti II. Določeni pristopi k oblikovanju kapitalskih zahtev po teh direktivah so uporabljeni tudi pri Solventnosti II.

2.4.1 SST - Swiss Solvency Test

Ta regulativa je v uporabi od 1. Januarja 2011 in regulira delovanje vseh pravnih oseb, skupin in konglomeratov s sedeži v Švici. Cilj testa je pridobivanje informacij o tveganju, ki ga zavarovalnica prevzema nase, in o njeni zmožnosti, da se spoprime s tem tveganjem. Količina tveganja se označi z TC (ciljni kapital), zmožnost kritja tveganj pa označuje količina RBC (risk-bearing capital). Z izračunom njunega količnika pridobimo jasno sliko o finančni situaciji zavarovalnice. Pri določanju kapitalskih zahtev test upošteva specifičnosti posameznih tveganj, ki jim je zavarovalnica izpostavljena. SST tako loči med tržnim tveganjem, kreditnim tveganjem ter tveganji iz naslovov življenskih, neživljenjskih, zdravstvenih in nezgodnih zavarovanj. Sredstva in obveznosti se vrednotijo po tržni ceni, k vsem neznanim količinam se pristopa stohastično, test obsega tudi ocenjevanje posledic določenih scenarijev na poslovanje. V tehničnih specifikacijah [11] je podrobno opisan standarden postopki izračuna zahtevanih količin, tako da lahko vsaka zavarovalnica zadovolji minimalnim zahtevam, zaželena pa je uporaba notranjega modela. Ta mora biti javno objavljen, odobren in uporabljen pri vsakdanjem upravljanju s tvegaji. Zavarovalnica, ki ustreza zahtevam postavljenim v SST, bo svoje obveznosti v naslednjem letu izpolnila z verjetnostjo vsaj 0,99 [12, 14]. Za nas bo zanimivo, da se pri postavljanju kapitalskih zahtev glede na kreditno tveganje SST zgleduje po direktvi Basel II, ki ima iste cilje kot Solventnost II, vendar na področju bančništva. Basel II uporablja Vasičkov model (več o tem modelu v [21]), ki pa je za zavarovalništvo, kot bom v nadaljevanju pojasnil, neprimeren.

2.4.2 FTK - Financial Assessment Framework

Ta regulativa od 1. Januarja 2007 ureja področje pokojninskih skladov na Nizozemskem. FTK pri določanju kapitalskih zahtev (Regulatory Capital Requiremnt) upošteva tveganje iz devetih različnih naslovov. Višina zahtevanega kapitala se določi na način, da se pri uravnovešenem odnosu sredstev in obveznosti izvede enega izmed najslabših možnih scenarijev. Kapitalska zahteva pa se nato iterativno določi tako, da je verjetnost, da bo podjetje izpolnilo vse obveznosti v naslednjem letu z verjetnostjo vsaj 0.975 [20].

2.4.3 ICA - Individual Capital Assesmet

Ta regulativa je predpisana od strani FSA(Financial Services Authority), vladne agencije, ki je med leti 2001 in 2013 urejala finančni trg na področju Velike Britanije. Zanimivo je, da predpisuje kar 4 stopnje kapitalskih zahtev od najnižje proti najvišji so to MCR, ECR, ICA in ICG, padec pod vsako stopnjo pa omogoča regulatorjem vedno večji poseg v delovanje (po)zavarovalnice. (Po)zavarovalnica ki zadošča ICA bo uspešno izpolnila vse obveznosti v naslednjem letu z verjetnostj 0,995. Regulativa upošteva tržno tveganje, kreditno tveganje, operativno tveganje, tveganja finančnih skupin, likvidnostno tveganje in tveganje iz naslova sklepanja zavarovanj [15].

2.5 Kapitalske zahteve po Solventnosti II

Solventnost II določa dva nivoja kapitalskih zahtev za zavarovalnice in pozavarovalnice. Države članice namreč zahtevajo, da imajo zavarovalnice in pozavarovalnice primerna lastna sredstva za kritje zahtevanega solventnostnega kapitala ([10], člen 100) in zahtevanega minimalnega kapitala ([10], člen 128). Skupaj ti dve zahtevi delujeta kot mehko in trdo dno. Padec kapitala zavarovalnice pod prag zahtevanega solventnostnega kapitala pred nadzornike postavi nalogo, da z ukrepi v sodelovanju z lastniki povrnejo zavarovalnico v ustrezno finančno stanje. V primeru, da zavarovalnica nima dovolj osnovnih lastnih sredstev za kritje minimalnega zahtevanega kapitala, pa nadzor odvzame licenco in onemogoči nadaljne sklepanje zavarovanj, saj je tveganje za zavarovance in upravičence preveliko [7].

2.5.1 Zahtevani solventnostni kapital

Solventnost II opredeli zahtevani solventnostni kapital na naslednji način: Zahtevani solventnostni kapital se določi tako, da se zagotovi upoštevanje vseh merljivih tveganj, ki jim je zavarovalnica ali pozavarovalnica izpostavljena. Kril bo obstoječe poslovanje in novo poslovanje, ki naj bi bilo vzpostavljeno v naslednjih dvanajstih mesecih. Krije le nepričakovane izgube v zvezi z obstoječim poslovanjem. Ustreza VaR (Value at Risk) osnovnih lastnih sredstev (po)zavarovalnice s stopnjo zaupanja 99,5% za obdobje enega leta ([10], člen 101(3)), diskusijo o natančnosti te definicije in definicijo VaR najdemo v [4]. Nekatera od merljivih tveganj, ki jih v direkivi opredelimo, so tveganje iz pogodb neživljenjskega zavarovanja, tveganje iz pogodb življenjskega zavarovanja, tveganje iz pogodb zdravstvenega zavarovanja, tržno tveganje, kreditno tveganje in operativno tveganje ([10], člen 101(4)). Ker se od zahtevanega solventnostnega kapitala pričakuje, da bo kril poslovanje v obdobju naslednjega leta, so (po)zavarovalnice obvezane k izračunu le tega najmanj enkrat letno, rezultate pa morajo sporočiti nadzornemu organu. Od (po)zavarovalnic se prav tako pričakuje, da bodo tekoče spremljale znesek osnovnih lastnih sredstev in ga primerjale z zadnjim izračunom zahtevanega solventnostnega kapitala, v primeru, da se profil tveganja (po)zavarovalnice naglo spremeni in obstaja možnost, da se ta sprememba odraža na višini zahtevanega solventnostnega kapitala, je tega potrebno ponovno izračunati. To naj bi storila zavarovalnica samoiniciativno, vendar lahko to od nje zahteva tudi nadzorni organ, če opazi spremembo v profilu tveganja([10], člen 102). Od solventnostnega kapitala pričakujemo kritje nepričakovanih izgub, pričakovane izgube namreč krijejo zavarovalno-tehnične rezervacije, ki naj bi po Solventnosti II ustrezale višini sredstev, ki bi jih plačal drug zavarovatelj, če bi prevzel obveznosti do zavarovancev [7]. Zadnji del definicije nam pove, da je zahtevani solventnostni kapital določen na način, da zagotavlja naslednje: Verjetnost, da bo zavarovaltelj nezmožen izpolniti svoje obveznosti v obdobju enega leta, je manjša kot 1 proti 200 (oziroma: zavarovatelj, ki lahko krije zahtevani solventnostni kapital, bo v 200 letih nezmožen izpolniti obveznosti manj kot enkrat). V praksi je ta verjetnost še nekoliko manjša, kar je posledica v začetku odstavka omenjenih ukrepov, ki so na voljo nadzornim organom. Dolgoletne izkušnje namreč kažejo na to, da gre razloge za večino propadov zavarovalnic iskati v neustreznem vodenju, rezerviranju in nalaganju, ne pa v premajhni količini kapitala [7]. Zahtevani solventnostni kapital lahko (po)zavarovalnica izračuna z uporabo standardne formule, lastnega modela, ali kombinacijo obeh ([10], člen 100)

Na kratko bom opisal prednosti in slabosti notranjih modelov, nato pa se v popolnosti osredotočii na standardno formulo.

Razvoj lastnega modela je kompleksen podvig, ki zahteva veliko časa in vlaganj. Seveda mora notranji model odobriti nadzorni organ ([10], člen 112), zato (po)zavarovalnica, ki se odloči, da bo ubrala to pot do izračuna zahtevanega solventnostnega kapitala nase prevzema tveganje, da bo model zavrnjen, ves trud pa zaman [22]. Ena izmed spodbud k uporabi lastnega modela je tudi konzervativna kalibriranost izračuna po standardni formuli. Namreč, regulative nekaterih drugih držav (Združene države Amerike, Kanada) imajo kapitalske zahteve postavljene nižje, kot jih postavlja Solventnost II. Torej gre pričakovati, da bo dober lastni model znižal količino zahtevanega solventnostnega kapitala in omogočil (po)zavarovalnici bolj prosto upravljanje z preostankom sredstev [19]. Omeniti je treba tudi, da postane odobren, implementiran lastni model, ki ga (po)zavarovalnica razvije in razume ter se prilega profilu tveganj, ki jih prevzema, nepogrešljivo izhodišče za sprejemanje odločitev in upravljanje s tveganji. Lasten model torej ne bi smel biti le teoretično dobro utemeljeno sredstvo za nižanje kapitalskih zahtev, ampak bi moral odražati dosedanje izkušnje in način poslovanja podjetja. Brez dobrega razumevanja tveganj je ta namreč težko izmeriti, kaj šele z njimi upravljati [23].

Sedaj bom opisal, kako se po standardni formuli izračuna zahtevani solventnostni kapital, pri tem bom sledil dokumentoma [6, 9].

Zahtevani solventnostni kapital (SCR) izračunan na podlagi standardne formule je vsota naslednjih postavk:

- $BSCR$: osnovni zahtevani solventostni kapital ([10], člen 104)
- SCR_{op} : zahtevani kapital za operativno tveganje ([10], člen 107)
- Adj : prilagoditev zaradi absorbcijske zmožnosti zavarovalno-tehničnih rezervacij in odloženih davkov ([10], člen 108)

Torej:

$$SCR = BSCR + Adj + SCR_{op} \tag{2.1}$$

Osnovni zahtevani solventnostni kapital - $BSCR$

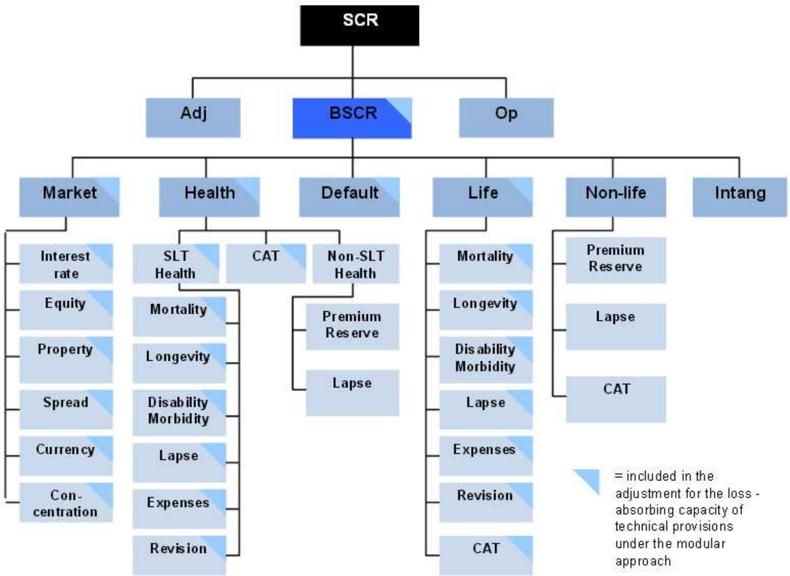
Osnovni zahtevani solventnostni kapital zajema naslednje posamezne module tveganja:

- $SCR_{neživljenjsko}$: modul tveganja neživljenjskega zavarovanja. Odraža tveganje, ki izhaja iz obveznosti neživljenjskega zavarovanja, v zvezi s kritimi nevarnostmi in postopki, uporabljenimi pri opravljanju poslov. Upošteva negotovost pri rezultatih zavarovalnic in pozavarovalnic glede obstoječih zavarovalnih in pozavarovalnih obveznosti kot tudi novih poslovanj, pričakovanih v naslednjih dvanajstih mesecih.
- $SRC_{življenjsko}$: modul tveganja življenjskega zavarovanja. Upošteva tveganje, ki izhaja iz obveznosti življenjskega zavarovanja, v zvezi s kritimi nevarnostmi in postopki, uporabljenimi pri opravljanju poslov.
- $SRC_{zdravstveno}$: modul tveganja zdravstvenega zavarovanja. Odraža tveganje, ki izhaja iz obveznosti zdravstvenega zavarovanja, če se sklene ali ne na podobni tehnični podlagi kot življenjsko zavarovanje, ki se nanaša tako na krite nevarnosti kot tudi na uporabljene postopke pri opravljanju poslov.
- SRC_{trg} : modul tržnega tveganja. Upošteva tveganje, ki izhaja iz ravni ali nestanovitnosti tržnih cen finančnih instrumentov, ki vplivajo na vrednost sredstev in obveznosti podjetja. Ta modul ustrezno upošteva strukturno neusklajenost med sredstvi in obveznostmi zlasti glede njihovega trajanja.

- $SRC_{neplačilo}$: modul tveganja neplačila nasprotne stranke. Upošteva možne izgube zaradi nepričakovanega neplačila ali poslabšanja kreditnega položaja nasprotnih strank in dolžnikov zavarovalnic ali pozavarovalnic v prihodnjih dvanajstih mesecih.

- $SCR_{neopredemetna}$: modul tveganja neopredmetenih sredstev.

Modularno strukturo izračuna zahtevanega solventnostnega kapitala nam lepo prikaže slika 1, ki je prevzeta iz [6].



Slika 1: Struktura izračuna zahtevanega solventnostnega kapitala

Vrednosti, pridobljene pri računanju kapitalskih zahtev za posamezni modul združimo na naslednji način:

$$BSCR = \sqrt{\sum_{ij} Corr_{ij} \times SCR_i \times SCR_j} + SCR_{neopredmetena} \tag{2.2}$$

Vrednost $Corr_{i,j}$ razberemo iz korelacijske tabele 1, to najdemo tudi v prilogi IV dokumenta [10].

Zahtevani kapital za operativno tveganje-SCR_{op}

Zahtevani kapital za operativno tveganje upošteva operativna tveganja, v obsegu, v katerem ta niso že upoštevana pri izračunu osnovnega zahtevanega solventnostnega kapitala($BSCR$)([10], člen 107). Operativno tveganje predstavlja možnosti izgube, ki izhajajo tako iz neprimernega ali neuspešnega izvajanja notranjih procesov, ravnanja

Tabela 1: Korelacija med moduli v formuli za izračun BSCR

Tabela korelacij med moduli:

i \ j	Trg	Neplačilo	Življenjsko	Zdravstveno	Neživljenjsko
Trg	1	0.25	0.25	0.25	0.25
Neplačilo	0.25	1	0.25	0.25	0.25
Življenjsko	0.25	0.25	1	0.25	0
Zdravstveno	0.25	0.25	0.25	1	0
Neživljenjsko	0.25	0.5	0	0	1

zaposlenih ali delovanja sistemov, kot iz zunanjih dogodkov (neustrezno dokumentiranje, okvare računalniških sistemov, prevare znotraj in zunaj podjetja, pomanjkanje nadzora, odgovornosti in kontrol). Vsebuje tveganja pravnih postopkov, ne pa tudi tveganj iz naslova strateških odločitev in dobrega imena.

Izračun SCR_{op} je preprost. Potrebujemo naslednje vhodne podatke:

Najprej potrebujemo zavarovalno-tehnične rezervacije za obveznosti iz (zavarovalno-tehničnim rezervacijam v angleščini rečemo Tehnical Provisions, od tod dobimo spodaj uporabljeno kratico TP):

- življenjskih zavarovanj in pozavarovanj: TP_{life}
- življenjskih zavarovanj, pri katerih naložbeno tveganje nosijo imetniki police: $TP_{life-ul}$
- neživljenjskih zavarovanj in pozavarovanj: $TP_{non-life}$

Omenimo še, da za namene tega izračuna zavarovalno-tehnične rezervacije ne vključujejo marže za tveganje in se izračunajo brez odbitka izterljivih zneskov iz pozavarovalnih pogodb in namenskih družb. Znesek zavarovalno-tehničnih rezervacij se drugače izračuna kot vsota najboljše ocene in marže za tveganje, kjer je marža za tveganje ta, ki zagotavlja, da je vrednost zavarovalno-tehničnih rezervacij enakovredna znesku, ki bi ga (po)zavarovalnice zahtevale za prevzem in izpolnitev (po)zavarovalnih obveznosti.

Te vstavimo v naslednjo formulo:

$$OP_{provisons} = 0,0045 \cdot \max(0; TP_{life} - TP_{life-ul}) + 0,03 \cdot \max(0; TP_{non-life}) \quad (2.3)$$

Rezultat $OP_{provisions}$ označuje kapitalske zahteve za operativno tveganje na podlagi zavarovalno-tehničnih rezervacij.

Potrebujemo še zneske prihodkov od premij v zadnjih 12 mesecih za obveznosti iz:

- življenjskih zavarovanj in pozavarovanj: $Earn_{life}$,
- življenjskih zavarovanj in pozavarovanj, pri katerih naložbeno tveganje nosijo imetniki police: $Earn_{life-ul}$,
- neživljenjskih zavarovanj in pozavarovanj: $Earn_{non-life}$,

ter zneske prihodkov od premij v 12 mesecih pred zadnjimi 12 meseci za obveznosti iz:

- življenjskih zavarovanj in pozavarovanj: $pEarn_{life}$,
- življenjskih zavarovanj in pozavarovanj, pri katerih naložbeno tveganje nosijo imetniki police: $pEarn_{life-ul}$,
- neživljenjskih zavarovanj in pozavarovanj: $pEarn_{non-life}$.

Vse zneske premij upoštevamo brez obitka premij za pozavarovalne pogodbe. Vstavimo jih v formulo:

$$\begin{aligned}
OP_{premiums} &= 0,04 \cdot (Earn_{life} - Earn_{life-ul}) + 0,03 \cdot Earn_{non-life} \\
&+ 0.04 \cdot \max(0; Earn_{life} - Earn_{life-ul} - 1,2 \cdot (pEarn_{life} - pEarn_{life-ul})) \\
&+ 0,03 \cdot \max(0; Earn_{non-life} - 1,2 \cdot pEarn_{non-life}))
\end{aligned}$$

Rezultat $OP_{premiums}$ označuje zahteve za operativna tveganja na podlagi prihodkov od premije. Tega sedaj skupaj z rezultatom 2.3 vstavimo v formulo:

$$Op = \max(Op_{premiums}; OP_{provisions}) \tag{2.4}$$

Dobili smo osnovne kapitalske zahteve za operativno tveganje. Da pridemo do iskanega zneska kapitalskih zahtev za modul operativnega tveganja, potrebujemo še

- $BSCR$ izračunan v prejšnjem odstavku,
- Exp_{ul}, ki označuje znesek odhodkov v zadnjih 12 mesecih v zvezi s pogodbami življenskega zavarovanja, pri katerih naložbeno tveganje nosijo imetniki police.

Končen rezulat dobimo iz $BSCR$, Exp_{ul} in Op na sledeč način:

$$SCR_{operational} = \min(0,3 \cdot BSCR; Op) + 0.25 \cdot Exp_{ul} \tag{2.5}$$

Absorpcijske zmožnosti zavarovalno-tehničnih rezervacij

Za izračun potrebujemo naslednje vrednosti:

- $BSCR$: kot je izračunan v (2.2)
- $nBSCR$: neto osnovni zahtevani kapital
- FDB: zavarovalno-tehnične rezervacije brez marže za tveganje v zvezi s prihodnjim diskrecijskimi upravičenji

Prilagoditev zaradi absorpcijske zmožnosti zavarovalno-tehničnih rezervacij označimo z Adj_{TP}, dobimo pa jo iz formule:

$$Adj_{TP} = \max(\min(BSCR - nBSCR; FDB); 0) \tag{2.6}$$

Diskrecijska upravičenja so upravičenja, ki so del zavarovalne pogodbe, vendar nimajo določene vrednosti, to pomeni, da so odvisna od odločitve zavarovatelja. Nastanejo zaradi prakse, da se premija na začetku preplača, ko pa se enkrat nabere zadostno število zavarovancev(premij), se preplačani znesek zavarovancu povrne v obliki raznoraznih upravičenj določenih v pogodbi.

Izračun neto zahtevanega solventnostnega kapitala omogoča zavarovatelju da spreminja svoje predpostavke glede bodočih bonusov glede na šok, ki se ga testira, s ozirom na realna pričakovanja in odločitve vodstva. Natančna navodila za izračun neto zahtevanega solventnostnega kapitala najdemo v členu 206(2) direktive [9].

Absorbcijske zmožnosti odloženih davkov

Odloženi davek lahko opredelimo kot znesek davka, ki ga bo zavezanec poravnal ali pa mu bo povrnjen v prihodnjem($-$ih) davčnem($-$ih) obdobju($-$ih). Pomembno je, da poslovni dogodki, ki povzročajo odloženi davek, nastanejo v tekočem oziroma so nastali v preteklih obračunskih obdobjih [17]. Prilagoditev zaradi absorbcijske zmožnosti odloženih davkov lahko drastično znižajo SCR, izkušnje iz pete kvantitativne študije kažejo na znižanja za približno 19 odstotkov [16].

Prilagoditev zaradi absorpcijske zmožnosti odloženih davkov, tj., Adj_{DT} je enaka spremembi vrednosti odloženih davkov zavarovalnic in pozavarovalnic, ki bi bila posledica takojšnje izgube zneska SCR_{shock}. Način na katerega izračunamo vredost odloženih davkov je opisan v [6]

$$SCR_{shock} = BSCR + Adj_{TP} + SCR_{Operational} \tag{2.7}$$

Vsi zneski, ki jih seštevamo, so znani od prej, $BSCR$ iz (2.2), Adj_{TP} iz (2.6) in $SCR_{Operational}$ iz (2.5).

Če izračun prilagoditve privede do pozitivne spremembe v odloženih davkih, je prilagoditev enaka nič ([9], člena 15 in 207).

Prilagoditev zaradi absorbcijske zmožnosti zavarovalno-tehničnih rezervacij in odloženih davkov

Ta del formule za izračun SCR odraža možno nadomestilo nepričakovanih izgub s hkratnim zmanjšanjem zavarovalno-tehničnih rezervacij ali odloženih davkov ali kombinacijo obeh. Izračuna se kot vsota prilagoditve zaradi absorpcijske zmožnosti zavarovalno-tehničnih rezervacij (2.6) in prilagoditve zaradi absorpcijske zmožnosti odloženih davkov (2.7). Prilagoditev upošteva učinek blažitve tveganja zaradi prihodnjih diskrecijskih upravičenj iz pogodb zavarovanja, v obsegu, v katerem lahko zavarovalnice in pozavarovalnice dokažejo, da se lahko zmanjšanje takšnih upravičenj uporabi za kritje nepričakovanih izgub, ko nastanejo. Povzamemo:

$$Adj = Adj_{TP} + Adj_{DT} \tag{2.8}$$

2.5.2 Zahtevani minimalni kapital

Solventnost II opredeli zahtevani minimalni kapital na naslednji način: Minimalni zahteveni kapital se izračuna na jasen in preprost način in tako da se zagotovi možnost revizije. Ustreza znesku primernih osnovnih lastnih sredstev, pod katerim so imetniki polic in upravičenci izpostavljeni nesprejemljivi stopnji tveganja, če bi bilo zavarovalnicam in pozavarovalnicam dovoljeno, da nadaljujejo svoje poslovanje. Linearna funkcija, ki se uporabi za izračun zahtevanega minimalnega kapitala, se kalibrira na VaR osnovnih lastnih sredstev zavarovalnice ali pozavarovalnice s stopnjo zaupanja 85% za obdobje enega leta ([10], člen 129(1a,1b)). Kot vidimo je stopnja zaupanja pri zahtevanem minimalnem kapitalu občutno nižja kot pri solventnostnem. Interpretiramo jo lahko na podobnen način, torej taka zavarovalnica v dvestotih letih kar trideset let ne bo uspela izpolniti svojih obveznosti. Neizpolnjevanje zahteve sproži hude nadzorne ukrepe. Ti obsegajo prenos sklenjenih pogodb na drugo zavarovalnico, odvzem licence oziroma onemogočanje sklepanja novih zavarovanj in likvidacijo odprtih poslov [7]. Pomembnost te zahteve za varnost zavarovancev in upravičencev kaže tudi zahteva po preprostosti izračuna, pogostost izračuna (četrtletno) [10] in edinstvenost formule. Revizija je tako, zaradi preprostosti formule in odsotnosti notranjih modelov, hitrejša in bolj natančna.

Pri določanju zahtevanega minimalnega kapitala moramo upoštevati še dve stopnji absolutnih omejitev. Splošno opisano je to absolutni prag pri 1.000.000€, 2.200.000€, 3.200.000€ od statusa in dejavnosti (po)zavarovalnice ([10], člen 129(1d)). Potem pa še omejitev, da se mora vrednost zahtevanega minimalnega kapitala nahajati nekje v razponu med 25% in 45% zahtevanega solventnostnega kapitala ([10], člen 129(3))

Zahtevani minimalni kapital se izračuna po formuli:

$$MCR = \max(MCR_{combined}; AMCR) \tag{2.9}$$

pri čemer:

- $MCR_{combined}$ označuje združeni zahtevani minimalni kapital
- $AMCR$ označuje absolutni prag, že omenjen zgoraj. Natančna navodila za določanje tega najdemo v [10], člen 129(1d) in [9], člen 253.

Združeni zahtevani minimalni kapital

Združeni zahtevani minimalni kapital se izračuna po formuli:

$$MCR_{combined} = \min(\max(MCR_{linear}; 0,25 \cdot SCR); 0,45 \cdot SCR) \tag{2.10}$$

pri čemer:

- MCR_{linear} označuje linearni zahtevani minimalni kapital.
- SCR označuje zahtevani solventnostni kapital, izračunan po splošni formuli ali odobrenem lastnem modelu (glej (2.1)).

Linearni zahtevani minimalni kapital

Linearni zahtevani minimalni kapital se izračuna po formuli:

$$MCR_{linear} = MCR_{linear,nl} + MCR_{linear,l} \tag{2.11}$$

pri čemer:

- $MCR_{(linear,nl)}$ označuje komponento linearne formule za obveznosti iz neživljenjskih zavarovanj in pozavarovanj.
- $MCR_{(linear,l)}$ označuje komponento linearne formule za obveznosti iz življenjskih zavarovanj in pozavarovanj.

Komponenta linearne formule za obveznosti iz neživljenjskih zavarovanj in pozavarovanj

Komponenta linearne formule za obveznosti iz neživljenjskih zavarovanj in pozavarovanj se izračuna kot:

$$MCR_{(linear,nl)} = \sum_{s} \alpha_s \cdot TP_{(nl,s)} + \beta_s \cdot P_s \tag{2.12}$$

pri čemer:

- s teče po segmentih iz priloge XIX uredbe [9], tam sta prav tako določena tudi α_s in β_s.
- $TP_{(nl,s)}$ označuje zavarovalno-tehnične rezervacije brez marže za tveganje za obveznosti iz neživljenjskih zavarovanj in pozavarovanj v segmentu s po odbitku izterljivih zneskov iz pozavarovalnih pogodb in namenskih družb s spodnjo mejo, ki je enaka nič. Podrobnosti glede določanja najdemo v členu 250(2) uredbe [9].
- P_s označuje obračunane premije za zavarovalne in pozavarovalne obveznosti v segmentu s v zadnjih 12 mesecih po odbitku premij za pozavarovalne pogodbe s spodnjo mejo, ki je enaka nič. Podrobnosti glede določanja najdemo v členu 250(3) uredbe [9].

Komponenta linearne formule za obveznosti iz življenjskih zavarovanj in pozavarovanj

Komponenta linearne formule za obveznosti iz življenjskih zavarovanj in pozavarovanj se izračuna po formuli:

$$\begin{aligned} MCR_{(linear,l)} &= 0,037 \cdot TP_{(life,1)} - 0,052 \cdot TP_{(life,2)} \\ &+ 0,007 \cdot TP_{(life,3)} + 0,021 \cdot TP_{(life,4)} \\ &+ 0,0007 \cdot CAR \end{aligned}$$

Pri čemer:

- $TP_{(life,1)}$ označuje zavarovalno-tehnične rezervacije brez marže za tveganje v zvezi z zajamčenimi prejemki za obveznosti iz življenjskih zavarovanj z udeležbo pri dobičku po odbitku izterljivih zneskov iz pozavarovalnih pogodb in namenskih družb s spodnjo mejo, ki je enaka nič in zavarovalno-tehnične rezervacije brez marže za tveganje za pozavarovalne obveznosti, če osnovne obveznosti iz življenjskih zavarovanj vključujejo udeležbo pri dobičku po odbitku izterljivih zneskov iz pozavarovalnih pogodb in namenskih družb s spodnjo mejo, ki je enaka nič.
- $TP_{(life,2)}$ označuje zavarovalno-tehnične rezervacije brez marže za tveganje v zvezi s prihodnjimi diskrecijskimi upravičenji za obveznosti iz življenjskih zavarovanj z udeležbo pri dobičku po odbitku izterljivih zneskov iz pozavarovalnih pogodb in namenskih družb s spodnjo mejo, ki je enaka nič.
- $TP_{(life,3)}$ označuje zavarovalno-tehnične rezervacije brez marže za tveganje za obveznosti iz življenjskih zavarovanj in pozavarovanj v zvezi s takšnimi zavarovalnimi obveznostmi, vezanimi na indeks ali enoto premoženja, po odbitku izterljivih

zneskov iz pozavarovalnih pogodb in namenskih družb s spodnjo mejo, ki je enaka nič.

- $TP_{(life,4)}$ označuje zavarovalno-tehnične rezervacije brez marže za tveganje za vse druge obveznosti iz življenjskih zavarovanj in pozavarovanj po odbitku izterljivih zneskov iz pozavarovalnih pogodb in namenskih družb s spodnjo mejo, ki je enaka nič.

Podrobnosti o izračunu najdemo v členu 251(2) uredbe [9].

- CAR označuje skupni rizični kapital, tj. vsoto rizičnega kapitala pogodb za vse pogodbe, na podlagi katerih nastanejo obveznosti iz življenjskih zavarovanj ali pozavarovanj.

Rizični kapital pogodbe pomeni vrednost, enako nič, ali razliko med naslednjima zneskoma, odvisno od tega, kaj je višje:

- vsoto vsega naslednjega:
  - zneska, ki bi ga zavarovalnica ali pozavarovalnica trenutno plačala v primeru smrti ali invalidnosti oseb, zavarovanih v okviru pogodbe, po odbitku izterljivih zneskov iz pozavarovalnih pogodb in namenskih družb
  - pričakovane sedanje vrednosti zneskov, ki niso zajeti v prejšnji alinei, ki bi jih podjetje plačalo v prihodnosti v primeru takojšnje smrti ali invalidnosti oseb, zavarovanih v okviru pogodbe, po odbitku izterljivih zneskov iz pozavarovalnih pogodb in namenskih družb;
- najboljšo oceno ustreznih obveznosti po odbitku izterljivih zneskov iz pozavarovalnih pogodb in namenskih družb.

Zahtevani minimalni kapital: kompozitne zavarovalnice

Kompozitne zavarovalnice so zavarovalnice, ki izvajajo življenjska in premoženjska zavarovanja. Podroben opis formiranja minimalne kapitalske zahteve za njih bi nas odpeljal predaleč stran od teme tega diplomskega dela, zato samo omenimo, da ga najdemo v členu 252 uredbe [9].

3 Kreditno tveganje

3.1 Kreditno tveganje v splošnem

S tem tveganjem se soočajo vsi udeleženci na finančnih trgih. Konkretno v zavarovalništvu kreditno tveganje pomeni nevarnost izgube ali neugodne spremembe v finančnem položaju zaradi nihanj v kreditnem položaju izdajateljev vrednostnih papirjev, nasprotnih strank in morebitnih dolžnikov, ki so jim izpostavljene zavarovalnice in pozavarovalnice v obliki tveganja neplačila nasprotne stranke, tveganja razpona ali koncentracij tržnega tveganja ([10], člen 13(32)). Kreditno tveganje je ključnega pomena v bančništvu, kjer se nanaša na tveganje nepovračila izdanih kreditov, banke namreč precejšnji delež lastnih sredstev nalagajo v obliki izdajanja kreditov in je za pozitivno poslovanje ključno, da znajo s tem tveganjem učinkovito upravljati. Če želimo s tveganjem uspešno upravljati, ga moramo najprej razumeti, pri tem so nam v veliko pomoč modeli. Pri modeliranju kreditnega tveganja moramo opredeliti naslednje pojme: verjetnost neizpolnitve obveznosti, izguba ob neplačilu in izpostavljenost ob neplačilu. Kaj več o modeliranju kreditnega tveganja lahko preberemo v [1]. V nadaljevanju se bomo osredotočili na model uporabljen v direkivi Solventnost II in še nekoliko natančneje na del, ki se ukvarja s tveganjem neplačila nasprotne stranke, ko je ta nasprotna stranka pozavarovalnica s podano bonitetno oceno.

3.2 Določanje kapitalskih zahtev iz naslova kreditnega tveganja pod Solventnostjo II

V standardni formuli kreditno tveganje ([10], člen 101) zamenja modul tveganja neplačila nasprotne stranke ([10], člen 104). Ta termin je nekoliko ožji saj, ne zajema tveganj razpona in tveganja koncentracije tržnega tveganja. Torej se pri računanju kapitalskih zahtev iz naslova tveganja neplačila nasprotne stranke upošteva možne izgube zaradi nepričakovanega neplačila ali poslabšanja kreditnega položaja nasprotnih strank in dolžnikov v prihodnjih dvanajstih mesecih. Modul zajema pogodbe za zmanjševanje tveganja, kot so ureditve pozavarovanja, listinjenja in izvedeni finančni instrumenti ter terjatve posrednikov kot tudi druge kreditne izpostavljenosti, ki jih ne zajema podmodul (modula tržnega tveganja) tveganja sprememb kreditnih pribitkov. Modul primerno upošteva zavarovanje s premoženjem (collateral) in druge vrednostne papirje, ter s tem povezana tveganja. Modul tveganja neplačila nasprotne stranke za vsako nasprotno stranko upošteva celovito izpostavljenost tveganju neplačila (po)zavarovalnice, ne glede na pravno obliko njenih pogodbenih obveznosti do tega podjetja([10], člen 105(6)). Ločimo dva različna tipa izpostavljenjosti, imenujemo jih kar izpostavljenosti tipa 1 in izpostavljenosti tipa 2. Tip 1 pokriva izpostavljenosti, ki se ne morejo diverzificirati, za nasprotno stranko pa pričakujemo da je bonitetno ocenjena [6]. Izpostavljenosti tipa 2 vključujejo vse kreditne izpostavljenosti, ki jih ne zajema podmodul tveganja razpona in niso izpostavljenosti tipa 1 ([9], člen 189(3)). Podrobno razvrstitev in opis izpostavljenosti najdemo v členu 189 uredbe [9]. Za nadaljnje razumevanje je dovolj, da navedemo, da pozavarovalne pogodbe spadajo med izpostavljenosti tipa 1.

Ko izračunamo kapitalske zahteve za izpostavljenosti posamezega tipa, jih združimo na naslednji način:

$$SCR_{neplačilo} = \sqrt{SCR^2_{neplačilo,1} + 1.5 \cdot SCR_{neplačilo,1} \cdot SCR_{neplačilo,2} + SCR^2_{neplačilo,2}} \quad (3.1)$$

Podrobnosti izračuna za posamezni tip izpostavljenosti, najdemo na strani 176 dokumenta [6]. V nadaljevanju bo pokazano kako se izračuna $SCR_{neplačilo,1}$ v primeru, ko se omejimo le na pozavarovalnice.

3.3 Kreditno tveganje iz naslova pozavarovanj

Pozavarovanje je razen pridobivanja dodatnega kapitala (npr. z izdajanem delnic ali obveznic) glavni način preprečevanja insolventnosti. Pri pozavarovanju gre za vertikalno delitev odgovornosti, saj se zavarovalnica pravzaprav zavaruje pri drugi zavarovalnici. Omeniti je treba tudi sozavarovanje, kjer je delitev odgovornosti vodoravna toda s to vrsto zmanjševanja tveganja se ne bomo ukvarjali [13]. V praksi se zavarovalnica zavaruje pri določenem številu pozavarovalnic. Vsaka od teh pozavarovalnic z neko verjetnostjo ne bo izpolnila svojih obvez do zavarovalnice. Glede na nabor pozavarovalnic, njihove bonitetne ocene in izpostavljenosti do vsake izmed njih moramo določiti, koliko kapitala zavarovalnica potrebuje, da bi ostala solventna tudi v primeru, ko nekatere od pozavarovalnic niso zmožne izpolniti svojih obveznosti. Kreditno tveganje iz naslova pozavarovanja se razlikuje od klasičnega kreditnega tveganja, ki ga prevzemajo banke pri izdajanju kreditov. Število pozavarovalnic je namreč v primerjavi s številom izdanih krediov veliko manjše, korelacija med posamezinimi pozavarovalnicami veliko močnejša, pozavarovalnice prav tako ne tvorijo homogene skupine.

V nadaljevanju bom podal formulo za izračun te zahteve po standardni formuli Solventnosti II. Nato pa bom formulo izpeljal in pojasnil kako je nastala skozi pet kvantitaitvnih študij.

3.4 Formula in interpretacija parametrov

Kapitalske zahteve za izpostavljenosti tipa 1 nam da naslednja formula:

$$SCR_{neplacilo,1} = \begin{cases} 3 \cdot \sqrt{V}, \text{če } \sqrt{V} \leq 7\% \cdot \sum_i LGD_i \\ 5 \cdot \sqrt{V}, \text{če } 7\% \cdot \sum_i LGD_i < \sqrt{V} \leq 20\% \cdot \sum_i LGD_i \\ \sum_i LGD_i, \text{če } 20\% \cdot \sum_i LGD_i \leq \sqrt{V} \end{cases} \tag{3.2}$$

Kjer je:

- LGD : izguba ob neplačilu (loss given default)
- $\sqrt{V}$: standardni odklon, ki ga dobimo iz variance

Ideja je, da s pomočjo verjetnosti neizpolnitve obveznosti in izgube ob neplačilu izračunamo varianco porazdelitve izgube izpostavljenosti tipa 1 (označeno z V). Nato glede na sestavo portfelja izpostavljenosti, določimo faktor q. Zmnožek ustreznega faktorja q s standardnim odklonom $\sqrt{V}$ nam da oceno 99.5% kvantila [5].

Predpostavimo sedaj, da so edine izpostavljenosti dogovori o pozavaravonju in ignorirajmo ostale pogodbe o zmanjševanju tveganj, kot so namenske družbe, listinjenja na podlagi zavarovalniških produktov in izvedeni finančni instrumenti, ter si poglejmo kako pridemo do posameznih količin.

Izguba ob neplačilu

Izguba ob neplačilu glede na določeno izpostavljenost je konceptualno definirana kot izguba osnovnih lastnih sredstev, ki bi jo zavarovatelj utrpel v primeru, ko nasprotna stranka ne bi bila zmožna izpolniti svojih obeznosti. Po navadi se v primeru nezmožnosti izpolnitve obveznosti, del izpostavljenosti (dolga) lahko povrne, pri tem pa je treba nasprotni stranki omogočiti, da si opomore. Iz tega razloga izgubo ob neplačilu pomnožimo s faktorjem $(1-RR)$, kjer RR označuje stopnjo, s katero si nasprotna stran opomore (recovery rate). Najboljša praksa kaže, da je za pozavarovalnice ta stopnja 50%.

Izguba ob neplačilu za dogovor o pozavarovanju se torej izračuna po formuli ([9], člen 192(2)):

$$LGD = \max\left[50\% \cdot (Recoverables + 50\% \cdot RM_{re}) - F \cdot Collateral; 0\right] \tag{3.3}$$

pri čemer:

- $Recoverables$ označuje najboljšo oceno izterljivih zneskov iz naslova dogovora o pozavarovanju od ustreznih dolžnikov.
- RM_{re} označuje učinek dogovora o pozavarovanju na zmanjševanje zavarovalnega tveganja.
- $Collateral$ označuje tveganju prilagojeno vrednost zavarovanja s premoženjem v zvezi z dogovorom o pozavarovanju.
- F označuje faktor, s katerim se upošteva ekonomski učinek dogovora o zavarovanju s premoženjem v zvezi z dogovorom o pozavarovanju v primeru kreditnega dogodka, povezanega z nasprotno stranko.

Zavarovalnice in pozavarovalnice izračunajo izterljive zneske iz pozavarovalnih pogodb v skladu z načeloma da se:

- sredstva vrednotijo na znesek, za katerega bi si jih dobro obveščeni stranki s pravico razpolaganja izmenjali v strogo poslovnem smislu
- obveznosti vrednotijo na znesek, za katerega bi se lahko prenesle ali poravnale med dobro obveščenima strankama s pravico razpolaganja v strogo poslovnem smislu.

Pri izračunu izterljivih zneskov iz pozavarovalnih pogodb (po)zavarovalnice upoštevajo časovno razliko med izterjavami in dejanskimi plačili.

Učinek dogovora o pozavarovanju na zmanjševanje zavarovalnega tveganja (RM_{re}) se izračuna kot razlika med hipotetično kapitalsko zahtevo za tržno tveganje in tveganje iz naslova zavarovalnih pogodb (SCR^{hyp}) in kapitalskih zahtev za ista tveganja brez kakršnih koli popravkov ($SRC^{without}$). Podrobnosti izračuna najdemo v [6] na strani 194.

Če je dogovor o pozavarovanju sklenjen s (po)zavarovalnico oziroma (po)zavarovalnico iz tretje države in je 60% ali več sredstev navedene nasprotne stranke predmet dogovorov o zavarovanju s premoženjem (collateral), se izguba ob neplačilu izračuna po formuli ([9], člen 192(2)):

$$LGD = \max\left[90\% \cdot (Recoverables + 50\% \cdot RM_{re}) - F \cdot Collateral; 0\right] \tag{3.4}$$

pri čemer: F' označuje faktor, s katerim se upošteva ekonomski učinek dogovora o zavarovanju s premoženjem v zvezi z dogovorom o pozavarovanju primeru kreditnega dogodka, povezanega z nasprotno stranko.

Verjetnost neizpolnitve obveznosti

Posameznemu pozavarovatelju i, za katerega je na voljo bonitetna ocena, se dodeli verjetnost neizpolnitve obveznosti p_i v skladu z naslednjo tabelo:

Tabela 2: Verjetnost neizpolnitve obveznosti glede na bonitetno oceno

Verjetnost neizpolnitve obveznosti glede na bonitetno oceno:

Bonitetna ocena	AAA	AA	A	BBB	BB	B	CCC ali nižja
p_i	0,002%	0,01%	0,05%	0,24%	1,20%	4,2%	4,2%

Več informacij o postopku določanja bonitetnih ocen in povezanih vejetnosti neizpolnitve obveznosti lahko bralec najde v [1].

Varianca

Kot sem že omenil ,je varianca ključna za določitev kapitalske zahteve za izpostavljenosti tipa 1. Iz nje namreč izračunamo standardni odklon, ko tega pomnožimo z ustreznim faktorjem, dobimo oceno 99,5% kvantila. Navedel bom formulo za izračun variance podano v tehničnih specifikacijah za peto kvantitativno študijo [8]. Ta je vsebinsko popolnoma enaka formuli podani v najnovejših tehničnih specifikacijah [6], nam pa omogoča, da jo v nadaljevanju lažje izpeljemo iz modela na katerem temelji ves postopek določanja kapitalskih zahtev za kreditno tveganje iz naslova pozavarovanja.

Izračun variance poteka tako da združimo izpostavljenosti do strank, ki spadajo v isti bonitetni razred. Za začetek potrebujemo naslednji vsoti:

$$y_j = \sum_i LGD_i \qquad \text{in} \qquad z_j = \sum_i (LGD_i)^2 \tag{3.5}$$

V vsotah j teče po vseh bonitetnih razredih, i pa po vseh strankah znotraj posameznega razreda. Sešteli smo torej izgube ob neplačilu znotraj posameznega razreda in izračunali tudi kvadrate vsot izgub ob neplačilu po posameznih razredih.

V formuli bomo potrebovali tudi naslednja parametera, odvisna le od verjetnosti dodeljenih posameznemu bonitetnemu razredu in števila γ.

$$u_{ij} = \frac{p_i(1-p_i)p_j(1-p_j)}{(1+\gamma)(p_i+p_j) - p_i p_j} \qquad v_i = \frac{(1+2\gamma)p_i(1-p_i)}{2+2\gamma-p_i} \tag{3.6}$$

Vloga teh parametrov bo postala jasna v razdelku 3.4.1, zaenkrat ju samo privzemimo. Vrednost γ določi zakonodajalec, zaenkrat je postavljena na 0.25 (vloga γ bo pojasnjena v nadaljevanju). Sedaj vsoti in parametra združimo v varianco:

$$V = \sum_i \sum_j u_{i,j} y_i y_j + \sum_i v_i z_i \tag{3.7}$$

V vsotah indeksa i in j tečeta po vseh bonitetnih razredih. Na tem koraku imamo vse, kar potrebujemo za izračun iskane kapitalske zahteve, v nadaljevenju bomo pojasnili kako pridemo od modela do tako zaokrožene in preproste formule.

3.4.1 Opis modela in izpeljava formule

Formule in postopki, ki bodo uporabljeni v Solventnosti II, so bili testirani skozi pet kvantitativnih študij vpliva (QIS-quantitative impact study). Model, po katerem se določajo kapitalske zahteve za tveganje iz naslova pozavarovanja je bil večkrat kritiziran, zato je doživel obsežne spremebe na prehodu med 2 in 3 študijo, ter na prehodu med 4 in zadnjo študijo. V QIS3 in QIS4 je bil uporabljen Vasičkov model. Ta model služi za določanje kapitala, ki ga je potrebno alocirati za kritje portfelja posojil, če želi posojevalaec doseči, oziroma ohraniti izbrano bonitetno oceno. Model se uporablja za modeliranje kreditnega tveganja v direktivi Basel II in v SST, več o njem pa si lahko preberete v [21]. Konceptualno ta model ni ustrezen za modeliranje kreditnega tveganja iz naslova pozavarovalnih pogodb. Nabor pozavarovalnih pogodb in tveganje neplačila nasprotne stranke, ki iz njega izhaja namreč zahteva drugačno obravnavo kot klasično modeliranje kreditnega tveganja, ki ga poznamo pri bančništvu ali naložbenih portfeljih. V teh primerih pričakujemo številne realizacije slučajnih spremenljivk podobne velikosti in šibko odvisnost med dogodki, medtem ko so dogodki, da pozavarovalnice niso sposobne izpolniti svojih obveznosti veliko bolj redki, število pozavarovalnic je v primerjavi s številom izdanih kreditov veliko manjše, pozavarovalnice pa tvorijo nehomogeno populacijo. Pričakovati gre tudi veliko večjo kovarianco med verjetnostmi neplačila različnih pozavarovalnic, saj so taki dogodki ponavadi posledica šoka, ki prizadene celotno zavarovalno industrijo na nekem področju.

Sedaj bomo razložili kako je Peter Ter Berg v [18] modeliral tveganje neplačila nasprotne stranke na podlagi skupnega šoka in kako je ta model implementiran v Solventosti II (identičen postopek najdemo tudi v [3]).

Skupni šok

Na poslovanje zavarovalne industrije vplivajo tako pogosti vsakodnevni dogodki kot posamični fenomeni. Taki fenomeni so naprimer počasne spremembe demografske sestave prebivlastva, letni cikli poslovanja, kot tudi nagli šoki, ki ji povzročijo velike nevihte, ali spremebe na borzi. Te vplive lahko intuitivno povzamemo s količino, ki ji rečemo skupni letni šok. Označimo jo s S, zavzame pa vrednosti na intervalu $(0, 1)$ Pri tem imajo vrednosti bližje ničli majhen vpliv na industrijo, vrednosti v okolici 1 pa intrepretiramo kot kataklizmične dogodke svetovnih razsežnosti.

Za modeliranje skupnega letnega šoka lahko uporabimo zvezno porazdelitev beta, ki jo poznamo iz osnov verjetnosti.

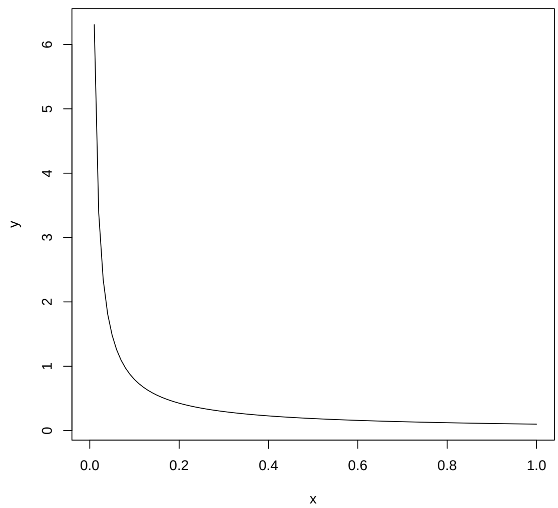
Definicija 3.1. *Porazdelitev beta* je družina zveznih verjetnostnih porazdelitev, ki je definirana na intervalu (0,1). Porazdelitev ima dva parametra, ki določata njeno obliko (parametera oblike). Parametra označujemo z α in β. Gostota porazdelitve je dana s funkcijo:

$$f(x;\alpha,\beta) = \frac{x^{\alpha-1}(1-x^{\beta-1})}{\int\limits_0^1 u^{\alpha-1}(1-u)^{\beta-1}du} = \frac{1}{B(\alpha,\beta)}x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}, \quad x \in (0,1)$$

Kjer B označuje Eulerjevo Beta funkcijo.

Torej nam da Beta porazdelitve s parametroma $\alpha = 0.1$ (tega zaenkrat privzamemo, točna vrednost bo določena s pomočjo kvantitativne študije) in $\beta = 1$ da gostoto skupnega šoka

$$f(s|\alpha) = \alpha s^{\alpha-1} \qquad 0 \le s \le 1 \qquad 0 < \alpha < 1 \tag{3.8}$$



Slika 2: Porazdelitev $\beta(0.1, 1)$.

Iz grafa lahko jasno razberemo da so majnhi šoki pogosti, verjetnosti za pojavo srednjih in ogromnih šokov pa monotono upadajo. Kljub temu je gostota taka, da je verjetnost šoka poljubno blizu 1 (spomnimo se da je to katastrofalen dogodek svetovnih razsežnosti) neničelna.

Verjetnost neizpolnitve obveznosti kot funkcija skupnega šoka

Verjetnost neizpolnitve obveznosti, je funkcija skupnega šoka, ter bo tako bolje povzemala delovanje zavarovalne industrije. Pri definiciji bomo potrebovali še bazno verjetnost neizpolnitve obveznosti. Označimo jo z b. Ta bo definirana za vsako pozavarovalnico posebej, kasneje bomo videli kako jo izpeljemo iz absolutne verjetnosti neizpolnitve obveznosti podane skupaj z bonitetno oceno pozavarovalnice.

$$p(s) = b + (1-b)s^{\delta} \qquad 0 < b < 1 \qquad \delta > 0 \tag{3.9}$$

Kot vidimo, je funkcija odvisna od dveh parametrov, bazne verjetnosti neizpolnitve obveznosti b in parametra moči δ.

Parameter moči δ

Ideja tega parametra je, da v model vpelje še eno lasnost, ki jo v praksi opazimo in je intuitivno jasna. Namreč, zavarovalnice z višjo bonitetno oceno bodo bolj imune na majhne in srednje šoke kot zavarovalnice s slabo oceno. Zato δ definiramo kot padajočo funkcijo bazne verjetnosti neizpolnitve obveznosti:

$$\delta = \tau b^{-1}, \qquad \tau > 0 \tag{3.10}$$

τ je parameter oblike, zanj privzamemo vrednost 0.2. Točna vrednost, ki naj bi bila uporabljena, se bo določila na podlagi prej omenjenih kvantitativnih študij. Sedaj imamo vse, kar potrebujemo za izpeljavo bazne verjetnosti neizpolnitve obveznosti b. To naredimo s pomočjo gostote velikosti šoka in verjetnosti neizpolnitve obveznosti kot funkcije skupnega šoka. Računamo pričakovano vrednost funkcije $p(S)$, po formuli, ki jo poznamo iz verjetnosti:

$$p = E[p(S)] = \int_0^1 p(s)f(s)ds = \frac{(\tau+\alpha)b}{\tau+\alpha b} \tag{3.11}$$

Vrednost p označuje absolutno verjetnost neizpolnitve obveznosti, ki jo lahko razberemo iz bonitetne ocene pozavarovalnice (glej tabelo 2). Sledi:

Bazna verjetnost neizpolnitve obveznosti

Po preprostem računu dobimo naslednje:

$$b = \frac{p\tau}{\alpha(1-p)+\tau} \tag{3.12}$$

Vidimo, da je bazna verjetnost neizpolnitve obveznosti odvisna od dveh parametrov oblike in sicer α in τ (kmalu bomo parametra zamenjali z enim samim, in sicer z γ, ki nam je znan iz izračuna (3.7)).

Do sedaj nam je uspelo zapisati verjetnost neizpolnitve obveznosti za posamezno pozavarovalnico, kot funkcijo šoka, ki bo skupen celotni industriji. Ker zavarovalnice v praksi redko sklenejo pozavarovalne pogodbe le z eno pozavarovalnico, si poglejmo, kako izrazimo tveganje ne izpolnitve obveznosti za skupino pozavarovalnic.

Obravnava nabora pogodb o pozavarovanju

Predpostavimo torej da zavarovalnica sklene pozavarovalne pogodbe s k pozavarovalnicami, te indeksiramo z $i = 1, ..., k$. Proces neizpolnitve obveznosti (bankrot) je predstavljen z naborom Bernoullijevih spremenljivk (indikatorjev) $d_1, ..., d_k$. Pogojno glede na bankrot posamezne pozavarovalnice se bo pojavila izguba ob neplačilu. Izgubo ob neplačilu lahko modeliramo kot slučajno spremenljivko ali pa ne. Zaradi preglednosti se sedaj naslonimo na linearno algebro in omenjene količine zapišemo v vektorski obliki:

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix} \quad \mathbf{p(s)} = \begin{bmatrix} p_1(s) \\ \vdots \\ p_k(s) \end{bmatrix} \quad \mathbf{p} = \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_k \end{bmatrix} \quad \mathbf{d} = \begin{bmatrix} d_1 \\ \vdots \\ d_k \end{bmatrix} \quad \mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_k \end{bmatrix}$$

Slučajno spremenljivko Z, ki označuje tveganje neplačila nasprotne stranke iz naslova pozavarovanja dobimo kot vsoto relevantnih izgub ob neplačilu. To lahko zapišemo na naslednji način:

$$Z = \sum_{i=1}^{k} d_i y_i = \mathbf{d}^{\intercal}\mathbf{y} \tag{3.13}$$

To slučajno spremenljivko lahko opazujemo tudi pogojno glede na opaženo količino šoka $S = s$. V tem primeru ima pričakovano vrednost:

$$E(Z|S = s) = \sum_{i=1}^{k} p_i(s) y_i = \mathbf{p(s)}^{\intercal}\mathbf{y} \tag{3.14}$$

Varianco:

$$V(Z|S=s) = \sum_{i=1}^{k} p_i(s) y_i^2 - \sum_{i}^{k} (p_i(s) y_i)^2 \tag{3.15}$$

In verjetnost, da ne pride do nezmožnosti plačila:

$$P(Z=0|S=s) = \prod_{i=1}^{k} (1 - p_i(s)) \tag{3.16}$$

Te količine pa niso zanimive za primarno zavarovalnico (to je tista zavarovalnica, ki se je pozavarovala), njo namreč zanima popolna pričakovana vrednost spremenljivke Z. Torej moramo pogojno pričakovano vrednost Z sešteti po vseh možnih vrednostih $S=s$. Dobimo pričakovano vrednost:

$$E(Z) = \sum_{i=1}^{k} p_i y_i = \mathbf{p}^{\intercal} \mathbf{y} \tag{3.17}$$

in varianco:

$$V = \sum_{i,j=1}^{k} \omega_{ij} y_i y_j = \mathbf{y}^{\intercal} \Omega \mathbf{y} \tag{3.18}$$

ω_{ij} je kovarianca med pozavarovalnicama i in j, razberemo jo iz matrike Ω. Diagonalne elemente te matrike nam da formula:

$$\omega_{ii} = p_i(1 - p_i) \qquad i = 1, \cdots, k \tag{3.19}$$

Elemente izven diagonale pa dobimo po:

$$\omega_{ij} = \frac{\alpha(1-b_i)(1-b_j)}{\alpha + \tau b_i^{-1} + \tau b_j^{-1}} - (p_i - b_i)(p_j - b_j) \qquad i,j = 1, \cdots, k \quad i \neq j \tag{3.20}$$

Opazimo, da imamo vse, kar potrebujemo za izračun iskane kapitalske zahteve po (3.2). Računanje variance za veliko število pozavarovalnic bi po tej formuli bilo zelo zamudno in neučinkovito. V splošnem bomo zraven pogodb o pozavarovanju pri izračunu upoštevali tudi ostale pogodbe za zmanjševanje tveganja zato postane optimizacija še toliko bolj pomembna. Najprej si poglejmo, kako lahko po aneksu A dokumenta [3] postopek poenostavimo, če združimo pozavarovalnice po bonitetnih razredih, nato pa, kako pridemo do formule 3.7 za izračun variance uporabljene v Solventnosti II. Od zdaj naprej je treba biti pozoren na to, da indeksi vsot ne tečejo več po posameznih pozavarovalnicah, ampak po bonitetnih razredih. Število teh označimo z N. Spomnimo se, da v Solventnosti II ločimo 7 bonitetnih razredov (glej: tabelo 2). Prav tako bomo vse prej uporabljene oznake od sedaj razmeli kot oznake za posamezen bonitetni razred in ne posamezno stranko.

V prvem koraku bomo matriko Ω zapisali v strnjeni obliki. To naredimo tako da jo zapišemo kot naslednjo linearno kombinacijo:

$$\Omega = \mathbf{U} + \mathbf{v} - \mathbf{w}\mathbf{w}^{\intercal} \tag{3.21}$$

Pri čemer je $\mathbf{U}$ matrika:

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} u_{11} & \cdots & u_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{N1} & \cdots & u_{NN} \end{bmatrix} \qquad u_{ij} = \frac{\alpha(1-b_i)(1-b_j)}{\alpha + \tau b_i^{-1} + \tau b_j^{-1}} \qquad i,j = 1,\cdots,7 \tag{3.22}$$

$\mathbf{v}$ in $\mathbf{w}$ pa sta vektorja:

$$\mathbf{v} = \begin{bmatrix} p_1(1-p_1) + (p_1 - b_1)^2 - \dfrac{\alpha(1-b_1)^2}{\alpha + 2\tau b_1^{-1}} \\ \vdots \\ p_N(1-p_N) + (p_N - b_N)^2 - \dfrac{\alpha(1-b_N)^2}{\alpha + 2\tau b_N^{-1}} \end{bmatrix} \qquad in \qquad \mathbf{w} = \begin{bmatrix} p_1 - b_1 \\ \vdots \\ p_N - b_N \end{bmatrix}$$

Potrebujemo še strnjeno obliko za vsoto izgub ob neplačilu. To naredimo tako da seštejemo izgube ob neplačilu po bonitetnih razredih. Rezultat posameznega razreda predstavlja element vektorja $\mathbf{y}$. Medtem je $\mathbf{z}$ vektor kvadriranih vsot izgub ob neplačilu po bonitetnih razredih.

Imamo vse kar potrebujemo za strnjen zapis formul (3.17) in (3.18). Spet je treba biti pozoren pri razumevanju vektorjev, medtem ko je prej $\mathbf{y}$ označeval vektor izgub ob neplačilu za posamezno stranki, sedaj $\mathbf{y}$ označuje vektor izgub ob neplačilu za posamezen bonitetni razred. Dobimo torej pričakovano izgubo, zapisano kot:

$$E(Z) = \mathbf{p}^{\intercal}\mathbf{y} = \sum_{i=1}^{N} p_i y_i \tag{3.23}$$

In varianco:

$$V = \mathbf{y}^{\intercal}\mathbf{U}\mathbf{y} + \mathbf{v}^{\intercal}\mathbf{z} - (\mathbf{w}^{\intercal}\mathbf{y})^2 = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} u_{ij} y_i y_j + \sum_{i}^{N} v_i z_i - \left(\sum_{i=1}^{N} w_i y_i\right)^2 \tag{3.24}$$

Izpeljava formule za varianco

Formula, ki smo jo dobili, nam zelo poenostavi računanje variance, vendar pa nismo še prišli do formule 3.7. Opazimo, da smo na tem koraku še vedno odvisni od parametrov τ in α. Sedaj bomo z uporabo zveze $\gamma = \frac{\tau}{\alpha}$ iz tega strnjenega zapisa izpeljali končno oblik0 formule za izračun variance.

Oglejmo si najprej člen $\sum_i^N v_i z_i$. Razpišimo v_i:

$$v_i = p_i(1-p_i) + (p_i + b_i)^2 - \frac{\alpha(1-b_i)^2}{\alpha + 2\tau b_i^{-1}}$$

Upoštevamo $b_i = \frac{p_i\tau}{\alpha(1-p_i)+\tau}$:

$$p_i(1-p_i) + \left(p_i - \frac{p_i\tau}{\alpha(1-p_i)+\tau}\right)^2 - \frac{\alpha\left(1 - \frac{p_i\tau}{\alpha(1-p_i)+\tau}\right)^2}{\alpha + 2\tau\frac{\alpha(1-p_i)+\tau}{p_i\tau}}$$

Pokrajšamo τ v imenovalcu zadnjega ulomka. Srednji člen damo na skupni imenovalec in odštejemo, isto naredimo v imenovalcu zadnjega ulomka:

$$p_i(1-p_i) + \left(\frac{\alpha(1-p_i)p_i + p_i\tau - p_i\tau}{\alpha(1-p_i)+\tau}\right)^2 - \frac{p_i\alpha\left(\frac{\alpha(1-p_i)+\tau-p_i\tau}{\alpha(1-p_i)+\tau}\right)^2}{p_i\alpha + 2\alpha(1-p_i) + 2\tau}$$

V števcu srednjega člena se izničita $p_i\tau$. V obeh ulomkih, delimo števec in imenovalec z α. Enako naredimo tudi v ulomku v imenovalcu zadnjega člena:

$$p_i(1-p_i) + \left(\frac{(1-p_i)p_i}{(1-p_i)+\gamma}\right)^2 - \frac{p\left(\frac{(1-p_i)(1-\gamma)}{1-p_i+\gamma}\right)^2}{p_i + 2(1-p_i) + 2\gamma}$$

Izpostavimo $p_i(1-p_i)$:

$$p_i(1-p_i)\left(1 + \frac{(1-p_i)p_i}{(1-p_i-\gamma)^2} - \frac{\frac{(1-p_i)(1+\gamma)^2}{(1-p_{i+\gamma})^2}}{2+2\gamma-p_i}\right)$$

Odpravimo dvojni ulomek in damo na skupni imenovalec drugi in tretji člen:

$$p_i(1-p_i)\left(1 + \frac{(1-p_i)p_i(2+2\gamma-p_i) - (1-p_i)(1+\gamma)^2}{(1-p_i+\gamma)^2(2+2\gamma-p_i)}\right)$$

Izpostavimo $p(1-p_i)$ v drugem členu vsote:

$$p_i(1-p_i)\left(1 + \frac{(1-p_i)\left(p_i(2+2\gamma-p_i) - (1+\gamma)^2\right)}{(1-p_i+\gamma)^2(2+2\gamma-p_i)}\right)$$

Opazimo, da je $(p_i(2+2\gamma-p_i) - (1+\gamma)^2) = -(1-p_i+\gamma)^2$:

$$p_i(1-p_i)\left(1 + \frac{(1-p_i)\left(-(1-p_i+\gamma)^2\right)}{(1-p_i+\gamma)^2(2+2\gamma-p_i)}\right)$$

Pokrajšamo, kar se da in računamo naprej:

$$p_i(1-p_i)\left(\frac{2+2\gamma-p_i-1+p_i}{2+2\gamma-p_i}\right) = p_i(1-p_i)\left(\frac{1+2\gamma}{2+2\gamma-p_i}\right)$$

Dobljeno zapišemo kot ulomek in opazimo da smo dobili v_i iz 3.6.

$$\frac{(1+2\gamma)p_i(1-p_i)}{2+2\gamma-p_i}$$

Uspelo nam je en del strnjene formule za izračun variance preoblikovati v del formule podane v tehničnih specifikacijah. Oglejmo si še preostala člena:

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} u_{ij}y_iy_j - \left(\sum_{i=1}^{N} w_iy_i\right)^2 \tag{3.25}$$

V drugem členu bomo dobili vse možne kombinacije $(p_i - b_i)y_i(p_j - b_j)y_j$ zato lahko paroma izpostavimo y_iy_j in vsoto preoblikujemo v:

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}(u_{ij} - (p_i - b_i)(p_j - b_j))y_iy_j$$

Sedaj po enakem postopku kot prej preoblikujemo $u_{ij} - (p_i - b_i)(p_j - b_j)$. Vsak del razlike izračunamo posebej, nato ju združimo. Postopki so enaki kot prej, zato ni potrebe po pojasnjevanju posameznih korakov. Začnimo z u_{ij} :

$$\begin{aligned}
u_{ij} &= \frac{\alpha(1-b_i)(1-b_j)}{\alpha+\tau b_i^{-1}+\tau b_j^{-1}} \\
&= \frac{\alpha\left(1-\frac{p_i\tau}{\alpha(1-p_i)+\tau}\right)\left(1-\frac{p_j\tau}{\alpha(1-p_j)+\tau}\right)}{\alpha+\tau\frac{\alpha(1-p_i)+\tau}{p_i\tau}+\tau\frac{\alpha(1-p_j)+\tau}{p_j\tau}} \\
&= \frac{\left(1-\frac{p_i\gamma}{(1-p_i)+\gamma}\right)\left(1-\frac{p_j\gamma}{(1-p_j)+\gamma}\right)}{1+\frac{(1-p_i)+\gamma}{p_i}+\frac{(1-p_j)+\gamma}{p_j}} \\
&= \frac{\left(\frac{(1-p_i)+\gamma-p_i\gamma}{(1-p_i)+\gamma}\right)\left(\frac{(1-p_j)+\gamma-p_j\gamma}{(1-p_j)+\gamma}\right)}{\frac{p_ip_j+p_j(1-p_i)+p_j\gamma+p_i(1-p_j)+p_i\gamma}{p_ip_j}} \\
&= \frac{\left(\frac{(1-p_i)(1+\gamma)}{1-p_i+\gamma}\right)\left(\frac{(1-p_j)(1+\gamma)}{1-p_j+\gamma}\right)}{\frac{p_j+p_i-p_ip_j+\gamma(p_i+p_j)}{p_ip_j}} \\
&= \frac{p_i(1-p_i)p_j(1-p_j)(1+\gamma)^2}{(1-p_i+\gamma)(1-p_j+\gamma)((1+\gamma)(p_j+p_i)-p_ip_j)}
\end{aligned}$$

Preoblikujem še drugi del razlike:

$$\begin{aligned}
(p_i-b_i)(p_j-b_j) &= \left(p_i-\frac{p_i\tau}{\alpha(1-p_i)+\tau}\right)\left(p_j-\frac{p_j\tau}{\alpha(1-p_j)+\tau}\right) \\
&= \left(\frac{\alpha(1-p_i)p_i+p_i\tau-p_i\tau}{\alpha(1-p_i)+\tau}\right)\left(\frac{\alpha(1-p_j)p_j+p_j\tau-p_j\tau}{\alpha(1-p_j)+\tau}\right) \\
&= \left(\frac{(1-p_i)p_i}{(1-p_i)+\gamma}\right)\left(\frac{(1-p_j)p_j}{(1-p_j)+\gamma}\right)
\end{aligned}$$

Združimo izračunano:

$$\begin{aligned} u_{ij} - (p_i - b_i)(p_j - b_j) &= \frac{p_i(1-p_i)p_j(1-p_j)(1+\gamma)^2}{(1-p_i+\gamma)(1-p_j+\gamma)((1+\gamma)(p_j+p_i)-p_ip_j)} - \\ &- \left(\frac{(1-p_i)p_i}{1-p_i+\gamma}\right)\left(\frac{(1-p_j)p_j}{1-p_j+\gamma}\right) \end{aligned}$$

Izpostavimo kar se da in damo ulomek na skupni imenovalec:

$$p_i(1-p_i)p_j(1-p_j)\left(\frac{(1+\gamma)^2-(1+\gamma)(p_j+p_i)+p_ip_j}{(1-p_i+\gamma)(1-p_j+\gamma)((1+\gamma)(p_j+p_i)-p_ip_j)}\right)$$

Po enostavnem stranskem računu opazimo, da lahko števec zapišemo v obliki, iz katere je jasno, kaj lahko pokrajšamo:

$$p_i(1-p_i)p_j(1-p_j)\left(\frac{(1-p_i+\gamma)(1-p_j+\gamma)}{(1-p_i+\gamma)(1-p_j+\gamma)((1+\gamma)(p_j+p_i)-p_ip_j)}\right)$$

Zapišimo še začetek in konec računa. Opazimo da smo dobili parameter u_{ij} iz (3.6).

$$u_{ij} - (p_i - b_i)(p_j - b_j) = \frac{p_i(1-p_i)p_j(1-p_j)}{(1+\gamma)(p_j+p_i)-p_ip_j}$$

Od intuitivnih predpostavk uporabljenega modela smo preko strnjene formule za izračun varinace z nekaj zamudnega, vendar preprostega računanja prišli do formule, ki se uporablja za izračun variance portfelja izpostavljenosti tipa 1 v modulu kreditnega tveganja Solventnosti II.

3.5 Simulacija porazdelitve izgube iz naslova kreditnega tveganja z diskusijo

Pri opisu simulacije bomo uporabljali oznake iz razdelka 3.4.1. Simuliral sem v programu R, skripta s kodo se nahaja v prilogi A. Simulacija poteka na naboru 98 pozavarovalnic in sicer tako da posameznem bonitetnem razredu pripada 14 pozavarovalnic. Izguba ob neplačilu za posamezno pozavarovalnico je označena z y_i. Določimo jo naključno z izbiranjem vzorca iz lognormalne porazdelitve s parametroma $\mu = 2$ in $\sigma = 6$. Posamezni korak simulacije izgleda tako:

- Generiramo skupni šok s iz porazdelitve 3.8.
- Glede na s in p_i za posamezno pozavarovalnico izračunamo $p_i(s)$
- Generiramo vektor Bernoullijevih slučajnih spremenljivk d_i, tako da velja $P(d_i = 1) = p_i(s)$.

- Seštejemo nastale izgube po formuli 3.13 in jih shranimo.

Po izvedenem poljubnem številu korakov (sam sem izbral milijon korakov) dobimo porazdelitev kreditnega tveganja. S programom R lahko nato izračunamo pričakovano vrednost in 99.5% kvantil porazdelitve, ter dobljene vrednosti primerjamo z rezultati izračunov po formulah iz prešnjega razdelka. Rezultati simulacij so predstavljeni v tabelah 3 in 4. V obeh tabelah imamo naslednje podatke:

- *Skupna izpostavljenost*: Vsota vseh izgub ob neplačilu.
- *Izpostavljenost AAA, ..., CCC* : Vsota izgub ob neplačilu po posameznih bonitetnih razredih. Zraven zneska za posamezen bonitetni razred je naveden še delež tega zneska v skupni izpostavljenosti. Tako jasno vidimo, ali se zavarovalnica pozavaruje "varno", torej s kako stabilnimi pozavarovalnicam sklepa svoje pozavarovalne pogodbe.
- *Pričakovana izguba* : mediana poradelitve izgube izračunana z R-om.
- *99,6% kvantil* : 99.5% kvantil izračunan z R-om.
- *SCR po simulaciji*: Zahtevani solventnostni kapital izračunan po podatkih pridobljenih s simulacijo, enak razliki med 99.5% kvantilom in mediano dobljene porazdelitve.
- *SCR po formuli 3.2*: Zahtevani solventnostni kapital izračunan po formuli 3.2.
- *Razlika*: Znesek enak razliki med zahtevani kapitalom po formuli in zahtevanim kapitalom po simulaciji.
- *Standardni odklon*: $\sqrt{V}$, kjer je V varianca, ki jo iz danih podatkov izračunamo po formuli 3.7
- *Aktiviran prag*: Številka, ki nam pove zgolj to, po katerem od primerov v formuli 3.2 je določena kapitalska zahteva (1 pomeni prvi primer).

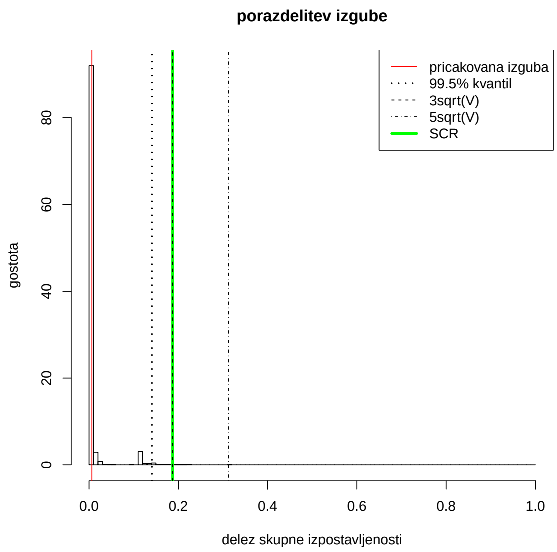
Zraven vseh zneskov je podan tudi njihov delež v znesku skupne izpostaljenosti. Prav tako so na vseh histogramih upodobljene te vrednosti z namenom lažje primerjave med simulacijami.

Pri prvi simulaciji opazimo veliko koncentracijo izgube ob neplačilu v najboljšem bonitetnem razredu. Ker pozavarovalnice iz najboljšega bonitetnega razreda zelo redko bankrotirajo, ima tak portfelj zelo majhno pričakovano izgubo in standardni odklon. Zahtevani solventnostni kapital se po formuli določi kot standardni odklon, pomnožen z najnižjim možnim faktorjem, $q = 3$, intuitivno to tudi pričakujemo. Rezultati so predstavljeni na sliki 3.

Tabela 3: Rezultati 1., 2. in 3. simulacije

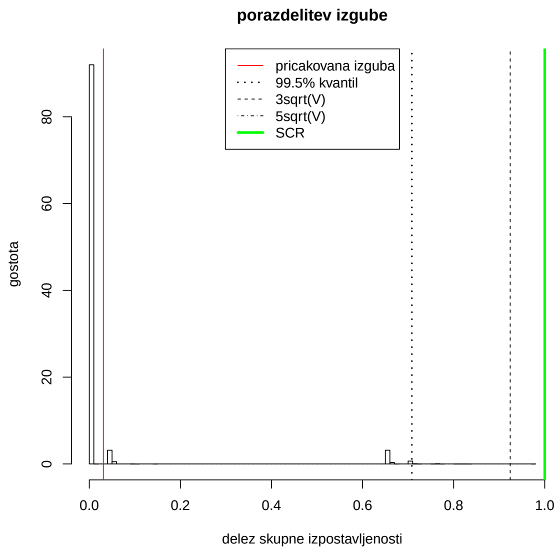
Rezultati prve, druge in tretje simulacije:

	1. simulacija	2. simulacija	3. simulacija 3
Skupna izpostavljenost	964420.4 (100%)	4138552 (100%)	143228642 (100%)
Izpostavljenost AAA	656924.3 (68%)	102957.2 (2.5%)	5281746 (0.4%)
Izpostavljenost AA	90498 (9.4%)	598109.6 (14.5%)	6644(0%)
Izpostavljenost A	35542.731 (3.7%)	36049.7 (0.9%)	88154(0%)
Izpostavljenost BBB	24294.3 (2.5%)	425899.3 (10%)	129535600 (90.3%)
Izpostavljenost BB	15789.5 (1.6%)	48101(1.2%)	10502660 (7.3%)
Izpostavljenost B	136061.1 (14.1%)	2935272.6 (71%)	131140 (0.1%)
Izpostavljenost CCC	5110.5 (0.5%)	2162.9 (0.1%)	2515610 (1.9%)
pričakovana izguba	6131.1 (0.6%)	127819.8 (3%)	450522.9 (0.3%)
99,5% kvantil	135952.1 (14.1%)	2931172 (70.8%)	2658101 (1.9%)
SRC po simulaciji	129821 (13.5%)	2803352 (67.7%)	2207578(1.5%))
SRC po formuli 3.2	180606.5 (18.8%)	4138552 (100%)	70368357(49%)
Razlika	50785.5 (5.3%)	1335200 (33.3%)	68160780 (47.6%)
Standardni odklon	60202.2(6.2%)	1274807(30%)	14073671(9%)
Aktiviran prag	1	3	2



Slika 3: Histogram simulacije 1

Pri drugi simlaciji je večina izgube ob neplačilu skoncentrirana v bonitetnem razredu BBB ki ima najvišjo absolutno verjetnost neizpolnitve obveznosti. Pogodbe o pozavarovanju so torej sklenjene s pozavarovalnicami, ki so občutljive že na majhne šoke. Pričakovana izguba znaša 3%, standardni odklon pa kar 30% skupne izpostavljenosti, po formuli 3.2 sledi, da je znesek zahtevanega solventnostnega kapitala enak kar celotnemu znesku izpostavljenosti. Rezultati so predstavljeni na sliki 4.

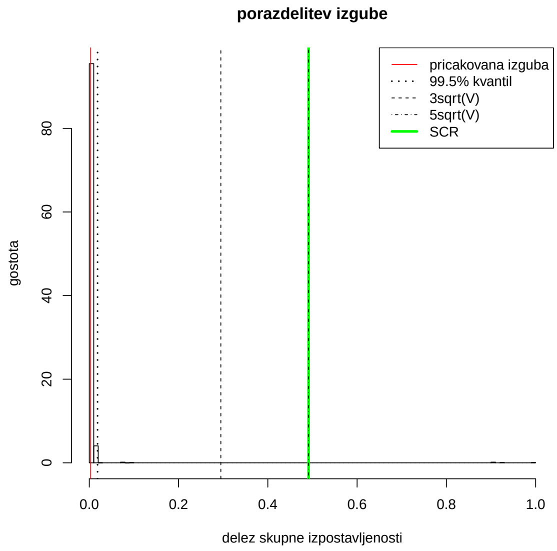


Slika 4: Histogram simulacije 2

Tretja simulacija nam prikaže rezultate za zavarovalnico, ki ima večino pozavarovanj urejenih pri srednje dobrih pozavarovalnicah. Zanimivo je, da je v tem primeru razlika med kapitalsko zahtevo določeno po formuli in kapitalsko zahtevo kalibrirano glede na porazdelitev največja. Razlog za to gre iskati v tem, da znaša standardni odklon zavarovalnice 9% skupne izgube ob neplačilu. V 3.2 vidimo, da je meja za množenje s količnikom $q = 3$ in ne $q = 5$ postavljena pri 7%. Sklepamo lahko, da ima ta zavarovalnica več skupnih lasnosti z zavarovalnicami, ki imajo nižje standardne odklone, kot pa z zavarovalnicami, pri katerih je standardni odklon blizu 20% skupne izgube ob neplačilu. Porazdelitev izgube in vizualizacija kapitalskih zahtev za to simulacijo sta podani na sliki 5.

Opazimo, da nobeden izmed portfeljev v dosedanjih simulacijah ni diverziviciran čez bonitetne razrede, zato izvedemo še zadnjo simulacijo. Tokrat nastavimo vhodne podatke tako, da je delež izgube ob neplačilu enak za vsako pozavarovalnico (podobno simulacijo najdemo tudi v [18]). Rezultate najdemo v tabeli 4, dobljene številke se skladajo z rezultati simulacije v [18]. Histogram porazdelitve izgube je dan na sliki 6.

Iz simulacij je razvidno da se osnovna formula odziva na struktuiranost portfelja pozavarovalnih pogodb in učinkovito prepoznava tako zelo stabilne portfelje, kot tudi portfelje ki so ranljivi že ob manjših šokih. Formula je nekoliko nepoštena do portfeljev, ki se nahajajo tik nad mejo za določanje količnika q. V vsaki od simulacij je po formuli



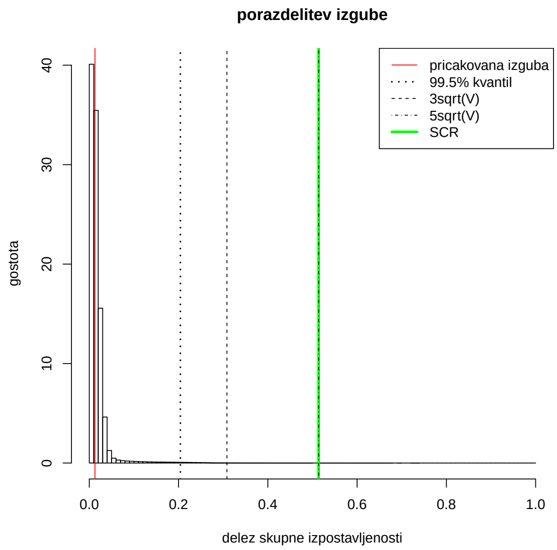
Slika 5: Histogram simulacije 3

Tabela 4: Rezultati 4. simulacije

Rezultati simulacije v primeru enake izpostavljenosti do vsake pozavarovalnice:

	Simulacija 4
Skupna izpostavljenost	1
Izpostavljenost AAA,...,CCC	0.1428
pričakovana izguba	0.0127
99,5% kvantil	0.2044
SRC po simulaciji	0.1913
SRC po formuli 3.2	0.5137
Razlika	0.3224
Standardni odklon	0.1027
Aktiviran prag	2

določen znesek zahtevanega solventnostnega kapitala bil precej višiji od 99.5% kvantila. To potrjuje prej omenjeno konzervativno kalibriranost zakonodaje in zavarovatelje dodatno poziva k razvoju lastnih modelov za določanje kapitalskih zahtev.



Slika 6: Histogram simulacije 4

4 Zaključek

V nalogi smo se seznanili s pomenom kapitalskih zahtev za zavarovalnice in začeli spoznavati postopek njihovega določanja po zakonodaji Solventnost II. Natančneje smo obdelali le podmodul modula kreditnega tveganja, vendar pa smo dobili občutek za strukturo zakonodaje. Spoznavanje ostalih modulov bi tako po branju te naloge moralo potekati hitreje in lažje, saj so si ti med sabo dokaj podobni. Pomembno je, da smo videli, da temelji formula za določanje kapitalskih zahtev za tveganje iz naslova pozavarovanja na modelu, ki je intuitivno zelo jasen. Vse formule uporabljene v zakonodaji smo iz njega tudi izpeljali. Na koncu smo sledeč modelu izvedli simulacijo, iz katere so jasno razvidne tako njegove lasnosti, ki jih formula ohrani, kot tudi poenostavitve, ki so sprejete zaradi preprostejšega izračuna. Upam, da bo diplomsko delo bralcu omogočilo, da si lažje predstavlja, kako zamuden, a kljub temu pomemben je proces razvoja lastnih modelov za zavarovalnice, ki bodo hotele biti konkurenčne.

5 Literatura in viri

[1] C. Bluhm, L. Overbeck in C. Wagner, *Intoroduction to Credit Risk Modeling, Second edition.* Chapman & Hall, New York, 2010. *(Citirano na straneh 17 in 21.)*

[2] J. Boncelj, *Zavarovalna ekonomika*, Založba Obzorje, Maribor, 1983. *(Citirano na strani 2.)*

[3] CEIOPS, Advice for Level 2 Implementing Measures on Solvency II: SCR standard formula–Counterparty default risk module. (2009) . *(Citirano na straneh 22 in 26.)*

[4] M. Christiansen, A. Niemeyer. The fundamental definition of the Solvency Capital Requirement in Solvency II, poslano v objavo. 2012 *(Citirano na strani 6.)*

[5] EIOPA, The underlying assumptions in the standard formula for the Solvency Capital Requirement calculation. (2014) 70–74. *(Citirano na strani 19.)*

[6] EIOPA, Technical Specification for the Preparatory Phase (Part I). (2014) 120–135,176–201. *(Citirano na straneh 8, 9, 12, 18, 20 in 21.)*

[7] European Commision, 'SOLVENCY II': Frequently Asked Questions (FAQs). *MEMO/07/286* (2007) . *(Citirano na straneh 6, 7 in 13.)*

[8] European Commission, QIS5 Technical Specifications. (2010) 137. *(Citirano na strani 21.)*

[9] EU Komisija, Delegirana uredba komisije (EU) 2015/35. (2014) 59–70, 124–133. *(Citirano na straneh 8, 12, 14, 15, 16, 18, 19 in 20.)*

[10] Evropski parlament in svet, Direktiva 2009/138/ES. (2009) . *(Citirano na straneh 6, 7, 8, 9, 13, 14, 17 in 18.)*

[11] Federal Office of Private Insurance, Technical document on the Swiss Solvency Test. (2006) 3–12. *(Citirano na strani 5.)*

[12] FINMA, The Swiss Solvency Test–Fact Sheet. (2014) . *(Citirano na strani 5.)*

[13] M. Inkret, *Vpliv Solventnosti II na zavarovalniški sektor v EU*, Diplomsko delo, Univerza v Mariboru, 2020. *(Citirano na straneh 3 in 18.)*

[14] N. Kinrade in W. Coatesworth, How equivalent are the quantitative aspects of Swiss Solvency Test and Solvency II for life insurers?. *Milliman Research Report* (2013) 6–8, 15–19, 31–33. *(Citirano na strani 5.)*

[15] Lloyd's, ICA 2010 minumum standards and guidence. (2010) . *(Citirano na strani 6.)*

[16] A. Miller in V. Thibaut, Defferred Taxes under Solvency II. 2014, poslano v objavo. *(Citirano na strani 12.)*

[17] P. Peternel, *Odloženi davki s poudarkom na finančnih naložbah*, Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, 2007. *(Citirano na strani 12.)*

[18] P. ter Berg, Portfolio modelling of counterparty reinsurance default risk. *Life&pensions* (April 2008) 29–33. *(Citirano na straneh 22 in 33.)*

[19] I. Saharar, M. Hardy in D. Saunders, A Comparative Analysis of U.S., Canadian and Solvency II Capital Adequacy Requirements in Life Insurance. *Society of Actuaries, University of Waterloo*, sprejeto v objavo. *(Citirano na strani 7.)*

[20] F.D. Spaan, *Regulatory Capital Requirements under FTK and Solvency II for Pension Funds*, Master's thesis, Tilburg University, 2012. *(Citirano na straneh 3, 4 in 5.)*

[21] O. Vasicek, Loan portfolio value. *Risk* (December 2002) 160–162. *(Citirano na straneh 5 in 22.)*

[22] *Is a full internal model a step too far?*, PWC. `http://www.pwc.com/en_GX/gx/insurance/solvency-ii/countdown/pdf/pwc-countdown-july11-standard-formula-internal-model.pdf`. (Datum ogleda: 22. 8. 2015.) *(Citirano na strani 7.)*

[23] *Solvency II Internal models: From risk measurement to risk management*, Ernst& Young. `http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Solvency_internal_models/$FILE/Solvency%20internal%20models.pdf`. (Datum ogleda: 22. 8. 2015.) *(Citirano na strani 8.)*

Priloge

A Skripta s kodo simulacije

Za pravilno delovanje kode potrebujemo paket bindata.

```
lgd<-rlnorm(98, 2, 6)

izguba<-c(1:1000000)
for(i in 1:1000000){

#generiranje skupnega šoka
s<-rbeta(1, 0.1, 1)

#7 razredov verjetnosti neizpolnitve obveze glede na
 bonitetne ocene po zadnjih tehničnih specifikacijah
p<-c(0.00002, 0.00010, 0.00050, 0.00240, 0.01200, 0.04200, 0.04200)

#izračun bazne verjetnost neizpolnitve obveznosti za vsak bonitetni razred
b<-sapply(p, function(x) (x*0.2)/(0.1*(1-x)+0.2))

#izračun verjetnosti neizpolnitve obveznosti v odvisnosti od skupnega šoka
pS<-sapply(b, function(x) x+((1-x)*(s^(0.2*(x^(-1))))))

nabor<-c(
pS[1],pS[1],pS[1],pS[1],pS[1],pS[1],pS[1],
pS[1],pS[1],pS[1],pS[1],pS[1],pS[1],pS[1],
pS[2],pS[2],pS[2],pS[2],pS[2],pS[2],pS[2],
pS[2],pS[2],pS[2],pS[2],pS[2],pS[2],pS[2],
pS[3],pS[3],pS[3],pS[3],pS[3],pS[3],pS[3],
pS[3],pS[3],pS[3],pS[3],pS[3],pS[3],pS[3],
pS[4],pS[4],pS[4],pS[4],pS[4],pS[4],pS[4],
pS[4],pS[4],pS[4],pS[4],pS[4],pS[4],pS[4],
pS[4],pS[4],pS[4],pS[4],pS[4],pS[4],pS[4],
pS[4],pS[4],pS[4],pS[4],pS[4],pS[4],pS[4],
pS[6],pS[6],pS[6],pS[6],pS[6],pS[6],pS[6],
```

```
pS[6],pS[6],pS[6],pS[6],pS[6],pS[6],pS[6],
pS[7],pS[7],pS[7],pS[7],pS[7],pS[7],pS[7],
pS[7],pS[7],pS[7],pS[7],pS[7],pS[7],pS[7]
)

#proces bankrota
d<-rmvbin(1, nabor)

#izračunamo skupno izgubo za vsak korak in jo shranimo v vektor izguba
LGD<-sum(lgd%*%t(d))

izguba[i]<-LGD
}

#izračun variance
g<-0.25
v<-0
y<-c(sum(lgd[1:14]), sum(lgd[15:28]), sum(lgd[29:42]),
 sum(lgd[43:56]), sum(lgd[57:70]), sum(lgd[71:84]),
 sum(lgd[85:98]))

z<-sapply(y, function(x) x^2)
for(i in 1:7){
for(j in 1:7){
v<-v+((((p[i]*(1-p[i])*p[j]*(1-p[j]))/((1+g)*(p[i]+p[j])-(p[i]*p[j])))*y[i]*y[j])
+((((1+2*g)*p[i]*(1-p[i]))/(2+2*g-p[i]))*z[i]))
}
}

scr<- function (v, lgd) {
if(sqrt(v)<=0.07*sum(lgd)){3*sqrt(v)}
else if((0.07*sum(lgd)<sqrt(v))&&(sqrt(v)<=0.2*sum(lgd))){5*sqrt(v)}
else if(0.2*sum(lgd)<=sqrt(v)){sum(lgd)}
}
#kapitalska zahteva po formuli
SCR<-scr(v, lgd)
```

```
#kapitalska zahteva po simulaciji
m<-mean(izguba)
q<-quantile(izguba, probs= 0.995, type = 1)
SCRs<-q-m

#izris
pro<-sapply(izguba, function(x) (x)/sum(y))
hist(pro, 100, freq=FALSE, xlab="delež skupne izpostavljenosti",
 ylab="gostota", main = "porazdelitev izgube")
abline(v=(SCR/sum(y)), col="green", lwd= 3)
abline(v=(3*sqrt(v))/sum(y), lty="dashed")
abline(v=(5*sqrt(v))/sum(y), lty="dotdash")
abline(v=mean(pro), col="red", lwd= 1)
q1<-quantile(pro, probs= 0.995, type = 1)
abline(v=q1, lty="dotted", lwd= 2)
legend("topright",
c("pričakovana izguba", "99.5% kvantil", "3sqrt(V)", "5sqrt(V)", "SCR"),
lty=c("solid", "dotted", "dashed", "dotdash"),
col=c("red", "black", "black", "black", "green"),
lwd=c(1, 2, 1, 1, 3))
```