



Általános és Kvantitatív
Közgazdaságtan Doktori
Iskola

TÉZISGYŰJTEMÉNY

Boros Péter

**A partnerkockázat árazása - A hitelértékelési kiigazítás
elemzése**
című Ph.D. értekezéséhez

Témavezető:
Medvegyev Péter CSc
Egyetemi Tanár

Budapest, 2019

Befektetések és Vállalati Pénzügy Tanszék

TÉZISGYŰJTEMÉNY

Boros Péter

**A partnerkockázat árazása - A hitelértékelési kiigazítás
elemzése**

című Ph.D. értekezéséhez

Témavezető:
Medvegyev Péter CSc
Egyetemi Tanár

Tartalomjegyzék

1. Kutatási előzmények és a téma indoklása	2
2. A felhasznált módszerek	4
3. Az értekezés eredményei	6
3.1. A várható kitettség profil meghatározása többszintű Monte Carlo módszerrel	6
3.2. A hitelértékelési kiigazítás számítása csökkentett memória igényű Legkisebb Négyzetes Monte Carlo módszerrel	9
3.3. A hitelminősítői bejelentések fertőző hatásainak beépítése a hitelértékelési kiigazítás számításába	12
3.4. A hitelértékelési kiigazítás új tőkeszabályozása mögötti modellkeret levezetése és a szabályozói formula elemzése	17
4. Hivatkozások	20
5. Saját publikációk jegyzéke	30

1. Kutatási előzmények és a téma indoklása

A dolgozat a partnerkockázat kezelésének egyik módszerével, a partnerkockázat árazásával foglalkozik. Partnerkockázat alatt az OTC piacokon megkötött derivatív szerződések élettartama során, a partnerek lehetséges nemteljesítéséből eredő veszteség kockázatát értem.¹ Ez a pénzügyi kockázattípus a hitelkockázat családjához tartozik, és igazán csak a 2008-as gazdasági válság óta került a figyelem középpontjába. A partnerkockázat árazása a kockázat számszerűsítésének egy módját jelenti, amelyet hitelértékelési kiigazításnak neveznek. A dolgozat során a hitelértékelési kiigazításra az angol „Credit Valuation Adjustment” elnevezés alapján CVA rövidítéssel is hivatkozok. A CVA egy árkiigazítási tényező, amely egy nemteljesítési kockázattól mentes származtatott termék árát olyan irányba módosítja, hogy az tükrözze az aktuális partnerek nemteljesítési kockázatából adódó veszteségeket. Az így kapott új árat kockázattal kiigazított árnak nevezik.

A partnerkockázat az OTC piacok kialakulása óta létező fogalom, azonban a 2008-as gazdasági világválságig egy kevésbé fontos területnek számított. A válság előtt kialakult piaci gyakorlat szerint a partnerkockázat árát elhanyagolhatónak tekintették (Pykhtin és Rosen, 2010), avagy az csupán a nagy intézmények kiváltságának számított, amikor kisebb szereplőkkel szerződtek (Skoglund et al., 2013). Cesari et al. (2009) szerint azonban a válság rámutatott, hogy minden derivatív szerződéssel rendelkező félnek alapvető fontosságú a partnerkockázat mérése, az annak megfelelő tőke tartalékolása, és a partnerkockázat fedezése. Így a partnerkockázat modelljei is fejlődésnek indultak. Ezeket a modelleket általánosan Bielecki és Rutkowski (2013) leírásával jellemezhetjük: a hitelkockázat kvantitatív modelljeinek általános célja, hogy lehetőséget teremtsenek olyan szerződések árazására és fedezésére, amelyek hitelkockázatnak vannak kitéve.

A válság után a téma több ok miatt is a figyelem középpontjába került. A „too big to fail” nézet, amely a jelentős piaci szereplők kockázatmentességét jelentette, együtt bukott meg a Lehman Brothers befektetési bankkal 2008. szeptember 15-én. Ugyanakkor a piaci szereplők óriási veszteségeket voltak kénytelenek elszenvedni, amelyek egyrészt a tényleges csődeseményekből, másrészt a hitelértékelési kiigazítás mozgásából származtak. A partnerkockázat árazásának nélkülözhetetlenségét a növekedő OTC piac tovább erősítette, hiszen emiatt a piacon óriási „értékű” partnerkockázat halmozódott fel. Ettől a ponttól kezdve a partnerkockázat bekerült a legfontosabb pénzügyi kockázatok csoportjába.

Összességében tehát a piaci szemléletmódban történő strukturális változás, a válság alatt elszenvedett hatalmas veszteségek, a szabályozói aktivitás növekedése a területen és a piac méretének növekedése együtt járultak hozzá a hitelértékelési kiigazítás gyakorlati relevanciájának a növekedéséhez. Mivel azonban a probléma jelentős komplexitást hordozott magában, és mivel az elméleti alapok már korábban megjelentek a tudományos szakirodalomban, ezért az akadémiai életet is foglalkoztatni kezdte a téma. Így a hitelér-

¹ A partnerkockázat definíciója megadható több, általánosabb formában is, hiszen többek között az értékpapír finanszírozási ügyletek esetében is felmerül ez a kockázat típus. A dolgozatban elsősorban az OTC piacokon megkötött derivatívákkal foglalkozom, ezért is használom a fenti definíciót.

tékelési kiigazítás óriási figyelmet kapott, és a relevanciája megkérdőjelezhetetlen volt.

A jelentős veszteségek azonban ráébresztették a szabályozókat a probléma rendszer-szintű jellegére, amelyre válaszul új szabályozások jelentek meg, amelyek célja az OTC piacokon fennálló partnerkockázat csökkentése volt. A standardizált derivatívák kötelező klíringelése, valamint a nem klíringelt derivatívák esetében bevezetett kötelező letéti megállapodás kiegészítve az OTC piac méretének mérséklődésével a hitelértékelési kiigazítás relevanciájának csökkenését okozták. A szabályozások alóli kivételek, valamint az azok által megteremtett új árkiigazítási tényezők (XVA) azonban a hitelértékelési kiigazítás relevanciáját erősítik. Ezenfelül a piaci szereplők által jelentett CVA értékek továbbra is jelentősek, így a téma ma is rendkívül fontos.

A hitelértékelési kiigazítás témája több részre bontható. Elsőként megkülönböztetjük a számviteli és a szabályozói CVA mennyiségeket. A számviteli CVA alatt a már fentebb leírt árkiigazítási tényezőt értem. A szabályozói CVA a számviteli CVA egyik mellékterméke, amely a hitelértékelési kiigazítás mozgásából adódó veszteségek miatti tőketartalékolást jelenti.

A hitelértékelési kiigazítás komplexitása az azt befolyásoló tényezők számszerűsítésének nehézségeiből adódik. A probléma árazási jellege miatt egy számba kell tömöríteni olyan faktorok összességét, mint a partnerek nemteljesítésének időpontja, a fennálló tartozások mértéke vagy éppen a nemteljesítéskori veszteség nagysága. Ezen paraméterek meghatározása és azok összekapcsolása adják a hitelértékelési kiigazítás témájának további bontásait. Így a CVA modellezésekor többek között megkülönböztetünk csődesemény vagy éppen kitettség modelleket.

A dolgozat elsődleges célja, hogy egy széleskörű leírást adjon a partnerkockázat árazásáról. Ezenfelül azonban más célok is kitűzésre kerültek: Az átfogó leírás megtartása mellett szeretném kiemelni és részletesen ismertetni a téma néhány fontos alterületét. Továbbá a már rendelkezésre álló eszköztárat kívánom javítani és bővíteni új módszerek építésével valamint létező eljárások kiegészítésével. Mindezek mellett célom, hogy rámutassak a terület hiányosságaira és esetlegesen ezeket új módszertan fejlesztésével felmérjem és feloldjam. Ezért az alábbi kategorizálást követem: a dolgozat 2. és 3. fejezetében a (számviteli) hitelértékelési kiigazítás különböző elemeivel foglalkozom és a 4. fejezetben térek rá a szabályozói CVA részletes elemzésére. Az 1. fejezetet célja a hitelértékelési kiigazítás alapfogalmainak és a téma szakirodalmának ismertetése. A dolgozatot egy összefoglalással zárom az 5. fejezetben. Ez a szerkezet lehetőséget ad arra, hogy a megfogalmazott céljaimat egy strukturált formában teljesítsem. Továbbá a fejezetek fenti tagolásával rámutatok a CVA területének alternatív dimenziók szerinti felosztására is, hiszen többek között felhívom a figyelmet az elmélet kihívásaira, megvizsgálom a becslési eljárások bizonyos technikai kérdéseit, megkérdőjelezem a számítást befolyásoló faktorok körét valamint a szabályozók szemszögéből is elemzem a témát. Mindezek mellett, a fenti strukturálás egy alulról felfelé történő építkezést követ, hiszen először a CVA komponenseit, majd az általuk okozott dinamikát vizsgálom meg.

2. A felhasznált módszerek

A hitelértékelési kiigazítás meghatározása egy komplex számítási probléma megoldása, amely kvantitatív módszerekre támaszkodik. A dolgozatban ezért olyan számszerűsített modellekkel foglalkozom, amelyek mind elméleti, mind gyakorlati szempontból különös relevanciával bírnak. A modellek a közgazdaságtan témáján belül a matematikai pénzügyek területére sorolhatóak.

A disszertáció 1. fejezetében a hitelértékelési kiigazítás alapjait mutatom be. Itt definiálom a partnerkockázat legfontosabb fogalmait, mint például a kitettséget, a csődvalószínűséget, vagy magát a hitelértékelési kiigazítást. A CVA a derivatív szerződés élettartama során a partnerek nemteljesítése miatt fellépő várható veszteség értéke. A definíció formalizálásához és a szemi-analitikus formulák megoldásához a kvantitatív pénzügyek eszköztárát használom.

Mivel a hitelértékelési kiigazítás kitettség és csődvalószínűség modellekre támaszkodik, ezért ezeket részletesen megvizsgálom. A kitettség modellek derivatív árazási módszertant és statisztikai aggregációs módszereket használnak, hogy meghatározzák a jövőbeli kitettség értékét. Az ilyen modellek fő outputja a jövőbeli kitettség eloszlása, vagy annak bizonyos statisztikai mértéke. Emiatt ezek a modellek elsősorban sztochasztikus és statisztikai elemzésre támaszkodnak. A felhasználási területek komplexitása miatt az analitikus eljárások mellett numerikus módszerekre is szükség van a modellek outputjainak meghatározására.

Például a várható kitettség profil meghatározásához a hagyományos megközelítésmód egy Monte Carlo szimuláción alapuló eljárást használ. Ennek legfontosabb lépéseit az alábbiak szerint lehet összefoglalni: Első lépésként egy diszkrétizált időfelosztáson az alapfaktorok szimulált értékei kerülnek generálásra. Ezt követően az összes szimulált út minden egyes pontjában a termékek analitikus árazása következik. Végül az árakból már minden időpontra adódik a kitettség eloszlása. Az egyes utakon kapott kitettség értékekből minden időpontban átlagolással megadható a várható kitettség.

Ez az eljárás a szimulált utak magas számát kívánja meg, ami miatt jelentős számítási kapacitást igényel. Továbbá a második lépésben leírt analitikus derivatív árazás sem feltétlen lehetséges, így alternatív módszerekre is szükség van. A dolgozatban a többszintű Monte Carlo és a legkisebb négyzetes Monte Carlo módszereket használom, hogy javítsam a számítás hatékonyságát. Mindkét esetben egy lépésről lépésre kifejtett algoritmussal adom meg a módszereket.

A 3. fejezetben a hitelértékelési kiigazítás csődvalószínűség komponensével foglalkozom. A dolgozat során redukált formájú csődvalószínűség modellt használok, amit a 3. fejezetben kiegészítek a hitelminősítések közötti átmenetek fertőző hatásaival. Lando (1998) Markov-folyamat alapú modelljéből indulok ki, amelyet bővítve egy nem Markov modellhez jutok, amely a körkörös csődesemények problémájához hasonló implementációs nehézséget hordoz magában. A körkörös csődesemények problémája Jarrow és Yu (2001) által fejlesztett fertőző csődesemények modelljéből ered. Ebben a modellben ugyanis egy

vállalat csődintenzitás folyamata függ a társai csődeseményétől. Ugyanakkor a társak csődintenzitás folyamata szintén függ az eredeti vállalat csődeseményétől. Ezt a rekurzív kapcsolatot hívják a körkörös csődesemények problémájának. Ilyen esetben az összefüggő intenzitás folyamatok már nem szimulálhatóak egymástól függetlenül. Jarrow és Yu (2001) munkája óta számos megoldás született a körkörös csődesemények problémájára. Yu (2007) úgynevezett teljes hazard építési eljárása egy algoritmust ad a rekurzív probléma leküzdésére. Leung és Kwok (2005) munkája a túlélési mérték fogalmára építve oldja fel a szimulálási nehézségeket. Speciális esetekben Walker (2006) és Leung és Kwok (2009) Markov-lánc alapú megoldása is használható. A 3. fejezetben kibővíttem a teljes hazard eljárást, amit egy algoritmus formájában adok meg. Ezt fogom felhasználni a hitelminősítések közötti átmenetek fertőző hatásainak számszerűsítéséhez.

A 4. fejezetben analitikus eszközöket használva határozom meg egy olyan portfólió Expected Shortfall alapú kockázati mértékét, amelyben a partnerekhez rendelt CVA és az azokhoz allokált fedezeti ügyletek szerepelnek. Ez az érzékenységen alapuló megközelítésmód lehetővé teszi a szabályozói formula felírását. A lépésről lépésre történő levezetéssel rámutatok a szabályozói modell mögött meghúzódó feltételezésekre és összehasonlítom az analitikusan levezetett tőkeszükségletet a szabályozók által megkövetelt értékkel.

Minden fejezetben numerikus példákat használok az eredmények érzékeltetéséhez. Ez lehetőséget ad a javasolt eljárások gyakorlatias tesztelésére. A numerikus példák eredményeit ábrákon vagy táblázatokban mutatom be.

3. Az értekezés eredményei

3.1. A várható kitettség profil meghatározása többszintű Monte Carlo módszerrel

A partnerkockázat két ponton különbözik a klasszikus hitelkockázattól. Míg egy hitelszerződés során a felek egyértelműen hitelező és adós kategóriákba oszthatóak, és a hitelező kitettsége egy jól meghatározott mennyiséggel leírható, addig a partnerkockázat esetén ezek nem teljesülnek. Mivel egy OTC derivatív szerződés értéke minden esetben az aktuális piaci faktoroktól függ, így a fennálló kitettség is folyamatosan változik. Ebből adódóan a kitettség értéke akár egyik napról a másikra előjelet is válthat, így felcserélve az adós és a hitelező szerepét. Éppen ezen okok miatt a kitettség meghatározása egy bonyolult, számításigényes feladat.

A gazdasági világválság tapasztalatai és a szabályozói nyomás a bankok kockázatkezelési osztályait jelentős fejlődésre kényszerítették. A partnerkockázat mérése és árazása a terület fejlődésével párhuzamosan vált egyre komplexebbé. Mára már általánosnak tekinthető, hogy a bankok összetett hitel és partnerkockázati folyamatai óriási erőforrásokat használnak fel. Különösen számításigényes műveletnek számít a várható kitettség profil meghatározása, amely a hitelértékelési kiigazítás egyik fontos inputja.

A 2. fejezet első részében egy alternatív módszert fejleszttek a kitettség profilok becslésére, ami a többszintű Monte Carlo módszerre támaszkodik. Hagyományosan a bankok partnerkockázat kezelési részlegei Monte Carlo módszert használnak a profil becslésére. Első lépésként több ezer szimulált utat generálnak az alap piaci faktorokból. Majd a generált faktorok alapján minden szimulációs időpontban beárazzák az összes partnerrel kötött ügyletet. Ezután az ügyletek mentén aggregálnak és nettósítanak, ahol az engedélyezett. Így meghatározzák a jövőbeli kitettség lehetséges útjait. Végül a több ezer út alapján számolják az átlagos kitettséget minden időpontban, minden partnerre. Ez a művelet óriási számítási kapacitást igényel.

A pontos becslés jellemzően a szimulált alapfaktorok útjainak magas számát kívánja meg, ami a számítási igény nagyon gyors megugrását eredményezi egy több ezer partnerrel, több millió ügyletet megkötő nagy piaci szereplőnél. Ezért a számítási kapacitás szükséglet csökkentése nem csupán egy elméleti szempontból kívánatos feladat, hiszen az komoly költségcsökkenéshez vezethet. A fejezetben a többszintű Monte Carlo módszer felhasználásával a futási idő jelentős csökkenését érem el.

A többszintű Monte Carlo módszer eredetileg numerikus integrálási feladatokra lett fejlesztve Heinrich (2001) által. Pénzügyi területen először Giles (2008) alkalmazta. Azóta a pénzügyi matematika fontos elemévé vált, de a partnerkockázat területén csak nemrégiben, Hofer és Karlsson (2017) munkáján keresztül jelent meg. Ők a hitelértékelési kiigazítás különböző paraméterek melletti értékét becslik a többszintű Monte Carlo módszerrel.

Szemben a korábbi horizontális jellegű becslésekkel, jelen fejezetben vertikálisan az idő

paramétert használom a többszintű Monte Carlo módszer szintjeinek szétválasztására és így azt a kitettség profil becslésére. A módszer olyan modellekben használható, ahol az alapfaktorok egzaktan szimulálhatóak. Ez szűkíti az eljárás alkalmazhatósági körét, de az még így is rendkívül sok esetben felhasználható.

A módszer a következőképpen formalizálható. A várható kitettség értéke t időpontban:

$$EE(t) = \mathbb{E}[E(t)], \quad (1)$$

ahol $E(t)$ jelöli a kitettség értékét t -ben. Egy T időpontban lejáró derivatíva esetében egy $[a, b] \subset [0, T]$ intervallumon becsljük a profilt. Jelölje $k = 0, 1, \dots, L$ a többszintű Monte Carlo szintjeit. Ekkor ha a Heinrich (2001) által javasolt felosztást használjuk akkor a profil a következőképpen becslhető:

$$\left\{ EE(t_j) | t_j = a + \frac{j(b-a)}{2^L}, j = 0, 1, \dots, 2^L \right\}. \quad (2)$$

Láthatjuk, hogy minden lépéskor az előző szinten szereplő pontok közé, félúton egy újabb megfigyelési pontot adunk. Így azonban kihasználhatjuk, hogy a becslni kívánt mennyiség az adott pontot körülvevő értékekben már ismert. Ahogy arra Hofer és Karlsson (2017) is rámutatott, ha ezek között magas korrelációt tudunk elérni, akkor az egyfajta kontroll változón alapuló becslésünk jelentősen javulhat.

Legyen t_{j+} és t_{j-} az adott k szinten lévő t_j időpontot megelőző és az azt követő időpontok. Ha feltételezzük, hogy $\widehat{EE}(t_{j+})$ és $\widehat{EE}(t_{j-})$ már ismert, akkor a köztes pontra a következő becslést alkalmazhatjuk:

$$\widehat{EE}(t_j, t_{j-}, t_{j+}) = \frac{1}{N_{\text{MLMC}}} \sum_{n=1}^{N_{\text{MLMC}}} \left(E^{(n)}(t_j) - \frac{E^{(n)}(t_{j-}) + E^{(n)}(t_{j+})}{2} \right) + \frac{\widehat{EE}(t_{j-}) + \widehat{EE}(t_{j+})}{2}, \quad (3)$$

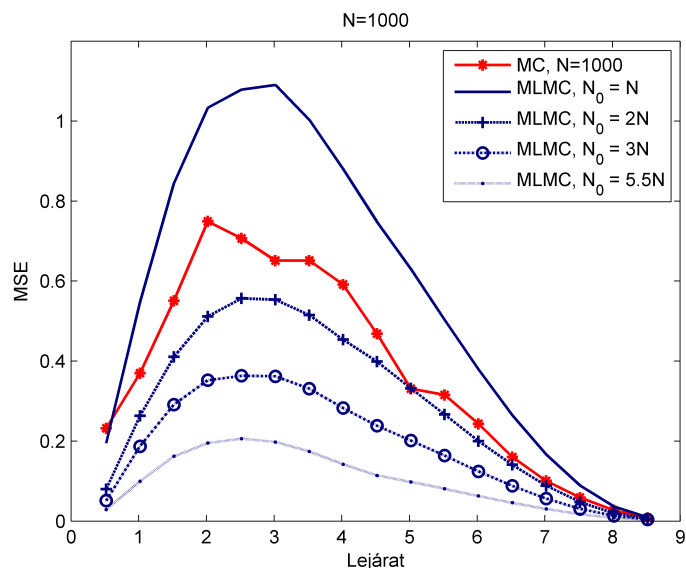
azaz a t_j időpontra vonatkozó becslés során kontroll változóként használjuk az előző szinten, a két szomszédos pontra megbecsült profil értéket. Erre az 1. egyenlet kínál lehetőséget hiszen:

$$EE(t_j) = \mathbb{E} \left[\widehat{EE}(t_j, t_{j-}, t_{j+}) \right]. \quad (4)$$

Hofer és Karlsson (2017) és Giles (2008) minden egyes szinten az alapfaktorok teljes útját szimulálták, és a kontroll változókkal való magas korrelációt az utak újrafelhasználásával érték el. Mivel itt minden becslési pontban csak ugyanarra az időpontra vonatkozó faktorok értékére van szükség, ezért a teljes út szimulálása elkerülhető. A magas korrelációt viszont más úton kell elérni, így ugyanazokat a véletlenszámokat fogom újra és újra felhasználni, a becslés különböző szintjein.

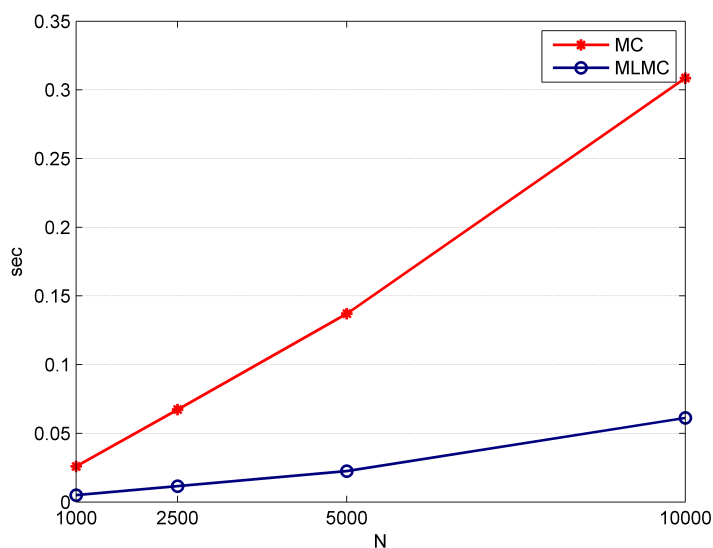
Az eljárás előnye abból ered, hogy a becslés különböző szintjein eltérő számú (N_{MLMC}) szimulációra van szükség. Az előző szinten megbecsült pontokkal javíthatjuk az adott szint becsléseit, így minden egyes újabb szinten csökkenhetjük a szimulációk számát. Ezáltal a számítási szükségletek csökkenthetőek és a futási idő redukálható. Az eljárást egy algoritmus formájában adom meg a dolgozatban.

1. ábra. Az elméleti értéktől vett átlagos négyzetes eltérés alternatív kiinduló szimuláció számok mellett.



A kontroll változók módszerével fennálló kapcsolat ellenére az eljárás a hiba felhalmozódásához vezet, ami csökkenti a módszer hatékonyságát. Mégis numerikus példákon rámutatok, hogy az eljárással becült elméleti értéktől vett átlagos négyzetes eltérés hamar a hagyományos Monte Carlo módszer által adott érték alá csökken. A többszintű Monte Carlo módszer kevesebb szimulációt használ, így a kezdeti szinteken felhasznált szimulációk számát a hagyományos módszer által felhasznált többszörösére növelhetjük. Az átlagos négyzetes eltérést különböző útszámok mellett az 1. ábrán szemléltetem. Ugyanakkor összehasonlítottam a két módszer futási idejét. A 2. ábrán láthatjuk, hogy az új módszer jelentősen csökkenti a futási időt.

2. ábra. Átlagos futási idő



Összefoglalás

A disszertációban egy új eljárást javaslok a várható kitétség profil meghatározására. A javasolt eljárás a többszintű Monte Carlo módszeren alapul és egzaktan szimulálható alapfaktorok mellett használható. A 2. fejezet első részében áttekintem a többszintű Monte Carlo módszer korábbi alkalmazásait, és megmutatom, hogy az hogyan alakítható át a kitétség profilok becslésére. Az eljárást egy algoritmus formájában adom meg, és azt numerikus példákon tesztelem. Az új módszer jelentősen javítja a számítás hatékonyságát, hiszen szignifikánsan csökkenti a számításhoz szükséges futási időt és kisebb hibát eredményez.

3.2. A hitelértékelési kiigazítás számítása csökkentett memória igényű Legkisebb Négyzetes Monte Carlo módszerrel

Ahogy korábban kifejtettem a kitétség profil hagyományos Monte Carlo módszerrel történő meghatározásának része a termék analitikus árazása. Számos komplex derivatív termék esetében azonban nem létezik analitikus árazó formula. Az ilyen típusú termékek árazásához jellemzően Monte Carlo szimulációt használnak. Amennyiben egy ilyen pozícióra a hagyományos módszerrel szeretnénk meghatározni a várható kitétséget, akkor nagyon hamar számítási kapacitási korlátainkba ütköznénk, hiszen egy Monte Carlo szimuláció minden egyes pontjában újabb Monte Carlo szimulációkat kellene indítani. Ezért a beágyazott Monte Carlo módszer helyett egy másik eljárásra van szükség.

A probléma megoldására a gyakorlatban az úgynevezett Amerikai Monte Carlo (AMC) módszereket használják. Számos AMC módszer létezik, de ezek gyökerei az amerikai opciók árazására kifejlesztett Longstaff-Schwartz eljárásra vezethetőek vissza. Az amerikai opció árazására kidolgozott ötletet a partnerkockázat-kezelés is felkarolta, hiszen a kitétség profilok inputja, a jövőbeli ár eloszlása apróbb módosításokkal kinyerhető az eljárásból.

Kitétség profilok számítására az elsők között Cesari et al. (2009) adtak meg egy algoritmust. Részletes leírás nélkül egy hasonló eljárást említ a hitelértékelési kiigazítás számítására Brigo és Pallavicini (2007). Longstaff és Schwartz (2001) eredeti módszerére legjobban hasonlító AMC eljárás a Legkisebb Négyzetes Monte Carlo (LSMC)² néven vált elterjedté ((Kan et al., 2010), (Karlsson et al., 2016), (Joshi és Kwon, 2016)).

A hitelértékelési kiigazítás LSMC alapú becslésének egy, a gyakorlatban számos esetben figyelmen kívül hagyott pontjára Joshi és Kwon (2016) hívták fel a figyelmet. Rámutattak, hogy az eredeti módszer a regressziós egyenletet csakis a korai lehívási döntés meghozására használta és nem az ár közelítésére. A felismerés alapján Joshi és Kwon (2016) továbbfejlesztették az eljárást figyelembe véve bizonyos, a fedezet hatékonyságát korlátozó letéti megállapodásokat is, mint a minimális transzferösszeget és a fedezeti küszöböt. Egy, a valós életben szinte minden esetben fellépő korlátozást, a letét lehetséges késését azonban nem építették a modellbe.

² Az LSMC rövidítés az eljárás angol „Least Square Monte Carlo” nevéből származik.

A dolgozatban először beépítem a fedezet késését a Joshi és Kwon (2016) által javasolt LSMC eljárásba. Az eredeti módszer a CVA közelítésére az alábbi egyenletet használja:

$$CVA \approx LGD \sum_{i=1}^m \mathbb{Q}(t_{i-1} < \tau \leq t_i) \mathbb{E} \left[D(0, t_i) \Pi(t_i, T) 1_{(f_i > 0)} \right]. \quad (5)$$

ahol f_i a folytatási érték regressziós becslése. Joshi és Kwon (2016) fő eredménye, hogy a regressziós egyenletet csak a lehívási döntés meghozására használják, míg az ár közelítésére a jövőbeli pénzáramok diszkontált értékét ($\Pi(t_i, T)$) vezetik be.

Hogy figyelembe vegyem a fedezet késését, az 5. egyenletet az alábbiak szerint módosítom.

$$CVA \approx LGD \sum_{i=1}^m \mathbb{Q}(t_{i-1} < \tau \leq t_i) \mathbb{E} \left[D(0, t_i) (\Pi(t_i, T) - K_i) 1_{(f_i - K_i > 0)} \right], \quad (6)$$

ahol az elérhető fedezet megegyezik a CSA által egy ζ időponttal korábbra előírt fedezet egyenlegével, azaz $K_i = C_{i-\delta}$ és $t_{j+\delta} - t_j = \zeta$.

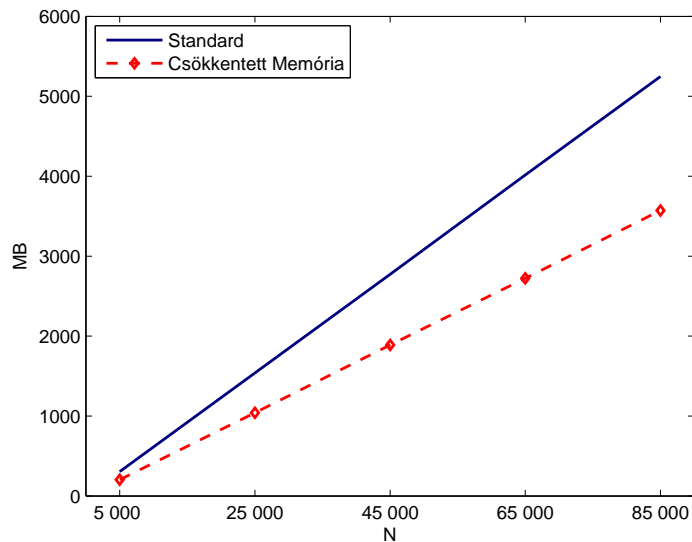
Következő lépésként rámutatok, hogy az eljárás egyik hátránya a jelentősen megnövekedő memória felhasználás. Az LSMC eljárás először az alapfaktorok értékét szimulálja időben előre haladva, majd hátrafelé haladva végzi el az árazást. A 6. egyenlet alapján azonban világos, hogy egy t_i időpontnál a CVA adott komponense még nem becsülhető, hiszen a fedezet értéke ekkor még nem áll rendelkezésre. Egyszerűen adódik a lehetőség, hogy először teljesítsük az algoritmust fedezet nélkül és számoljuk ki a fedezetet a becsült árak teljes útjából, majd végül helyettesítsük be az így kapott mennyiségeket a 6. egyenletbe. Ez a megoldás azonban sok esetben nem megvalósítható, hiszen jelentős memóriakapacitást követel meg. A pénzáramok, a regressziós becslések és a fedezet elérhető értékeinek mátrixai újabb, a számítógép memóriájában tárolandó egységek, miközben az LSMC módszer által már egyébként is ott tartott változók, például a szimulált alapfaktorok útjai, már megterhelték az elérhető kapacitást. Mindeközben a pontos becslés érdekében a szimulált utak számát növelni kell, így az LSMC memóriaigénye könnyen túllépheti a rendelkezésre álló mennyiséget.

Éppen ezért egy alternatív eljárást javaslok a 6. egyenlet számítására. Az általam használt eljárás Chan et al. (2006) és Hu és Zhou (2017) amerikai opciók árazására kidolgozott ötletén alapul. Módszerük szerint az eljárás időben előrehaladó részénél az alapfaktorok útjai helyett csak a szimulációhoz felhasznált véletlenszám generátor állapotát kell elmenteni minden egyes időpontban. Így később, a hátrafelé haladó árazásnál minden faktor ismét előállítható, miközben azokkal nem terheljük a memóriát. A dolgozatban újrastrukturálom a fedezet késésével kiegészített LSMC algoritmust, hogy annak memória felhasználását csökkentsem. Az új algoritmus két részre osztható: becslés és kiértékelés. A becslés alatt a regressziós egyenlet együtthatóit határozom meg, míg a kiértékelés részben a 6. egyenlet komponenseit adom meg.

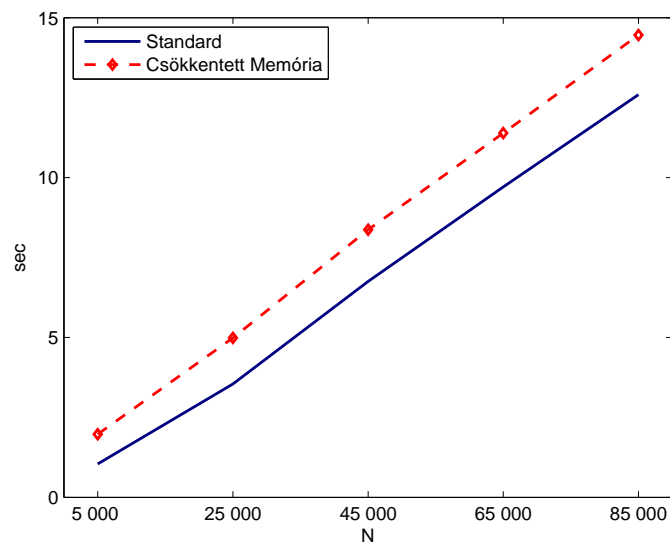
Az algoritmust korai lehívási opcióval rendelkező és anélküli termékekre is megadom és tesztelem. Megmutatom, hogy az újrastrukturált eljárás pontos eredményt generál közel

30 százalékkal csökkentett memória felhasználás mellett. A futási idő azonban növekszik az alapfaktorok újraszimulálása miatt. Megmutatom azonban, hogy ez a növekedés nem túl jelentős, különösen, ha a szimulált utak száma magas. A memória felhasználás csökkenését és a futási idő változását egy felmondható kamatláb csereügylet példáját használva a 3. és a 4. ábrákon szemléltetem.

3. ábra. Memóriaszükséglet a szimuláció során felhasznált utak függvényében egy felmondható kamatláb csereügylet esetén



4. ábra. Futási idő a szimuláció során felhasznált utak függvényében egy felmondható kamatláb csereügylet esetén



Összefoglalás

Az Amerikai Monte Carlo módszerek népszerű eljárásnak számítanak a hitelértékelési kiigazítás meghatározásakor. Azok felhasználhatóságának köre könnyen kiterjeszthető fi-

gyelembe véve a fedezeti megállapodások speciális pénzáram módosító hatásait.

A 2. fejezetben egy AMC alapú eljárást javaslok a hitelértékelési kiigazítás számítására, amely figyelembe veszi a letét késését. A kiegészített LSMC módszer egyik hátránya a megnövekedett memóriaigény. Magas memória felhasználás könnyen pontatlan becslést eredményezhet, ha a felhasználónak nem áll rendelkezésre kellő memória kapacitás, és ezért a szimulált utak számának csökkentésére kényszerül. Ezért a fejezet második célja, hogy enyhítse ezt a problémát. Egy, az amerikai opciók árazására bevezetett ötletet ültettem át a hitelértékelési kiigazítás számításába, amellyel átstrukturáltam az LSMC eljárást. Így csökkentettem az eljárás memóriaigényét, miközben a futási időben bekövetkező növekedést alacsonyan tartottam.

A margin periódus bevezetése után, korai lehívási opcióval rendelkező és anélküli termékekre is megfogalmaztam az újrastrukturált algoritmust. Numerikus példák azt mutatják, hogy az új algoritmus 30 százalékkal kisebb memória kapacitást igényel.

3.3. A hitelminősítői bejelentések fertőző hatásainak beépítése a hitelértékelési kiigazítás számításába

A hitelminősítő intézmények a pénzügyi piacok fontos szereplői. Az ő feladatuk a befektetők döntéseit befolyásoló információs aszimmetria mérséklése azáltal, hogy az egyes piaci szereplőket hitelminősítési kategóriákba osztják be. Emiatt egy hitelminősítő bejelentésnek friss információt kell hordoznia, ami várhatóan befolyásolja a piaci faktorokat vagy más piaci szereplőket. Ezzel szemben, a hitelminősítő intézmények igyekeznek minimalizálni a bejelentéseik számát annak érdekében, hogy a hitelminősítések volatilitását csökkentsék. E célból, egy adott vállalat hitelminőségét érintő esemény után, gyakran kívárnak a bejelentéssel, hogy megbizonyosodjanak az esemény hatásának tartósságáról.

A csődeseményeket követő fertőző hatások különös relevanciával bírnak. Jorion és Zhang (2009) rámutatnak, hogy egy vállalat csődidepontja körül a túlélő társak CDS feláraiban bekövetkező növekedés szignifikáns. Empirikus elemzések azonban rámutattak, hogy a csődesemények mellett a hitelminősítési változások is fertőző hatásokkal járnak. Norden és Weber (2004) azt találják, hogy Moody's és S&P leminősítések a hitelfelárak szignifikáns változását okozzák a bejelentés előtt és a bejelentés napján is. Micu et al. (2006) azt a konklúziót vonják le, hogy minden típusú hitelesemény (hitelminőség változtatás, le vagy felminősítési felülvizsgálat megkezdése és kilátások változtatása) szignifikáns hatással jár a CDS felárrakra a bejelentés napján, így az releváns információt hordoz. Ami azt illeti, ezek a munkák csak azzal a vállalattal (érintett vállalat) foglalkoznak, amelyre a hitelminősítői bejelentés vonatkozik és figyelmen kívül hagyják annak társait (nem érintett vállalat).

Wengner et al. (2015) az elsők, akik a hitelminősítő intézmények bejelentéseit követő tovagyrúzó hatásokat vizsgálják. 2004 és 2011 közötti S&P bejelentéseket és CDS felárakat vizsgálva azt találják, hogy mind az érintett és a nem érintett vállalatok CDS

felárai egyaránt szignifikánsan változnak a hitelminősítői bejelentések körül. Megfigyelésük szerint egy vállalat leminősítése csökkenti az iparágban tevékenykedő versenytársak CDS felárát, azaz azok hasznot húznak a társukat érintő negatív eseményből. Ezzel szemben, felminősítés esetén a nem érintett vállalatok hitelfelára növekedni fog. Az érintett vállalatok esetében a felár mindig szignifikánsan változik, de a változás mértéke függ az iparágtól.

Ismereteim szerint a hitelminősítői intézmények bejelentéseit követő piaci fertőzés partnerkockázatra gyakorolt hatását eddig nem vizsgálták a szakirodalomban. A CVA minél pontosabb számszerűsítése egy rendkívül fontos feladat. Releváns kockázati faktorok figyelmen kívül hagyása veszélyezteti a bankok teljesítőképességét, hiszen nem várt veszteségekhez vezethet. Továbbá ilyen faktorok rendszer szinten fedezés nélkül maradhatnak, kihatva a teljes bankrendszerre. A 3. fejezetben megvizsgálom, hogy a hitelbesorolások közötti átmenetekkor fellépő fertőző hatások valóban befolyásolják-e a hitelértékelési igazítás értékét. Ehhez egy modellt építék, amelyhez az alábbi formalizálást követem.

Tételezzünk fel N számú vállalatot és K számú különböző hitelminősítési kategóriát. A kezdeti hitelminősítéseket az $S_0 = [\eta_1^0, \eta_2^0, \dots, \eta_N^0]$ vektor tartalmazza, ahol $\eta_i^0 \in \{1, 2, \dots, K\}$ tetszőleges $i = 1, \dots, N$ esetén. Így az i . vállalat kezdeti hitelbesorolására, mint az S_0 vektor elemére hivatkozhatunk, azaz $S_0[i] = \eta_i^0$ ahol $i = 1, \dots, N$.

Jelölje $\lambda_j^i(t)$ az i . vállalat j . hitelminősítésbe való átmenetéhez rendelt, a korábbi hitelminősítés változásokra vett feltételes intenzitás folyamatát a t . időpontban:

$$\lambda_j^i(t) = \lambda_j^i(t|T_n, S_n, G_n^i, R_n^i), \quad (7)$$

ahol $T_n = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\}$ jelöli az összes korábbi hitelminősítés változás időpontjainak halmazát, így $t_n < t$. Az $\mathcal{S}_n = \{S_0, S_1, \dots, S_n\}$ az egyes vállalatok hitelminősítési múltjainak a halmaza, ahol is $S_k = [\eta_1^k, \eta_2^k, \dots, \eta_N^k]$ a k . átmenet után megfigyelt hitelminősítések. Végül $G_n^i = \{g_1^i, g_2^i, \dots, g_{\hat{n}}^i\} \subseteq T_n$ tartalmazza az összes időpontot, amikor i hitelbesorolása változott és $r_u^i \in [r_1^i, r_2^i, \dots, r_{\hat{n}}^i] = R_n^i$ jelenti az új hitelminősítési kategóriát ahová i került a g_u^i időpontban.

A bevezetésre kerülő modellben a $\lambda_j^i(t|T_n, S_n, G_n^i, R_n^i)$ feltételes intenzitás folyamatot az alábbi formában specifikálom:

$$\begin{aligned} \lambda_j^i(t|T_n, \mathcal{S}_n, G_n^i, R_n^i) = & \\ & a_j^i(t) \left(1 + \sum_{h=1}^n \left(d_1^{\text{le}}(1_{(S_h > S_{h-1})} \mathbf{1}) + d_1^{\text{fel}}(1_{(S_h < S_{h-1})} \mathbf{1}) \right. \right. \\ & + d_2^{\text{le}}(1_{(S_h > S_{h-1})}[i]) + d_2^{\text{fel}}(1_{(S_h < S_{h-1})}[i]) \\ & \left. \left. + d_3 \sum_{v=1}^N 1_{((S_h[v]=K) \cap (S_{h-1}[v] \neq K))} \right) e^{-p(t-t_h)} \right), \quad (8) \end{aligned}$$

ahol $a_j^i(t)$ a feltétel nélküli intenzitás folyamat, $\mathbf{1} = [1, 1, \dots, 1] \in \mathbb{R}^{N \times 1}$ az összegző vektor, és $1_{(\cdot)}$ jelöli az indikátor függvényt, amit vektorok esetében annak elemein értelmezek, azaz annak értéke is vektor.

Az $(S_h > S_{h-1})$ és az $(S_h < S_{h-1})$ összehasonlításokat így a vektorok elemein végzem el.³ A hitelminősítések közötti átmenetek megbontva, le- $(1_{(S_h > S_{h-1})})$ és felminősítések $(1_{(S_h < S_{h-1})})$ formájában kerülnek felhasználásra. Az $\mathbf{1}$ vektort használom, hogy összegezzem ezeket a vektorokat az összes vállalatra, vagy éppen a korábban bevezetett $[i]$ jelöléssel hivatkozok a vektor i . elemére.

Így már láthatjuk, hogy a feltételes intenzitás folyamat minden időpontban a feltétel nélküli intenzitás folyamat és egy speciális tényező szorzataként áll elő. A tényező függ a múltbeli hitelminősítés változásoktól és a modell paramétereitől, amelyeket a $\{d_1^{\text{le}}, d_1^{\text{fel}}, d_2^{\text{le}}, d_2^{\text{fel}}, d_3, p\}$ halmazzal adhatjuk meg. Értelmszerűen d_1^{le} és d_1^{fel} tetszőleges vállalat hitelbesorolásának változására vonatkozó érzékenységet, míg d_2^{le} és d_2^{fel} a vizsgált vállalat saját hitelminősítésének változására vonatkozó érzékenységet mutatják. Hasonló szerepet kap d_3 , azonban ez kifejezetten a csődesemények hatását számszerűsíti. Végül p a hatások lecsengését szabályozó érték.

Ez a modellkeret lehetővé teszi, hogy Micu et al. (2006), Finnerty et al. (2013), Wengner et al. (2015) és Jorion és Zhang (2009) empirikus megfigyeléseit beillesszük a modellbe. Megfelelő paraméter beállításokkal a 8. egyenletben szereplő kiigazító tényező csökkenti az intenzitás folyamatát az $i' \neq i$ vállalatoknak i leminősítése után, míg növeli azt az i . esetben. Egy csődesemény minden vállalat intenzitás folyamatát növeli. Hogy az újabb események nagyobb súlyt kapjanak a korábbiakkal szemben, az intenzitás folyamatban bekövetkező változások hatása exponenciális ütemben csökken az idő múlásával.

Az intenzitás folyamatok a megfigyelt hitelminősítés változásokon alapuló átskálázása örököli a körkörös csődesemények problémáját. Az itteni probléma abból ered, hogy egy vállalat hitelbesorolását meghatározó intenzitás folyamatok szimulálásához figyelembe kell venni az összes hitelbesorolás változást. Ezeket azonban az egyes vállalatok intenzitás folyamatai határozzák meg, amik függenek az első vállalat hitelbesorolás változásától. A fentebb megadott általános modellkeretben nem adható analitikus megoldás a csőd időpontokra, ezért egy alternatív módszert kell keresni annak érdekében, hogy a modell a partnerkockázat árazására használható legyen.

A Yu (2007) által a körkörös csődesemények problémájára fejlesztett algoritmus közvetlenül nem alkalmazható a fertőző hitelbesorolás változások modelljére, hiszen Yu (2007) nem foglalkozott hitelminősítési átmenetekkel. Az általa adott eljárásban a vállalatok két állapotot vehetnek fel: fizetőképes vagy már nem tud teljesíteni. Jelen probléma azonban a hitelminősítési kategóriák miatt sokkal granulárisabb. A hitelbesorolások önmagukban is hatással vannak az intenzitás folyamatra, így egy azokat figyelembe vevő eljárásra van szükség, amihez Yu (2007) módszerének általánosításával jutok el. A dolgozatban a kiterjesztést lépésről lépésre építem fel és egy algoritmus formájában adom meg. Az ilyen formában meghatározott modellkerettel és a kiegészített algoritmussal egy eszköz áll rendelkezésre ahhoz, hogy megvizsgáljuk a hitelbesorolás változások fertőző hatásait az egyes

³ Ez nem okoz problémát hiszen a hitelkategóriákat numerikus skálán definiáltam a fejezet elején: $\eta_i^0 \in \{1, 2, \dots, K\}$ tetszőleges $i = 1, \dots, N$.

1. táblázat. Az egyoldalú hitelértékelési kiigazítás értéke különböző feltételek mellett

$p = 0.4$				
	Aa	Baa	B	Ca&C
Fertőzés nélkül	0,311	0,386	0,610	1,088
Fertőzéssel - 1. Csoport	0,299	0,371	0,585	1,068
Fertőzéssel - 2. Csoport	0,317	0,390	0,609	1,089
Fertőzéssel - 3. Csoport	0,335	0,410	0,631	1,106

$p = 0.7$				
	Aa	Baa	B	Ca&C
Fertőzés nélkül	0,311	0,386	0,610	1,088
Fertőzéssel - 1. Csoport	0,303	0,376	0,595	1,077
Fertőzéssel - 2. Csoport	0,313	0,390	0,610	1,088
Fertőzéssel - 3. Csoport	0,324	0,401	0,625	1,099

$p = 1$				
	Aa	Baa	B	Ca&C
Fertőzés nélkül	0,311	0,386	0,610	1,088
Fertőzéssel - 1. Csoport	0,306	0,380	0,600	1,080
Fertőzéssel - 2. Csoport	0,313	0,388	0,611	1,088
Fertőzéssel - 3. Csoport	0,322	0,396	0,622	1,096

Az iparágon belüli hitelminősítés eloszlást három különböző csoporton keresztül szemléltetem. 1. Csoport: Aa; Aa; A; Baa, 2. Csoport: Aa; Baa; B; Ca&C, 3. Csoport: Ca&C; Caa; Caa; B. Az oszlopok különböző scenáriókat jelentenek, ahol is a vizsgált vállalat az oszlopok szerinti minősítéssel (Aa, Baa, B, Ca&C) rendelkezik kiinduláskor.

vállalatok csődeseményeire.

A numerikus példák azt mutatják, hogy a hitelbesorolásban bekövetkező változások hatása nem minden esetben elhanyagolható. A hatás nagysága függ a vállalat kezdeti hitelminősítésétől és az iparág összetételétől. Az 1. táblázat alapján láthatjuk, hogy az egyoldalú hitelértékelési kiigazítás értéke jelentősen különbözik, ha az iparágban meglévő vállalatok hitelminősítése koncentrálnak, és az exponenciális lecsengés paramétere alacsony. Heterogénebb iparágakban a fertőzés hatása kicsi.

A kétoldalú hitelértékelési kiigazítás felnagyítja a fertőzés hatását, amit annak természetével magyarázhatunk. A kétoldalú hitelértékelési kiigazítás ugyanis kombinálja a javuló és romló túlélési valószínűségeket, amelyek együtt már jelentős eltéréseket okozhatnak. A 2. táblázat alapján láthatjuk, hogy a kétoldalú CVA jelentősen változik, még akkor is ha az exponenciális csökkenés paramétere magas. Ez a megállapítás fedezet mellett és anélkül is igaz. Mégsem vonhatjuk le azt a következtetést, hogy a hitelbesorolás változásának fertőző hatása minden esetben ilyen mértékű. Ha a partnereket olyan csoportokból választjuk, ahol a hitelminősítések eloszlása egyenletesebb, az esetek többségében nem

2. táblázat. Kétoldalú hitelértékelési kiigazítás - 1. Csoport vs 3. Csoport

	Fertőzés nélkül			Fertőzéssel			
		$p = 0.4$	$p = 0.7$	$p = 1$	$p = 0.4(\%)$	$p = 0.7(\%)$	$p = 1(\%)$
Fedezet nélkül							
1. Csoport - Aa vs 3. Csoport - Baa	-0,048	-0,084	-0,073	-0,063	177,1%	152,2%	133,0%
1. Csoport - B vs 3. Csoport - Baa	0,337	0,287	0,304	0,314	85,2%	90,3%	93,3%
1. Csoport - Ca&C vs 3. Csoport - Baa	0,897	0,861	0,873	0,881	96,0%	97,3%	98,2%
Fedezettel							
1. Csoport - Aa vs 3. Csoport - Baa	-0,010	-0,014	-0,013	-0,011	144,5%	126,7%	113,7%
1. Csoport - B vs 3. Csoport - Baa	0,044	0,038	0,040	0,042	86,4%	90,6%	94,6%
1. Csoport - Ca&C vs 3. Csoport - Baa	0,142	0,136	0,138	0,140	95,9%	97,1%	98,4%

Megjegyzés: A bemutatott kétoldalú hitelértékelési kiigazítás értékei a sorszerinti első vállalat szemszögéből vannak számolva.

látunk szignifikáns változást.

Összefoglalás

A 3. fejezetben a hitelminősítői bejelentések fertőző hatásainak a hitelértékelési kiigazításra gyakorolt hatásaival foglalkozom. A fejezet elején ismertetem az empirikus szakirodalom eredményeit, és ezáltal kiemelem, hogy miért fontos ezen hatások figyelembe vétele a hitelértékelési kiigazítás számításakor.

Elsőként bevezettem a fertőző csődesemények egy általánosítását, amely az intenzitás folyamat skálázásán keresztül magába foglalja a le- és felminősítések hatását az érintett vállalatra és annak társaira. A modell a fertőző csődesemények általánosításaként is kezelhető. Mivel a modell örökölte a körkörös csődesemények problémáját, ezért szükség volt egy eljárásra, amellyel csődeseményeket szimulálhattam. Erre a problémára a Yu (2007) által fejlesztett teljes hazard építési módszer egy általánosítását adtam válaszul. Végül numerikus példákat használva elemeztem a hitelminősítési kategóriában bekövetkező változások számszerűsített hatását az egy- és kétoldalú hitelértékelési kiigazításra.

Eredményeim azt mutatják, hogy a hitelbesorolásban bekövetkező változások hatása nem minden esetben elhanyagolható. Olyan iparágakban, ahol a hitelbesorolások jobban koncentrálnak, a csődvalószínűségek jelentősen változhatnak. Ezek kihatnak az egyoldalú hitelértékelési kiigazítás értékére és vagy növelik, vagy csökkentik azt. Amennyiben azonban a hitelminősítői bejelentések hatásainak időbeli perzisztenciáját csökkentjük, akkor az egyoldalú hitelértékelési kiigazításban látott eltérések is eltűnnek. Valamelyest másként reagál a kétoldalú hitelértékelési kiigazítás, amely aggregálja a partnerek csődvalószínűségében bekövetkező változásokat. Emiatt ez akár kevésbé tartós hatások mellett is jelentősen változhat a fertőzés bevezetésével. Ez a megfigyelés fedezet mellett is igaz. Más esetekben, ahol az iparág összetétele a hitelminősítői kategóriák tekintetében egyenletesebb, a hitelbesorolásból bekövetkező fertőző hatások sokkal gyengébbek. Így ekkor nem figyeltem meg jelentős változást a hitelértékelési kiigazítás értékében.

3.4. A hitelértékelési kiigazítás új tőkeszabályozása mögötti modellkeret levezetése és a szabályozói formula elemzése

A hitelértékelési kiigazítás szakirodalmában az egyik legtöbbet idézett mondat a Bázeli Bankfelügyeleti Bizottságtól származik, és magyar fordításban a következőképpen hangzik: „A globális pénzügyi válság alatt a partnerkockázathoz kapcsolódó veszteségek közel kétharmada a hitelértékelési kiigazítás értékének megváltozásából adódott, és csupán azok egyharmada volt tényleges csődeseményeknek betudható.”⁴

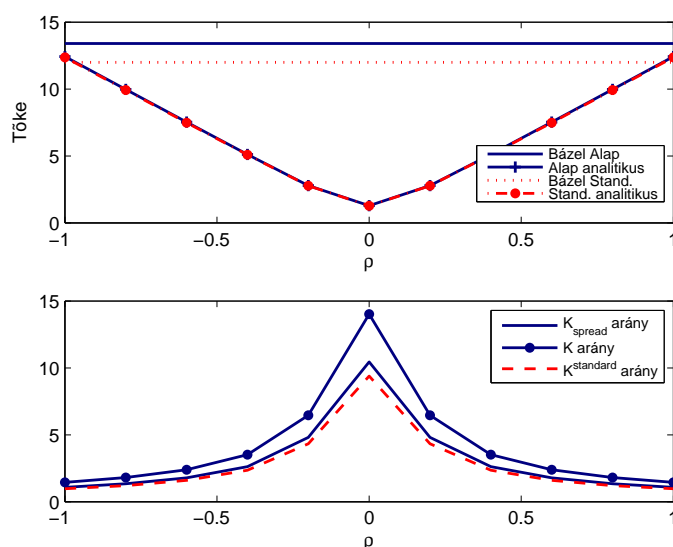
Ezt az adatot a CVA változásából adódó veszteségek elleni szabályozói tőkeszükséglet bevezetésének indoklására használták a Bazel 3 szabályozói keretrendszer publikálásakor. A CVA tőkeképzés mára már általánosan elfogadott eljárássá nőtte ki magát, azonban a szabályozás egy reformon megy keresztül. A Bázeli Bankfelügyeleti Bizottság 2015 júliusában kiadott egy tervezetet a jövőbeli CVA tőkeképzés keretéről, amit egy iparági felmérés és számos további javaslat követett 2017 decemberéig, a keret véglegesítéséig. Az új javaslatok alapján két módszer áll a bankok rendelkezésére: az érzékenységi alapú (SA) és az alap (Basic) CVA. A 4. fejezetben az alap CVA módszert és annak fejlődését elemzem.

A fejezet első részében ismertetem az alap CVA módszer legfontosabb fogalmait, és magát a szabályozói formulát. Ebben a részben vizsgálom meg a hitelfelár és a kitettség komponensekre számolt tőketartalékot. Ezután definiálok egy speciális portfóliót, amelyben a partnerekhez rendelt hitelértékelési kiigazítások és az azokhoz kötött fedezeti ügyletek szerepelnek. A portfólió alapján levezetem annak tőkeszükségletét, amely a portfólió Expected Shortfall alapú kockázati mértékeként áll elő. Ezzel megadom a portfólió valódi tőkeszükségletét, amelyet párhuzamba tudok állítani a szabályozói tőkeszükséglettel. A levezetés során rámutatok, hogy melyek azok a feltételek, amelyeket a szabályozók felhasználtak, hogy a valódi tőkeszükségletet egy szabályozói alakra transzformálják.

A valódi tőkeszükséglet meghatározása után, annak elemzésével foglalkozom. Numerikus példákon hasonlítom össze a szabályozói tőkeszükségletet a modell által adott értékkel. Elsőként a korreláció hatását vizsgálom, amely különös relevanciával bír, hiszen a szabályozói formulában annak értéke rögzített. A numerikus számításokat mind az eredeti javaslatban megtalálható, mind pedig az iparági felmérésben javasolt kockázati súlyokon elvégeztem. Rámutatok, hogy az eredeti javaslat nehezen indokolható szigorítást vezetett be, amely az iparági felmérésekben és a szabályozás végleges alakjában valamelyest enyhítésre kerültek. Az egyik elvégzett számítás az 5. ábrán mutatom be.

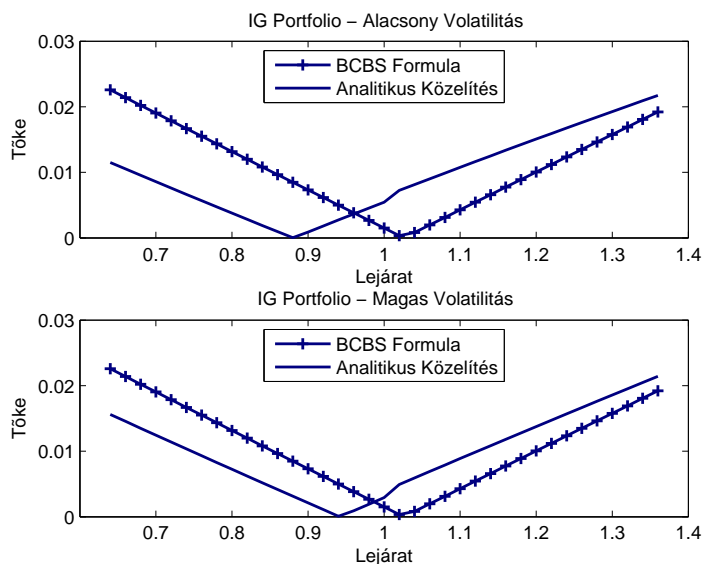
⁴ „During the global financial crisis, however, roughly two-thirds of losses attributed to counterparty credit risk were due to CVA losses and only about one-third were due to actual defaults.” <http://www.bis.org/press/p110601.htm>

5. ábra. A korreláció hatása egy átlagos portfólió esetén

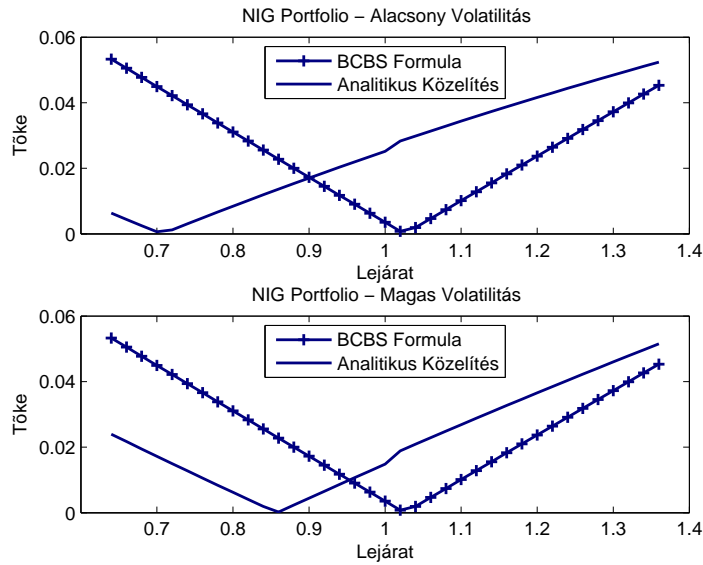


Következő lépésként a fedezés kérdését vizsgálom. Mint az ismert, a szabályozói CVA nincs összehangolva a számviteli hitelértékelési kiigazítással. Ez valódi P&L hatást generálhat, mint ahogy az megtörtént a Deutsche Bankkal, amikor is 94 millió euró veszteséget szenvedtek el amiatt, hogy a tőkeszükséglet csökkentése céljából fedezték portfóliójukat (Carver, 2013). Az új módszerrel szemben támasztott egyik elvárás, hogy javítsa a számviteli és a szabályozói CVA kapcsolatát. Numerikus példám második részében megmutattam, hogy a szabályozói és a számviteli hitelértékelési kiigazítás teljes összeegyeztetése továbbra sem történt meg, így a két nézőpont szerint tökéletesen fedezett portfóliók is eltérnek egymástól. Ennek egy melléktermékeként adódott, hogy a javasolt szabályozói formula bizonyos intervallumokon alulbecsüli a tényleges tőkeszükségletet. Ezeket a megfigyeléseket a 6. és a 7. ábrákon szemléltetem.

6. ábra. IG Portfólió



7. ábra. NIG Portfólió



Összefoglalás

A dolgozat 4. fejezetében a szabályozói CVA reformját elemeztem. A fejezetben két fő eredményt értem el. Elsőként levezettem az új alap CVA szabályozói módszer mögött meghúzódó analitikus modellkeretet, miközben megadtam a modellhez kapcsoló, valamint a szabályozók által használt standardizálási feltételeket is. A második eredmény az új szabályozói CVA hatásának elemzése. Ugyan a tényleges hatás elemzését a bankok aktuális portfólióján kell elvégezni, mégis célszerű mindig elméleti szempontból is megvizsgálni az új javaslatokat. Ezért numerikus példákon a korreláció hatását és a fedezés problémáját elemeztem. Végigkövetve a szabályozás fejlődését rámutattam, hogy a javaslatok egy része nehezen indokolható konzervativitást vezetett be, miközben a módosított és a végleges javaslatban már bizonyos szintű enyhítés látható. Továbbá kiemelttem, hogy a fedezet kérdése nincs megfelelően kezelve, ami a számviteli és a szabályozói CVA fedezésének kettősségét eredményezi.

4. Hivatkozások

Hivatkozások

- Alfonsi, A. (2005). On the discretization schemes for the CIR (and Bessel squared) processes. *Monte Carlo Methods and Applications*, 11(4):355–384. doi:10.1515/156939605777438569.
- Andersen, L. B., Pykhtin, M., és Sokol, A. (2017a). Does initial margin eliminate counterparty risk? *Risk*, 30(5):74–79.
- Andersen, L. B., Pykhtin, M., és Sokol, A. (2017b). Rethinking the margin period of risk. *Journal of Credit Risk*, 13(1):1–45. doi:10.21314/JCR.2016.218.
- Bao, Q., Chen, S., és Li, S. (2012). Unilateral CVA for CDS in a contagion model with stochastic pre-intensity and interest. *Economic Modelling*, 29(2):471–477. doi:10.1016/j.econmod.2011.12.002.
- BCBS, (2011). Basel III: A global regulatory framework for more resilient banks and banking systems. Elérhető: <https://www.bis.org/publ/bcbs189.htm>.
- BCBS, (2015). Review of the credit valuation adjustment risk framework. Elérhető: <http://www.bis.org/bcbs/publ/d325.html>.
- BCBS, (2016a). Frequently asked questions on the CVA QIS exercise. Elérhető: https://www.bis.org/bcbs/qis/faq_CVA_QIS.pdf.
- BCBS, (2016b). Minimum capital requirements for market risk. Elérhető: <http://www.bis.org/bcbs/publ/d352.pdf>.
- BCBS, (2016c). Reducing variation in credit risk-weighted assets – constraints on the use of internal model approaches. Elérhető: <http://www.bis.org/bcbs/publ/d362.htm>.
- BCBS, (2017). Basel III: Finalising post-crisis reforms. Elérhető: <https://www.bis.org/bcbs/publ/d424.pdf>.
- Béli, M. és Várad, K. (2017). Alapletét meghatározásának lehetséges módszertana. *Hitelintézet Szemle*, 16(2):117–145.
- Berns, C. (2016). Simultaneous hedging of regulatory and accounting CVA. In *Glau K., Grbac Z., Scherer M., Zagst R. (szerk.) Innovations in derivatives markets*, 165, 117–132. Springer. doi:10.1007/978-3-319-33446-2_6.
- Biedermann, Z. és Orosz, Á. (2015). Eltérő irányú pénzügyi szabályozások a válság után? *Hitelintézet szemle*, 14(1):30–56.

- Bielecki, T. R., Cialenco, I., és Iyigunler, I. (2013). Collateralized CVA valuation with rating triggers and credit migrations. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 16(02):1350009. doi:10.1142/S021902491350009X.
- Bielecki, T. R. és Rutkowski, M. (2013). *Credit risk: modeling, valuation and hedging*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-662-04821-4.
- Black, F. és Cox, J. C. (1976). Valuing corporate securities: Some effects of bond indenture provisions. *The Journal of Finance*, 31(2):351–367. doi:10.1111/j.1540-6261.1976.tb01891.x.
- Black, F. és Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, 81(3):637–654. doi:10.1086/260062.
- Brigo, D. és Alfonsi, A. (2005). Credit default swap calibration and derivatives pricing with the SSRD stochastic intensity model. *Finance and Stochastics*, 9(1):29–42. doi:10.1007/s00780-004-0131-x.
- Brigo, D., Buescu, C., és Morini, M. (2012). Counterparty risk pricing: Impact of closeout and first-to-default times. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 15(06):1250039. doi:10.1142/S0219024912500392.
- Brigo, D. és Capponi, A. (2008). Bilateral counterparty risk valuation with stochastic dynamical models and application to credit default swaps. Elérhető: arXiv 0812.3705
- Brigo, D., Capponi, A., és Pallavicini, A. (2014). Arbitrage-free bilateral counterparty risk valuation under collateralization and application to credit default swaps. *Mathematical Finance*, 24(1):125–146. doi:10.1111/j.1467-9965.2012.00520.x.
- Brigo, D., Capponi, A., Pallavicini, A., és Papatheodorou, V. (2011). Collateral margining in arbitrage-free counterparty valuation adjustment including re-hypotecation and netting. *Elérhető: SSRN 1744101*.
- Brigo, D., Capponi, A., Pallavicini, A., és Papatheodorou, V. (2013a). Pricing counterparty risk including collateralization, netting rules, re-hypotecation and wrong-way risk. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 16(02):1350007. doi:10.1142/S0219024913500076.
- Brigo, D. és Chourdakis, K. (2009). Counterparty risk for credit default swaps: Impact of spread volatility and default correlation. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 12(07):1007–1026. doi:10.1142/S0219024909005567.
- Brigo, D. és Masetti, M. (2005). Risk neutral pricing of counterparty risk. In Pykhtin, M., szerk., *Counterparty credit risk modelling: risk management, pricing, regulation*. Risk Books, London.

- Brigo, D. és Mercurio, F. (2007). *Interest rate models-theory and practice: with smile, inflation and credit*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-540-34604-3.
- Brigo, D. és Morini, M. (2006). Structural credit calibration. *Risk*, 19(4):78.
- Brigo, D. és Morini, M. (2011). Close-out convention tensions. *Risk*, 24(12):74.
- Brigo, D., Morini, M., és Pallavicini, A. (2013). *Counterparty credit risk, collateral and funding: with pricing cases for all asset classes*. John Wiley & Sons. doi:10.1002/9781118818589.
- Brigo, D. és Pallavicini, A. (2007). Counterparty risk pricing under correlation between default and interest rates. In *Miller, J., Edelman, D., és Appleby, J. (Szerk): Numerical methods for finance*, 79–98, Chapman and Hall/CRC. doi:10.1201/9781584889267.ch4.
- Burgard, C. és Kjaer, M. (2010). PDE representation of options with bilateral counterparty risk and funding cost. Műhelytanulmány.
- Burgard, C. és Kjaer, M. (2011). In the balance. *Risk*, 24(11):72–75.
- Canabarro, E. és Duffie, D. (2004). Measuring and marking counterparty risk. In *ALM of financial institutions, institutional investor books*. Euromoney Institutional Investor.
- Carriere, J. F. (1996). Valuation of the early-exercise price for options using simulations and nonparametric regression. *Insurance: Mathematics and Economics*, 19(1):19–30. doi:10.1016/S0167-6687(96)00004-2.
- Carver, L. (2011). The DVA debate. *Risk*, 24(11):71–71.
- Carver, L. (2013). Capital or P&L. *Risk*, 26(11):24–26.
- Castagna, A. (2012). The impossibility of DVA replication. *Risk*, 25(11):66–70.
- Cesari, G., Aquilina, J., Charpillon, N., Filipovic, Z., Lee, G., és Manda, I. (2009). *Modelling, pricing, and hedging counterparty credit exposure: A technical guide*. Springer Science & Business Media. doi:10.1007/978-3-642-04454-0.
- Chan, R. H., Wong, C.-Y., és Yeung, K.-M. (2006). Pricing multi-asset American-style options by memory reduction Monte Carlo methods. *Applied Mathematics and Computation*, 179(2):535–544. 10.1016/j.amc.2005.11.108.
- Clément, E., Lamberton, D., és Protter, P. (2002). An analysis of a least squares regression method for American option pricing. *Finance and Stochastics*, 6(4):449–471. doi:10.1007/s007800200071.
- Collin-Dufresne, P. és Solnik, B. (2001). On the term structure of default premia in the swap and LIBOR markets. *The Journal of Finance*, 56(3):1095–1115.

- Cont, R. (2018). Margin requirements for non-cleared derivatives. *ISDA*.
- Cox, J. C., Ingersoll Jr, J. E., és Ross, S. A. (1985). A theory of the term structure of interest rates. *Econometrica*, 53(2): 385–407. doi:10.2307/1911242.
- Davis, M. és Lo, V. (2001). Infectious defaults. *Quantitative Finance*, 1(4):382–387. doi:10.1080/713665832.
- Delianedis, G. és Geske, R. (2001). The components of corporate credit spreads: Default, recovery, tax, jumps, liquidity, and market factors. Műhelytanulmány, Anderson Graduate School of Management, UCLA.
- Duffie, D. és Huang, M. (1996). Swap rates and credit quality. *Journal of Finance*, 51(3):921–949. doi:10.1111/j.1540-6261.1996.tb02712.x.
- Duffie, D. és Singleton, K. J. (1997). An econometric model of the term structure of interest-rate swap yields. *The Journal of Finance*, 52(4):1287–1321. doi:10.1111/j.1540-6261.1997.tb01111.x.
- Duffie, D. és Singleton, K. J. (1999). Modeling term structures of defaultable bonds. *The Review of Financial Studies*, 12(4):687–720. doi:10.1093/rfs/12.4.687.
- Duffie, D. és Zhu, H. (2011). Does a central clearing counterparty reduce counterparty risk? *The Review of Asset Pricing Studies*, 1(1):74–95. doi:10.1093/rapstu/rar001.
- Durand, C. és Rutkowski, M. (2013). CVA under alternative settlement conventions and with systemic risk. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 16(07):1350039. doi:10.1142/S0219024913500398.
- Feng, Q. és Oosterlee, C. W. (2017). Computing credit valuation adjustment for Bermudan options with wrong way risk. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 20(08):1750056. doi:10.1142/S021902491750056X.
- Finnerty, J. D., Miller, C. D., és Chen, R.-R. (2013). The impact of credit rating announcements on credit default swap spreads. *Journal of Banking & Finance*, 37(6):2011–2030. doi:10.1016/j.jbankfin.2013.01.028.
- Geske, R. (1977). The valuation of corporate liabilities as compound options. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 12(4):541–552. doi:10.2307/2330900.
- Geske, R. (1979). The valuation of compound options. *Journal of Financial Economics*, 7(1):63–81. doi:10.1016/0304-405X(79)90022-9.
- Ghamami, S. és Goldberg, L. R. (2014). Stochastic intensity models of wrong way risk: Wrong way CVA need not exceed independent CVA. *The Journal of Derivatives*, 21(3):24–35. doi:10.3905/jod.2014.21.3.024.

- Gibson, M. S. (2005). Measuring counterparty credit exposure to a margined counterparty. FEDs Working Paper No. 2005-50. Elérhető: SSRN 873867.
- Giles, M. B. (2008). Multilevel Monte Carlo path simulation. *Operations Research*, 56(3):607–617. doi:10.1287/opre.1070.0496.
- Giles, M. B. (2015). Multilevel Monte Carlo methods. *Acta Numerica*, 24:259–328. doi:10.1017/S096249291500001X.
- Glasserman, P. (2003). *Monte Carlo methods in financial engineering*, 53. Springer-Verlag New York. doi:10.1007/978-0-387-21617-1.
- Glasserman, P. és Wu, Q. (2018). Persistence and procyclicality in margin requirements. *Management Science*, 64(12) 5704–5724. doi:10.1287/mnsc.2017.2915.
- Glasserman, P. és Yang, L. (2016). Bounding wrong-way risk in CVA calculation. *Mathematical Finance*, 28(1):268–305. doi:10.1111/mafi.12141.
- Gorton, G. és Metrick, A. (2012). Securitized banking and the run on repo. *Journal of Financial Economics*, 104(3):425–451. doi:10.3386/w15223.
- Green, A. (2015). *XVA: credit, funding and capital valuation adjustments*. John Wiley & Sons. doi:10.1002/9781119161233.
- Gregory, J. (2009). Being two-faced over counterparty credit risk. *Risk*, 22(2):86–90.
- Gregory, J. (2010). *Counterparty credit risk: the new challenge for global financial markets*. John Wiley & Sons.
- Gregory, J. (2014). *Central counterparties: mandatory central clearing and initial margin requirements for OTC derivatives*. John Wiley & Sons.
- Gregory, J. (2015). *The XVA challenge: counterparty credit risk, funding, collateral and capital*. John Wiley & Sons.
- Gregory, J. és German, I. (2013). Closing out DVA. *Risk*, 26(1):96–100.
- Harvan, D. és Koncz, G. (2010). Hitelbedőlések együttes modellezése: számít-e a korreláció. *Hitelintézeti Szemle*, 1:1–23.
- Heinrich, S. (2001). Multilevel Monte Carlo methods. In Margenov S., Waśniewski J., Yalamov P. (szerk.) *Large-scale scientific computing*, 58–67. Springer. doi:10.1007/3-540-45346-6_5.
- Hite, G. és Warga, A. (1997). The effect of bond-rating changes on bond price performance. *Financial Analysts Journal*, 53(3):35–51. doi:10.2469/faj.v53.n3.2083.

- Hofer, M. és Karlsson, P. (2017). Efficient calibration for CVA using multi-level Monte Carlo. Elérhető: SSRN 2776932
- Hu, W. és Zhou, J. (2017). Backward simulation methods for pricing American options under the CIR process. *Quantitative Finance*, 17(11):1–13. doi:10.1080/14697688.2017.1307513.
- Hull, J. et al. (2010). OTC derivatives and central clearing: can all transactions be cleared? *Financial Stability Review*, 14:71–78.
- Hull, J., Predescu, M., és White, A. (2004). The relationship between credit default swap spreads, bond yields, and credit rating announcements. *Journal of Banking & Finance*, 28(11):2789–2811. doi:10.1016/j.jbankfin.2004.06.010.
- Hull, J. és White, A. (1995). The impact of default risk on the prices of options and other derivative securities. *Journal of Banking & Finance*, 19(2):299–322. doi:10.1016/0378-4266(94)00050-D.
- Hull, J. és White, A. (2012). CVA and wrong-way risk. *Financial Analysts Journal*, 68(5):58–69. doi:10.2307/41713536.
- Hull, J. C. és White, A. (2000). Valuing credit default swaps ii: modeling default correlations. *The Journal of Derivatives*, 8(3):12–21. doi:10.3905/jod.2001.319153.
- Jain, S. és Oosterlee, C. W. (2015). The stochastic grid bundling method: Efficient pricing of Bermudan options and their Greeks. *Applied Mathematics and Computation*, 269:412–431. doi:10.1016/j.amc.2015.07.085.
- Jarrow, R. A., Lando, D., és Turnbull, S. M. (1997). A markov model for the term structure of credit risk spreads. *The Review of Financial Studies*, 10(2):481–523. doi:10.1142/9789812819222_0018.
- Jarrow, R. A. és Turnbull, S. M. (1995). Pricing derivatives on financial securities subject to credit risk. *The Journal of Finance*, 50(1):53–85. doi:10.2307/2329239.
- Jarrow, R. A. és Yu, F. (2001). Counterparty risk and the pricing of defaultable securities. *The Journal of Finance*, 56(5):1765–1799. doi:10.1111/0022-1082.00389.
- Jorion, P. és Zhang, G. (2009). Credit contagion from counterparty risk. *The Journal of Finance*, 64(5):2053–2087.
- Joshi, M. és Kwon, O. K. (2016). Least squares Monte Carlo credit value adjustment with small and unidirectional bias. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 19(08):1650048. doi:10.1142/S0219024916500485.

- Kan, K. H. és Reesor, R. M. (2012). Bias reduction for pricing American options by least-squares Monte Carlo. *Applied Mathematical Finance*, 19(3):195–217. doi:10.1080/1350486X.2011.608566.
- Kan, K. H. F., Frank, G., Mozgin, V., és Reesor, M. (2010). Optimized least-squares Monte Carlo for measuring counterparty credit exposure of American-style options. *Mathematics-in-Industry Case Studies Journal*, 2:64–85.
- Karlsson, P., Jain, S., és Oosterlee, C. W. (2016). Counterparty credit exposures for interest rate derivatives using the stochastic grid bundling method. *Applied Mathematical Finance*, 23(3):175–196. doi:10.1080/1350486X.2016.1226144.
- Kim, I. J., Ramaswamy, K., Sundaresan, S., et al. (1988). *The valuation of corporate fixed income securities*. Salomon Bros. Center for the Study of Financial Institutions, Graduate School of Business Administration, New York University.
- Ladoniczki, S. K. és Váradi, K. (2018). Elszámolóházak alapbiztosítéki követelményeinek számítási módszertana. *Közgazdasági Szemle*, 65(7/8):780–856.
- Lando, D. (1998). On Cox processes and credit risky securities. *Review of Derivatives Research*, 2(2-3):99–120. doi:10.1007/BF01531332.
- Lando, D. (2000). Some elements of rating-based credit risk modeling. In *Advanced fixed-income valuation tools*, 193–215, IEEE Computer Society Press.
- Lando, D. (2009). *Credit risk modeling: theory and applications*. Princeton University Press.
- Leung, K. S. és Kwok, Y. K. (2009). Counterparty risk for credit default swaps: Markov chain interacting intensities model with stochastic intensity. *Asia-Pacific Financial Markets*, 16(3):169–181. doi:10.1007/s10690-009-9091-7.
- Leung, S. Y. és Kwok, Y. K. (2005). Credit default swap valuation with counterparty risk. *The Kyoto Economic Review*, 74(1):25–45. doi:10.11179/ker.74.25.
- Longstaff, F. A. és Schwartz, E. S. (1995). A simple approach to valuing risky fixed and floating rate debt. *The Journal of Finance*, 50(3):789–819. 10.1111/j.1540-6261.1995.tb04037.x.
- Longstaff, F. A. és Schwartz, E. S. (2001). Valuing American options by simulation: a simple least-squares approach. *The Review of Financial Studies*, 14(1):113–147.
- Memartoluie, A., Saunders, D., és Wirjanto, T. (2017). Wrong-way risk bounds in counterparty credit risk management. *Journal of Risk Management in Financial Institutions*, 10(2):150–163.

- Merton, R. C. (1973). Theory of rational option pricing. *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 4(1):141–183. doi:10.2307/3003143.
- Merton, R. C. (1974). On the pricing of corporate debt: The risk structure of interest rates. *The Journal of Finance*, 29(2):449–470. doi:10.2307/2978814.
- Micu, M., Remolona, E., Wooldridge, P., et al. (2006). The price impact of rating announcements: evidence from the credit default swap market. *BIS Quarterly Review*, 2(June):55–65.
- Murphy, D., Vasios, M., és Vause, N. (2016). A comparative analysis of tools to limit the procyclicality of initial margin requirements. Bank of England Working Paper No. 597. Elérhető: SSRN 2772569.
- Nielsen, L., Saa-Requejo, J., Santa-Clara, P. (1993). Default risk and interest rate risk. Műhelytanulmány, INSEAD, 93.
- Norden, L. és Weber, M. (2004). Informational efficiency of credit default swap and stock markets: The impact of credit rating announcements. *Journal of Banking & Finance*, 28(11):2813–2843. doi:10.1016/j.jbankfin.2004.06.011.
- O’Kane, D. (2011). *Modelling single-name and multi-name credit derivatives*, John Wiley & Sons.
- Pálosi-Németh, B. (2012). Partnerkockázat–a pénzügyi piacok átalakulásának origója. *Hitelintézeti Szemle*, 11(6):479–504.
- Pálosi-Németh, B. (2015). Partnerkockázat–tovább a szabályozói úton. *Gazdaság és Pénzügy*, 2(1):63–78.
- Pang, T., Chen, W., és Li, L. (2015). CVA wrong way risk multiplier decomposition and efficient CVA curve. *Journal of Risk Management in Financial Institutions*, 8(4):390–404.
- Pye, G. (1974). Gauging the default premium. *Financial Analysts Journal*, 30(1):49–52.
- Pykhtin, M. (2009a). Modeling credit exposure for collateralized counterparties. Fields Institute Quantitative Finance Seminar.
- Pykhtin, M. (2009b). Modeling credit exposure for collateralized counterparties. *The Journal of Credit risk*, 5(4):3–27. doi:10.21314/JCR.2009.100.
- Pykhtin, M. (2012). Model foundations of the Basel III standardised CVA charge. *Risk*, 25(7):60–67.
- Pykhtin, M. és Rosen, D. (2010). Pricing counterparty risk at the trade level and credit valuation adjustment allocations. *The Journal of Credit Risk*, 6(4):3–38. doi:10.21314/JCR.2010.116.

- Pykhtin, M. és Zhu, S. H. (2006). Measuring counterparty credit risk for trading products under Basel II. In Ong, M., szerk, *Basel handbook*. Risk Books, London, 2 kiadás.
- Rosen, D. és Saunders, D. (2012). CVA the wrong way. *Journal of Risk Management in Financial Institutions*, 5(3):252–272.
- Savickas, V., Hari, N., Wood, T., és Kandhai, D. (2014). Super fast greeks: An application to counterparty valuation adjustments. *Wilmott*, 2014(69):76–81. doi:10.1002/wilm.10291.
- Schönbucher, P. J. (1996). The term structure of defaultable bond prices. Műhelytanulmány
- Schönbucher, P. J. (2003). *Credit Derivatives Pricing Models: Models, Pricing and Implementation*. John Wiley & Sons.
- Schönbucher, P. J. és Schubert, D. (2001). Copula-dependent default risk in intensity models. Műhelytanulmány.
- Sherif, N. (2016). Basel considered axing standardised approach to CVA calculation. Elérhető: <http://www.risk.net/risk-management/2477114/basel-considered-axing-standardised-approach-cva-calculation>.
- Skoglund, J., Vestal, D., és Chen, W. (2013). Credit valuation adjustment tail risk and the impact of wrong way trades. *Journal of Risk Management in Financial Institutions*, 6(3):280–301.
- Sokol, A. (2010). A practical guide to Monte Carlo CVA. In *Berd, A. (szerk) Lessons from the financial crisis*, 379–406 Risk Books London.
- Sorensen, E. H. és Bollier, T. F. (1994). Pricing swap default risk. *Financial Analysts Journal*, 50(3):23–33.
- Steiner, M. és Heinke, V. G. (2001). Event study concerning international bond price effects of credit rating actions. *International Journal of Finance & Economics*, 6(2):139–157. doi:10.1002/ijfe.148.
- Trueck, S. és Rachev, S. T. (2009). *Rating based modeling of credit Risk: theory and application of migration matrices*. Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-373683-3.X0001-2.
- Tsitsiklis, J. N. és Van Roy, B. (2001). Regression methods for pricing complex American-style options. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 12(4):694–703. doi:10.1109/72.935083.
- Vasicek, O. (1977). An equilibrium characterization of the term structure. *Journal of Financial Economics*, 5(2):177–188. doi:10.1016/0304-405X(77)90016-2.

- Vrins, F. (2017). Wrong-way risk CVA models with analytical EPE profiles under Gaussian exposure dynamics. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 20(07):1750045. doi:10.1142/S0219024917500455.
- Vrins, F. és Gregory, J. (2011). Getting CVA up and running. *Risk*, 24(11):76–79.
- Walker, M. B. (2006). Credit default swaps with counterparty risk: A calibrated Markov model. *Journal of Credit Risk*, 2(1):31–49. doi:10.21314/JCR.2006.031.
- Weeber, P. (2009). Market practices for settling derivatives in bankruptcy: Part I. *American Bankruptcy Institute Journal*, 28(8):26–29.
- Weeber, P. és Robson, E. S. (2009). Market practices for settling derivatives in bankruptcy: Part II. *American Bankruptcy Institute Journal*, 28(9):34–37.
- Weinstein, M. I. (1977). The effect of a rating change announcement on bond price. *Journal of Financial Economics*, 5(3):329–350. doi:10.1016/0304-405X(77)90042-3.
- Wengner, A., Burghof, H.-P., és Schneider, J. (2015). The impact of credit rating announcements on corporate CDS markets—are intra-industry effects observable? *Journal of Economics and Business*, 78:79–91. doi:10.1016/j.jeconbus.2014.11.003.
- Wood, D. (2016). Crying wolf on CVA? Elérhető: <http://www.risk.net/regulation/basel-committee/2452746/crying-wolf-cva>.
- Yi, C. (2011). Dangerous knowledge: Credit value adjustment with credit triggers. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 14(06):839–865. doi:10.1142/S0219024911006395.
- Yu, F. (2007). Correlated defaults in intensity-based models. *Mathematical Finance*, 17(2):155–173. doi:10.1111/j.1467-9965.2007.00298.x.
- Zheng, H. (2013). Contagion models a la carte: which one to choose? *Quantitative Finance*, 13(3):399–405. doi:10.1080/14697688.2012.708428.
- Zhou, C. (1997). A jump-diffusion approach to modeling credit risk and valuing defaultable securities. Műhelytanulmány
- Zhu, S. H. és Pykhtin, M. (2007). A guide to modeling counterparty credit risk. *GARP Risk Review*, July/August. Elérhető: SSRN 1032522.

5. Saját publikációk jegyzéke

Folyóirat cikkek:

- Boros, P. (2016). Hitelértékelési kiigazítás - a fedezeti haircut modellbe illesztése. *Sigma*, 47(1-2):31–45.
- Boros, P. (2018a). A hitelértékelési kiigazítás tőketartalékolásának új szabályozása. *Közgazdasági Szemle*, 65(2):161–184.
- Boros, P. (2018b). A kitétség profilok becslése többszintű Monte Carlo módszerrel. *Sigma*, 49(1-2):39–56.
- Boros, P. és Medvegyev, P. (2017). Közvélemény-kutatások statisztikai szemszögből – ahol biztosan hibáztak. *Közgazdasági Szemle*, 64:1265–1284.

Konferencia előadások:

- Boros, P. (2015). Credit Valuation Adjustment - A fedezeti haircut modellbe illesztése. *Közgazdaságtani Doktori Iskola XI. éves konferenciája* 2015.11.12.
- Boros, P. (2017). Rating migration, credit risk contagion and Credit Valuation Adjustment. *Közgazdaságtani Doktori Iskola XIII. éves konferenciája* 2017.11.09.
- Boros, P. (2017). Credit Exposure Estimation with least-square Monte Carlo. *Tavaszi Szél Konferencia* 2017.03.31.

Konferencia Kiadvány: Tavaszi Szél Konferencia 2017, Nemzetközi Multidiszciplináris Konferencia Absztraktkötet (2017) DOSZ, ISBN 978-615-5586-14-9

- Boros, P. (2017). A hitelértékelési kiigazítás tőketartalékolásának új szabályozása. *PRMIA Hungary Chapter Éves Konferenciája, 2017* 2017.11.23.

Konferencia Kiadvány: PRMIA Hungary Chapter Éves Konferenciája, 2017, A Magyar kockázatkezelési kutatások legújabb eredményei Konferencia Kötet (2017) PRMIA, ISBN 978-615-80642-5-5

Könyvismertetés:

- Boros, P. (2015). Lépés a partnerkockázat megfelelő árazása felé: Damiano Brigo–Massimo Morini–Andrea Pallavicini: Counterparty Credit Risk, Collateral and Funding: With Pricing Cases For All Asset Classes John Wiley and Sons, Chichester, West Sussex, 2013, 464 o. *Közgazdasági Szemle*, 62:457–461.

