



MAGYAR NEMZETI BANK



# Mennyiben felelősek a kvantitatív módszerek a válságért?

Király Júlia – Jakab Zoltán

Magyar Nemzeti Bank

XXVIII. Magyar Operációkutatási Konferencia

Balatonöszöd 2009. június 9.

# Az előadás szerkezete

1. Rövid válságtörténelem (és a modellek)

2. A buborék és az arbitrázsmentes árazás

3. A hitelkockázat mérése és kezelése: speciális termékek

4. A makromodellek alkalmazása: speciális esetek

5. A kvantitatív módszerek "felelőssége"

# 1. Rövid válságtörténelem (egymásra szuperponálódó folyamatok)

1. **2007 első fele:** a „subprime” válság: az amerikai ingatlanpiac (másodrendű adósok **hitelkockázata, árbuborékok**, reálgazdasági hatás)
2. **2007. július:** a válság kibontakozása - „toxikus értékpapírok” és „árnyékbankrendszer” (**strukturált és hitelkockázati termékek értékelése** és minősítése, hálózatelmélet)
3. **2007. augusztus:** a válság kiterjedése a **bankszektorra** (likviditási kockázat értelmezése, mérése, reálgazdasági hatás)
4. **2007-2008:** a válság áttérése **más pénzügyi piacokra** (fertőzéselmélet, pénzügyi globalizáció, országok sérülékenysége, állampapírpiacok működése)
5. **2008. szeptember 15:** a **Lehman-Brothers** csődje (szakadósos függvények – kockázatértékelés, nemlinearitás, kaotikus mozgások, széles farkú eloszlások – farokesemények, reálgazdasági hatás)
6. **2008. ősz:** a **gazdasági recesszió** valósága (a **makroökonomiai modellek** érvényességi tartománya)

Egy válság, amelyik a pénzügyi piacokról indult és recesszióba torkolt

„Theory of Normal Accident” (Perrow 1984): „*distinct failures whose interaction was catastrophic*”

## A „kvantok” és a válság

- *„We think it also fair to suggest that today’s extraordinarily talented quantitative analysts are so creative that even the world’s best central bankers and regulators do not have the capability to keep up with or even understand what has been going on with these “quants gone wild.””*
- *The “best & brightest” quantitative analysts on Wall Street became so technologically advanced that many of the principals running investment firms simply didn’t understand the arcane risk models their “quants” developed – and sadly neither did the quants.*
- *“The more quants learn, the farther away a unified theory of finance seems. Human behavior, as manifest in financial markets, simply resists quantification, at least for now.”*

© QUANTS GONE WILD” - THE SUBPRIME CRISIS A.W. Bodine and C.J. Nagel, faculty at Concordia College–New York March 26, 2008

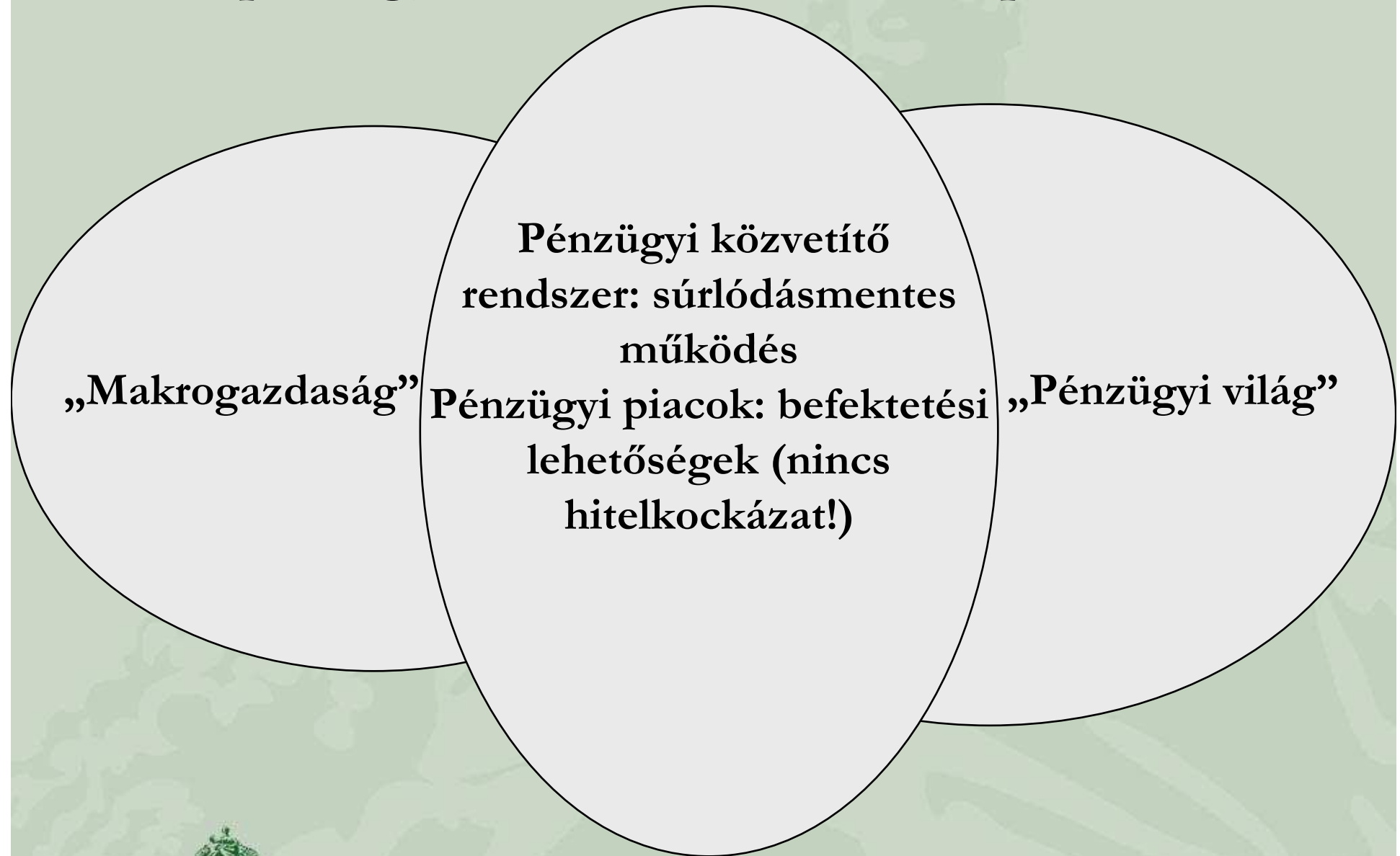
- *Good advise: „don’t run with the lemmings; don’t be overly impressed with things you don’t understand; drink some green tea and take time to write a Haiku as we witness a staggering capital meltdown from the consequences of uncontrolled financial engineering in derivatives”*
- *Obama: „We don’t want every single college grad with mathematical aptitude to become a derivatives trader. We want some of them to go into engineering, and we want some of them to be going into computer design” (New York Magazin 2009 May 3)*

## Kis kitérő: a király és a matematikus avagy a végtelen tőkeáttétel igézete (a martingál stratégia)

- „Hogy duplázhathnám meg biztosan vagyonom kedvenc matematikusom?”
- „Tedd fel a pirosra mindened. Ha a golyó piros számon áll meg – máris megdupláztad vagyonod. Ha az első pörgetés eredménye fekete - kérd kölcsön bankáraidtól vagyonod dupláját és ismételd meg a tétet. Ezt folytasd mindaddig, míg először piros nem lesz az eredmény.”
- „És ily módon biztosan megduplázzom vagyonom?”
- „Oh nagy király, mivel hitelképességed végtelen, így egészen biztosan megduplázzod vagyonod és hiteleidet visszafizeted!”

(a kis lépés a martingál stratégiából a Ponzi-sémába – minden válságnak megvan a maga martingál stratégiája és a maga Ponzija)

# A pénzügyi és a makro modellek kapcsolata



## 2. A buborék és az árazási elmélet

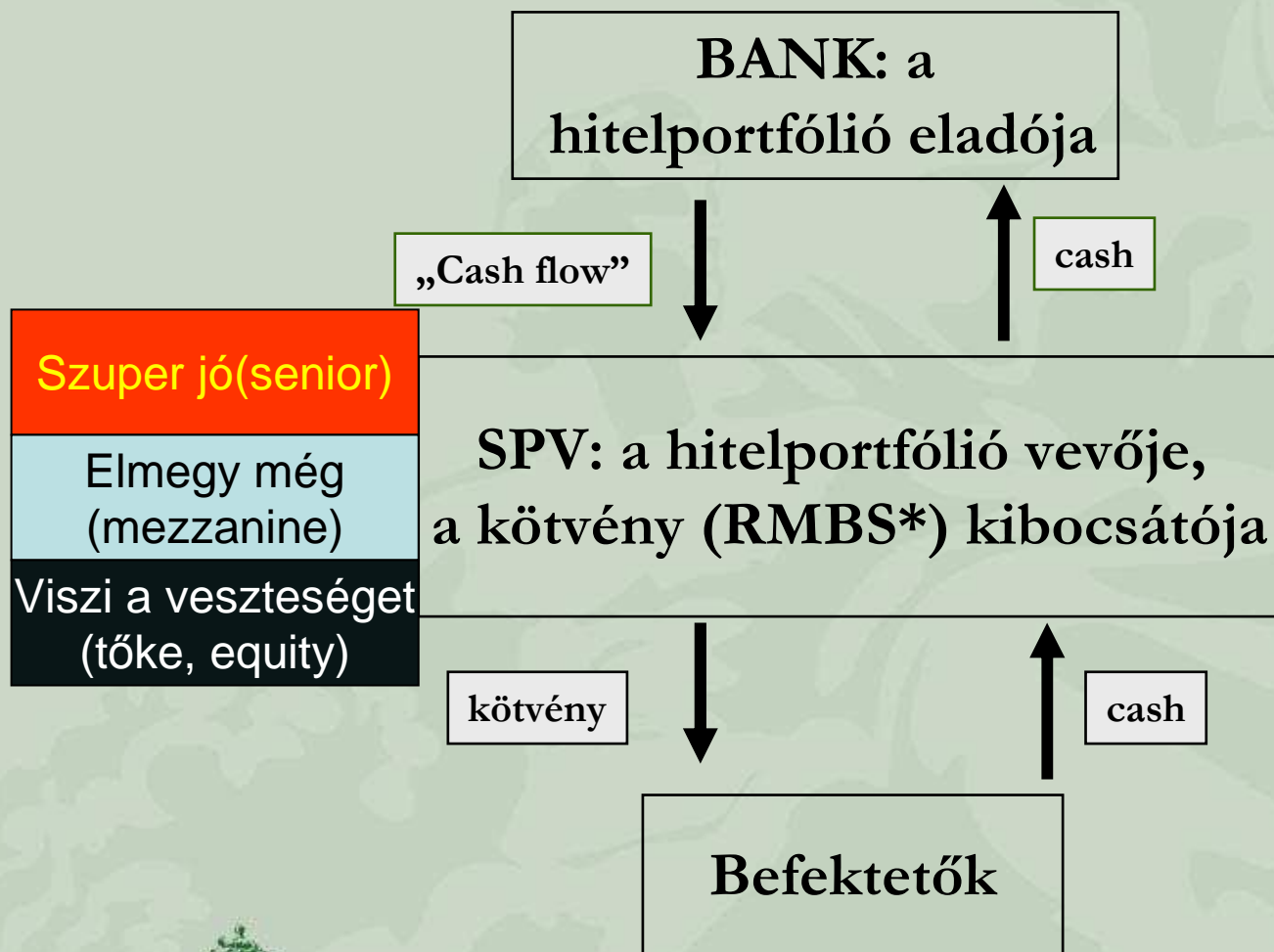
- Árazási elmélet alapja: arbitrázsmentes árazás, avagy az eszközárzás első alaptétele („fair pricing”) ▶
- A buborékok létrejötte vajon cáfolat-e az arbitrázsmentes árazásra ?
  - Brunnermeier et al – *piaci súrlódások, arbitrázsörök összehangolatlansága eredményezhet hosszan elnyúló buborékokat*
  - A Derman-féle „lyuk”: *„The Hole-In-The-Bucket Law: Fair value depends on future cash flows; future cash flows depend on the state of the future economy; the state of the future economy depends on how people use their money now; how people use their money now depends on their perception of their net worth; their net worth depends on fair value”*

### 3. A hitelkockázat mérése és kezelése

- **Definíció:** az adós / partner mulasztásából eredő veszteség kockázata
- **A kockázati tényező:** az adós nem teljesítési valószínűsége (PD), a veszteség nagysága (LGD), a pozíció – „kitettség” nagysága (EAD), az adósok „együttmozgása” (gyakoriság – súlyosság – korreláció) ▶
- **Kockázatelemzés:** a nem teljesítési valószínűségek és veszteségek együttes eloszlásának elemzése – a várható veszteség és a veszteség megfelelő percentilisének a becslése (eloszlás jellege! vastag szélű eloszlások!)
- **Jellemzője:** statisztikai mérés nehézségei, „nem jól viselkedő” eloszlások
- **Kockázatkezelés:** limit, fedezet, diverzifikáció, értékpapírosítás, hitelderivatívok

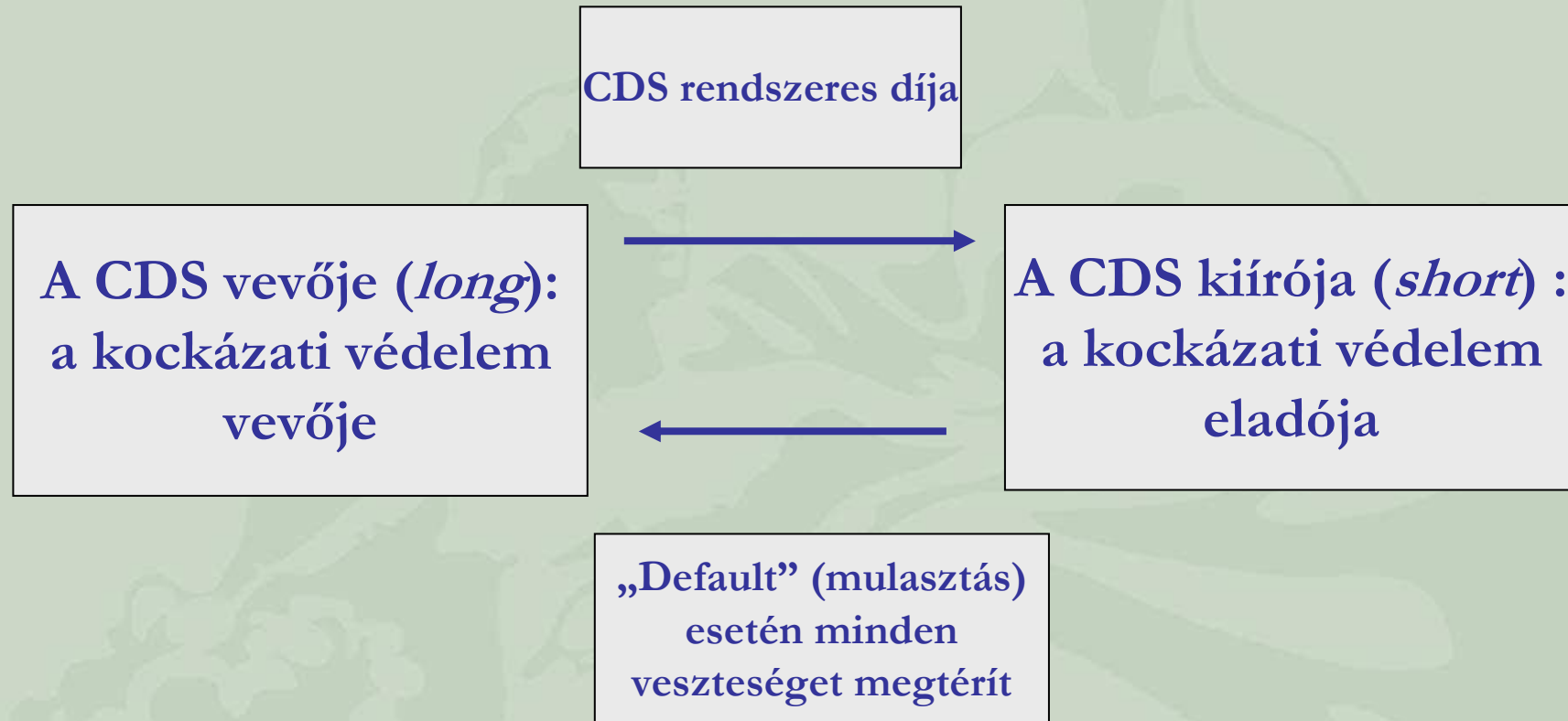


# Értékpapírosítás: hosszú lejáratú hitelt hosszú távú megtakarítás finanszíroz



**A „kvant”:**  
meghatározza, hogy a „mögöttes” portfólió különböző tulajdonságait figyelembe véve hogyan lehet árazni a létrejövő különböző értékpapírokat. Értékeli kockázatukat (minősít) és ennek alapján áraz.

# Credit Default Swap: védelem a mulasztásból eredő veszteség ellen



A „kvant”: a hitelkockázat opciós modellje (Merton-modell) alapján beárazza a CDS-t. Lehet-e „jól” értékelni a CDS-t.

## A strukturált finanszírozás: itt már mindent a kvant csinál...

„**MBS**” SPV = jelzáloghiteleket csomagol át különböző hitelminőségű kötvénybe

„**ABS**” SPV = legkülönbözőbb hiteleket csomagol át különböző hitelminőségű kötvénybe

A kötvény  
likvid és  
jó minőségű  
volt...

A kötvény  
kevésbé likvid, de  
még  
transzparens

**SPV, az átcsomagoló**

A kötvény  
illikvid, és nem  
transzparens

A forrás likvid,  
az eszköz  
illikvid

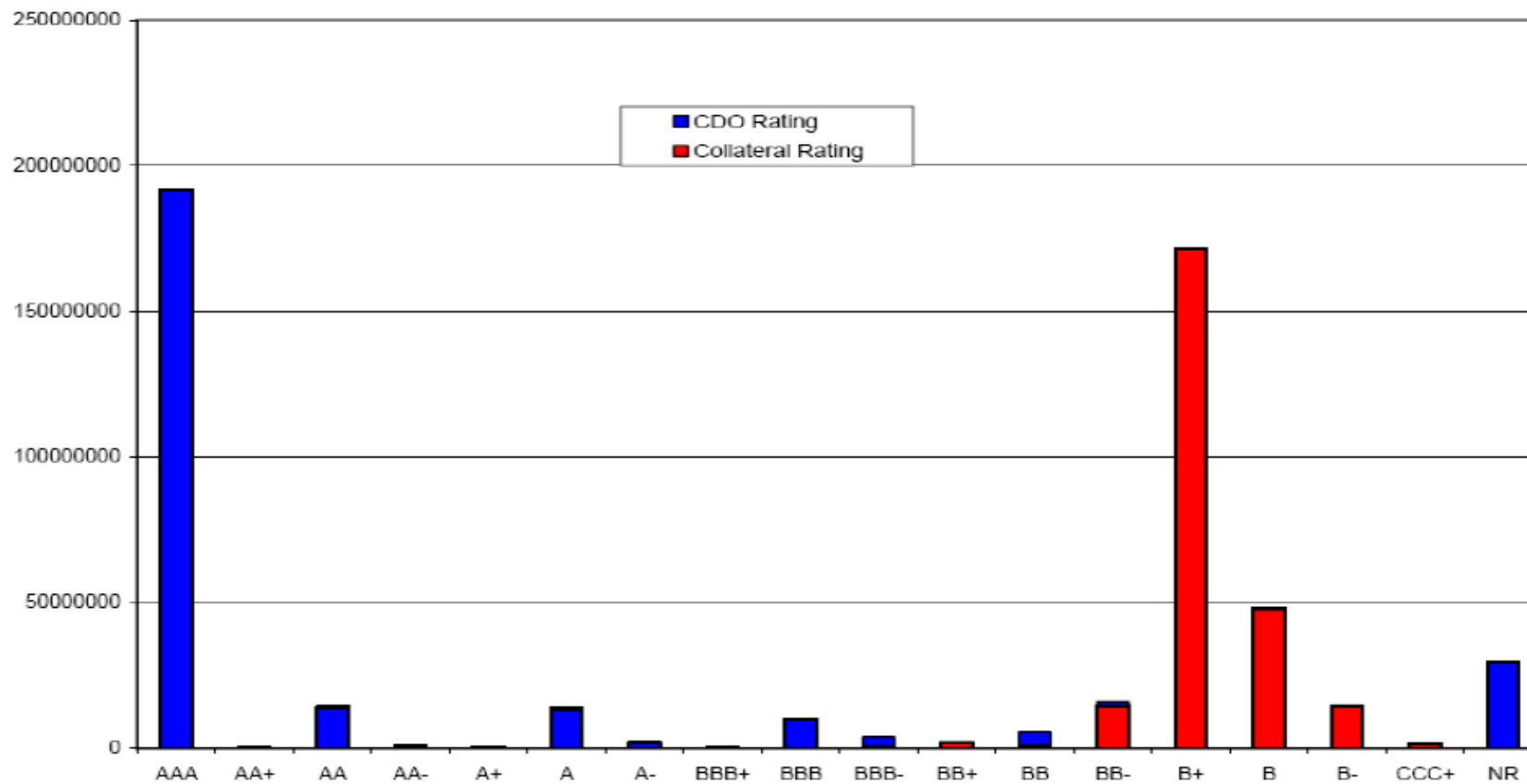
„**CDO**” SPV = hiteleket, hitelekkel fedezett értékpapírokat, csomagol át különböző hitelminőségű kötvénybe. Kötvények helyett lehet CDS az alaptermék, akkor szintetikus CDO-ról beszélünk

„**ABCP**” SPV és **SIV** = CDO-ba, ABS-be fektet, likvid, rövid papírokat bocsát ki

# A CDO árazás alkímiája

Graph source: E. Benmelech, Jennifer Dlugosz (2008), The Alchemy of CDO Credit Ratings, Harvard University

CDO credit rating vs. Collateral rating (3,912 tranches)



# A CDO árazás és a kopulák: valóban Li okozta a válságot?

- Alapkérdés: ha nem függetlenek és nem teljesen együttmozgók a default valószínűségek (túlélési idők, hazard ráták ...) – akkor hogyan lehet az együttmozgást modellezni
- Li alapötlete: kopulafüggvény:  $C(u(1); u(2) \dots u(n), r) = \Pr(u(1) \leq U_1; \dots u(n) \leq U_n)$
- Sklar [1959] tétele szerint bármely többváltozós eloszlás függvény felírható kopulafüggvény segítségével. Ha  $F(x_1, x_2, \dots, x_m)$  egy együttes többváltozós eloszlásfüggvény ugyanolyan marginális eloszlásfüggvényekkel,  $F_1(x_1), F_2(x_2), \dots, F_m(x_m)$ , akkor létezik egy egyértelmű kopulafüggvény  $C(u_1, u_2, \dots, u_m)$   $F(x_1, x_2, \dots, x_m) = C(F_1(x_1), F_2(x_2), \dots, F_m(x_m))$ .
- Ha az  $F_i$ -k folytonosak, akkor a kopulafüggvény egyértelműen meghatározható és az együttes eloszlás könnyen tanulmányozható.
- Mr. Li says that "it's not the perfect model." But, he adds: "There's not a better one yet."

... és ami elromolhat, az elromolhatott...

**(nem csak a kopulán alapuló cdo árazásra érvényes megállapítások)**

- ...már 2005-ben volt jele, hogy a cdo árazás nem tökéletes, komoly veszteségekhez vezethet (WSJ cikk!)
- ... nem konstansak a  $\rho$ -k (lásd a hitelkockázati modellek problémái)
- ... nem csak egyetlen kockázati tényező létezik (a legtöbb hitelkockázati modell ezzel a feltevéssel élt Merton óta... )
- ... páronként kellene mérni a korrelációkat – egyetlen rögzített korreláció félrevezető
- ... a Gauss-kopula figyelmen kívül hagyja a jelentős farok-eseményeket
- ... a korreláció sem térben, sem időben nem állandó

# A strukturált termékek piacának bővülése

**Growth in CDO Issuance**

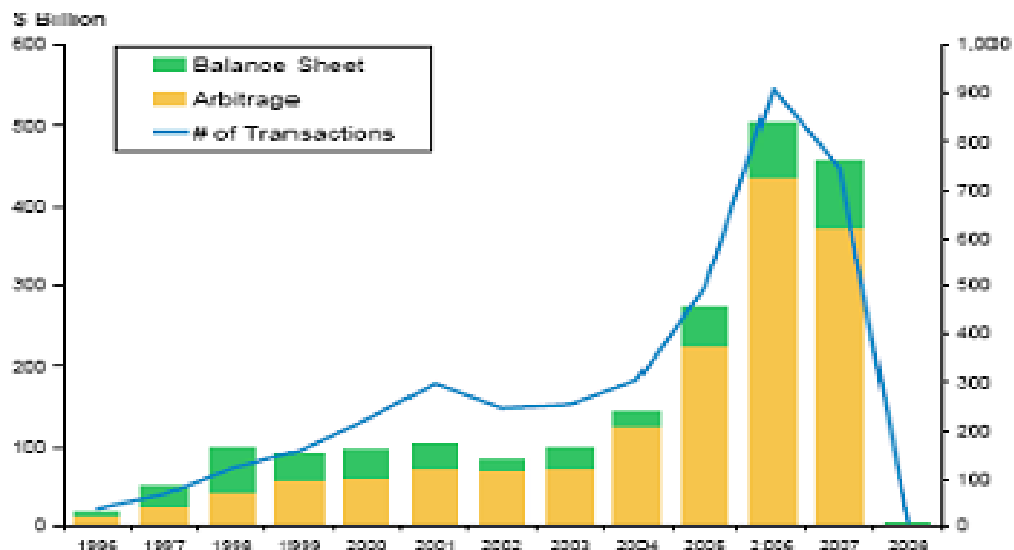
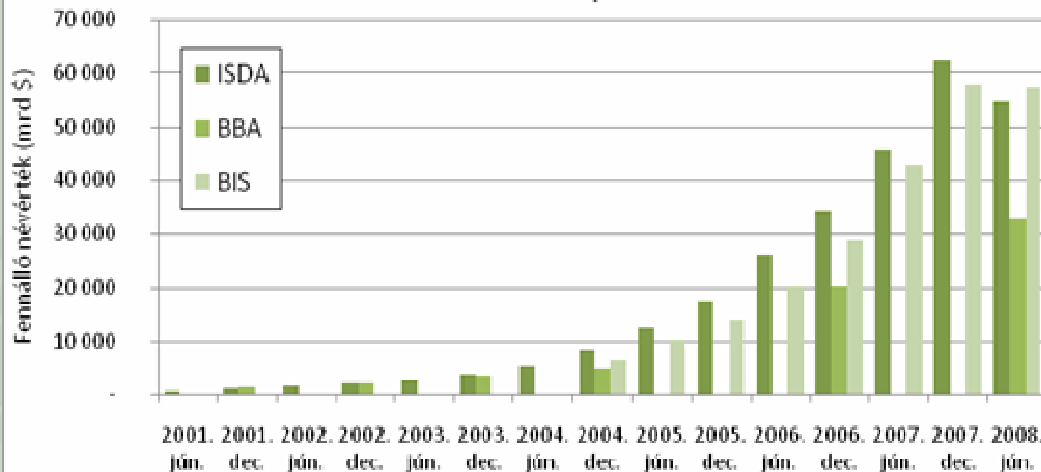


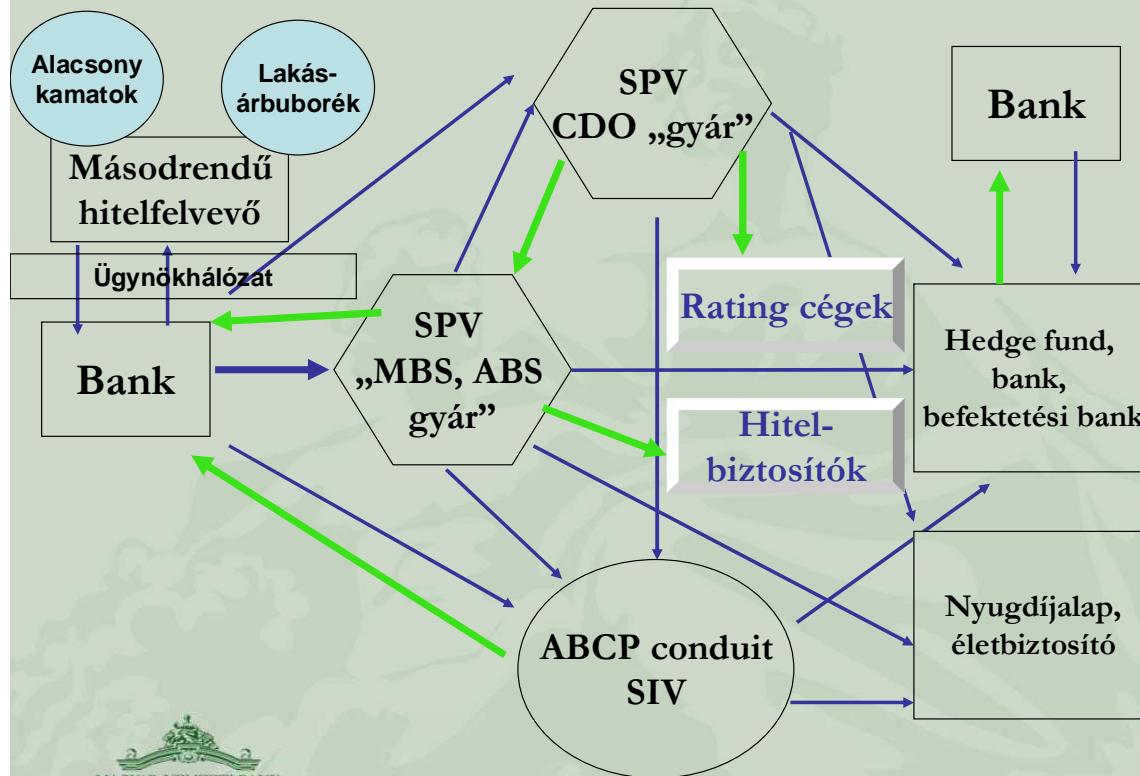
Chart 5., Source: Morgan Stanley Fixed Income Research, 2008

**Hitelderivatív piac**



A termékpiacok viharos bővülése már nem a kvantok hanem a „sales managerek” „sikere”: a CDO-k éves kibocsátása 1997-2007 között megtízszereződött (2007-ben 500 mrd USD), a CDS piac 2001-ben gyakorlatilag nem létezett, 2004-2007 között a fennálló névérték meghatszorozódott (2007 dec: 60 ezer mrd USD). Az értékesítés alapja: a hasonló kockázatú termékekhez képest olcsóbb illetve magasabb hozamú. Mintha lenne ingyenebéd – mintha a hitelkockázatra nem lenne érvényes az eszközárzás törvénye.

# A „kvantok” és a pénzügyek: a kialakult rendszer



Komplex,  
nagy tőkeáttétel,  
szintetikus termékek,  
Hozamvadászat.

Ennek a struktúrának a kialakításában résztvettek „kvantok”, de működtetésében a szerep mégiscsak az „eladóé”, az „ügynöké”, a „befektetőé” volt. A háttérben meglévő hibás ösztönzési rendszerek nélkül a kvantok termékei és kockázatkezelési módszereit célnak megfelelően is lehet használni



# A „finance” (pénzügyi piacok pénzügyei) és a modellezés

- Praktikus kérdések a kiindulópont („hogyan árazzunk?”, „hogyan mérjük kockázatot?”)
- „Alkalmazott” tudományként jön létre – a „kvantok” valójában alkalmazott matematikusok, fizikusok
- Sztochasztikus folyamatokra építő elmélet (nincs determinisztikus pénzügyek – de valamennyi ármodell valójában egy duális programozási feladat megoldása)
- Különutasan fejlődik a mikroökonómiai modellezéstől – sokáig úgy tűnik nincs szüksége hasznossági függvényekre („ketchup-economics”)
- Különállóan fejlődik a makrogazdasági modellezéstől - az eszközárzási tételek kapcsolják be (szükséges-e a teljes piac feltevése?)
- „Sikere” és „kudarca” egyaránt a „piacon” mérődik le – sokkal közvetlenebbül, mint bármely mikro vagy makro elmélet sikere vagy kudarca
- Bőséges statisztikai bázison dolgozik, jól és közvetlenül mérhető fogalmakkal (hitelkockázat?)
- A válságot követően az új kérdésekre fog választ keresni: fertőzéselmélet, ösztönzési rendszerek, hitelkockázatok árazása

## 4. A makromodellek kritikája

(vitairások: <http://eltecon.blog.hu/tags/vita>)

1. Az alkalmazott makromodellek a **módszertani túlhajszoltság miatt tévesek** – egyre több matematikával csak egyre kevesebbet lehet megtudni (a kritikai írások egy csekélyebb hányada)
  - Valójában tagadja, hogy a közgazdaságtan közös nyelve egyre inkább formalizált nyelvezet, hazai megjelenése Csaba László akadémiai székfoglalója a „technicista ortodoxiaról”
  - Egy korai „válasz”: Krugman 1998: „Cheers for formalism” – a formalizmus segít a robosztus eredmény elérésében – nem a kérdés gyökere és nem feltétlenül a válasz nyelve)
  - Általában egyetértés: formális megközelítés nélkül nem lehet tudományos megállapításokat tenni, egy tudományt nem lehet kizárólag heurisztikára, megérzésre, metaforákra építeni. (repülőgép katasztrófáknak nem az a következménye hogy ezentúl intuícióna építve terveznek repülőket (©Koren)
2. Az alkalmazott makromodellek **nem megfelelő leképezései** a valóságnak – nem az alkalmazott módszer, hanem az a keret hibás – (a kritikai írások jelentősebb hányada). A kritika elsősorban a nagy szintézist kifejező DSGE (dynamic stochastic general equilibrium) modellekre irányul. Nem tudta előrejelezni jelezni a válságot, nem képes elemezni annak hatásait (Jackson Hall!). Erősebb formában: ez a gondolkodási keret maga idézte elő a válságot.

# A DSGE: amiért jó (1)

- Elméletileg megalapozott: a Woodford-i makroökonómiai szintézis. Mikroalapozású makromodell. A reál üzleti ciklus modellre alapoz, de neokeynesi: képes a ragadósságok (perzisztens sokkok, fogyasztói szokások, ár- bér ragadósság) kezelésére.
- Egyensúlyi keret: a gazdaság „normál” állapota. „Nincs ingyen ebéd” makroökonómiája. Kölcsönhatások és alkalmazkodások jellemzése.
- A jól ismert ármechanizmusokat tükrözi (ezek a hétköznapokban is működnek). Az ármechanizmusok nem mindig elég erősek - információs tökéletlenségek eseté erősebb lehet a mennyiségi alkalmazkodás
- Endogén várakozások – be lehet építeni tanulást is
- Reálsokkok kezelésére alkalmas – technológiai sokkok, kínálati sokkok, ársokkok...

## A DSGE: amiért jó (2)

- Dinamikus alapok, intertemporális összefüggések (végtelenig való optimalizálás – megengedhető általánosítás)
- Strukturális modell (válasz a Lucas kritikára) – nem VAR!
- Empirikusan tesztelhető. Általában már megfelelően, az adott gazdaságra történő kalibrálás. Bayesi illetve VAR-ra épülő empirikus becslések.
- Rugalmasan alakítható modell.
- Magyarázó, előrejelző erő: sokkhatások elemzése
- Policy kérdések kezelésére alkalmas: Historikus sokk-dekompozíció.
- Optimális döntési szabályok meghatározása

## A DSGE: amit lehet és kell fejleszteni (1)

- A nem jelentéktelen pénzügyi sokk kezelése ebben a modellkeretben nehéz (lehetetlen) – ezért nem tudta mostani válságnak a hatásait sem pontosan kezelni
- Tökéletesen akkomodáló pénzügyi rendszer, teljes piacok feltevése. Nincs pénzügyi súrlódás. Nincs illikviditás, nincs inszolvenca (vannak megoldási kísérletek: vállalati piaci, lakáspiaci súrlódások beépítése)
- Pénzügyi szektort csak nemlineáris módon érdemes beépíteni: szakadások, ugrások!
- Minden eleme tökéletesíthető: fogyasztói viselkedés modellezése (pl. devizahitelezés, ad hoc súrlódások kezelése)
- Racionalitás továbbgondolása (ha racionális a fogyasztó várakozása nincs devizahitelezés) – irracionális rezsimek modellezése szinte lehetetlen. Tanulás! (© Világi)
- Fiskális dominancia vizsgálata megoldatlan (© Jakab)

## A DSGE: amit lehet és kell fejleszteni (2)

- Magyarázó, előrejelző erő: nem feltétlenül a válságot kell előrejelezni, hanem a válság lehetséges hatásait
- Adatgenerálás javítása. Aggregálási probléma kezelése.
- Összetételhatás kezelése megoldatlan
- Valójában, mivel a sokkok is autoregresszív folyamatok – csak a múlt hatásait képes előrejelezni – valójában nem jövőbe néző, hanem jelenre néző, nem sokban különbözik egy redukált VAR modelltől.
- Valóban loglinearizáltak – stacioner állapot körüli kis kilengések oldása. Nem lineáris modellek becslési nehézségei!
- Alkalmazás során nem egyszer túlzott várakozást keltettek a döntéshozókban – nem csak a modellalkotók hibája...

# Makrogazdasági modellezés: mit tudunk és mit nem tudunk (1)

- A makroökonómia nem csak a dsge: makroökonómiai kutatások minden a kritikában megfogalmazott irányban léteznek, hol erősebbek, hol gyengébbek
- A „normál” állapotokat értjük – ha úgy tetszik a „hosszú távot”
- Racionalitás feltevése: a döntéshozó az adott körülmények között a legjobbat akarja maga számára, másképpen „people respond to incentives”. Biztos, hogy „steril” formában nem jó
- A gazdaságpolitikai döntés nem várhatja meg az új model család megszületését – intuitív döntés ? Nem formalizált alapokon nyugvó döntés?
- Sztochasztika! Minden adott valószínűségi mezőben teljesül, adott valószínűségeloszlások feltevése mellett. A világ bizonytalanságát így próbáljuk kockázattá „simítani” (©Caballero: „The core aspect of the crisis is a collapse in all forms of explicit and implicit financial insurance due to a sharp rise in knightian uncertainty”)
- Létezik-e valós early warning rendszer? (© Vincze: Fradi-kolbász)

# Makrogazdasági modellezés: mit tudunk és mit nem tudunk (2)

- Az informáltság tagoltsága: üzletben és tudományban egyaránt. A komplex rendszerekben való gondolkodás hiánya.
- Az adatok jelentősége a makroökonomiában: valójában az operacionalizálható fogalmak mérhetetlenek, a mérhető dolgok érdektelenek. A „mérés” egészen mást jelent, mint a természettudományban: valójában csak kvantifikáció létezik (statisztikai hivatalok kellene hozzá). A makroökonomiai mennyiségek nem mérhető valamik. A visszacsatolás ezért nem jól működik. (© Vincze)
- A modern makroökonomiai elméletek bámulatosan nagy semmitmondó empirikus irodalmat generáltak. A „felesleges” eredmények nem eleve kiszűrhetők – a legjobb 5% csak a felesleges 95% mellett születik meg.
- Az elméleti modellek javarészt szellemes gondolat kísérletek és nem azonnal empirizálható modellek.



# A makroökonómiai modellezés és a válság

- Az alapprobléma: a globális egyensúlytalanságok nagyon ellentétesek az újkeynesi világképpel
  - az takarítson meg aki gazdag (USA, EU)
  - az vegyen fel hitelt aki szegény és várhatóan gazdag lesz (Kína)
- A globális egyensúlytalanságok léte nagyon erősen a modellekkel ellentétes
- A modellek jellemzően szigorúbb monetáris/fiskális politikát mondtak volna
- A fiskális politika passzív szerepét tételezték fel (ami a válság előtt nem volt rossz feltevés, most egyre inkább az)

## 5. A kvantitatív módszerek „felelőssége”

**Igaz-e az az állítás, hogy a jelenlegi válság nem más, mint**

- az **árazási modellek** kudarca (hibásak voltak-e az árazási modellek, avagy nem megfelelően alkalmazták / értelmezték őket)
- a **kockázatkezelési modellek** kudarca (hibásak voltak-e kockázatkezelési modellek, avagy nem megfelelően alkalmazták / értelmezték őket) – létezik-e tökéletes kockázatkezelés, a kockázatok kezelése önmagában generál-e kockázatot
- a **makromodellek** kudarca (hibásak voltak-e a számszerűsített makromodellek, avagy nem megfelelően alkalmazták / értelmezték őket) – lehet-e előrejelezni ugrásokat, töréseket

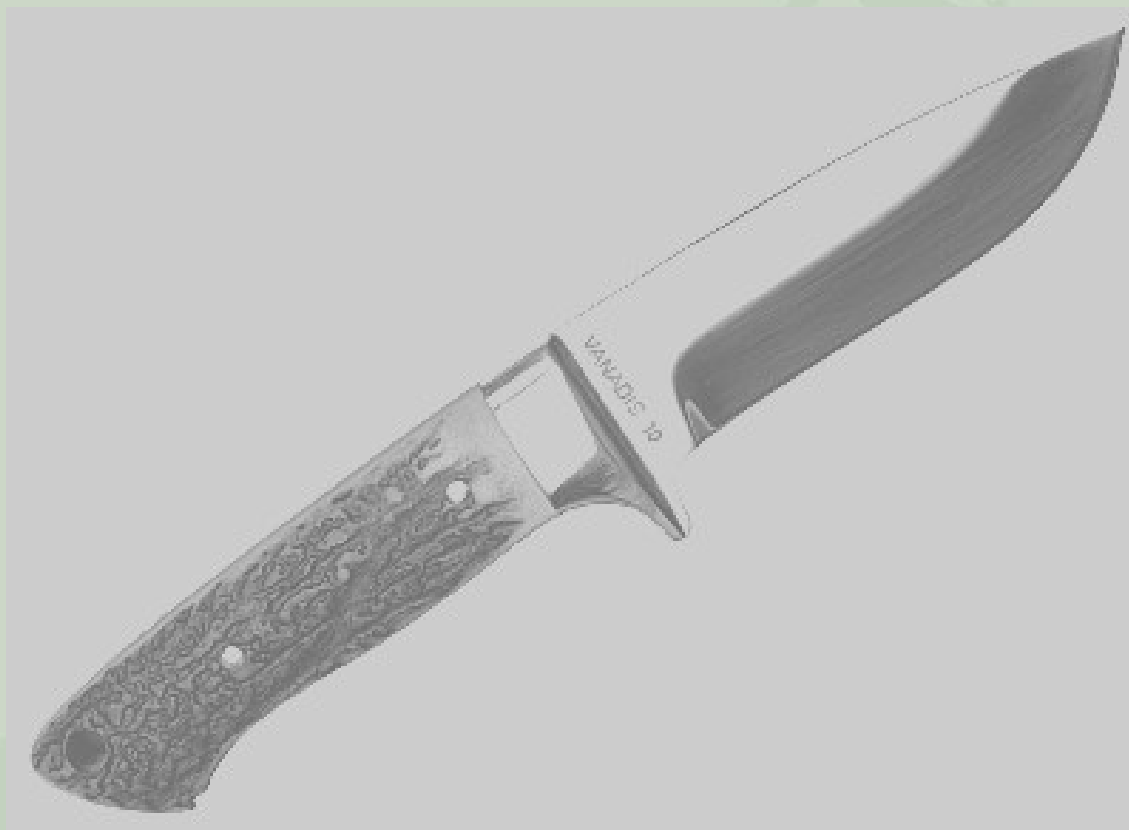
**Van-e válaszunk a naponta újra megfogalmazódó kritikákra:**

- **Jón Danielsson:** az endogén kockázatot a tökéletesedő kockázatkezelés nem mitigálja, hanem felerősíti (prociklikusság)
- **Nassim Taleb:** a kvantok nem értik a „fekete hattyú” jelenséget és úgy tesznek, mintha a statisztikai törvények érvényesülnének. Kockázat és bizonytalanság. ▶
- **Buiter:** nem megfelelő modellt alkalmazták, a dsge tévedésnek bizonyult. Hogyan lehet nap mint nap jelezni egy modell alkalmazási korlátait / érvényességi körét?



Tornado in Central Oklahoma, USA





**Nem a kés tehet arról, ha gyilkolnak vele.  
(© Száz János)**

# Arbitrázsárazás



- Legyen „m” db pénzügyi eszköz és legyen „n” különböző jövőbeli állapot
- Eben az esetben definiálható egy  $n \times m$ -es „A” kifizetési mátrix:  $a(i,j) =$  az i-edik pénzügyi eszköz nettó eredménye a j-edik állapotban (jövedelem – befektetés). A piacokat teljesnek mondjuk, ha nincs több világállapot, mint pénzügyi eszköz
- Nincs arbitrázs, ha nincs olyan  $x$  legalább egy elemében nem nulla vektor, hogy  $Ax \geq 0$ , azaz sehol sem veszünk, de legalább egy kimenet esetén nyerünk
- Ekkor megadható olyan  $q > 0$  vektor, hogy  $qA = 0$ , ahol  $q$  a kockázatszemleges (avagy martingál) mérték
- Teljesnek tekinthető pénzügyi piacokon a termékek árát nem a kereslet/kínálat, hanem az arbitrázsmentesség alakítja, mivel ilyenkor egyértelmű a martingál mérték, és egyértelműek az arbitrázsmentességet biztosító árak (eszközárzási tételek)

# A hitelkockázat „elemei”

- „Milyen valószínűséggel következik be a mulasztás?” „Probability of default” = **PD** (és mi a „default”?)
  - azaz milyen „gyakori” az „esemény”,
  - avagy egy-egy adós vagy adóscsoport milyen valószínűséggel fog mulasztani / nemteljesíteni:
  - **Mérése:** az adósok kockázatának előzetes felmérése – az adósok **minősítése (probit modellek, túlélési modellek – hazard ráta = marginális túlélési valószínűség)**
- „Mekkora lesz a veszteség, ha bekövetkezik a mulasztás?” **Loss given default = LGD**
  - azaz mennyire „súlyos” az „esemény”
  - az adósok egy része „meggyógyul” (eltérés túlélési modellektől)
  - a nem gyógyuló ügyleteken is van valamifajta megtérülés, amely alapvetően a **behajtási** folyamaton, a hitel **„szenyorításán”** és a **fedezeteken** múlik
- „Mekkora a teljes kitettség, amikor itt a veszteség?” **EAD = exposure at default**
  - milyen pozíciói vannak a banknak az adóssal szemben: hitel, garancia, derivatív pozíciók
- **Mennyire mozognak együtt az események ?**
  - Hogyan határozható meg az együttes eloszlás ?
  - Együttes eloszlás közelítése peremeloszlásokkal és kopulákkal

# A Taleb-kritika: a „fekete hattyú”

APPLICATION	Simple payoffs	Complex payoffs
DOMAIN		
Distribution 1 (“thin tailed”)	Extremely robust to Black Swans	Quite robust to Black Swans
Distribution 2 (“heavy” and/or unknown tails, no or unknown characteristic scale)	Quite robust to Black Swans	<b>LIMITS of Statistics –  extreme fragility to Black  Swans</b>