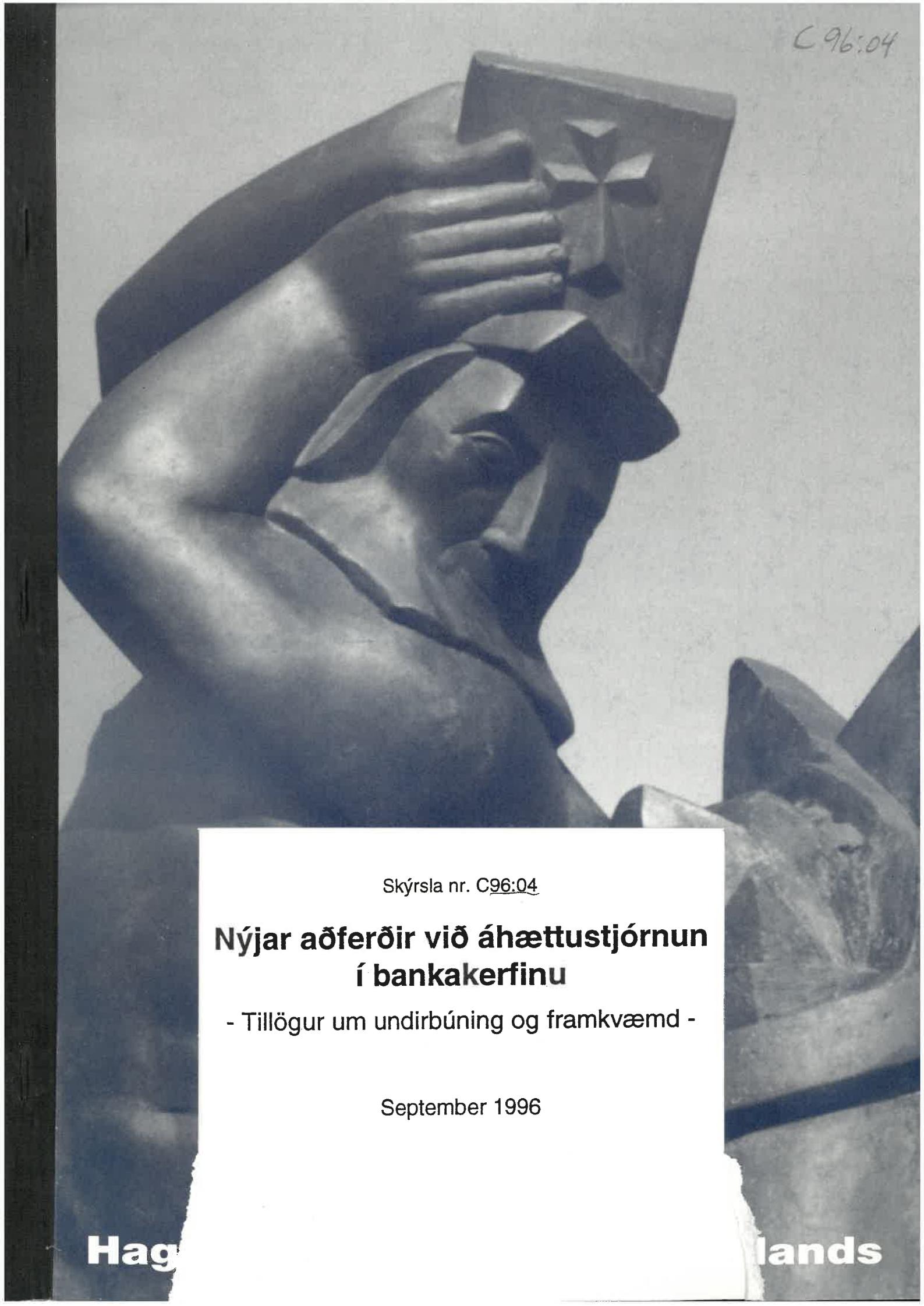


C96:04



Skýrsla nr. C96:04

## Nýjar aðferðir við áhættustjórnun í bankakerfinu

- Tillögur um undirbúning og framkvæmd -

September 1996

Hag

lands

330  
+332.04  
Há's

## HAGFRÆÐISTOFNUN HÁSKÓLA ÍSLANDS

Hagfræðistofnun Háskóla Íslands  
Odda v/Sturlugötu  
Sími: 525-4500/525-4553  
Fax nr: 552-6806  
Heimasiða: [www.hag.hi.is](http://www.hag.hi.is)  
Tölvufang: [ioes@hag.hi.is](mailto:ioes@hag.hi.is)

Skýrsla nr. C96:04

### Nýjar aðferðir við áhættustjórnun í bankakerfinu

- Tillögur um undirbúning og framkvæmd -

September 1996

---

# Efnisyfirlit

---

<b>1</b>	<b>Áhættustjórnun í bankakerfinu -rannsóknaráætlun</b>	<b>3</b>
1.1	Skilgreining verkefnisins . . . . .	3
1.2	Helstu tillögur Hagfræðistofnunar . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Ríkjandi fyrirkomulag áhættustjórnunar</b>	<b>6</b>
2.1	Innri gögn . . . . .	6
2.2	Ytri gögn . . . . .	6
2.3	Reglur bankaeftirlits Seðlabanka Íslands . . . . .	7
2.3.1	Áhættugrunnur vegna liða utan veltubókar . . . . .	8
2.3.2	Áhættugrunnur vegna liða í erlendum gjaldmiðli . . . . .	9
2.3.3	Áhættugrunnur vegna stöðuáhættu skuldaskjala og hlutabréfa í veltubók . . . . .	9
2.3.4	Áhættugrunnur vegna mótaðilaáhættu sem tengd er verðbréfaviðskiptum í veltubók . . . . .	11
2.3.5	Áhættugrunnur vegna umframáhættu stórra skuldbindinga . . . . .	11
2.3.6	Samantekt . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Yfirlit um VH-greiningu</b>	<b>12</b>
3.1	VH-greining . . . . .	13
3.1.1	Fyrsta skref: skilgreining á því hvernig VH-greining verður notuð . . . . .	14
3.1.2	Annað skref: val á aðferðafræði . . . . .	14
3.1.3	Priðja skref: grunngerð . . . . .	17
3.1.4	Fjórða skref: framkvæmd . . . . .	17

<b>4 Dæmi um VH-greiningu</b>	<b>19</b>
4.1 Línuleg áhætta . . . . .	19
<b>A Tæknileg útfærsla á VH-greiningu</b>	<b>i</b>
A.1 Áhætta í eignasöfnum . . . . .	ii
A.1.1 Línuleg áhætta . . . . .	iii
A.1.2 Ólínuleg áhætta . . . . .	iii
<b>B Vörpun</b>	<b>vi</b>
<b>C Dæmi um ólínulega áhættu</b>	<b>x</b>

---

# 1. Áhættustjórnun í bankakerfinu -rannsóknaráætlun

---

## 1.1 Skilgreining verkefnisins

Í júní sl. fól stjórn Rannsóknaframlags bankanna Hagfræðistofnun að skilgreina hvernig mætti undirbúa og standa að áhættustjórnun í íslenska bankakerfinu í samræmi við svonefndar BIS-reglur. Þessi skýrsla inniheldur hugmyndir Hagfræðistofnunar um kosti þess að taka upp staðlað áhættustýringarkerfi í íslenska bankakerfinu og hvernig standa ætti að framkvæmd þess. Á undanförnum árum hafa erlendar lánastofnanir tekið upp áhættustýringarkerfi sem byggist á svonefndri *VaR* - greiningu (*Value at Risk*). Á íslensku hefur þessi aðferðafræði verið nefnd „*virði í húfi*“ og verður hún hér eftir skammstöfuð VH-greining. Nú þegar hafa um 80% alþjóðlegra banka tekið upp VH-greiningu. Þar sem VH-greining varð hluti af BIS-reglum frá síðustu áramótum má búast við að hún verði viðtekin aðferð við áhættustýringu í nánustu framtíð. Í skýrslunni verður reynt að lýsa aðferðafræðinni á bak við VH-greiningu og hvernig unnt er að standa að framkvæmd hennar.

## 1.2 Helstu tillögur Hagfræðistofnunar

### *Undirbúningur*

1. Mikilvægt er að kenna ítarlega notkunargildi VH-greiningar á Íslandi bæði fyrir lánastofnanir og bankaeftirlit Seðlabanka Íslands sem eftirlitsaðila, svo og hvaða gögn þurfa að vera fyrir hendi til að beita aðferðinni.
2. Eðlilegt er að byrja á veltubók lánastofnana, en í framhaldi af því er rétt að athuga hvort hægt sé að beita VH-greiningu á allt eignasafn lánastofnana eða efnahagsreikning.
3. Rannsaka þarf betur hvernig unnt er að taka tillit til séreinkenna íslenska fjármagnsmarkaðarins, s.s. verðtryggingar og útdráttarfyrirkomulags húsbréfa.
4. Í framhaldi af því þarf að þróa aðferðir til að varpa mikilvægum íslenskum verðbréfum yfir á markaðsvirði í stöðluðu formi.

5. Ganga þarf úr skugga um hvaða aðferð henti íslenskum lánastofnunum við VH-greiningu (flökt/fylgni-aðferðin eða hermunaraðferðir).
6. Kanna þarf hvaða tildeini á gögnunum hentar íslenskum lánastofnunum best. Ef gæta á samræmis við RiskMetrics frá J.P. Morgan er aðeins hægt að velja dagleg eða mánaðarleg (25 daga) gögn.
7. Hvers konar vaxtaferla á að nota fyrir erlendar eignir?
8. Skýra þarf samband VH-greiningar og eiginfjárhlutfalls lánastofnana.
9. Kanna eignasamsetningu í veltubók lánastofnana til ákvörðunar á aðferðafræði við VH-greiningu.
10. Meta þarf hvaða áhrif ósveigjanleiki íslenska fjármagnsmarkaðarins hefur á VH-greiningu.

#### *Framkvæmd*

Hagfræðistofnun Háskóla Íslands býður fram krafta sína við ofangreinda rannsóknarvinnu. Verkefnið krefst þó samstarfs hlutaðeigandi aðila, lánastofnana og bankaeftirlits Seðlabanka Íslands. Jafnframt er nauðsynlegt að sérstök stjórnunarnefnd hagsmunaaðila hafi yfirumsjón með verkefninu.

Eðlilegt er að skipta verkefninu í two hluta:

- A. Fyrsti hluti verkefnisins fjalli um hagkvæmni VH-greiningar og gagnaöflun.
- B. Seinni hluti verkefnisins snýr að bönkunum sjálfum. Þeir þurfa að meta stöðuna hver fyrir sig og velja aðferð til áhættustýringar.
  - Lánastofnanir noti þann hugbúnað sem þær eiga fyrir til áhættustjórnunar, þar sem VH-greining er orðin hluti af flestum slíkum hugbúnaði.
  - Hagfræðistofnun sjái um gagnaöflun og hönnun líkans sem samræmist þörfum lánastofnana. Mesta vinnan felst í því að halda utan um gögn, skilgreina eignarhaldstíma (1 dagur eða 25 dagar), reikna vaxtaferla, sjá um varpanir og prófanir á niðurstöðum VH-greiningar fyrir ytri og innri gögn einstakra lánastofnana.

## *Niðurlag*

Eins og fram kemur er ekki gert ráð fyrir að Hagfræðistofnun taki með beinum hætti þátt í að þróa hugbúnað til VH-greiningar. Þarfir lánastofnana eru svo mismunandi að þessu leyti að erfitt er að koma við samstarfi á því sviði. Það samræmist heldur hvorki samkeppnislögum né viðskiptaleynd. Stofnunin er þó tilbúin til að taka að sér önnur nauðsynleg sameiginleg verkefni eins og reglulega gagnaöflun, gagnavinnslu og miðlun ytri gagna til lánastofnana. Að auki gæti stofnunin tekið að sér margvíslega ráðgjöf í tengslum við VH-greiningu.

Fyrirhugað er að vinna að rannsókninni í samstarfi við prófessor David T. Llewellyn en hann er væntanlegur til landsins í október á vegum Rannsóknafamlags bankanna.

---

## 2. Ríkjandi fyrirkomulag áhættustjórnunar

---

Í þessum kafla er fjallað um þau gögn sem eru til fyrir VH-greiningu. Þar sem eignastaða í veltubók lánastofnana er misjöfn eftir lánastofnunum er ekki unnt í þessari skýrslu að gera fullkomna greiningu á veltubók þeirra. Þess í stað verða þau gögn sem unnið verður með í VH-greiningu skilgreind. Þessi gögn skiptast í innri og ytri gögn lánastofnana. Í lok kaflans er fjallað um þær reglur sem bankaeftirlit Seðlabanka Íslands setur innlendum lánastofnunum.

### 2.1 Innri gögn

Þær eignir sem eru í veltubók lánastofnana eru kallaðar innri gögn. Þessar eignir eru yfirleitt innlend ríkisbréf: víxlar, spariskírteini og húsbréf. Lánastofnanir eru í flestum tilvikum með fullkominn hugbúnað til að halda utan um veltubók. Flest ný hugbúnaðarkerfi meta markaðsvirði eignasafnsins í samfelldum tíma og birta áhættumælingar sjálfkrafa. Flestir stærri framleiðendur slíkra kerfa eru búinir að bæta við VH-greiningu eða fyrirhuga að gera það. Fyrir þær lánastofnanir sem nota slík kerfi er því hið innra gagnavandamál leyst. Þær lánastofnanir sem ekki nota slíkt kerfi eru í raun ekki í stakk búnar til að framkvæma VH-greiningu því að mat á markaðsvirði allra eigna verður að liggja fyrir í samfelldum tíma.

### 2.2 Ytri gögn

Ekki er nóg að leysa hið innra gagnavandamál því að VH-greiningin krefst einnig gagna utan fyrirtækisins, þ.e. vaxtaferla, flökts og fylgni, sbr. viðauka B. Þar sem kostnaðarsamt er að meta vaxtaferla, flökt og fylgni, væri augljós ávinningur í því að allar lánastofnanir á Íslandi kæmu sér saman um framtíðarskipulag á gagnavinnslu fyrir VH-greiningu. Aðrir aðilar, s.s. verðbréfasjóðir og lífeyrissjóðir gætu einnig í framtíðinni haft not af þeirri gagnavinnu. Það er því umhugsunarefni fyrir stjórnendur lánastofnana, hvort útreikningar á flökti og fylgni íslensks eignaverðs yrðu birtir opinberlega eða aðeins hafðir til einkanota. Hagfræðistofnun leggur til að í fyrstu verði einum sjálfstæðum aðila falið að sjá um nauðsynlega útreikninga og dreifingu á upplýsingum til allra lánastofnana. Hagfræðistofnun Háskóla Íslands er vel í stakk búin til

að taka slíkt verk að sér. Síðar væri áhugavert að leita eftir því við J.P. Morgan að birta íslensku gögnin með reglubundnum hætti (á Internetinu) ásamt öðrum alþjóðlegum gögnum. Það veltur þó á því hvort íslenskir viðskiptabankar kjósa að halda þessum upplýsingum fyrir sig, veita öðrum aðgang að þeim gegn gjaldi eða ókeypis.

## 2.3 Reglur bankaeftirlits Seðlabanka Íslands

Bankaeftirlit Seðlabanka Íslands hefur sett reglur um útreikninga á áhættugrunni veltubókar viðskiptabanka og sparisjóða sem tóku gildi þann 30. júní 1996 og eru að öllu leyti í samræmi við BIS-reglur. Þar sem VH-greining varð hluti af BIS-reglum um síðustu áramót, er ekki ólíklegt að VH-greining verði innan skamms hluti af reglum bankaeftirlitsins.

Eftirfarandi skilgreining er á veltubók í þessari reglugerð:

**Veltubók** (e. *trading book*): Verðbréf og önnur fjármálaskjöl sem stofnun hefur eignast eða heldur eftir með endursölu í huga og/eða í því skyni að hagnast á skammtímabreytingum á markaðsvirði þessara skjala eða öðrum verð eða vaxtabreytingum. Jafnframt teljast til veltubókar stöður í fjármálaskjölum sem verða til við samtímis skipti á höfuðstólsfjárhæðum, svo og fjármálasamningar sem stofnun er aðili að í því skyni að baktryggja aðra þætti veltubókar. Til veltubókar teljast enn fremur áhættuþættir tengdir óuppgjerðum og ófrágengnúm viðskiptum og afleiðusamningum sem verslað er með innan og utan verðbréfamarkaðar, svo og áhættuþættir er tengjast skuldbindingum stofnunar sem myndast vegna viðskipta með verðbréf í veltulok.

Einnig eru fjármálaskjöl skilgreind á eftirfarandi hátt í reglugerðinni:

**Fjármálaskjal/fjármálasamningur** (e. *financial instrument*):  
Til fjármálaskjala/fjármálasamninga teljast m.a.:

- hlutdeildarskírteini í fyrirtækjum um sameiginlega fjárfestingu
- skjöl á peningamarkaði
- staðlaðir framvirkir fjármálasamningar, þar með talin skjöl sem greidd eru með reiðufé
- framvirkir vaxtasamningar
- vaxta-, gjaldmiðla- og hlutabréfaskiptasamningar

- valkvæður réttur til að kaupa eða selja önnur fjármálaskjöl, þar með talin sambærileg skjöl sem greidd eru með reiðufé s.s. fjármálasamningar um gjaldeyri og vexti
- önnur framseljanleg verðbréf

Áhættugrunnar fyrir fimm mismunandi liði eru reiknaður, en þeir eru:

1. Áhættugrunnur vegna liða utan veltubókar.
2. Áhættugrunnur vegna liða í erlendum gjaldmiðlum.
3. Áhættugrunnur vegna stöðuáhættu skuldaskjala og hlutabréfa í veltubók.
4. Áhættugrunnur vegna mótaðilaáhættu sem tengd er verðbréfaviðskiptum í veltubók.
5. Áhættugrunnur vegna umframáhættu stórra skuldbindinga.

Þessir fimm áhættugrunnar eru svo lagðir saman og út fæst samtals áhættugrunnur sem eiginfjárlutfall viðskiptabanka og sparisjóða er reiknað út frá.

### 2.3.1 Áhættugrunnur vegna liða utan veltubókar

Auk þess að eiga við útreikninga áhættugrunns utan veltubókar þá eiga þeir útreikningar sem hér eru framkvæmdir einnig við áhættugrunn stofnunar vegna gjaldeyrisáhættu, óháð því hvort um liði innan eða utan veltubókar er að ræða. Skref útreikninga áhættugrunns liða utan veltubókar eru:

1. Einstakir eignaliðir eru veginir með viðeigandi áhættuvog sem tilgreind er í 12. gr. reglugerðarinnar.
2. Liðir utan efnahagsreiknings eru fyrst margfaldaðir með viðeigandi breytistuðlum (sjá 13. gr. reglugerðarinnar) til að reikna út útlánaígildi þessara liða og því næst veginir með viðeigandi áhættuvog (sjá 12. gr. reglugerðarinnar). Þegar um er að ræða endurkaupasamninga, samninga um eignasölu eða bein framvirk kaup skal vægið vera vægi eignanna en ekki vægi mótaðila í viðskiptum.

Þegar liðir utan efnahagsreiknings bera með sér ábyrgðir, skulu þær fá vægi ábyrgðarveitanda frekar en gagnaðila.

3. Þegar eignum eða liðum utan efnahagsreiknings er gefið minna vægi vegna ábyrgða eða trygginga skal hið lægra vægi aðeins ná til þess sem ábyrgðin eða tryggingin nær að fullu til.

### **2.3.2 Áhættugrunnur vegna liða í erlendum gjaldmiðli**

Útreikningar á þessum áhættugrunni ná til allra eigna- og skuldaliða og liða utan efnahagsreiknings sem eru í erlendum gjaldmiðli og liða í íslenskum krónum ef þessir liðir eru með gengisviðmiðun óháð því hvort um er að ræða liði innan eða utan veltubókar.

Áhættugrunnur vegna gjaldeyrисáhættu þessara liða skal vera sá hluti hreinnar gjaldeyrисstöðu stofnunar sem er umfram 2% af eigin fé hennar.

### **2.3.3 Áhættugrunnur vegna stöðuáhættu skuldaskjala og hlutabréfa í veltubók**

Veltubók stofnunar á að skipta upp í stöður í skuldaskjöldum og stöður í hlutabréfum. Áhættugrunnur vegna stöðuáhættu er samtala áhættugrunns vegna sérstakrar stöðuáhættu og stöðuáhættu vegna almennrar stöðuáhættu.

Með sérstakri stöðuáhættu er átt við þá áhættu sem er tilkomin vegna breytinga á verði og aðstæðna sem tengjast útgefanda viðkomandi skjals/hlutabréfs.

Með almennri stöðuáhættu skuldaskjals er átt við þá vaxtaáhættu sem tengd er stöðu í ákveðnu skuldaskjali sem er tilkomin vegna hættu á breytingu á verði viðkomandi skjals vegna breytinga á almennu vaxtastigi.

Með almennri stöðuáhættu hlutabréfa og áhættu í afleiðusamningum sem tengdir eru hlutabréfum, er átt við þá stöðuáhættu sem er tilkomin vegna hættu á verðbreytingum á viðkomandi hlutabréfi sem er tilkomin vegna almennra verðsveiflna á hlutabréfámarkaði og er óháð séreinkennum einstakra hlutabréfa eða útgefanda þeirra.

#### **Áhættugrunnur vegna sérstakrar stöðuáhættu**

Til að reikna út áhættugrunn vegna sérstakrar stöðuáhættu skuldaskjala í veltubók skal flokka einstakar nettóstöður skuldaskjala í áhættuflokka sbr. 27. gr. reglugerðarinnar. Loks skal brúttóstaða sérhvers áhættuflokks margfölduð með viðkomandi áhættuvog.

Áhættugrunnur stofnunar vegna sérstakrar stöðuáhættu hlutabréfa skal vera heildarbrúttóstaða hennar í hlutabréfum margfölduð með áhættuvog 0,5.

#### **Áhættugrunnur vegna almennrar stöðuáhættu skuldaskjala**

Áhættugrunnur vegna almennrar stöðuáhættu skuldaskjala skal reikna samkvæmt binditímaaðferð. Bankaeftirlitið getur þó veitt heimild til að reikna almenna stöðuáhættu samkvæmt rauntímaaðferð.

- **Bindtímaaðferð:** Bindtímaaðferð gengur í stuttu máli út á að flokka skuldaskjölin niður eftir bindtíma þeirra og nafnvöxtum. Sérhver flokkur er síðan margfaldaður með áhættuvog sem tilgreind er í 28. gr. reglugerðarinnar.
- **Rauntímaaðferð:** Rauntímaaðferðin gengur út á eftirfarandi:
  1. Með hliðsjón af markaðsvirði skal fyrir hvert skuldaskjal með föstum vöxtum reikna út ávöxtun fram til gjalddaga. Fyrir skuldaskjal með breytilegum vöxtum skal á sama hátt reikna út ávöxtun út frá þeirri forsendu að uppgreiðsla lánsins eigi sér stað við næstu vaxtaákvörðun.
  2. Reikna skal út svonefndan leiðréttan rauntíma fyrir nettóstöður í einstökum skuldaskjölum á grundvelli eftirfarandi formúlu:

$$\text{Leiðréttur rauntími} = \frac{\text{Rauntími}}{(1+r)} \quad (2.1)$$

$$\text{Rauntími} = \frac{\sum_{t=1}^m \frac{t \cdot C_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^m \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

$r$  = ávöxtun í prósentum fram til gjalddaga

$C_t$  = greiðsla á tímapunkti  $t$

$m$  = tími til síðasta gjalddaga (ár)

$t$  = tími

3. Nettóstöður einstakra skuldaskjala er svo flokkaðar í viðeigandi áhættuflokka eftir því hver rauntími þeirra er.
4. Sérhver áhættuflokkur er síðan margfaldaður með þeim áhættuvogum sem tilgreindar eru í 28. gr. reglugerðarinnar.

Sérhver flokkur er síðan lagður saman og myndar áhættugrunn.

Áhættugrunnar stofnunar vegna almennrar stöðuáhættu hlutabréfa skal vera heildarbrúttóstaða hennar í hlutabréfum margfölduð með áhættuvog 0,5.

#### **2.3.4 Áhættugrunnur vegna mótaðilaáhættu sem tengd er verðbréfaviðskiptum í veltubók**

Reikna skal út áhættugrunn vegna uppgjörsáhættu sem tengd er viðskiptum með verðbréf í veltubók þegar viðskiptin eru óuppperð eftir að umsamin afhendingarfrestur er útrunninn.

#### **2.3.5 Áhættugrunnur vegna umframáhættu stórra skuldbindinga**

Sá hluti áhættuskuldbindinga einstaks viðskiptavinar ásamt fjárhagslega tengdum aðilum, sem er umfram 25% af eigin fé stofnunar. Taka verður tillit til þessa við útreikninga á áhættugrunni.

#### **2.3.6 Samantekt**

Samkvæmt því sem að ofan greinir eru viðskiptabankar og sparisjóðir skyldaðir til að reikna áhættugrunn sinn út frá ýmsum kennitölum og áhættuvogum. Hvorki er tekið tillit til þróunar verðs á ýmsum tegundum verðbréfa né samdreifni þeirra á milli. Ekki er heldur tekið tillit til þess hvort erlendum eignum innlendra lánastofnana er raðað upp eftir gengiskörfu eða þær skráðar í einum gjaldmiðli. Þetta getur leitt til þess að áhættugrunnurinn verður of stór þannig að eiginfjárþörf stofnananna er ofmetin skv. reglugerð bankaeftirlitsins.

---

### 3. Yfirlit um VH-greiningu

---

Áhættustjórnun er orðin nauðsynleg til að lifa af í heimi viðskiptanna á okkar dögum. En hvað er áhætta? Áður en talað er um áhættu verður að skilgreina hvað áhætta og ávöxtun eru. Eftirfarandi skilgreiningar eru yfirleitt notaðar:

- *Væntanleg ávöxtun* er skilgreind sem væntanlegar heildarbreytingar á markaðsvirði eignasafns meðan það endist.
- *Áhætta* er skilgreind sem breytileiki væntanlegrar ávöxtunar, yfirleitt sett fram sem staðalfrávik (e. *standard deviation*) ávöxtunar og þá taknuð með  $\sigma$ .

Talað er um áhættu sem stig óvissu um ávöxtun og verðmæti eigna í framtíðinni. Þessi óvissa tekur á sig ýmsar myndir og því búa þáttakendur á fjármálmörkuðum við margskonar óvissu. Þar má m.a. nefna:

- a) Lánaáhættu;  
Möguleiki á tapi vegna viðskiptaaðila sem stendur ekki við skuldbindingar sínar.
- b) Rekstraráhættu;  
Skapast vegna möguleika á villum í greiðslum og samningum.
- c) Óvissu um greiðsluhæfi;  
Óvissa sem skapast vegna illseljanlegra eigna.
- d) Markaðsáhættu;  
Skipta má henni í þrennt:
  - Vaxtaáhættu
  - Gjaldmiðlaáhættu
  - Eignaáhættu

Í þessari skýrslu mun markaðsáhætta aðallega verða skoðuð, en lítillega komið inn á aðra áhættuflokka.

Áður var einblínt á ávöxtun í stað áhættu og leiddi það oft til slælegra mælinga á frammistöðu eigna. Þetta hefur leitt til þess að þekking á áhættu

er enn á frumstigi. Nú er orðið alþekkt að eingöngu er hægt að ná hærri ávöxtun með því að taka meiri áhættu ef skynsemin ræður ferðinni. Sú aðferð sem er einna algengust í fjármálaheiminum nú á dögum til að mæla áhættu, nefnist VH-greining.

### 3.1 VH-greining

VH-greining er vinsælt umræðuefni á meðal þeirra sem stunda áhættustjórnun. Þótt fræðin sem liggja að baki VH-greiningu séu vel þekkt í háskólaheiminum, hefur reynst erfitt að hagnýta þau. Með útgáfu ráðgjafafyrirtækisins J.P. Morgans á riti um hvernig beita má VH-greiningu á hagnýtan hátt við áhættustjórnun, hefur verið gert kleift að beita markvissari áhættustjórnun innan lána- og fjármálastofnana en áður hefur þekkst (sjá nánari útfærslu í viðauka A). Petta má svo aftur rekja til þess að kostnaður við framkvæmdina er ordinn viðráðanlegur með nútímatölvutækni.

Megininnihald VH-greiningar er að skilgreina hæstu fjárhæð sem lánastofnun getur tapað, að vissu öryggisbili gefnu yfir ákveðið tímabil. Helsta röksemdin fyrir notkun á VH-greiningu er að nota má hana sem heildarmælikvarða á áhættu. VH-gildi fyrir eina eignastöðu er hægt að sameina í eignasafni VH-gilda eða í eitt VH-gildi fyrir lánastofnun. VH-líkön byggjast yfirleitt á þeirri forsendu að fortíðin sé góður mælikvarði á framtíðina. Þau er byggð í kringum tölfræðilegt mat á fylgni og flökti, með notkun á líkindadreifingu breytinga í virði eignastöðu fyrir ákveðinn eignarhaldstíma. Á milli lánastofnana er samt sem áður ekki samstarf um hvernig á að mynda þessar líkindadreifingar og er það ástæðan fyrir því að nokkur fyrirtæki hafa gefið út hugbúnað fyrir VH-greiningu sem er reistur á ólíkum forsendum um líkindadreifingu. Þekktustu lánastofnanirnar sem gefið hafa út hugbúnað til áhættustjórnunar með VH-greiningu eru t.d. J.P. Morgan bankinn og Chase Manhattan's Charisma bankinn, sem báðir eru í Bandaríkjunum.

Hér verður ekki fjallað um hvað býr að baki þeim forsendum sem ofangreindar fjármálastofnanir gefa sér um VH-greiningu heldur verður grunngerð VH-greiningar útskýrð. Til þess að setja upp áhættustjórnunarkerfi með VH-greiningu, þarf að þekkja uppbyggingu þess og hvaða aðferðafræði býr að baki VH-greiningar. Framkvæmd VH-greiningar má skipta í fjóra hluta: Skilgreining á því hvernig hún verður notuð, val á aðferðafræði, skilgreining á uppbyggingu gagnasafns og framkvæmd. Hér fyrir neðan er sýnt hvernig VH-greiningu er komið á skref fyrir skref.

Fyrsta skref <i>Skilgreining á því hvernig VH-greining verður notuð</i>	Annað skref <i>Val á aðferða- fræði við VH-greiningu.</i>	Priðja Skref <i>Skilgreining á grunngerð VH-greiningu.</i>	Fjórða skref <i>Framkvæmd</i>
Skilningur á VH-greiningu	Forsendur	Skilgreina eignasöfn	Tímalengd framkvæmdar
Þekkja hvernig henni er beitt	Val á aðferð	Ákveða stika (fylgni, flökt og áhættustig)	Þjálfa starfsfólk
Skilgreining markmiða		Safna gögnum	Skilningur á takmörkunum aðferðarinnar
		Próa kerfin og uppfæra áhættuumgerðina	Uppfæra áhættu- umgerðina og ganga úr skugga um nákvæmni útreikninga

### 3.1.1 Fyrsta skref: skilgreining á því hvernig VH-greining verður notuð

VH-greining er matsaðferð sem mælir vaxtaáhættu á samkvæman og nákvæman hátt. Aðferðafræðin byggist á notkun flökts eignastöðu yfir fram ákveðið tímabil við útreikning á mögulegu tapi innan ákveðinna öryggis-marka. Oft er miðað við 95% öryggismörk og er þá átt við að einn af hverjum tuttugu atburðum verður stærri en mögulegt tap.

Algengasta notkunin á VH-greiningu er mæling vaxtaáhættu yfir einn dag (eða stærra tímabil) við áhættustýringu. Í rökréttu framhaldi af því má setja takmörk á áhættu sem lánastofnun tekur. Fyrir þá sem sjá um áhættustjórnun innan lánastofnana, getur VH-greining því gefið tækifæri á að bæta áhættustjórnunina. Til þess að svo megi verða þarf að hugleiða stærð viðkomandi stofnunar, hvers konar eignir stofnunin stundar viðskipti með og þá um leið stærð og gerð áhættu.

### 3.1.2 Annað skref: val á aðferðafræði

Næsta skref við framkvæmd VH-greiningar er að skilgreina aðferðafræði fyrir útreikning áhættu. Mismunandi leiðir eru í boði og endanlegt val byggist á gerð eigna og þeim gögnum sem til eru. Mikilvægt er að setja fram mismun-

andi aðferðafræði fyrir VH-greiningu, því að undir flóknum kringumstæðum getur sveigjanleiki verið mikilvægur, eins og t.d. þegar verið er að meðhöndla afleiður.

VH-greining byggir á nokkrum forsendum um tölfræðilega eiginleika eignaverðs. Áður en viðeigandi aðferðafræði er valin, verður að athuga hversu vel forsendur VH-greiningar eiga við eignir viðkomandi lánastofnunar. Algengustu forsendur sem gerðar eru í VH-greiningu eru að dreifing útkomna sé stöðug yfir tíma, þ.e. ávöxtun og eignaverð séu normal- eða lognormal-dreifð og að engin fylgni sé á milli verðbreytinga. Í raun uppfyllir enginn markaður þessi skilyrði að fullu, en þau eru almennt talin gild. Á hinn bóginn er hægt að aðlaga VH-greiningu að nýjum forsendum ef markaðir víkja mikið frá þessum forsendum.

Við útreikning á virði eigna undir áhættu eru aðallega notaðar tvær aðferðir: Hermun (e. *simulation*) og dreifni/samdreifni-aðferðir (e. *variance/covariance*). Með hermun er reiknuð út hugsanleg verðbreyting sem verður á eignasafni þegar sama eignastaða er endurreiknuð mörgum sinnum með mismunandi markaðsgögnum. Söguleg hermun byggist á sögulegum markaðsgögnum frá fyrirfram ákveðnu tímabili. Monte Carlo hermun notar tölfræðilega aðferðafræði til þess að mynda grunn mögulegra markaðsstærða. Í báðum aðferðunum er eignasafnið endurmetið með markaðsgögnum (t.d. 10.000 sinnum) sem leiðir til þess að dreifing á breytingu markaðsstærða (ávöxtun eigna) fæst. Pessa dreifingu á ávöxtun eigna er síðan hægt að nota til að reikna út hugsanlegt tap eða gróða miðað við ákveðin öryggismörk.

Í hinni aðferðinni við að reikna út virði eigna undir áhættu dreifni/samdreifni eru notaðar tölfræðilegar upplýsingar um flökt og fylgni ávöxtunar við útreikning á eignaverði til þess að endurmeta eignasafn eða eignastöðu. Fylgni á milli ólíkra eigna er notuð til þess að mæla áhrif áhættu á eignastöðu vegna eigna í eignasafninu.

Hér fyrir neðan er tekið saman yfirlit um hvora aðferðafræðina fyrir sig.

### Dreifni/samldreifni

Á vel við eignir með auðreiknuðu sjóðsstreymi. Eins og t.d. gjaldeyrisinnistæður, eignir með fastan tekjustraum (zero coupon bonds) og skiptasamninga.

Flökt og fylgni er til fyrir helstu eignir á markaðinum, þ.e. ytri gögn, en erfitt er að meta eða reikna út þessar staerðir fyrir innri gögn.

Ekki er þörf á dýrum hugbúnaði.

Auðvelt að hafa yfirsýn yfir uppruna áhættu og prófa niðurstöður VH-greiningar.

Á aðeins við á normal mörkuðum.

Krefst sérhæfðs starfsmanns til útreikninga, viðhalds áhættukerfis og mats á niðurstöðum.

Útreikningar ódýrir.

### Hermun

Hægt að beita á allar tegundir fjármálaeigna, þar á meðal afleiður.

Krefst sögulegra markaðsgagna eða ákveðins eignaverðs.

Hugbúnaður er eingöngu til í þróuðum áhættustjórnunarkerfum.

Ekki hægt að skýra út á auðveldan hátt virði eigna undir áhættu, út frá uppruna áhættunnar.

Á við alla markaði.

Er ekki eins háð tölfræðilegri tækni eða sérhæfingu starfsmanna.

Kostnaður við útreikninga getur verið hár.

Sé markaðsverð eigna ekki þekkt verður að finna það með einhvers konar vörpun í punkta á vaxtaferli þekktrar eignar. Varpanirnar geta verið ólíkar eftir aðferðum og þegar eignir bera aðeins línulega áhættu er einfaldast að beita dreifni/samdreifni- aðferðinni. Nánar verður fjallað um varpanir í viðauka B. Dreifniaðferðin er yfirleitt notuð þegar um eignir er að ræða með auðreiknuðu sjóðsstreymi. Núvirtu sjóðsstreymi innri eigna er varpað yfir á punkta ytri eigna með þekktan vaxtaferil og VH-gildi eignarinnar er reiknað út frá þessum punktum (sbr. viðauka B). Þegar samband ávöxtunar og áhættu er ólínulegt, eins og þegar um afleiður er að ræða, er ekki hægt að nota línulegar aðferðir við mat á eignastöðu (sbr. viðauka A). Þá á hermunaraðferðin við og hefur J.P. Morgan bankinn sett fram aðferðafræði sem tekur á þessu vandamáli og heitir hún samsett Monte Carlo hermun (e. *structured Monte Carlo simulation*). Dæmi um verðlagningu eigna undir áhættu með ofangreindum aðferðum verður tekið síðar í skýrslunni.

### 3.1.3 Þriðja skref: grunngerð

Næsta skref er að þróa grunngerð (e. *infrastructure*) áhættustýringarkerfis. Grunngerð áhættustýringarkerfis sem byggist á VH-greiningu, er samsett af reikniaðferðum og kerfi til þess að ákvarða VH-gildi eignasafns.

Óháð því hvaða gerð VH-greiningar verður valinu þarf að varpa eignum í veltubók (lausafé) yfir í markaðsverð áður en áhættumat getur farið fram. Hvernig það er gert er háð gerð eigna í eignasafni. Til dæmis er hefðbundið, þegar dreifni/samdreifni- aðferdin er notuð, að brjóta vaxtastöður (t.d. skulda-bréf) upp í sjóðsstreymi og reikna út núvirði hvers greiðslustraums út frá vaxtaferli samskonar eigna og virði hvers greiðslustraums undir áhættu.

VH-greiningu er hægt að laga að þörfum hverrar lánastofnunar. Þær geta verið ólíkar og stjórnendur þeirra mis áhættusæknir. Val á áhættu (öryggisbil) er komið undir flökti, fylgni og eignarhaldstíma.

Skipulag gagnasöfnunar er mjög mikilvægt, því það er yfirleitt dýrasti hluti uppsetningar áhættustýringarkerfis. Erlendis hafa sérstök fyrirtæki séð um að útvega raðir yfir vaxtaferla ýmissa eigna í ólíkum gjaldmiðlum. Hér á landi yrði slíkt fyrirkomulag líklega ódýrasti kosturinn fyrir lánastofnanir. VH-greiningarkerfi er nú auðvelt að fá með flestum tölvukerfum sem lánastofnanir hafa haft aðgang að hingað til. Viðbótarfjárfesting lánastofnana við að koma á VH-greiningarkerfi snýr því að gagnasöfnun og þjálfun starfsfólks.

VH-greining er mjög góð aðferð til þess að greina það sem mun líklega gerast, en hlutverk stjórnenda áhættugreiningar er að skilja og geta útskýrt allt sem getur gerst. Samhliða VH-greiningarkerfi ætti því að notast við fullkomið kerfi sem prófar útkomur VH-greiningar, gefur upplýsingar um öfgakenndar hreyfingar á markaðinum og hægt er að nota til samanburðar á niðurstöðum VH-greiningar.

### 3.1.4 Fjórða skref: framkvæmd

Hámarksábata af notkun VH-greiningar er einungis hægt að ná þegar stjórnendur áhættustýringar hafa fengið innsýn í upplýsingar sem slík áhættustjórnun skilar. Í upphafi er því eðlilegt að nota gögn sem VH-greining skilar samhliða öðrum mælikvörðum á áhættu sem eru til staðar. Mikilvægt er að leita svara við mörgum spurningum sem vakna um aðferðafræðina og niðurstöður VH-greiningar. Útskýra þarf hvernig flökt og fylgni á milli ávöxtunar einstakra eigna er reiknuð út og bera niðurstöður VH-greiningar saman við raunverulegar markaðstölur. Með tímanum getur VH-greining þróast og orðið hentugt verkfæri lánastofnana til að greina áhættu. Á ákveðnum

tímapunkti eru aðrir áhættumælikvarðar teknir út og VH-greining verður helsta verkfæri áhættustýringar og þá um leið mælikvarði á áhættumörk.

Eins og áður hefur komið fram er nákvæmni mikilvæg við áhættumælingar. Með mælikvarða á áhættu sem er reistur á tölfraðilegum aðferðum, þarf að ganga úr skugga um, á reglubundinn hátt, að nákvæmni í útreikningum sé viðhaldið. Ekki er haegt eftir að bera niðurstöður VH-greiningar saman við markaðsgögn á daglegum grunni, vegna þess að eignastöður breytast yfirleitt yfir einn dag. Í staðinn eru teknar hreyfingar á markaðinum hvern dag, þeim breytt á eignastöður gærdagsins (sem eru notaðar til þess að reikna VH-gildi í lok viðskiptadags) og bornar saman niðurstöður þessara útreikninga við niðurstöður VH-greiningar. Annað hagnýtt próf er að reikna VH-gildi með mismunandi aðferðafræði, bera saman mismuninn á VH-gildunum og prófa hvaða aðferð skilar mestri nákvæmni.

VH-greining er að verða viðtekin aðferðafræði við mat á áhættu á fjármagnsmörkuðum. Mikilvægast er að með VH-greiningu gefst færir að útvíkka áhættstýringu í það að hámarka árangur við áhættustjórnun. Þegar slíkur árangur hefur náðst, gefst lánastofnunum tækifæri til að því t.d. hver tekur mestu áhættuna, hve mikið fjármagn er notað og hvar vaxtamöguleikarnir liggja. VH-greining er því tæki sem gefur lánastofnunum samkvæman mælikvarða á áhættu á mismunandi eignum og skuldum.

---

## 4. Dæmi um VH-greiningu

---

Hér verður tekið dæmi um hvernig beita má VH-greiningu á hagnýtan hátt við áhættumat. Til einföldunar er ekki tekið á vandamálum sem lúta að eignum þar sem markaðsverð er ekki þekkt. Dæmið er um línulega áhættu en í viðauka C er tekið dæmi um ólínulega áhættu. Eignasöfnin sem verða tekin til skoðunar samanstanda bæði af innlendum og erlendum eignum sem eru á markaðsvirði.

### 4.1 Línuleg áhætta

Þetta dæmi fjallar um ýmis eignasöfn. Unnið verður með hlutabréf í Flugleiðum (Flug), Microsoft (MSFT) og British Telecom (BT), einnig verður tekið 5 ára spariskírteini ríkissjóðs (SPRÍK) og gengi kr/£ og kr/>. Tafla 4.1 inniheldur yfirlit yfir flökt og fylgni þessa eignaverðs þann 28.03 1996. Á hornalínunni er spáð flökt,  $\sigma^2$ , þessa eignaverðs en fylgni,  $\rho$ , í hinum stökunum.

Fjárfestir stendur frammi fyrir því að fjárfesta í fjórum eignasöfnum. Hann hefur áhuga á að vita hvaða eignasafn hefur minnstu áhættuna eftir 25 virka verslunardaga, þ.e. hvaða upphæð er líklegt að tapist/græðist með 5% líkum eftir 25 virka verslunardaga.

Hér er dæmi um fjögur eignasöfn:

1. Hlutabréf í Flugleiðum og 5 ára spariskírteini ríkissjóðs.

Tafla 4.1: *Flökt og fylgni eignaverðs*

	Flug	SPRÍK	Kr/\$	Kr/£	MSFT	BT
Flug	2,912					
SPRÍK	0,104	0,004				
Kr/\$	0,241	0,179	0,057			
Kr/£	0,012	0,034	0,240	0,054		
MSFT	-0,126	0,145	-0,078	-0,016	4,420	
BT	-0,051	-0,345	0,134	0,0002	0,079	2,319

2. Hlutabréf í Flugleiðum, 5 ára spariskírteini ríkissjóðs og hlutabréf í Microsoft.
3. Hlutabréf í Flugleiðum, 5 ára spariskírteini ríkissjóðs og hlutabréf í British Telecom.
4. Hlutabréf í Flugleiðum, 5 ára spariskírteini ríkisjóðs, hlutabréf í Microsoft og hlutabréf í British Telecom.

Segjum að fjárfestirinn eigi 10.000.000 kr. og fjárfesti jafnt í sérhverri eign þann 28.03. Tafla 4.2 sýnir niðurstöðurnar.

Tafla 4.2: *VH-greining á eignasöfnunum, m.v. 5% líkur á hámarkstapi/gróða*

Áhætta eigna ef allt er fjárfest í: Ísl. kr.	Eignasafn	Eignasafn	Eignasafn	Eignasafn
	1	2	3	4
Flugleiðir	1.407.832	703.916	469.277	469.277
SPRÍK	54.875	27.438	18.292	18.292
Kr/\$	196.486		65.495	49.121
Kr/£	191.578			47.895
MSFT	1.734.492		578.164	433.623
BT	1.256.232			418.744
<b>VH-gildi</b>	<b>707.304</b>	<b>710.735</b>	<b>614.075</b>	<b>630.257</b>

Samkvæmt töflu 4.2 er VH-gildi lægst fyrir eignasafn 3 og því er áhættu minnst að fjárfesta í því eignasafni. VH-gildið er stærst fyrir eignasafn 2 og því er áhættusamast að fjárfesta í því. Hér hefur verið tekið dæmi um línulega áhættu en þegar áhættan er ólínuleg verða útreikningar mun flóknari, sbr. viðauka B og C. Einnig er markaðsverð allra eigna gefið en í raunveruleikanum þarf varpanir til að finna markaðsverð eigna og er það yfirleitt tímafrekasti og flóknasti hluti VH-greiningar.

## Viðauki A. Tæknileg útfærsla á VH-greiningu

Eins og áður hefur komið fram er VH-greining að verða vinsæl aðferð meðal erlendra banka og lánastofnana við áhættumat. Þetta er aðferð þar sem fjárfestirinn (lánastofnun) reynir að meta hve miklu hann getur hugsanlega tapað, á ákveðnu tímabili, með ákveðnum líkum, ef verðbreyting verður á markaði.

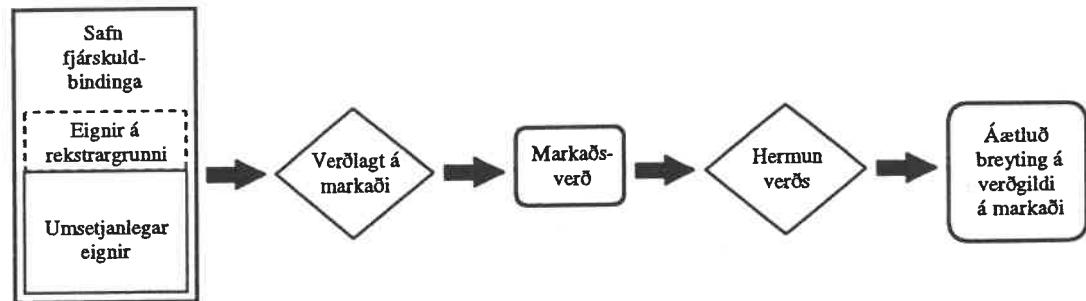
Upphaflega náði VH-greining aðeins til umsetjanlegra eigna en nú er farið að nota hana á allar eignir á fjármagnsmarkaði. Helstu kostir VH-greiningar eru í fyrsta lagi að allar eignir eru verðlagðar á markaðsverði án tillits til þess hvernig þær eru bókfærðar og ávöxtunar þeirra til skamms eða langs tíma. Í öðru lagi styðst hún við hermun til mun skemmtímaspár eru yfirleitt nákvæmari en langtímaspár.

Það eru tvö skref í VH-greiningu:

- *Mat*

Umsetjanlegar eignir eru verðlagðar skv. verði á eftirmarkaði. Til að verðleggja eignir sem ekki hafa markaðsverð er annaðhvort hægt að varpa eigninni í samsvarandi eignastöðu sem hefur verð (t.d. með sjóðsstreymi) eða brjóta eignina upp í hluta sem hægt er að versla með á eftirmarkaði.

Einu eignirnar sem ekki er hægt að verðleggja á þennan einfalda hátt eru afleiður. Til að verðleggja þær þarf einnig vænt flökt og fylgni



Mynd A.1: *VH-greining*

eignaverðs sem hafa áhrif á verðlagningu afleiðna auk líkans til að verðleggja þær.

- *Hermun*

Gengur út á að meta verðbreytingar sem stafa af væntum breytingum á eignaverði. Væntanlegar breytingar eru annaðhvort fengnar út frá völdum framtíðaráutkomum eða metnu flökti og fylgni.

Síðasta skrefið er svo að nota spárnar um markaðsverðið ásamt spáðu flökti og fylgni til þess að búa til besta eignasafnið. Í öllum þessum útreikningum gegna spár um flökt og fylgni eignaverðs lykilhlutverki í verðlagningu eigna undir áhættu.

## A.1 Áhætta í eignasöfnum

Eins og áður hefur komið fram byggist sú aðferðafræði sem kynnt er hér á því að reikna út hámarkstap sem getur orðið í eignasafni á ákveðnu tímabili með ákveðnum líkum. Mestu væntanlegu verðbreytingu (e. *adverse move*),  $X_a$ , má skilgreina sem daglega breytingu (upp eða niður) sem ekki er búist við að gerist oftar en í X% tilvika á tímabili. Ef miðað er við normaldreifingu og að mesta væntanlega verðbreyting verði í 10% tilvika, þá má skrifa þetta sem:

$$PROB(\mu - X_a, \mu + X_a) = 90\% \quad (\text{A.1})$$

Petta er hægt að leysa fyrir,  $X_a$ , þar sem  $\mu$  er meðaltal ávöxtunar eignaverðs:

$$X_a = 1,65\sigma \quad (\text{A.2})$$

Ef meðaltal ávöxtunar er núll, er mesta verðbreyting jafngild 1,65\*staðalfráviki, ef gert er ráð fyrir að dagleg ávöxtun sé skilyrt normaldreifð og miðað er við 90% öryggismörk.

VH-greining er nú notuð til að reikna út það hámarkstap á markaðsvirði eignar sem mögulegt er að verða fyrir þangað til hægt er að losna við hana. Skilgreiningin á þessu er eftirfarandi:

$$DEaR_X = MV_X * \delta * X_a \quad (\text{A.3})$$

þar sem  $MV_X$  er markaðsvirði<sup>1</sup> eignar,  $\delta$  er næmni eignar  $X$  fyrir verðbreytingum á markaðnum,  $X_a$  er mesta mögulega verðbreyting á dag og  $DEaR$  (e. *Daily Earnings at Risk*) áhætta til eins dags.

Ef um er að ræða eign sem ekki er hægt að losna við innan dags er hægt að reikna út hámarkstap eignar sem:

$$VH_X = DEaR_X * \sqrt{t} \quad (\text{A.4})$$

þar sem  $t$  er sá tími sem það tekur að losna við eignina.

Þessa nálgun er þó aðeins ráðlegt að gera í þeim tilvikum þegar um línulega áhættu er að ræða, sbr. dæmið í 4. kafla.

### A.1.1 Línuleg áhætta

Þegar um línulega áhættu er að ræða er einfaldlega hægt að nota jöfnu A.4 til að reikna út áhættu eignasafns sem inniheldur N eignir. Dagleg áhætta eignasafns er þá fundin út á eftirfarandi hátt:

$$VH_P = MV_P * 1,65 * \sqrt{\sum_{i=1}^N \alpha_i^2 \sigma_i^2 + 2 \sum_{i < j} \alpha_i \alpha_j \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j} \quad (\text{A.5})$$

Ef eignasöfn innihalda afleiður verður áhætta eignasafna ólínuleg og jafna A.5 ónothæf.

### A.1.2 Ólínuleg áhætta

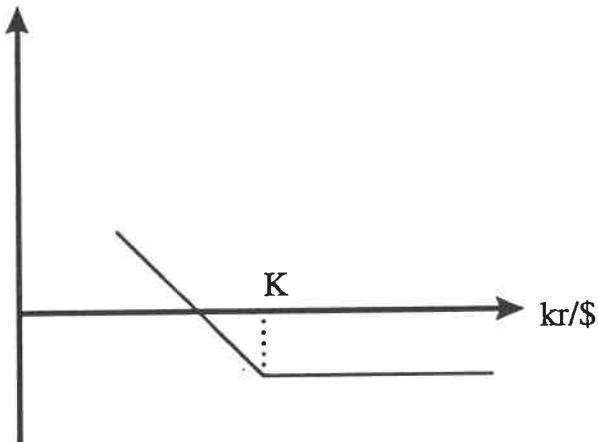
Í þessu tilviki er nauðsynlegt að bera saman verð eignar í upphaflegri stöðu sinni við stöðu hennar núna. Þessi aðferð kallast heildaraðferð. Í þessu tilviki þarf að vita eignaverðið sjálft ekki breytingar á því. Ein leið til að gera þetta er að nota samsetta Monte Carlo hermun (e. *Structured Monte Carlo Simulation*). En hvers vegna skapast þessi ólínulega áhætta? Segjum að íslenskur fjárfestir kaupi bandarísk hlutabréf. Þessi einstaklingur tekur tvenns konar áhættu þ.e gengisáhættu og áhættu vegna mögulegra verðbreytinga á hlutabréfunum. Enn þá er um línulega áhættu að ræða og því hægt að nota jöfnu A.5. Til þess að verja sig gegn gengisáhættu kaupir þessi einstaklingur

---

<sup>1</sup>Þegar eign hefur ekki markaðsverð er hægt að finna markaðsverðið með því að varpa eigninni í hliðstæða eign sem hefur markaðsverð.

vilnun (rétt til að selja dollara fyrir ákveðna krónutölu). Nú er um ólínulega áhættu að ræða og ekki hægt að nota jöfnu A.5. Ástæðan fyrir þessu er að nú er næmni eignaverðs fyrir breytingum í verði annarra eigna ekki lengur línu-leg. Þetta sést kannski best ef litið er á útborgunarferli (e. *payout scheme*) vilnunarinnar (sjá mynd A.2).

Hagnaður af vilnun



Mynd A.2: *Útborgunarferli vilnunar* (e. *put option*)

Segjum að vilnunin hljóði upp á að einstaklingurinn fái 70 kr. fyrir hvern dollara (punktur K). Á meðan gengið er hærra en 70 kr/\$ hagnast einstaklingurinn ekkert á að notfæra sér vilnunina heldur er hann í tapi sem nemur kaupverði vilnunarinnar. Um leið og gengið lækkar (gengishækkun) og verður lægra en 70 kr/\$ borgar sig fyrir einstaklinginn að notfæra sér vilnunina og hagnaður hans eykst eftir því sem gengið verður lægra. Þetta er ástæðan fyrir ólínulegu áhættunni.

Ef menn eru búir að koma sér upp flökti og fylgni allra eigna sem eru í eignasafni eru fjögur skref í samsettri Monte Carlo hermun:

1. Þátta samdreifnifylkið (e. *covariance matrix*)  $\Sigma$  með Cholesky-þáttun. Út úr þessu fæst fylkið  $A$  sem hefur eiginleikana  $\Sigma = A'A$ .
2. Búa til  $X$ , sem er samsett af margviðum slembibreytum sem eru normal-dreifðar  $MVN(0, I)$ .
3. Ávöxtun er reiknuð út með  $Y = A'X$  þar sem  $Y$  er  $MVN(0, I)$ .
4. Að lokum er verðið reiknað út  $Z = F * e^Y$ .  $F$  er vektor sem inniheldur vænt framtíðarverð.

Hér að framan hefur verið rakið í stuttu tæknilegu máli hvernig VH-greining virkar. VH-greining gengur út á að taka eignir úr rekstrargrunni eignasafns og færa það til markaðsvirðis (e. *mapping*). Tilgangurinn með þessu er að reikna út eignaverð undir áhættu. Hvernig það er gert er komið undir samsetningu eignasafns.

---

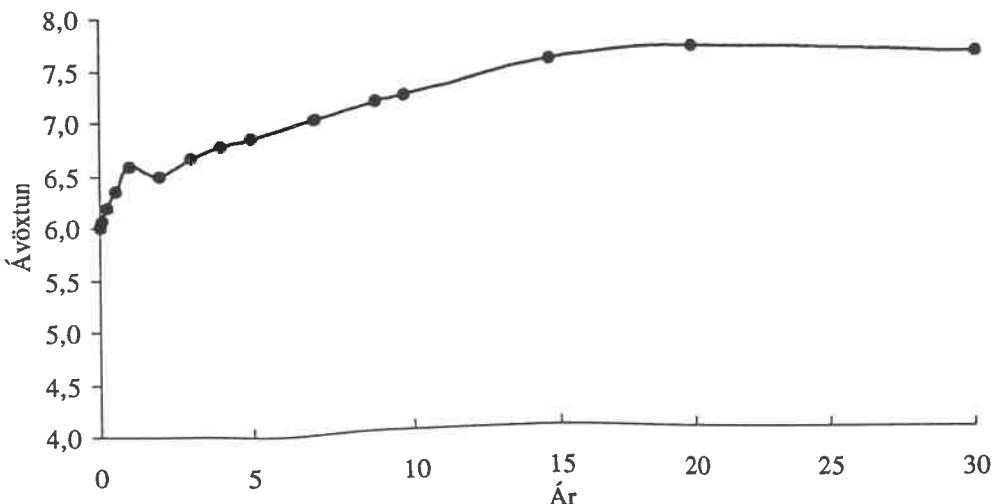
## Viðauki B. Vörpun

---

Hvort sem valin er flökt/fylgni-aðferð eða hermunaraðferð er nauðsynlegt að varpa virði raunverulegs eignasafns yfir á staðlað form. Hér verður stuttlega kynnt hvernig vörpun er framkvæmd í flökt/fylgni-aðferðinni. Ætla mætti að til þess að reikna VH-gildi með flökt/fylgni-aðferð væri nauðsynlegt að mat á flökti og fylgni fyrir hverja eign í eignasafninu lægi fyrir. Þar sem eignasöfn lánastofnana eru flest stór með fjölbreyttum eignum er þetta nær óframkvæmanlegt og mjög óhagkvæmt. Því er nauðsynlegt að einfalda greininguna með því að flokka eignir með ákveðnum hætti og þróa aðferð til að varpa raunverulegum eignum í flokka staðlaðra eigna.

Hagfræðistofnun leggur til að við vörpun á eignasöfnum íslenskra lánastofnana verði stuðst við VH-greiningaraðferðina sem þróuð hefur verið af fyrirtækini J.P. Morgan. Hún er í grunnatriðum einföld útgáfa af VH-greiningu, hugsuð til notkunar fyrir fjármálastofnanir sem fjárfesta í margs konar eignum, s.s. skuldabréfum, hlutabréfum og afleiðum í margs konar gjaldmiðlum. Nauðsynlegt er að einfalda greininguna talsvert til að hægt sé að taka margs konar eignir í mörgum gjaldmiðlum inn í VH-útreikninga. J.P. Morgan gefur út spár um flökt og fylgni mörg hundruð eignaflokka í yfir 20 löndum. Einnig birta þeir mat á ávöxtunarkröfu hvers eignarflokks. Eignum er skipt í flokka eftir gildistíma (e. *maturity*), gjaldmiðli og áhaettuflokki. Til að unnt sé að taka tillit til gildistíma eigna er nauðsynlegt að fyrir liggi mat á vaxtaferli (e. *yield curve*). Þar sem reikna þarf ávöxtun, flökt og fylgni eigna með mismunandi gildistíma gagnvart öðrum eignum og sams konar eignum með annan gildistíma verður að notast við nokkra punkta á vaxtaferlinum og nota nálgunaraðferðir til að meta flökt og fylgni eigna sem hafa gildistíma sem fellur ekki nákvæmlega að þessum punktum.

Vörpunin er þannig framkvæmd að settur er fram greiðslustraumur fyrir hverja eign, eða safn sams konar eigna. Með línulegri nálgun er ávöxtun og flökt ávöxtunar á hverjum tíma reiknað út miðað við gildi á þeim punktum vaxtaferilsins sem metnir hafa verið. Því næst er flökt núvirtrar greiðslu reiknað út frá flökti í þeim punktum vaxtaferilsins sem metnir hafa verið. Loks er hægt að reikna VH-gildi fyrir hverja núvært greiðslu og með samviksfylkinu er auðvelt að reikna VH-gildi eignarinnar. Í eignasafni með mörgum ólíkum verðbréfum er sama aðferð notuð, þ.e. búinn er til



Mynd B.1: Dæmi um vaxtakúrfu

væntur núvirtur greiðslustraumur eignasafnsins. Greiðslustraumnum er því næst varpað yfir á þá þá punkta á vaxtaferlinum sem metnir hafa verið. Með samviksfylkinu er svo hægt að reikna út VH-gildið. Þessi lýsing hér á undan á við um eignir sem bera vexti, t.d. skuldabréf hvers konar. Sama grundvallaraðferð er notuð við hvers konar eignir, s.s. erlenda gjaldmiðla, línulegar afleiður, hlutabréf o.s.frv. Undantekning frá þessu eru ólínulegar afleiður eins og vilnanir (e. *options*). Ef ólínulegar afleiður eru fyrirferðamiklar í eignasafninu er nauðsynlegt að nota hermunaraðferð við að reikna VH-gildi annaðhvort fyrir eignasafnið í heild, eða aðeins eignasafn ólínulegra afleiða.

Til að skýra betur hvernig vörpun er framkvæmd skulum við skoða einfalt dæmi um eignasafn sem í eru tvö verðbréf, ríkisvíxill með gjalddaga eftir 5 mánuði og ríkisbréf með gjalddaga eftir 16 mánuði. Fyrsta skrefið er að færa þessi bréf yfir á tekjustraum. Í tekjustraumi þessa eignasafns eru aðeins tvær greiðslur, þ.e. 100 milljónir 2. febrúar 1997 þegar víxillinn er greiddur og svo 110 milljónir 2. janúar 1998 þegar ríkisbréfið er greitt ásamt vöxtum. Gerum ráð fyrir að fyrir liggi mat á vaxtaferli öruggs innlends verðbréfs, flökt ávöxtunar og fylgni ávöxtunar í mismunandi punktum vaxtaferilsins. Dæmi um svona upplýsingar eru í töflu B.1 og samsvarandi vaxtaferill sést á mynd B.1.

Varpa þarf greiðslustraumi eignasafnsins yfir á þessa metnu punkta samkvæmt

Tafla B.1: *Upplýsingar um eiginleika staðlaðra eigna*

<i>Tímabil vaxtaferils</i>	<i>1 dag.</i>	<i>1 vika</i>	<i>1 m.</i>	<i>3 m.</i>	<i>6 m.</i>	<i>12 m.</i>	<i>2 ár</i>
<i>Punktar vaxtaferils</i>	0.003	0.02	0.08	0.25	0.50	1.00	2.00
<i>Flökt ávöxtunar</i>	1.491	1.133	0.476	0.493	0.739	1.123	1.323
<i>Ávöxtun</i>	6.00	6.02	6.06	6.19	6.34	6.59	6.49
<i>Flökt vers</i>	0.000	0.001	0.002	0.008	0.022	0.068	0.157

*Fylgnifylki*

<i>1 dag.</i>	1.00	0.99	0.18	0.09	0.13	0.03	0.11
<i>1 vika</i>	0.99	1.00	0.28	0.15	0.18	0.07	0.13
<i>1 m.</i>	0.18	0.28	1.00	0.59	0.51	0.24	0.21
<i>3 m.</i>	0.09	0.15	0.59	1.00	0.74	0.53	0.39
<i>6 m.</i>	0.13	0.18	0.51	0.74	1.00	0.66	0.60
<i>12 m.</i>	0.03	0.07	0.24	0.53	0.66	1.00	0.85
<i>2 ár</i>	0.11	0.13	0.21	0.39	0.60	0.85	1.00

Tafla B.2: *Vörpun einfalds eignasafns*

Dags.	Straumur	Tímab.	Ávöxtun	NV	Flökt	Núvirði í matspunktum				
						3 m.	6 m.	12 m.	2 ár	
2. feb. 97	100.000	0,42	6,29	97.430	0,0164	34.879	62.551			
2. jan 98	110.000	1,33	6,56	101.061	0,0977			63.121	37.940	
						Samtals	34.879	62.551	63.121	37.940
						VH	2,79	13,76	42,92	59,57

aðferðinni sem lýst var hér að ofan. Tafla B.2 sýnir nánar hvernig þetta er gert.

Nánar er fjallað um útreikning á VH-gildi hér að framan en niðurstaðan er birt í töflu B.3.

Hagfræðistofnun leggur til að í fyrstu verði þróuð VII-aðferð til að reikna daglegt VH-gildi fyrir veltubók lánastofnana. Við fyrstu athugun virðist aðferð J.P. Morgan's henta vel, en það þarf þó að rannsaka nánar. Þó að

Tafla B.3: *Niðurstaða VH-útreikninga*

<i>VH-gildi eignasafnsins</i>	110
<i>Markaðsvirði</i>	198.490
<i>Hlutfall af markaðsvirði</i>	0,06%

veltubók sé aðeins lítill hluti eigna lánastofnana, er samanlögð eign lánastofnana í markaðsverðbréfum, svo eitthvað sé nefnt, mæld í tugum milljarða króna. Ef vel tekst til er rétt að vinna að því að framkvæma VH-greiningu fyrir allar eignir og skuldbindingar lánastofnana. Hefðbundin VH-greining metur aðeins vaxta- og gengisáhættu en hægt er að aðlaga greininguna þannig að hún taki einnig tillit til greiðsluáhættu (e. *default risk*).

## Viðauki C. Dæmi um ólínulega áhættu

Tökum dæmi um íslenskan fjárfesti sem kaupir hlutabréf í Microsoft þann 13.05 1996. Hann kaupir 5.000 hlutabréf á genginu 118,625. Gengi kr/\$ þann 13.05 er 67,24. Heildareignin þann 13.05 er því 39.881.725 kr.

Til að baktryggja sig fyrir gengishækkun kaupir einstaklingurinn vilnun þar sem honum er gert kleift að selja 100.000 dollara á genginu 67,24 (í þessu dæmi er ekki gert ráð fyrir að vilnunin kosti neitt, en auðvelt er að bæta úr því t.d. með Black-Scholes formúlunni).

Spurningin er því: Hvaða upphæð er líklegt að eigandinn tapi/græði með 5% líkum eftir 25 daga. Útreikningarnir eru byggðir á samsettri Monte Carlo hermun og eru eftirfarandi:

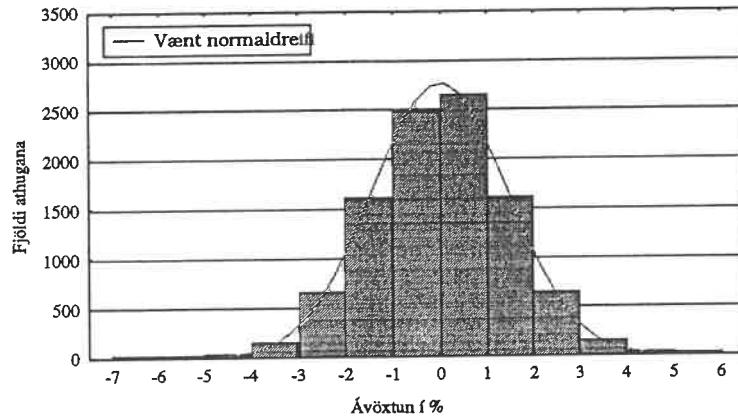
- Reikna út samdreifnifylki (e. *covariance matrix*) fyrir þessar tvær stærðir. Samdreifnifylkið er eftirfarandi:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 0,083 & 0,145 \\ 0,145 & 2,720 \end{bmatrix}$$

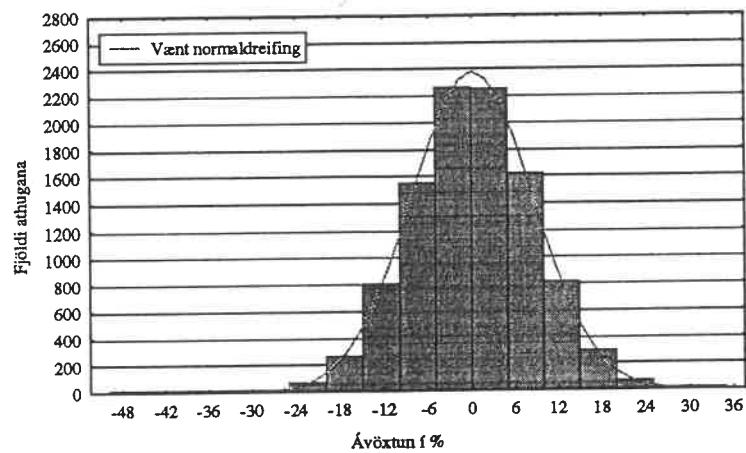
Cholesky-þátta samdreifnifylkið til að fá staðalfrávik ávöxtunar:

$$\Sigma = A'A = \begin{bmatrix} 0,288 & 0 \\ 0,502 & 1,571 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,288 & 0,502 \\ 0 & 1,571 \end{bmatrix}$$

- Næsta skref er að búa til  $10.000^*2$  fylki af slembitölum með meðaltal 0 og dreifni 1 þ.e.  $N(0,1)$ , köllum það  $X$ .
- Bíum til fylki  $Y$  sem inniheldur lognormal ávöxtun,  $Y = XA$ .  $Y$  er  $10.000^*2$  að stærð. Athugið að báðir dálkarnir í  $Y$  er dreifðir  $MVN(0, \Sigma)$ . Þar sem verið er að athuga ávöxtunina eftir 25 virka verslunardaga verður að margfalda  $Y$  með  $\sqrt{25}$ , þ.e. beitt er kvaðrat-tímareglunni. Á myndum C.1 og C.2 má sjá dreifingu á hermdri ávöxtun eignanna.
- Næst er að búa til fylki  $Z$  sem er fylki lognormal verðs. Í þessu dæmi er gert ráð fyrir að framtíðargengi kr/\$ sé 67,24 og framtíðargengi



Mynd C.1: Hermd dreifing ávöxtunar kr/\$



Mynd C.2: Hermd dreifing ávöxtunar hlutabréfa í Microsoft

Tafla C.1: Eignastaða eftir 25 daga skv. samsettri Monte Carlo hermun

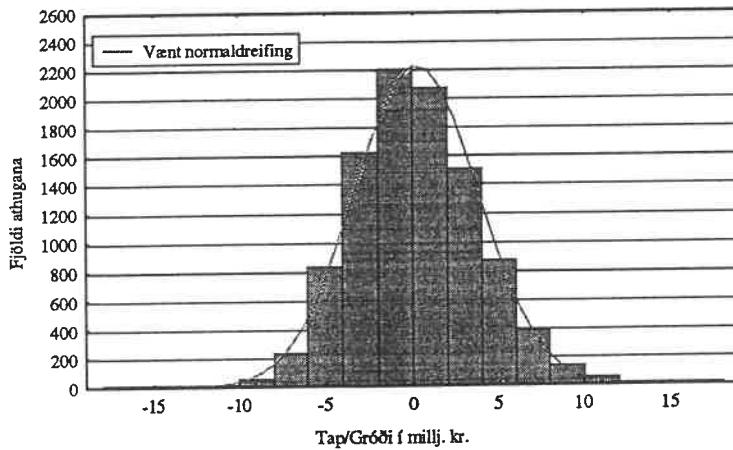
	Ávöxtun		Gengi		Eign	Vilnun	Heildareign	Tap/gróði
	kr/\$	MSFT	kr/\$	MSFT	M.kr..	M.kr.	M.kr.	M.kr.
1	1,48%	-2,57%	68,24	115,62	39,45	0	39,45	-0,43
2	-0,77%	-12,66%	66,72	104,52	34,87	0,05	34,92	-4,96
3	0,19%	-3,72%	67,37	114,30	38,50	0	38,50	-1,38
4	-0,89%	-11,68%	66,64	105,55	35,17	0,06	35,23	-4,65
5	-1,47%	-2,56%	66,26	115,62	38,31	0,10	38,40	-1,48

hlutabréfa í Microsoft sé 118,625. Köllum þennan vektor  $F$ . Fylkið  $Z$  er þá reiknað sem:

$$Z = F * e^{5*Y}$$

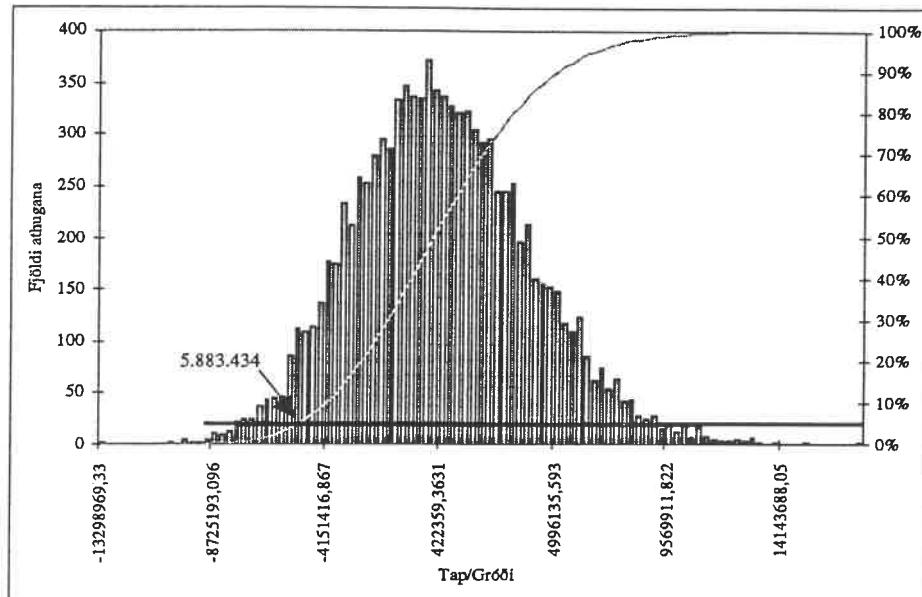
Lokaskrefið er að bera saman eignastöðuna í upphafi við eignastöðuna í lokin og reikna út þá upphæð sem tapast/græðist með 5% líkum. Tafla C.1 sýnir útreikninga fyrir 5 fyrstu mögulegar útkomur (af 10.000) á eignastöðu eftir 25 daga.

Á mynd C.3 sést dreifing taps/gróða miðað við að vilnun hafi verið keypt.



Mynd C.3: Dreifing taps/gróða

Nú er hægt að finna þá upphæð sem tapast með 5% líkum. Hún er **5.883.434 kr.** Þetta er einnig auðvelt að sjá á uppsöfnuðu tíðnigrafi (e. *cumulative distribution graph*) sem er á mynd C.4.



Mynd C.4: *Uppsaflnað tilðnigraf*

Ekki má þó gleyma því að í dæminu kostaði vilnunin ekki neitt. Þegar verðið á hana er komið verður að bæta því við þá upphæð sem var fundin hér að ofan, þannig að líklegt tap, í 5% tilvika, er meira en hér kemur fram.