



Notkun raunvilkna við val á þróunarverkefnum

Snorri Sigurðsson



Iðnaðarverkfræði-, vélaverkfræði-
og tölvunarfræðideild
Háskóli Íslands

Notkun raunvilkana við val á þróunarverkefnum

Snorri Sigurðsson

30 eininga ritgerð sem er hluti af
Magister Scientiarum gráðu í iðnaðarverkfræði

Leiðbeinandi
Rögnvaldur Jóhann Sæmundsson

Prófdómari
Sverrir Ólafsson

Iðnaðarverkfræði-, vélaverkfræði- og tölvunarfræðideild
Verkfræði- og náttúruvísindasvið
Háskóli Íslands
Reykjavík, septembermánuður 2017

Notkun raunvlnana við val á þróunarverkefnum
30 eininga ritgerð sem er hluti af *Magister Scientiarum* gráðu í iðnaðarverkfræði

Höfundarréttur © 2017 Snorri Sigurðsson
Öll réttindi áskilin

Iðnaðarverkfræði-, vélaverkfræði- og tölvunarfræðideild
Verkfræði- og náttúruvísindasvið
Háskóli Íslands
Hjarðarhagi 2-6
107 Reykjavík

Sími: 525 4600

Skráningarupplýsingar:
Snorri Sigurðsson, 2017, *Notkun raunvlnana við val á þróunarverkefnum*, meistararitgerð,
Iðnaðarverkfræði-, vélaverkfræði- og tölvunarfræðideild, Háskóli Íslands, XX bls.

Prentun: Háskólaprent
Reykjavík, septembermánuður 2017

Útdráttur

Fyrirtæki sem stunda rannsóknir og þróun þurfa oft að velja á milli verkefna til þess að verja fjármagni sínu í, enda byggir afkoma þeirra á niðurstöðu verkefnanna. Erfitt getur verið að bera saman mismunandi verkefni á samanburðarhæfan hátt.

Bornar voru saman tvær aðferðir til þess að meta verkefni og bestunarlíkan var notað til að velja verkefnasafn. Unnið var í samstarfi við stoðtækjafyrirtækið Össur hf. Aðferðirnar eru núvirðisaðferð (e. net present value) og raunvilnunar aðferð (e. real options valuation). Núvirðisaðferðin er sú aðferð sem Össur notar. Aðferðin núvirðir áætlað greiðsluflæði verkefnis með ákveðinni ávöxtunarkröfu. Aðferðin á erfitt með að meta verkefni af mismunandi lengd og óvissu. Raunvilnunar aðferðin tekur hins vegar betur tillit til óvissu í sínum útreikningum, bæði tæknilega og markaðsóvissu. Aðferðin byggir útreikninga sína á fjármálaválréttum þar sem reiknað er út virði þess að komast áfram í næsta hluta verkefnis. Helsti munur aðferðanna er sá að með núvirðisaðferðinni er tekin ákvörðun um allt verkefnið í upphafi en með raunvilnunar aðferðinni er tekin ný ákvörðun þegar nýjar upplýsingar berast.

Verkefnið leiddi í ljós að mikil tækifæri geta verið fólgin í raunvilnunar aðferðinni. Aðferðin valdi áhættusamari verkefni sem skiluðu meiri tekjum til langs tíma. Þrátt fyrir þessi tækifæri þarf hins vegar að prófa aðferðina vel áður en hægt er að nota hana af meira öryggi. Erfitt getur verið að meta breytur líkansins og þá sérstaklega þegar verið er að framleiða nýjar vörur, vörur sem ekki hafa verið framleiddar áður.

Abstract

Companies in research and development often have to choose between projects to utilize their resources, as their profits are based on the selection. It can be difficult to evaluate different projects in a comparable way.

Two methods were compared to evaluate development projects and a selection model was used to select the portfolio of projects. The thesis was in collaboration with the orthopedics company Össur Ltd. The methods are net present valuation (NPV) and real option valuation (ROV). NPV is the method that Össur is currently using. The method discounts the cash flow with a certain yield. It is difficult to evaluate projects of different length and uncertainty with NPV. However, ROV can manage uncertainty in a better way, both technical and market uncertainty. Real option valuation calculations are based on financial options and it calculates how valuable it is to get to the next period in the project. The main difference between the methods is that NPV uses the data from today to evaluate projects but ROV can use data that develops during the project time to take new decisions.

The results showed that there are opportunities in the ROV method. Real option valuation method selected more uncertain projects that generated higher revenue in the long term. Despite these opportunities, the method needs to be tested thoroughly before it can be used with more confidence. It may be difficult to evaluate the model variables, especially when producing new products that have not been manufactured before.

Efnisyfirlit

Myndir	x
Töflur	xi
Þakkir	xii
1 Inngangur	1
2 Val á rannsóknar- og þróunarverkefnum	5
2.1 Hagrænt mat á verkefnum	6
2.2 Raunvilnanir	8
2.2.1 Tegundir valréttta	9
2.2.2 Verðmat valréttta	10
2.3 Bestunarlíkön til að velja verkefni	17
2.4 Samantekt	17
3 Aðferðafræði.....	18
3.1 Verðmat stakra verkefna	18
3.2 Verkefnasafn valið	21
3.3 Samantekt	23
4 Niðurstöður.....	24
4.1 Verðmat stakra verkefna	24
4.2 Verkefnasafn valið	25
4.3 Samantekt	28
5 Umræða.....	29
6 Ályktun	31
Heimildir	33

Myndir

- Mynd 1: Myndin sýnir allar helstu stærðir í NPV jöfnunni þar sem C_0 er upphafleg fjárfesting í verkefninu og C er framtíðar greiðsluflæði verkefnis (bæði jákvætt og neikvætt). T er lokatíminn sem notaður er til þess að reikna núvirði verkefnis..... 7
- Mynd 2: Myndin sýnir allar helstu stærðir í Black-Scholes jöfnunni (2) þar sem I táknar fjárfestingakostnað á hverju tímabili, C er greiðsluflæði tekna á hverju tímabili og V_0 eru núvirtar tekjur verkefnis. t_1 er tími til gjalddaga valréttarins og T er lokatíminn sem notaður er til þess að reikna virði verkefnis. 12
- Mynd 3: Myndin sýnir allar helstu stærðir í Geske jöfnunni (3) þar sem I táknar fjárfestingakostnað á hverju tímabili, C er greiðsluflæði tekna á hverju tímabili og V_0 eru núvirtar tekjur verkefnis. t_1 er er tími til gjalddaga samsetta valréttarins, t_2 er tími til gjalddaga á undirliggjandi valrétti og T er lokatíminn sem notaður er til þess að reikna virði verkefnis. 14
- Mynd 4: Myndin sýnir allar helstu stærðir í almennu jöfnunni (4) fyrir n -samsetta valrétti þar sem I táknar fjárfestingakostnað á hverju tímabili, C er greiðsluflæði tekna á hverju tímabili og V_0 eru núvirtar tekjur verkefnis. t_1 er er tími til gjalddaga samsetta valréttarins, t_m er tími til gjalddaga á undirliggjandi valrétti og T er lokatíminn sem notaður er til þess að reikna virði verkefnis..... 16
- Mynd 5: Myndin sýnir fjórar gerðir af verkefnum og tengsl þeirra við markaðs- og tæknióvissu..... 19
- Mynd 6: Fjöldi valinna verkefna úr 100 verkefna safni með ROV og NPV aðferðunum. Skipting verkefna var að 70% verkefna voru stutt, 15% meðallöng, 10% löng og 5% framtíðar verkefni. Líkanið var keyrt tíu sinnum, NPV líkanið valdi alltaf sama safnið en í ROV líkaninu var breytileiki í stuttum og meðallöngum verkefnum eins og vikmörkin sýna..... 25
- Mynd 7: Fjöldi valinna verkefna úr 100 verkefna safni með ROV og NPV aðferðunum. Skipting verkefna var að 35% verkefna voru stutt, 30% meðallöng, 20% löng og 15% framtíðar verkefni. 26

Töflur

Tafla 1: Dæmigerðar tölur fyrir fjórar gerðir verkefna sem notaðar eru í líkaninu. Tíminn í töflunni er vörupróunartíminn.	20
Tafla 2: Taflan sýnir samanburð á virði allra verkefnagerða reiknað með núvirðis og raunviltununar aðferðunum. Allar tölur eru í dollurum.	24
Tafla 3: Taflan sýnir virði valréttar þegar sama verkefninu er skipt upp í fleiri tímabil. C er virði valréttar og I_1 er fjárfestingarkostnaður á fyrsta tímabili verkefnis. Tölurnar í töflunni eru í dollurum.	25
Tafla 4: Í töflunni má sjá hverjar tekjur aðferðanna tveggja eru og hver munurinn á þeim er. Tölurnar í töflunni eru í milljónum dollara.	27
Tafla 5: Taflan sýnir hvernig verkefnasafnið sem valið er breytist með breyttum tekjum.	27

Þakkir

Þetta verkefni var unnið undir leiðsögn Rögnvaldar Jóhanns Sæmundssonar, dósent við Iðnaðarverkfræði-, vélaverkfræði og tölvunarfræðideild Háskóla Íslands, og fær hann mínar bestu þakkir fyrir fræðilega leiðsögn og stuðning. Einnig vil ég þakka Ásu Lúðvíksdóttur, framkvæmdastjóra rannsókna og þróunar hjá Össuri, fyrir veitta aðstoð við verkefnið.

1 Inngangur

Fyrirtæki sem stunda rannsóknir og þróun (R&D) þurfa oft að velja á milli verkefna. Þetta val er afar mikilvægt þar sem afkoma þeirra byggist á hvaða verkefni ráðist er í. Stjórnendur þurfa gott verkfæri til þess að forgangsraða verkefnum og velja besta verkefnasafn sem mögulegt er fyrir sitt fyrirtæki. Að velja gott verkefnasafn úr fjölda verkefna er ekki nýtt vandamál og hafa fræðimenn og fyrirtæki glímt við það frá árinu 1950 (Brunner et al, 2008). Að velja gott verkefnasafn er hins vegar orðið enn mikilvægara en það hefur áður verið þar sem alþjóðleg samkeppni fyrirtækja hefur aukist með aukinni hnattvæðingu. Margar aðferðir hafa verið þróaðar til þess að reyna að leysa þetta verkefni en flestar hafa þær einhverjar takmarkanir. Val á R&D verkefnum er hægt að skipta upp í tvo hluta. Fyrri hlutinn snýst um að verðmeta stök verkefni með viðeignadi aðferð og seinni hlutinn felst í að velja besta verkefnasafnið út frá markmiðum fyrirtækisins (Baker og Freeland, 1975). Þessir tveir hlutar eru skyldir en það er mikill munur á vallíkönnum sem skoða virði stakra verkefna og þeirra sem horfa á heildarmyndina.

Eitt fyrirtæki sem hefur glímt við þetta vandamál er Össur hf. Fyrirtækið var stofnað á Íslandi árið 1973, varð fljótt alþjóðlegt fyrirtæki á heilbrigðissviði og er nú með starfsemi í 20 löndum. Fyrirtækið hagnar og framleiðir stoðtæki, spelkur og stuðningsvörur til þess að bæta hreyfanleika fólks. Össur notast við núvirðis (e. net present value, NPV) vallíkan og er sú aðferð ein sú þekktasta þegar kemur að því að meta hvort fjárfesta eigi í verkefnum (Copeland og Antikarov, 2001). Með aðferðinni er framtíðar greiðsluflæði verkefnis núvirt miðað við ákveðna ávöxtunarkröfu. Þau verkefni sem hafa hæsta núvirta virðið eru valin. Verkefni sem valin eru hjá Össuri þurfa einnig að fara í gegnum ákveðin hlið á vörubrúnotartímanum til þess að halda áfram í þróun. Í hliðunum er virði verkefnisins endurmetið og ný ákvörðun tekin um, hvort það eigi að halda áfram eða hætta við verkefnið. Flest verkefni sem lagt er af stað með fara hins vegar í gegnum öll hliðin (Ása Lúðvíksdóttir, munnleg heimild, 19. janúar 2017).

Vandamálið sem Össur glímir við er að NPV aðferðin gerir þeim erfitt fyrir að bera saman stór og lítil verkefni með mismikla óvissu á samanburðarhæfan hátt. Verkefnin sem þarf að velja á milli eru jafn ólík eins og þau eru mörg. Þau eru misstór að umfangi, taka mismikinn

tíma og hafa breytilega óvissu, bæði markaðsóvissu og tæknilega óvissu. Markaðsóvissan segir til um hvernig varan á eftir að seljast og tæknióvissan segir til um hvort verkefnið sé tæknilega framkvæmanlegt. Óvissa verkefna minnkar yfirleitt þegar líður á þróunartíma þeirra þar sem nýjar upplýsingar geta borist og varpað ljósi á óvissuþættina.

Með NPV aðferð Össurar verða tekjur löngu verkefnanna litlar þar sem þær eru núvirtar með hárrí ávöxtunarkröfu og eru því sjaldan valin. Há ávöxtunarkrafa er notuð til þess að reyna að meta óvissuna þar sem löng verkefni hafa að öllu jöfnu meiri óvissu heldur en stutt. Löng og stór verkefni eru því síður valin og þarf að meta þau sérstaklega. Stjórnendur taka ákvörðun um hvort eigi að ráðast í slík verkefni þrátt fyrir niðurstöðu NPV líkansins. Stundum eru valin taktískt mikilvæg verkefni þó svo að þau komi ekki jafn vel út og önnur verkefni í NPV líkaninu. Þessi taktísku verkefni eru til dæmis hluti af vörulínu sem er í framleiðslu og auka þannig seljanleika annara vara. Þegar verkefni, stór og smá eru valin með sitthvorri aðferðinni eru mögulega töpuð tækifæri í húfi þar sem löng verkefni eru oft vanmetin (Feinstein og Lander, 2002). Stóru verkefni geta verið mjög arðbær og því er um umtalsverðar tekjur að ræða þegar stór verkefni heppnast vel.

Í þessari ritgerð verður athugað hvort raunvildunar aðferðin (e. real option valuation, ROV) sé betur til þess fallin að meta verkefni Össurar heldur en NPV aðferðin. Raunvildunar aðferðin byggir á fjármálavalettum þar sem tekin er ákvörðun um hvort halda eigi áfram að næsta skrefi í verkefninu eða ekki í stað þess að ákveða að fjárfesta að fullu í verkefninu í upphafi eins og NPV aðferðin gerir. Raunvildunar aðferðin hefur ekki náð eins sterkri fótfestu í atvinnulífinu eins og NPV aðferðin og er því ekki komin nógu mikil reynsla á aðferðina. Ein ástæða fyrir því er sú að ROV aðferðin er flóknari heldur en NPV aðferðin (Brunner et al, 2008). Helsti munurinn á aðferðunum tveimur er því sá að ROV býður upp á meiri sveigjanleika heldur en NPV þar sem hægt er brjóta verkefni niður í mörg smærri verkefni með ROV og fjárfesta í hluta verkefnisins þar til nýjar upplýsingar berast. Þar sem ákvarðanatáka NPV aðferðarinnar er í upphafi verkefnatímans miðast allar forsendur við þann tímapunkt þó svo að forsendurnar geti breyst mikið á verkefnatímanum og þá sérstaklega í löngum verkefnum með mikla óvissu. Aðferðirnar verða bornar saman með gerð líkans í excel sem byggir á líkani úr grein eftir Giovanna Lo Nigro o.fl. (Lo Nigro et al., 2014). Búið verður til verkefnasafn og verða aðferðirnar tvær bornar saman fyrir mismunandi samsetningar af vöruþróunarverkefnum. Athugað verður hver munurinn á aðferðunum verður þegar verkefnasafnið, sem valið er úr, breytist.

Verkefninu er skipt upp í sex kafla. Fyrsti kaflinn er inngangur þar sem verkefnið, hvati þess og markmið eru kynnt. Í öðrum kafla er fjallað um aðferðir til þess að meta stök verkefni og einnig hvernig er hægt að nota vallíkön til að velja verkefnasöfn. Þriðji kafla fjallar um aðferðafræðina, hvernig verkefninu var skipt upp og hvernig rannsóknin var framkvæmd. Í fjórða kafla eru niðurstöður settar fram, bæði á reiknuðum gildum á stökum verkefnum. Þá er fjallað um val á verkefnasöfnum og næmnigreiningu einstakra þátta. Í fimmta kafla er umræða um niðurstöður. Í sjötta kafla eru ályktanir dregnar saman og settar fram hugmyndir að úrbótum og frekari rannsóknum hjá Össuri hf.

2 Val á rannsóknar- og þróunarverkefnum

Fyrirtæki hafa oft á tíðum fleiri hugmyndir að verkefnum en þau geta fjárfest í. Auðlindir þeirra, svo sem fjármagn, vinnuafli og pláss til þess að framleiða eru af skornum skammti og því þarf að velja aðferð til þess að forgangsraða verkefnum og ákveða hverjum þeirra á að fjárfesta í. Val á verkefnum er reglubundin starfsemi innan fyrirtækja þar sem verkefnasafn er valið úr hópi tillagna nýrra og núverandi verkefna. Þessi verkefni eru hluti af stefnu fyrirtækisins og innan allra skorða sem þurfa að vera til staðar (Archer og Ghasemzadeh, 1999).

Til þess að ákvarða hvaða verkefni eigi að fjárfesta í geta fyrirtæki notast við vallíkön, sérstaklega ef verkefnin eru mörg og mismunandi. Með vallíkönnum er leitast við að velja arðbærasta safn verkefna til að fjárfesta í. Fyrirtæki vilja mögulega ekki hafa öll verkefnin eins og setja þá skorður á líkanið. Þetta gerir þeim kleift að velja verkefnasafn sem er fjölbreytt og hentar stefnu fyrirtækisins. Skorðurnar geta til dæmis verið tímalengd verkefna, fjármagn og að ákveðið hlutfall þeirra þurfi að tilheyra sérstakri verkefnategund.

Líkönin eru þó ekki gallalaus. Moore og Baker (1969) héldu því fram að í rannsóknar og þróunarverkefnum væri ekki alltaf gott að notast við vallíkön þar sem skortur á gögnum til þess að setja í líkanið geti haft mikil áhrif og þau gefi því ekki góðar niðurstöður. Þeir töldu einnig að þegar stjórnendur söfnuðu saman gögnum í líkanið gæfi það ferli í raun betri mynd hvaða verkefni væri gott að fjárfesta í heldur en líkanið sjálft. Sú vinna gæfi stjórnendum mjög góða yfirsýn yfir verkefnin.

Rannsóknir hafa aftur á móti sýnt að vallíkön virka vel og eru mjög mikilvæg tæki. Vallíkön eru einnig fjárhagslega hagkvæm (Cooper, 2001). Þau velja betra og jafnara verkefnasafn heldur en þegar vallíkön eru ekki notuð. Cooper sýndi einnig fram á að þeir sem nota fleiri en eina gerð af vallíkönnum nái bestu niðurstöðunum, þar sem engin ein aðferð sé best í öllum þáttum vallíkana (Cooper, 1986). Hann bendir einnig á að það sé mikilvægt að meta verkefnin á mismunandi tímum í vallíkönnum. Oft séu þau aðeins metin í upphafi og þá er tekin ákvörðun um að ráðast í verkefnið en mikilvægar upplýsingar geta komið fram á

verkefnatímanum sem breyta forsendum og þá þarf að taka nýja ákvörðun um hvort eigi að halda áfram, breyta verkefninu, eða hætta því.

Hvernig best er að meta verkefni og hvaða vallíkan hentar fer allt eftir gerð og stærð fyrirtækja. Hægt er að meta verkefni með mörgum aðferðum og í þessum kafla verður fjallað um helstu aðferðirnar til þess. Farið verður dýpra í raunvilnanir og einnig verður fjallað um besturnarlíkon.

2.1 Hagrænt mat á verkefnum

Einföldustu líkönin sem notuð eru til þess að velja verkefni byggja á kostnaði og tekjum verkefna (e. basic cost-benefit model). Þessi líkön byggja til dæmis á núvirðisaðferðinni (NPV), innri vöxtum (IRR) og endurgreiðslutíma (e. payback periode). Líkön verðleggja óvissuna yfirleitt með hárrí ávöxtunarkröfu sem gerir það að verkum að tekjur í löngum verkefnum verða lágar þegar þær eru núvirtar (Cooper et al, 1998). Önnur takmörkun sem líkönin hafa er að þau nota yfirleitt sömu ávöxtunarkröfuna á allt verkefnasafnið sem endurspeglar ekki endilega áhættuna í hverju verkefni fyrir sig. Í raunveruleikanum gæti ávöxtunarkrafan einnig breyst með tíma sem líkönin gera ekki ráð fyrir. Þar eru ákvarðanir teknar í upphafi verkefnatíma með þeim forsendum sem eru fyrirliggjandi á þeim tíma (Hodder og Riggs, 1985). Aðrar aðferðir taka betur tillit til óvissu og leitast við að skýra út hversu mikil óvissa er í verkefninu sjálfu. Þessar aðferðir eru flóknari en kostnaðar og tekjuaðferðin og henta betur þegar verið er að velja á milli verkefna með meiri óvissu. Dæmi um þess konar aðferðir eru ákvörðunartré, Monte Carlo hermun og raunvilnunar aðferðir. Hér næst verður stiklað á stóru í ofangreindum aðferðum og þær kynntar nánar. Ítarlegast verður fjallað um raunvilnunar aðferðina þar sem ritgerðin byggir að stórum hluta á henni.

Núvirðisaðferðin. Algengasta aðferðin til þess að meta verkefni er núvirðisaðferðin og sú aðferð sem flest fyrirtæki nota til þess að velja verkefni (Copeland og Antikarov, 2001). Aðferðin sýnir núvirt greiðsluflæði verkefnisins, bæði kostnað og tekjur með tilliti til ávöxtunarkröfunnar. Eftirfarandi jafna sýnir hvernig NPV er reiknað:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (1)$$

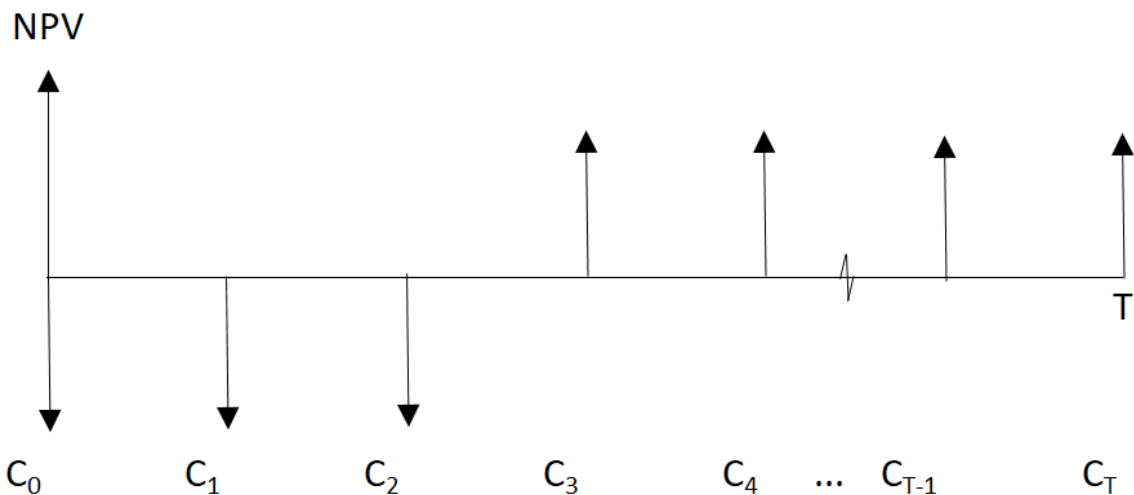
Þar sem:

C_t = greiðsluflæði á tíma t ,

C_0 = upphafleg fjárfesting,

r = ávöxtunarkrafan sem er notuð til þess að núvirða greiðsluflæðið og

t = tímabil.



Mynd 1: Myndin sýnir allar helstu stærðir í NPV jöfnunni þar sem C_0 er upphafleg fjárfesting í verkefninu og C er framtíðar greiðsluflæði verkefnis (bæði jákvætt og neikvætt). T er lokatíminn sem notaður er til þess að reikna núvirði verkefnis.

Verkefni þar sem NPV er jákvætt skilar hagnaði en verkefni með neikvæðu NPV skilar tapi og verður því ekki valið nema það sé taktíst mikilvægt fyrir fyrirtækið. Ein helsta breytan í NPV jöfnunni er ávöxtunarkrafan. Ef sú tala er há mun greiðsluflæðið verða mjög lágt í löngum verkefnum.

Innri vextir notast við sömu jöfnu og NPV hér að ofan. Innri vextir segja til um hver ávöxtunarkrafan þarf að vera til þess að núvirðið sé núll.

Endurgreiðslutíminn segir til um hversu langan tíma það tekur verkefni að greiða til baka upphaflega fjárfestingu.

Ákvörðunartré. Aðferðin er útvíkkun á NPV aðferðinni og myndar tré með mögulegum útkomum í framtíðinni. Aðferðin er sveigjanlegri heldur en NPV aðferðin og væntigildið í hverjum punkti er reiknað með því að leggja saman mögulegar útkomur sem hafa verið margfaldaðar með líkunum á því að geta gerst. Með þessari aðferð er hægt að minnka óvissu verkefna þar sem hægt er að brjóta þau upp í smærri verkefni og þannig fjárfesta fram að næsta punkti í trénu og sjá hvaða upplýsingar liggja fyrir þá. Ákvarðanatréð hefur nokkra ávinninga fram yfir kostanaðar og tekjaaðferðina þar sem tréð tekur betur tillit til óvissu og veitir einnig betri yfirsýn yfir mögulegar útkomur. Þar sem NPV útreikningar eru notaðir í trénu hefur það hins vegar einnig þá ókosti sem sú aðferð hefur og var kynnt hér að ofan (Doctor et al, 2001).

Monte Carlo hermun. Aðferðin notar tölvulíkon til að reikna út virði verkefna vegna þess að útreikningarnir eru flóknari heldur en í ofangreindum aðferðum. Líkanið býr til handahófskennda tölu sem táknar hvernig verð undirliggjandi eignar getur þróast með tíma sem byggir á líkindafalli. Þetta ferli getur þurft að ítra mörg þúsund sinnum og því nauðsynlegt að nota tölvulíkan, því oftar sem það er ítrað því nákvæmari verða útreikningarnir. Virði hvernar breytu er því næst reiknað út og sett í líkanið. Monte Carlo hermunin getur verið notuð til þess að átta sig betur á dreifni verkefna og hversu næm þau eru fyrir óvissu breytunum sem notaðar eru í líkaninu (Doctor et al., 2001). Þar sem Monte Carlo hermunin notar annað líkan til útreikninga þá hefur aðferðin einnig ókosti þess líkans. Dreifni breytanna í líkaninu er oftar en ekki óþekkt og mögulegt er að útreikningarnir vanmeti óvissu í breytunum sem getur skekkt niðurstöðuna.

2.2 Raunvilnanir

Raunvilnanir byggja á fjármálavaleréttum til þess að ákvarða fjárfestingar á raunverulegum eignum eða verkefnum í stað verðbréfa. Aðferðin veitir meiri sveigjanleika heldur en margar aðrar aðferðir eins og NPV. Aðferðin tekur ekki endanlega ákvörðun um að fjárfesta að fullu í verkefni heldur er tekin ákvörðun um að halda áfram að næsta skrefi eða tímabili í verkefninu (Bowman og Moscovitz, 2001). Þegar nýjar upplýsingar berast, til dæmis í

langtíma verkefnum með mikla óvissu, þá er hægt að taka nýja ákvörðun byggða á þeim upplýsingum. Þetta geta verið breyttar markaðsforesendur, ný tækni eða aðrir þættir sem hafa áhrif á velgengni verkefnisins. Með þessari aðferð er því hægt að halda áfram með verkefni sem virðast ekki fýsileg þegar þau eru metin með NPV aðferðinni þar sem óvissan er mikil. Aftur á móti, ef að nýjar upplýsingar leiða í ljós að verkefninu eigi eftir að ganga vel síðar á verkefnatímanum getur það skilað miklum ávinningi. Þetta er ávinningur sem ekki hefði náðst ef verkefninu hefði verið ýtt til hliðar vegna of mikillar áhættu í byrjun. Aðferðin tekur því betur tillit til óvissu heldur en aðrar aðferðir og er því sérstaklega góð til að meta R&P verkefni sem hafa mikla óvissu. Aðferðin metur ávinninginn á því að komast í næsta skref í verkefni og eiga möguleikann á því að halda áfram eða breyta verkefninu. Þetta er gert óháð því hversu stór verkefnin eru og hentar aðferðin því vel til þess að bera saman ólík verkefni sem taka mislangan tíma og hafa ólíka óvissuþætti (Boer, 2000).

Það geta verið margar gerðir af valréttum og jafnframt getur verið um samsetningu af mörgum valréttum á verkefnatímanum sem eru háðir hvor öðrum. Hér á eftir eru taldar upp helstu aðgerðir sem hægt er að nýta valréttina í.

2.2.1 Tegundir valréttanna

Valrétturinn að halda áfram (e. option to time-to build). Þegar verkefni er brotið niður í mörg skref er hægt að líta á það sem mörg smærri verkefni. Það er því hægt að fara af stað í fyrsta hluta verkefnisins og hætta svo við seinna á verkefnatímanum ef nýjar upplýsingar sem koma í ljós á verkefnatímanum eru ekki hagstæðar. Þetta verður því samsettur valréttur á mörgum verkefnum (Perlitz et al., 1999).

Valrétturinn að hætta við (e. option to abandon). Valrétturinn að hætta algjörlega við verkefni er hægt að nýta þegar verkefni er farið af stað. Þá er hægt að selja þau tæki og aðrar auðlindir sem hefur verið fjárfest í til þess að lágmarka tapið. Einnig er hægt að selja einkaleyfi á vörunni til annarra fyrirtækja (Perlitz et al., 1999).

Valrétturinn að stækka, minnka eða hætta við um tíma (e. option to expand, contract or shut down). Ef markaðsaðstæður eru sérstaklega góðar eða nýjar upplýsingar koma í ljós sem eru verulega hagstæðar þá er hægt að stækka umfang verkefnisins. Fyrirtækið getur þá nýtt frekari auðlindir sem það hefur til framleiðslu. Ef nýjar upplýsingar reynast óhagstæðar

er einnig hægt að minnka umfang verkefnisins eða hætta því tímabundið í öfgafullum aðstæðum (Perlitz et al., 1999).

Valrétturinn að skipta um efni eða vöru (e. option to switch input or output). Þegar markaðsaðstæður breytast er hægt að breyta um efni sem notað er til þess að framleiða vöruna. Þetta getur til dæmis átt við þegar ákveðið efni hækkar mikið í verði og hægt er að nota annað sambærilegt. Einnig er hægt að breyta lokaafurðinni og nota sömu tæki og efni ef markaðsaðstæður reynast þannig (Perlitz et al., 1999).

2.2.2 Verðmat valréttá

Valréttir eru mjög algengir innan fjármálageirans, bæði sölu- og kaupréttir. Raunvilnanir notast við kauprétti. Kaupréttir gefa handhafa samningsins rétt á því að kaupa eign á fyrirfram ákveðnu verði og samninginn er hægt að nýta ef útkoma hans reynist góð. Ef kaupin munu ekki vera jákvæð fyrir handhafann er hann hins vegar ekki skyldugur til þess að nýta hann. Til eru margar útgáfur af valréttarsamningum en þær helstu eru amerískir og evrópskir valréttasamningar. Í amerískum valréttum er hægt að nýta réttinn hvenær sem er á meðan samningurinn er í gildi en í evrópskum er aðeins hægt að nýta hann á umsömdum lokadegi samningsins. Samningarnir eru oft notaðir sem trygging eða ákveðin áhættuvörn þar sem þeir setja gólf eða þak á verð eignarinnar og takmarka þannig áhættu kaupanda samningsins (Hull, 2012).

Hægt er að nota tvær gerðir af jöfnum til að reikna út virði valréttá. Það eru lokaðar jöfnur og opnar jöfnur. Þær lokuðu eru einfaldari í framkvæmd og krefjast minni útreikninga og hægt er að reikna þær út með endanlegum fjölda reikniáðferða en opnar gefa nákvæmari niðurstöður þegar notaðar eru tölvur til þess að reikna allar mögulegar útkomur. Þetta gerir til dæmis Monte Carlo áðferðin sem greint var frá hér að ofan. Margar áðferðir eru notaðar til þess að reikna út virði valréttanna og sú helsta er Black-Scholes jafnan sem er lokuð jafna sem rædd er hér fyrir neðan. Einnig verður gert greint fyrir Geske jöfnunni sem og almennri jöfnu fyrir valrétti sem byggja á Black-Scholes jöfnunni.

Black–Scholes. Jafnan var fundin upp og þróuð af Fischer Black og Myron Scholes ásamt framlögum frá öðrum fræðimönnum (Black og Scholes, 1973). Lokaútgáfa jöfnunnar var gefin út árið 1973. Jafnan notar nokkrar nálganir sem vert er að hafa í huga þegar hún er notuð til þess að meta virði valréttá. Helsta nálgunin sem er notuð er sú að verð hlutabréfa

hefur tilviljunarkennt flökt með reki, sem er Browns hreyfing. Gert er ráð fyrir því að rekið og sveiflur í verði séu fasti. Ástæðan er að hlutabréfaverðið getur ekki verið neikvætt og getur því ekki fylgt normaldreifingu. Hlutabréfaverðið fylgir frekar log-normal dreifingu. Browns hreyfing var því gerð til þess að nálga hlutabréfaverðið. Browns hreyfing skilgreinir breytingar á hlutabréfaverði á eftirfarandi hátt:

$$dS = \mu S dt + \sigma S dz$$

Þar sem:

μ er væntigildi undirliggjandi eignar S ,

σ er flökt í verði og

dz er Wiener ferlið sem er slembiferli sem gerir ráð fyrir normaldreifingu með meðaltalsgildi 0 og dreifni dt , $N(0,dt)$ (Hull, 2012).

Líkanið gerir einnig ráð fyrir því að markaðurinn samanstandi af að minnsta kosti einni eign sem er áhættusöm og að minnsta kosti einni áhættalausri eign. Þá er einnig gert ráð fyrir því að ekki séu högnunartækifæri á markaðnum, þ.e. ekki er hægt að hagnast á markaðinum án áhættu. Þá er hægt að fá lánaða hvaða upphæð sem er á áhættalausum vöxtum og einnig er hægt að kaupa og selja hvaða magn sem er af undirliggjandi eign og af henni er ekki greiddur arður. Í ofantöldum forsendum er ekki gert ráð fyrir neinum viðskiptakostnaði. Jafnan virkar aðeins fyrir evrópska valrétti sem einungis er hægt að nýta á gjalddaga valréttarins. Þetta er ein af helstu takmörkunum jöfnunnar þar sem ekki er hægt að nýta valréttinn fyrir gjalddaga, t.d. vegna hagstæðra markaðsaðstæðna.

Jafnan fyrir kaupréttinn er:

$$C_i = V_{0i} e^{-rt} N(d_{1i}) - I_{i2} e^{-r(t_{i1}-t)} N(d_{2i}) \quad (2)$$

Þar sem N er svæði undir normaldreifðri kúrfu og stuðlarnir d_1 og d_2 eru reiknaðir út með eftirfarandi jöfnum:

$$d_1 = \frac{1}{\sigma \sqrt{t_{i1} - t}} \left(\ln \left(\frac{V_{0i}}{I_{i2} e^{-r(t_{i1}-t)}} \right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2} \right) (t_{i1} - t) \right)$$

og

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t_{i1} - t}$$

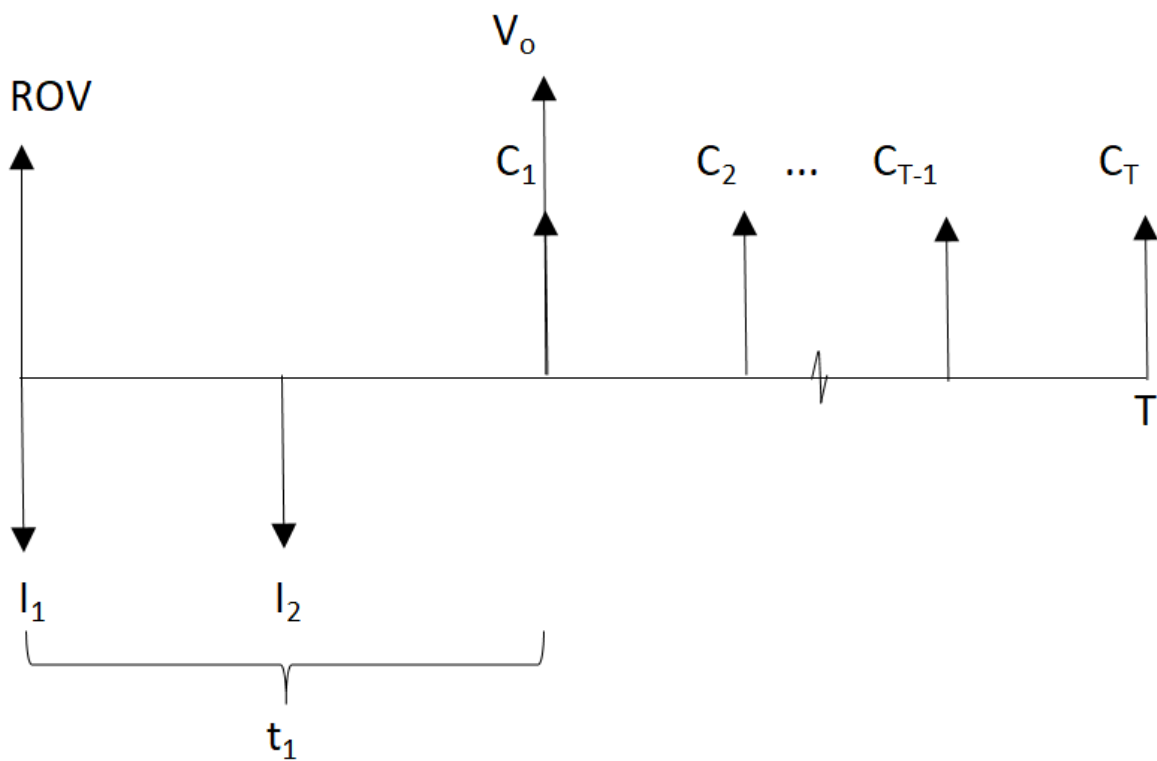
Þar sem:

V_{0i} er núvirt greiðsluflæði tekna verkefnis i ,

I_{is} er fjárfestingakostnaður verkefnis i á tímabili s ,

t_{i1} er tími til gjalddaga og

r eru áhættulausir vextir



Mynd 2: Myndin sýnir allar helstu stærðir í Black-Scholes jöfnunni (2) þar sem I táknar fjárfestingakostnað á hverju tímabili, C er greiðsluflæði tekna á hverju tímabili og V_0 eru núvirtar tekjur verkefnis. t_1 er tími til gjalddaga valréttarins og T er lokatíminn sem notaður er til þess að reikna virði verkefnis.

Geske jafnan. Jafnan byggir á Black-Scholes jöfnunni (2) en getur reiknað út virði samsettra valréttta. Aðferðin samanstendur af tveimur skrefum. Í fyrsta skrefinu er undirliggjandi valréttur verðlagður með Black-Scholes aðferðinni. Því næst er samsetti valrétturinn verðlagður sem valréttur sem fundinn var út með Black-Scholes aðferðinni. Hún notar sömu forsendur og Black-Scholes jafnan, þar með talið Browns hreyfinguna sem var útskýrð hér að ofan (Geske, 1979). Geske notar eftirfarandi jöfnu til þess að reikna út virði valréttarins. Hana er hægt að nota þegar þrjú tímabil eru eftir þar til varan er tilbúin.

$$C_i = V_{0i}e^{-rt}N_2(a_{1i}, a_{2i}; \rho_i) - I_{i3}e^{-r(t_{i2}-t)}N_2(b_{1i}, b_{2i}; \rho_i) - I_{i2}e^{-r(t_{i1}-t)}N(b_{2i}) \quad (3)$$

Þar sem:

V_{0i} er núvirt greiðsluflæði tekna verkefnis i ,

r eru áhættulausir vextir,

I_{i3} er fjárfestingakostnaður verkefnis i á tímabili s ,

t_{i1} er tími til gjalddaga á samsetta valréttinum,

t_{i2} er tími til gjalddaga á undirliggjandi valrétti,

N er uppsöfnuð normaldreifing,

N_2 er uppsöfnuð normaldreifing með tveimur breytum þar sem a og b stuðlarnir tákna efri og neðri mörkin og ρ_i er fylgnistuðullinn á milli breytanna a_{1i} , a_{2i} og b_{1i} , b_{2i} .

Stuðlarnir a, b og fylgnistuðullinn ρ_i eru reiknaðir með eftirfarandi jöfnum:

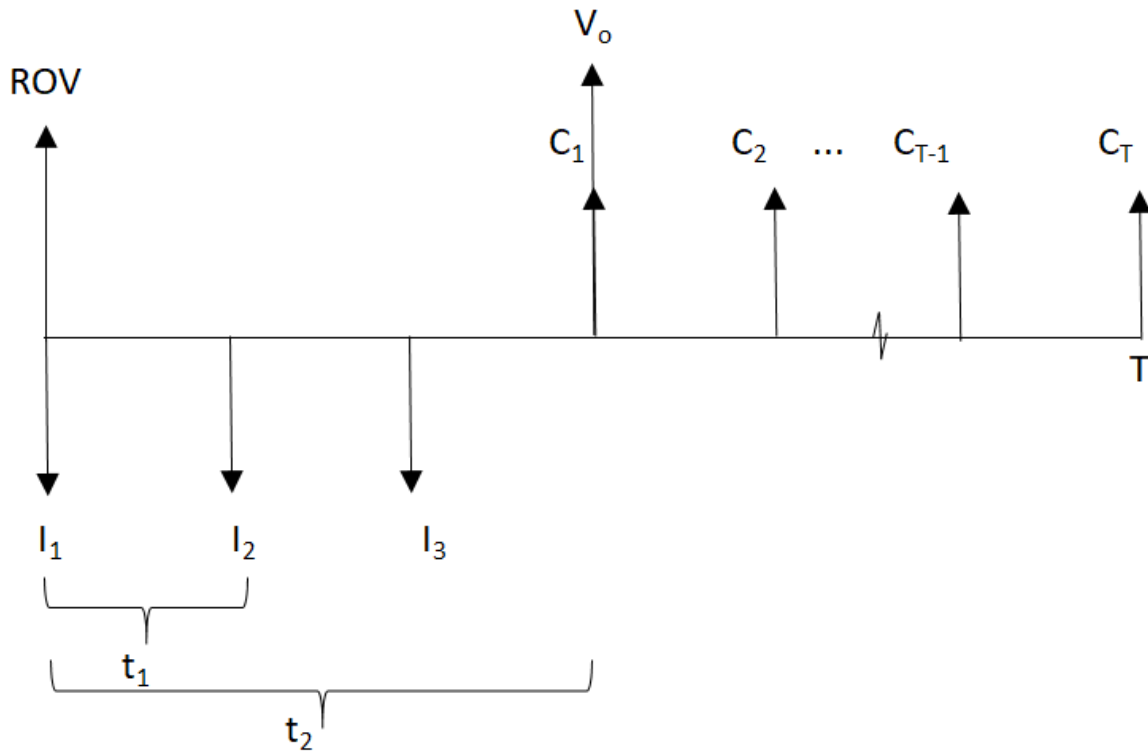
$$b_{1i} = \frac{\ln\left(\frac{V_{0i}}{V_i}\right) + \left(r - \left(\frac{\sigma^2}{2}\right)\right)(t_{i1} - t)}{\sigma_i\sqrt{(t_{i1} - t)}}$$

$$b_{2i} = \frac{\ln\left(\frac{V_{0i}}{I_{i3}}\right) + \left(r - \left(\frac{\sigma^2}{2}\right)\right)(t_{i2} - t)}{\sigma_i\sqrt{(t_{i2} - t)}}$$

$$a_{1i} = b_{1i} + \sigma_i \sqrt{(t_{i1} - t)}$$

$$a_{2i} = b_{2i} + \sigma_i \sqrt{(t_{i2} - t)}$$

$$\rho_i = \sqrt{\frac{t_{i1} - t}{t_{i2} - t}}$$



Mynd 3: Myndin sýnir allar helstu stærðir í Geske jöfnunni (3) þar sem I táknar fjárfestingakostnað á hverju tímabili, C er greiðsluflæði tekna á hverju tímabili og V_0 eru núvirtar tekjur verkefnis. t_1 er er tími til gjalddaga samsetta valréttarins, t_2 er tími til gjalddaga á undirliggjandi valrétti og T er lokatíminn sem notaður er til þess að reikna virði verkefnis.

Geske jafnan samanstendur af þremur liðum. Fyrsti liðurinn er núvirt virði verkefnis margfaldað með normaldreifðum líkum á virðinu. Næsti liður er kostnaður á tímabili 3 sem er núvirtur og margfaldaður með normaldreifðum líkum á kostnaðinum og þriðji liðurinn samsvarandi fyrir tímabil 2.

\bar{V}_i er lausn á jöfnunni:

$$C_i(V_i, t_{i1}) - I_{i2} = 0$$

Þar sem \bar{V}_l er notað til þess að reikna út virði valréttarins í stað V_{0i} með Black-Scholes jöfnunni. \bar{V}_l er breytt þannig að virði valréttarins að frádregnum fjárfestingakostnaði á tímabili tvö er núll. Útkoman úr jöfnunni þarf að vera að minnsta kosti 0 svo að verkefni i verði valið og hægt sé að halda áfram með það.

Þegar fjögur tímabil eru eftir þar til varan er tilbúin er hægt að nálga þau að þremur og nýta þannig Geske jöfnuna sem einfaldar útreikninga töluvert (Lo Nigro et al., 2014). Tvö tímabil eru þannig sett saman í eitt og kostnaðurinn er þá nálgaður sem:

$$I_{i2,3} = I_{i2} + I_{i3}e^{-rT_{i2}}$$

Til þess að gera nákvæmari útreikninga á virði valréttar þarf að notast við samsettar valréttar jöfnur sem gilda fyrir n-samsetta valrétti.

Almenn jafna fyrir n-samsetta valrétti. Venjuleg verkefni samanstanda af fleiri en tveimur áföngum og því er gott að geta brotið þau upp í n-þætti (Cassimon et al., 2004). Út frá Black-Scholes (n=1) og Geske (n=2) jöfnunum var þróuð lokuð formúla fyrir n-samsetta valrétti. Sömu forsendur eru í n-földum valrétt eins og eru í Black-Scholes (2) og Geske (3) jöfnunum. Cassimon gefur virði n-falda valréttarins með jöfnunni:

$$C_1(V, t) = VN_n(a_1, \dots, a_n; A^n) - \sum_{m=1}^n I_m e^{-r(t_m-t)} N_m(b_1, \dots, b_m; A^m) \quad (4)$$

Þar sem:

$$b_i = \frac{\ln\left(\frac{V_{0i}}{\bar{V}_l}\right) + \left(r - \left(\frac{\sigma^2}{2}\right)\right)(t_i - t)}{\sigma_i \sqrt{(t_i - t)}}$$

$$a_i = b_i + \sigma_i \sqrt{(t_i - t)}$$

$$A^l = (a_{ij}^l)_{i,j=1,\dots,l}$$

þar sem:

$$a_{ii} = 1 \text{ og } a_{ij} = a_{ji} = \rho_{ij}$$

$$i = (1, \dots, n-1) \text{ og } i < j$$

$$\rho_{ij} = \sqrt{\frac{t_i - t}{t_j - t}}$$

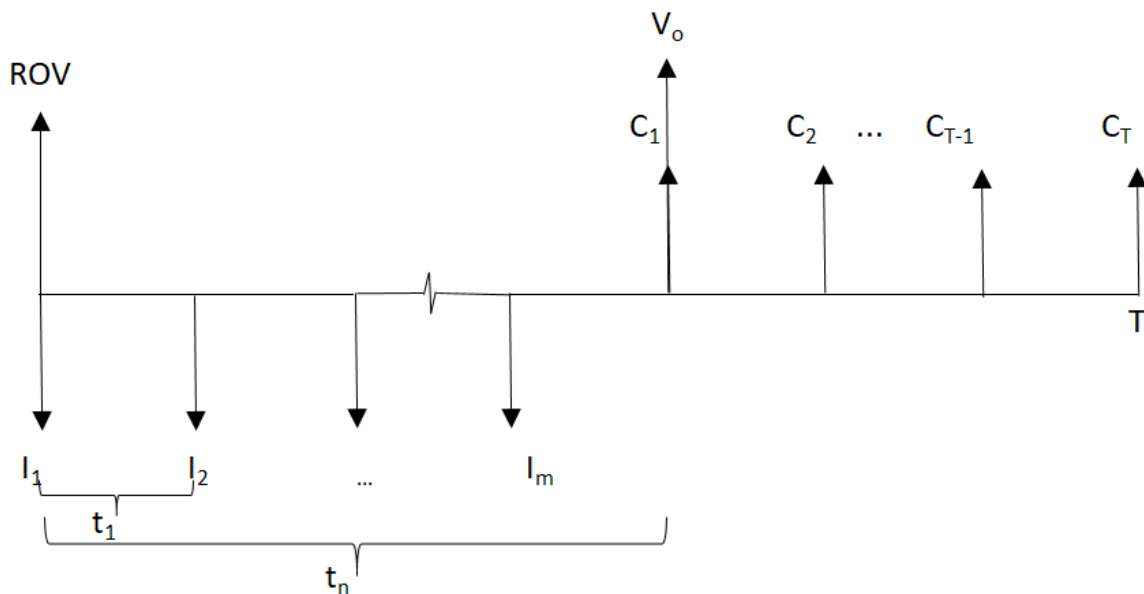
Þar sem:

t_i er gjalddagi valréttarins C_i ,

I_i er kostnaður verkefnis i ,

C_i er núverandi gildi á samsetta valréttinum með undirliggjandi valrétt C_{i+1} og

$N_n(a_1, \dots, a_n; A)$ er uppsöfnuð normaldreifing breytanna þar sem a_i eru efri mörkin og A er fylgnifylki stuðlanna a annars vegar og b hins vegar.



Mynd 4: Myndin sýnir allar helstu stærðir í almennu jöfnunni (4) fyrir n -samsetta valrétti þar sem I táknar fjárfestingakostnað á hverju tímabili, C er greiðsluflæði tekna á hverju tímabili og V_0 eru núvirtar tekjur verkefnis. t_1 er er tími til gjalddaga samsetta valréttarins, t_m er tími til gjalddaga á undirliggjandi valrétti og T er lokatíminn sem notaður er til þess að reikna virði verkefnis.

Munurinn á jöfnum Geske (3) og Cassimon (4) felst í ítarlegri skiptingu verkefnis í verkþætti. Við skiptinguna eru kostnaðarliðirnir brotnir upp í fleiri þætti og lýsa þannig þróunarferlinu betur.

2.3 Bestunarlíkön til að velja verkefni

Bestunarlíkön hámarka virði verkefna m.t.t. skorða sem líkanið þarf að uppfylla. Líkanið hámarkar þannig virði verkefna með sem bestri notkun á því fjármagni og auðlindum sem fyrirtækið hefur til umráða. Bestunarlíkan er hins vegar háð því hvernig gögn eru sett í það og verður því aldrei betra en gögnin sem eru notuð. Þau geta auðveldað mikla og þunga reikninga og valið verkefni sem byggja á gögnum en ekki tilfinningum eða öðrum þáttum. Bestunarlíkön hafa hins vegar ekki náð almennri fótfestu í atvinnulífinu við val á rannsóknar og þróunarverkefnum (Chien, 2002). Þetta er meðal annars vegna þess að í líkönum er erfitt að meta óvissu. Í flóknum líkönum þar sem reynt er að meta óvissu, þá eru gögnin oft orðin flókin og einnig með mikla óvissu.

Í þessu verkefni var notuð heiltölubestun þar sem eingöngu var hægt að velja að fjárfesta í verkefni eða ekki. Það var því ekki hægt að fjárfesta í verkefni að hluta til eða meira en 100% verkefnis. Heiltölubestun er mikið notuð í aðgerðagreiningu. Notast var við hugbúnaðinn OpenSolver sem er ókeypis og viðbót við excel. Sá hugbúnaður ræður vel við heiltölubestun með mörgum breytum eins og í þessu verkefni.

2.4 Samantekt

Í þessum kafla var fjallað um mikilvægi þess að nota vallíkön til að aðstoða stjórnendur við val á verkefnasafni. Til þess að nota vallíkön þarf að meta virði stakra verkefna með viðeigandi aðferð. Helstu aðferðir til þess að verðmeta stök verkefni voru kynnt. Þær eru NPV aðferðin, Black-Scholes, Geske og almenn jafna til að meta virði ROV. Einnig var kynnt hvernig hægt væri að nýta valrétti eins og gert var í þessu verkefni. Í þriðja kafla, Aðferðafræði, verður fjallað um hvernig þessum aðferðum var beitt í verkefninu.

3 Aðferðafræði

Rannsókninni var skipt í tvo hluta, í fyrri hlutanum voru stök verkefni metin, bæði með raunvildunum og núvirkis aðferðunum. Í seinni hlutanum voru bestunarlíkön notuð til þess að bera saman valið verkefnasafn með báðum aðferðum. Notast var við verkefni sem búin voru til út frá skilgreindum verkefnagerðum sem Össur notar.

Hægt er að meta virði raunvildnana á marga vegu. Notaðar voru lokaðar jöfnur sem eru einfaldari í útreikningum heldur en opnar almennar jöfnur. Því var notast við Black-Scholes og Geske jöfnurnar til að meta raunvildunarvirði verkefna. Þar sem bestunarlíkön hafa ekki náð mikilli fótfestu í atvinnulífinu var ákveðið að reyna að gera hagnýtt og einfalt líkan sem fyrirtæki ættu aðvelt með að nota. Þess vegna var notast við excel líkanagerð sem flest fyrirtæki ættu að geta tekið upp í stað þess að nota hugbúnað sem er dýr og ekki eins aðlaðandi fyrir fyrirtæki að prófa. Sá hluti líkansins sem notar raunvildanir byggir á grein eftir Giovanna Lo Nigro o.fl (Lo Nigro et al., 2014).

Í báðum hlutum var gerð næmnigreining. Í þeim fyrri var gert MATLAB forrit til þess að athuga hvernig virði valréttu breytist þegar hverju verkefni er skipt upp í fleiri smærri verkefni, þ.e., hvaða áhrif það hefur að skipta hverju verkefni upp í fleiri en 2-4 tímabil eins og gert var í þessari rannsókn. Í seinni hlutanum var athugað hversu næm líkönin eru fyrir breytingum í tekjum.

3.1 Verðmat stakra verkefna

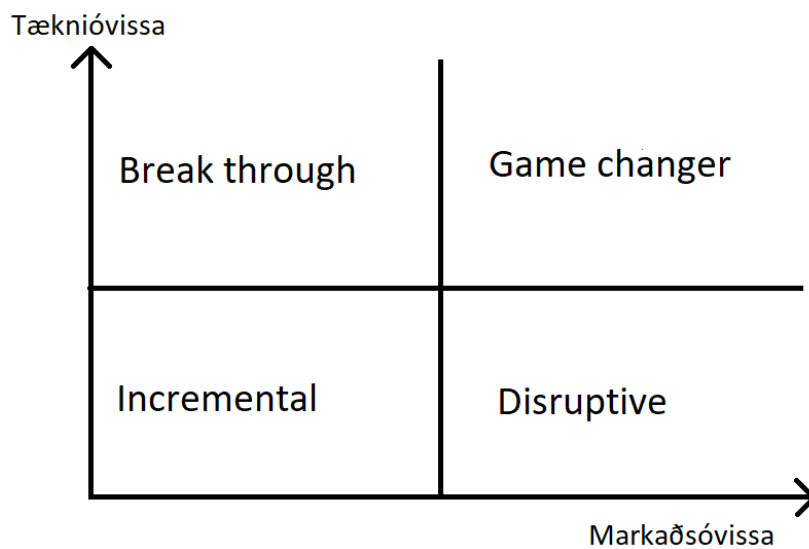
Verkefnið var unnið í samstarfi við Össur hf. og skoðaðar voru fjórar gerðir af verkefnum sem fyrirtækið notar. Á mynd 5 sést hvernig verkefnin raðast miðað við markaðs- og tæknióvissu. Verkefnagerðirnar eru:

„**Incremental**“ (Stutt) verkefni: Lítil verkefni sem taka stuttan tíma og óvissan er lítil. Oft litlar breytingar á núverandi vöru.

„**Break through**“ (Meðallöng) verkefni: Verkefni þar sem tæknileg óvissa er mikil og markaðsóvissa lítil. Vara þar sem ný tækni er notuð til þess að gera vöru sem er til, betri.

„**Disruptive**“ (Löng) verkefni: Verkefnið hefur mikla markaðsþóvissu en litla tæknilega óvissu. Verkefni þar sem framleidd er ný vara sem markaðurinn hefur ekki séð áður með núverandi tækni.

„**Game changer**“ (Framtíðar) verkefni: Verkefni með mikla markaðs- og tækniþóvissu. Algjörlega ný vara með nýrri tækni. Þessi verkefni taka að öllu jöfnu lengstan tíma.



Mynd 5: Myndin sýnir fjórar gerðir af verkefnum og tengsl þeirra við markaðs- og tækniþóvissu.

Á hverja gerð verkefnis var áætlaður kostnaður, tekjur, markaðsþóvissa, tækniþóvissa og verkefnatími. Tafla 1 sýnir dæmigerðar tölur sem notaðar voru í þessu verkefni. Þar sést að tekjurnar og kostnaðurinn er breytilegur á milli verkefnagerða. Markaðsþóvissan er sú sama í stuttum og meðallöngum verkefnum og fimmfalt meiri í löngum og framtíðar verkefnum. Sama á við um tækniþóvissuna, þar er hún sú sama í stuttum og löngum verkefnum og fjórfalt meiri í meðallöngum og framtíðar verkefnum. Í verkefnum þar sem tækniþóvissan er há, lækkar hún með tímanum og á síðasta tímabilinu í þróun er tæknilega óvissan komin niður í 5%. Kostnaðinum er dreift jafnt yfir verkefnatímann, sem er tíminn sem tekur að þróa vöruna. Tekjunum er svo dreift jafnt á næstu 5 ár eftir að varan kemur á markað. Össur notar 22% ávöxtunarkröfu við öll sín verkefni og er það einnig gert hér (Ása Lúðvíksdóttir, munnleg heimild, 19. janúar 2017). Áhættalausir vextir sem eru notaðir í líkaninu eru $r = 5\%$

sem eru sambærilegir vextir og fást á óverðtryggðum ríkisskuldabréfum sem bera litla áhættu (Lánamál ríkisins, e.d.).

Tafla 1: Dæmigerðar tölur fyrir fjórar gerðir verkefna sem notaðar eru í líkaninu. Tíminn í töflunni er vöruþróunartíminn.

	Stutt	Meðallöng	Löng	Framtíðar
Kostnaður	\$200.000	\$700.000	\$1.100.000	\$2.100.000
Tekjur	\$900.000	\$2.466.000	\$2.880.000	\$5.715.000
Markaðsóvissa	20%	20%	100%	100%
Tæknióvissa	5%	20%	5%	20%
Tími	1 ár	3 ár	5 ár	8 ár

Núvirðisútreikningarnir (1) voru eins fyrir allar gerðir verkefna. Raunvildunar útreikningarnir voru hins vegar mismunandi eftir gerðum. Það fór eftir lengd verkefna hvað þeim var skipt niður í mörg tímabil og því hvaða aðferð var viðeigandi í framhaldinu. Með raunvildunar aðferðinni var reiknað út virði þess að komast í næsta áfanga í verkefninu:

- **Stutt verkefni.** Á aðeins eftir 1 ár í vöruþróun og var virði raunvildunar nálgæð sem núvirði verkefnisins. Greiðsluflæðið er núvirt með áhættulausum vöxtum $r=5\%$.
- **Meðallangt verkefni.** Á 3 ár eftir í vöruþróun og var notast við Black-Scholes jöfnuna (2). Verkefninu var skipt niður í tvö tímabil, hvort tímabil er þá eitt og hálf ár.
- **Langt verkefni.** Á 5 ár eftir í vöruþróun og var notast við Geske jöfnuna (3). Verkefninu var skipt í þrjú tímabil og hvert tímabil er þá 1 ár og 8 mánuðir. Verkefniskostnaður dreifðist jafnt á tímabilin þrjú.
- **Framtíðar verkefni.** Á 8 ár eftir í vöruþróun og var notast við Geske jöfnuna (3). Verkefninu var skipt í fjögur tímabil en nálgæð sem þrjú tímabil til að hægt sé að nota Geske jöfnuna. Hvert tímabil er tvö ár en síðustu tveir valréttirnir eru settir saman í einn til að einfalda útreikninga. Kostnaður í síðasta tímabili valréttarins er þannig nálgæður með jöfnunni: $I_{i3,4} = I_{i3} + I_{i4}e^{-rT_{i2}}$.

3.2 Verkefnasafn valið

Smíðað var bestunarlíkan í excel með núvirðis og raunvilnunar aðferðunum. Líkanið bjó einnig til verkefnasafn með 100 verkefnum með kostnaði, tekjum og óvissu eins og fram kemur í töflu 1. Jafnframt var gert ráð fyrir 10% dreifni á verkefnum sem fengin var með jafnri slembidreifingu. Hlutfallsleg skipting verkefna var þannig að 70% verkefna voru stutt, 15% meðallöng, 10% löng og 5% framtíðar verkefni. Þetta safn af verkefnum er dæmigert fyrir framleiðslufyrirtæki eins og Össur. Meirihluti verkefnasafnsins eru stutt verkefni sem eru litlar breytingar á núverandi vörum. Fjármagnið á ári sem líkanið hafði til þess að velja verkefni var $B = \$3.000.000$. Líkanið var keyrt tíu sinnum til að meta breytileika í verkefnavali.

Einnig var athugað hvernig verkefnasafnið breytist ef fjöldi verkefna af hverri gerð er breytt en öðrum forsendum haldið föstum. Athugað var hvernig verkefnasafn líkanið velur úr 100 verkefna safni ef fjöldi verkefna af hverri gerð væri jafnari. Samsetning nýja verkefnasafnsins voru 35% stutt verkefni, 30% meðallöng, 20% löng og 15% framtíðar verkefni.

Því næst var gerð næmnigreining á tekjum verkefnanna sem er sú breyta sem hefur mikil áhrif á alla aðra útreikninga. Hún hefur þannig mikil áhrif á NPV og raunvilna útreikningana. Næmnigreiningin var gerð miðað við upprunalega dreifingu verkefna, þ.e., 70% verkefna voru stutt, 15% meðallöng, 10% löng og 5% framtíðar verkefni. Bestunarlíkönin sem voru notuð í þessu verkefni voru NPV og ROV bestunarlíkön.

NPV bestunarlíkan. Eftir að búið var að reikna NPV virði hvers verkefnis voru gildin sett í bestunarlíkanið. Líkanið hámarkar virði NPV með tilliti til kostnaðar hvers verkefnis og valdi þannig verkefnasafn. Í NPV líkaninu er kostnaðarskorðan eingöngu kostnaður á hverju ári en ekki er margfaldað með tæknilegri óvissu eins og gert er í ROV líkaninu. Þetta er vegna þess að öll áhættan er sett í ávöxtunarkröfuna sem er þess vegna há, eða 22% fyrir öll verkefni.

$$MAX NPV = \sum_i (NPV_i) L_i \quad (5)$$

Þar sem:

$$\sum_i I_{i1} L_i \leq B_t$$

Þar sem:

I_{ci} er heildarkostnaður verkefnis i ,

L_i er 0 ef verkefni i er ekki valið eða 1 ef verkefni i er valið

B_t er heildarfjármagn sem fyrirtækið hefur til þess að fjárfesta í verkefnum á hverjum tíma t .

ROV bestunarlíkan. Raunvilnana líkanið var sett upp á sambærilegan hátt. Það tekur hins vegar einnig tillit til óvissuþáttanna. Markaðsóvissan er reiknuð í virði valréttarins en tæknióvissan kemur í skorðuna. Hún gerir því verkefnið í rauninni ódýrara þar sem líkur eru á því að verkefnið verði ekki framkvæmt vegna tæknilegra atriði sem stoppa framgang verkefnis. Dreginn var frá kostnaður á fyrsta tímabili þar sem ný ákvörðun verður tekin eftir þann tíma um hvort halda eigi áfram eða hætta við verkefnið. Sá kostnaður er ekki inní virði valréttarins. Virði valréttanna var reiknað fyrir hvert verkefni með viðeigandi aðferð. Þegar búið var að reikna virði allra verkefna sem líkanið gerði var eftirfarandi jafna notuð til þess að hámarka virði verkefnasafnins:

$$MAX ROV = \sum_i (ROV_i - I_{i1}) H_i \quad (6)$$

Þar sem:

$$\sum_i I_{i1} H_i \Phi_i \leq B_t$$

Þar sem:

I_{i1} er kostnaður verkefnis i á tímabili 1,

H_i er 0 ef verkefni i er ekki valið eða 1 ef verkefni i er valið,

Φ_i er tæknilega óvissan fyrir verkefni i og

B_t er heildarfjármagn sem fyrirtækið hefur til þess að fjárfesta í verkefnum á hverjum tíma t .

Fleiri skorður voru ekki settar í líkönin þó svo að fyrirtæki vilji mögulega hafa fleiri skorður. Það þarf til dæmis í einhverjum tilvikum að setja skorður á fjölda verkefna af hverri gerð. Einnig eru sumar vörur settar í framleiðslu þó svo að þær séu ekki þær arðbærustu einfaldlega vegna þess að þær eru í ákveðinni vörulínu og varan eykur þannig seljanleika annarra vara sem tengjast henni.

3.3 Samantekt

Í þessum kafla var aðferðafræði verkefnisins kynnt. Verkefninu var skipt í tvo hluta. Í fyrri hlutanum voru stök verkefni metin og í þeim seinna voru verkefnasöfn valin. Verkefnagerðirnar fjórar (stutt, meðallöng, löng og framtíðar verkefni) voru settar fram og bestunarlíkönin einnig. Í næsta kafla verða niðurstöður verkefnisins kynntar.

4 Niðurstöður

Þessum kafla er skipt í tvo hluta. Fyrst verður farið yfir niðurstöður við verðmat stakra verkefna og því næst verkefnasöfn sem aðferðirnar völdu borin saman.

4.1 Verðmat stakra verkefna

Reiknað var út virði allra verkefnagerða sem útskýrð voru í kafla 3.1. Fyrir núvirðis aðferðina voru öll verkefni reiknuð út eins en fyrir raunvilnanir var notast við viðeigandi aðferð samkvæmt kafla 3.1. Við útreikninga voru notuð gildi úr töflu 1 sem eru þau gildi sem notuð voru í gegnum þetta verkefni. Niðurstöður útreikninga sjást í töflu 2. Þar sést reiknað virði hvers verkefnis með báðum aðferðum. NPV sýnir núvirði hvers verkefnis og ROV sýnir virðið að komast í næsta tímabil í verkefninu. Tæknióvissan hefur ekki verið reiknuð í valréttina en hún kemur inn sem skorða í bestunarlíkaninu sem og kostnaðar skorðan á hverju ári.

Tafla 2: Taflan sýnir samanburð á virði allra verkefnagerða reiknað með núvirðis og raunvilnunar aðferðunum. Allar tölur eru í dollurum.

Aðferð	Stutt	Meðallöng	Löng	Framtíðar
NPV	315.000	368.000	-24.000	-345.000
ROV	579.306	869.000	729.000	1.376.000

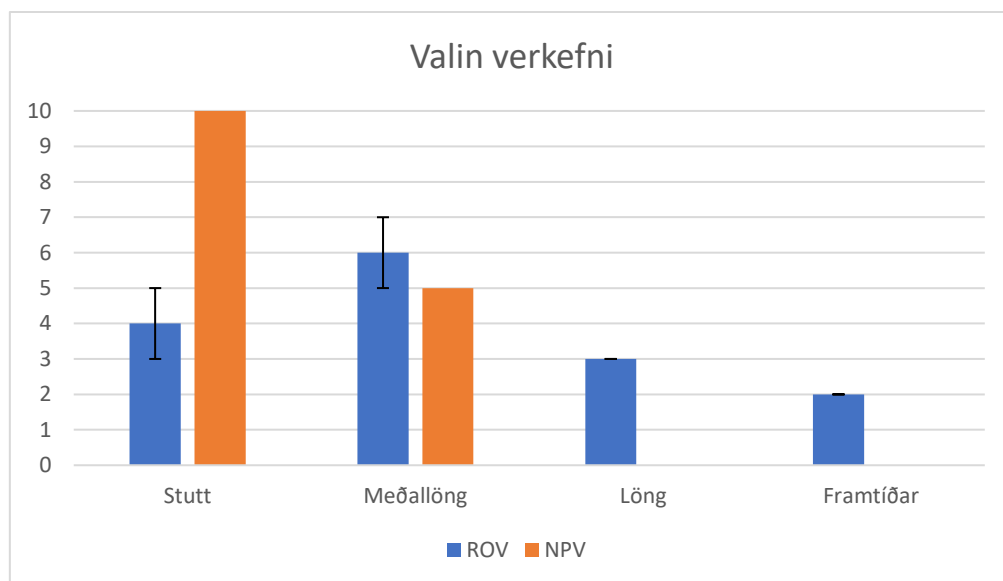
Næmnigreining. Athugað var hversu næmir valréttirnir væru fyrir því hve mörgum tímabilum þeim var skipt upp í. Með öðrum orðum, hvernig verðgildi þeirra breytist eftir því sem það eru fleiri möguleikar á því að hætta við fjárfestinguna. Notast var við MATLAB forrit til þess að reikna út virði valréttanna fyrir fleiri tímabil heldur en notuð voru í þessu verkefni. Í næmnigreiningunni er notast við verkefni sem tekur 9 ár í vöruþróun, heildarkostnaðurinn við vöruþróun er \$500.000 og er jafndreifður. Tekjurnar á næstu 5 árum eftir vöruþróunartímabilið eru \$3.000.000 og flöktið í sölu (markaðsóvissa) metið sem $\sigma = 0,5$. Núvirði verkefnisins miðað við 5% vexti og er því \$1.344.000. Tafla 3 sýnir hvernig virði valréttarins breytist, hver kostnaðurinn er á fyrsta tímabili valréttarins og hvers virði valrétturinn er að frádregnum kostnaði.

Tafla 3: Taflan sýnir virði valréttar þegar sama verkefninu er skipt upp í fleiri tímabil. C er virði valréttar og I_1 er fjárfestingarkostnaður á fyrsta tímabili verkefnis. Tölurnar í töflunni eru í dollurum.

Fjöldi tímabila	C	I_1	C- I_1
3	979.000	167.000	812.000
4	968.000	125.000	843.000
5	962.000	100.000	862.000
6	958.000	83.000	874.000

4.2 Verkefnasafn valið

Bestunarlíkönin voru keyrð og eftirfarandi niðurstöður komu í ljós. Fjöldi verkefna sem valin voru með þessum tveimur aðferðum, ROV og NPV, sést á mynd 6.



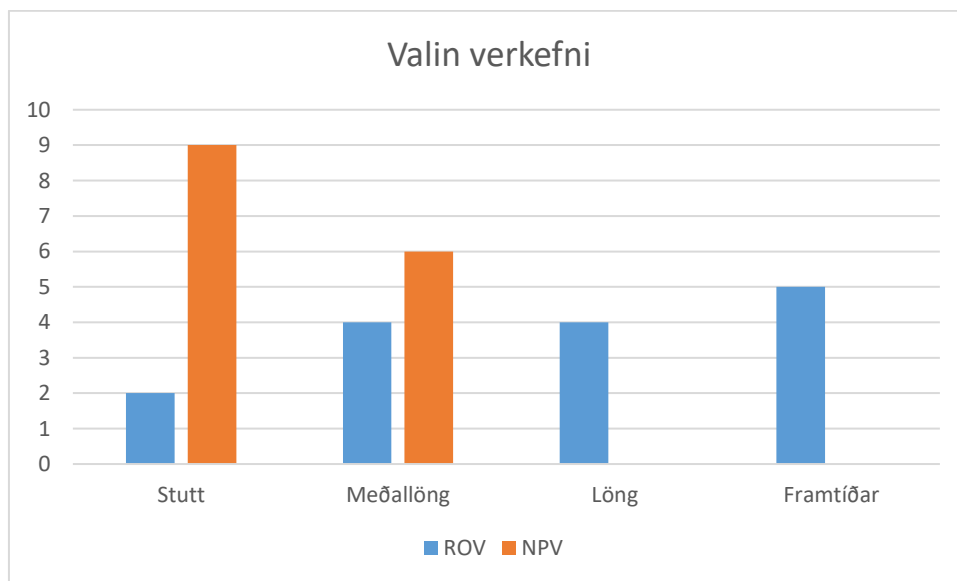
Mynd 6: Fjöldi valinna verkefna úr 100 verkefna safni með ROV og NPV aðferðunum.

Skipting verkefna var að 70% verkefna voru stutt, 15% meðallöng, 10% löng og 5% framtíðar verkefni. Líkanið var keyrt tíu sinnum, NPV líkanið valdi alltaf sama safnið en í ROV líkaninu var breytileiki í stuttum og meðallöngum verkefnum eins og víkmörkin sýna.

Reiknaðar voru mögulegar hámarkstekjur af verkefnunum sem voru valin. Í útreikningum voru tekjurnar núvirtar miðað við 22% ávöxtunarkröfu. Þar sem reikningar miðuðust við

hámarkstekjur var gert ráð fyrir hagstæðum markaðsaðstæðum, það er, gert var ráð fyrir flökt í sölu væri verkefnum í vil. Einnig var gert ráð fyrir minni tekjum þar sem tæknileg óvissa var og voru tekjur margfaldaðar með þeim stuðli. Miðað við verkefnasafnið sem aðferðirnar völdu voru núvirtar framtíðartekjur af verkefnum ROV safnsins \$30 milljónir samanborið við \$13 milljónir hjá verkefnum valin með NPV aðferðinni.

Hlutföllum verkefnasafnsins til að velja úr var einnig breytt, þ.e 100 verkefni þannig að 35% verkefna voru stutt, 30% meðallöng, 20% löng og 15% framtíðar verkefni. Mynd 7 sýnir fjölda valinna verkefna með hvorri aðferð eftir breytingu.



Mynd 7: Fjöldi valinna verkefna úr 100 verkefna safni með ROV og NPV aðferðunum. Skipting verkefna var að 35% verkefna voru stutt, 30% meðallöng, 20% löng og 15% framtíðar verkefni.

Reiknaðar voru mögulegar hámarkstekjur þessara verkefna. Miðað við verkefnasafnið sem aðferðirnar völdu voru núvirtar framtíðartekjur af verkefnum ROV safnsins \$45 milljónir samanborið við \$13 milljónir hjá verkefnum valin með NPV aðferðinni. Í töflu 4 eru tekjurnar teknar saman fyrir mismunandi tilvik.

Tafla 4: Í töflunni má sjá hverjar tekjur aðferðanna tveggja eru og hver munurinn á þeim er. Tölurnar í töflunni eru í milljónum dollara.

	Tilvik 1	Tilvik 2
ROV	30	45
NPV	13	13
Δ	17	32
$\Delta\%$	131%	246%

Næmnigreining. Athugað var hversu næm líkönin eru fyrir breytingu á tekjum verkefnanna. Þegar tekjurnar eru lækkaðar um 10% velur NPV aðferðin aðeins stutt verkefni. Þegar tekjurnar hafa verið lækkaðar um 30% velur ROV aðferðin einnig aðeins stutt verkefni og velja aðferðirnar því samskonar verkefnasöfn eins og sést í töflu 5. Því næst var athugað hvernig líkönin hafa sér þegar tekjurnar eru hækkaðar frá 10% til 100%. Með hækkingu tekjum valdi ROV fleiri löng og framtíðar verkefni á kostnað styttri og meðallangra verkefna. NPV aðferðin valdi hins vegar fleiri meðallöng verkefni á kostnað styttri verkefna þar til aðferðin valdi ekkert nema meðallöng verkefni.

Tafla 5: Taflan sýnir hvernig verkefnasafnið sem valið er breytist með breyttum tekjum.

Breyting á tekjum	Aðferð	Stutt	Meðallöng	Löng	Framtíðar
-30%	ROV	16	0	0	0
	NPV	15	0	0	0
-20%	ROV	15	1	0	0
	NPV	15	0	0	0
-10%	ROV	10	4	1	2
	NPV	15	0	0	0
0%	ROV	4	6	3	2
	NPV	10	5	0	0
10%	ROV	2	8	2	4
	NPV	9	6	0	0
30%	ROV	2	3	5	5
	NPV	3	11	0	0
50%	ROV	2	4	5	5
	NPV	3	11	0	0
100%	ROV	1	3	6	5
	NPV	0	13	0	0

4.3 Samantekt

Í þessum kafla voru niðurstöður verkefnisins teknar saman. Virði stakra verkefna var sett fram í töflu 2. Einnig var gerð næmnigreining á virði stakra verkefna með ROV aðferð. Því næst voru kynntar niðurstöður á verkefnasöfnum sem voru valin og næmnigreining á þeim. Í næstu tveimur köflum verður fjallað um þessar niðurstöður og hver næstu skref fyrir Össur hf. eru.

5 Umræða

Til þess að velja besta verkefnasafn sem völ er á er mikilvægt að notast við gott bestunarlíkan. Þetta er sérstaklega mikilvægt þegar um er að ræða stór fyrirtæki sem þurfa að velja á milli margra verkefna. Líkanið getur þá valið hlutlaust á milli fjölda verkefna af mismunandi gerðum og stærðum. Það er hins vegar mikilvægt að greina vel hvaða aðferð hentar best hverju fyrirtæki. Mikilvægt er að aðferðin sé nógu nákvæm fyrir umfang verkefnanna en einnig að hún sé ekki óþarflega flókin.

Í þessu verkefni voru tvær gerðir vallíkana bornar saman. Vallíkan með núvirðisaðferð, NPV, og vallíkan byggt á raunvilnunum, ROV. Núvirðisaðferðin á það til að undirverðleggja langtíma verkefni þar sem hún notast oft við háa ávöxtunarkröfu sem lætur tímafrek verkefni ekki líta vel út. Hún notar einnig upplýsingar sem til eru í dag til að meta verkefnið en ekki upplýsingar sem munu koma í ljós á verkefnatímanum. Raunvilnunaðferðin getur hins vegar borið saman bæði löng og stutt verkefni á sama grundvelli og getur því betur metið hvernig besta verkefnasafnið eigi að líta út miðað við þau verkefni sem í boði eru. Hún tekur einnig óvissuþættina með í líkanið þó svo að erfitt geti verið að meta þá, í mörgum tilvikum. Þetta á sérstaklega við þegar um nýjar vörur er að ræða þ.e. þegar sambærilegar vörur hafa ekki áður verið framleiddar.

Niðurstöðurnar leiða í ljós að ROV aðferðin valdi áhættumeiri verkefni heldur en NPV aðferðin miðað við þær forsendur sem gefnar voru. Ástæða þess er að meiri ávinningur getur verið af verkefni ef ákveðið er að halda áfram fram að næsta tímabili til þess að sjá hvort framtíðarupplýsingar muni reynast hagstæðar. Möguleikinn á því að geta haldið áfram og fjárfest í verkefninu þegar áhættan minnkar með tíma er því metin mikils virði. Þegar tæknileg óvissa er mikil lítur ROV á verkefnið sem ódýrara verkefni því möguleiki er á að hætta við verkefnið síðar, ef óvissa reynist of mikil. Framtíðarupplýsingar gætu leitt í ljós að verkefnið sé mun flóknara heldur en gert hafi verið ráð fyrir eða hreinlega ekki mögulegt og þar af leiðandi ekki arðbært. Þá er hætt við verkefnið áður en frekari kostnaður er lagður í verkefnið.

Hvert verkefni fyrir sig var valið með viðeignadi aðferð. Næmnigreining var gerð þar sem athugað var hvort virði valréttar breytist þegar hann er brotinn upp í fleiri tímabil. Það kom í ljós að það er verðmætt að geta brotið verkefnið upp í fleiri lítil verkefni þar sem virði

valréttar að frádregnum kostnaði var hærra með meiri fjölda skiptinga. Það hefði hins vegar krafist töluvert meiri útreikninga að skipta öllum verkefnum upp í fleiri hluta og ákveðið var að halda líkaninu sem einföldustu í þessu verkefni.

Þegar upphaflegu forsendur verkefnisins voru settar í bestunarlíkanið voru mögulegar tekjur verkefna, valin með ROV aðferðinni, 131% hærri en mögulegar tekjur verkefna valin með NPV aðferðinni. Þegar tekjurnar voru núvirtar er munurinn \$17 milljónir ROV verkefnasafninu í hag. Þetta gefur því góða mynd af því hvað ávinningurinn getur verið mikill ef farið er af stað í stór og áhættusöm verkefni sem geta verið verulega arðbær ef vel tekst til.

Þegar verkefnasafninu sem aðferðirnar völdu verkefni úr var breytt þar sem 35% voru stutt verkefni, 30% meðallöng, 20% löng og 15% framtíðar verkefni var munurinn orðinn enn hærri. Þá var munurinn á tekjunum 246% þar sem tekjur ROV safnsins voru hærri. Þegar tekjurnar voru núvirtar var munurinn \$32 milljónir. Ástæða þess er að mörg verkefni í ROV aðferðinni eru stór og ávinningurinn því mögulega verulega mikill.

Ekki var tekið tillit til þess hvenær tekjurnar koma til fyrirtækisins nema með útreikningum á NPV. Það var því ekki gert ráð fyrir því að nýta mætti þær tekjur sem kæmu fyrir til þess að fjárfesta í frekari verkefnum. Þessar tekjur hefðu því getað verið mun verðmætari og hefðu þá verkefni sem tækju styttri tíma mögulega frekar verið valin heldur en verkefni sem taka lengri tíma.

Athugað var hversu næmt líkanið er fyrir breytingum á tekjum sem sýnt er í töflu 5. Mikilvægt er að gögnin séu sem nákvæmest og verður líkanið aldrei betra heldur en gögnin sem notuð eru. Það er því mikilvægt að vanda til að gagnaöflunar í byrjun. Það gefur einnig stjórnendum betri tilfinningu fyrir verkefnum og hvernig þau munu þróast. Breyting á tekjunum hafði mikil áhrif. Þegar tekjurnar voru aðeins lækkaðar um 10% þá valdi NPV aðeins stutt verkefni og ROV aðferðin valdi einnig styttri verkefni. Þegar tekjurnar höfðu verið lækkaðar um 30% valdi ROV aðferðin einnig aðeins stutt verkefni og aðferðirnar völdu því eins verkefnasafn. Þegar tekjurnar voru hækkaðar um 10%-100% valdi NPV líkanið fleiri meðallöng verkefni á kostnað styttri verkefna. ROV líkanið fór einnig að velja fleiri framtíðar verkefni með hækkanði tekjum eins og sjá má í töflu 5.

6 Ályktun

NPV aðferðin sem Össur notar er aðeins í áttina að ROV aðferðinni þar sem vara þarf að fara í gegnum ákveðin hlið á leið sinni um þróunarferlið og er því ekki öll ákvörðunin tekin alveg í upphafi. Með NPV aðferðinni á fyrirtækið hins vegar erfitt með að bera saman stór og lítil verkefni á samanburðarhæfan hátt. Tekjur löngu verkefnanna verða litlar þar sem þær eru núvirtar með hárrí ávöxtunarkröfu og eru því sjaldan valin og þar af leiðandi eru þar töpuð tækifæri og tekjur. ROV aðferðin hefur hins vegar ekki verið mikið notuð og hafa því stjórnendur ekki nægjanlega reynslu ennþá til þess að nýta líkanið á eins góðan máta og mögulegt er. Nauðsynlegt er að nýta valréttina á réttum tíma til þess að hámarka virði þeirra. Einnig getur verið erfitt að meta ýmsar breytur sem fara í líkanið, sérstaklega ef óvissa er mikil og um alveg nýtt verkefni er að ræða.

Þessi rannsókn leiddi í ljós að mikil tækifæri geta falist í að velja verkefni með ROV aðferðinni. Til þess að hægt sé að nýta aðferðina til fulls þarf hins vegar góða greiningu á verkefnum. Það þarf að greina vel allar breytur sem þarf að setja í líkanið til þess að það sé marktækt og skili lausn sem hægt er að treysta vel. Næstu skref gætu falist í ítarlegri rannsóknum og greiningum á breytunum sem fara inní líkanið.

Heimildir

Baker, N. and Freeland, J. (1975). Recent advances in R&D benefit measurement and project selection methods. *Management Science*, 21(10), 1164-75.

Black, F. and Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy* 81 (May-June): 637-659.

Boer, F.P. (2000). Valuation of technology using real options. *Research-Technology Management*, 43, 26-30.

Bowman, E.H., and Moscovitz, G.T. (2001). Real options analysis and strategic decision making. *Organization Science*, 12(6), 772-7.

Brunner, D., Fleming, L., MacCormack, A. and Zinner, D. (2008). R&D Project Selection and Portfolio Management: A Review of the Past, a Description of the Present, and a Sketch of the Future. *Handbook of Technology and Innovation Management*.

Cassimon, D., Engelen, P. J., Thomassen, L., & Van Wouwe, M. (2004). The valuation of a NDA using a 6-fold compound option. *Research Policy*, 33(1), 41-51.

Chien, C-F. (2002). A portfolio-evaluation framework for selecting R&D projects. *R&D Management*, 32 (4), 359-68.

Cooper, R. (1986). *Winning at New Products*, Holt, Rinehart and Winston of Canada Limited, Toronto.

Cooper, R., Edgett, S., Kleinschmidt, E. (2001) Portfolio management for new product development: results of an industry practices study. *R&D Management*, 31 (4), pp. 361-380.

Cooper, R.G., Edgett, S.J, And Kleinschmidt, E.J. (1998). Portfolio management for new products.

Copeland, T. and Antikarov, V. (2001). *Real Options, a practitioner's guide*. New York, NY: TEXERE LLC.

Doctor, R.N., Newton, D.P. and Pearson, A. (2001). Managing uncertainty in research and development. *Technovation*, 21, 79-90.

Feinstein, S., Lander, D. (2002). A better understanding of why NPV undervalues managerial flexibility. *The Engineering Economist*, 47, pp. 418-435.

Geske, R. (1979). The valuation of compound options. *Journal of Financial Economics*, 7, pp. 63-81.

Hodder, J.E., and Riggs, H.E. (1985). Pitfalls in evaluating risky projects. *Harvard Business Review*, 63(1), 128-35.

Hull, J. C. (2012). *Options, Futures, And Other Derivatives* (8. útgáfa). England: Pearson.

Lánamál ríkisins. (e. d.). Skuldabréfamarkaður. Sótt 15. september 2017 af <http://www.lanamal.is/skuldabrefamarkadur>

Lo Nigro, G., Morreale, A., & Enea, G. (2014). Open innovation: A real option to restore value to the biopharmaceutical R&D. *International Journal of Production Economics*, 149, 183-193.

Moore, J.R., Baker, N.R. (1969). An analytical approach to scoring model design—application to research and development project selection. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 16 (3) pp. 90-98.

Perlitz, M., Peske, T., Schrank, R. (1999). Real options valuation: the new frontier in R&D project evaluation? *R&D Management*, 29 (3), pp. 255-270.