

Bruk av usikkerhetsanalyser og nåverdiberegninger i konseptfasen

v/ Philip Chan, GDF SUEZ E&P Norge AS

1. Introduksjon

Bruk av eksisterende vertsplattformer til nye subsea-tilknytninger, by-difference allokering og allokering med flerfasemålere kan gi store besparelser i investeringskostnader i form av mindre utstyr. Dette fører til at dagens vertsplattformer får flere og flere tilknytninger og at eierskapsstrukturen er fragmentert. Måle- og allokeringskonsepter blir mer og mer komplisert med antall tilknytninger og endringer på et felt kan ha synergieffekter på alle andre felt. Det er derfor enda viktigere å være klar over påvirkninger av nye tilknytninger til nåværende og fremtidig måle-/allokeringsfilosofi på en plattform.

Denne artikkelen skal, med hjelp av praktiske eksempler, vise hvordan usikkerhet- og nåverdiberegninger i konseptfasen kan bidra til en detaljert vurdering av forskjellige måle- og allokeringskonsepter. Alle tall i denne artikkelen er fiktive.

2. Verktøy til konseptvalg: usikkerhetsberegninger og nåverdianalyse

Grunnligninger, forkortelser og antakelser som blir brukt i denne artikkelen blir kort oppsummert. Det er referert til GUM og NFOGM's Håndbok til usikkerhetsberegning for en fullstendig forklaring av usikkerhetsberegninger.

2.1. Usikkerhetsberegning

Grunnligningen til en kombinert standard usikkerhet er gitt med:

$$u_c^{*2}(y) = \sum_i^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^{*2}(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} * \frac{\partial f}{\partial x_j} * u^*(x_i, x_j)$$

Lign. 1: Basisligning til kombinert standardusikkerhet

med:

$u_c^*(y)$ = kombinert, standard usikkerhet av en beregnet variabel y

$u^*(x_i)$ = standard usikkerhet av målt variabel x_i

$u^*(x_i, x_j)$ = kovarians mellom x_i og x_j

$\frac{\partial f}{\partial x_i}$ = partiell avledning av $f(x_i \dots x_N) = y$ etter x_i

I denne artikkelen blir det antatt at alt målt flow er ukorrelet, dvs. ikke er avhengig av hverandre. Vi kan dermed forenkle ligning 1 til

$$u_c^{*2}(y) = \sum_i^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^{*2}(x_i) = \sum_i^N c_{x_i}^2 u^{*2}(x_i)$$

Lign. 2: Kombinert standardusikkerhet uten korrelasjon av inngangsverdier

med:

NFOGM 2014 Nyhetsbrev –

Bruk av usikkerhetsanalyser og nåverdiberegninger i konseptfasen

c_{x_i} = sensibilitetskoeffisient eller $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ partiell avledning av $f(x_i \dots x_N) = y$ etter x_i ,

En får den ekspanderte usikkerheten med å gange med coverage faktor k

$$u(x_i) = u^*(x_i) * k$$

Lign.3: Ekspandert usikkerhet

Den relativt ekspanderte usikkerheten får en med å dele den ekspanderte usikkerhet med estimert input verdi x_i

$$U(x_i) = \frac{u(x_i)}{x_i}$$

Lign.4: Relativ, ekspandert usikkerhet

2.2. Nåverdianalyse

Nåverdien blir vanligvis analysert med den «tradisjonelle» kost/nytteanalysen i henhold til følgende ligning:

$$\frac{E * NVP * forbedring \text{ måleusikkerhet } [\%] * R}{100\%} = \text{max. CAPEX for målekonsept}$$

Lign.5: Tradisjonelt kost&nytte evaluering

med:

E = eierskapsfaktor = $\frac{\sum dE_k}{k}$

k = antall felt

NVP = Nåverdi av produksjon

dE = forskjell i eierskap mellom lisensene

R = riskfaktor; vanligvis 0,2 eller 0,25

I denne artikkelen blir ligning 5 ikke brukt til nåverdianalysen. Grunn er fordi at eierskapsfaktor E fungerer veldig bra for 2 felt men har problemer hvis flere felt skal knyttes til. Måten eierskapsfaktoren blir beregnet på fører til at faktoren blir lavere ved flerfeltstilknytninger (dvs. fiskale målinger blir uviktigere), noe som ikke samsvarer med realiteten. Et eksempel for hvordan eierskapsfaktor E forandrer seg når en går over fra 2 til 3 felt er vist i de tabeller nedenfor.

| | Vega | Gjøa | Diff. |
|-----------|------|------|------------|
| Selskap A | 70 | 20 | 50 |
| Selskap B | 30 | 20 | 10 |
| Selskap C | 0 | 60 | 60 |
| Total | | | 120 |
| E-faktor | | | 0,6 |

| | Vega | Gjøa | Skarf. | Diff. |
|-----------|------|------|--------|-------------|
| Selskap A | 70 | 20 | 30 | 50 |
| Selskap B | 30 | 20 | 70 | 50 |
| Selskap C | 0 | 60 | 0 | 60 |
| Total | | | | 160 |
| E-faktor | | | | 0,53 |

Tabell 1: Eierskapsfaktor med 2 felt

Tabell 2: Eierskapsfaktor med 3 felt

I tillegg er det slikt at den tradisjonelle metoden ikke tar hensyn til eksponering av feilmåling for hvert individuelt selskap men sammenfatter eierskapsforhold til alle selskaper med en faktor. Tvert i mot kan en ny tie-in føre til en økt, likt eller lavere eksponering til allokeringusikkerhet for hvert eneste selskap. Det blir derfor foreslått en ny formel for å ta hensyn til disse effekter:

$$\frac{\sum_k E_k \sum_i NVP_i * U_i}{\sum_k E_k \sum_i NVP_i} = \frac{\text{Selskapets eksponering}}{\text{Selskapets inntekt}} = \text{Selskapets relativ eksponering}$$

Lign.6: Alternativ analyse av nåverdi

med:

- E_k = Eierskap i lisensen
- NVP_i = Nåverdi av felt i
- U_i = Feltallokeringsusikkerhet
- Indeks i = antall produksjonsår
- Indeks k = antall felt

Ligning 6. deler selskapets eksponering til allokeringusikkerhet med selskapets inntekt for å få selskapets relativ eksponering. Eksponering og inntekt stiger/faller ikke likt for alle selskaper, det er mulig at en ny tie-in fører til en økt eksponering for et selskap mens en lavere eksponering for et annet selskap. Det samme gjelder for inntekt. Derfor må eksponering og inntekt beregnes for hvert eneste selskap for å analysere lønnsomheten i sin helhet.

| År | Vega NPV [Mnok] | Gjøa NPV [Mnok] | Vega usikkerhet | Gjøa usikkerhet | Vega eksponering [Mnok] | Gjøa eksponering [Mnok] |
|-------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | 4224 | 15583 | 0,83 % | 0,84 % | 35 | 131 |
| 2 | 3354 | 13399 | 0,86 % | 0,79 % | 29 | 106 |
| 3 | 2638 | 11543 | 0,88 % | 0,74 % | 23 | 85 |
| Total | 10217 | 40525 | - | - | 87 | 322 |

Tabell.3: Beregning av eksponering til allokeringusikkerhet

| | Eierskap i Vega | Eierskap i Gjøa | Eksponering | Inntekt | Relativ eksponering |
|-------------|-----------------|-----------------|-------------|------------|---------------------|
| GDF | 4 % | 40 % | 132 Mnok | 16619 Mnok | 0,80 % |
| Wintershall | 25 % | 10 % | 54 Mnok | 6607 Mnok | 0,82 % |
| Statoil | 20 % | 5 % | 34 Mnok | 4070 Mnok | 0,82 % |

Tabell.4: Beregning av selskapet's relativ eksponering til allokeringusikkerhet

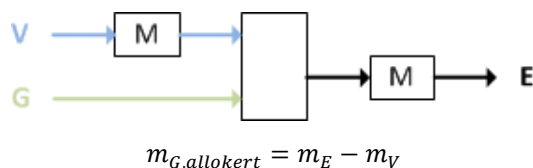
3. Tie-in studie til Gjøa

I det følgende blir usikkerhets- og nåverdianalyser gjennomgått ved hjelp av forskjellige konsepter for en ny tie-in til Gjøa plattformen.

3.1. Eksisterende allokeringssopplegg vs. Skarfjell by-difference

Før en evaluering av forskjellige tie-in scenarier så er det viktig å se på det eksisterende allokeringssopplegget og påvirkningen av en ny tie-in. Blir det eksisterende allokeringssopplegget forbedret eller forverret? En evaluering av nåværende situasjon er viktig slikt at en har en base case som referanse.

Den nåværende situasjonen er slikt at Vega blir målt mens Gjøa felt får allokert differansen mellom eksport og Vega.



$$u_G^2 = \sum_i^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) = 1^2 * u_E^2 + (-1)^2 * u_V^2 = u_E^2 + u_V^2$$

Lign.7: Ekspandert allokeringusikkerhet Gjøa med by-difference metoden

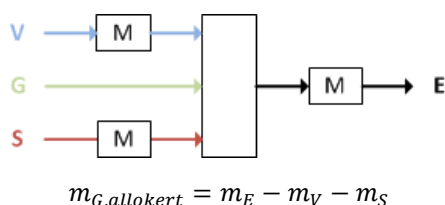
Hvis en deler hele ligningen med masse allokert til Gjøa som forventet inputverdi og utvider standardusikkerheten av eksport/vega med sin respektiv forventet massestrøm så får vi relative usikkerheter til alle strømmer.

$$U_G^2 = \frac{u_G^2}{m_G^2} = \frac{m_E^2}{m_G^2} * U_E^2 + \frac{m_V^2}{m_G^2} * U_V^2$$

Lign.8: Relativt allokeringusikkerhet Gjøa med by-difference metoden

Dette er basisligningen til det nåværende allokeringssopplegget på Gjøa. Med en gitt måleusikkerhet for Vega/eksport og deres respektiv forventet massestrøm så er det mulig å beregne allokeringusikkerheten til Gjøa felt. Legg merke til at forventet massestrøm til Gjøa er under brøkstreken, dvs. hvis Gjøa's produksjon dominerer Vega's produksjon så blir Gjøa's allokeringusikkerhet lavere enn hvis Vega dominerer Gjøa. Dette er et velkjent fenomen at den mindre produsenten skal alltid måles mens den store produsenten skal beregnes som differanse i en differanseallokering.

Samme basisligning kan lages til et konsept hvor Skarfjell skal knyttes til Gjøa med en dedikert separator med fiskale målere.



$$U_G^2 = \frac{m_E^2}{m_G^2} * U_E^2 + \frac{m_V^2}{m_G^2} * U_V^2 + \frac{m_S^2}{m_G^2} * U_S^2$$

Lign.9: Ekspandert allokeringusikkerhet Gjøa med by-difference metoden (med Skarfjell tie-in)

Med å sammenligne begge formler så gjør vi følgende observasjon: Gjød's masserate er under brøkstreket, slikt at det er av fordel for Gjød's allokeringusikkerhet hvis Gjød felt er den dominerende produsenten på Gjød plattform. Men med Skarfjell tie-in så er Gjød felt ikke lenger den dominerende produsenten på Gjød plattform. Gjød's produksjon er i decline når Skarfjell skal knyttes til og Skarfjell blir den dominerende produsent på Gjød plattform. Allokeringusikkerheten til Gjød felt blir dermed dårligere med Skarfjell enn uten. Når en plottet de beregnete allokeringusikkerheter mot tid så får vi følgende resultat.

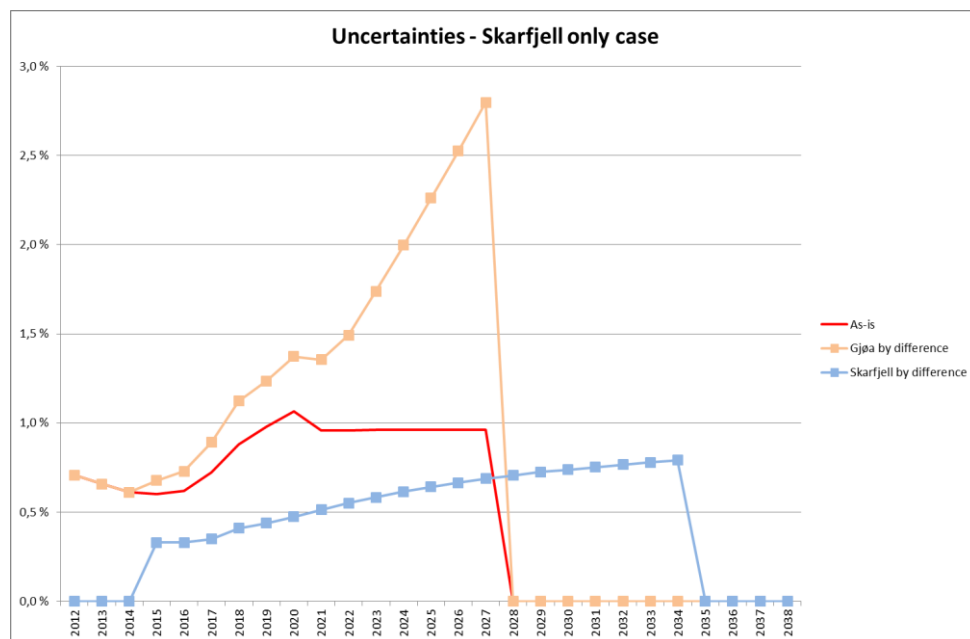


Fig 1: Gjød's allokeringusikkerhet før og etter Skarfjell tie-in (by-difference)

Gjød's allokeringusikkerhet øker signifikant når Skarfjell skal knyttes til Gjød plattform. Dette fordi at Gjød felt ikke lenger er den dominerende produsenten og samtidig er i decline når Skarfjell skal knyttes til. Skarfjell's allokeringusikkerhet derimot er stabilt og ikke påvirket av hverken Gjød eller Vega siden Skarfjell får allokert det som blir målt på innløpsseparatoren. Usikkerheten til Gjød viser en liten drop i år 2021, dette fordi at Vega slutter å produsere i dette året. Allokeringen går over fra et 3-felt by-difference til et 2-felt by-difference prinsipp. I basecasen så er Gjød's usikkerhet dermed stabilt etter 2021 (alt eksport blir allokert til Gjød).

En kan nå bruke produksjonsprofiler og usikkerhetsberegninger til å lage en nåverdianalyse.

| | Totalverdi [Mnok] | Totalt eksponering [Mnok] | GDF eksponering | Wintershall eksponering | Statoil eksponering |
|--------------------|-------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------|
| Gjød as-is | 85561 | 736 | 0,8% | 0,9% | 0,9% |
| Gjød by-difference | 123393 | 1075 | 1% | 0,8% | 1,0% |

Tabell 5: Nåverdianalyse før og etter Skarfjell tie-in (by-difference)

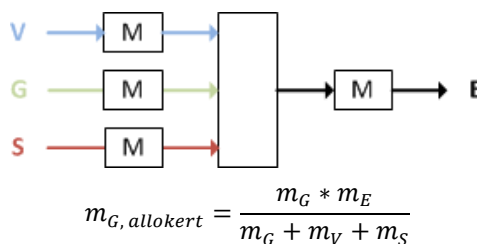
Nåverdianalysen viser at det er GDF og Statoil som bærer eksponeringen til allokeringusikkerhet når Skarfjell blir knyttet til Gjød. Vega blir egentlig ikke påvirket av Skarfjell tilknytningen men siden Statoil har

andeler på Gjøa felt så blir Statoil's eksponering økt med tilknytning av Skarvfjell. GDF Suez kommer dårligst ut pga. at GDF Suez ikke har andeler i Skarvfjell (dermed uten inntekt fra tilknytningen) og i tillegg belastes med en dårlig allokeringssikkerhet som vi så i usikkerhetsberegningen.

3.2. Skarvfjell by-difference vs. pro-rata allokering

Usikkerhetsberegning og nåverdianalyse skal nå anvendes på en ny case hvor forskjell mellom Skarvfjell by-difference og Skarvfjell pro-rata skal sammenlignes.

Beregninger til Skarvfjell by-difference er det samme som beskrevet i kapittel 3.1 og er uforandret. For Skarvfjell pro-rata allokeringen gjelder



$$U_{G, \text{allokert}}^2 = \left(\frac{m_E * (m_V + m_S)}{(m_G + m_V + m_S)^2} * U_G \right)^2 + \left(\frac{m_V * m_E}{(m_G + m_V + m_S)^2} * U_V \right)^2 + \left(\frac{m_S * m_E}{(m_G + m_V + m_S)^2} * U_S \right)^2 + \left(\frac{m_E}{m_G + m_V + m_S} * U_E \right)^2$$

Lign. 10: Relativ ekspandert allokeringssikkerhet Gjøa med pro-rata metoden

Basisligningen til pro-rata allokeringen er mye mer komplisert enn for by-difference allokeringen som gjør det vanskeligere å sammenligne begge formler på et analytisk nivå. Likevel kan vi gjøre det hvis vi gjør følgende antakelser:

-Forskjell av måleusikkerheter av alle fiskale målepakker er liten eller likt. I realiteten er dette ikke helt sant, siden allokeringssmålere ofte har utfordringer med ustabilisert olje/gass mens eksportmålere ikke har det. Likevel er det mulig å gjøre denne antakelsen for en grov sammenligning av usikkerheter mellom pro-rata og by-difference metoden.

-Forskjell mellom målt eksport m_E og sum av allokeringssmålere $m_G + m_V + m_S$ er liten.

$$U_{G, \text{allokert}}^2 \approx \left(\frac{(m_V + m_S)}{m_E} * U_G \right)^2 + \left(\frac{m_V}{m_E} * U_V \right)^2 + \left(\frac{m_S}{m_E} * U_S \right)^2 + U_E^2$$

Lign. 11: Estimat for relativ ekspandert allokeringssikkerhet for Gjøa (pro-rata)

Formelen som estimerer allokeringssikkerheten er nå mye enklere og vi kan gjøre følgende utsagn for Gjøa's allokeringssikkerhet for pro-rata allokering med Skarvfjell tie-in.

-Med de gitte massestrømmer så er alle massestrømforhold foran måleusikkerheter mindre enn 1 bortsett fra usikkerheten til eksportstasjonen, som er likt 1. Det betyr at måleusikkerheter for Gjøa, Vega og Skarvfjell har en mindre påvirkning på allokeringssikkerhet til Gjøa og har følgende rekkefølge: Eksport, Gjøa, Skarvfjell og Vega. Med Vega som den uviktigste stasjon siden Vega produserer minst i forhold til eksporten.

-Allokeringssikkerheten til Gjøa med pro-rata allokeringssprinsippet må bli mindre enn med by-difference metoden. Dette fordi at alle 2 av 3 masseforhold i by-difference allokeringen er større enn 1 mens ingen av de masseforhold til pro-rata allokeringen er større enn 1. Allokeringssikkerheten er gitt med kombinasjon av masseforhold og måleusikkerhet, det er irrelevant at pro-rata allokeringen i tillegg må ta hensyn til Gjøa's måleusikkerhet, så lenge alle fiskale stasjoner måler med tilnærmet likt usikkerhet.

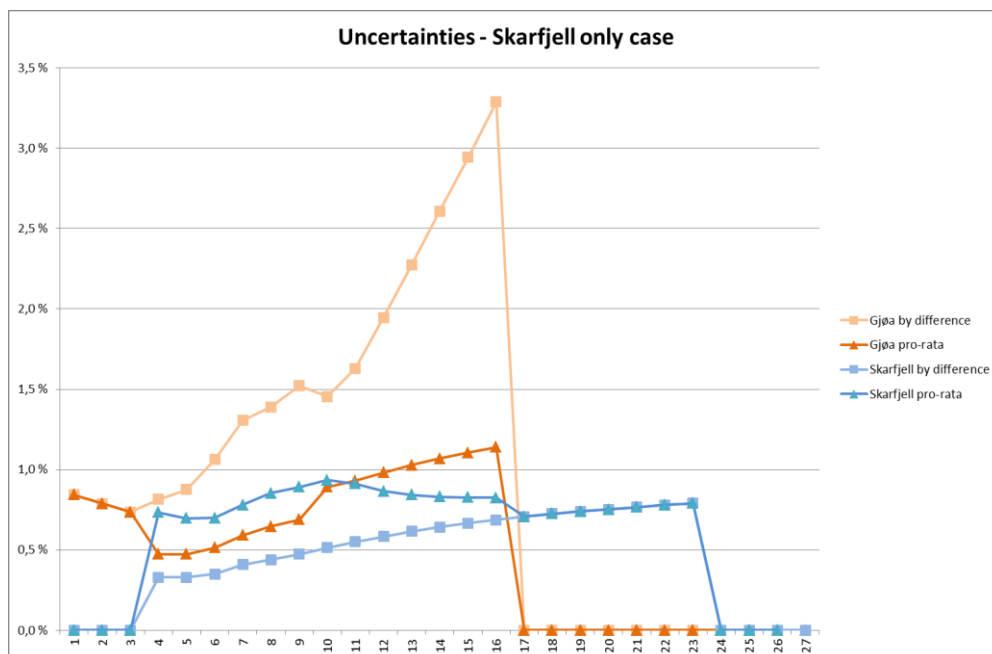


Fig 2: Gjøa's og Skarfjell's allokeringsusikkerhet for pro-rata og by-difference allokeringen

Med usikkerhetsberegningen som input får vi følgende resultat for nåverdianalysen.

| | Totalt eksponering [Mnok] | GDF relativt eksponering | Wintershall relativt eksponering | Statoil relativt eksponering |
|--------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Gjøa by-difference | 1074,5 | 1% | 0,8% | 1,0% |
| Gjøa pro-rata | 942,5 | 0,6% | 0,8% | 0,9% |

Tabell 6: Sammenligning av nåverdi mellom pro-rata og by-difference metoden

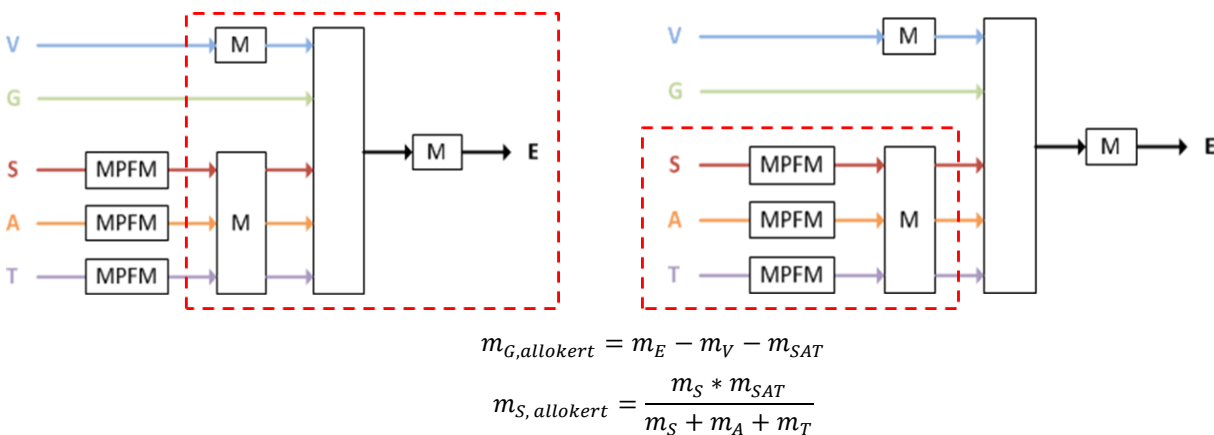
Som forventet har GDF Suez den største nytten av pro-rata allokeringen. En lavere allokeringusikkerhet reduserer GDF Suez's eksponering direkte. Wintershall er utsatt til en høyere eksponering pga. en dårligere Skarfjell allokering, men siden Wintershall eier andeler i Gjøa felt blir dette oppveiet med en mindre eksponering på Gjøa, slikt at den totale eksponeringen til Wintershall er omtrent likt.

Den totale eksponeringen for alle felt er ca. 100 mio. kr. mindre med pro-rata allokeringen, denne tall kan feks. brukes videre i en kost/nytte beregning senere når det er kjent hvor mye en målepakke til Gjøa koster. En må da ta hensyn til risikoen som prosjektet/selskapet ønsker å ta, som ikke har blitt tatt hensyn til i våre beregninger ennå. En kan også tenke seg å splitte kost/nytte beregningen for hvert selskap, dvs. med å se på redusert eksponering mot investeringskostnader som hvert selskap må bidra med. Hvert selskap kan da anvende sin egen riskfaktor, i avhengighet om hvor mye risk de er villige i å ta i investeringen.

3.3. Skarfjell/Astero/Titan by-difference vs. pro-rata allokering

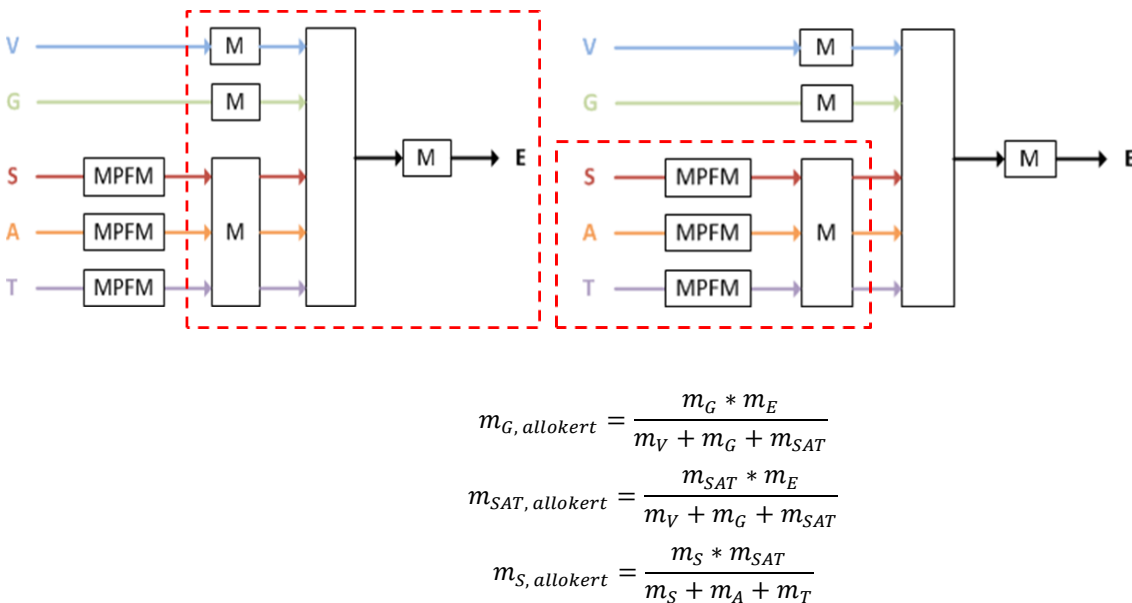
Det siste konseptet som skal behandles i denne artikkelen er tilknytning av Skarfjell, Astero og Titan (heretter kalt SAT) med en felles inlet separator topside for allokering mellom Gjøa, Vega og SAT og flerfasemålere subsea for en underallokering mellom Skarfjell, Astero og Titan. Formler blir mer kompliserte enn for de andre konsepter, men prinsippet og formelgrunnlag for usikkerhetsberegningen er det samme. Det som kommer tillegg er at det må kjøres en underallokering til for å fordele mellom Skarfjell, Astero og Titan.

For by-difference allokeringen på topside gjelder



Lign. 12: Allokeringusikkerhet til Gjøa og Skarfjell (by-difference for topside og pro-rata for subsea)

For pro-rata allokeringen for både topside og subsea gjelder



Lign. 13: Allokeringusikkerhet til Gjøa og Skarfjell (pro-rata for topside og subsea)

Avledninger og den fullstendige formelen til allokeringusikkerheter til hvert felt skal ikke beskrives i denne artikkelen, det ville hatt sprengt rammen av denne kortartikkelen. Formler og avledninger har samme struktur som i de forrige konsepter og med de beregnete usikkerheter så får vi følgende resultat til nåverdianalysen.

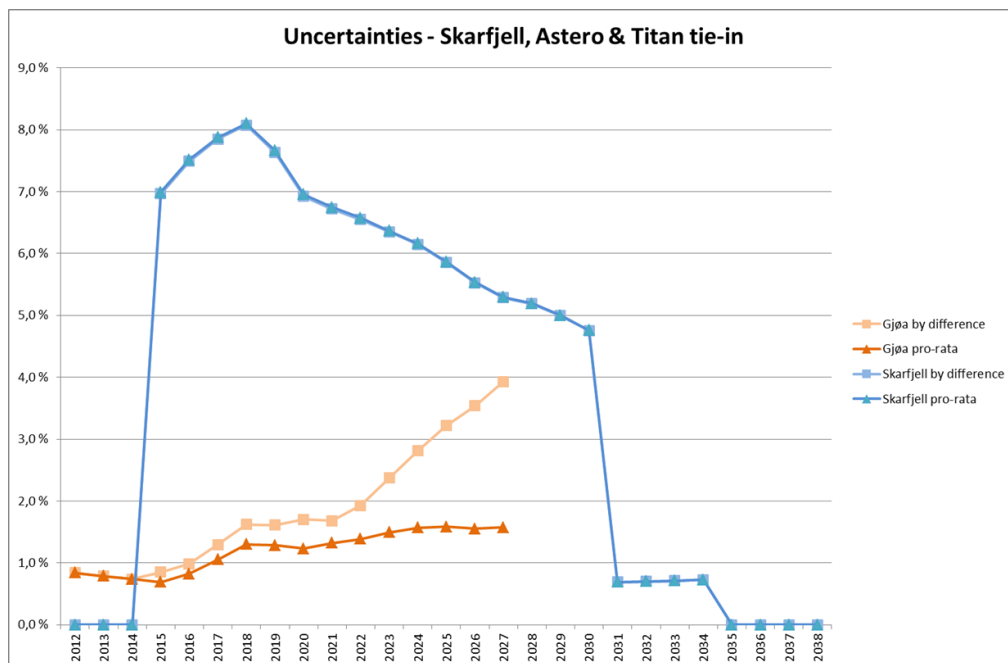


Fig.3: Gjoa's og Skarffjell's allokeringusikkerhet for pro-rata og by-difference allokeringen (SAT tie-in)

| | Totalt eksponering [Mnok] | GDF Suez relativt eksponering | Wintershall relativt eksponering | Statoil relativt eksponering |
|---------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| By-difference | 11111 | 2,5% | 7,7% | 10,8% |
| Pro-rata | 10878 | 2,2% | 7,6% | 10,8% |

Tabell 7: Sammenligning av navrdi mellom pro-rata og by-difference metoden (SAT tie-in)

Navrdianalysen viser at total eksponeringen for hele plattformen er ca. 250 mio. kr. lavere med pro-rata allokeringen og at det er GDF Suez som profiterer mest pga. lavere allokeringusikkerhet. Det som er spesielt med dette konseptet er at Skarffjell's allokeringusikkerhet for pro-rata og by-difference metoden er nesten likt. Dette er pga. at i en kjede med malinger/allokeringer sa er det alltid det svakeste leddet med den hoyeste usikkerhet som dominerer alle andre usikkerhetsbidrag. I dette tilfellet sa er det underallokeringen med flerfasemalere som forer til at vi ikke ser en forskjell mellom pro-rata eller by-difference metoden pa toppside. Med en underallokering pa ca. +/- 5%-8% sa spiller det ingen rolle om toppside blir allokert med 0,5% eller 1% usikkerhet. Forskjellen pa det endelig allokerte kvantum blir ikke synlig pga. en darlig underallokering.

4. Fasit

I denne artikkelen ble bruk av usikkerhets- og nåverdiberegninger i konseptfasen forklart med hjelp av flere praktiske eksempler. I tillegg ble en alternativ håndtering av lisenseierskap foreslått som tar hensyn til operatører som ikke har andeler i alle felt. Det ble vist at det er viktig med en nøyaktig analyse av usikkerhet og nåverdi på plattformer som skal begynne, fortsette eller slutte med by-difference allokeringen.

By-difference allokeringen og allokering med flerfasemålere kan bli økonomisk lønnsomt, men dette må vurderes nøye siden nye tilknytninger kan føre til en forbedret eller forverret allokering for eksisterende og fremtidige felt. For plattformer med en komplisert eierstruktur er det spesielt viktig å splitte nåverdianalysen for hvert selskap. Dette fordi at forbedringer i allokeringssopplegg ikke nødvendigvis vil påvirke alle selskaper likt.

Spesielt mindre operatører, som ikke har andeler på begge sider, er utsatt til en potensiell stor eksponering til allokeringusikkerhet og måle-/allokeringskonsepter må ta hensyn til det med en nøyaktig analyse av usikkerheter og nåverdi på selskapsnivå.