

## BYGGEBIM - KlimaBIM RAPPORT

---

Samarbeidspartnere i prosjektet:

Statsbygg v/ Zdena Cervenka og Diderik Haug

Skanska BIM-avdeling v/ Trine Kvåle Hervik, Kai Haakon Kristensen og Rupert Hanna

NOIS v/ Øyvind Jensen

Skanska IT v/ Kenneth Seim

Civitas v/ Eivind Selvig

# SKANSKA

# Innhold

<b>1. BAKGRUNN</b>	<b>4</b>
<b>2. DEFINISJONER</b>	<b>4</b>
<b>3. PROSJEKTETS MÅL, METODE OG VERKTØY</b>	<b>5</b>
<b>4. FORUTSETNINGER/AVGRENSNINGER</b>	<b>5</b>
4.1. OMFANG AV KLIMAGASS KALKYLENE	5
4.2. KLIMAGASSUTSLIPP FOR BYGNINGSMATERIALER	6
4.3. MODELL TIL BRUK I TESTINGEN	8
4.4. STANDARDER/OVERFØRINGSFORMAT	8
<b>5. CALCUS PROSESSEN</b>	<b>9</b>
5.1. STANDARDISERING - BIM OBJEKTBIKLIOTEKET OG CALCUS ELEMENTREGISTER	9
5.2. BYGGE BIM ELEMENTREGISTER	9
5.3. MODELLENE	10
5.4. CALCUS RESULTATER	10
5.5. FEILKILDER	11
5.6. KOMMERSIELL TILGJENGELIGHET AV CALCUS KLIMAGASSMODULEN	12
<b>6. KLIMAGASSREGNSKAPET</b>	<b>12</b>
6.1. INPUT TIL KLIMAGASSREGNSKAPET	12
2-0-1 "BÆRESYSTEMER OG ELEMENTER"	14
6.2. MENGDEUTTAK FRA REVIT MODELLER	14
6.3. MANGLER OG UNØYAKTIGHETER I REVIT MATERIALUTTAK	17
6.4. RESULTATER KLIMAGASSREGNSKAP	17
FIGUR 8: KLIMAGASSREGNSKAP SAMMENDRAG MED RESULTAT FOR BASISMATERIALER	18
<b>7. SAMMENLIGNING AV RESULTATENE FRA CALCUS OG KGR</b>	<b>18</b>
<b>8. KONKLUSJON</b>	<b>19</b>
<b>9. VIDERE ARBEID</b>	<b>20</b>
9.1. TEORETISKE OG FAKTISKE KLIMAGASSBELASTNINGER FOR BYGNINGER	20
9.2. VIDEREUTVIKLING AV DEN GENERISKE KLIMAGASSBELASTNINGSDATABASEN	22
9.3. GENERISKE KLIMAGASSTALL DIREKTE FRA BIM?	22
9.4. FORSLAG TIL FORBEDRING AV VERKTØYENE	22

**VEDLEGG****Appendiks:**

- 1. Cicero sammendrag av rapport om klimagassutslipp fra produksjon av bygningsmaterialer**
- 2. Calcus sammendragsrapporter**
- 3. Calcus prosjektbokrapport**

## 1. Bakgrunn

Byggesektoren på global basis er en av de største bidrag til verden klimagass problem. I Statsbyggs rapport om strategier for å senke klimagassutslipp fra Statsbyggs virksomhet står at drift av bygninger i Norge står for ca 40 % av landets totale klimagassutslipp. Selve materialene i nybygg står for en mindre men fortsatt betydelig del av Norges klimagassutslipp. I Nederland har ECN (Netherlands Energy Research Foundation) har forsket fram til at klimagassutslipp fra materialproduksjon i byggeindustrien står for 8-12 % av Vest Europas klimagassutslipp. Det kan anslås at i Norge er det tilsvarende tall som gjelder for klimagassutslipp tilknyttet materialer brukt i bygningsmassen.

Det finnes flere måte å angripe klimagassutslipp som kommer fra materialer brukt i bygninger. Valg av materialer er den mest selvinnytsende og det er innenfor dette område at dette prosjekt skal arbeide. Gjenbruk og resirkulering av materialer sammen med gjenbruk av bygg gjennom rehabilitering av bygg og økt levetid av bygg kan også nevnes måter å få ned produksjon av nye byggematerial og dermed senker klimagassutslipp. Dette prosjektet har som omfang å fokusere på hvordan valg av materialer kombinert med bruk av BIM kan brukes for å kalkulere klimagassforbruket av et bygg.

## 2. Definisjoner

<b>Klimagass</b>	Gass som bidrar til global oppvarming ved utslipp til atmosfæren. I dette prosjekt er utslipp for materialproduksjon for følgende klimagasser summert (Se sammendrag av Cicero rapport i Appendiks 1); Karbondioksid - CO <sub>2</sub> , Metan - CH <sub>4</sub> , Lystgass, N <sub>2</sub> O, Hydrofluorkarboner, HFK, Perfluorkarboner, PFK, Svovelheksafluorid, SF <sub>6</sub>
<b>CO<sub>2</sub> Ekvivalent</b>	De ulike klimagassene har forskjellige påvirkningsgrader på global oppvarming. CO <sub>2</sub> har en relativt svak påvirkning men høy volum i forhold til andre klimagassene. Påvirkings grad av de andre gassene er definert som faktorer av CO <sub>2</sub> s påvirkning. (Se Appendiks 1 Ciceros rapport).
<b>Bygningsdel</b>	Komponent av et bygg. Bygningsdeler er listet i en hierarkisk rekkefølge basert på delens funksjon i et bygg. Bygningsdeltabellen (Norsk Standard NS3451) inneholder en komplett liste av bygningdeler.
<b>Objekt</b>	Bygningsdel i BIM-modellen. En modell består av mange objekter. Et objekt tilsvarer en bygningsdel.
<b>Element</b>	En bygningsdel i Calcus. BIM-objekter blir koblet til Calcus-elementer ved import av en IFC modell til Calcus. Elementene er lagret i Elementregister tabellen i Calcus.
<b>Prislinje</b>	Elementer i Calcus består som oftest av flere underkomponenter. For eksempel en vegg med flere sjikt. Hvert sjikt har en pris og disse er lagret som prislinjer under elementet som er vegg. Elementer inneholder også prislinjer for montasje av elementer. Det er på prislinje for materialer at klimagass kostnaden er lagret.

### 3. Prosjektets mål, metode og verktøy

Målet med prosjektet er å teste ut kalkulering av en bygnings klimagassbelastning fra en BIM. Metodene som ble brukt var styrt av verktøyene og hvordan de tar imot data. To verktøy for kalkulering av klimagassbelastninger fra byggematerialer i bygninger har blitt brukt i prosjektet. Calcus fra NOIS og Klimagassregnskap (KGR) utviklet av Civitas i samarbeid med Statsbygg. Datasettet for klimagassbelastninger av forskjellige bygningsmaterialer brukt i både KGR og Calcus er fra sammen kilde, nemlig data om klimagassforbruk samlet av Cicero. Bygghanalyse har videre organisert Ciceros data i en databasetabell. Det er en svakhet i prosjektet at begge verktøyene bruker sammen klimagassbelastningsdatasett. Hadde Calcus og KGR brukt datasett fra forskjellige kilder ville prosjektet har gitt en mulighet for kvalitetssikring av klimagassbelastningsdata for byggematerialer ved å sammenligne resultatene. Prosjektets fokus har derfor vært på å teste metodene for bruk av BIM teknologi i klimagassutslippsreduksjon sammenheng.

Verktøyene er forskjellige i sine metoder for input av bygningsdata. Klimagassregnskap er tilgjengelig som webtjeneste hvor materialmengde data skrives in manuelt. Data for materialforbruk i et bygg kan legges inn på to måter; enten som "Basismaterialer" (tall for total material forbruk for antall tonn betong, tre, glass etc.) eller per bygningsdel, dvs. innevegger, utevegger, dekker etc..

Calcus er et verktøy for vurdering og kalkulering av byggeprosjekter. Programmet er veldig fleksibel og kan brukes til kostnadsstyring av prosjekter både i ide/skisse, forprosjekt og detaljprosjekt fasene. I Calcus kan man raskt bytte ut deler av en prosjektert bygning og se umiddelbart effekten av endringen på kostnad siden. NOIS har lagt til en modul for prising i klimagassforbruk som bruke sammen pris kalkuleringsmotor med sammen fleksibilitet som i finansiell kostnadsvurdering. Programmet kan ta imot bygningsinformasjon på to måte; enten som manuell input om bygningstype, byggemåte, areal og antall etasjer etc. eller fra en BIM modell i IFC format. I dette prosjektet er det IFC metoden som ble brukt siden Statsbygg krever at BIM transaksjoner skal alltid bruke åpne internasjonal utvekslingsformater for overføring av BIM modeller og tilhørende informasjon mellom applikasjoner.

Med disse to verktøyene på plass ble det gjennomført klimagasskalkyler med begge verktøy for modell. Resultatene fra Calcus og KRG ble sammenlignet for å kontrollere og kvalitetssikres systemene mot hverandre. Som nevnt tidligere bruker Calcus og KGR sammen klimagassdatasett så sammenligning mellom resultatene blir i realiteten en sammenligning av de interne mengde kalkuleringsmetodene i disse applikasjonene. I Calcus ble det i tillegg gjennomført en demonstrasjon av utbygging av objekter i modellen for å se hvordan det endret pris og klimagassbelastninger for bygget.

### 4. Forutsetninger/avgrensninger

#### 4.1. Omfang av klimagass kalkylene

Det i dag ingen kriteri eller krav på byggherre eller entreprenør om rapportering og begrensning av klimagassutslipp i forbindelse med byggeprosjekter. Statsbygg i sin

rapport Klimautfordringer for Statsbygg foreslår flere tiltak for å senke klimagassutslipp fra byggeaktiviteter. Blant disse er å kreve miljødeklarasjoner med klimagassdata for produkter fra alle leverandører.

Klimagassutslipp ved reising av et bygg kan komme fra flere kilder. Følgende kilder har blitt diskutert i KlimaBIM prosjektmøter:

1. Materialvalg og mengde
2. Transport til byggeplass
3. Rigg og drift
4. Grunnarbeider
5. Drift av bygg etter ferdigstillelse
  - a. Energi til oppvarming og drift
  - b. Levetid av bygget
  - c. Transport til og fra bygget for brukerne (geografisk plassering)
  - d. Eventuell rehabilitering og oppgradering av bygget og inventar.

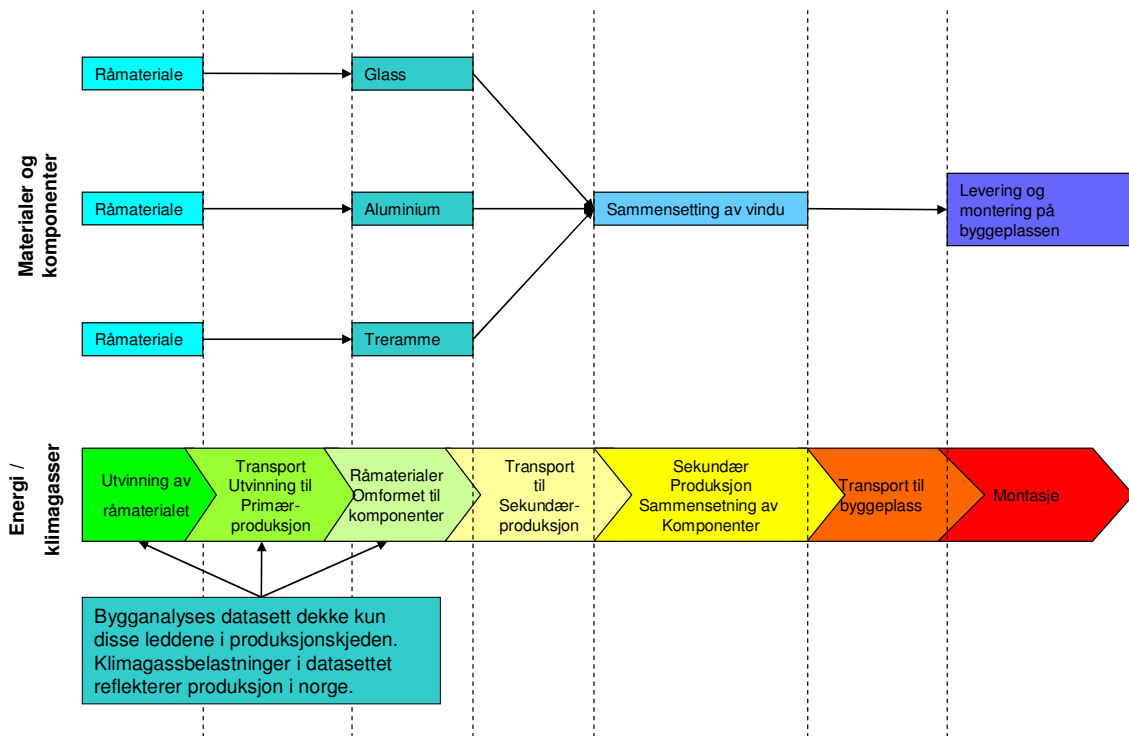
Siden KlimaBIM har som mål å vise hvordan BIM kan brukes i forbindelse med kalkulering av klimagassfotavtrykk til bygninger er det kun punkt 1 som det har blitt kalkulert klimagassbelastninger for. De andre punktene er nærmere koblet til planlegging og innkjøp, og er dermed behandlet som emner for mulig videre arbeid og utvikling. Det eksisterer også gode muligheter for å kalkulere klimagassbelastninger for punkt 2-5 fra erfaringstall. Et byggs energiforbruk under drift kan simuleres ved bruk andre verktøy men dette ligger også utenfor scopet til KlimaBIM prosjektet.

## **4.2. Klimagassutslipp for bygningsmaterialer**

Foredling av materialer krever energi som på verdensbasis stort sett kommer fra forbrenning av fossilt brensel og dermed forårsaker utslipp av klimagasser. Bygghanalyses datasett for klimagassutslipp fra produksjon av byggmaterialer har regnet alt energiforbruk som om det kommer fra forbrenning av fossilbrensel. Ofte er det flere prosesser involvert for å lage et bygningselement. Noen produksjonsprosesser involverer kjemiske reaksjoner som slipper ut klimagasser i tillegg til utslipp fra energiforbruk. Dette kan gjøre beregning av klimagassforbruk for et element i bygget komplisert. Transport av byggevarer og råmaterialer kan være spesielt vanskelig å regne siden det ofte er primære og sekundære produksjonssteder med ulike transportetapper mellom.

Ta for eksempel et vindu som består av glass, aluminium, tre og smådeler i plast, stål og gummi. Flyttdiagrammet under beskriver de typiske leddene for fabrikasjon og transportasjon av et vindu fra råmaterialer til vinduet blir levert på byggeplassen.

## Faser i produksjon av bygningskomponenter som gir klimagassutslipp



Figur 1

For produksjon av et vindu er det sannsynlig at selve produksjonstrinnene (utvinning, primær og sekundær) er relativt like i energiforbruk og klimagassutslipp siden de industrialiserte prosessene er standardisert på en global basis. Transportetappene mellom produksjonstrinnene kan derimot variere mye. Ciceros data for klimagassbelastninger inkluderer råstoffuttak, transport til produksjonssted og produksjon og dataene reflekter produksjon som foregår i Norge. Transportetappene mellom primært og eventuelle sekundære produksjonssteder, samt til byggeplassen, er ikke tatt med i klimagassbelastninger vi kalkulerer i dette prosjektet. I fremtiden kommer klimagassutslipp for byggevarer til å bli bedre dokumentert for produkter, slik at det kun er den siste transportetappene til byggeplassen som varierer per prosjekt.

Datasettet brukt i både KGR og Calcus kan derfor forstås som et datasett for generiske materialer, produsert i Norge. Det vil si at den ikke tar høyde for variasjoner i energikilder brukt under produksjon eller geografisk lokalisering av produksjonsstedene. Resultatene fra KlimaBIM prosjektet representerer kun teoretiske klimagassbelastninger for et bygg. For å kunne finne ut hvor stort et byggs faktiske klimagassfotavtrykk er, må alle materialer i bygget komme med dokumentert klimagassbelastning og disse må summeres. I en produktspesifikk BIM ville det også vært mulig å inkludere klimagassbelastning for alle objektene i modellen og inkludere de siste transportetappene fra leverandør til byggeplassen ved å legge inn faktorer for distansen fra leverandør til byggeplassen. Det må understrekes at et nøyaktig klimagassfotavtrykk for en

produktspesifikk BIM ligger et stykke fram i tid på grunn av dagens manglende klimagassdeklarasjoner for byggematerialer og produkter, og kompleksiteten av transportetappene fra alle leverandører til en byggeplass.

### 4.3. Modell til bruk i testingen



Figur 2 ByggeBIM modell

Ved prosjektets oppstart var det Statsbyggs ønske at HIBO- modellen skulle brukes. På grunn av HIBO modellens størrelse og kompleksitet ble det bestemt å bruke en ny modell. Modellen ble bygget opp in-house i Skanska med den spesifikke intensjon om å bruke den i KlimaBIM og ByggeBIM e-Handel prosjektene.

Revit Architecture er brukt som modelleringsverktøy. Siden modellen skulle brukes kun til å hente ut mengder som blir prosessert videre av Calcus og KGR, blir det sett som unødvendig å modellere i flere fag en Arkitekt.

Modellen består av en 3 etasjes boligblokk med fire leiligheter på etasje og parkeringskjeller. Den inneholder kun et begrenset antall basisobjekter for å unngå at mye tid blir brukt på prosessering av data fra modellen.

### 4.4. Standarder/overføringsformat

Det er prinsipielt viktig for Statsbygg, som statlig oppdragsgiver, at utveksling av BIM modeller og informasjon foregår på en åpen, internasjonal standard som overføringsformat. Avhengighet av bestemte leverandør og proprietære formater er ikke aksepterbart for Statsbygg. Vi benytter derfor IFC som overføringsformat mellom modell og Calcus. KGR har ikke mulighet til import av BIM formater og er dermed avhengig av at eksport av mengdeuttak til ikke-Revit (som for eksempel Excel) formater skjer uten tap av informasjon.

## 5. Calcus prosessen

I KlimaBIM prosjektet ble Calcus brukt til å kalkulere klimagassfotavtrykk til modellen via IFC import til Calcus. I denne prosessen er det en IFC modell som bærer informasjonen om mengder til Calcus fra en Revit modell. Dette fungerer på følgende måte:

1. BIMen eksporteres som IFC modell.
2. IFC modellen importeres til et tomt Calcus prosjekt.
3. Calcus gjenkjenner IFC objektene i modellen og kalkulerer mengder fra mengdene og objektene i IFC modellen.
4. Eventuelle manuelle justeringer etter import.
5. Kalkyleresultatene kan analyseres og eksporteres i flere formater og detaljgrader.

En av fordelene med Calcus er at man kan raskt bytte ut elementer i kalkyler for å kunne se hvordan endringer påvirker prosjektets kostnader. Flere løsninger for, for eksempel bærende konstruksjon eller fasadekledning kan vurderes opp mot hverandre. Det samme gjelder klimagassbelastninger, forskjellige bygningsløsninger kan sammenlignes på både kostnads- og klimagassgrunnlag og bli veid opp mot hverandre.

Calcus er basert på en database som inneholder tabeller for bygnings elementer, priser og NS koder. Calcus elementer består av en til flere prislinjer hentet fra et prislinjeregister i Calcus. NOIS har bygget opp en standard database med standard elementer og prislinjer, men brukere kan definere sine egne elementer og prislinjer.

### 5.1. Standardisering - BIM Objektbiblioteket og Calcus Elementregister

Når en IFC modell blir importert til et Calcus prosjekt søker Calcus i modellen etter IFC objekter som den kjenner igjen. Gjenkjennelsen skjer når Calcus finner et objekt med IFC navn (IFC\_Name) som er lik Calcus-elementnavnet. Man kan velge å linke IFC objekter med Calcus-elementer manuelt, men dette blir tidskrevende og upraktisk med store modeller som inneholder kanskje mange hundre forskjellige objekter.

Automatisk gjenkjenning og oppkobling av IFC objekter og Calcus elementer må settes opp på forhånd ved å gi Calcus elementene sammen navn som objektens IFC navn. Dette setter krav på modellen for homogent navngiving av objekter og at elementnavnene i Calcus blir stavet på samme måte. Calcus elementregister må derfor standardiseres med elementer som tilsvare objekter i objektbiblioteket. Hvert objekt i biblioteket må ha et tilsvarende element i Calcus. Opprettelse av Calcus-elementer bør derfor være et ledd i objektoppsett for nye objekter i biblioteket.

### 5.2. ByggeBIM Elementregister

For å få til automatisk gjenkjenning av IFC objekter ved import til Calcus i dette prosjektet ble det opprettet et elementregister for ByggeBIM. Elementene i dette register var navngitt etter objektnavnene i ByggeBIM modellen. Objektene i ByggeBIM modellen

er standard objekter fra Skanskas BIM objektbibliotek. Prislinjene brukt i ByggeBIM elementregister kommer fra standard prislinjeregister i Calcus fordi det er kun disse som er lagret med klimagassbelastning i tillegg til pris.

### 5.3. Modellene

Det ble laget to varianter av ByggeBIM modellen. Forskjellen mellom modellene er ytteveggene og den bærende konstruksjon. Begge modeller inneholder kun ARK fag.

- Modell 1 - Yttevegger av betong. Bæringen er i ytteveggene. Denne modellen blir brukt i både Calcus og KGR og resultatene ble sammenlignet.
- Modell 2 – Klimavegger som yttevegger. Denne modellen ble brukt for å demonstrere hvordan pris og klimagassbelastning endrer seg når objekter ble byttet ut.

Etter at Modell 1 ble modellert ble Modell 2 opprettet ved å bytte ut veggtypen for bygningens yttevegger med klimavegger - en prosess som tar noen få minutter. Det ble ikke modellert noe ny bærende konstruksjon i Modell 2 men dette var ikke viktig. Det er prinsippet av hvordan Calcus kan brukes for sammenligning av ulike løsninger for sammen bygg som skulle demonstreres med disse to modeller.

### 5.4. Calcus resultater

Etter import til Calcus og en etterkontroll av oppkobling mellom objekter og elementer samt noen manuelle oppkoblinger ga Calcus følgende resultater:

SUM kalkyle	Modell 1 Betongvegger	Modell 2 Klimavegger
Kostnad (mill. kroner)	4,96	5,43
Klimagasskostnad (tonn CO2 eq.)	348,5	319,4

Se appendiks 3 for Calcus rapporten "Prosjektbok" fra de to modellene.

I sammendraget av Calcus prosjekter kan man sammenligne kostnader per hovedoppdeling av bygget i Calcus (etter bygningsdeltabellen). Dette er vist i skjermbildet nedenfor. Ved å bytte ut betongvegger med klimavegger kan man se at klimagassbelastningen for yttevegger går ned i Modell 2 mens kostnaden økes. Modellene brukt her er ikke komplette (Modell 2 med klimavegger mangler bærende konstruksjon) men prinsippet er effektivt demonstrert her.

The image shows two screenshots of a software interface for CO2-eq calculations. The top window is titled 'ByggeBim Modell 1 Betongvegger' and the bottom window is titled 'ByggeBim Modell 2 Klimavegger'. Both windows display a table with the following columns: '#', 'Konto', 'ByggeBim Modell 1 Betongvegger' (or 'Klimavegger'), and 'Utslipp [Enh CO2-eq]'. The data is as follows:

#	Konto	ByggeBim Modell 1 Betongvegger	Utslipp [Enh CO2-eq]
2.0	Rivningsarbeider og forberedende arbeider	0	0
2.1	Grunn og fundamenter	0	0
2.2	Bæresystemer	23 703	1 285
2.3	Yttervegger	1 855 492	174 252
2.4	Innervegger	981 175	61 867
2.5	Dekker	1 061 806	77 516
2.6	Yttertak	351 490	27 886
2.7	Fast inventar	0	0
2.8	Trapper, balkonger m.m.	690 021	5 742
2.9	Malerarbeider. Diverse	0	0
2	SUM Bygning	4 963 687	348 547

#	Konto	ByggeBim Modell 2 Klimavegger	Utslipp [Enh CO2-eq]
2.0	Rivningsarbeider og forberedende arbeider	0	0
2.1	Grunn og fundamenter	0	0
2.2	Bæresystemer	23 703	1 285
2.3	Yttervegger	2 332 551	146 103
2.4	Innervegger	981 825	61 856
2.5	Dekker	1 049 805	76 532
2.6	Yttertak	351 490	27 886
2.7	Fast inventar	0	0
2.8	Trapper, balkonger m.m.	690 021	5 742
2.9	Malerarbeider. Diverse	0	0
2	SUM Bygning	5 429 396	319 404

Figur 3 Sammenligning av Calcus sammendrag for ByggeBIM modell 1 & 2.

## 5.5. Feilkilder

Mulige feilkilde i Calcus prosessen er tilstedet. Disse er:

1. Feil automatisk gjenkjenning av objektene.
2. Feil og mangler i Calcus elementene i forhold til BIM objekter.
3. Manglende eller feil innhold i Calcus standard prislinjeregister.
4. Eventuelle feil i klimagassbelastningsdata for materialer.

Under prosjektet løste vi feil som faller under punkt 1 ved å manuelt kobler opp IFC objekter mot Calcus-elementer. Feil av type 2 ble løst ved kvalitetssikring av Calcus-elementinnhold mot BIM objektene i Revit modellen. Type 3 feil blir sett bort fra fordi det som manglet i prislinjeregister var små detaljer som bidra veldig lite til den totale klimagassbelastningen. Eventuelle feil i klimagassdata for materialer ble også sett bort fra. Disse dataene kommer til å bli forbedret over tid og i dette prosjektet er det lagt vekt på testing og sammenligning av verktøy og ikke nøyaktigheten av klimagassdataene.

I faktiske prosjekter vil feil under type 1,2 og 3 bli håndtert av standardiseringsarbeidet lagt ned i BIM objektbiblioteket og Calcus elementregister. Retting av feil i

klimagassbelastningstall for materialer er avhenging av oppdatering fra NOIS for klimagassdatasettet.

## **5.6. Kommersiell tilgjengelighet av Calcus Klimagassmodulen**

# **6. Klimagassregnskapet**

## **6.1. Input til Klimagassregnskapet**

Klimagassregnskapet beregningsverktøy for klimagassbelastninger for bygg er tilgjengelig via internett. Informasjon om bygget legges inn manuelt. Klimagassregnskapet er lagt opp til å kunne beregne klimagassbelastning av et bygg gjennom hele livssyklusen og inkludere alle driftsmessige utslipp. Data kan legges i følgende kategorier:

- Generelt
- Materialer
- Anleggsfasen
- Stasjonær energi
- Transport

I ByggeBIM prosjektet er det kun under kategorien ”Materialer” at data blir lagt inn slik at resultatene kunne sammenlignes direkte med resultatene fra import av IFC modeller i Calcus.

Under kategori Materialer kan data legges inn på to måter. Enten som totalmengde per materialtype, for eksempel tonn med betong, eller delt opp per bygningsdel. Utgangspunktet for input til Klimagassregnskapet i dette prosjektet er en mengdeutakk fra Revit modellen. Det kreves en del manuell prosessering av modell data før det kan legges inn i Klimagassregnskapet.

**klimagassregnskap.no**

Du er logget inn på prosjektet **1225**

[Introduksjon »](#)

**1 Generelt »**  
Beskrivelse og arealbruk

**2 Materialer »**  
Utslipp knyttet til materialbruk i bygningsmasse

**3 Anleggsfasen »**  
Utslipp knyttet til transport og stasjonær energi i anleggsfasen

**4 Stasjonær energi »**  
Energibehov og utslipp i drift

**5 Transport »**  
Utslipp fra generert person- og varetransport

[Utslippsfaktorer »](#)  
Endring av forutsatte utslippsfaktorer

[Sammendrag »](#)  
Samleresultater for

**2 Materialer**

[2.1 Levetidsforutsetninger for materialer »](#)  
[2.2 Materiemengder »](#)  
**2.1 Materiemengder kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter**

Beregn delsummer | Nullstill innlagte data

**2 » Materialer og konstruksjoner**

**2-0 » Basismaterialer**

2-0-1 » A Bæresystemer og elementer
2-0-1-1 » Betong
1233753149 235,827
2-0-1-2 » Tre
1224681729 438
2-0-1-3 » Tømmer
2-0-1-4 » Stålbjelke
2-0-1-5 » Stål fra skrap
2-0-1-6 » Stål fra malm
2-0-1-7 » Sement
2-0-1-8 » Lettklinkerbolker (lecablokker)
2-0-1-9 » leca-blokker
1224681697 8,298
2-0-1-10 » Aluminium
2-0-1-11 » Resirkulert aluminium
2-0-2 » B Fasademateriale
2-0-3 » C Glass
2-0-4 » D Isolasjon
2-0-5 » E Ulike typer platenmaterialer
2-0-6 » F Ulike typer membraner og tettsjikt
2-0-7 » G Bunnfyllingslister og fugemasse
2-0-8 » H Overflater
2-0-9 » I Diverse kompletteringer

**Betong**

Oppføring id 1233753149  
1 Vekt 2.05067e+06 kg

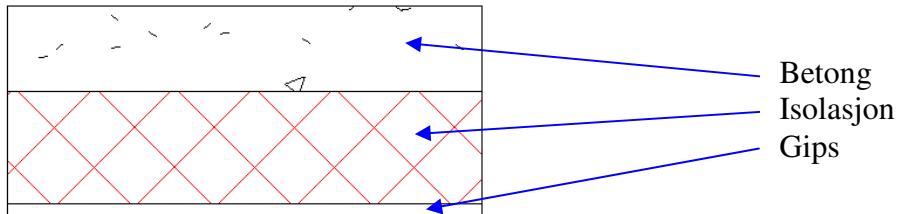
Figur 4 Input portalen for KGR

2-0 » Basismaterialer
2-0-1 » A Bæresystemer og elementer
2-0-1-1 » Betong
1233753149 235,827
2-0-1-2 » Tre
1224681729 438
2-0-1-3 » Tømmer
2-0-1-4 » Stålbjelke
2-0-1-5 » Stål fra skrap
2-0-1-6 » Stål fra malm
2-0-1-7 » Sement
2-0-1-8 » Lettklinkerbolker (lecablokker)
2-0-1-9 » leca-blokker
1224681697 8,298
2-0-1-10 » Aluminium
2-0-1-11 » Resirkulert aluminium
2-0-2 » B Fasademateriale
2-0-3 » C Glass
2-0-4 » D Isolasjon
2-0-5 » E Ulike typer platenaterialer
2-0-6 » F Ulike typer membraner og tettsjikt
2-0-7 » G Bunnfyllingslister og fugemasse
2-0-8 » H Overflater
2-0-9 » I Diverse kompletteringer

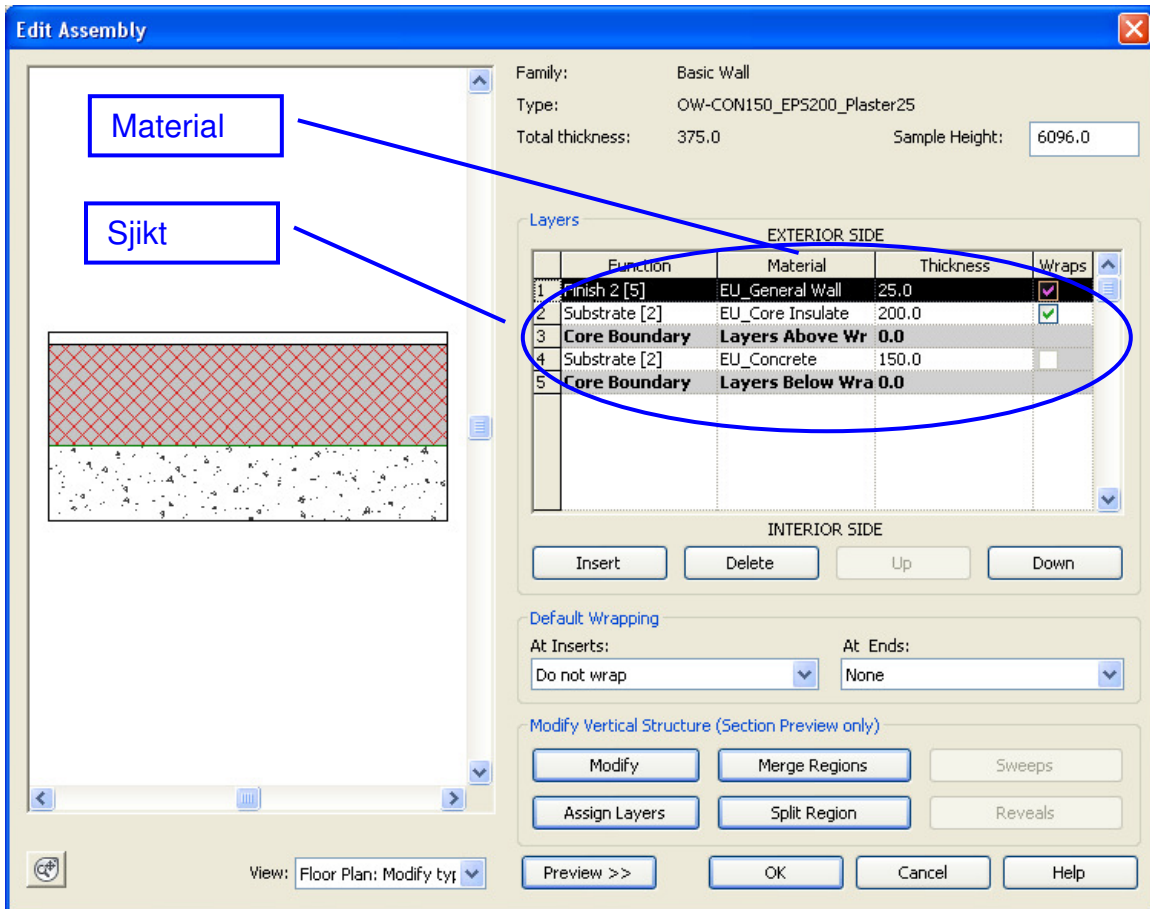
Figur 5 Oppdeling av Basismaterial i KGR. De røde tallene viser input under 2-0-1 "Bæresystemer og elementer"

## 6.2. Mengdeuttak fra Revit modeller

Alle delobjekter i Revit, som representerer et fysisk objekt, har en materialparameter. For en vegg som består av flere sjikt har hvert sjikt en materialtype som i figuren under:



Figur 4 Revit veggobjekt med sjikt



Figur 6. Revit dialogboks for redigering av veggoppbygging

Hvert sjikt har en tykkelse definert i veggobjektets oppbygging. Ut fra veggens lengde og høyde kan areal og volum av hvert material i veggen regnes ut. Eventuelle åpninger i veggen for vinduer og dører blir trukket fra av Revit

Et materialuttak fra en Revitmodell (Material Take-off eller MTO) består av et mengdeuttak for alle objekter i modellen. Materialuttaket i Revit blir listet opp internt i Revit i en tabell (en Revit "Multi-Catagory Schedule"). Tabellen kan formatteres på mange måter. For å få tak i total vekt av materialer brukt i ByggeBIM modellen er det følgende egenskaper som er nødvendige:

- Family (Revit objektgruppe)
- Type (Revit navn for BIM objekt)
- Material: Name (Material beskriver hva objekter består av)
- Material: Area (Areal av for eksempel sjikt av bestemt material i en vegg)
- Material: Volume
- Assembly code
- Assembly description

Flere egenskap blir tatt med for å gjøre identifisering enklere.

Et eksempel at Revit mengdeuttak for et objekt:

Test Material Takeoff									
Family	Type	Category	Assembly Description	Assembly Co	Material Name	Material Volume	Material Area	Count	Skanska art n
OW-250-GMG-									
Basic Wall	OW-250-GMG-steel	Walls	Exterior Walls	B2010	EU_Gypsum	12.84	987.93	39	
Basic Wall	OW-250-GMG-steel	Walls	Exterior Walls	B2010	EU_Steel	24.70	493.96	39	
Basic Wall	OW-250-GMG-steel	Walls	Exterior Walls	B2010	EU_Stud insulated	123.49	493.96	39	
Basic Wall	OW-250-GMG-steel	Walls	Exterior Walls	B2010	EU_Utlekking	17.78	493.96	39	
Basic Wall	OW-250-GMG-steel	Walls	Exterior Walls	B2010	Vapour / Moisture Barrier	0.00	493.96	39	
Basic Wall	OW-250-GMG-steel	Walls	Exterior Walls	B2010	Vapour / Moisture Barrier	0.00	493.96	39	
OW-250-GMG-						178.81	3457.74		

Figur 7. Del av en Revit MTO.

Listen i figur 6 viser det totale materialareal og volum brukt i alle forekomster av objekt OW-250-GMG-steel. Det totalt areal av alle forekomster av dette objekt i modellen er 493,96m<sup>2</sup>. Materialet EU\_Gypsum har det dobbelt av dette fordi det er to lag med gips i veggen.

Mengdeuttaket eksporteres fra Revit til Excel for videre behandling. I Excel blir alle materialene summert slik at man får totalmengde per materialvolum og kan derfra regne ut vekt. Resultatet blir:

Material	total volume(m <sup>3</sup> )	area(m <sup>2</sup> )	material density(kg/m <sup>3</sup> )	weight (kg)
wood	16,5544		650	10760,36
steel	0		7900	0
glass	1,29	116,08	2500	3225
concrete	853,38		2403	2050672,14
mineral wool	103,22		30	3096,6
Gypsum	52,8		950	50160
leca	23,28		1500	34920

Tabell: Basismaterialer fra Revit MTO etter behandling i Excel

#### Oppsummering av materialuttak Excel

Etter eksport av materialuttak fra Revit til Excel blir følgende trin gjennomført manuelt i Excel:

1. Import til Excel – listet som mengder (areal og volum) per objekt.
2. Pivot tabell funksjons for å liste materialer per bygningsdel.
3. Rad for material type lagt til manuelt.
4. Rad for volumfaktorer lagt til
5. Rad for faktiske volumer etter faktorisering lagt til.
6. Materialvolumer for Basismaterialer summert
  - a. Summering av volumer av materialtyper
  - b. Volumene regnet om til vekt
7. Materialvolumer per bygningsdel summert
  - a. Separate summering av volumer av materialtyper per bygningsdel
  - b. Volumene regnet om til vekt

Summering i Excel var preget av mye manuelt arbeid av flere grunn:

- Revit templatene Skanska bruker inneholder flere materialer for hvert bygningsmaterial. Isolasjon for eksempel er ført opp som "EU\_Stud insulated", EU\_Therm. Layer eller EU\_Core Insulated.

- For noen materialer måtte det legges inn faktorer for å korrigere for materialer som okkupere mindre enn 100 % av volumet. Eksempler av slike materialer er "EU\_utlekting" og "EU\_Wood Board V".

### 6.3. Mangler og unøyaktigheter i Revit Materialuttak

I Revit modelleres vegger som objekter med flere sjikt. Veggen har et areal og tykkelsen på et sjikt er det som definerer volumet som et sjikt okkuperer. Som nevnt tidligere, noen sjikt kommer ikke til å okkupere hele volumet som Revit tildeler når bygget blir reist (for eksempel utlekting, og betong gulv med hulldekke). For å korrigere mengdene i slike sjikt og objekter må det legges inn faktorer. I dette prosjektet ble disse faktorene lagt inn i Excel men i framtiden bør dette gjøres i Revit.

Et annet problem med mengder fra Revit vegger er at Revit modellerer ikke stenderverk i lettvegger eller klimavegger. Dette betyr at disse kommer hele ikke fram i mengdeuttak fra Revit. Materialtypen i veggkjernen forteller oss hva kjernen består av. For eksempel "EU\_Stud insulated" forteller at kjernen inneholder isolasjon og stål stendere som konstruksjon men i dette prosjektet blir det telt som kun isolasjon fordi den fyller den største delen av veggkjernen. Igjen kan dette håndteres i framtiden ved å legge inn faktorer for veggtyper i Revit slik for bestemte materialtype det byttes ut en del av materialet med et annet material i MTOen.

### 6.4. Resultater Klimagassregnskap

Det ble opprettet to prosjekter i KGR. Prosjekt nr 1225 blir materialmengdene vist i tabellen lagt inn som "Basismaterialer".

I prosjekt nr 1240 ble det forsøkt å legge inn ByggeBIM modell 1 oppdelt etter bygningsdel. Dette ble gjort for å skaffe et bedre grunnlag for sammenligning med Calcus resultatet for sammen modell (sammendrag etter bygningsdel) og dermed kunne bedre analysere forskjellene mellom Calcus og KGR.

ByggeBIM modell 1 ga følgende resultater i KGR:

Input til Klimagassregnskap	Klimagassregnskap prosjekt nr	Resultat tonn CO2 (eq)
Basismaterialer	1225	331,91
Bygningsdeler	1240	267,60

Resultatene tilgjengelig under "Sammendrag" i KRG portalen for prosjektet, disse kan også eksporteres til Excel:



Figur 8: Klimagassregnskap sammendrag med resultat for Basismaterialer KGR resultatet for bygningsdeler stemte dessverre ikke med resultatene for basismaterialer eller Calcus resultatet for sammen modell. Spriket kan skyldes en eller flere av de følgende grunner:

1. Feil eller utelatelse ved input. Mengdene må skrives inn manuelt og det er varierende måleenheter for input til KGR som bygningsdeler.
2. Risiko for menneskelig feil i Excel-behandling av mengdeuttaket for å liste mengder etter bygningsdel.
3. Eventuelle interne feil i KGR for behandling av bygningsdel data.

Årsaken til feilen har ikke blitt avdekket.

## 7. Sammenligning av resultatene fra Calcus og KGR

Verktøy	Klimagasskostnad (tonn CO <sub>2</sub> eq.)
Calcus	348,5
Klimagassregnskap (input som basismaterialer)	331,9

I prosjektet blir det kalkulert klimagassfotavtrykk for to modeller, og for den ene modellen blir det sammenlignet resultatene fra Calcus og KGR. Modell 1 (boligblokken med betong yttervegger) ga resultater som stemte innenfor 10 % av hverandre. Dette viser at de to ulike metodene for regning av klimagassbelastning klarer å gi resultater som er

godt i overensstemmelse med hverandre. Det må påpekes at metodene deler samme datasett, så de er ikke helt uavhengig av hverandre. Det som er annerledes i metodene, er måten materialmengdene er summert og faktorisert på. At resultatene er så pass lik hverandre viser vi at kvalitetssikring av både. Fra et kvalitetssikringssynspunkt viser likheten i resultatene fra Calcus og KGR at mengdeuttak fra Revit og mengdekalkulering i Calcus er godt i overensstemmelse med hverandre.

Sammenligning av metodene var kun mulig på øverst nivå. Calcus' sammendragsrapport viser klimagassbelastninger per bygningsdel (hovedinndeling). Per i dag har Calcus ikke mulighet til å rapportere ut kostnader eller klimagassbelastninger per material. KGR klimagassfotavtrykk beregnet med basismaterialer deles opp per material og er ikke direkte sammenlignbar med Calcus oppdeling. Når det ble forsøkt å legge materialer til KGR som bygningsdeler resulterte det i en klimagassbelastning med betydelig avvik fra de andre resultatene.

Forskjellen mellom de to sammenlignbare resultatene kommer mest sannsynligvis fra manglende stål mengdene (armering i betong og stenderverk etc.) i Revit MTO og dermed også manglende fra input til KRG. Disse stål mengdene er ivaretatt i prislinjene i Calcus. Elementene i Calcus kan også inneholde prislinjer for materialer som ikke er modellert i BIM (for eksempel lim, fugemasse etc).

## 8. Konklusjon

Prosjektet har klart å vise at begge verktøyene er i stand til å kalkulere klimagassbelastninger fra en BIM med generiske objekter og materialer. Resultatene fra de to metoder stemmer innefor en margin som er aksepterbart.

Prosjektet viser i tillegg at begge metoder er klare til å ta i bruk nå, med relativ små investeringer. Det trengs i Calcus å etablere og vedlikeholde et elementregister som inneholder elementer som samsvarer med BIM objekter i modellen. For å standardisere bruk av KRG i BIM sammenheng må materialuttak fra BIM modelleringsverktøyene standardiseres slik at materialmengdedata for input til KRG er lettere tilgjengelig.

Calcus CO<sub>2</sub> modulen skal være kommersielt tilgjengelig i april 2009. Klimagassregnskap er tilgjengelig i dag som gratis webtjeneste. Potensielle brukere må søke tilgang via e-post.

Det er vanskelig å sammenligne disse to verktøyene uten å vurdere hvilket er "best". Begge verktøyene klare å kalkulere klimagassfotavtrykk fra BIM bygningsmodeller og for tradisjonelle prosjekter. Calcus er bedre posisjonert per i dag som et kalkyleverktøy for aktører i byggebransjen som tilbyr "gratis" klimagassbelastningskalkyler og kan importere IFC modeller. I KGR kan man derimot vurdere en bygnings livssyklus klimagassfotavtrykk som inkludere infrastrukturmessige belastninger.

I Calcus blir det testet utbygging av objekter i en BIM for å se hvordan det slår ut på klimagassfotavtrykk. De bærende betongveggene blir byttet ut med klimavegger. Resultatene viste klart hvordan pris og klimagassbelastning endret seg. Dette fungerte som forventet og kan sees som en demonstrasjon av hvordan Calcus og BIM kan anvendes i praksis.

Med spriket mellom resultatene for KRG og Calcus er det klart at sammenligning av ulike materialbruk i et bygg eller mellom to bygg bør foregå i sammen verktøy.

## 9. Videre arbeid

### 9.1. Teoretiske og faktiske Klimagassbelastninger for bygninger

I KlimaBIM prosjektet har vi jobbet med generiske BIM-modeller og klimagassbelastningsdata. I praksis ville klimagassanalyser som gjennomføres i skissefasen og/eller detaljprosjekteringsfasen ikke reflektere den faktiske klimagassbelastningen til et ferdig bygg. For å kunne finne den faktiske klimagassbelastningen av bygningen må alle produkter i byggeriet leveres med FDV-dokumentasjon som inneholder miljødeklarasjoner med klimagassbelastninger. Disse produktklimagassbelastninger kan da summeres på flere alternative måter.

1. Den tradisjonelle måten med samling av FDV data.
2. Klimagassbelastningen blir overført til modellen som en av FDV parameterne på produktbaserte objekter i en produkt-spesifikk BIM.
3. Calcus eller tilsvarende kalkyleverktøy med et produkt-spesifikk prislinjeregister.

Det er alternativ 2 som er de ønskede løsningen med BIM som sentral informasjonsbærer i et byggeprosjekt.

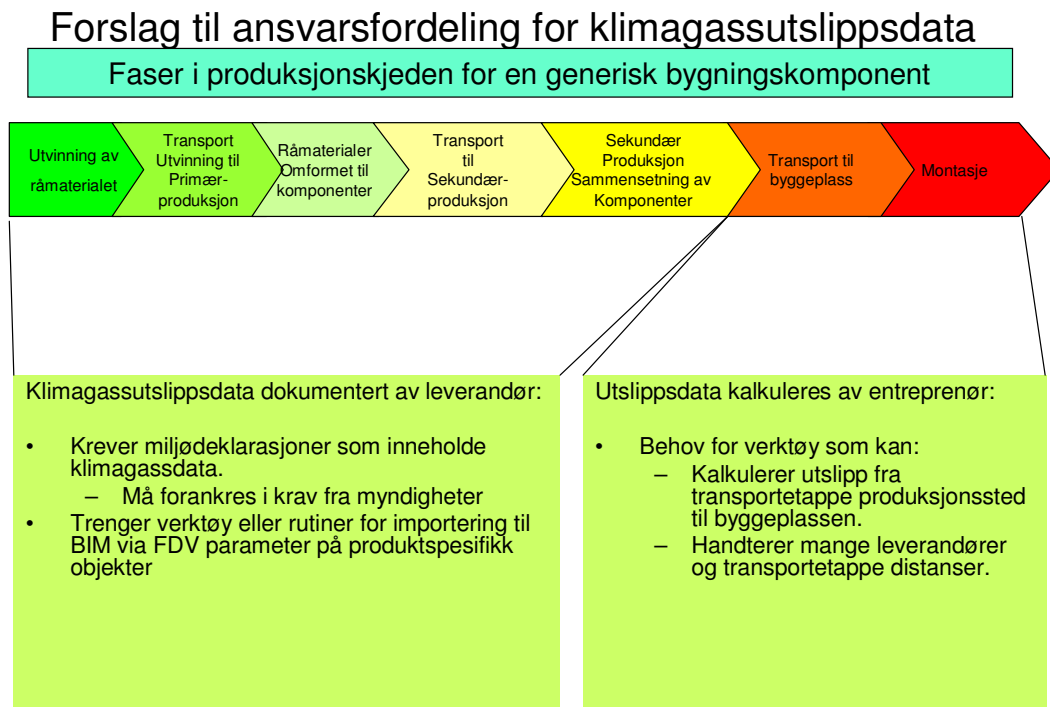
ByggeBIM E-handelsprosjektet har laget og demonstrert en løsning for dette som er dokumentert i rapporten fra prosjektet. Arbeidsflyten i E-handelsprosjektet følger generiske objekter i en BIM gjennom en prosess for bestilling, innkjøp og leveranse. Ved leveranse av varen til byggeplassen blir noen parametre på det gjeldende generiske objektet i IFC-modellen oppdatert med FDV-informasjon. I E-handelsprosjektet foregikk denne oppdateringen i modellserveren hvor IFC modellen er lagret. E-Handelsportalen og modellserveren utvekslet informasjon i ifcXML format. En annen måte å overføre produktspesifikk klimagassdata til en BIM er å bytte ut generiske objekter i den generiske BIM med produktspesifikke objekter som inneholde klimagassdata som en av FDV parameterne på objektet.

De to største utfordringer i å få til oppdatering av en BIM med produktspesifikke klimagassdata er først å få alle leverandører til å levere klimagassdata med alle byggevarer. Den andre utfordring ligger i hvor informasjon skal plasseres i IFC modellen. I E-Handelsprosjektet blir FDV informasjonen, som ble lagt til i IFC modellen ved leveranse, lagret i Archicad-spesifikke parametre og property sets. Selv om man bruker et ikke-proprietært utvekslingsformat blir informasjonen lagret i property sets som tilhører en bestemt BIM modelleringsapplikasjon. Her kreves det et samarbeid i bransjen for å finne ut hvor, ikke bare klimagass informasjon skal lagres i IFC, men også resten av FDV informasjonen.

Det er mulig at IFC formatet inneholder faktiske flere parametere som passer til norske byggebransjens behov for FDV informasjon. Her trengs det mye bedre kompetanse og økt kunnskap om struktur og eksport av IFC formatet.

Alternativ 3 som bruker Calcus, burde være relativt enkelt å implementere så fremt man får klimagassbelastningsdata fra byggvareleverandører. Den kreves at det opprettes et elementregister og et prislinjeregister som inneholder produktspesifikke klimagassdata og at IFC modellen importeres til et nytt Calcus prosjekt som benytter produktspesifikke registre.

Ansvar for dokumentering av klimagassutslipp for et bygg bør deles på følgende måte. Utslippsdata for fasene i produksjonskjede fram til at komponent er ferdig fabrikkert og levert til leverandørens varelagre bør dokumenteres miljødeklarasjoner. Transport fram byggeplassen fra leverandør og eventuelle utslipp i forbindelse med montasje bør være entreprenørs ansvar. Samling av utslippsdata for transport av vare til byggeplassen blir kompleks hvis den skal gjøres nøyaktig på grunn av antall leverandør som et byggeprosjekt må forholde seg til. KGR har implementert en forenklet metode for estimering av utslipp forbundet med transport til byggeplassen. Den baserer seg på antall turer med varebiler og lastebiler til byggeplassen. Mens den ikke kan gi nøyaktig tall for utslipp for transport av vare til byggeplassen gir denne metoden en indikasjon av utslippsomfang fra den siste transportetappe.



Figur 9: Forslag til ansvarsfordeling for rapportering av klimagassutslippsdata i bygningsmaterialer

## 9.2. Videreutvikling av den generiske klimagassbelastningsdatabasen

Datasettet for klimagassutslipp fra produksjon av byggematerialer brukt av KGR og Calcus er statisk. Ingen av verktøyene gir brukeren mulighet til å endre et materials klimagassutslippsverdi. Fordelen med dette er at brukere ikke kan endre disse verdiene for å vise modellene i et bedre lys fra et miljømessig synspunkt. Ulempen er at valg av alternativ produksjonsmetode for råmaterialer (for eksempel bytte nytt stål med resirkulert stål) heller ikke kan vises i den generiske modellen.

Ansvar for videreutvikling av klimagassdatasettet bør forankres hos en upartisk aktør i bransjen. Videre bør datasettet også kontrolleres og kvalitetssikres hos en tredje parts organisasjon.

Datasettet bør også videreutvikles for å gi mulighet til følgende funksjoner i verktøyene som bruke det:

- Mulighet til justering av klimagassutslippsfaktor for materialer hvor materialer fra andre kilde brukes (for eksempel resirkulert materialer eller importert materialer). Justerte faktorer må dokumenteres i en rapport.
- Transport til byggeplass.

## 9.3. Generiske Klimagasstall direkte fra BIM?

Bygningsinformasjonsmodell kan mates med ny informasjon om modellen og objektene i modellen i form av nye parametre. Man kan derfor legge til klimagassutslippsdata som parametre tilknyttet til materialer i en BIM. Med klimagassdata for materialer i modellen kunne man få ut et klimagassfotavtrykk av et bygg direkte fra modellen sammen med et mengdeuttak. En slik metode har selvfølgelig fordeler av at man trenger ikke å overføre data til andre systemer for å kalkulere klimagassutslipp. En organisasjon som velge å gjennomføre klimagasskalkyler på denne måten sparer kanskje programlisenskostnader, IT-administrasjonskostnader og kompetansekostnader. Men investeringen ville kreve betydelig investeringer i:

- Oppsett i BIM verktøy.
- Vedlikehold av CO<sub>2</sub> klimagassdatasettet.

Et egenutviklet system for klimagassbelastningskalkulering ville også mangle den standardiserte metodikk som tillate en fornuftig sammenligning mellom løsninger for et bygg. Informasjonen om klimagassbelastninger ville havne på verktøyspesifikke parametre i modellen, dette vil videre hindre standardisering av klimagassdata fra forskjellige BIM modelleringsverktøy.

## 9.4. Forslag til forbedring av verktøyene

Under prosjektet blir det observert en del mangler og muligheter for forbedring i verktøyene som ble brukt. Disse er beskrevet i listene under:

Calcus:

Versjonen av Calcus som ble brukt i prosjektet er en beta versjon. Noen av observasjonene som ble avdekket i Calcus under anvendelse i KlimaBIM prosjektet skal utbedres før produktet blir sluppet for salg. Klimagasskalkuleringsmodulen (CO<sub>2</sub> modulen) er planlagt kommersielt tilgjengelig i april 2009.

- Rapportering av klimagassutslipp per materialmengder (tilsvarende "Basismaterialer" i KGR).
- Klimagass i alle rapportene slik at kostnader og klimagassbelastninger kan vurderes på flere nivå.
- Korrigerer feilen i prosjektbok rapporten.

Klimagassregnskap:

- Bedre muligheter for å lese og redigere tidligere input.
- Bedre rapporterings muligheter. For eksempel rapporter som oppsummerer input under hver modul i KGR.
- BIM integrasjon. Mulighet for importering av IFC modeller med automatisk beregning av klimagassfotavtrykket.

Modelleringsverktøy/Revit:

Revit var brukt som modelleringsverktøy i dette prosjekt. De første punktene for forbedringer gjelder generelt for modellering hvor modellen skal brukes til kalkulering av klimagassbelastninger:

- Begrense antall materialtyper i modellen. Materialer i BIM modeller er ofte brukt til å styre utseende av objekter i tillegg til mengdeuttak. Dette betyr ofte flere "BIM-materialer" enn bygningsmaterialer.
- Standardisere mengdeuttak fra modellen.
- Justering av mengder for geometriske volumer som ikke fylles 100 % av materialer. Eksempler av dette er utlekting og stenderverk.

Revit spesifikke feil som ble observert er:

- Objekter i kategori IFC\_railing (rekkverk) blir ikke tatt med i Revit "Material Take-off". Denne saken er rapportert til Autodesk via CAD-Q support.
- 

## 10. Referanser

1. Klimautfordringer for Statsbygg – Zdena Cervenka – Statsbygg
2. Building Materials and CO<sub>2</sub>, Western European emission reduction strategies - D.J. Gielen - ECN (The Netherland Energy Research Foundation)
3. Klimagassregnskap for bygg utslipp fra materialproduksjon – sammendrag - Cicero