



CHALMERS



§

En byggnads klimatavtryck i projekteringsskedet CO₂e-kalkylering med hjälp av BIM

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

NELLIE CEDERHOLM
KRISTIN DEWILL

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Construction Management
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Examensarbete ACEx20-19-33

EXAMENSARBETE ACEX20-19-33

En byggnads klimatavtryck i projekteringsskedet

CO₂e-kalkylering med hjälp av BIM

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

NELLIE CEDERHOLM

KRISTIN DEWILL

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Construction Management

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2019

En byggnads klimatpåverkan i projekteringsskedet
CO₂e-kalkylering med hjälp av BIM
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik
NELLIE CEDERHOLM
KRISTIN DEWILL

© NELLIE CEDERHOLM KRISTIN DEWILL, 2019

Examensarbete ACEX20-19-33
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers tekniska högskola 2019

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Construction Management
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Illustration Grönskan (Liljewalls, u.å.).

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Göteborg 2019

En byggnads klimatavtryck i projekteringsskedet
CO₂e-kalkylering med hjälp av BIM

*Examensarbete inom högscoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

NELLIE CEDERHOLM

KRISTIN DEWILL

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Construction Management
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Genom detta examensarbete får läsaren följa en undersökande process där en byggnads klimatavtryck står i fokus. I huvudsak grundar sig arbetet i önskan om att minska en byggnads klimatpåverkan för att ta ett steg mot en friskare värld. Det har gjorts en fallstudie hos Lokalförvaltningen i Göteborg som i dagsläget har som mål att bygga *Hoppet* som en helt fossilfri förskola med färdigställande år 2021. Det är under projekteringen en byggnad utformas i teorin och då materialval och tekniska lösningar ska bestämmas. Lokalförvaltningen jobbar med en process där de beräknar klimatavtryck utifrån sammanställande av koldioxidekvivalenter (CO₂e) för respektive material efter att byggnaden färdigställts, vilket görs efter projekteringsskedet. Detta gör arbete mot klimatsmarta lösningar regressivt eftersom den negativa påverkan på klimatet redan är gjord. Ett tidigareläggande av vetenskapen om byggnadens klimatavtryck möjliggör för revidering av lösningar och material. Därför föreslås i detta examensarbete ett koncept för att beräkna en byggnads klimatavtryck redan i projekteringsskedet.

Resultatet av denna rapport kommer i två olika förslag - *Förslag 1* och *Förslag 2*. De båda förslagen ger grund för en arbetsgång med mer information om byggnaden tidigare i projekteringen. Utnyttjandet av Building Information Modeling (BIM) ligger i fokus där kopplingen av BIM och CO₂e ger en klimatdeklaration för byggnaden i projekteringsskedet. Arbetsgången som de båda förslagen följer går ut på att koppla en Excelfil innehållande klimatdata, i form av CO₂e, med de mängder av materialen som är framtagna i BIM-modellen. De två förslagen är framtagna på ett sådant sätt att förslag 1 möjliggör för implementering av förslag 2.

Rapporten ger läsaren en inblick i hur dagens process ser ut, vilka ändringar som vill göras och hur de ska göras. Arbetet är inte grunden till en konkret, färdig lösning utan är tänkt att så ett frö inför framtidens byggande. Arbetet lägger grunden för ökad användning av BIM och förhoppningen är att Lokalförvaltningen fortsätter driva arbetet framåt för att ge bästa möjliga förutsättningar för ett hållbart byggande.

Nyckelord: Klimatavtryck, klimatdeklaration, BIM, projekteringsprocess, Excel, Solibri Model Checker.

A building's climate footprint in the project planning phase

CO₂e calculation using BIM

*Degree Project in the Engineering Program
Civil and Environmental Engineering*

NELLIE CEDERHOLM

KRISTIN DEWILL

Department of Architecture and Civil Engineering
Division of Construction Management
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Through this thesis the reader will follow an investigative process in which a building's climate footprint is in focus. The report is essentially based on the desire to reduce the climate impact for a building to take a step towards a healthier world. A case study has been conducted at Lokalförvaltningen in Gothenburg, which currently aims to build Hoppet as a completely fossil-free preschool with completion in 2021. It is during the project planning a building is theoretically designed and when material selection and technical solutions are to be determined. Lokalförvaltningen works with a process in which they calculate climate footprint based on the compilation of carbon dioxide equivalents (CO₂e) for each material after the building has been completed, which is done after the project planning. This makes work against climate-smart solutions regressive as the negative impact on the climate already has been made. An early introduction of the knowledge of the building's climate footprint makes it possible to revise solutions and materials. Therefore, a concept is proposed in this thesis for calculating a building's climate footprint during the project planning.

The result of this report comes in two different proposals - *Förslag 1* and *Förslag 2*. The two proposals provide the basis for a workflow with more information about the building earlier in the project planning stage. The utilization of Building Information Modeling (BIM) is in focus, where the connection of BIM and CO₂e provides a climate declaration for the building at the project planning stage. The workflow that the two proposals follow is based on linking an Excel file containing climate data, in terms of CO₂e, with the quantities of materials that are provided from the BIM model. The two proposals are made in such a way that *Förslag 1* enables implementation of *Förslag 2*.

The report gives the reader an insight into how the current process looks, changes and how they should be done. The work is not the basis for a concrete, ready-made solution, but is intended to produce a seed for the future of construction. The work provides the basis for increased use of BIM and the hope is that Lokalförvaltningen will continue to drive the work forward in order to provide the best possible conditions for a sustainable construction.

Keywords: Climate footprint, climate declaration, BIM, design process, Excel, Solibri Model Checker.

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
BETECKNINGAR	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Syfte och Mål	1
1.2 Avgränsningar	1
1.3 Metod	2
2 TEORETISK BAKGRUND	3
2.1 BM – Branschgemensamt Miljöberäkningsverktyg	4
2.2 Byggprocessen	4
2.3 Projekteringsprocessen	5
2.4 BIM i projekteringsprocessen	5
2.5 SMC – Solibri Modell Checker	6
2.5.1 CO2 Equivalent Calculation i SMC	6
2.6 Klimatdata och BIM	7
3 FALLSTUDIE	8
3.1 Riktlinjer i projekteringsprocessen	8
3.2 Dagens process för framtagande av klimatdeklaration	9
4 GENOMFÖRANDE OCH RESULTAT	11
4.1 BIM och LOD	11
4.2 <i>Förslag 1</i> - Beräkning av CO ₂ e i Microsoft Excel	12
4.3 <i>Förslag 2</i> – Utökning med SMC	14
4.3.1 Arbetsgång i SMC	15
4.4 Analys av korrekthet för data	19
5 DISKUSSION	21
5.1 Implementering av de två förslagen	21
5.1.1 <i>Förslag 1</i>	21
5.1.2 <i>Förslag 2</i>	21
5.2 Detaljnivå på objekten	21
5.3 Ansvar	22

5.4	Produktionssteg A1-A3	22
5.5	Tankar för framtiden	22
6	SLUTSATS	23
7	REFERENSER	24
8	BILAGOR	27
8.1	Nivåer för LOD	27
8.2	Riktlinjer i TKA för BIM/CAD 2019	28

Förord

Examensarbetet *En byggnads klimatavtryck i projekteringsskedet: CO₂e-kalkylering med hjälp av BIM* avslutar vår utbildning inom Samhällsbyggnadsteknik Högskoleingenjör vid Chalmers tekniska högskola. Arbetet motsvarar 15 högskolepoäng och gjordes under vårterminen 2019.

Vi vill rikta ett stort tack till anställda på Lokalförvaltningen, med extra tack till Hanna Ljungstedt - miljöutredare, Anders Hall - projektledare för Hoppet, Jonas Bertheden - konsulterande BIM-samordnare, och Klara Jönsson - miljöskunnig, för att vi har fått skriva vårt examensarbete tillsammans med er samt att vi fått vara delaktiga i projektet Hoppet.

Vi vill även tacka Fredrik Danielsson - ingenjör hos Liljewalls arkitekter, som har bistått med en BIM-modell, värdefull kunskap och bra idéer.

Ett stort tack till vår handledare Mattias Roupé som trots sitt hektiska schema hjälpt oss genom våren.

Göteborg
Juni 2019
Nellie Cederholm & Kristin Dewill

Beteckningar

2D	Tvådimensionell
3D	Tredimensionell
BIM	Building Information Modeling
BIM-modell	Building Information Model
BM	Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg
CO ₂ e	Koldioxidekvivalenter
EPD	Environmental Product Declaration – Miljövarudeklaration
IFC	Industry Foundation Classes
ITO	Information Takeoff
IPCC	Intergovernmental Panel of Climate Change - FN:s klimatpanel
LOD	Level of detail/development
Mängder	Information i form av längt/area/volym av material som fås av en BIM-modell
SMC	Solibri Model Checker

1 Inledning

Det råder stor kris när det gäller jordens klimat och människan producerar kopiösa mängder växthusgaser där den största delen kommer från förbränning av fossila ämnen (WWF, u.å.). Det är hög tid att åtgärder tas för att minska dessa utsläpp. I Sverige är byggbranschen en betydande sektor för negativ klimatpåverkan. Med denna klimatkris som drivkraft har Göteborgs Stad tagit fram ett klimatstrategiskt program som inleds med byggnationen av en helt fossilfri förskola, kallad Hoppet. Men det är inte helt enkelt att få ett helt byggprojekt att fungera ur ett klimatpositivt perspektiv. Lokalförvaltningen som driver projektet Hoppet efterfrågar därför lösningar för att underlätta projekteringsprocessen.

Parallellt med detta har det länge pratats om hur byggbranschen är i ständig utveckling och står inför många utmaningar när det gäller att anpassa arbetssättet till nutidens digitala utveckling. Även om det på många håll är en bit kvar när det gäller att hänga med i teknikens tempo är det dags att ta ytterligare ett steg mot en mer digitaliserad bransch, där fokus inte bara ligger på att omvandla 2D-ritningar till 3D-modeller. Det måste ske en ökning av utnyttjandet av teknikens möjligheter att använda dessa modeller för att integrera fler, om inte alla delar i byggprocessen. Tillämpning av digitala verktyg i byggprocessen har gjorts och görs idag på flera håll i branschen (IVL, 2018).

Med innovationsprojektet Hoppet som bakgrund undersöks det i detta examensarbete möjligheter att koppla klimatdata från ett projekts byggmaterial till en BIM-modell, som är kapabel till att hantera tvärvetenskaplig information. Det är väsentligt att ta hänsyn till vilka material som skapar bäst förutsättningar för framtiden och för att slippa allt för mycket manuellt arbete bör detta kunna göras med hjälp av BIM.

1.1 Syfte och Mål

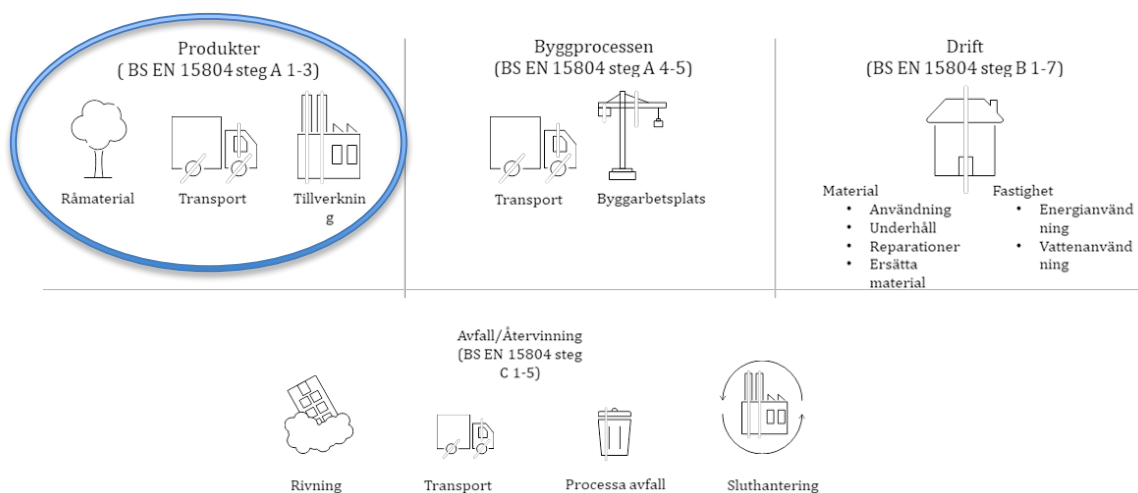
Syftet är att undersöka möjligheterna att flytta dagens beräkning av en byggnads klimatavtryck från byggproduktionens slut till projekteringsskedet. Detta skulle innebära ett centralt arbete med BIM i projekteringsfasen med integrerade klimatdata i form av CO₂e kopplat till byggnadsmaterial. Där en klimatdeklaration kan tas fram redan i projekteringsskedet och utrymme för revidering av material och processer möjliggörs.

Målet är att förenkla Lokalförvaltningens arbetsprocess och ta fram ett koncept för att beräkna klimatpåverkan med hjälp av mängderna från en BIM-modell. Ett sådant arbetssätt banar väg för framtida digital utveckling där kapaciteten hos BIM utnyttjas mer än vad den gör idag.

1.2 Avgränsningar

Hänsyn har endast tagits till klimatdata avseende produktionssteg A1-A3 som visas inringade i Figur 1.1 (innefattar utvinning av råmaterial (A1), transport till fabrik (A2) och tillverkning i fabrik (A3)). Denna avgränsning har gjorts på grund av att det blir

för komplext att ta hänsyn till data från de andra produktionsstegen. De CO₂e värden som använts är approximerade.



Figur 1.1 De olika skeden under en byggnads livscykel (Produkter, Byggprocessen, Drift, Avfall/Återvinning).

En avgränsning att använda BIM-verktyget Solibri Model Checker (SMC) har gjorts för att beräkna en byggnads klimatavtryck.

1.3 Metod

Examensarbetet bygger på litteraturstudier och samrådsmöten med och sakkunniga på Lokalförvaltningen samt laborering i Microsoft Excel och SMC.

Arbetet inleddes med litteraturstudier för att undersöka om och i vilken utsträckning det i branschen redan arbetas med integrering av CO₂e i BIM-modell. En inramad problemformulering skapades i samband med möten med sakkunniga på Lokalförvaltningen. Majoriteten av litteraturstudien gjordes i digital form.

Vidare undersöktes och jämfördes olika arbetsmetoder som resulterade i två förslag som i rapporten benämns *Förslag 1* och *Förslag 2*. Arbetsgången i *Förslag 1* sker främst i Microsoft Excel, medan *Förslag 2* är en påbyggnad av *Förslag 1* där arbetet utvecklas i SMC. Båda dessa förslag togs fram från en modell där detaljnivån varierade för att vara så anpassningsbara till verkligheten som möjligt.

2 Teoretisk bakgrund

Vetenskapen att klimatet är hotat av människan har de senaste åren framkommit tydligt. Enligt FN:s klimatpanel - Intergovernmental Panel of Climate Change - IPCC är människan att skylla för stora delar av de faktum att jordens medeltemperatur ökat sedan 1800-talet (Naturvårdsverket, 2018). För att få en uppfattning om klimatförändringarna går det inte att undersöka enstaka år eftersom en naturlig variation av klimatet funnits genom alla tider. Klimatforskningen har bland annat gjort det möjligt att konstatera att sedan 1850 har de senaste tre årtiondena varit varmast hittills och IPCC menar att *”koncentrationen av koldioxid har ökat med 40 procent sedan förindustriell tid, i första hand till följd av förbränning av fossila bränslen”* (Naturvårdsverket, 2018). I dagsläget står användningen av fossila bränslen för 30% av Sveriges energianvändning och enligt Naturvårdsverket är det fossila bränslet den största bidragande källan till klimatförändringarna. Fossila bränslen kommer från organiska rester som sedimenterat och utsatts för högt tryck och värme vilket bildat kol- och väteföreningar. Vid förbränning av alla fossila bränslen - exempelvis kol, olja och naturgas - frigörs koldioxid som är en växthusgas.

Växthusgaser som påverkar vårt klimat återfinns i många olika gaser och partiklar. Varje växthusgas har en uppvärmningspotential i form av ett GWP-värde (Global warming potential) (Boverket, 2019). För att kunna jämföra olika växthusgaser anges utsläppen i CO₂e. Växthusgasernas totala utsläpp multipliceras med dess GWP-värde vilket ger ett motsvarande värde i CO₂e.

Byggbranschen är en av Sveriges största miljöbovar. I en studie som Kungliga Ingenjörssakademien (IVA), har gjort tillsammans med Sveriges Byggindustrier framgår det att byggandet i Sverige har ett utsläpp på ca 10 miljoner ton CO₂e per år, vilket är i samma storleksordning som alla Sveriges personbilers utsläpp tillsammans (IVA, 2014). Boverket beskriver bygg- och fastighetsbranschen som en mycket betydande part då de står för 21% av Sveriges totala växthusgasutsläpp sett ur ett livscykelperspektiv (Boverket, 2019). En livscykel för en byggnad kan läsas ur *Figur 4*. Boverket anser att *”det finns behov av en ökad medvetenhet om vilken betydelse olika val i byggskedet har för miljön”*. Det finns inte någon lag i Sverige som kräver redogörelse för hur mycket växthusgaser en byggnad släpper ut, varken i byggskedet eller under förvaltningsskedet. Dock anser boverket att en klimatdeklaration för byggnaden bör kunna krävas vilket skulle bidra till minskade utsläpp (Boverket, 2019).

I ett byggprojekt ingår många olika produkter med flera ingående material. För att kunna göra medvetna och positiva val av material ur miljösynpunkt redovisas en produkts miljöpåverkan under sin livscykel i en Environmental Product Declaration, förkortat EDP och till Svenska översatt till Miljövarudeklaration (EPD International AB, u.å.). Informationen i en EPD är verifierad av EPD International AB och gör det enkelt att jämföra olika produkter med varandra.

2.1 BM – Branschgemensamt Miljöberäkningsverktyg

IVL Svenska Miljöinstitutet har tagit fram ett branschgemensamt miljöberäkningsverktyg, benämnt BM. Verktöget baseras på livscykelanalysmetodik och gör det möjligt att utan bakgrundskunskaper ta fram en klimatdeklaration för en hel byggnad (IVL, 2019).

BM innehåller en färdig databas med klimatdata för de byggresurser som används på den svenska marknaden. Genom att utgå från mängdberäkningar av en byggnad erhålls indata för BM, som sedan beräknar klimatpåverkan från materialproduktion, transporter och byggproduktion för de material som ingår i byggnaden. Lokalförvaltningen använder BM för att efter byggprocessen se vilket klimatavtryck byggnaden gjort.

2.2 Byggprocessen

Byggprocessen ser olika ut för olika projekt men utgörs av fyra övergripande steg vilka illustration i Figur 2.1.



Figur 2.1 Byggprocessen (författarens egen bild, 2019).

Förstudien är till för att få god insyn i projektets fortsatta utveckling och syftar till att få en bra start på projektet där kunskap om eventuella utmaningar och risker identifieras. Detta för att minska onödiga kostnader på grund av komplikationer och förseningar. En byggkonsult - eller annan med likvärdig kompetens - utser sakkunniga som ansvarar för att problematik rörande respektive område lyfts fram. De sakkunniga ska även redogöra för hur ett eventuellt identifierat problem ska hanteras. Till projekteringen utses en projektledare för att göra informationsflödet så smidigt som möjligt. Projekteringen är en sammanställning av informationen från förstudien som används som förhandlingsunderlag vid upphandling. Ett tydligt avgränsat projekteringsområde gör avtalsförhandlingarna enklare och avtal som avser alla parter bästa kan lättare utformas.

Produktionen syftar inte endast till uppförande av byggnaden utan innefattar andra viktiga steg som besiktning, granskning av handlingar och kostnadskalkylering. Förvaltningen av byggnaden är minst lika viktig som ovanstående steg eftersom det är under förvaltningen av byggnaden som skador på grund av användningen uppstår. Byggnaden måste underhållas på rätt sätt och detta görs med hjälp av underlag som överläts till ägaren gällande bland annat skötsel och drift (Projektledning, 2019).

2.3 Projekteringsprocessen

Projekteringen är en del i byggprocessen och kan beskrivas som en form av utredning för att samla information som sammanställs till ett underlag för alla inblandade parter. Här analyseras och tas viktiga beslut som kan ha stor påverkan för hela byggprocessen. Projekteringen löper olika länge beroende på förutsättningar och entreprenadform men brukar pågå ända fram till arbetets slutförande (Projektledning, 2019). Projekteringsprocessen består i huvudsak av två skeden som visas i Figur 2.2.



Figur 2.2 Projekteringsprocessen (författarens egen bild, 2019).

Programskedet är ett initialt skede där behovsutredning och programarbete görs. Det tas fram systemhandlingar, görs en gestaltning och huvudhandling. Behovsutredningen görs för att kunna möta kundens behov. I programskedet diskuteras finansiella förutsättningar, verksamhetsutveckling, standarder och förväntningar. Det kan finnas andra interna och externa utformningskrav att ta hänsyn till vilket utreds under gestaltningen. Arkitektävlingar eller arkitektuppdrag kan styras upp för att kunden ska få en större överblick över alternativ. Huvudhandlingarna innefattar bland annat avtal mellan parterna om byggnadens omfattning, projektmål och kostnader. Projekteringsskedet innefattar bland annat systemskede, detaljprojektering, bygghandlingar och bygglovsprocess (Projektledning, 2019).

Byggprocessen präglas av att många olika instanser tillsammans ska samarbeta för att nå fram till ett gemensamt mål. För att ett projekt ska bli effektivt, både ur ett tidsmässigt och ekonomiskt perspektiv, krävs det en god kommunikation alla parter emellan. Att använda Building Information Modeling (BIM) som arbetsmetod innebär att all information som finns i varje skede sammanställs i en 3D-modell (BIM Alliance Sweden, u.å.).

2.4 BIM i projekteringsprocessen

En BIM-modell är en virtuell modell av verkligheten (BIM Alliance Sweden, u.å.). Här samlas all information om byggprojektet och dess ingående delar. För jämförelse, är BIM som att bygga med lego, där varje bit innehåller intelligent information och när dessa bitar sätts ihop blir helheten större än summan av de olika bitarna

(Skeidsvoll Edén, 2015). Varje legobit, eller objekt, delas in i olika standardiserade klassificeringar beroende på dess innehåll, som simplificerar och underlättar identifiering. Detta system gör det lättare att matcha legobitar med varandra.

Beroende på mognadsgraden i ett projekt varierar BIM-modellens detaljnivå och utvecklingsnivå. För att beskriva i vilken nivå modellen befinner sig i har American Institute of Architects (AIA) myntat ett begrepp kallat LOD som står för *Level of Detail* eller *Level of Development* (Bimforum, 2017). Nivåerna skiljs åt med stigande siffror för stigande detaljerings-/utvecklingsnivå enligt strukturen LOD100-500 (se bilaga 8.1).

Modellen som skapas i BIM kan exporteras till en IFC-fil (Industry Foundation Classes). IFC är ett neutralt filformat som gör det möjligt för olika aktörer i branschen att kommunicera oberoende av vilket modelleringsprogram som använts (buildingSMART, 2019).

2.5 SMC – Solibri Modell Checker

Solibri Model Checker (SMC) är en programvara med stor kapacitet. Genom att hantera filformatet IFC kan SMC användas oavsett vilka modelleringsprogram BIM-modellerna har skapats i. I programmet är det möjligt att kontrollera 3D-modeller genom att kombinera modeller från olika discipliner, analysera dem och plocka ut information från dem (Graphisoft, u.å). Kontroller och analyser baseras på olika regler (rulesets) som väljs ut efter krav och anspråk och möjligheten finns också att skapa egna regler för att tillgodose användarens behov (Solibri, u.å). Programmet fungerar som ett visualiseringsverktyg och kan exempelvis redogöra för betydande kollisioner mellan modellerna som på byggarbetsplatsen skulle ställa till med stora problem. Att redan i projekteringsskedet kunna upptäcka och åtgärda dessa kollisioner underlättar arbetet både tidsmässigt och ekonomiskt. Genom att i modelleringsprogrammet ha tilldelat objekten information finns bland annat möjlighet för mängdning av material, byggnads- och projektkostnader.

2.5.1 CO₂ Equivalent Calculation i SMC

Anne Urrila, Solibri Product Manager, believes

” We (Solibri) have long understood the value of BIM in construction. Our role is to reduce material waste by upfront checking and reliable material calculations. The idea of calculating the amount of wall material or window types is a standard function in SMC. To extend that thinking to check and measure CO₂e material volumes makes perfect sense. To visualize those findings in the 3D model simply extends the versatility of SMC for our current users ”.

Solibri har lanserat en så kallad extension med namnet *CO₂e Equivalent Calculation*. Denna tilläggstjänst möjliggör beräkning av en byggnads klimatpåverkan genom att sammanställa ingående materials CO₂e per kilogram. Denna tilläggstjänst ska ge en överblick över byggnadens klimatpåverkan och med hjälp av färgkodning kan en ännu tydligare bild ges över de “mest negativa” materialen ur ett klimatpositivt perspektiv. Med denna utveckling ska projekten redan i ett tidigt skede kunna se

konsekvenser av valda material för att kunna göra nya bedömningar och välja mer klimatsmart alternativ.

2.6 Klimatdata och BIM

En återkommande svårighet är att arbeta på ett kostnads- och tidseffektivt sätt när det kommer till att bedöma material och dess klimatavtryck. Ett problem är att klimatdata för olika material och modelleringsverktygen inte är kopplade till varandra, vilket innebär mycket manuellt arbete samt extra utgifter som resulterar i att arbetssättet inte är ekonomiskt hållbart. Arbetet bör kunna hanteras i BIM eftersom en BIM-modell har möjligheten att överlappa tvärvetenskaplig information (Abanda, 2017).

Ett annat problem är skillnad i mognadsgrad hos olika företag och deras avdelningar, ett problem som visat sig finnas även på Lokalförvaltningen. Användningen och utnyttjandet av BIM ser olika ut i olika företag men författarna till rapporten *Digital Miljöinformation i Byggprocessen*, publicerad av IVL Svenska Miljöinstitutet, anser att inställningen till information och metodik många gånger är mer väsentlig än de faktiska tekniska lösningarna. "Införande av BIM medför i regel stora förändringar i processer och kravställande för hela branschen, men utmaningarna kan se olika ut för olika aktörer" (IVL, 2018).

3 Fallstudie

Lokalförvaltningen är en av Sveriges ledande aktörer inom förvaltning av skolor, förskolor, kontor och äldreboenden. Lokalförvaltningen ansvarar för allt från underhåll - invändigt som utvändigt - till energi, vattenförsörjning och tekniska installationer. Förvaltningen arbetar utifrån visionen "Lokalförvaltningen är en ledande byggherre och fastighetsförvaltare med göteborgarnas bästa för ögonen" (Göteborgs Stad, 2015). Lokalförvaltningen är en del av Göteborgs Stad och jobbar mot det gemensamma målet att minska stadens fossila utsläpp. År 2015 startades ett projekt som gick ut på att ta fram en konceptförskola för att optimera och underlätta processen vid byggnation av nya förskolor i Göteborg. Denna konceptförskola har även optimerats med avseende på inomhusklimat och med ett självklart fokus på miljöfrågan (Göteborgs Stad, 2019). Projektet har fått namnet Grönskan och byggs just nu i Lillhagsparken i Göteborg.



Figur 3.1 Illustration Grönskan (Liljewalls, u.å.).

Det klimatstrategiska program som Göteborgs Stad har tagit fram utgår från målet att minska stadens fossila utsläpp med 75% till år 2050 (Göteborgs Stad, 2019). Miljösjakkunnig på Lokalförvaltningen beskriver att detta mål motsvarar att till år 2030 ligga på netto-noll för att inte överskrida en temperaturökning med 1,5 grad. Ett politiskt beslut har tagits att Göteborgs Stad till år 2021, med Lokalförvaltningen i spetsen, ska ha upprättat en helt fossilfri förskola. Den fossilfria förskolan projekteras med konceptförskolan Grönskan som grund och har döpts till Hoppet. Innovationsprojektet är på en undersökande och experimentell nivå för att de bästa materialen och kombinationerna ska kunna tillämpas (Göteborgs Stad, 2019). Hela byggprocessen - allt från utvinning av material, förädling, transport och hantering på arbetsplatsen - ska ske fossilfritt och de utsläpp som är oundvikliga kommer att klimatkompenseras. En väl utförd projektering är därför väsentlig för att detta projekt skall lyckas.

3.1 Riktlinjer i projekteringsprocessen

I samråd med anställda på Lokalförvaltningen skapades en uppfattning om företagets nuvarande projekteringsprocess och deras förhållande till BIM. Det identifierades snabbt att kunskapen kring BIM och digitalisering inte är speciellt utbredd i förvaltningen. Med Göteborgs Stads långsiktiga mål mot en fossilfri stad ställs höga

krav på de material och processer som kommer att användas i projektet Hoppet, men även i framtida projekt.

För att kunna göra en korrekt riktad projektering har Lokalförvaltningen riktlinjer i form av tekniska krav och anvisningar (TKA). TKA består av dokument för respektive teknikområde i form av mallar och anvisningar. Dessa dokument är specifika komplement till lagar, förordningar och praxis för entreprenörer och leverantörer att följa. I ett samrådsmöte med miljöszakunnig på Lokalförvaltningen, projektledare för Hoppet och konsulterande BIM-samordnare på Lokalförvaltningen identifierades förvaltningens utmaningar och möjligheter för att utveckla projekteringsprocessen med hjälp av BIM. Den konsulterande BIM-samordnaren arbetar med utveckling av TKA för BIM/CAD och ser möjligheten att koppla en byggnads klimatdata till dess BIM-modell. Begränsningen hos TKA är dock att om kravställningen är för strikt kan den begränsa anbudsläggare. TKA uppdateras en gång per år men för ett enskilt projekt är det möjligt att ställa ytterligare krav än de som är angivna i TKA. På miljösidan innefattar TKA att entreprenören ska redovisa mängder och transporter samt göra beräkningar av total klimatpåverkan utifrån data från EPD:er för stomme, grund, klimatskal och innerväggar.

Lokalförvaltningen ställer ett krav på sig själva att redovisa en klimatdeklaration för en byggnad. Denna deklaration tas i dagsläget fram efter byggprocessen men det finns en ambition och förhoppning att kunna göra detta innan byggets start.

3.2 Dagens process för framtagande av klimatdeklaration

Hos Lokalförvaltningen finns ett önskemål att rationalisera dagens arbetssätt där olika system med olika databaser används för att ta fram en byggnads klimatdeklaration. Sedan TKA 2017 ställs det krav på entreprenören att tillhandahålla en BIM-modell men i dagsläget utnyttjas inte 3D-modellerna på önskvärt sätt. Konsulterande BIM-samordnare Jonas Bertheden säger

“Vi vill mycket, men vi måste ta hänsyn till vad hela organisationen jobbar efter. Så egentligen har vi ganska låg kravställning idag, men vi vill ju komma högre upp i detta arbetet.”

Nedan följer ett flödesschema som visar hur processen med klimatavtrycksberäkning görs i dagsläget hos Lokalförvaltningen.



Figur 3.2 Flödesschema över dagens process (författarens egen, 2019).

Enligt TKA 2019 BIM/CAD skall samtliga relationshandlingar levereras till Lokalförvaltningen (se bilaga 8.2, pkt 3.20.2). Bland dessa finns krav på leverans av en BIM-modell och ritningar i PDF-format. Dessa 2D-ritningar används som underlag till produktionen i byggskedet. En kartläggning av fakturor görs för att sammanställa mängder av de material som ingått i byggnaden. Dessa mängder förs sedan in i BM där de matchas med materialets specifika CO₂e-värde. Därefter beräknar BM byggnadens totala CO₂e och en klimatdeklaration erhålls.

Problemet med dagens process är att byggnadens klimatdeklaration tas fram efter byggnadens färdigställande där möjligheten till påverkan är förbrukad. Denna process motverkar strävan efter ett mer digitaliserat arbetssätt. Det finns en stor efterfrågan på ett mer effektivt sätt att hantera och beräkna materials klimatpåverkan genom CO₂e hos Lokalförvaltningen, men även inom branschen i stort.

4 Genomförande och resultat

I detta avsnitt kommer det att presenteras ett koncept för att förändra den idag ineffektiva processen rörande klimatavtrycksberäkning. Konceptet innefattar två förslag som möjliggör beräkning av en byggnads potentiella klimatavtryck redan i projekteringsskedet.

Konceptet är anpassat för att kunna välja material utefter materialets klimatpåverkan. Eftersom klimatdeklarationen tas fram innan byggnadens färdigställande finns möjligheten för revidering av material beroende på dess CO₂e-värde.

I konsultation med ingenjör på Liljewalls arkitekter diskuterades olika tillvägagångssätt för att förflytta en byggnads klimatavtrycksberäkning till projekteringsskedet. Liljewalls arkitekter har tidigare samarbetat med Lokalförvaltningen och har modellerat konceptförskolan Grönskan. De ser stort värde och potential att med hjälp av BIM kunna optimera klimatavtrycksberäkningar. I Figur 4.1 presenteras ett flödesschema som beskriver konceptet där en BIM-modell får en central roll i framtagandet av en byggnads klimatdeklaration.



Figur 4.1 Förenkling av dagens arbetssätt (författarens egen bild, 2019).

4.1 BIM och LOD

En modell tillhandahålls av Liljewalls arkitekter bestående av två enkla byggnader. Detaljnivåerna på byggnaderna skiljer sig åt och är ett exempel på vad de kan leverera till en kund beroende på vad som önskas eller krävs. Den vänstra byggnaden har en lägre detaljnivå och uppskattas hamna på LOD200. Den högra uppskattas hamna på LOD300 (BIM Forum, 2017).

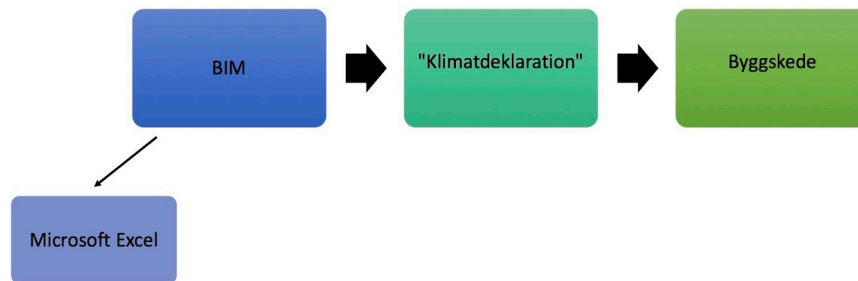


Figur 4.2 De två olika modellerna med LOD200 respektive LOD300 (Liljewalls, 2019).

Den vänstra byggnaden, med LOD200, består av typobjekt utan materialskikt. För denna detaljnivå krävs klimatdata för ett helt typobjekt och inte ingående material. I den högra byggnaden, med LOD300, är objekten uppbyggda av materialskikt med givna tjocklekar. Här behöver varje ingående material ha ett CO₂e-värde. Genom att beräkna materialets procentuella del av objektet fås därmed ett sammanlagt värde på hela objektets klimatavtryck. Modellen ligger till grund för följande två förslag på tillvägagångssätt för att beräkna en byggnads klimatavtryck i projekteringsskedet. De två tillvägagångssätten är benämnda *Förslag 1* och *Förslag 2*.

4.2 *Förslag 1* - Beräkning av CO₂e i Microsoft Excel

Följande tillvägagångssätt är en förenklad metod som är tillämpningsbar i dagsläget för Lokalförvaltningen. Metoden sätter ett större värde på BIM-modellen än vad som görs idag och tanken är att arbetssättet ska fungera som en drivande kraft för utvecklingen av användandet av BIM-modeller.



Figur 4.3 Illustration av Förslag 1 (författarens egen bild, 2019).

Förslag 1 bygger på att aktuell arkitekt för ett projekt gör en fullständig BIM-modell för byggnaden. Detaljnivån på denna modell beror på vilken kravställning som finns för det specifika projektet. Genom denna modell tar arkitekten fram information om byggnaden i form av en Excelfil. Det som behöver finnas med i denna fil är namn på materialet eller typobjektet, typ och volym.

Excel-fil med volym (förslag 1) NY

Component type	CO2e Construction type	Volume [m3]	CO2e value [kg/m3]	Unit
Basfönster 21	F1	0,055		CO2eq kg/m3
LARK stomme-yttre 150	BJL1	3,75		CO2eq kg/m3
LARK stomme-yttre 288	YV1	13,85		CO2eq kg/m3
LARK stomme-yttre 271	YT1	6,8		CO2eq kg/m3
Basdörr 21	YD1	0,11		CO2eq kg/m3
LARK ickebärande 95	IV1	0,973		CO2eq kg/m3
Basdörr 21	D1	0,101		CO2eq kg/m3
bjälklag, platta mark, std. 488	BJL2	11,98		CO2eq kg/m3
y-vägg, utfackning 288	YV2	14,62		CO2eq kg/m3
Basfönster 21	F2	0,081		CO2eq kg/m3
Basdörr 21	YD2	0,143		CO2eq kg/m3
tak, std. 271	YT2	6,81		CO2eq kg/m3
i-vägg, 95 E, R15/EI30/dB35 95	IV2	0,993		CO2eq kg/m3
Basdörr 21	D2	0,101		CO2eq kg/m3

Figur 4.4 Exempel på utformning av Excel-fil för Förslag 1 (författarens egen bild, 2019).

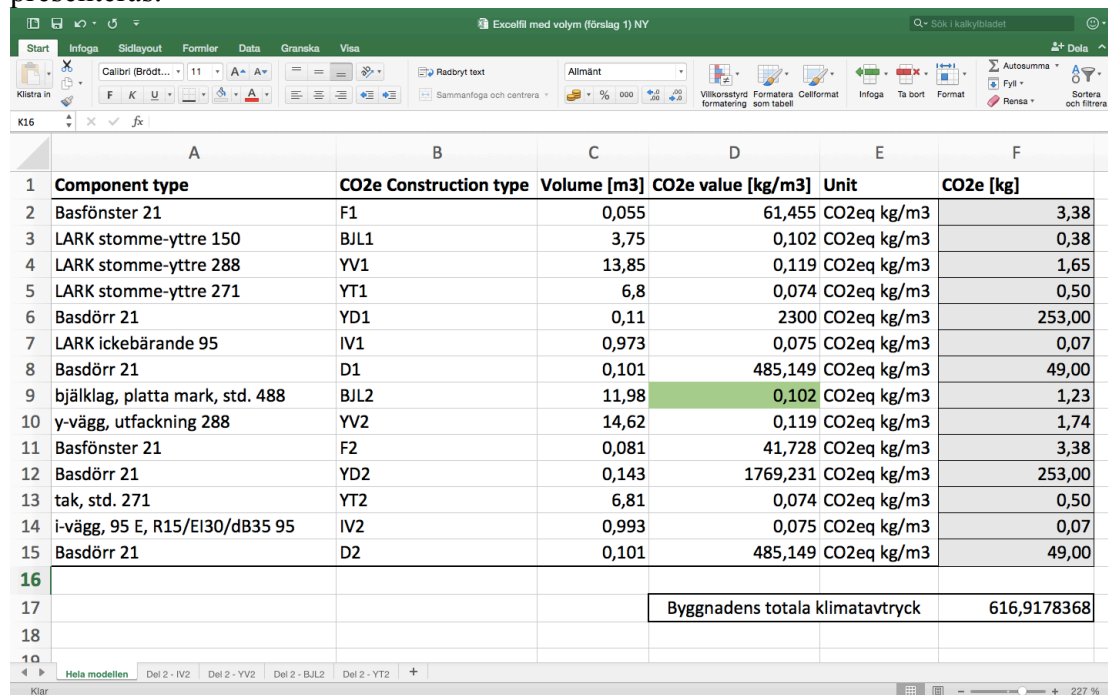
Objekten i byggnaden med LOD200 är typobjekt och benämns i Figur 4.4 enligt F1, BJL1, YV1 o.s.v. I byggnaden med LOD300, vars objekt i Figur 4.4 benämns BJL2, YV2, F2 o.s.v., finns specificerade material. I Figur 4.5 visas hur en överslagsberäkning görs när klimatdata varierar mellan ingående material i ett objekt.

Excel-fil med volym (förslag 1) NY

Material	Tjocklek [mm]	CO2e [kg/m3]	Procentuell del av vägg	CO2e [kg/m3]
generellt ytskikt golv	16	0,000246154	0,033	=C2*D2
byggskiva - spån, golv	22	9,55224E-05	0,045	0,000004
platsguten betong	150	0,00006	0,307	0,000018
isolering - cellplast	300	0,166666667	0,615	0,102459
Total tjocklek	488			0,102

Figur 4.5 Exempel på utformning av Excel-fil för Förslag 1 vid överslagsberäkning av materials varierande klimatdata (författarens egen bild, 2019).

I Figur 4.5 presenteras resultatet av beräkningarna. Den grönmärkade cellen är kopplad till grönmärkad cell i Figur 4.6. För att resultatet ska bli överskådligt hanteras ingående material i ett objekt i ett separat blad och på "huvudbladet" presenteras objektets sammanlagda klimatdata. Genom att arbeta på detta sätt med olika blad kan liknande objekt med olika ingående material jämföras i samma Excel-fil. Sedan kan det väljas vad som skall kopplas till "huvudbladet" där resultatet presenteras.



	A	B	C	D	E	F
	Component type	CO2e Construction type	Volume [m3]	CO2e value [kg/m3]	Unit	CO2e [kg]
1	Basfönster 21	F1	0,055	61,455	CO2eq kg/m3	3,38
2	LARK stomme-yttre 150	BJL1	3,75	0,102	CO2eq kg/m3	0,38
3	LARK stomme-yttre 288	YV1	13,85	0,119	CO2eq kg/m3	1,65
4	LARK stomme-yttre 271	YT1	6,8	0,074	CO2eq kg/m3	0,50
5	Basdörr 21	YD1	0,11	2300	CO2eq kg/m3	253,00
6	LARK ickebärande 95	IV1	0,973	0,075	CO2eq kg/m3	0,07
7	Basdörr 21	D1	0,101	485,149	CO2eq kg/m3	49,00
8	bjälklag, platta mark, std. 488	BJL2	11,98	0,102	CO2eq kg/m3	1,23
9	y-vägg, utfackning 288	YV2	14,62	0,119	CO2eq kg/m3	1,74
10	Basfönster 21	F2	0,081	41,728	CO2eq kg/m3	3,38
11	Basdörr 21	YD2	0,143	1769,231	CO2eq kg/m3	253,00
12	tak, std. 271	YT2	6,81	0,074	CO2eq kg/m3	0,50
13	i-vägg, 95 E, R15/EI30/dB35 95	IV2	0,993	0,075	CO2eq kg/m3	0,07
14	Basdörr 21	D2	0,101	485,149	CO2eq kg/m3	49,00
15						
16				Byggnadens totala klimatavtryck		616,9178368
17						
18						

Figur 4.6 Exempel på utformning av excel-fil för Förslag 1 vid koppling av blad (författarens egen bild, 2019).

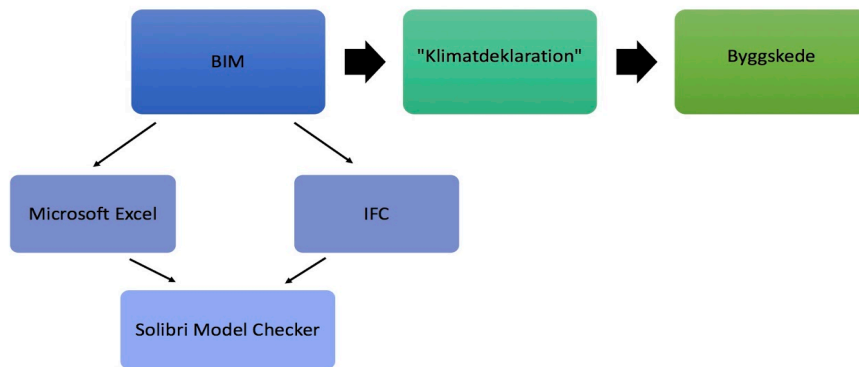
Namn och beteckning på material eller typobjekt är viktigt för att de anställda på Lokalförvaltningen ska kunna identifiera vilken byggdel som hör hemma var samt att enkelt kunna föra in korresponderande klimatdata till respektive byggdel. Denna klimatdata, CO₂e per volymenhet, multipliceras sedan med mängden material eller typobjekt för att få fram ett totalt klimatavtryck för den specifika byggdelen. Sedan kan dessa värden summeras för att erhålla byggnadens totala klimatavtryck.

En svårighet som kan tänkas uppstå är utformningen av Excel-filen då den är beroende av detaljnivån på modellen. En låg kravställning på detaljnivån gör Excel-filen relativt enkel då arbete främst sker med typobjekt. Kravställs det en högre detaljnivå på BIM-modellen innebär det att Excel-filen blir större och mer komplex då ingående material i typobjekten behöver specificeras.

4.3 Förslag 2 – Utökning med SMC

Förslag 2 är en utökning av Förslag 1. Anledningen att detta tillvägagångssätt tas i beaktande är möjligheterna till ett mer långsiktigt arbete med BIM samt möjligheten för visualisering av ett projekt. Denna metod går ut på att arkitekten som gör BIM-modellen bistår på samma sätt med en Excel-fil som i Förslag 1, men istället för att ha tagit ut mängderna från modellen tillhandahålls även en IFC-fil där mängderna samlas

automatiskt. Denna IFC-fil laddas in i SMC, där en extension med en CO₂e-beräkning kan installeras.

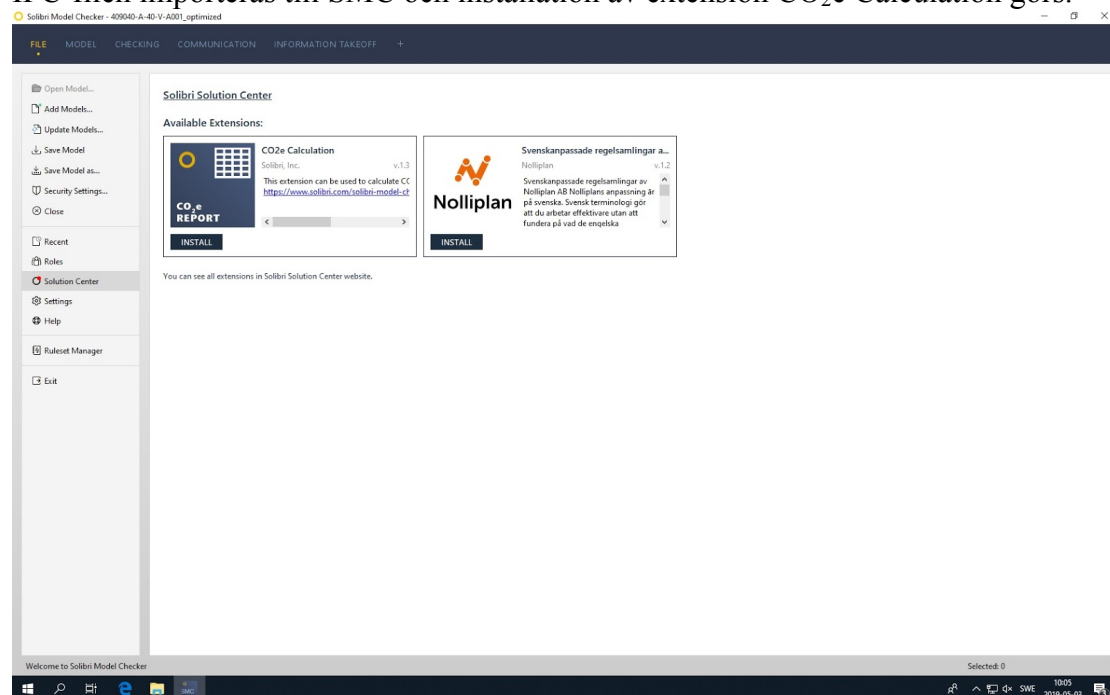


Figur 4.7 Illustration av Förslag 2 (författarens egen bild, 2019).

Tillvägagångssättet för klimatavtrycksberäkningarna i SMC genomfördes med hjälp av en guide som hittades på Solibris hemsida (Solibri, u.å.). För att det inte ska ske en upprepning av alla steg från guiden finns det i detta avsnitt en genomgång av utvalda, viktiga steg samt förklaringar till betydande verktyg i SMC. Genomgången består även av skärmdumpar för att underlätta orientering.

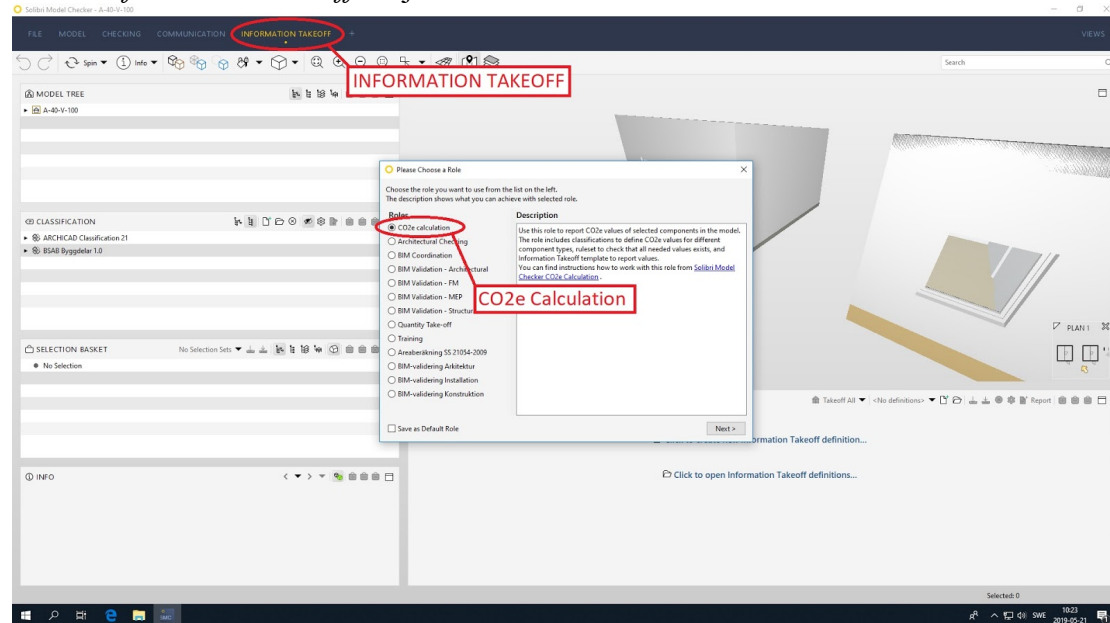
4.3.1 Arbetsgång i SMC

IFC-filen importeras till SMC och installation av extension CO₂e Calculation görs.



Figur 4.8 Installering av extension CO₂e Calculation i SMC (författarens egen bild, 2019).

Under *Information Takeoff* väljs CO₂e Calculation som roll.



Figur 4.9 Rollen CO₂e Calculation väljs under fliken *Information Takeoff* i SMC (författarens egen bild, 2019).

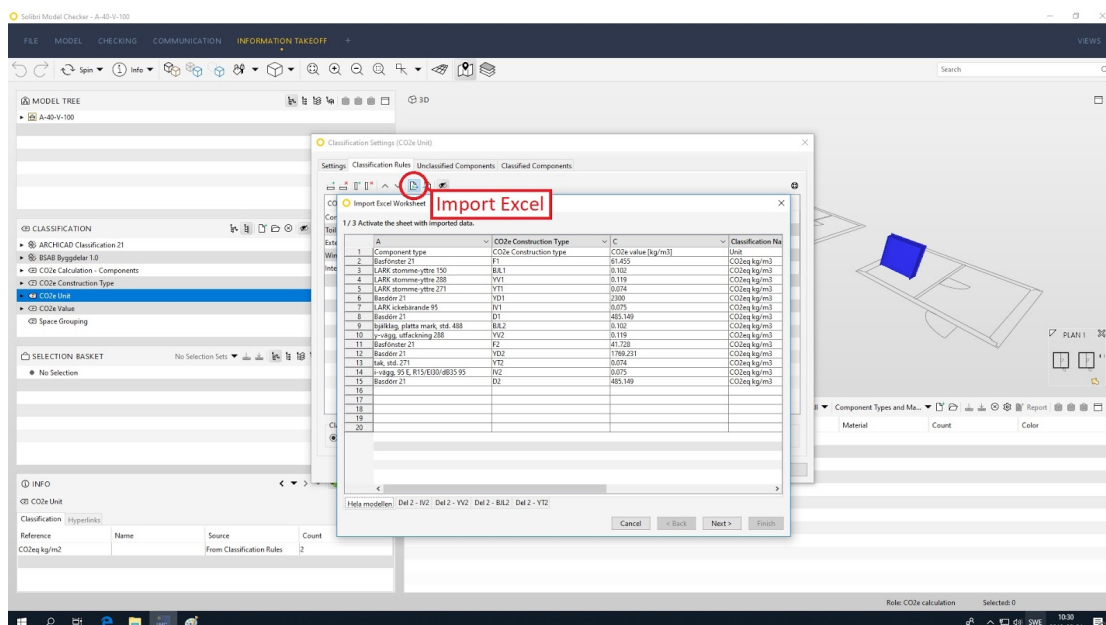
Denna roll innefattar Classifications för att definiera CO₂e värden för de olika objekten, Rulesets som kontrollerar att alla värden verkligen finns och Information Takeoff för att sammanställa informationen.

Information Takeoff sammanställer information som läge, kvantitet och klassificering för olika objekt i modellen i en lista som kan exporteras till en Excelfil. Informationen kan även analyseras genom visualisering. Här väljs den installerade rollen som används för att samla de resurser som behövs för att få fram ett efterfrågat resultat (Solibri, 2015). Rollen CO₂e Calculation innefattar på så sätt hela beräkningsgången som krävs för att ta fram varje objekts klimatavtryck.

Tillsammans med den tidigare framtagna Excelfilen med materialens klimatdata (samma som i *Förslag 1* med undantag för materialens volymer) kan rollen CO₂e Calculation beräkna varje objekts klimatavtryck. Excelfilen importeras till SMC och värden matchas med korresponderande objekt i modellen.

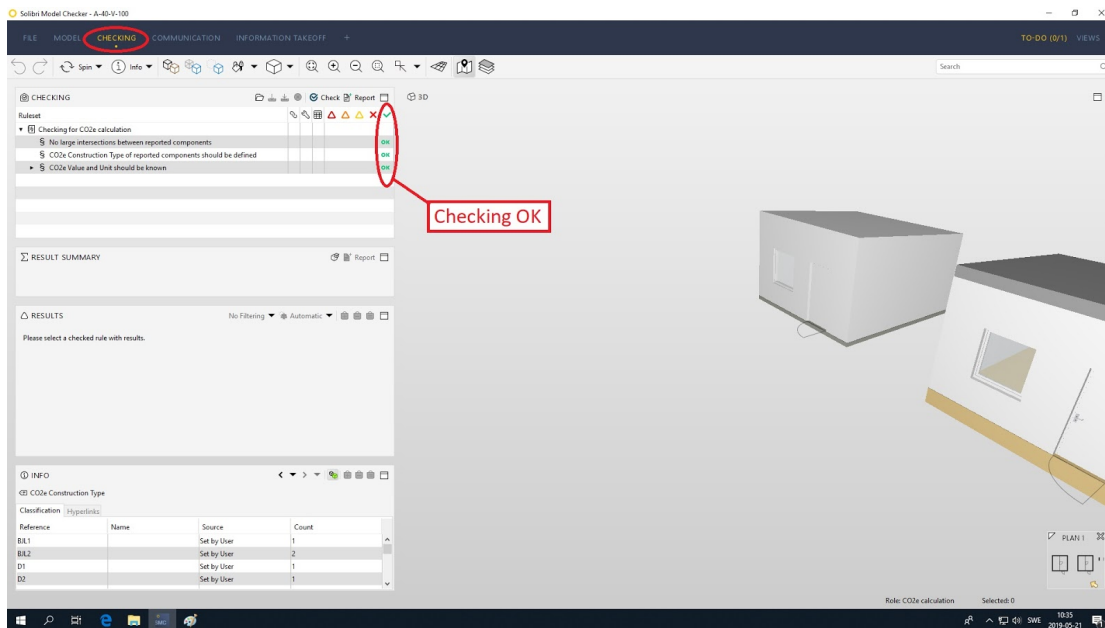
	A	B	C	D	E
1	Component type	CO2e Construction type	CO2e value [kg/m3]	Unit	
2	Basfönster 21	F1	61,455	CO2eq kg/m3	
3	LARK stomme-yttre 150	BJL1	0,102	CO2eq kg/m3	
4	LARK stomme-yttre 288	YV1	0,119	CO2eq kg/m3	
5	LARK stomme-yttre 271	YT1	0,074	CO2eq kg/m3	
6	Basdörr 21	YD1	2300	CO2eq kg/m3	
7	LARK ickebärande 95	IV1	0,075	CO2eq kg/m3	
8	Basdörr 21	D1	485,149	CO2eq kg/m3	
9	bjälklag, platta mark, std. 488	BJL2	0,102	CO2eq kg/m3	
10	y-vägg, utfackning 288	YV2	0,119	CO2eq kg/m3	
11	Basfönster 21	F2	41,728	CO2eq kg/m3	
12	Basdörr 21	YD2	1769,231	CO2eq kg/m3	
13	tak, std. 271	YT2	0,074	CO2eq kg/m3	
14	i-vägg, 95 E, R15/EI30/dB35 95	IV2	0,075	CO2eq kg/m3	
15	Basdörr 21	D2	485,149	CO2eq kg/m3	
16					
17					

Figur 4.10 Exempel på Excellfil att importera till SMC för Förslag 2 (författarens egen bild, 2019)



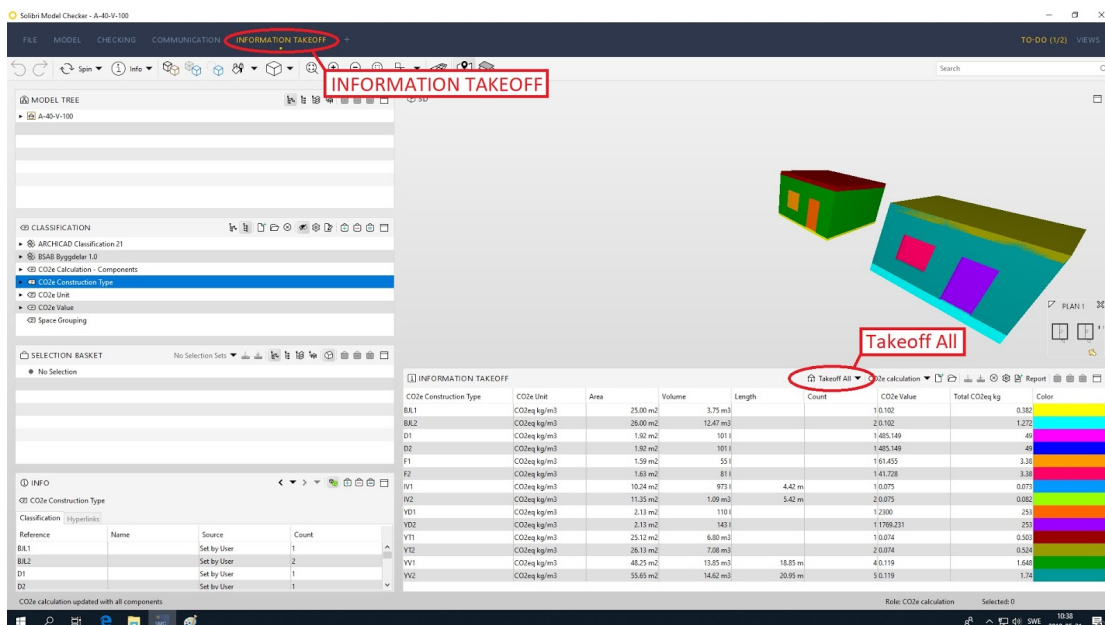
Figur 4.11 Excellfil Figur 4.10 importeras in i SMC (författarens egen bild, 2019)

För att kontrollera att alla objekt har inkluderats i rollen och därmed matchats med sitt CO₂e-värde görs en kontroll av rollen under *Checking* i menyraden.



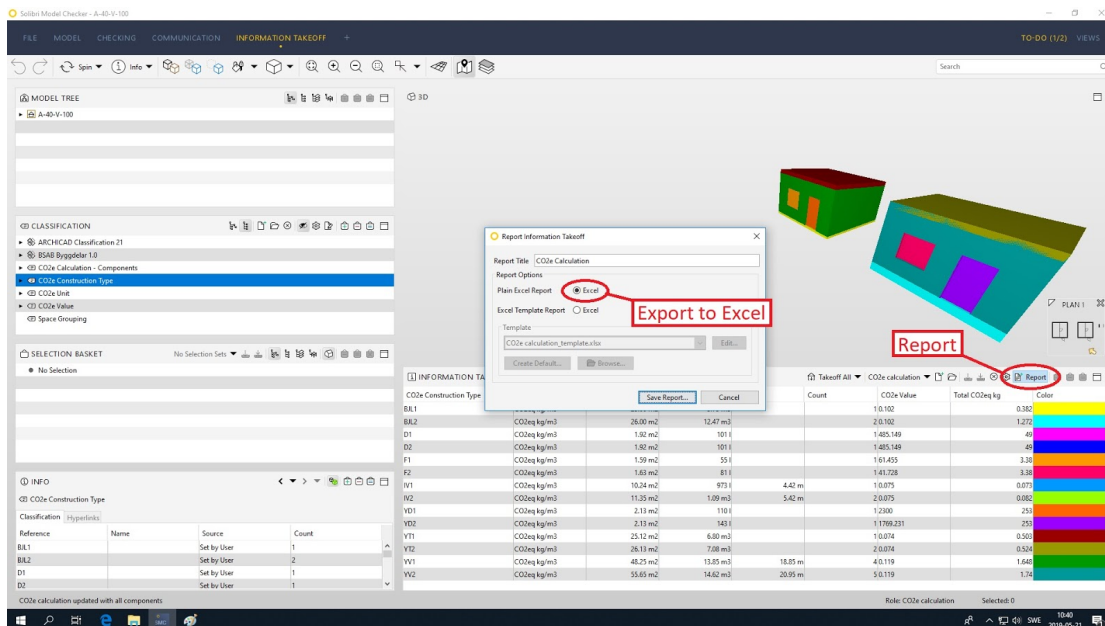
Figur 4.12 Alla objekt är inkluderade därav visas grönmarkerade "OK" - Checking OK - i SMC (författarens egen bild, 2019)

Genom att alla objekt har matchats med sin korresponderande CO₂e kan nu varje objekts totala CO₂e beräknas. Varje objekt har tilldelats en specifik färg för att underlätta identifiering i modellen. Vid markering av ett objekt i listan under *Information Takeoff* lyser detta upp i modellen.



Figur 4.13 Information Takeoff visar slutlig information där alla objekt tilldelats en specifik färg i SMC (författarens egen bild, 2019).

Det sista steget i *Förslag 2* är att exportera resultatet till Excel, där varje objekts klimatavtryck kan summeras och byggnadens totala klimatavtryck beräknas.



Figur 4.14 Visar hur det slutligen går att exportera sammanställd information i SMC till en Excelfil (författarens egen bild, 2019).

Summera objektens CO₂e för att få fram byggnadens klimatdeklaration.

	CO2e Construction Type	CO2e Unit	Area	Volume	Length	Count	CO2e Value	Total CO2eq kg	Color
2	BJL1	CO2eq kg/m ³	25	3,75		1	0,102	0,382	
3	BJL2	CO2eq kg/m ³	26	12,47		2	0,102	1,272	
4	D1	CO2eq kg/m ³	1,92	0,101		1	1.485,149	49	
5	D2	CO2eq kg/m ³	1,92	0,101		1	1.485,149	49	
6	F1	CO2eq kg/m ³	1,59	0,055		1	1.61,455	3,38	
7	F2	CO2eq kg/m ³	1,63	0,081		1	1.41,728	3,38	
8	IV1	CO2eq kg/m ³	10,24	0,973	4,42	1	1.0,075	0,073	
9	IV2	CO2eq kg/m ³	11,35	1,09	5,42	2	0,075	0,082	
10	YD1	CO2eq kg/m ³	2,13	0,11		1	1.2300	253	
11	YD2	CO2eq kg/m ³	2,13	0,143		1	1.1769,231	253	
12	YT1	CO2eq kg/m ³	25,12	6,8		1	1.0,074	0,503	
13	YT2	CO2eq kg/m ³	26,13	7,08		2	0,074	0,524	
14	YV1	CO2eq kg/m ³	48,25	13,85	18,85	4	0,119	1,648	
15	YV2	CO2eq kg/m ³	55,65	14,62	20,95	5	0,119	1,74	
17	Byggnadens totala klimatavtryck							616,984	

Figur 4.15 Visar resultatet av den exporterade Excelfilen i Figur 4.14 där byggnadens totala klimatavtryck visas (författarens egen bild, 2019).

4.4 Analys av korrekthet för data

De klimatdata som används i ovanstående figurer är approximerade värden. Data är främst hämtad från en sammanställning som Miljöbyggnad hänvisar till (Sweden Green Building Council, u.å.). För de material som ingår i modellen men inte finns med i Miljöbyggnads sammanställning har data hämtats från EPD:er (EPD International AB, u.å.). EPD:er för olika material kan se olika ut och CO₂e kan anges i olika enheter. I SMC CO₂e Calculation kan klimatdata beräknas i CO₂e kg/m², CO₂e kg/m³, CO₂eq kg/m och CO₂eq kg/enhet. Denna rapport använder enheten

CO₂e kg/m³. Det är vanligt att klimatdata anges i kg CO₂e/kg, vilken även är enheten i Miljöbyggnads sammanställning. För att omvandla värdet till enheten CO₂e kg/m³ krävdes det därför information om materialets densitet, vilken kunde återfinnas i materialets EPD.

De klimatdata som finns till Lokalförvaltningens förfogande är i huvudsak materialspecifik. Vid klimatavtrycksberäkning av typobjekt kan generella data accepteras till en viss mån enligt miljöutredare på Lokalförvaltningen. I projekteringsskedet varierar mognadsgraden i BIM-modellen vilket innebär att ingående material i typobjekt inte alltid är specificerade. I både *Förslag 1* och *Förslag 2* för Lokalförvaltningen själva in klimatdata på de ingående materialen i byggnaden. Detta innebär att de själva bär ansvaret för att införd data är korrekt.

5 Diskussion

Från första idé till färdigställande av arbete och rapport har många tankar, idéer, undersökningar och jämförelser passerat. Vid arbetets start fanns en förhoppning och önskan om att leverera en färdig lösning till Lokalförvaltningen. Vägen dit visade sig vara mer komplex än vad vi trott och att säga att vi kommit fram till en vattentät lösning är inte sanning. Det finns fortfarande många hål och svårigheter som måste undersökas vidare. Litteraturstudien gav oss en känsla av att branschen i stort befinner sig i ett undersökande skede när det gäller klimatdata kopplat till BIM. Förutom SMC extension CO₂e Calculation fann vi inga andra konkreta lösningar.

5.1 Implementering av de två förslagen

5.1.1 Förslag 1

Denna metod kan ses som att flytta dagens manuella arbete från byggprocessens slut till dess projektering. Det kommer fortfarande krävas mycket manuellt arbete men vi anser att det inte är en högre arbetsbörda än i dagsläget. Det manuella arbetet ligger i att föra in CO₂e för ingående objekt. Detta arbetssätt skulle kunna implementeras i dagsläget utan vidare utbildning eller ansträngning. Vid en eventuell övergång mot SMC är det smidigt att redan ha implementerat arbetet i Excel. Det vi anser kan vara negativt med detta arbetssätt är det manuella arbetet i Excel. Eftersom vi gjort vår undersökning på en relativt liten byggnad skulle denna Excelfil för ett stort projekt kunna bli svår att manövrera sig i. En lösning på detta skulle vara att dela upp projektet i mindre delar. För att ge ett exempel består Grönskan av tre sammansatta byggnader och där skulle varje byggnad kunna modelleras upp var för sig och på så sätt kan informationen bli mer lätthanterlig.

5.1.2 Förslag 2

Har företaget väl implementerat *Förslag 1* är det inte ett alltför stort steg till *Förslag 2*. Denna metod ger en bättre visualisering av resultatet och kopplar, i ännu större utsträckning, klimatdata till BIM. I stället för att behöva scrolla igenom en Excelfil för att få en överblick laddas denna in i SMC där information kopplas till respektive objekt som kan färgkodas därefter. Eftersom SMC är ett mångsidigt program är det, enligt vår mening, mycket användbart. Det som krävs för implementering är utbildning och resurser för att köpa licensen till Solibri. Tilläggstjänsten CO₂e Calculation kostar ingenting så länge licensen för programmet finns. Utnyttjandet av SMC CO₂e Calculation skulle minska arbetsbelastningen hos förvaltningen vilket innebär större chans för implementeringen av arbetssättet.

De båda förslagen som presenteras är adaptiva genom att materialens CO₂e-värde enkelt kan justeras i Microsoft Excel och för *Förslag 2* kan Excelfilen uppdateras och föras in på nytt i SMC.

5.2 Detaljnivå på objekten

En fråga vi ställde oss tidigt i arbetet och som har bollats fram och tillbaka många gånger var vilken detaljnivå vi skulle fokusera på. På grund av komplexiteten och omfattningen hos stora projekt gjordes bedömningen tillsammans med anställda på Lokalförvaltningen och Liljewalls arkitekter att använda typobjekt. Detta underlättar

för arkitekten vid modellering eftersom lägre detaljnivå medför en mindre tidskrävande arbetsinsats. Efter vidare diskussion med ingenjör på Liljewalls arkitekter framkom att en vanlig kravställning även kan vara en något högre detaljnivå. Utifrån detta levererade Liljewalls en modell med två olika detaljnivåer - LOD200 och LOD300 - för att göra resultatet så användbart som möjligt.

5.3 Ansvar

Det gick åt mycket tid till att diskutera vem eller vilka som ska ansvara för och i vilket steg klimatdata ska föras in i processen. Som ovan nämnts behandlas detta i dagsläget i slutet av processen med hjälp av verktyget BM och det är Lokalförvaltningen som står för detta arbete. Men nu vid omgruppering blev detta en väsentlig fundering. För att utnyttja BIM-modellen maximalt hade vi till början en tanke om att tilldela varje material eller objekt i modellen en CO₂e-parameter. Efter möte med ingenjör på Liljewalls arkitekter gjordes bedömningen att detta alternativ inte är aktuellt i dagsläget. Vid behov av ändring av ett materials CO₂e-värde måste detta arbete gå tillbaka via arkitekten vilket gör processen besvärlig. Det bestämdes därför att endast föra in klimatdata i Excel där Lokalförvaltningen själva har kontroll över indata. Trots att det i nuläget inte är aktuellt med en materialspecifik CO₂e-parameter i en BIM-modell anser vi att denna typ av lösning inte bör uteslutas i framtiden.

5.4 Produktionssteg A1-A3

En avgränsning var att endast fokusera på produktionssteg A1-A3. Det är en mycket lång kedja av information och kommunikation som vi ansåg stod utanför vår förmåga att kontrollera. Dock måste det påpekas att för vidare utveckling är självklart korrekt klimatdata, CO₂e, för objekt eller material mycket viktigt för resultatet. Klimatdata för ett material varierar bland annat beroende på tillverkare och land och här måste då undersökas om denna kedja är fullständig och att alla produktionssteg innefattas. Ett exempel som är svårbedömt är spill av material. Det är mycket svårt att tidigt i processen bedöma mängden spill, hur detta ska tas om hand och om det redan är inräknat i framtagna klimatdata eller inte. Användningen av BIM kan i sig minska mängden spill genom att bland annat håltagning och beställning av material kan bli mer exakt.

5.5 Tankar för framtiden

Trots att Lokalförvaltningen i TKA 2019 BIM/CAD kravställer på leverans av en BIM-modell finns det inga krav på LOD. Utan krav på detaljnivå finns inga riktlinjer på vad BIM-modellen behöver innehålla, vilket i sin tur leder till en ovisshet för i vilken utsträckning den faktiskt kan användas av Lokalförvaltningen. För att utveckla det digitaliserade arbetet på såväl miljösidan som andra avdelningar på förvaltningen föreslår vi att TKA för BIM/CAD i framtiden bör innefatta krav på LOD.

6 Slutsats

Vi tror att nyckeln till en mer effektiv, lättarbetad och klimatpositiv byggprocess kräver en större kunskap inom digitalisering och BIM. Vi inser att det finns behov av mer forskning inom området men den positiva attityd majoriteten av de vi samtalat och samarbetat med har haft gör att vi ser ljus på framtiden.

Målet med detta examensarbete var att identifiera möjligheterna att beräkna en byggnads klimatavtryck så tidigt som möjligt i projekteringsprocessen. Konceptet vi har tagit fram är inte fullt digitaliserat i önskad utsträckning men den har tagit oss en bit på vägen. Det har väckts en nyfikenhet hos oss och en förhoppning finns att Lokalförvaltningen tillsammans med andra engagerade organisationer driver arbetet framåt för att i framtiden hitta ett arbetssätt som gynnar både arbetsprocessen och miljön.

7 Referenser

- Abanda, F.H, Oti, A.H., Tah, J.H.M. (2017). Integrating BIM and new rules of measurement for embodied energy and CO2 assessment. *Journal of Building Engineering*, 12, 288-305. doi: 10.1016/j.job.2017.06.017
- Annik Skeidsvoll Edén. (2015). *Byggnadsinformationsmodellering, BIM, förändrar nu branschen snabbt*. Hämtad från <https://hallbartbyggande.com/byggnadsinformationsmodellering-bim-forandrar-nu-branschen-snabbt/>
- BIM Alliance Sweden. (u.å). *Vad är BIM?* Hämtad från <https://www.bimalliance.se/vad-ar-bim/>
- Boverket. (2019). *Miljöindikatorer: aktuell status*. Hämtad från <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/>
- Boverket. (2019). *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn*. Hämtad från <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/>
- bulidingSMART. (2019). *Industry Foundation Classes (IFC) - An Introduction*. Hämtad från <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>
- EPD International AB. (u.å). *Miljövarudeklarationer (EPD)*. Hämtad från <https://www.environdec.com/sv/>
- Graphisoft. (u.å). *Partner Solutions - Solibri Model Checker*. Hämtad från https://www.graphisoft.com/archicad/partner_solutions/solibri_model_checker/
- Göteborgs Stad. (2019). *Hoppet - ett innovationsprojekt för fossilfri byggnation*. Hämtad från: https://goteborg.se/wps/portal/enhetssida/hoppet-ett-innovationsprojekt-for-fossilfri-byggnation/Om-Hoppet!/ut/p/z1/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfljo8ziTYzcDQy9TAy93S0tDAwCLYxCXS2Dg428vY31wwkpiAJKG-AAjgb6XvpR6Tn5SRCrHPOSjC3S9aOKUtNSi1KL9EqLgMIZJSUFxVaqBqoG5eXleun5-ek5qXrJ-bmqBti0ZOQXl-hHoKrUL8iNqPJDXcEAHyx0bM!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/
- Göteborgs Stad. (2019). *Modellförskolan Grönskan: byggs just nu i Lillhagsparken*. Hämtad från https://goteborg.se/wps/portal/press-och-media/aktuellarkivet/aktuellt/92de0990-2004-4aac-a830-069871f9f04c!/ut/p/z1/pZFdS8MwFIZ_yy562eQ0SbPEu1ZkbK52rlS73EhW-wVrU7powV9vJwgORQeeuwPP-7xwDIY4w6rTr02lbWM6fZj2neJPJIR7EXoBxA-bG1iubxIJtpQsEoIfP4DU-wTiDYflakPSuyigXHhY_SPvJf5leTibAMItCSnAliaX5X8B1Df91yK8-qtguiAZouuowqrXtnabrjQ4k-S5ACnBJQDMZVmrhYUXOBSzL1SlSdyk7vZt2jMWwSIgC_YnADIXEgqJTuzg25PxWQeirIYigG9DNPLamv745UDDozjiCpjkbOBctM68FOkNkeLs3MS922aptnbuoysvwtms3eEgHSK/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/

Göteborgs Stad. (2015). *Välkommen till Lokalförvaltningen: En av Sveriges största byggherrar och förvaltare av offentliga lokaler*. [PowerPoint]. Hämtad från https://goteborg.se/wps/wcm/connect/1e5d7f38-dfa1-4317-8624-3e04833a9a26/Presentation_LF_20170101.pdf?MOD=AJPERES

IVL Svenska Miljöinstitutet. (2019). Byggsektorns miljöberäkningsverktyg. Hämtad från <https://www.ivl.se/sidor/vara-omraden/miljodata/byggsektorns-miljoberakningsverktyg.html>

Kungl. Ingenjörvetenskapsakademien (IVA). (2014). *Klimatpåverkan från byggprocessen*. Hämtad från <https://www.iva.se/globalassets/rapporter/ett-energieffektivt-samhalle/201406-iva-energieffektivisering-rapport9-i1.pdf>

Naturvårdsverket. (2018). *Fakta om klimat*. Hämtad från <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/>

Naturvårdsverket. (2018). *Fossila bränslen*. Hämtad från <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhället/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Energi/Fossila-branslen/>

Olander, S. (u.å). *Byggprocessen och dess aktörer*. [PowerPoint]. Hämtad från http://www.bekon.lth.se/fileadmin/byggnadsekonomi/education/Stefan/Byggprocesse_n_och_dess_aktoerer.pdf

Projektleddning. (2019). *Byggprocessen: dess moment, aktörer, faser och tillvägagångssätt* Hämtad från <https://projektledning.com/byggprocessen/>
Projektleddning. (2019). *Projektering*. Hämtad från: <https://projektledning.com/projektering/>

SMHI. (u.å). *IPCC Nationell Kontaktpunkt*. Hämtad från <http://www.smhi.se/tema/ipcc>

Solibri. (2015). *Rolen in Solibri Model Checker*. Hämtad från <https://solibri.wordpress.com/2015/05/30/roles-in-solibri-model-checker/>

Solibri. (u.å). *CO2 Equivalent Calculation in Solibri Model Checker*. Hämtad från <https://www.solibri.com/solibri-model-checker-co2-e-calculations-extension>

Solibri. (u.å). *CO2 Equivalent Calculation in Solibri Model Checker* [PDF]. Hämtad från <https://solibri-assets.s3.amazonaws.com/old-site/2015/11/CO2-equivalent-calculation-in-Solibri-Model-Checker-RA-v2.0-161115.pdf>

Solibri. (u.å). *How it works*. Hämtad från <https://www.solibri.com/how-it-works>

Sweden Green Building Council. (u.å.). *Manualer och verktyg för certifiering i Miljöbyggnad*. Hämtad från
<https://www.sgbc.se/certifiering/miljobyggnad/certifieringsstod-for-miljobyggnad/manualer-och-verktyg-for-certifiering-i-miljobyggnad/>

Världsnaturfonden WWF. (u.å.). *Mänsklig påverkan*. Hämtad från:
<https://www.wwf.se/klimat/mansklig-paverkan/>

8 Bilagor

8.1 Nivåer för LOD

Level of Development Specification
Version: 2019

Part I

www.bimforum.org/lof

Unifomat Omniclass

B2010 21-02 20 10 Exterior Walls

Includes: Exterior Wall Supplementary Components as appropriate. Includes Exterior Wall Opening Supplementary Components as appropriate. Includes: Solid wall construction that is composite in nature; in other words, multiple layers of materials to form an overall assembly.

Associated Masterformat Sections: 01 83 16

Note: This classification refers to walls modeled as single composite objects. If individual layers are to be modeled refer to:

B2010.10	21-02 20 10 10	Exterior Wall Veneer
B2010.20	21-02 20 10 20	Exterior Wall Construction
B2010.30	21-02 20 10 30	Exterior Wall Interior Skin

100	See B20	
200	Generic wall objects separated by type of material (e.g. brick wall vs. terracotta). Approximate overall wall thickness represented by a single assembly. Layouts and locations still flexible.	 61 B2010-LOD-200 Exterior Walls
300	Single model element with specific overall thickness that accounts for veneer, structure, insulation, air space, and interior skin specified for the wall system. (Refer to LOD350 and LOD400 for individually modeled elements) Penetrations are modeled to nominal dimensions for major wall openings such as windows, doors, and large mechanical elements.	 62 B2010-LOD-300 Exterior Walls
350	May be modeled as a single model element. Main structural members such as headers and jambs at openings are modeled. All penetrations are modeled at actual rough-opening dimensions.	 63 B2010-LOD-350 Exterior Walls

[Back to TOC](#)



Copyright © 2019 by BIMForum. All rights reserved.
This document is copyrighted under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](#).

65

8.2 Riktlinjer i TKA för BIM/CAD 2019

 Göteborgs Stad Lokalförvaltningen	Dokumentansvarig Jonas Bertheden	Fastställare Marta Peterson	Fastställt 2019-03-04
--	-------------------------------------	--------------------------------	--------------------------

3.18 Utskrifter/Plottning/Samgranskning

Utskrifter och plottning ska ske i enlighet med projektets direktiv.

3.18.1 Samplottning/Samgranskning

Om inte annat avtalas ska BIM-samordnaren svara för samplottning. Övriga projektörer distribuerar erforderliga filer till BIM-samordnaren. Vid digital samgranskning och kollisionskontroll av sammansatt volym-modell ska dessa utföras enligt projektets direktiv. Rutiner för samplottning och samgranskning dokumenteras i Kvalitetsplan.

3.19 Mallar och anvisningar

Beställaren tillhandhåller mallar och anvisningar för projektering vilka ska användas. Mallfiler kan hämtas på Lokalförvaltningens websida, under TKA (Tekniska krav och anvisningar), rubrik CAD-BIM.

3.20 Leverans av handlingar

För omfattning, se "Redovisningskrav för konsultuppdrag, omfattnings- och redovisningsnivå".

Samtliga handlingar, inklusive arbetsmaterial, CAD-modeller mm, ska levereras för varje skede i projektet, eller vid anmodan från beställare.

3.20.1 Leverans av Förfrågningsunderlag

Förfrågningsunderlag ska levereras som PDF/A i A3-format i erforderliga skalor. Inget krav ställs på version av PDF/A.

3.20.2 Leverans av Relationshandlingar

Med relationshandlingar menas ritningar (ritningsdefinitionsfiler och modellfiler), BIM-modeller och skrivna handlingar som visar byggnadens aktuella status och som avses att fortlöpande hållas aktuella under förvaltningsskedet. Samtliga ändringar ska vara införda efter underlag från entreprenörer.

I samband med överlämnande av underlag från entreprenören, innan uppförande av relationshandlingar, ska BIM-samordnare sammankalla till ett möte med samtliga ansvariga parter inklusive beställarens informationssamordnare. Detta möte är en avstämning som ska underlätta arbetet och förebygga eventuella misstag samt för att ge en överblick från bygget. Det är sedan BIM-samordnarens roll att sammanställa det uppdaterade materialet från samtliga ansvariga parter enligt angiven mappstruktur innan överlämning.

De sammanställda relationshandlingarna ska levereras till beställaren innan angivet datum från beställaren, i samband med slutbesiktning.

Relationshandling av bygglov till grund för slutbesked till Stadsbyggnadskontoret ska kunna redovisas inom två veckor efter överlämnat underlag från entreprenören.