

Automatiseret datahåndtering ved beregning af bygningers transmissionstab

Bygningsinformatik
4. semester, kandidatspeciale



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Allan Jeffrisson Hansen & Alexander Risom



Titel:

"Automatiseret datahåndtering ved beregning af bygningers transmissionstab"

Projekt:

4. Semester kandidatspeciale, bygningsinformatik

Vejleder:

Kjeld Svidt

Projektperiode:

1. september 2021 til 7. januar 2022

Antal ord:

21.501

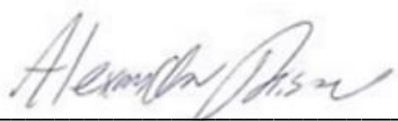
Sideantal:

100

Navne og signaturer:



Allan Jeffrisson Hansen



Alexander Risom

Resume

Denne rapport omhandler automatiseret datahåndtering i forbindelse med beregning af det dimensionerende transmissionstab på bygninger, som er et delkrav i den samlede energirammeberegning.

Rapportens formål er at danne basis for et kvalificeret løsningsforslag, der automatiserer opmålingsaktiviteter i forbindelse med transmissionstabsberegning af bygninger. Hensigten er at begrænse manuelle og tidskrævende opmålinger ved at indføre et supplerende værktøj i designfasen, der kan adressere bygningers transmissionstab tidligt i byggeprocessen.

Studiet indeholder en problemanalyse, der fokuserer på opmålingsreglerne krævet af det danske bygningsreglement. Derudover er energiberegningsværktøjerne undersøgt, mere specifikt Be18 og dens underliggende datastruktur i XML. Studiets løsningsforslag består af et Dynamo-script, der udtrækker og overfører data fra BIM-modellen til energiberegningsprogrammer. Den nye arbejdsgang og efterfølgende test udgør basis for den afsluttende konklusion.

Abstract

This study examines heat loss calculation in the Danish building sector, with the purpose of automating workflows. Heat loss calculation includes measuring the buildings envelope and to manually input data to an energy calculations software. The work tasks in relation to the calculation can be time consuming and erroneous, wherefore the present study focuses on optimization potential.

The study embodies a problem analysis focusing on rules of measurements required by the Danish building regulations. Energy calculation software are furthermore examined, more specifically Be18 and its underlying data structure in XML. A proposed solution is presented, consisting of a Dynamo-script which extracts and transfers data from the BIM-model to the energy calculation software. The new workflow and following test act as a basis for the study's conclusion.

Forord

Denne rapport er udarbejdet i perioden fra september 2021 til januar 2022 som afsluttende kandidatspeciale på Aalborg Universitets uddannelse; Cand. Tech i bygningsinformatik.

Indholdet i projektet er baseret på opnået viden gennem uddannelsens 1. til 3. semester samt studiejobs.

Formålet med projektet er at undersøge processen i transmissionstabsberegning med henblik på at automatisere tilhørende arbejdsopgaver, samt at inddrage det energimæssige perspektiv tidligere i byggeprocessen.

Målgruppen er arkitekter, ingeniører og andre fagfolk indenfor byggebranchen, som til dagligt arbejder eller har berøringsflade med energiberegning af bygninger. Rapporten giver læseren metoder og teknikker til automatisk opmåling af bygningsgeometri på baggrund af BIM-modeller. Herigennem kan læseren finde inspiration til at strukturere og manipulere data samt skabe en bedre interoperabilitet mellem BIM-model og energiberegningsprogrammer.

Derudover skal der lyde en stor tak til respondenterne i spørgeskemaundersøgelsen, samt IdealCombi for at bidrage med projektmateriale.

Til sidst skal der lyde en tak til Kjeld Svidt for vejledning gennem semesteret.

Indholdsfortegnelse

1.	Indledning	9
2.	Metode	13
2.1	Litteraturstudie og dataindsamling	13
2.2	Spørgeskema	13
2.3	IDEF0	14
2.4	Software og teknologier	14
2.4.1	Dynamo	14
2.4.2	Python	15
3	Litteratursøgning	15
3.1	Building Energy performance	15
3.2	Interoperabilitet mellem BIM og energianalyseværktøjer	16
4.	Indledende analyse	17
4.1	Nuværende proces i beregning af transmissionstab	17
4.2	Energiberegningsprogrammer	20
4.2.1	Be18	20
4.2.2	Rockwool Energy Design	21
4.2.3	Energy10	22
4.2.4	Delkonklusion - Energiberegningsprogrammer	24
4.3	Spørgeskemaundersøgelse	25
4.3.1	Delkonklusion - Spørgeskemaundersøgelse	34
5.	Problemformulering	35
6.	Casebeskrivelse	36
7.	Hovedanalyse	38
7.1	Transmissionsarealer	38
7.1.1	Ydervægge, tage og gulve	40
7.1.2	Vinduer & yderdøre	44
7.1.3	Fundamenter & samlinger ved vinduer	45
7.2	BE18 og XML	47
7.2.1	XML-strukturen	47
7.2.2	Modificering og oprettelse af beXML-filer	49
7.2.3	Data eksport og real time feedback	51
8.	Problemløsning	55
8.1	Be18-hoveddata	55

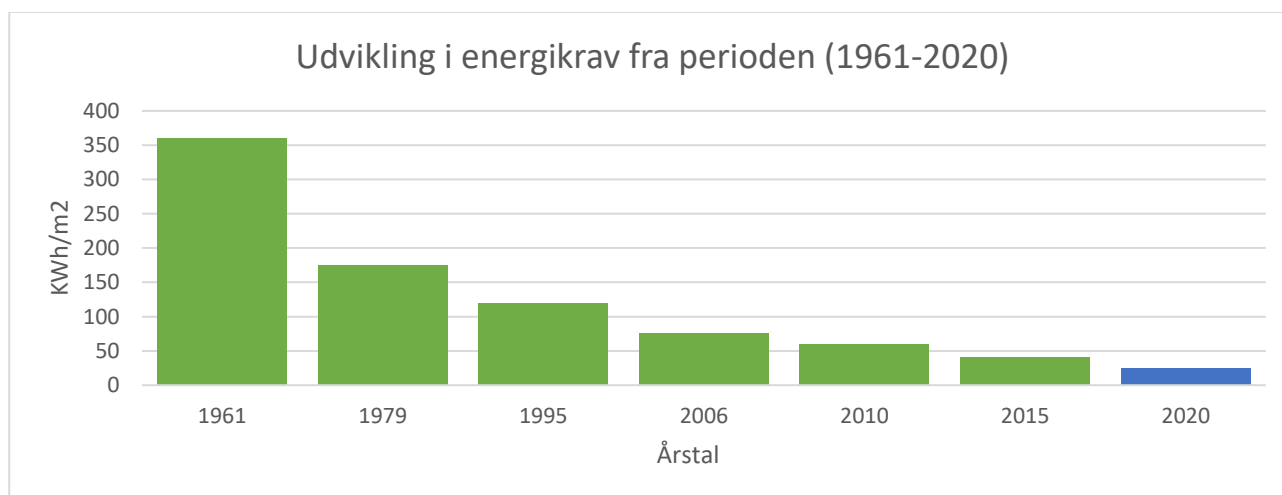
8.2	Ydervægge, tage og gulve.....	58
8.3	Fundamenter og samlinger ved vinduer	63
8.3.1	Kuldebroslængde ved vinduer og yderdøre	63
8.3.2	Kuldebroslængde ved ydervægsfundament	66
8.4	Vinduer og yderdøre.....	69
8.5	Datasæt fra producenter	75
8.6	XML skemastruktur og dataoverførsel til Be18	78
8.7	Håndtering af RID-numre	80
8.8	Brugeroverflade/Dynamo player.....	82
9.	Ny arbejdsproces	83
10.	Test og sammenligning.....	86
11.	Diskussion	88
12.	Konklusion	92
13.	Forudsætninger	94
14.	Bibliografi.....	99

Ordforklaring

BIM	Building Information Modelling eller Building Information model
Dimensionerende transmissionstab	Varmetabet gennem bygningens klimaskærm inkl. vinduer, yderdøre og ved kuldebroer. Regnes i W/m^2
Be18	Beregningsprogram udviklet af Statens Byggeforskningsinstitut, som bruges til at dokumentere, at energikravene i Bygningsreglementet bliver overholdt
Energy10 Rockwool Energy Design (RED)	Web-baseret beregningsprogram som bruges til at dokumentere, at energikravene i Bygningsreglementet bliver overholdt.
Dynamo	Visuelt programmeringssprog som er kompatibelt med Revit's API for at manipulere data
Python	Kodningssprog som er kompatibelt med Dynamo's visuelle kodningssprog
AECOO	Arkitekt, ingeniør, entreprenør, bygherre og operatørindustrien
XML	eXtensible Markup Language
SPF	Step Physical File
OOTB-node	"Out of the box" noder, er Dynamos indbyggede "standard" noder, som kan benyttes i kodningsmiljøet
API	Application Programming interface er en softwaregrænseflade, der tillader et software at interagere med et andet software

1. Indledning

Energiforbruget i bygninger udgør næsten 40% af det samlede energiforbrug i Danmark (Energistyrelsen, u.d.). Effektiviseringen af energiforbruget i bygninger spiller en afgørende rolle for, at man kan nå det politiske mål om at være uafhængig af fossile brændsler i 2050. Derfor er det vigtigt at evaluere bygningers energiforbrug, som er nøgleordet i energibesparelser, allerede inden bygningen er opført. Arkitekter og rådgivere mangler dog værktøjer til at adressere energiforbruget i den indledende byggeproces (Elbeltagi, et al., 2017). Det drejer sig bl.a. om bygningens klimaskærm, herunder ydervægge, vinduer, tag m.v. Bygningens energiforbrug vurderes at være et betydeligt parameter, da man skal undersøge forskellige designmuligheder, og hvilke miljømæssige effekter bygningen har (Aksamija, 2009). Derudover afspejler bygningers energibehov sig bl.a. i bygningsreglementet ved en kravstillelse til dokumentation heraf. De seneste 60 år er energikravet til nyopførte bygninger skærpet fra ca. 350 kWh/m² pr. år til ca. 30 kWh/m² pr. år, figur 1:

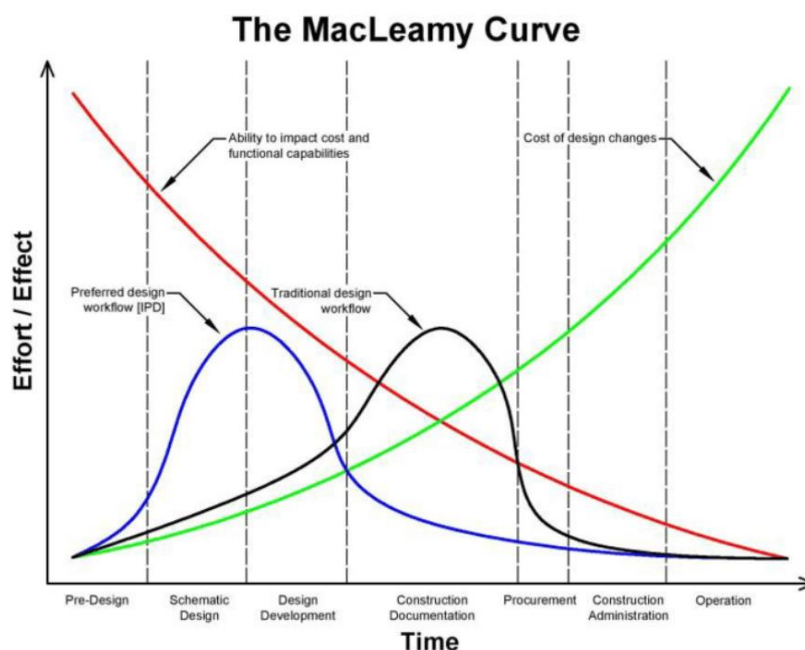


Figur 1 Udvikling i energikrav til bygningsdrift siden det første bygningsreglement med energikrav i 1961 frem til 2020 (Egen tilvirkning efter Energistyrelsen)

En bygnings energiberegning bliver brugt til at dokumentere, at en bygning overholder energirammen i bygningsreglementets energibestemmelser, og energiberegningen bliver i Danmark typisk udarbejdet i beregningsprogrammet Be18. For at fremtidssikre bygningerne er energirammen suppleret med et krav til maksimalt tilladt dimensionerende transmissionstab (varmetab) for bygningers klimaskærm, inklusive vinduer og døre (Aggerholm, 2018). Dette krav skal overholdes foruden den samlede energiramme. Transmissionstabsberegningen består bl.a. af en række input, som er baseret på opmålinger af bygningsgeometri og disses tekniske egenskaber.

Designprocessen har været under store forandringer det sidste årti, hvor man tidligere opbevarede information og tegninger i fysisk form, og hvor arbejdsprocesserne var præget af manuelle processer, der fremtvang meget dobbeltarbejde (Dariuz & Barszcz, 2017). I nyere tid bliver BIM-baseret modellering praktiseret af de fleste og har det store potentiale til bl.a. at understøtte energioptimeret bygningsdesign samt muligheden for at automatisere processer i forbindelse med input til energiberegning. BIM defineres i *BIM Handbook* som en modelteknologi og et tilknyttet sæt processer til at producere, kommunikere og analysere modeller (Sacks & Eastman, 2018). Definitionen berører alle aspekter af en byggeproces, hvilket fortæller noget om, hvor avanceret og informationsrig en BIM-model kan være. En BIM-baseret designproces skaber gode grundlag for tværfagligt samarbejde samt tidlig inddragelse af byggeriets aktører. Den tidligere inddragelse og informationsdeling på tværs af fagene muliggør tidlige analyser og simuleringer af bygningen, hvilket anskueliggør optimeringspotentialer i processen, som i sidste ende er med til at skabe et solidt beslutningsgrundlag gennem hele processen.

MacLeamy kurven på Figur 2 illustrerer optimeringspotentialer i en BIM-baseret designproces, hvor beslutningsprocessen fremrykkes til tidligere, hvilket påvirker positivt i og med, at forandringer i projektet laves i designfasen, og ikke når byggeriet er startet.



Figur 2 MacLeamy kurven der viser den traditionelle designproces vs. en BIM baseret designproces. Kilde: (Dariuz & Barszcz, 2017)

En succesfuld BIM-designproces forudsætter, at der er et godt tværfagligt samarbejde og åben informationsdeling i hele processen. Indsamlet data og information bliver på den måde en af grundstenene i samarbejdet, hvilket ikke kan lade sig gøre, uden at der tillades interoperabilitet i arbejdsgangen mellem programmer og software. Interoperabilitet mellem CAD-programmer, der bruges til at tegne

bygningsgeometri og de forskellige værktøjer, der bruges til at beregne og evaluere energiforbrug, antages at være den største udfordring for arkitekter og rådgivere, når det kommer til at vurdere energiforbrug (Elbeltagi, et al., 2017).

Interoperabilitet forstås som muligheden for kommunikation, udveksling og brug af data mellem to (eller flere) software-applikationer (Bracht & Melo, 2021). Bracht og Melo (2021) fastlægger, at der ikke findes fuld interoperabilitet mellem BIM og energiberegning- og simuleringsværktøjer endnu. De påpeger, at selvom der findes beregningsværktøjer til at evaluere energiforbrug, er arbejdsprocessen ikke fuldt integreret i den digitale designproces. Der foregår stadigvæk arbejdsprocesser med manuel dataindtastning, som øger tidsforbruget på energiberegning og risikoen for fejl i resultaterne (Bracht & Melo, 2021). Choi et al. (2019) understreger, at arbejdsgangene med energiberegning endnu ikke er integreret i BIM, hvilket resulterer i gentagende arbejdsgange. Choi et al. (2019) har i den forbindelse udviklet et automatiseringsmodul, som trækker data om bygningsgeometri ud af BIM-modellen. Deres automatiseringsmodul blev testet på tre forskellige modeller, hvor testresultaterne blev sammenlignet med en manuel opmåling. Resultatet viste, at den automatiske beregning var mere ensartet og ikke lige så fejlbehæftet som den manuelle proces.

Energiberegninger i Danmark bliver typisk udarbejdet i beregningsprogrammer som Be18, Energy10 og Rockwool Energy Design (RED), som alle er baseret på SBI's beregningskerne. I selve beregningen skal bygningsdata som arealer, U-værdier, længder, orientering osv. indtastes manuelt i beregningsskemaerne, når bygningens transmissionstab skal beregnes (Dansk Standard, 2020). Populær software som Revit og Be18 er begrænset i at kommunikere og arbejde sammen pga. interoperabilitet, hvilket nødvendiggør en manuel arbejdsgang for at få dataene overført herimellem. Dertil kommer opmålingsarbejdet i forbindelse med at få dokumenteret en bygning, som typisk foregår manuelt ved at måle direkte i BIM-modellen eller på udprintede tegninger. Derudover skal en bygnings transmissionsarealer beregnes i henhold til DS418, hvilket kan besværliggøre beregningen pga. variationer i projekter samt forskellige beregningsregler. En anden udfordring knytter sig til det tidsmæssige perspektiv i, hvornår energiberegningen foretages. Jf. BR18 er det kun et krav, at der foreligger en energiberegning inden færdigmelding eller ibrugtagning af bygning, hvilket betyder, at beregningen kan udskydes eller først blive udarbejdet sent i processen (Bygningsreglementet, 2018). Med skærpede krav til maksimalt tilladte dimensionerende transmissionstab kan det blive en udfordring, hvis beregningen først foreligger sent i processen, da resultatet heri kan nødvendiggøre en ændring i bygningens design/udformning. Samtidig er rådgivere og designere ofte ikke bevidste om energiforbruget, herunder transmissionstab, når de modellerer, hvilket giver anledning til at undersøge mulighederne for at integrere energikravet tidligere i processen. Ideelt vil man kunne

automatisere processen i opmåling og indtastningsarbejdet i beregningsprogrammet således, at rådgivere og designere kan få en hurtig feedback på bygningers transmissionstab. På den måde kan man også bruge det som et supplerende designværktøj, der fortæller om det valgte design overholder kravene til transmissionstab tidligt i processen, hvilket vil begrænse risikoen for ændringer sent i processen.

Ovenstående indleder til en problemstilling i forhold til, at nuværende arbejdsproces i forbindelse med energiberegning opleves som en ressourcetung arbejdsgang præget af manuel data håndtering og dobbeltarbejde. I rapporten bliver der undersøgt, hvordan nuværende datahåndtering i forbindelse med transmissionsberegning kan automatiseres, på trods af udfordringerne med interoperabilitet mellem BIM og energiberegningsprogrammer og de danske (DS418) beregningsbestemmelser.

2. Metode

I dette afsnit introduceres de metoder, der er inddraget og benyttet gennem rapporten. Metoderne ligger til grund for rapportens opbygning og dens tilgang til problemstillingen.

2.1 Litteraturstudie og dataindsamling

Litteraturstudiet har til formål at tilvejebringe eksisterende viden fra den videnskabelige litteratur.

Derigennem er der fundet artikler, undersøgelser, bøger og studier, som er relevante for rapportens emne, og som danner ramme for rapportens videre undersøgelse. Hensigten er at få belyst den nuværende situation med energiberegning og at få identificeret mulige forbedringsområder.

Dataindsamlingen er foretaget med inspiration fra principperne i Snowballing. Dette indebærer en fastlæggelse af relevante nøgleord, som samtidig bliver søgeord i en systematisk dataindsamling med det formål at skabe overblik og indsigt i emnet (Wohlin, 2014). Herigennem er kilder blevet tilvalgt og frasorteret på baggrund af relevans. De tilvalgte kilder ligger til grund for rapportens undersøgelsesfelt. Søgningen er foretaget i udvalgte søgedatabaser, som er beskrevet yderligere i afsnit 3 Litteratursøgning. Hjemmesider, DS-standarder, SBI-anvisninger og spørgeskemaundersøgelsen understøtter kilderne fra Snowballing.

2.2 Spørgeskema

Spørgeskemaundersøgelsens formål er at tilvejebringe grundlæggende viden, som kan være med til at kortlægge byggebranchens rådgiveres arbejdsmønstre i forbindelse med udarbejdelse af en energiberegning. Herunder undersøge de nuværende arbejdsforhold og de ressourcer man bruger på opgaven, samt bringe brugerens perspektiv i spil.

Hensigten er at undersøge de udfordringer processen har, samt undersøge potentialet for en mere effektiv proces ved hjælp af teknologi og automatiserede processer.

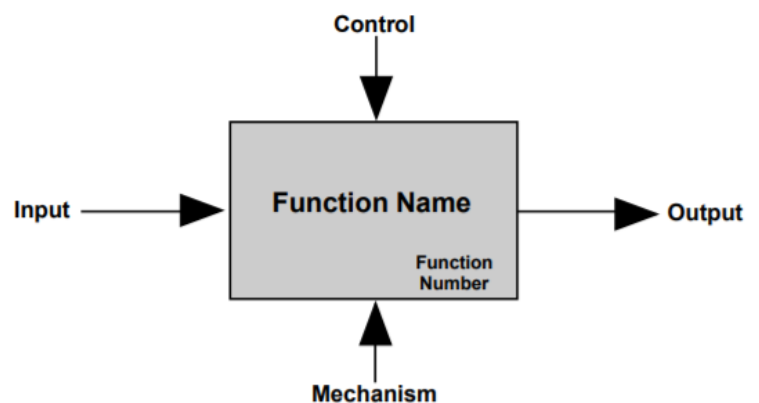
Spørgeskema er valgt som metode da den, modsat interviews, er en metode, hvor man bl.a. hurtigt kan indsamle data, hurtigt kan nå ud til flere respondenter, og resultaterne er nemme at administrere. Efterbehandling af spørgeskemaerne er også nemme at håndtere, da der ingen intervieweffekt er, som kan risikere, at respondenterne bliver påvirket i sit svar. På baggrund af dette holdes dataindsamlingen neutral for at skabe en pålidelig og valid undersøgelse (Andersen, 2013).

Spørgeskemaets rammer tager udgangspunkt i Ventures' metode, hvor en spørgeramme danner grundlaget for undersøgelsen, hvilket er med til at sikre, at spørgeskemaet har et velovervejet formål og målepunkter, der understøtter dette (Fjeldsted, 2008).

2.3 IDEF0

Integration Definition for Function Modeling (IDEF0) er en metode, der kan bruges til at udvikle, analysere, integrere eller ombygge bl.a. informationssystemer og forretningsprocesser. IDEF0 præsenterer processer på en grafisk måde ved hjælp af diagrammer indeholdende grundige og præcise beskrivelser, der sikrer funktionel sammenhæng i processen. IDEF0 modellen er opbygget af en række hierarkiske diagrammer, der referer til hinanden via funktioner og tilhørende data og objekter, der forbinder funktionerne (Lightsay, 2001). Figur 3 illustrerer opbygningen i en IDEF0 hvor:

- **Input** repræsenterer data som aktiviteten bearbejder.
- **Output** repræsenterer det output funktionen efterlader som resultat af de andre elementer.
- **Control** repræsenterer forhold og betingelser der styrer funktionen.
- **Mechanism** repræsenterer de understøttende midler der skal til for at udføre funktionen.



Figur 3 IDEF0 opbygning (Lightsay, 2001))

Metoden anvendes i den nye arbejdsproces til at give et detaljeret overblik over processens funktioner og sammenhænge, der skal gøre integrationen af en udviklet eller ombygget arbejdsproces nemt overførlig og brugbar for brugeren.

2.4 Software og teknologier

I dette afsnit præsenteres de specifikke værktøjer, som anvendes til udvikling af løsningsforslaget i denne rapport.

2.4.1 Dynamo

Dynamo er et open source-programmeringsværktøj, der muliggør en tilpasning i workflowet ved hjælp af model data. Dynamo er et såkaldt *visual programming language*, som fungerer som en udvidelse af Revit's software. Med dynamo kan man aflæse data og skrive det tilbage til Revit-databasen via Revit's API og derved interagere med den parametriske geometri i modellen. På den måde kan dynamo manipulere med Revit's database på måder, som Revit's UI (user interface) ikke kan (Autodesk, 2020) (Sgambelluri, 2014). Dynamo er derfor i praksis et værktøj, der egner sig specielt godt til at automatisere processer, der førhen har været præget af en manuel arbejdsproces ved at bearbejde data ved hjælp af det visuelle programmeringssprog.

2.4.2 Python

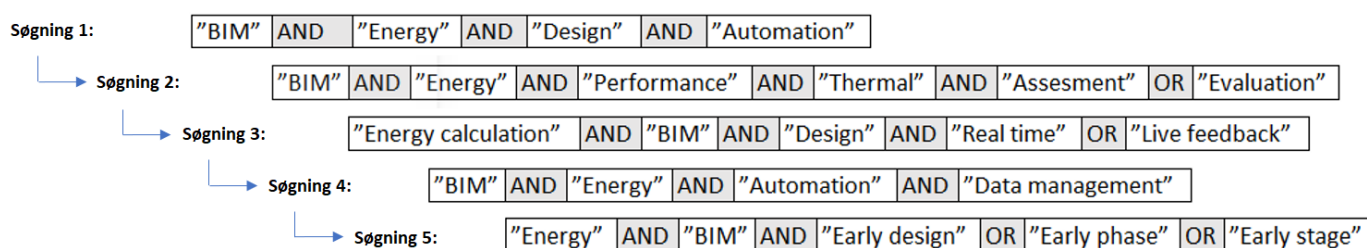
Python er et programmeringssprog, som ofte bruges til udvikling af software, dataanalyse, opgaveautomatisering m.v. Det er et alsidigt programmeringssprog, der ikke er specialiseret til nogle specifikke problemer, men derimod et værktøj, der er multifunktionelt og kan bruges til at løse mange forskellige opgaver. Python er et meget udbredt programmeringssprog. Det skyldes bl.a. dets simple syntaks, der gør det nemt at læse og forstå, dets alsidighed i forhold til opgaveløsning, dets brugervenlighed, og at det er open source (Coursera, 2021) (Python, 2021).

3 Litteratursøgning

I nærværende afsnit præsenteres litteraturindsamlingen i form af konkrete søgeord og derigennem fundne resultater. Herefter følger et overblik over, hvordan litteraturen fordeler sig over relevante emner og fokusområder inden for energiberegning.

Litteraturen blev udarbejdet ved at benytte søgedatabaserne Scopus, WebOfKnowledge og AAU's bibliotek.

I hver af disse databaser blev der søgt på følgende nøgleord vist i Figur 4;



Figur 4 Overblik over søgeord i litteraturstudie/dataindsamling

Søgningerne gav i alt 1034 resultater, som indeholder studier, bøger, undersøgelser og artikler inden for de søgte områder. Da søgningerne indeholder flere af samme nøgleord, forekommer der dubletter i resultaterne, som er blevet frasorteret. Herefter er resultaterne blevet filtreret på baggrund af titel og abstract. 56 kilder blev tilføjet til litteraturstudiet, hvor 12 af dem er inddraget i denne rapport. Blandt disse kilder er der efterfølgende defineret nogle overordnede emner og fokusområder:

3.1 Building Energy performance

Problemet med beregning af bygningers transmissionstab er behandlet i flere undersøgelser. Egwuntatum, et al., (2016) har undersøgt bygningers energiforbrug i relation til BIM og inddeler bygningsevaluering i fem dele; bygningens klimaskærm, aircondition og ventilation, brugsvand og vandvarmere, udstyr og pumper og belysning. Her bliver bygningens klimaskærm vurderet til at være den mest indflydelsesrige faktor i energiforbruget. Egwuntatum, et al., (2016) nævner, at hvis man kan tage højde for bygningens

klimaskærm og transmissionstab i de tidlige designfaser, kan man opnå et mere energivenligt design, som reducerer miljøbelastningen.

US GSA (2010) påpeger i deres studie, at manglen på kontinuerlig analyse af bygningers energiforbrug, herunder transmissionstab, fører til en ineffektiv proces, hvor man retroaktivt ændrer et bygningsdesign for at imødekomme energimæssige krav. Flere forskere er bevidste om denne problemstilling og har udviklet bygningsenergisimuleringsværktøjer til de tidlige designfaser. Negendahl og Nielsen (2015) evaluerer energiforbrug på et makroniveau ved at benytte en "Quasi Steady state" metode til bygningers design. Mengana og Mousiadis (2012) har arbejdet med det visuelle programmeringsværktøj Dynamo sammen med Revit og Green Building Studio (GBS) for at vurdere forskellige designløsninger i de tidlige designfaser. Både (US GSA, 2010) og (Egwuntatum, et al., 2016) understreger, at ved at bruge Building Information Modeling (BIM) i energianalyser kan man forbedre bygningers energiforbrug betydeligt. (Gao, et al., 2019) påpeger i deres studiet at energiforbruget kan reduceres med 30-40%, hvis bygningens form og orientering er designet optimalt.

3.2 Interoperabilitet mellem BIM og energianalyseværktøjer

De to mest velkendte skemaer til interoperabilitet mellem BIM og energianalyse er Industry Foundation Classes (IFC) og Green Building Studio (gbXML) (Bracht & Melo, 2021) og (Reisinger & Kovacic, 2019). IFC er en international standard fra organisationen BuildingSMART, som fokuserer på AECOO-industrien (Arkitekter, ingeniører, entreprenører, bygherre og driftsaktører). IFC tillader dataudveksling via bl.a. XML-filformater og STEP Physical File (SPF) (BuildingSMART, 2021). IFCXML er ikke direkte rettet mod energianalyser, da filen indeholder samtlige data for BIM-modellen. Dog har Kim & Yun (2013) udarbejdet en IFCXML-baseret automatisk dataoverførsel for energianalyse. Da en IFCXML fil indeholder en stor mængde unødvendige data for energianalyser, kan der oprettes et "parsing-system", som udtrækker de nødvendige data for energianalyse (Kim & Yu, 2013). GbXML er et fleksibelt cloudbaseret værktøj, der tillader at lave energisimuleringer for derigennem at optimere bæredygtighed i de tidligere designfaser (Autodesk, u.d.). GbXML-skemaet accepterer kun rektangulære bygningsformer og simpel geometri, hvilket fungerer til de fleste bygningstypologier (Bracht & Melo, 2021). Gao et al. (2019) konkluderer, at gbXML er det nuværende bedste værktøj til at tillade dataoverførsel fra BIM til energisimuleringsværktøjer.

På trods af de nuværende værktøjer der kan benyttes til interoperabilitet i energianalyser, er der stadigvæk udfordringer med selve BIM-modellen, når dataene skal overføres. Porsani, et al (2021) understreger i deres studie, at interoperabilitet mellem BIM-modellen og energianalyse ikke fungerer for alle typer bygninger. Jo større og mere komplekse bygningerne er, jo mindre pålidelig er dataoverførslen, og jo større er chancen for fejl (Porsani, et al., 2021).

4. Indledende analyse

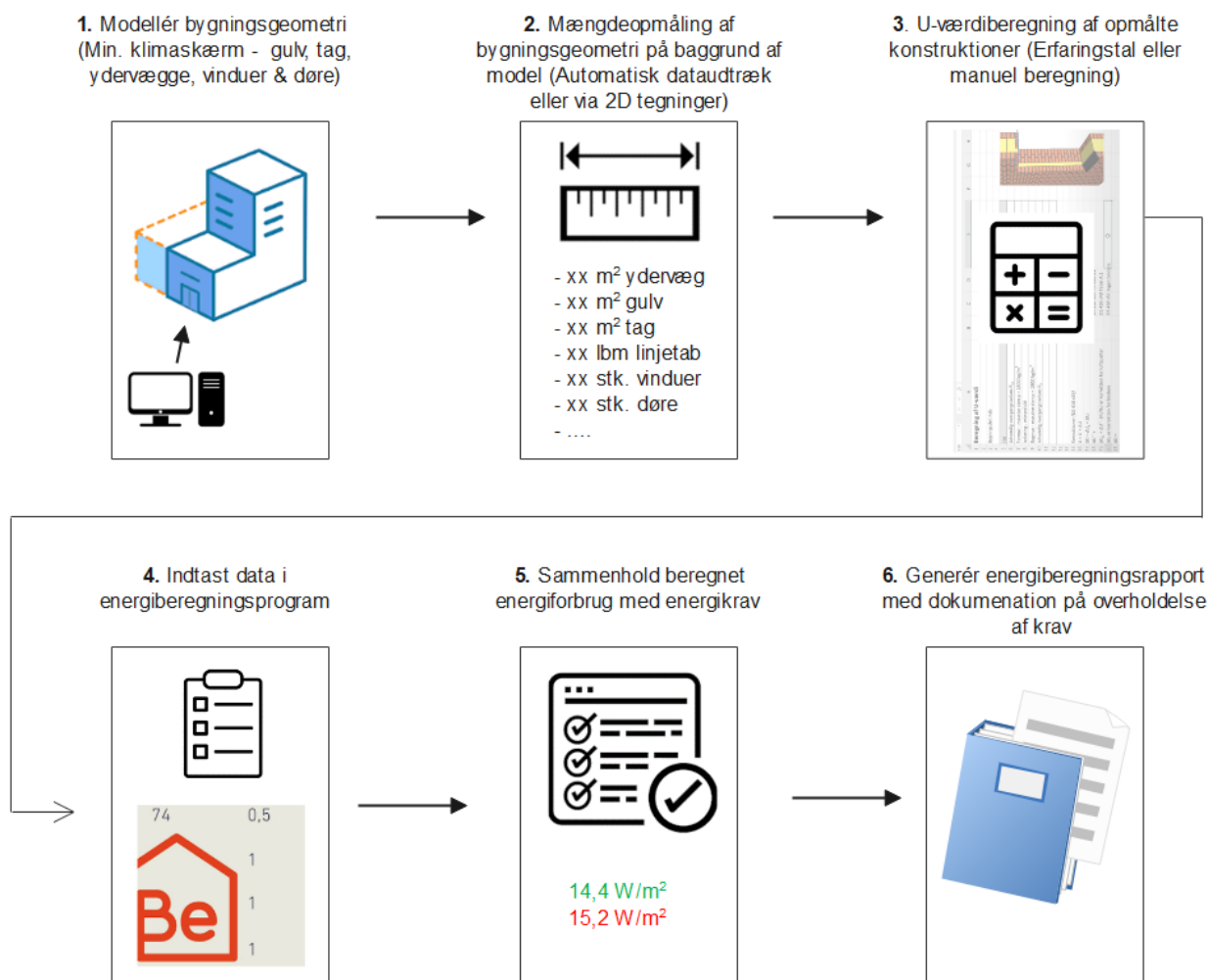
Nærværende afsnit indeholder en analyse af nogle af de overordnede problematikker, som præsenteres i rapportens indledning. De fire emner, der gennemgås, tager afsæt i de gældende bestemmelser i forbindelse med transmissionstabsberegning, nuværende arbejdsprocesser, energiberegningsprogrammer og en spørgeskemaundersøgelse. De gældende bestemmelser er vigtige at kortlægge, da disse er forudsætningen for, at transmissionsberegningen udføres korrekt og kan godkendes som dokumentation. Den nuværende arbejdsproces er vigtig at forstå for at opnå viden om, hvor udfordringerne samt optimeringspotentiale ligger. Analysen af energiberegningsprogrammerne giver indblik i de muligheder samt de begrænsninger programmerne har, mens spørgeskemaet kaster lys på branchens behov for en bedre proces og på de udfordringer, den nuværende arbejdsproces har som følge.

Formålet med den indledende analyse er at indsnævre den generelle problematik og komme tættere på et konkret problem, som undersøgelsen kan tage afsæt i. Den indledende analyse afsluttes med en delkonklusion, som danner grundlag for rapportens endelige problemformulering.

4.1 Nuværende proces i beregning af transmissionstab

Når en bygnings transmissionstab skal beregnes, beskriver BR18 en række forhold, som skal iagttages. Disse forhold er forudsætningen for, at beregningen kan gennemføres som beskrevet i SBI-anvisning 213 (Bygningers energibehov - beregningsvejledning). Blandt disse forudsætninger kan bl.a. nævnes, at DS418 skal bruges til beregning af bygningers varmetab og er obligatorisk for at sikre, at beregningen gennemføres på en ensartet måde. Det bliver også påpeget, at kuldebroer udgør en væsentlig andel af det samlede transmissionstab, og derfor er vigtige at medtage i beregningen. Til sidst nævnes der, at det opvarmede etageareal benyttes som grundlag for beregning af transmissionstab. Beregningen baseres alene på rum, som indgår i bygningens opvarmede etageareal. Derfor kan en forkert angivelse af etagearealet få stor betydning for transmissionstabet, og beregningen heraf bør derfor ikke alene baseres på en automatisering.

Figur 5 illustrerer processen i transmissionstabsberegning med udgangspunkt i værktøjerne:



Figur 5 Nuværende arbejdsproces i beregning af transmissionstab

I Figur 5, trin 1 modelleres bygningen i tegneprogrammet. Med transmissionstab i mente behøver bygningen kun at indeholde klimaskærmen og bygningens opvarmede rum. trin 2 er selve mængdeopmålingen af bygningsgeometrien, hvor de relevante transmissionsarealer- og længder skal opmåles. Dette kan foregå manuelt ud fra 2D-tegninger eller via et automatisk udtræk. Der er stort potentiale i at udnytte den data, som allerede eksisterer i modellen, da det vil kunne effektivisere arbejdsprocessen markant set fra et tid- og ressourcemæssigt perspektiv. Eksempelvis kan dynamo indsamle modellens vinduer og yderdøre, beregne arealer og længder af kuldebroer og manipulere denne data til det input, som energiberegningsprogrammet kræver. Trin 3 omhandler beregningen af bygningsdelenes U-værdier, som ganges sammen med transmissionsarealerne, for at finde varmetabet. Trin 4 omhandler selve indtastningen af data i beregningsprogrammet. Indtastningen foregår manuelt medmindre man overfører data automatisk til programmet eller har en række datainput, som kopieres og indsættes direkte. Det der gør dataindtastningen besværlig, er mængden og variationen i dataene, der gør, at man eksempelvis ikke kan samle alle vinduer i én pulje. Disse skal sorteres og tastet ind enkeltvis,

medmindre to eller flere vinduer indeholder præcis de samme egenskaber, som bl.a. orientering, areal, u-værdi mv. Det er således et stort datahåndteringsarbejde i punkt 4, som undersøges nærmere i rapporten. I trin 5 fremgår resultaterne af energiberegningen, herunder transmissionstabsrammen. Selve beregningen sørger beregningskernen for, så længe indtastningen er fuldendt. Jo tidligere og hurtigere man kan nå frem til et samlet transmissionstab, jo bedre. Det vil give et større beslutningsgrundlag i designfasen, at man har det energimæssige perspektiv med i overvejelserne. Er transmissionstabsrammen eksempelvis overskredet, skal man eksempelvis forbedre u-værdier på bygningsdele, fjerne glasarealer eller lignende fra bygningen, hvilket kan få konsekvenser for bygherre. Det er ikke muligt at overholde transmissionstabet alene ved at tilføje vedvarende energi, hvilket gør det fordelagtigt at kunne adressere transmissionstabet tidligere og hurtigere. I trin 6 bliver den færdige energiberegningsrapport eksporteret som dokumentation for overholdelse af energibestemmelserne i BR18.

4.2 Energiberegningsprogrammer

I nærværende afsnit analyseres tre af de energiberegningsprogrammer, man typisk bruger i Danmark, Be18, Energy10 og Rockwool Energy Design (RED). Formålet med analysen er at undersøge programmernes funktioner og deres interoperabilitet med BIM, i håb om at finde en kompatibel løsning for dataudtræk og automatisk datahåndtering. Analysen vil primært være fokuseret på programmernes import/eksport muligheder, filhåndtering i form af, hvordan filerne lagres, og til sidst hvordan programmerne håndterer opdateringer i forhold til ændringer i projektet.

Programmerne, der indgår i undersøgelsen, følger alle SBI's beregningskerne, samt Dansk Standard's normer og regler. Den fælles beregningskerne medvirker til, at der sikres overensstemmelse i, hvordan en energiberegning beregnes i Danmark. Programmerne er delt op i to dele: en brugergrænseflade og en beregningskerne. Brugergrænsefladen er åben og kan ændres efter behov, hvorimod beregningskernen er fastholdt i alle tre programmer (Build - Institut for Byggeri, By og Miljø, 2021).

4.2.1 Be18

Be18 er et beregningsprogram, der bliver brugt til at beregne en bygnings energiforbrug og behov samt fungerer som dokumentation for, at en bygning efterkommer bygningsreglementets (BR18) energibestemmelser. Programmet er en del af SBI-anvisning 213, som er en anvisning, der beskriver metodegrundlaget for beregningen jf. Bygningsreglementets energibestemmelser. Anvisningen har som mål, at man i Danmark skal opnå en reducere af bygningers energiforbrug (Aggerholm, 2018).

Selve beregningen foregår ved at indsamle relevant data fra bygningsmodellen, for derefter at indsætte det i Be18, hvilket traditionelt gøres ved manuel registrering af data og opmåling af de geometriske forhold i modellen. Når al data er indtastet og beregnet, kan man eksportere til en rapport, se Figur 6, med det endelige resultat i både HTML-, XML-format, hvilket fungerer som dokumentation på bygningens energiforbrug. Be18 har ikke mulighed for at importere filer eller f.eks. data direkte fra f.eks. Revit, men er i stand til at redigere og læse beXML-filer, hvilket bliver nærmere behandlet i afsnit 7.2 rapporten.

Programmet har derfor ikke mulighed for automatisk opdatering af data. Når beregningen skal gemmes, foregår det lokalt på computeren, hvilket gør det nemt at redigere og tilføje data i filen manuelt, uden at det påvirker andre, og derudover er det ikke nødvendigt at have internetforbindelse. Derimod er det ikke muligt, at flere arbejder i samme fil, hvilket forhindrer fordelene ved tværfagligt samarbejde.

SBI	Beregningskerne 10.19.7.22												
Be18 resultater: Automatisk BE18-beregning ny													
Energibehov													
MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Varme	1,86	1,35	1,26	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	1,35	1,95	8,09
El 2018	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
El lavenergi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Overtemperatur i rum	0,00	0,01	0,95	1,87	2,56	2,67	3,23	2,93	2,12	0,92	0,00	0,00	17,27
Samlet energibehov													
MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Eksisterende bygning	1,86	1,37	2,21	1,95	2,56	2,67	3,23	2,93	2,12	1,16	1,35	1,95	25,36
kWh/m²	37,2	27,3	44,2	39,1	51,3	53,4	64,7	58,7	42,3	23,2	26,9	39,0	507,3
BR 2018	1,86	1,37	2,21	1,95	2,56	2,67	3,23	2,93	2,12	1,16	1,35	1,95	25,36
kWh/m²	37,2	27,3	44,2	39,1	51,3	53,4	64,7	58,7	42,3	23,2	26,9	39,0	507,3
Lavenergi	1,86	1,37	2,21	1,95	2,56	2,67	3,23	2,93	2,12	1,16	1,35	1,95	25,36
kWh/m²	37,2	27,3	44,2	39,1	51,3	53,4	64,7	58,7	42,3	23,2	26,9	39,0	507,3
Varmebehov. Ekstern forsyning til bygning													
MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Kedel/fjernvarme	1,86	1,35	1,26	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	1,35	1,95	8,09

Figur 6 Eksempel på Be18 rapport

4.2.2 Rockwool Energy Design

Rockwool Energy Design (RED) er et af de førnævnte programmer, der bruger SBI's beregningskerne, men deres egne brugergrænseflade. Det er også et værktøj til at beregne energibehovet for nybyggeri samt større ombygninger og bliver udført i overensstemmelse med Be18 og DS418:211 (Rockwool A/S, 2021). Det, der adskiller RED og Be18, er bl.a., at RED er webbaseret og derfor nemt kan deles med f.eks. samarbejdspartnere, således at flere kan arbejde på det samme projekt, hvilket understøtter den tværfaglige inddragelse og samarbejde. Derudover er det også et program, der egner sig godt som en u-værdi-beregner, der naturligt nok tager udgangspunkt i Rockwool's produkter.

For at beregne en bygnings energiramme har programmet ligesom Be18 brug for data, der er knyttet til bygningsmodellen. Den traditionelle måde at gøre det på, vil ligesom tidligere nævnt være manuel opmåling og registrering, hvilket programmet er godt egnet til. Her vil man derimod i en BIM-baseret proces udnytte den data, bygningsmodellen indeholder og automatisk trække informationerne ind i RED. I tidligere versioner af RED blev der reklameret med to forskellige måder at overføre data til RED på, hvilket var via *BIM LINK*, som er et Revit-plugin, eller ved import af en beXML-fil. *BIM-Link* bliver ikke omtalt på deres hjemmeside længere, og ved nærmere undersøgelse ser det ud til, at de er stoppet med at udvikle det, da det, som Figur 7 viser, kun understøtter Revit version 2014-2018. Kort beskrevet er det et værktøj, der kan eksportere bygningsmodellens data, hvor bl.a. vægge, tag, døre, vinduer m.m indgår, samt deres navn og areal.

Tekniske data som u-værdi, b-værdi og g-værdi bliver ikke overført, da de skal indtastes manuelt i forbindelse med hver enkelt konstruktionsopbygning. Derudover skal de relevante konstruktionstyper sorteres fra, da *BIM-LINK* tager alle konstruktioner med fra bygningsmodellen, hvilket medfører



Figur 7 BIM-Link understøtter kun Revit version 2014-2018. (kilde: Rockwool Energy Design)

irrelevante bygningsdele som indvendige døre m.v. Så en del manuel indtastning er nødvendig, inden programmet er i stand til at beregne energirammen.

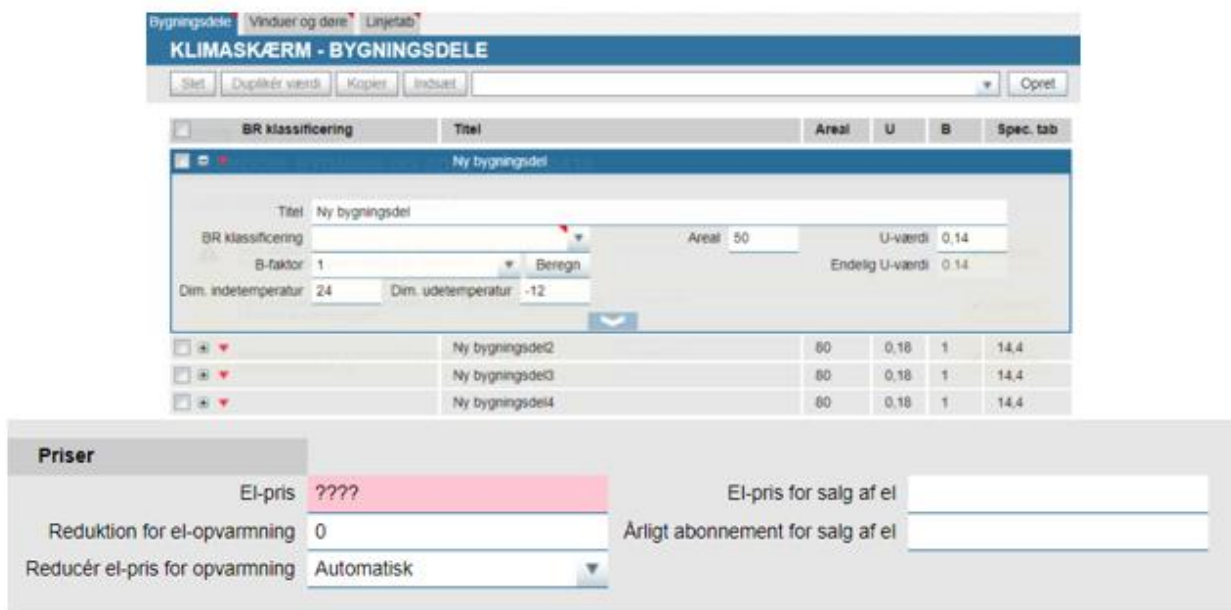
Den anden måde, hvorpå data kan overføres til og fra RED, er via import og eksport af XML-filer. Det betyder som tidligere nævnt, at RED har mulighed for at importere beXML-filer og redigere i dem, da programmet er baseret på samme beregningskerne som Be18.

Når Rockwool Energy Design har de data, den skal bruge for at beregne energirammen, så kan beregningen eksporteres til enten en XML-fil eller udskrives som en rapport i PDF. Når beregningen er oprettet, så ligger den på programmets eksterne server, hvilket muliggør, at flere brugere arbejder på den samtidig, hvilket både kan være en fordel og en ulempe. Fordelen er det tværfaglige arbejde, og at beregningen kan tilgås igennem nettet, mens ulempen bl.a. er, at man skal have internetforbindelse for at arbejde i filen. I forhold til projektændringer i forbindelse med både *BIM-LINK* har det ikke været muligt at undersøge, om man kan opdatere den eksisterende RED-beregning, da rapporten tager udgangspunkt i en nyere version i Revit. Det kan også konstateres, at det ikke er muligt at opdatere RED-beregningen i forbindelse med XML-import, da den eksisterende fil bliver overskrevet af den nye. Det vil sige, at man ved projektændringer er nødt til at lave ændringerne manuelt.

4.2.3 Energy10

Energy 10 er også baseret på samme beregningskerne og deres egen brugergrænseflade. Energy10 bruges til at registrere og beregne energirammer, samt energimærke og energioptimere bygninger (Energy10, 2021). Programmet er ligesom Rockwool Energy Design et webbaseret værktøj, hvilket betyder, at beregningerne - ligesom i RED - bliver gemt på en ekstern server, og at det er nødvendigt med en internetforbindelse. Programmet findes også som en applikation til Windows.

Der er to måder at overføre data ind i Energy10, enten via manuel indtastning, eller ved at importere en beXML-fil. Begge måder er præget af en del manuelt arbejde, da man efter import af en beXML-fil stadig er nødt til at indtaste en del manuelt, inden programmet er i stand til at beregne en nøjagtig energiramme. Figur 8 nedenfor viser et eksempel på brugerfladen i Energy10, hvor der i undersøgelsen er importeret en delvis udfyldt beXML-fil ind i programmet. Felterne markeret med rød farve i hjørnerne fortæller, at der er fejl i, eller at der mangler input. Det øverste billede i Figur 8 ses, at alle bygningsdelene mangler at blive BR-klassificeret, og det nederste viser, at prisen for el mangler at blive angivet. Det er begge to input, der ikke er nødvendige ifølge Be18 strukturen for at dokumentere sin energiramme, hvilket både arbejder imod fuldautomatisk udtræk af data samt unødvendigt manuelt arbejde.



The screenshot displays the 'KLIMASKÆRM - BYGNINGSDELE' window in the Energy10 software. The window has tabs for 'Bygningsdele', 'Vinduer og døre', and 'Ligetab'. The 'Bygningsdele' tab is active, showing a table with columns: 'BR klassificering', 'Titel', 'Areal', 'U', 'B', and 'Spec. tab'. Below the table, there is a form for 'Ny bygningsdel' with fields for 'Titel', 'BR klassificering', 'B-faktor', 'Dim. indetemperatur', 'Dim. udetemperatur', 'Areal', 'U-værdi', and 'Endelig U-værdi'. A 'Beregn' button is next to the 'B-faktor' field. Below the form, there is a table with three rows of data for 'Ny bygningsdel2', 'Ny bygningsdel3', and 'Ny bygningsdel4'. Below this, there is a 'Priser' section with fields for 'El-pris', 'Reduktion for el-opvarmning', 'Reducér el-pris for opvarmning', 'El-pris for salg af el', and 'Årligt abonnement for salg af el'.

BR klassificering	Titel	Areal	U	B	Spec. tab
	Ny bygningsdel	50	0,14		
	Ny bygningsdel2	60	0,18	1	14,4
	Ny bygningsdel3	60	0,18	1	14,4
	Ny bygningsdel4	60	0,18	1	14,4

Priser

El-pris:

Reduktion for el-opvarmning:

Reducér el-pris for opvarmning:

El-pris for salg af el:

Årligt abonnement for salg af el:

Figur 8 Fejlmeldinger i Energy10

Når al data er indtastet, er det muligt enten at eksportere filen til XML eller generere en rapport i PDF-format. I forhold til at håndtere ændringer i projektet, er det ikke muligt at opdatere dataene automatisk, da import af en XML vil overskrive den eksisterende fil. Manuel redigering og tilføjelse af data er dog muligt.

Ovenstående analyse af de tre energirammeberegningsprogrammer bliver i Tabel 1 nedenfor opsummeret, hvor de væsentligste funktioner bliver sammenlignet med hinanden. Analysen af programmerne er med til at belyse potentialet hvert enkelt program har for at automatisere datahåndtering i forbindelse med beregning af transmissionstab.

	Be18	Energy10	Rockwool Energy Design
Import	Kan åbne XML filer, men har ikke mulighed for at importere noget.	Kan importere beXML-filer	Kan importere via BIM-LINK plugin op til Revit version 2018 og via beXML-filer
Eksport	Kan eksportere rapporter i HTML- og XML-formater	Kan eksportere rapporter i PDF og via beXML.	Kan eksportere til PDF- og beXML-format
Filhåndtering	Filen gemmes lokalt på computer.	Filen gemmes på programmets eksterne servere	Filen gemmes på programmets eksterne servere.
Opdateringsfunktion	- Manuel redigering og tilføjelse af data er muligt. - Automatisk opdatering er ikke mulig.	- Automatisk opdatering er ikke mulig. - Manuel redigering og tilføjelse af data er mulig. - Ved import af beXML-filer, bliver eksisterende projekt overskrevet	- Ikke muligt at teste <i>BIM LINK's</i> opdateringsfunktion. - Ved import af beXML-filer, bliver eksisterende projekt overskrevet.

Tabel 1 Energiberegningsprogrammernes funktioner bliver opsummeret.

4.2.4 Delkonklusion - Energiberegningsprogrammer

Fra ovenstående analyse og tabel kan det udledes, at programmerne har såvel ligheder som forskelligheder. Kun RED har en funktion, der understøtter direkte link med bygningsmodellen, hvilket er efterspurgt og smart, men denne funktion er ikke hensigtsmæssig at arbejde videre med, da det på nuværende tidspunkt ikke udvikles længere. En fællesnævner for dem alle er, at alle tre programmer kan åbne og aflæse beXML-filer. For at en potentiel løsning skal kunne være en kompatibel løsning, der kan bruges i alle tre programmer, vil beXML derfor være det mest hensigtsmæssige udvekslingsformat at arbejde videre med. Der vil i den videre undersøgelse af emnet kun være fokus på ét af programmerne, hvilket er udvalgt på baggrund af besvarelserne i spørgeskemaundersøgelsen i afsnit 4.3.

4.3 Spørgeskemaundersøgelse

I forbindelse med den indledende analyse er der foretaget en spørgeskemaundersøgelse efter principperne i afsnit 2.2. Undersøgelsens resultater baner vejen for at kunne fokusere på de mest relevante problematikker, der pt. opleves i branchen. For at skabe overblik og forståelse er resultaterne visualiseret i diagrammer med tilhørende forklarende beskrivelse.

Spørgeskemaet er sendt ud til 35 udvalgte virksomheder, der passer til ovenstående kriterier, og derudover er det delt på sociale medier såsom Facebook og LinkedIn, hvor det henholdsvis er delt i byggerelaterede grupper og via personer med stort netværk i branchen. I alt 24 respondenter har besvaret spørgeskemaet, hvoraf 13 besvarelser kommer fra de udvalgte 35 virksomheder. 13 ud af 35 giver en svarprocent på 37,14%, hvilket ifølge Telefaction er en god og høj svarprocent (TELEFACTION, 2021). De resterende 11 respondenter stammer fra de sociale medier, hvilket derfor ikke er målbart, da man ikke kender antal modtagere.

Spørgeskemaets pålidelighed sikres ved, at spørgsmålene bliver sendt ud til virksomheder med forbindelse til byggebranchen i alle størrelser, både store og små. Dette til dels for at kunne identificere, om der er forskel på arbejdsprocesserne i forhold til virksomhedens størrelse, og til dels for at kunne identificere undersøgelsens endelige målgruppe. Spørgeskemaet er sendt ud til danske virksomheder i byggebranchen, som til dagligt opererer inden for faggrupperne; arkitekt, ingeniør eller konsulent. Resultaterne fra spørgeskemaet præsenteres i rækkefølge ud fra skemaets spørgsmål, således at der først opnås generel viden om brugeren og hans nuværende arbejdsforhold. I de efterfølgende spørgsmål undersøges det interne ressourceforbrug, samt udfordringer og erfaringer i forbindelse med den nuværende proces. Til sidst undersøges mulige forbedringsområder, set fra brugerens perspektiv.

Tabel 2 danner overblik over spørgsmålene i kronologisk rækkefølge. Målepunkterne repræsenterer de overordnede temaer i spørgeskemaet, beskrivelsen forklarer indholdet, og kriterierne definerer de nødvendige rammer for at opnå pålidelige resultater.

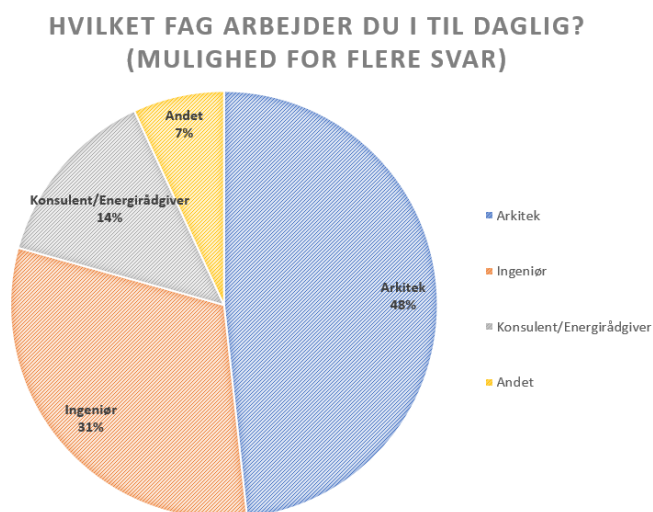
Målepunkt	Beskrivelse	Kriterier
1. Hvem er brugeren	Hvilken faggruppe har typisk ansvaret for at udarbejde energirammen.	Respondenten skal være bekendt med eller have sin daglige gang i byggebranchen. Man skal have kendskab til virksomhedens arbejdsproces og omkringliggende faktorer i forbindelse med udarbejdelse af en energiberegning.

2. Nuværende arbejdsforhold og arbejdsproces	Brugerens nuværende arbejdsforhold og proces ift. virksomhedens størrelse, hvornår opgaven udarbejdes, hvilke værktøjer brugeren bruger, og hvordan opgaven løses.	Grundlæggende kendskab til virksomhedens størrelse, forhold, proces og værktøjer.
3. Ressourceforbrug	Hvor mange personer er der knyttet til opgaven og hvor lang tid bruges der på opgaven	Indblik i det gennemsnitlige ressourceforbrug i forbindelse med arbejdsprocessen.
4. Udfordringer og erfaringer	Om der opleves generelle udfordringer i forbindelse med udarbejdelse af opgaven, og om den gældende lovgivning kan have negativ indflydelse på processen.	Erfaring med processen og kendskab til lovgivning.
5. Forslag til forbedring	Brugerens syn på arbejdsforhold og tilhørende proces og forslag til forbedring af proces.	Erfaring og kendskab til udfordringerne i forbindelse med processen.

Tabel 2 Ventures spørgeskemaprogram der danner grundlag for rapportens spørgeskema. Tabellen er med til at sikre at spørgeskemaet har et klart formål indeholdende de målepunkter undersøgelsen tager udgangspunkt i. (Fjeldsted, 2008)

Spørgsmål 1 går ud på at identificere hvilke faggrupper, der typisk står for at udarbejde en energiberegning.

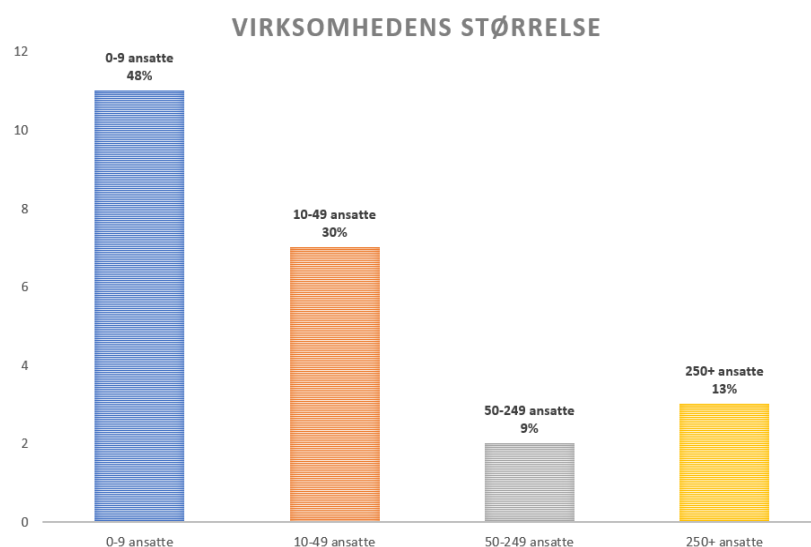
Resultatet i Figur 9 viser en fordeling, hvor 48% af respondenterne arbejder i en arkitektvirksomhed, 31% som ingeniør og 14% som konsulent/energirådgiver. Resultatet understøtter vores forventning om, at det oftest er arkitekterne, som udarbejder energirammen, da de igennem arkitektmodellen, som er den første man udarbejder, allerede har adgang til meget af den information, man har brug for - specielt i forhold til beregning af transmissionstab i bygningen.



Figur 9 Resultat - spørgsmål 1

Spørgsmål 2 går ud på at kortlægge

virksomhedernes størrelse for at kunne identificere, om der er sammenhæng mellem størrelsen på virksomheden og dennes arbejdsmønster, ressourceforbrug samt brug af værktøjer. Ved at kortlægge potentielle sammenhænge vil dette give et bedre grundlag at analysere ud fra og dermed give et bedre beslutningsgrundlag, hvilket medfører en højere sandsynlighed for en retvisende og valid konklusion.

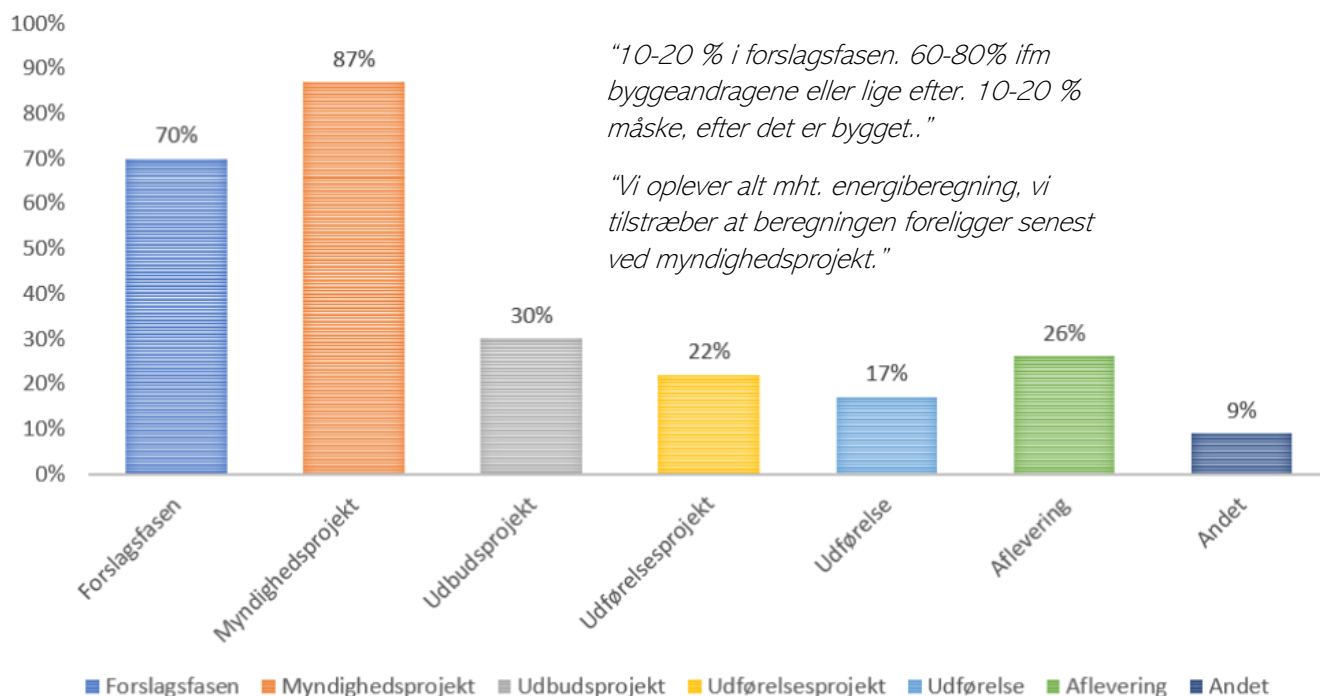


Figur 10 Resultat - spørgsmål 2

Resultatet i Figur 10 viser, at 48% af respondenterne dagligt arbejder i en såkaldt mikrovirksomhed, som spænder fra 0-9 ansatte. 30% har sin daglige gang i en lille virksomhed med 10-49 ansatte, og henholdsvis 9% og 13% arbejder i en mellem og stor virksomhed. Altså repræsenterer de fleste respondenter en mindre virksomhed, hvilke der også er flest af i Danmark. Fra resultatet kan det udledes, om der er potentielle sammenhænge mellem størrelsen på virksomheden, og bl.a. hvilke værktøjer der anvendes, og om deres arbejdsproces er præget af manuelt arbejde m.v.

Spørgsmål 3 er stillet for at undersøge branchens arbejdsmønster. Mange teorier underbygger fordelene ved at starte processer op i en så tidlig fase som muligt, specielt i.h.t. BIM og relevante aktører. Dette er med til at øge kvaliteten og mindske tiden og omkostningerne i forbindelse med et projekt. Det samme er gældende for udarbejdelse af energirammen. Ved tidlig udarbejdelse af energirammen undgår man risikoen for, at ens bygnings udformning skal ændres, efter at man er begyndt at bygge. Desværre er der jf. bygningsreglementet kun krav på, at der foreligger en dokumenteret energiramme, inden huset tages i brug. Altså kan der i princippet udarbejdes en energirammeberegning lige inden aflevering af hus, hvilket øger chancen for utilsigtede omkostninger i forbindelse med en energiramme, der ikke klarer kravene, efter at huset er opført. Resultatet af undersøgelsen viser heldigvis, at de fleste begynder på beregningen tidligt, men man kan også udlede, at flere af dem får den lavet i løbet af byggeprocessen, hvilket er bekymrende. Til højre i Figur 11 ses nogle af kommentarerne i forbindelse med besvarelsen "andet", hvilke også indikerer, at energirammen bliver beregnet sent i processen.

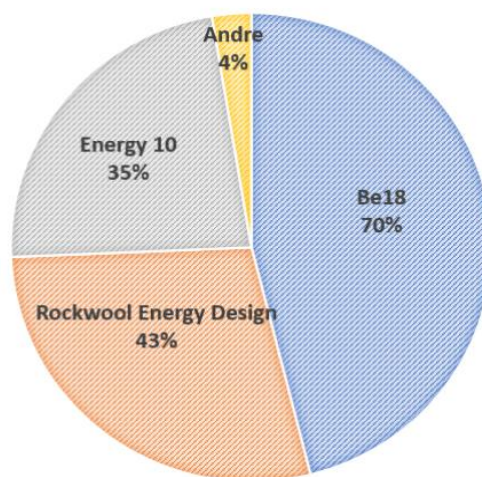
ENERGIBEREGNING. HVORNÅR I BYGGEPROCESSEN OPLEVER I, AT ENERGIBEREGNINGEN UDARBEJDES? (MULIGHED FOR FLERE SVAR)



Figur 11 Resultat - spørgsmål 3

I **spørgsmål 4** er de tre mest brugte værktøjer til energiberegning i Danmark præsenteret, med mulighed for at kommentere, hvis der blev brugt andre værktøjer at lave beregningen på, se Figur 12. Resultaterne viser, at 70% bruger Be18, hvilket er et relativt stort flertal. 43% bruger Rockwool Energy Design, mens 35% bruger Energy10. Spørgsmålet er relevant, da der - i den videre undersøgelse - vil blive analyseret på, hvordan man kan optimere den nuværende arbejdsproces. Derfor er det relevant at finde ud af, hvilket værktøj man bruger i branchen, og hvilket af dem der anvendes hyppigst. Resultatet vil derfor give grundlag for, hvilket værktøj den videre undersøgelse skal tage udgangspunkt i.

HVILKET PROGRAM(MER) BETNYTTES DER TIL ENERGIBEREGNING? (MULIGHED FOR FLERE SVAR)

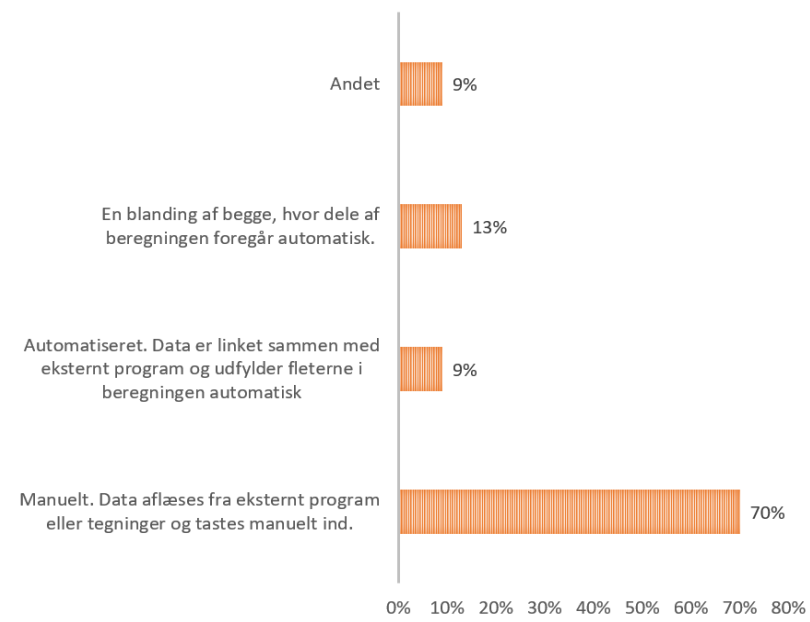


Figur 12 Resultat - spørgsmål 4

Spørgsmål 5 blev stillet for at kunne bekræfte eller afkræfte påstanden om, at arbejdsprocessen i forbindelse med udarbejdelsen af en energiberegning bliver håndteret manuelt. Processen bliver af mange anset som en upræcis, ineffektiv og ressourcetung opgave, hvilket giver gode forudsætninger for at undersøge problemet nærmere (Bracht & Melo, 2021).

Resultatet i Figur 13 taler for sig selv, hvor 70% svarer, at det er en manuelt håndteret proces, hvorimod 13% siger, at en del af den beregnes automatisk, mens 9% siger, at processen er automatiseret. Resultatet giver udtryk for, at en automatisering af processen er mulig, men ikke noget der er udbredt i branchen.

HVORDAN FOREGÅR BEREKNINGEN?

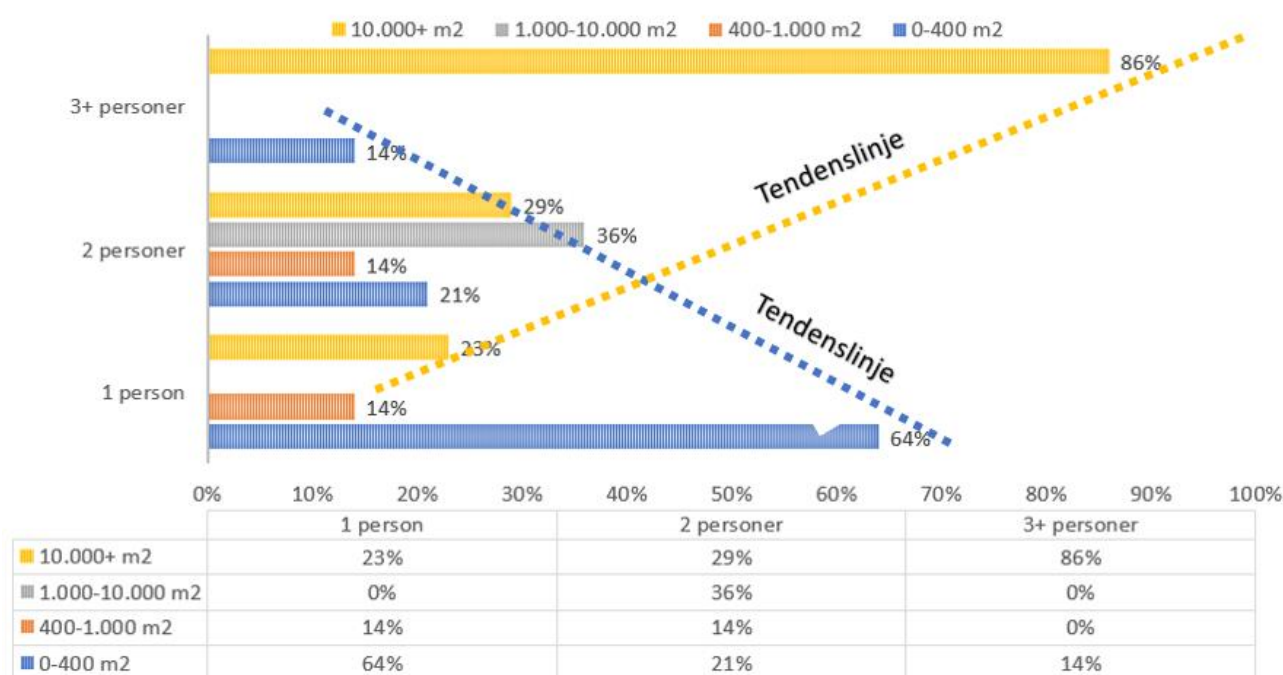


Figur 13 Resultat - spørgsmål 5

Begrundelserne kan være mange, men ofte ses det, at det specielt er de store virksomheder, der går forrest i digitalisering og automatisering af processer. Potentialet i en mere effektiv, nøjagtig og automatiseret proces i forbindelse med udarbejdelse af energirammen vurderes til at være højt, hvilket giver et godt grundlag for yderligere undersøgelse.

I **spørgsmål 6** er det set relevant at undersøge, hvor omfattende den nuværende arbejdsproces er i forhold til virksomhedens ressourceforbrug. Spørgsmålet giver respondenten mulighed for flere besvarelser for at se, om der er sammenhæng mellem størrelsen af projektet og hvor mange personer, der er involveret i beregningen.

HVOR MANGE PERSONER ER I GENNEMSNIT INVOLVERET I SELVE BEREKNINGEN? OG HVOR STORE PROJEKTER ER DET BASERET PÅ?

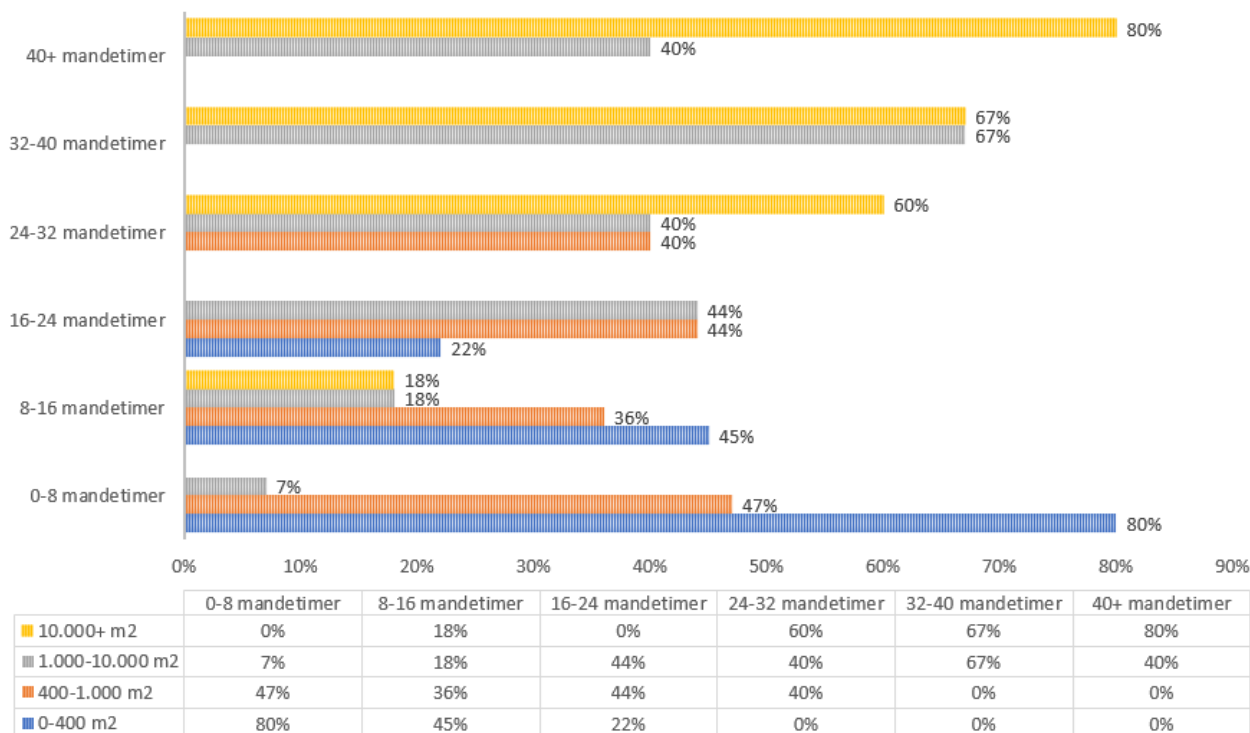


Figur 14 Resultat - spørgsmål 6

Fra resultaterne i Figur 14 kan det udledes, at der er sammenhæng mellem, hvor store projekter man arbejder med og antallet af personer, der er involverede i beregningen. Der ses en tydelig tendens for projekter fra 0-400 m2 og 10.000+ m2, hvor der - alt efter størrelsen på projektet - bliver flere involverede personer. Der kan også ses, at der ofte er 2 personer involveret, når der er tale om projekter i størrelsen 1.000-10.000 m2. Altså indikerer resultatet, at man i større projekter har brug for flere ressourcer, hvilket hænger naturligt sammen med, at opgaven bliver større, men ikke nødvendigvis mere kompleks. Der vurderes at være potentiale i en forbedring af processen, således at der nødvendigvis ikke er behov for flere involverede, jo større projektet er.

Spørgsmål 7 er inkluderet i forlængelse af ovenstående, hvor der ønskes et indblik i hvor mange timer, der lægges i udarbejdelse af en energiramme. Det ønskes undersøgt i forhold til den tid, man potentielt kan komme til at spare, hvis det formås at skabe en mere effektiv arbejdsproces.

HVOR MANGE MANDETIMER BRUGER I PÅ AT UDARBEJDE EN ENERGIBEREGNING BASERET PÅ PROJEKTSTØRRELSE?



Figur 15 Resultat - spørgsmål 7

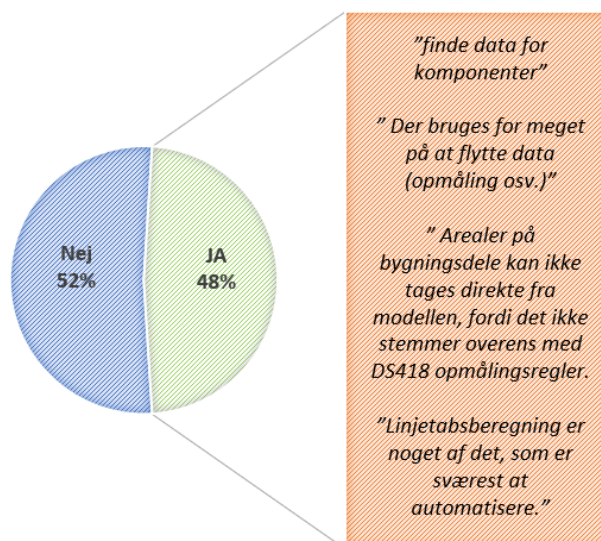
Resultatet i Figur 15 viser igen en naturlig udvikling alt efter størrelsen på projektet. De små projekter tager kortest tid, mens de store tager længst tid. Den orange farve, som præsenterer projekter fra 400-1.000 m2, indikerer derimod ikke en klar tendens, hvilket kan tyde på, at nogle bruger længere tid eller har svært ved at få registreret data.

Det er også iøjnefaldende, at der for nogle bruges over én uges arbejde på at beregne energirammen og interessant at undersøge, om dette kan gøres bedre og hurtigere på en anden måde, end man traditionelt ser.

Spørgsmål 8 ses relevant, da undersøgelsen bliver lavet på baggrund af brugerens oplevelse af den nuværende arbejdsproces. Inden undersøgelsen har man haft en formodning om, at der har været et generelt problem, men ved at spørge brugeren direkte, så øges sandsynligheden for et mere komplet løsningsforslag, der også tager hånd om de små detaljer.

Halvdelen af respondenterne oplever udfordringer med beregningen, hvilket er iøjnefaldende. I Figur 16 nedenfor er medtaget nogle citater, der fortæller lidt om de udfordringer, der opleves. Alle fire er relevante for den yderligere undersøgelse, da alle kan knyttes til beregningen af bygningens transmissionstab, som undersøgelsen tager udgangspunkt i. To af dem omhandler opmåling, hvor den ene nævner *"Der bruges for meget (tid og ressourcer) på at flytte data (opmåling osv.)"* og en anden siger *"Arealer på bygningsdele kan ikke tages direkte fra modellen, fordi det ikke stemmer overens med DS418 opmålingsregler."* Citaterne peger på en velkendt problematik med at opmålingsreglerne ikke stemmer overens i DS418 modsat bl.a. Revit, hvilket netop er med til at skabe problematikken med direkte dataudtræk fra modellen.

OPLEVES DER UDFORDRINGER MED BEREKNINGEN?

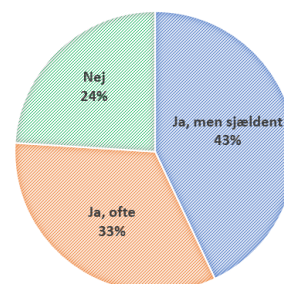


Figur 16 Resultat - spørgsmål 8

Problematikken omkring at det tager for lang tid at opmåle, understøtter behovet for en ny og forbedret proces i forhold til den nuværende.

Spørgsmål 9 er relevant, fordi der jf. lovgivningen senest skal ligge en dokumenteret energiramme, inden huset tages i brug. Altså kan der i princippet udarbejdes en energiberegning, efter huset er opført, og alle materialer er fastlagte, så længe beboerne ikke er flyttet ind. Det kan skabe store problemer, hvis energirammen ikke kan overholdes i det allerede opførte byggeri, hvilket kan resultere i en omkostningsfuld omgang med alternative løsninger.

HAR DU/I OPLEVET, AT RESULTATET I BEREKNINGEN NØDVENDIGGØR EN ÆNDRING I BYGNINGENS UDFORMNING/DESIGN SENT I PROCESSEN?



Figur 17 Resultat - spørgsmål 9

Af resultatet i Figur 17 kan det udledes, at flere af respondenterne har erfaret problemer i forbindelse med, at beregningerne først ligger sent i

byggeprocessen. Kun 24% har oplevet, at der aldrig er opstået problemer, der har haft konsekvenser for projektets udformning/design, mens 76% af respondenterne har mødt problemet. Altså en klar indikator på at beregningerne med fordel ligger tidligt i fasen, inden man går i gang med at opføre byggeriet.

I det afsluttede **spørgsmål 10** får brugeren mulighed til at komme med bud på, hvad der kan gøres bedre ved den nuværende proces i forbindelse med energiberegning. På denne måde dækkes flere vinkler af problemet, hvilket kan resultere i en potentiel løsning.

Har du/I forslag til forbedringer af processen?

"Energiberegningen bør opstartes ifm. skitseringsfasen og projektforslag."

"Beregningskernen bør tilrettes så den passer til det der skal indtastes. Nogle steder skal det være meget nøjagtig, andre steder kan man lave nogle brede antagelser.."

"Gør system mere simpelt"

"Vi som arkitekter oplever tit vinduesskemaer fra producenter, som skal tastes manuelt ind i beregningsprogrammet. Hvis man kunne lave en bedre digital sammenkobling af revit-modellen og de data, som kommer udefra vil det gavne processen."

Figur 18 Resultat - spørgsmål 10

Forslagene til en forbedret proces spænder bredt, hvor både de tekniske udfordringer inde i selve beregningskernen bliver omtalt, men også udfordringer i forhold til den nuværende proces, når energirammen skal dokumenteres. Projektgruppen var inden undersøgelsen bekendt med, at der er udfordringer med selve beregningskernen og dens input, men dette falder udenfor rapportens fokusområde. Ovenfor i Figur 18 er der vist fire citater, hvilket indikerer, at branchen har svært ved at sætte en finger på, hvad der skal forbedres, hvor kun to af dem kan bruges til yderligere undersøgelse, det første og det sidste citat. Citatet *"Energiberegningen bør opstartes ifm. Skitseringsfasen og projektforslag"* understøttes af flere af ovenstående figurer, hvor der bl.a. opleves, at der har været behov for at ændre en bygnings udformning, fordi beregningen er udarbejdet sent i processen. Denne problematik kan potentielt løses ved en automatiseret proces tidligt i forløbet, der er i stand til at trække den relevante data ud af modellen. Det sidste citat, *"Vi som arkitekter oplever tit vinduesskemaer fra producenter, som skal tastes manuelt ind i beregningsprogrammen. Hvis man kunne lave en bedre digital sammenkobling af revit-modellen og de data, som kommer udefra, vil det gavne processen"* er interessant, da den nuværende proces er præget af, at den projekterende får en lang liste med en masse informationer omkring vinduer, der pt. skal aflæses fra et skema og manuelt indsættes i beregningsprogrammet. Dette kan for nogle være

en tung post at afvikle, med risiko for menneskelige fejl i indtastningen. Denne problematik er specielt vedkommende for store projekter, hvor mange elementer indgår.

4.3.1 Delkonklusion - Spørgeskemaundersøgelse

Ud fra spørgeskemaundersøgelsen kan det konkluderes, at der ikke er konsensus i, hvornår energiberegningerne bliver udarbejdet. Der ses en tydelig tendens i, at respondenterne ønsker, at energiberegningen foreligger så tidligt som muligt, men da det kun er et krav, at energiberegningen skal foreligge før ibrugtagning, udskyder flere respondenter beregningen til de senere faser. Når selve energiberegningen skal udarbejdes, er de typisk benyttede programmer Be18, Energy10 og Rockwool Energy Design, hvoraf 70% svarer, at de bruger Be18. I forlængelse af programmerne er arbejdsprocessen med datahåndteringen meget tydelig, hvor 70% af respondenterne svarer, at processen foregår manuelt, hvor data aflæses fra eksterne programmer og indtastes manuelt i beregningsprogrammet. Samtidig svarer 48 % af respondenterne, at de har oplevet udfordringer i energiberegningen, hvor især opmåling af bygningsdele, linjetabsberegning og datahåndtering vurderes at være den største hæmsko. Arbejdsmønstrene hænger også sammen med ressourceforbruget, hvor størrelsen af projekterne afspejler, hvor mange personer, der er involveret i energiberegningen, og hvor lang tid beregningen tager. Ser man på resultatet af energiberegningen, oplever 76% af respondenterne, at denne nødvendiggør en ændring af bygningens design eller udformning. Dette stemmer overens med respondenternes ønske om, at energiberegningen foreligger så tidligt som muligt, så beregningen ikke får økonomiske konsekvenser i form af rettelser til projektet. Til sidst i spørgeskemaundersøgelsen blev der spurgt ind til mulige forbedringer af processen. Svarene heri indebærer bl.a. en tidligere opstart af energiberegning, samt bedre digital sammenkobling af data.

5. Problemformulering

Nærværende afsnit belyser de identificerede problemstillinger, som fremgår i rapportens indledning og indledende analyse, og som afslutningsvis vil danne grundlag for rapportens endelige problemformulering.

I rapportens indledning fremgår det, at energikravet til nyopførte bygninger er skærpet i en sådan grad, at det for mange kan være svært at overholde kravene. Bygningers energiforbrug defineres bl.a. af bygningens design og materialevalg, hvilket derfor er vigtigt at medtænke allerede i designfasen. Elbeltagi, et al (2017) påpeger, at arkitekter og rådgivere mangler værktøjer til at adressere bygningers energiforbrug i de tidlige faser. Dette er væsentligt, da der jf. spørgeskemaet i afsnit 4.3 er 76%, der har oplevet, at en sent udført energiberegning har været årsag til designændringer sent i processen, hvilket kan have store økonomiske og ressourcemæssige konsekvenser. Det kommer bl.a. som resultat af, at man ønsker at fremtidssikre bygningerne og derved sætte krav til bygningers maksimalt dimensionerende transmissionstab for bygningens klimaskærm, vinduer og yderdøre (Aggerholm, 2018). Det er derfor væsentligt at evaluere bygningers energiforbrug allerede i designfasen for at undgå disse faldgruber. Problemet er, at den nuværende arbejdsproces i forbindelse med udarbejdelse af en energiberegning tager afsæt i manuelt prægede processer, der i designfasen, hvori der jævnlig laves ændringer, vil resultere i dobbeltarbejde, da hver ændring skal håndteres manuelt. Her vil en BIM-baseret design proces, som bliver omtalt i rapportens Indledning, muliggøre en effektiviseret datahåndtering samt åbne for muligheden for tidlig aktørinddragelse og tværfagligt informationsdeling. Be18 er det foretrukne energiberegningsprogram i branchen jf. spørgeskemaet i afsnit 4.3, hvilket i sig selv ikke er et problem. Problemet ligger, som (Bracht & Melo, 2021) kommer ind på i indledningen, at der er dårlig interoperabilitet imellem software som Be18 og Revit, der med den begrænsede kommunikation og samarbejde fremtvinger en manuel arbejdsgang i forbindelse med håndtering af data. Der er i forbindelse med denne interoperabilitet analyseret på hvordan de tre energiberegningsprogrammer potentielt kan understøtte en bedre digital sammenkobling mellem tegneprogram og energiberegner i afsnit 4.2. Fra analysen kunne der udledes, at alle tre programmer understøttede XML-filformatet, hvilket derfor er udvalgt til nærmere undersøgelse, da man med XML vil kunne skabe en potentiel løsning, der er kompatibel med alle tre energiberegnere.

Ovenstående problemstillinger opfordrer til yderligere undersøgelser af emnet og danner grundlag for rapportens problemformulering;

Hvordan håndterer og eksporterer man data fra en Revit bygningsmodel til Be18, formateret til Be18's XML-skema, for at kunne automatisere beregning af transmissionstab?

6. Casebeskrivelse

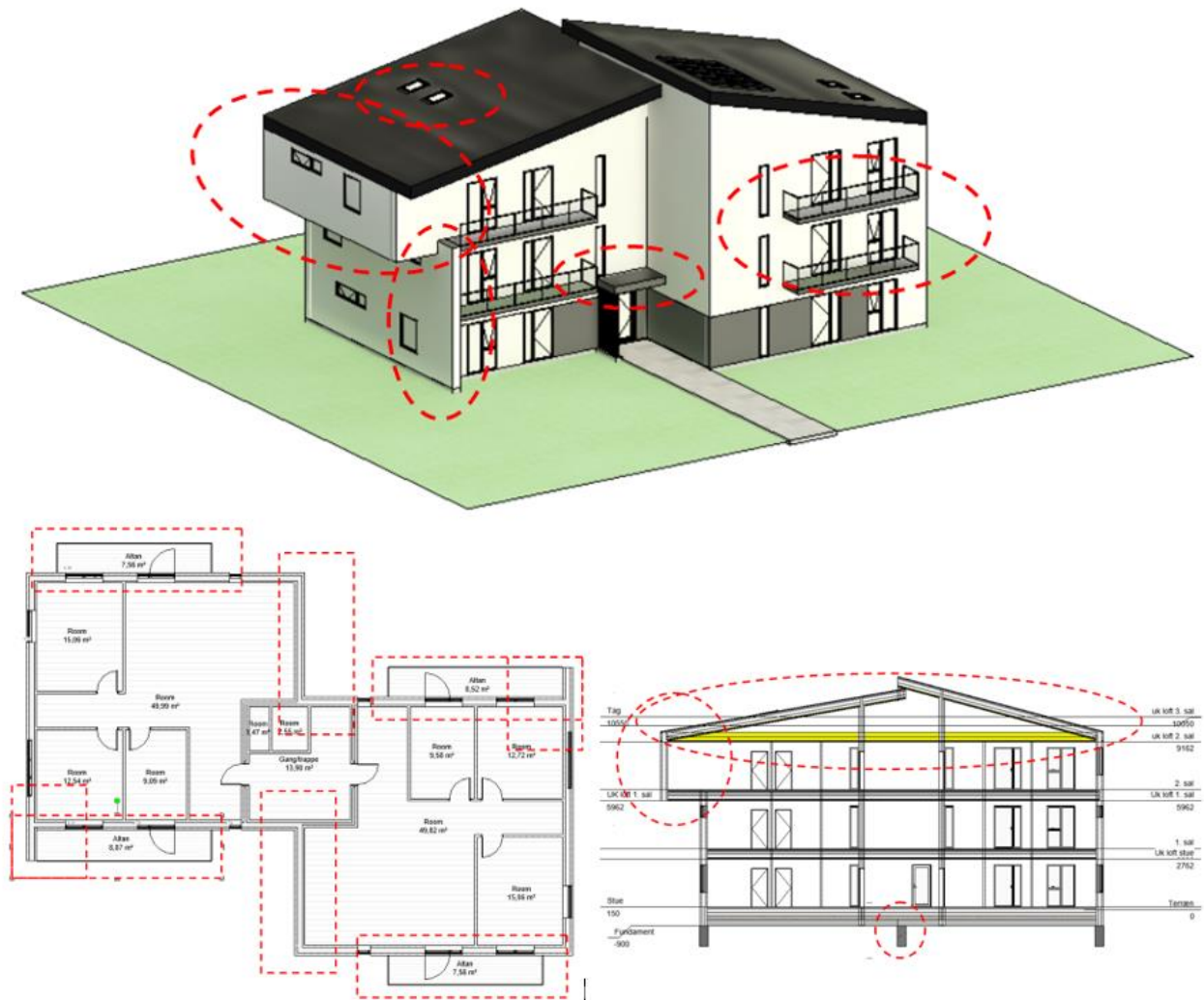
Casestudiet i denne undersøgelse er et etagebyggeri, som udgør prototypen for dataoverførslen mellem Revit og Be18. For at kunne lave en automatisk dataoverførsel til Be18 kræver det en BIM-model, og testmodellen er derfor modelleret i Revit. Geometrien og detaljeringsniveauet i modellen er modelleret efter LOD200 jf. (Dikon, 2018), da dette er et typisk detaljeringsniveau tidligt i projekteringsfasen.

Derudover vurderes LOD200 værende tilstrækkeligt for beregning af transmissionstab, da bygningens klimaskærm skal indeholde overordnede egenskabsdata som areal og længde. Resterende egenskabsdata, som er nødvendige for transmissionstabsberegningen, er brugerinput, og tilføjes til modellen gennem rapportens løsningsforslag.

Formålet med casen er at kaste lys på og berøre flere af de problematikker, der er i forbindelse med at trække data ud af en Revit model, jf. DS418 bestemmelserne. Testmodellens geometriske forhold danner derfor rammerne for undersøgelsen og er med til at give et billede af de mange problematikker, der foreligger i at trække korrekt data ud af en model.

Testmodellen tager afsæt i en etagebygning på 3 etager med ensidig taghældning forskudt fra hinanden. Modellens geometriske forhold tager udgangspunkt i at udfordre de nævnte bestemmelser i afsnit 7, hvor hensigten er at afdække de forskellige beregningsscenarier, man kan støde på i Be18-beregningen.

På Figur 19 nedenfor ses testmodellens udformning udefra i 3D, i en plantegning samt i et snit, hvor flere af knudepunkterne er markeret med rød stiple linje.



Figur 19 Testmodellens geometriske forhold indeholder de fleste udfordrende elementer der nævnes jf. DS418 bestemmelser til transmissionsareal beregning, og danner derfor grundlaget for undersøgelsens relevans.

Testmodellen indeholder bl.a. indad- og udgående hjørner, skrå vinkler, u-isolerede ydervægge, tagvinduer, uopvarmede tagrum, curtain walls m.fl. Alle disse elementer er med til at skabe udfordrende scenarier, der skal undersøges og forsøges løst. Nogle af de generelle problemstillinger, der har forbindelse til at finde transmissionstab, vil derfor være bl.a. rotation, hældninger, arealer, udefrakommende data og beregningsgrænser. Senere i rapporten vil problemstillinger blive analyseret og gennemgået.

7. Hovedanalyse

Nærværende afsnit beskriver projektets problemanalyse og er inddelt i to dele: En undersøgelse af Be18's beregningskerne og underliggende datastruktur samt en gennemgang af de transmissionsarealer, som er indeholdt i beregningen. Hensigten er at identificere de udfordringer, som kan opstå i dataoverførslen, samt at klarlægge de opmålingsregler DS418 foreskriver.

7.1 Transmissionsarealer

Transmissionsarealerne er særdeles vigtige at sætte sig ind i med henblik på at sikre en ensartet og korrekt beregning. Bestemmelserne for transmissionsarealerne er specielt vigtige i forbindelse med automatiseret datahåndtering pga. de forskellige måder at aflæse data på. Undersøgelsen baseres på, at brugeren arbejder i Revit, og der er fundet uoverensstemmelser med softwarens måde at beregne arealer kontra DS418 bestemmelserne. Det er derfor vigtigt at kortlægge de gældende krav, og de udfordringer der er i at hente data direkte fra Revit.

Som nævnt, så er der forskel på beregningsreglerne, Revit arbejder med, kontra DS418 bestemmelserne, hvilket gør det nødvendigt at bearbejde dataene ved hjælp af supplerende værktøjer, inden dataene er brugbare og i overensstemmelse med de danske beregningsregler (DS418). Til det vil den største udfordring være i at flytte de oprindelige målepunkter, Revit tager udgangspunkt i til det, som DS418 bestemmelserne kræver.

Transmissionstabet beregnes forskelligt, alt efter hvilken bygningsdel der er tale om, og de omgivelser bygningsdelene er i forbindelse med. Beregningen er derfor fokuseret omkring, hvorvidt der er tale om flader, der vender ud mod det fri, eller om de ligger mod jord indtil 2 meters dybde eller mere.

For flader, der vender ud mod det fri, bestemmes formlen:

$$\Phi_t = UA(\theta_i - \theta_e)$$

Hvor:

Φ_t	Er transmissionstabet i W
U	Er den resulterende transmissionskoefficient i W/m ² K
A	Er transmissionsarealet af fladen i m ²
θ_i	Er dimensionerende indetemperatur i °C
θ_e	Er dimensionerende udetemperatur i °C

Ovenstående formel dækker over de bygningsdele, der danner bygningens klimaskærm, såsom ydervægge, vinduer, tage og yderdøre.

Kældervægge, kældergulve og terrændæk er også en del af klimaskærmen. For kældervægge mod jord indtil 2 meter under terræn bestemmes formelen:

$$\dot{\Phi}_t = UA (\theta_i - \theta_{jl})$$

For kælderydervægge i mere en 2 meters dybde og kældervægge under bygningen mod jord, samt terrændæk og kældergulve bestemmes formelen:

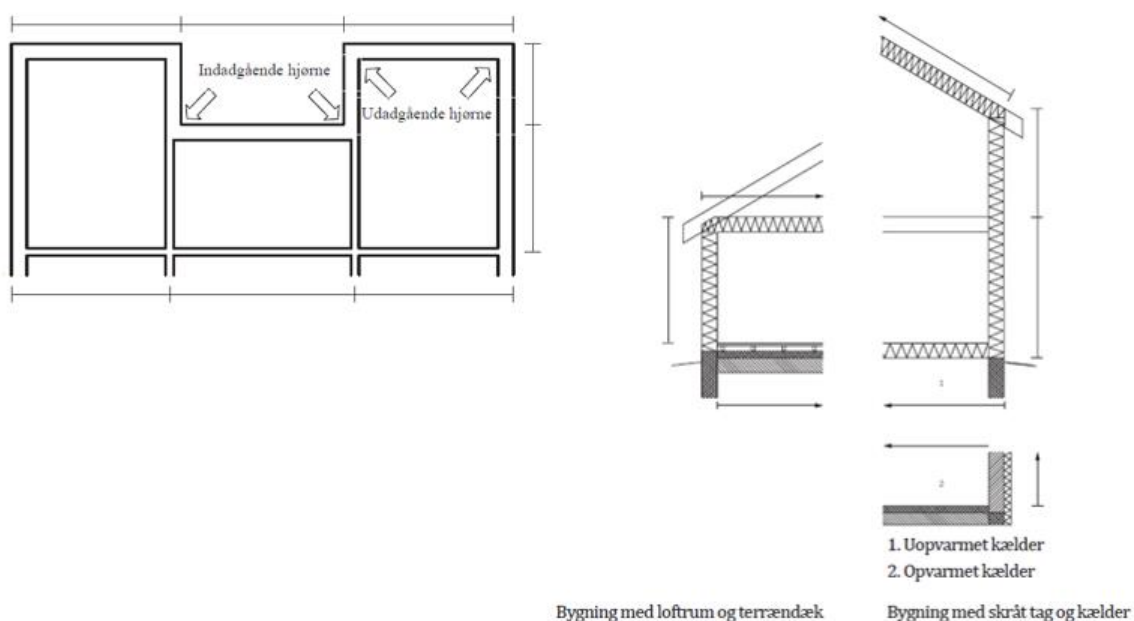
$$\dot{\Phi}_t = UA (\theta_i - \theta_j)$$

Hvor;

θ_j er den dimensionerende jordtemperatur i grader celsius.

Transmissionsberegningen tager udgangspunkt i bygningens geometri af de pågældende bygningsdele, der danner klimaskærmen. Både beregningen af transmissionstabet og det tilhørende transmissionsareal bestemmes jf. DS418 afsnit 3.1-3.6 hvor der redegøres for de regler, der er gældende for de bestemte bygningsdele, og det miljø de står i.

Figur 20 illustrerer DS418 bestemmelser, i.h.t. hvordan arealerne skal aflæses - alt efter bygningens geometri og funktion. DS418 bestemmelserne vil nu blive holdt op imod Revit's arealudtræk, hvilket vil kaste lys på de problematikker, der er i at trække u-filtreret data ud af Revit.

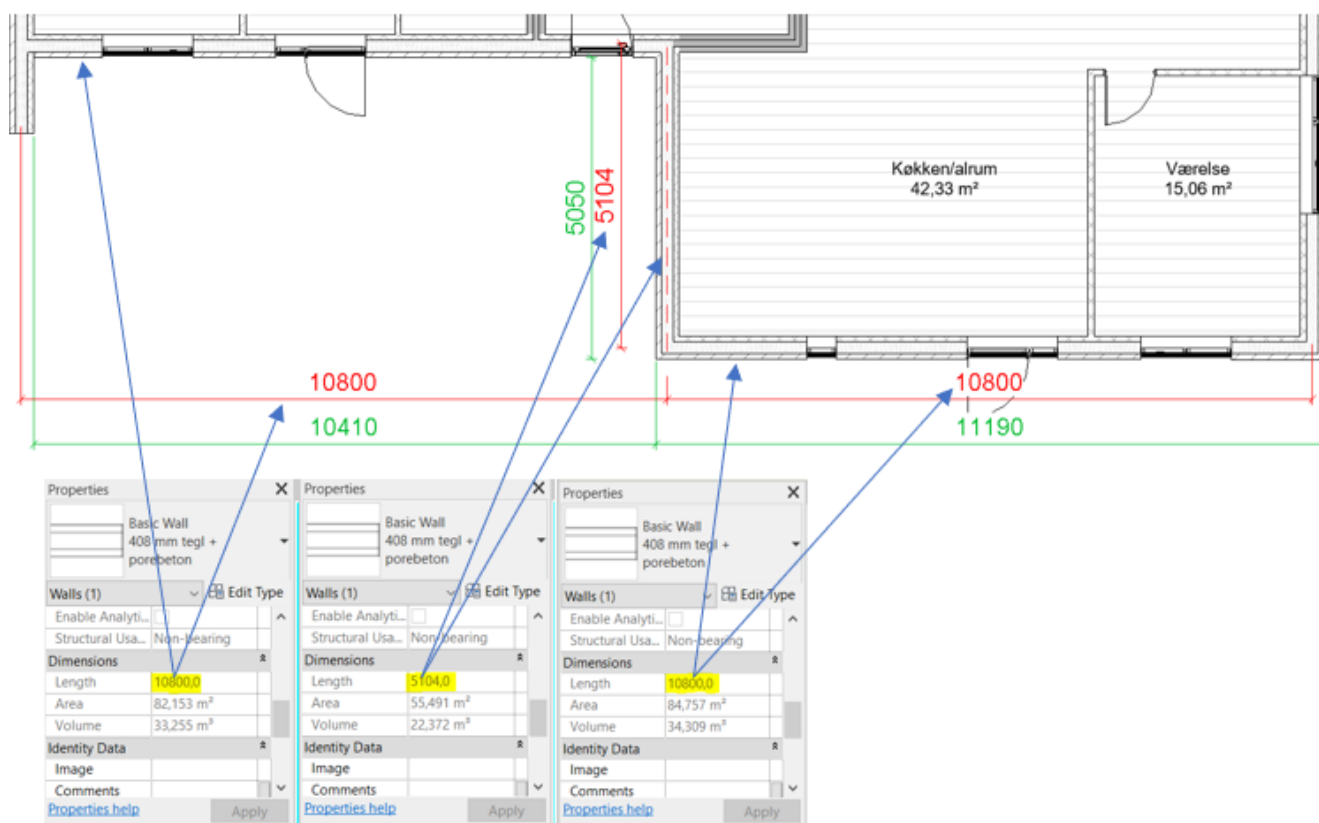


Figur 20 Illustrationer på hvordan transmissionsarealet beregnes jf. DS418 (Dansk Standard, 2020)

7.1.1 Ydervægge, tage og gulve

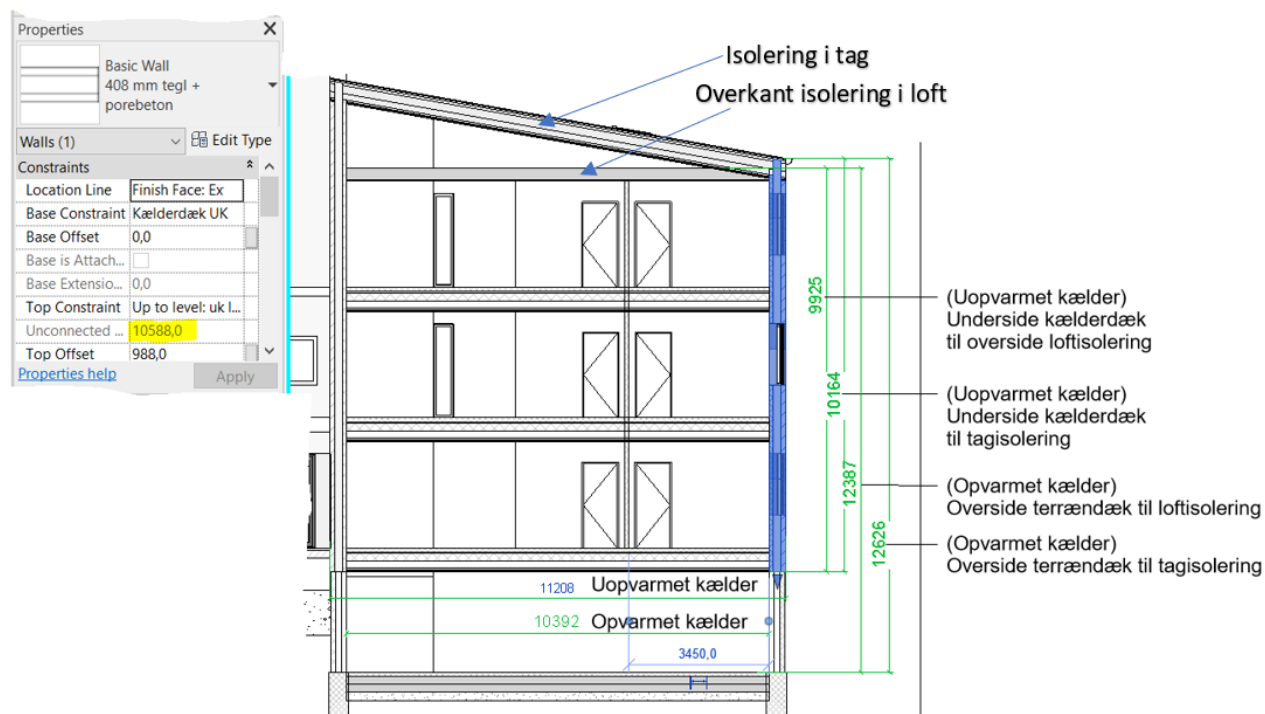
I afsnit 3.6 i DS418 bliver transmissionsarealerne beskrevet således: *“Transmissionsarealerne bestemmes af ydersiden af ydervæggene, undersiden af kælderdek og oversiden af varmeisoleringen i loft på øverste etage eller i tag. Ved ydervægs- og kældervægsfundamenter måles transmissionsarealer til oversiden af færdigt gulv og til indersiden af ydervæggene.”*

Ydersiden af ydervæggene er derfor den, der definerer, hvor der skal måles fra for at få de nøjagtige dimensioner af transmissionsarealet. Kigger vi på Figur 21 nedenfor, er disse bestemmelser testet i forhold til de forudbestemte beregningsregler, Revit arbejder med. De røde dimensioner repræsenterer Revit's beregningsregler, mens de grønne repræsenterer DS418's bestemmelser i forhold til, hvordan transmissionsarealerne beregnes. De blå pile viser de dimensioner, Revit oplyser brugeren med, når de forskellige vægge vælges, hvilket ikke er i tråd med DS418 bestemmelserne. Der er en tydelig forskel, og problemet ligger i, at bestemmelserne henviser til at måle fra ydersiden af ydervæggen, mens Revit måler fra centrum af væg til væg. Det vil derfor ikke være muligt at trække ubearbejdet data fra Revit i.h.t. at finde transmissionsarealet af ydervæggen.



Figur 21 Viser forskellen på hvordan arealet af ydervæggen måles. De røde linjer illustrerer den længde Revit oplyser, mens de grønne illustrerer hvordan de skal beregnes jf. DS418. Den store forskel gør at man ikke kan benytte Revit's data uden at bearbejde dataene.

DS418 beskriver også, hvordan de vertikale mål skal tages, hvad enten bygningen er opført uden kælder, eller med uopvarmet eller opvarmet kælder. Isoleringen på øverste etage skal også tages i betragtning, da der enten skal måles fra overkant af isolering i loft, eller fra taget, alt efter hvordan bygningen er konstrueret.



Figur 22 Tværsnit af bygningen. De grønne mållinjer illustrerer de mange regler der er, alt efter bygningens geometriske forhold samt funktionen af disse. Figuren afslører også hvordan Revit's mål ikke er i overensstemmelse med noget.

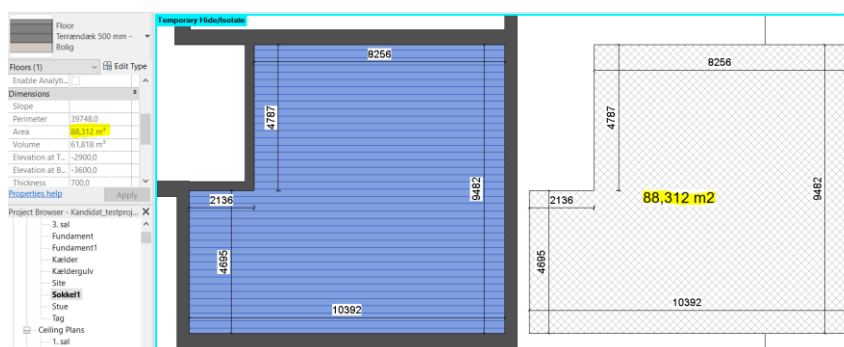
Det iøjnefaldende er igen den data, Revit leverer i boksen til venstre i Figur 22 markeret med gul farve.

Revit fortæller brugeren, at væggen er 10,588 meter høj, hvilket efter nærmere undersøgelse ikke viser sig at være i tråd med bygningens geometri og derfor er uanvendelig data for brugeren.

De grønne dimensioner repræsenterer de forskellige målepunkter der er gældende alt efter bygningens geometri og DS418's bestemmelser. Figur 22 fortæller også, at der er mange scenarier i spil, når transmissionsarealet skal beregnes og stiller store og tidskrævende krav for at sikre, at beregningen udføres korrekt. Denne beregning er svær at automatisere med så mange scenarier og det store krav til bygningsmodellens nøjagtighed og korrekte opsætning.

For kældergulve står der beskrevet: *“For kældergulve regnes transmissionsarealet til indersiden af kælder-ydervæggen.”*

I modsætning til mange af de andre bestemmelser og Revit's beregningsregler stemmer arealerne overens med hinanden, som der ses i Figur 23. Arealet for kældergulve kan derfor, hvis modelleret korrekt, godt trækkes direkte ud af modellen og bruges i beregningen. Disse



Figur 23 Kældergulvets transmissionsareal måles fra indersiden af kælder-ydervæggen. Arealerne taget fra Revit stemmer overens med DS418 og kan derfor trækkes direkte fra modellen

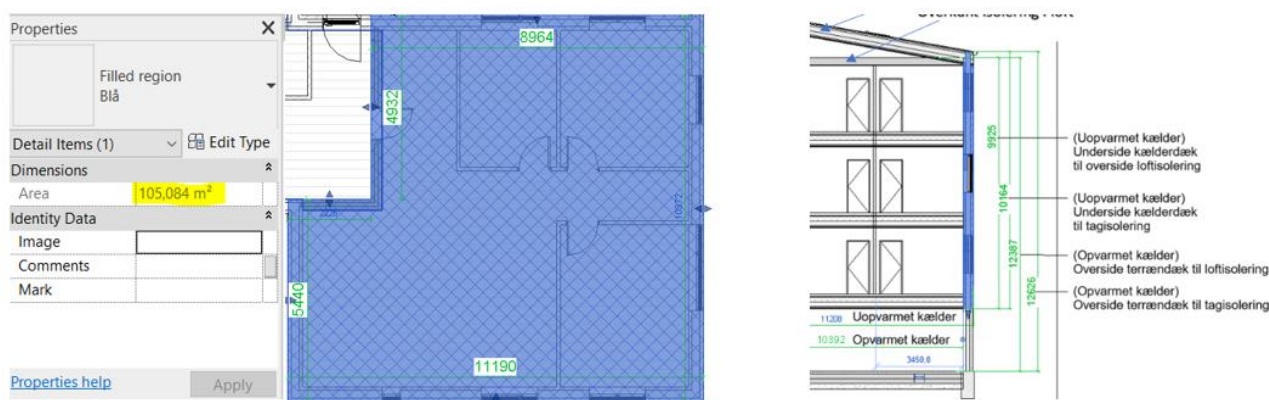
bestemmelser er dog kun gældende, hvis der i det pågældende projekt indgår en kælder.

På Figur 24 nedenfor ses en illustration af et kælderdek placeret over en uopvarmet kælder.

Transmissionsarealet af denne skal beregnes forskelligt - alt efter kælderens funktion. Bestemmelserne lyder:

“For uopvarmet kælder måles transmissionsarealet af kælderdek til ydersiden af ydervæg, og transmissionsarealet af ydervæggen måles fra undersiden af kælderdek.”

Kælderdekkets areal skal derfor -modsat kældergulvene - måles ud til ydersiden af ydervæggen, når kælderens er uopvarmet. Er den derimod opvarmet, er det indersiden af ydervæggen, der måles fra.



Figur 24 Illustrerer hvordan en uopvarmet kælder skal måles. Fra yderside af ydervæg.

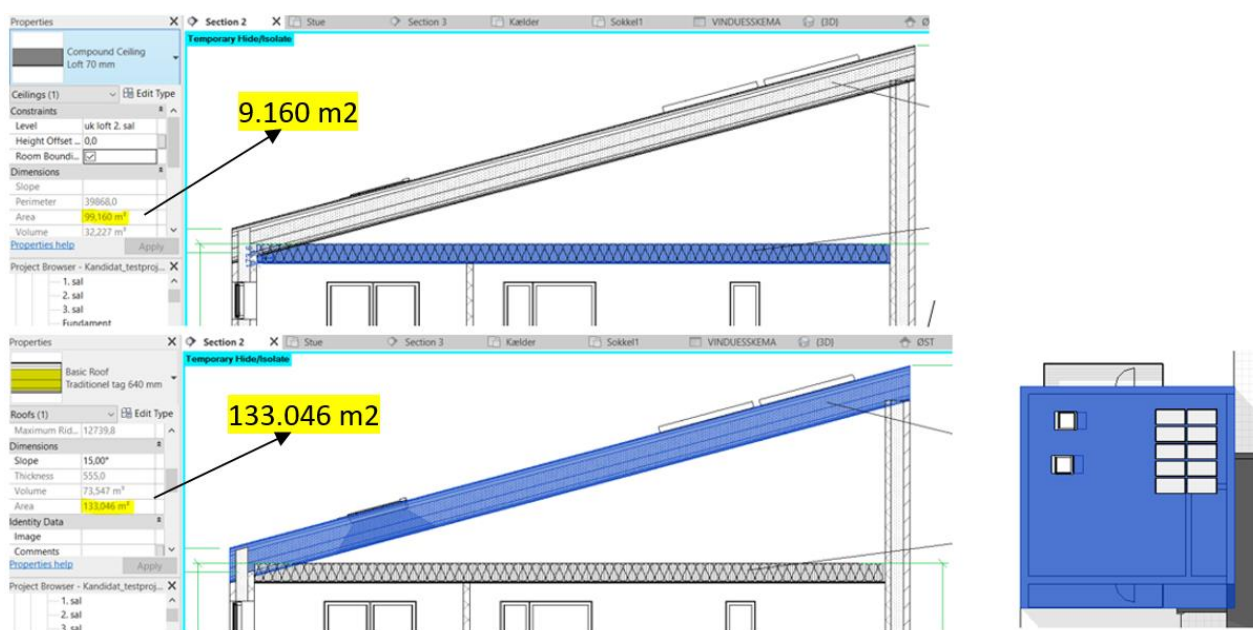
Endnu engang er der flere scenarier i spil alt efter situationen, hvilket gør det kompliceret at automatisere. I en opvarmet kælder kan man tage Revit's arealer direkte fra modellen, da de stemmer overens med DS418 bestemmelserne. Er den uopvarmet, er dette ikke muligt, og dataene skal bearbejdes eller måles manuelt.

Jf. DS418 afsnit 3.6 i forbindelse med arealet af det øverste opvarmede rum beskrives der:

“Transmissionstabet fra en bygnings øverste opvarmede rum gennem loft og tag beregnes normalt under ét, også når der findes et uopvarmet, ventileret tagrum derimellem. Arealet sættes da lig med loftets transmissionsareal, uanset at tagarealet er større end loftarealet.”

Transmissionsarealet på det øverste opvarmede rum defineres derfor efter, hvor den øverste isolering i bygningen ligger. Hvis en bygning har loft til kip, vil isoleringen således ligge i taget, og vil derfor være det areal, der definerer hvor stort transmissionsarealet er. Er der derimod ikke loft til kip, og tagrummet er uopvarmet, så er det loftet, der isoleres og indgår som det gældende transmissionsareal. Taget vil derfor ikke indgå som en bygningsdel, når transmissionsarealet skal beregnes.

Som det ses på Figur 25 nedenfor, er der stor forskel på arealerne, hvad enten man bruger arealet af taget eller loftet. Det har derfor betydelig indvirkning på beregningen, hvilket kan være en krævende udfordring i forbindelse med automatisk dataudtræk.

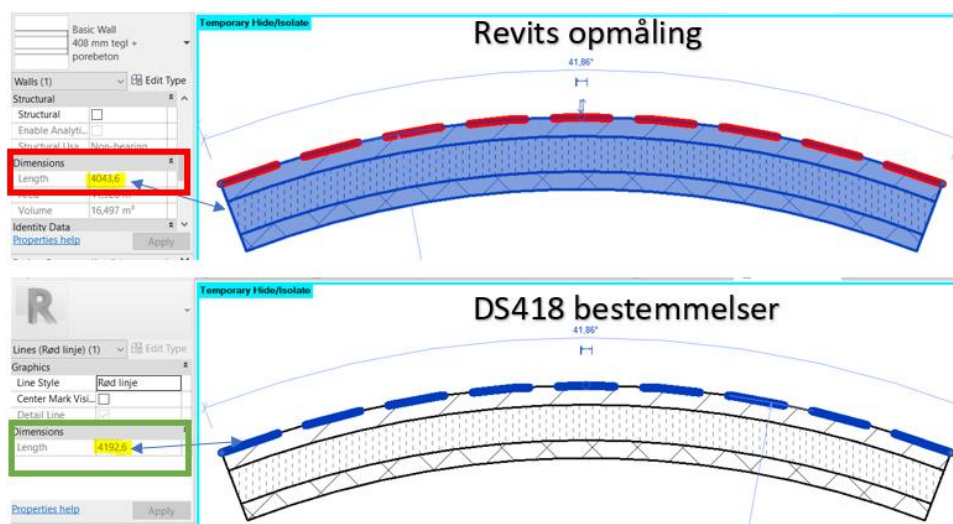


Figur 25 Tværsnit af bygningens øverste del, hvor det øverste billede viser det gældende areal hvis den øverste isolering ligger i loftet, mens det nederste viser det gældende areal hvis øverste isolering ligger i taget.

Buede ydervægge m.m. skal efter bestemmelserne måles på yderkanten af bygningsdelen, hvilket ikke er måden, hvorpå det praktiseres i Revit. I DS418 citeres der:

“For bygningsdele med krum overflade, fx. buede tagflader og buede ydervægge, beregnes transmissionsarealet langs den krumme, udvendige overflade. Tilsvarende gælder andre op- og udbygninger, fx. Karnapper, kviste og ovenlys, hvor transmissionsarealet bestemmes af de udvendige mål.”

Øverste billede i Figur 26 viser en buet væg og dens længde markeret med gul i den røde boks. Længden oplyses til 4,043 meter, hvorimod længden på billedet nedenfor viser en længde på 4,192 meter, hvor målepunktet er placeret i yderkanten af væggen. Dataene er derfor ikke kompatible, og det er derfor nødvendigt at måle manuelt eller anvende en tilpasset teknisk løsning, der muliggør korrekt dataudtræk.



Figur 26 Som figuren illustrerer, så er der forskel på hvordan en buet væg beregnes i Revit, og hvordan den skal beregnes jf. DS418.

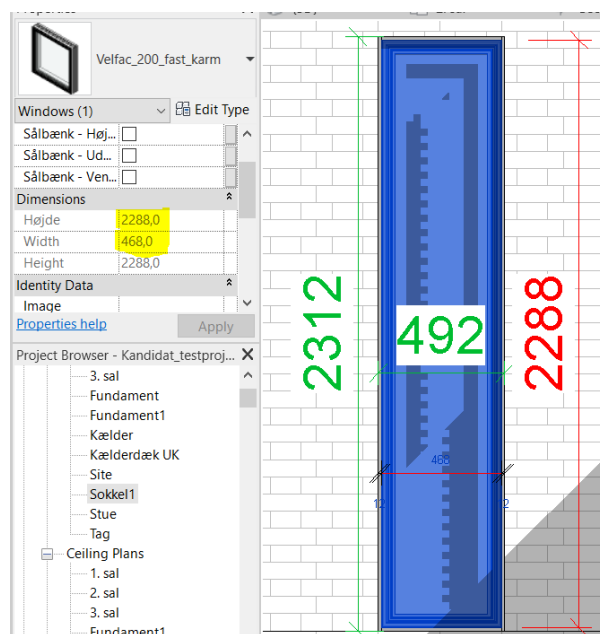
7.1.2 Vinduer & yderdøre

Transmissionsarealet på vinduer og yderdøre m.fl. defineres af elementets hulmål, hvilket vil sige, at arealet defineres af den åbning, der er i konstruktionen. I DS418 beskrives det således:

“For vinduer og yderdøre, herunder porte, glasvægge og lemme med karm monteret i plan med de omgivende konstruktioner, beregnes

transmissionsarealet af hulmålene, det vil sige den åbning, vinduet eller døren indbygges i.” I Figur 27

venstre side ses, at Revit's data tager udgangspunkt i selve vindueselementet uden at tage fugen på 12mm med. Den oplyste data vil derfor ikke være tilfredsstillende og gyldig jf. bestemmelserne og kan ikke bruges, som den er oplyst, til automatisk dataudtræk.

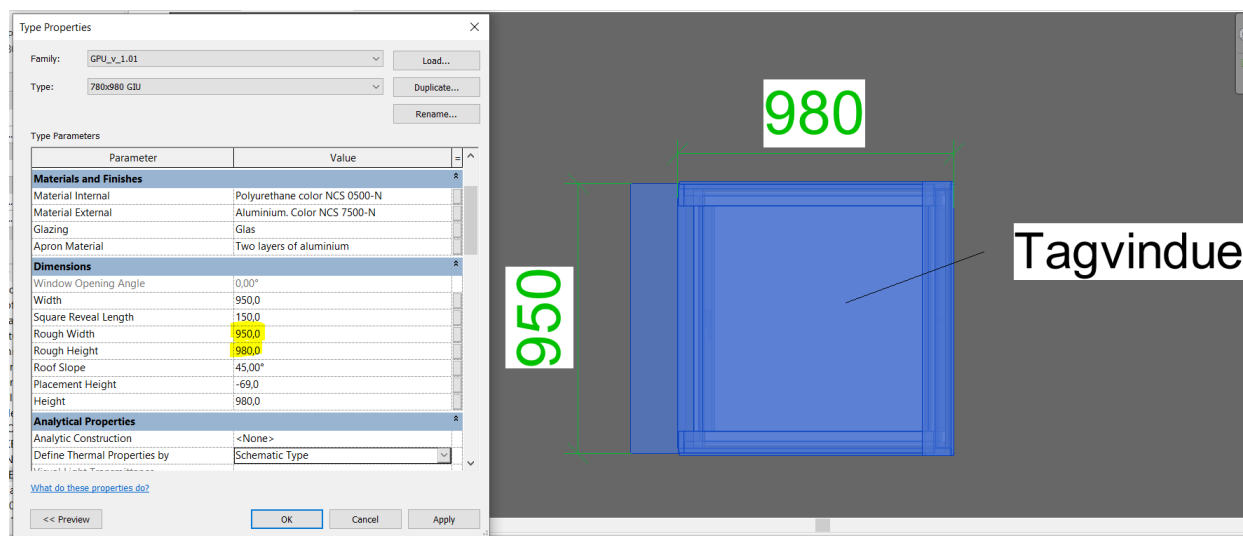


Figur 27 Her ses at målene Revit opgiver ikke stemmer overens med de gældende bestemmelser jf. DS418. De grønne mållinjer illustrerer de korrekte mål, mens de røde illustrerer Revit's opmåling.

Bestemmelserne definerer også, hvordan andre typer af vinduer skal håndteres:

“For ovenlys, tagvinduer og rytterlys med fri karmside beregnes transmissionsarealet enten af tværsnitsarealet svarende til de udvendige karm mål eller det udvendige overfladeareal, idet der tages hensyn til højden af samlingen med tag.

Bestemmelserne er anderledes ved f.eks. tagvinduer, hvor det udvendige karm mål er gældende, hvilket i Figur 28 - i modsætning til tidligere - bliver oplyst i overensstemmelse med DS418. Dataudtræk direkte fra modellen vil derfor være en oplagt mulighed i dette tilfælde.



Figur 28 De udvendige karm mål er gældende for tagvinduer og lignende. I eksemplet ses at Revit's beregningsregler passer overens med bestemmelserne og derfor er egnede for direkte udtræk.

7.1.3 Fundamenter & samlinger ved vinduer

Kuldebroer og linjetab udgør en væsentlig andel af det samlede transmissionstab og er derfor vigtige at medtage i beregningen (Bygningsreglementet, 2018). Effekten af kuldebroer bør derfor indregnes fra start af, hvis beregningen skal blive nøjagtig. Baserer man transmissionstabsberegningen på U-værdier af bygningsdele, bør U-værdierne forhøjes, indtil kuldebroerne er beregnet nøjagtigt (Bygningsreglementet, 2018)

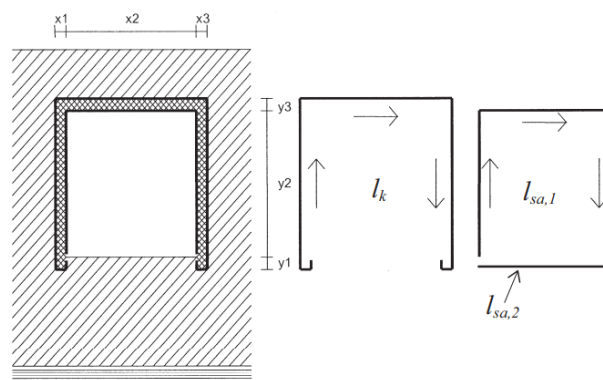
Vinduer og yderdøre

Linjetabet for samlinger omkring vinduer og yderdøre er angivet i W/mK^1 og afhænger af den type konstruktion, som elementerne er indbygget i, karmdybde, kuldebroafbrydelsen mellem formur og bagmur, falsen m.v. (Dansk Standard, 2020). Tager man udgangspunkt i en tredelt ydervæg med bagmur i

¹ W/mK er udtryk for hvor mange Watt der taber pr. Meter med 1 grads temperaturforskel mellem inde og ude.

porebeton, isolering og formur i tegl, samt 50 mm kuldebroafbrydelse i falsen, ligger linjetabet på 0,01 W/mK, jf. tabel 6.12.1a (Dansk Standard, 2020). Den eksakte værdi på linjetabet i det konkrete projekt vil ikke være hensigtsmæssigt at automatisere, da det vil stille alt for mange krav til bygningsmodellen i form af nye parametre. Nogle beregningsprogrammer, som bl.a. Energy10, har indbyggede skabeloner, hvor det er defineret hvilket linjetab, der hører til de enkelte bygningsdele. I nærværende rapport benyttes Be18 som beregningsprogram, og beregningen bør derfor baseres på et brugerinput, som angiver det nøjagtige linjetab i W/mK.

Kuldebroernes længde afhænger af falsens opbygning, og om der er udmuringer hele vejen rundt om murhullet. På digitale bygningsmodeller kan murhullet beregnes ud fra vinduernes længde- og breddeparametre. På Figur 29 ses et eksempel på et vindue med tre udmuringer. Ved døre og vinduespartier, som går til sokkel, medregnes kun



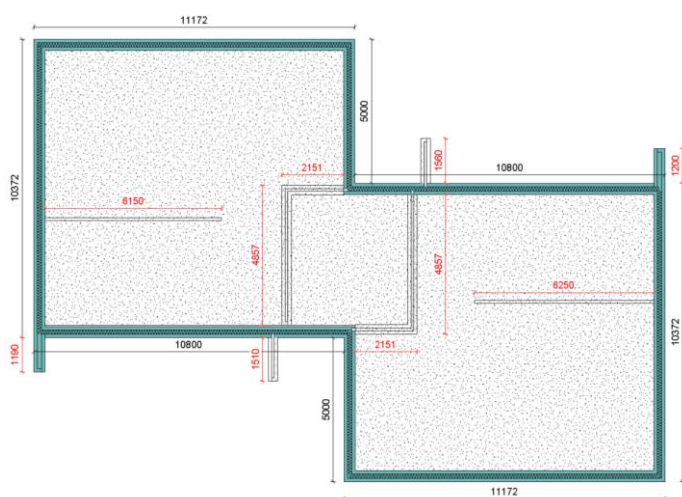
Figur 29 Eksempel på linjetab på vindue, kilde (DS418)

de tre øverste sider, hvor bunden bliver regnet særskilt sammen med linjetabet for fundamenter.

Dette kan håndteres ved at udtrække vinduernes base-constraint samt deres offset i forhold til dette level.

Fundamenter

Længden af ydervægsfundamentet omkring terrændækket måles ved udvendig side af fundament, som angivet med sorte mål på Figur 30.



Manuel opmåling [mm]	Revits Build in længde-parameter [mm]
11.172	10.782
11.572	11.731
10.800	10.931
5.000	5.250
11.172	11.321
11.572	11.377
10.800	10.931
5.000	5.045
77.088	77.368
Difference [mm]	280

Figur 30 Fundamentsplan med angivelse af ydervægsfundament (Grøn)

Som det fremgår af Figur 30, er der 280 mm forskel på Revit's længdeparametre kontra DS418's måleregler. Dertil kommer udfordringer med fundamenter, som ikke hører med til klimaskærmen, men står under søjler, overdækninger osv. Disse skal frasorteres, selvom de er samme vægtype i Revit

7.2 Be18 og XML

Nærværende afsnit har til formål at undersøge, hvordan Be18-beregningsprogrammet benytter XML som underliggende datastruktur, og hvordan man kan ændre eller generere en ny Be18-fil direkte fra tekstformatet XML. Undersøgelsen er baseret på retningslinjer og anbefalinger fra W3school samt egne testresultater af Be18.

7.2.1 XML-strukturen

Be18's underliggende data tager udgangspunkt i en XML-skemafil (.xsd), hvor det bliver specificeret, hvordan elementerne i XML-strukturen formelt skal beskrives. XML står for eXtensible Markup Language og blev designet til at lagre og overføre data via rent tekstformat (W3schools, u.d.). Det betyder, at Be18-skemafilene er interoperable, hvilket gør, at dataene kan blive oversat og delt fra et program til et andet.

I XML definerer koderne strukturen og betydning af dataene. XML-skemafilene bliver opbygget med en såkaldt træstruktur, der gør, at dataene bliver struktureret hierarkisk (W3schools, u.d.). Med denne træstruktur er det muligt at ændre eller tilføje ny data i Be18-filen, da XML-filer er eXtensible, hvilket betyder, at filen kan udvides med flere data. Figur 31 nedenfor er vist et udsnit af XML-koder, som er genereret af Be18-programmet:

```
1  <?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" ?>
2  <!-- FILE_DESCRIPTION('BE05 model', 'STEP.DLL version 6, 9, 2, 24','SBI',''); -->
3  <!-- FILE_NAME('C:\Users\Risom\Desktop\Kandidatspeciale\BE18\Be18 - skabelon med input.bexml','29.09.2021 12.46'); -->
4  <BE05>
5  <BE05 rid="#1">
6    <id>Be18, version 10.19.7.22</id>
7    <has_building>#2</has_building>
8    <has_climate>$</has_climate>
9  </BE05>
10 <BUILDING rid="#2">...</BUILDING>
67 <COOLING rid="#12">...</COOLING>
78 <HEAT_DISTRIBUTION rid="#13">...</HEAT_DISTRIBUTION>
90 <DIM_TEMP rid="#14">...</DIM_TEMP>
94 <DIM_TEMP rid="#15">...</DIM_TEMP>
98 <HEATING_SYSTEMS rid="#11">...</HEATING_SYSTEMS>
108 <OPAQUE_CONST rid="#7">
109   <id>gulv</id>
110   <area>123</area>
111   <u>0.18</u>
112   <part>0</part>
113   <td_in>24</td_in>
114   <td_out>-12</td_out>
115   <sfb>0</sfb>
116   <has_b>1</has_b>
117 </OPAQUE_CONST>
```

Figur 31 Udsnit af XML-fil generet af BE18, v 10.18.6.7. Åbnet i Pycharm 2020.2.2

I starten af XML-filen på linje 1 ses dokumentets prolog, som definerer versionsnummer og et tegnsæt, i dette tilfælde "encoding= ISO-8859", som er de tegn, som processoren i Be18 kan genkende. Det er med

andre ord de instrukser, som beskriver, hvordan dokumentet skal behandles. Dette har bl.a. betydning for, at programmet kan læse de danske tegn som æ, ø og å. På linje 4 ses dokumentets rod-element, som er selve Be18-filens indhold, markeret med "<BE05 rid="#1">". Under rod-elementet kommer alle de øvrige elementer, som er data omkring bygningen, eksempelvis linje 108, som er en bygningsdel markeret med <OPAQUE_CONST rid="#7"> og dertilhørende attributter som navn, areal, u-værdi mv.

Som nævnt tidligere er det muligt at tilføje flere bygningsdele og information til XML-strukturen, hvis man følger den samme syntaks. I Be18-xmlfilen benytter man såkaldte rid-numre, som er en *Row Identifier*, der refererer til de indbyrdes relationer, der er imellem elementerne. Denne værdi følger en logisk rækkefølge, men værdierne kan variere alt efter hvor mange elementer, der indgår i XML-filen. Sammenhængen og rækkefølgen på rid-numrene er repræsenteret i Figur 32:

<rid="#1">	Fast værdi	Beskriver BE18-filens versionsnummer	} Indgår i transmissionstab
<rid="#2">	Fast værdi	Beskriver bygningens hoveddata på første side i BE18	
<rid="#3">	Variabel værdi	Vinduer og yderdøre	
<rid="#4">	Variabel værdi	Ydervægge, tage og gulve	
<rid="#5">	Variabel værdi	Fundamenter og samlinger ved vinduer (linjetab/kuldebroer)	
<rid="#6">	Variabel værdi	"Heating systems"	
<rid="#7">	Variabel værdi	"Cooling systems"	
<rid="#8">	Variabel værdi	"Heat distribution"	
<rid="#9">	Variabel værdi	"Dim, temp1"	
<rid="#10">	Variabel værdi	"Dim, temp2"	
<rid="#11">	Variabel værdi	Skygger	

Figur 32 Oversigt over rækkefølgen på Rid (Row Identifier) i Be18's XML-struktur

For at Be18-filen fungerer, skal elementerne i XML-strukturen følge rækkefølgen i Figur 32. I Figur 32 er de elementer, der varierer, markeret med rødt. Det betyder, at tilføjer man eksempelvis 5 vinduer i XML-filen, skal disse nummereres rid=#3, #4, #5, #6, #7, hvor de efterfølgende elementers rid's bliver forskudt, startende med ydervægge, tage og gulve på rid=#8. Alle elementerne vist i Figur 32 er nødvendige for at kunne generere en Be18-fil direkte fra XML, mens kun nogle af dem indgår som en del af beregningen af transmissionstab. Det betyder, at elementer, som ikke indgår i beregningen, gerne må være tomme datafelter, så længe elementerne har den korrekte Rid-værdi.

Rid-numrene kan lokaliseres i starten af XML-filen i Figur 33, under elementet <BUILDING>. Her indgår der også generelle informationer omkring bygningen, bl.a. varmekapacitet, brugstid, opvarmet etageareal osv., mens alle referencerne til bygningsdele, vinduer osv. bliver listet op med de pågældende rid-numre. Her er det samtidig muligt at se den fortløbende nummerering og rækkefølge, som angivet i Figur 32. De relevante rid-numre er highlightet med rød i Figur 33.

```
34 <heat_dist>F.</heat_dist>
35 <dwelling>1</dwelling>
36 <windmill>F.</windmill>
37 <th_store>15</th_store>
38 <dim_store_temp>15</dim_store_temp>
39 <cooling_frac>0</cooling_frac>
40 <ae2>0</ae2>
41 <ae3></ae3>
42 <ae4>230.56</ae4>
43 <has_btype>F.TYPER.</has_btype>
44 <basic_heat_supply>SUP_BOILER.</basic_heat_supply>
45 <calc_condition>ACTUAL.</calc_condition>
46 <has_transp_const>#3 #4 #5 #6 #7 #8 #9 #10 #11 #12 #13 #14 #15 #16 #17 #18 #19 #20
47 #21 #22 #23 #24 #25 #26 #27 #28 #29 #30 #31 #32 #33 #34 #35 #36 #37 #38 #39 #40
48 #41 #42 #43 #44 #45 #46 #47 #48 #49 #50 #51 #52 #53 #54 </has_transp_const>
49 <has_opaque_const>#55 #56 #57 </has_opaque_const>
50 <has_unheated_space></has_unheated_space>
51 <has_ventilation></has_ventilation>
52 <has_usage>$</has_usage>
53 <has_lighting>$</has_lighting>
54 <has_cold_bridge>#58 #59 #60 #61 #62 </has_cold_bridge>
55 <has_heating_systems>#63</has_heating_systems>
56 <has_cooling>#64</has_cooling>
57 <has_heat_distribution>#65</has_heat_distribution>
58 <has_hot_water>$</has_hot_water>
59 <has_gas_heater>$</has_gas_heater>
60 <has_el_heater>$</has_el_heater>
61 <has_descript>$</has_descript>
62 <has_comments>$</has_comments>
63 <has_heated_room>$</has_heated_room>
64 </BUILDING>
```

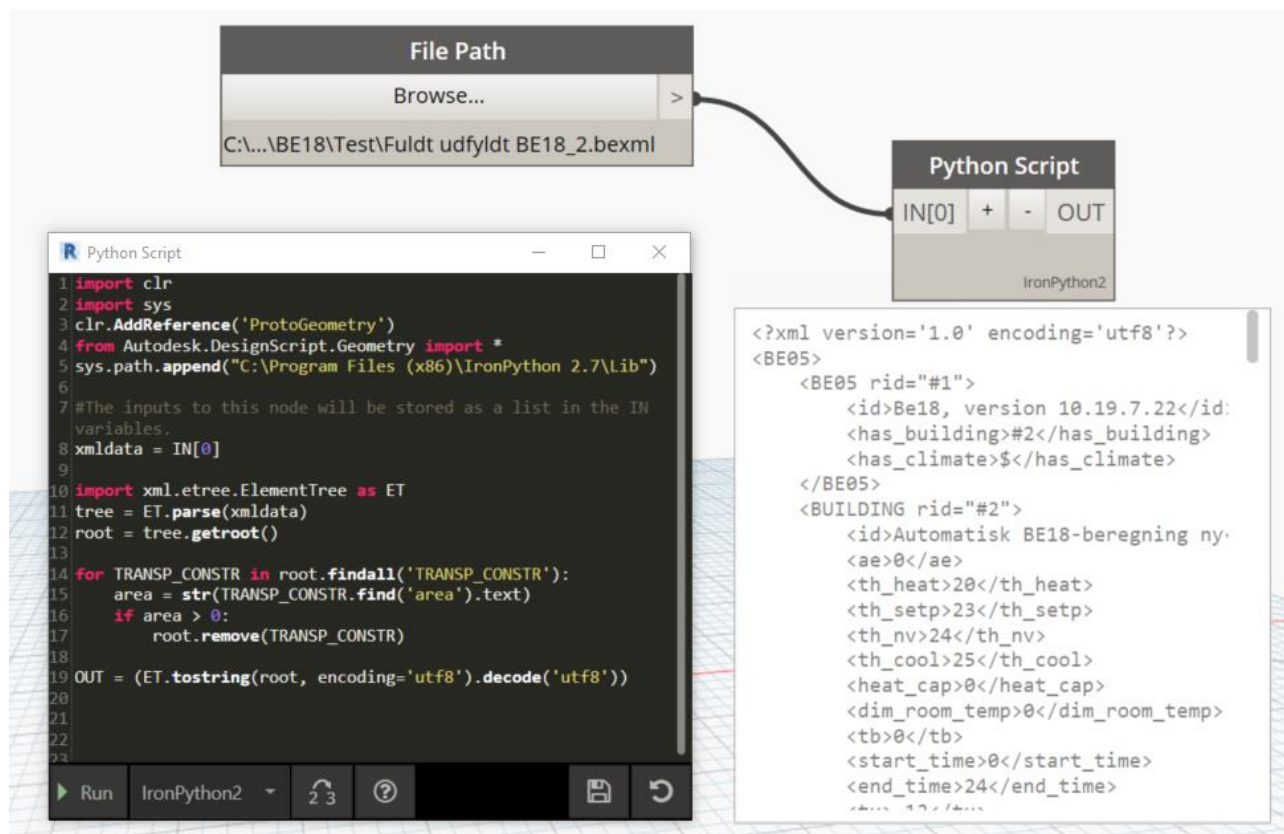
Figur 33 rid-referencer under <BUILDING>-elementet (highlightet med rød)

7.2.2 Modificering og oprettelse af beXML-filer

Følgende afsnit forklarer mulighederne for at ændre og oprette beXML-filer gennem Dynamos API.

Hensigten er at finde en teknisk løsning, der kan formatere data fra Revit-modeller til XML-data, samt oprette og åbne Be18-filen på baggrund af denne data.

Til at modificere og oprette beXML-filer kan man benytte Python, herunder ElementTree XML API'en. Ved at benytte ElementTree, kan man interagere med Be18-dokumentet ved bl.a. at anvende "read" og "write" til dokumentet. ElementTree.write() metoden tillader at bygge XML-filer, herunder beXML-filer. Man kan ændre elementers attributter ved at bruge Element.set() metoden, samt tilføje nye elementer under Be18-rodelementet ved Element.append() metoden. I Figur 34 ses et eksempel på et Python-script, der importerer en eksisterende Be18-fil for derefter at kunne manipulere data i filen. På linje 12 i scriptet bliver Be18-filens rodelement lagret som variabelen "Root". Herefter er det muligt at gennemse rodelementet og de underliggende child-elementer for at kunne manipulere dataene heri. På linje 14-17 bliver vinduerne i Be18-filen fjernet fra XML-strukturen, hvilket giver muligheden for at opdatere en eksisterende fil med nye data fra f.eks. en vinduesproducent. Dette er undersøgt nærmere i afsnit 8.5.



Figur 34 Python Script til at importere en Be18-fil i Dynamo & fjerne udvalgte elementer

I dynamo kan Lunchbox pakken generere XML-data ved hjælp af noden: "DataSets.SerializeXML". Noden fungerer ved, at man indtaster datasæt med noden "DataSets.CreateDataTable" svarende til de elementer, man har i projektet. Dette kan eksempelvis være et vindue med attributterne areal, u-værdi, glasandel m.v. Herefter bliver dataene formateret ud fra en basis XML-struktur med root-elementet, underelementer og attributter. Lunchbox-pakken med XML-noder har i skrivende stund udfordringer med at strukturere attributdata efter hensigten, og denne løsning er derfor fravalgt i nærværende undersøgelse. Der henvises til Dynamo Forum, topic 27797².

Codeblocks i Dynamo gør det muligt at definere funktioner med minimal kodning og kan bruges til arbejde med XML-data i relation til Be18's energiberegning. Codeblocks gør brug af tekst-kodning i Dynamos visuelle kodningsmiljø og kan meget fleksibelt definere forskellige datatyper som tal, tekst, rækkefølger og funktioner (Dynamo Primer, u.d.). Dele af Be18's XML-struktur kan indsættes i en codeblock, hvorefter brugerdefinerede funktioner kan tilføje dataværdier i de korrekte steder i denne xml-struktur. Dette giver en alsidig løsning, der kan håndtere store mængder data, samtidig med at det komprimerer store,

² [How to create XML sub child element by Lunchbox - Revit - Dynamo \(dynamobim.com\)](https://dynamobim.com/2017/07/27/how-to-create-xml-sub-child-element-by-lunchbox-revit-dynamo/)

komplerede scripts til at fylde mindre i kodningsmiljøet. Figur 35 viser et eksempel på, hvordan data kan formateres til XML i en codeblock:

Code Block	
antal3	1 //Funktion til oprettelse af linjetetab/kuldebroer i BE18
navn	2 def linjetab(lt1, lt2, lt3, lt4, lt5, lt6)
areal	3 { //byggningsdele i projektet
uværdi	4 return = " <COLD_BRIDGE rid='#" + lt1 + "'>
dim_inde	5 <id>" + lt2 + "</id>
dim_ude	6 <area>" + lt3 + "</area>
	7 <u>" + lt4 + "</u>
	8 <part>0</part>
	9 <td_in>" + lt5 + "</td_in>
	10 <td_out>" + lt6 + "</td_out>
	11 <sfb></sfb>
	12 <has_b>1</has_b>
	13 </COLD_BRIDGE>";
	14 };
	15
	16 linjetab(antal3, navn, areal, uværdi, dim_inde, dim_ude); >

Figur 35 Code-block-funktion til opbygning af XML-data i Dynamo

7.2.3 Data eksport og real time feedback

Når dataene skal overføres direkte fra Revit til Be18, er der brug for at tilgå computerens operativsystem (OS) for at kunne generere specifikke filformater og åbne disse automatisk. Eftersom Dynamo tillader Python-kodning, er det muligt at tilgå udvidede funktioner, som ellers ikke vil være muligt gennem Dynamos indbyggede nodes. For at Python kan interagere med computerens operative system, er der behov for at importere OS-modulet med "Import os". Herefter kan `Os.path.join()` benyttes, som er en metode, der gør det muligt at samle en eller flere filstier intelligent (GeeksforGeeks, 2021). Metoden giver mulighed for, at brugeren kan vælge en mappe-placering (directory path) til Be18-filen, hvorefter Python sammenkæder filstien med det filformat, Be18 benytter. 'W' står for write og bruges til at genere en ny fil, hvis denne ikke eksisterer. Koden ser således ud:

with **open**(`os.path.join("C:\...\Kandidatspeciale\BE18\Test", "testfil.beXML")`, 'w') as fp

Pythonkoden genererer en tom Be18-fil, som ikke kan åbnes i programmet, fordi filen ikke indeholder de i Figur 32 beskrevne elementer. Disse elementer udgør XML-dataene og skal tilføjes til filen ved at bruge Pythons indbyggede funktioner. Her kan bl.a. benyttes write-kommandoen, som tilføjer data til filen:

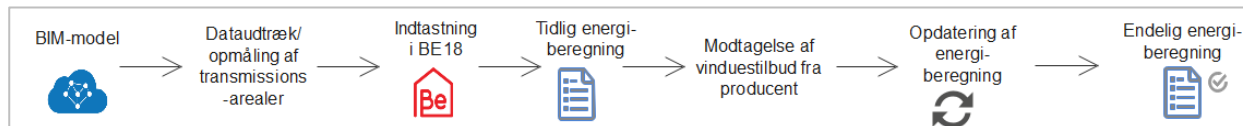
`fp.write("xml_data")`

7.3 Interoperabilitet ved energiberegning

Afsnittet præsenterer nogle af de udfordringer, som kan opstå i forbindelse med datahåndtering ved producentdata ved energiberegning. Herefter undersøges forskellige måder at håndtere denne data i relation til Be18-beregnings. Hensigten er at skabe en bedre digital sammenkobling og interoperabilitet mellem producenterne, og dem der udarbejder energirammen for derigennem at effektivisere processen. Det blev understreget i afsnit 4.3 spørgeskemaundersøgelse, at det vil gavne processen, hvis man kan opnå en bedre digital sammenkobling af data fra bl.a. producenter. Derfor er der valgt at tage udgangspunkt i data i forbindelse med vinduesproducenter, da dataene heri er varierende og tidskrævende at håndtere i Be18.

Vinduer og yderdøre

Vinduer og yderdøre udgør en væsentlig del af det samlede transmissionstab og er det punkt i beregningen, der indeholder flest datainput. Det betyder samtidig, at det er stor gevinst ved at automatisere processen, især ved større projekter med høj kompleksitet. For at beregningen kan foretages, skal der indtastes navn, antal, orientering, hældning, areal, u-værdi, b-værdi, Ff-værdi, gg-værdi, skygger, fc-værdi samt dimensionerende inde- og udetemperatur. En typisk proces for indtastning af vinduer og yderdøre i Be18 kan foregå på følgende måde (Figur 36):



Figur 36 illustration af en typisk proces for indtastning af data for vinduer og yderdøre

Når energiberegningen foretages på et tidligt stadium i byggeprocessen, er beregningen baseret på bygningsgeometri og egenskabsdata fra bygningsmodellen. Vinduesparametre som U-værdi, FF-værdi og gg-værdi bliver indtastet på baggrund af gennemsnitsværdier og erfaringstal, og er således ikke retvisende for en præcis beregning af transmissionstab. Dette gør sig også gældende ved andre komponentdata, som blev understreget i spørgeskemaundersøgelsen i afsnit 4.3. Ikke førend der foreligger et vinduestilbud fra producenten, kan energiberegningen opdateres med de eksakte værdier, hvorefter den endelige energiberegning kan bekræftes. Paradokset er, at jo tidligere man ønsker at lave energiberegning, jo færre data og mindre viden har man om projektet, hvilket bl.a. resulterer i behovet for at bruge gennemsnitsværdier.

En anden udfordring knytter sig til de vinduestilbud/skemaer, som producenterne fremsender. Der er valgt at undersøge opbygningen af forskellige vinduestilbud/skemaer fra nogle af de største, danske

vinduesproducenter med henblik på at se anvendelsesmuligheder i relation til Be18. Et eksempel på et vinduesskema kan ses i Figur 37:

Energioversigt						Dato: 19-08-2021 8:07		Side : 1			
Navn :		Tilbud: 4982			INT: HDR						
Pos	Tekst	Bredde	Højde	Antal	Aw	A total	gg	LTg	FF	Uw	Ew
1	Vindue	468	2588	4,00	1,21	4,84	0,39	0,66	0,71	0,89	-25,86
2	Dør	1008	2588	1,00	2,61	2,61	0,39	0,66	0,80	0,81	-12,28
3	Vindue	480	3193	2,00	1,53	3,07	0,39	0,65	0,72	0,92	-27,78
4	Pladedør	1053	2120	1,00	2,23	2,23	0,00	0,00	0,00	0,72	-65,13
5	Vindue	1053	1065	1,00	1,12	1,12	0,39	0,66	0,79	0,81	-12,84
6	Vindue	2028	2588	1,00	5,25	5,25	0,39	0,65	0,90	0,76	0,39
10	Vindue	1728	920	2,00	1,59	3,18	0,39	0,66	0,74	0,84	-19,11
11	Vindue	1008	2588	1,00	2,61	2,61	0,39	0,65	0,80	0,81	-11,86
12	Vindue	2028	2588	1,00	5,25	5,25	0,39	0,65	0,90	0,76	0,39
13	Pladedør	1008	2120	1,00	2,14	2,14	0,00	0,00	0,00	0,73	-65,83
14	Pladedør	1008	2120	1,00	2,14	2,14	0,00	0,00	0,00	0,73	-65,83
15	Vindue	1008	460	2,00	0,46	0,93	0,53	0,74	0,65	0,91	-14,84
17	Vindue	468	2588	2,00	1,21	2,42	0,39	0,65	0,67	0,92	-31,88
18	Dør	1008	2588	3,00	2,61	7,83	0,39	0,66	0,80	0,81	-12,28
19	Vindue	468	2588	2,00	1,21	2,42	0,39	0,66	0,71	0,89	-25,86
20	Fast ramme til skydedør	1190	2588	1,00	3,08	3,08	0,53	0,74	0,81	0,83	8,89
21	Skydedør	2388	2120	1,00	5,06	5,06	0,53	0,74	0,84	0,80	15,01
22	Vindue	2388	460	1,00	1,10	1,10	0,53	0,74	0,70	0,87	-5,78
23	Fast ramme til skydedør	1190	2588	1,00	3,08	3,08	0,53	0,74	0,81	0,83	8,89
25	Vindue	2748	2588	1,00	7,11	7,11	0,51	0,73	0,85	0,80	13,40
26	Vindue	2028	2588	1,00	5,25	5,25	0,51	0,72	0,90	0,80	17,48
27	Vindue	2028	1593	1,00	3,23	3,23	0,52	0,74	0,87	0,73	22,98
29	Dør	1008	2588	1,00	2,61	2,61	0,53	0,74	0,80	0,79	11,78
30	Vindue	1008	2588	1,00	2,61	2,61	0,52	0,74	0,80	0,79	9,94
31	Vindue	468	2588	1,00	1,21	1,21	0,53	0,74	0,71	0,87	-4,44
32	Dør	1008	2588	1,00	2,61	2,61	0,53	0,74	0,80	0,79	11,78
33	Vindue	468	2588	1,00	1,21	1,21	0,52	0,73	0,67	0,89	-12,12
34	Vindue	1008	2588	2,00	2,61	5,22	0,39	0,64	0,80	0,82	-12,79
35	Skydedør	2688	2120	1,00	5,70	5,70	0,53	0,74	0,85	0,78	17,35
36	Vindue	2688	460	1,00	1,24	1,24	0,53	0,74	0,71	0,87	-5,04
38	Vindue	480	2588	1,00	1,24	1,24	0,53	0,74	0,72	0,86	-3,24
39	Pladedør	1008	2120	1,00	2,14	2,14	0,00	0,00	0,00	0,73	-65,83
40	Vindue	1008	460	1,00	0,46	0,46	0,53	0,74	0,65	0,91	-14,84
				44,00	102,18		0,81				

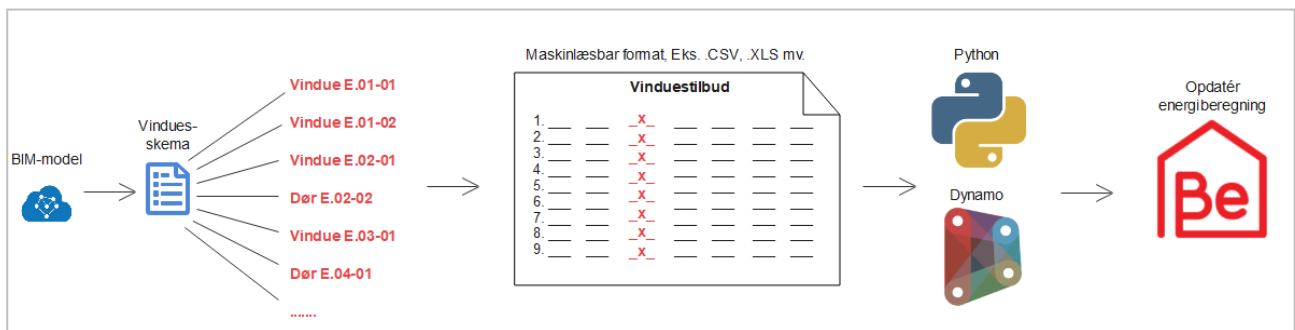
NB! = Programmet har ikke kunnet beregne denne position
Aw = Element udv. areal [m2]
A total = Aw x Antal [m2]
gg = Rudens solenergitransmittans/g-værdi (Hvis der er flere ruder med forskellig g-værdi er værdien den arealvægtede g-værdi (gækv))
LTg = Rudens sollystransmittans
FF = Glasandel, dvs. den andel af elementarealet (Aw), der udgøres af glas
Uw = Elementets samlede u-værdi iht. DS 418: 2002
Ew = Elementets energibalance [kWh/m2] (E=196,4 x gg x FF - 90,36 x Uw)

Figur 37 Eksempel på vinduestilbud fra vinduesproducent

Vinduestilbud i PDF-format begrænser mulighederne for digital sammenkobling til bygningsmodellen og dermed Be18-beregningen. Efter dialog med vinduesproducenterne kan det konstateres, at ca. 1/3 kan levere digitale, maskinlæsbare formater som CSV-, HTML- og Excel-format. Det bør dog være en selvfølge, at flere vinduesproducenter godt kan levere disse formater, idet producenterne har digitale programmer til at generere vinduesskemaer. Interoperabilitet opnås ved at datatabeller, som ovenfor, bliver leveret i et dataformat, som er maskinlæsbare for begge aktørers computere. For at skabe en åben dataoverførsel fra producenterne til Be18, skal dataene distribueres i strukturerede, tabulære formater som f.eks. Comma Separated Values (.CSV), Excel regneark (.XLS) eller tilsvarende, så computerne kan tilgå og læse dataene. Herefter kan dataene håndteres og filtreres med f.eks. Dynamo og Python og sammenkobles med Be18's XML-struktur.

En anden udfordring, som opstår i forbindelse med producentskemaerne, er navngivningen af elementerne. Selvom dataene bliver leveret i maskinlæsbare formater, er det ikke ensbetydende med, at dataene kan bruges i andre arbejdsammenhænge. I eksemplet ovenfor ses det, at elementerne er

navngivet efter producenternes egne fortolkninger. Der er således ikke anvendt et klassifikationssystem, hvilket betyder, at det er tilnærmelsesvis umuligt at lokalisere elementerne i den digitale bygningsmodel. En anden kendt udfordring er, at nogle vinduesproducenterne sammenlægger elementer med samme egenskaber i samme rækker i tilbuddet. Hvis de enkelte elementer ikke fremgår enkeltvis i tilbuddet, besværliggør det indtastningen i Be18, hvor elementerne skal fremgå med individuel orientering. Uagtet teknologi bør det kræve, at projekteringsmaterialet bliver sammenkoblet digitalt mellem aktørerne, så dataene kan finde anvendelse senere i processen. Dette kan bl.a. opnås ved at vinduesproducenterne får oplyst den interne kodning, rådgiverne bruger til deres elementer, hvorefter producenten tilføjer dette parametre i en ekstra kolonne i vinduesskemaet. Den digitale sammenkobling og dataoverførslen er illustreret i Figur 38:



Figur 38 Eksempel på digital sammenkobling af vindues-data mellem rådgiver og vinduesproducent

8. Problemløsning

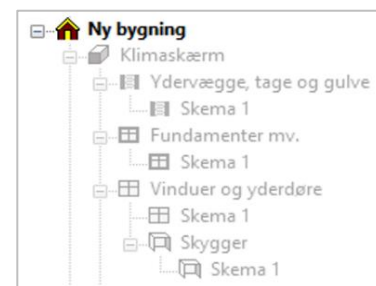
I følgende afsnit præsenteres et løsningsforslag på de i problemanalysen fremlagte problematikker.

Løsningen danner grundlag for interoperabilitet mellem Revit og Be18 ved en direkte dataoverførsel herimellem. I første del præsenteres det samlede Dynamo-Script, som trækker data ud fra BIM-modellen i henhold til DS418. For at overskueliggøre indholdet er afsnittet inddelt i underafsnit svarende til Be18's inputstruktur. Herunder bliver hvert afsnit introduceret med en grafisk model over workflowet i scriptet samt et billede af Be18-strukturen. Dynamos OOTB-nodes er markeret med kursiv i afsnittene, og alle designscripts med tekstuelle koder indeholder forklarende tekster i farven //grøn. I sidste del af afsnittet præsenteres det, hvordan dataene formateres til Be18's XML-struktur og overføres direkte til programmet. Hensigten med afsnittet er at beskrive metoder og processer til dataudtræk med Dynamos API, så læseren kan lære de samme teknikker til opmåling af bygningsgeometri og XML-formatering til brug for bl.a. energiberegning. De samlede scripts som bliver præsenteret i afsnittet kan findes i appendiks A & B.

8.1 Be18-hoveddata

Det første input i Be18 er projektet navn, som i scriptet sættes standard til "Automatisk Be18-beregning", når filen bliver oprettet.

Det næste input er det opvarmede etageareal, som er hele grundlaget for beregning af transmissionstab. Grundet usikkerhederne i en automatisk opmåling og vigtigheden af resultatet, er løsningen semi-automatisk og baseret på area-plans i modellen. Her har brugeren selv mulighed for at definere det opvarmede etageareal med area-boundaries, hvorefter scriptet summerer disse arealer. De opvarmede arealer tilvælges derefter af brugeren i scriptets user-interface, som forklares nærmere i afsnit 8.8. På Figur 40 ses et eksempel på area-plans i Revit, som bruges til at finde det opvarmede etageareal.

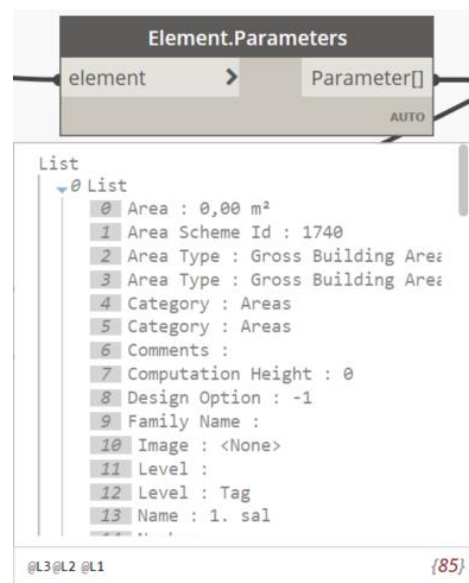


Figur 39 Overblik over Be18-inputdata (Afsnit: "Hoveddata")

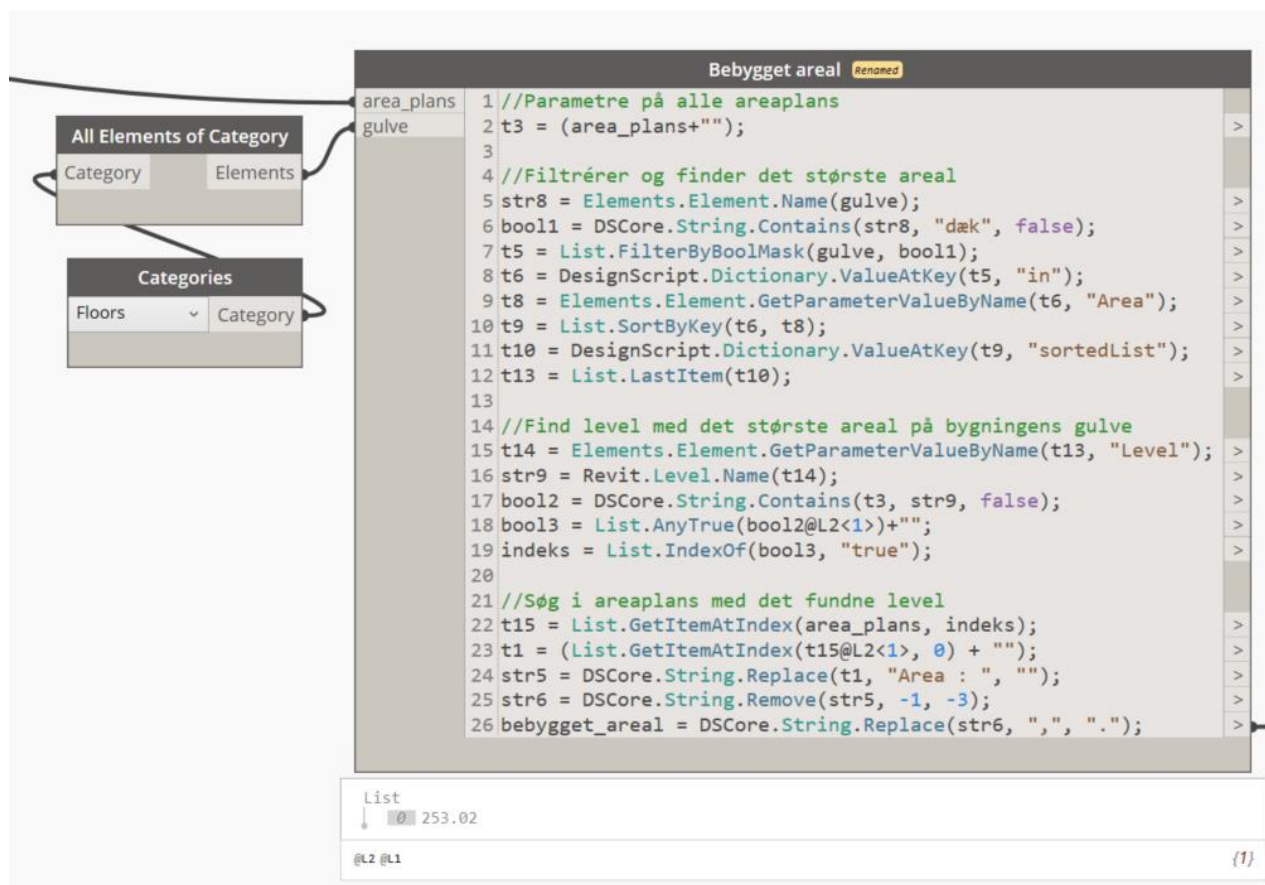


Figur 40 Eksempel på area-plans i en Revit-model. Lyserøde linjer afgrænser arealerne.

Area-plans består af arealer, som indeholder en række parametre (Figur 41), som kan bruges til finde det bebyggede areal, som er det næste input under Be18's hoveddata. Det bebyggede skal bestå af bygningens projektion på jorden, hvorfor løsningen tager udgangspunkt i det største areal af de indtegnede area-plans. Ud fra bygningens etager findes det gulv, som har det største etageareal (Linje 4-12, Figur 42). Dette gulv bruges til at identificere det level, som skal bruges til at filtrere arealerne ud fra (Linje 14-19, Figur 42). Således vil man ved bygninger med forskudte etager finde frem til det største areal, svarende til bygningens omrids set ovenfra. Til sidst bliver arealer, som er hosted til det fundne level, identificeret - dette er bygningens bebyggede areal.



Figur 41 Parametre på arealer i Area-plans



Figur 42 Script til beregning af bebygget areal

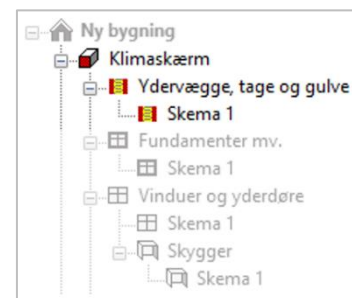
For bygningens rotation måles der i forhold til den orientering, der i øvrigt er angivet for vinduerne. I scriptet måles rotationen positivt ved drejning af bygningen med uret. Til dette benyttes *Coordinates.ProjectRotation*, som beregner vinklen fra væggens normalvektor til projektets *True north*. Tallet konverteres derefter til en string, som er en forudsætningen for XML-data, se Figur 43.



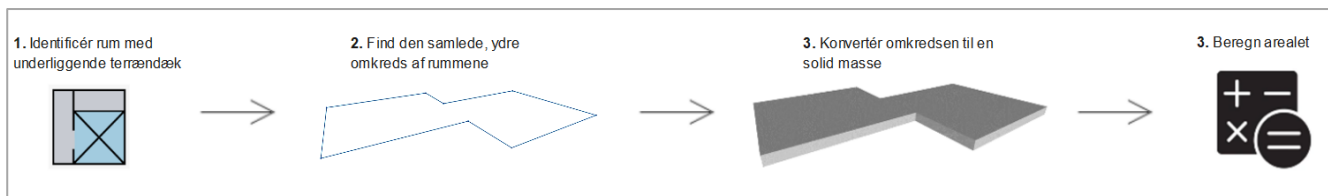
Figur 43 Script til beregning af bygningens rotation

8.2 Ydervægge, tage og gulve

Det overordnede princip for at beregne gulv-, væg- og tagarealer er med udgangspunkt i bygningens opvarmede rum. Rummene gør det muligt at lokalisere omkringliggende bygningsdele, hvor klimaskærmen dermed kan identificeres. I nedenstående afsnit forklares de overordnede principper i scriptet, mens de samlede scripts kan findes i appendiks A. Til opmåling af bygningens terrændæk benyttes rummene i BIM-modellen. Denne beregningsmetode kan inddeles i fire, respektive dele, se Figur 45.

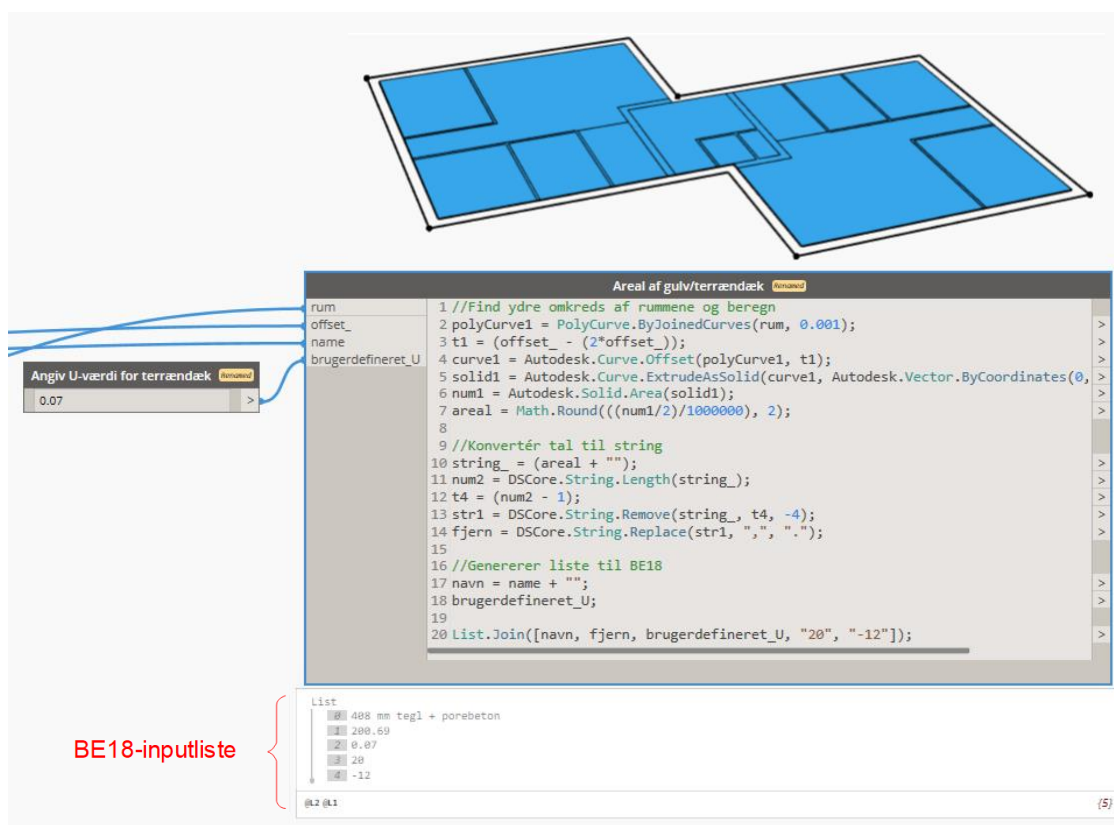


Figur 44 Overblik over Be18-inputdata (Afsnit: "Ydervægge, tage & gulve")



Figur 45 Workflow/arbejdsgang i beregning af gulvareal

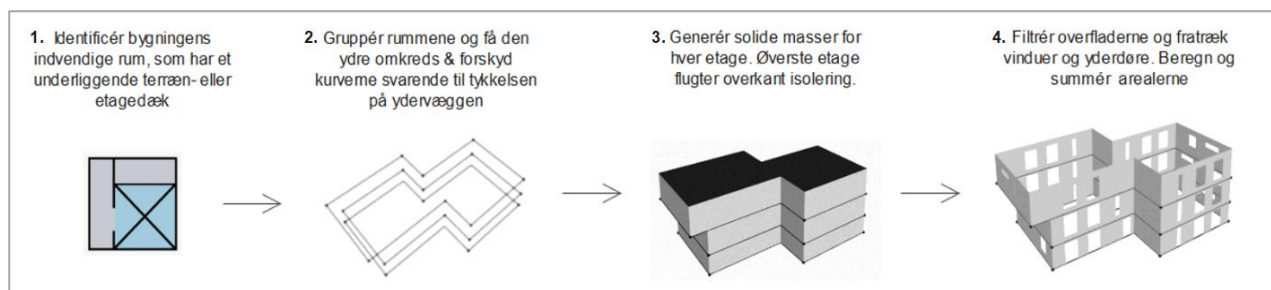
Rummene identificeres ved at benytte en *RayBounce.ByOriginDirection* i negativ z-akse ud fra hver rumlokation. Dette giver muligheden for at filtrere rummene efter deres underliggende konstruktion, hvorved de relevante rum ved terrændækket kan lokaliseres. Herefter bliver alle rummenes omkredse hentet via *RoomFinishBoundary*, som derefter kan konverteres til en samlet overflade, hvor den samlede omkreds kan hentes. Hver linje i omkredsen bliver samlet til én linje via *PolyCurve.ByJoinedCurves*. Herefter bliver der genereret en overflade ud fra linjerne, hvorfra arealet kan hentes (Linje 1-7, Figur 46). Omkredsen af dette areal flugter indersiden af ydervæggene jf. beregningsreglerne i DS418. Det betyder, at hvis terrændækket eksempelvis er tegnet med ud i falsen ved vinduespartier til gulv, bliver dette areal ikke medregnet. Arealet konverteres fra mm^2 til m^2 , som er det input Be18 kræver. Ved linje 9-14, Figur 46 bliver tallet konverteret til en string, som skal bruges til XML-strukturen senere. Afslutningsvis bliver der genereret en Be18-inputliste. Den brugerdefinerede U-værdi for terrændækket forklares nærmere i afsnit 8.8.



Figur 46 Script til beregning af terrændækkets areal. Areal markeret med blå = terrændæk. Yderste sorte linje = ydervæggens yderside.

Transmissionsarealet for taget er undladt i dette afsnit, da fremgangsmåden er den samme som for gulvet. Scriptet til beregning heraf kan findes i appendiks A.

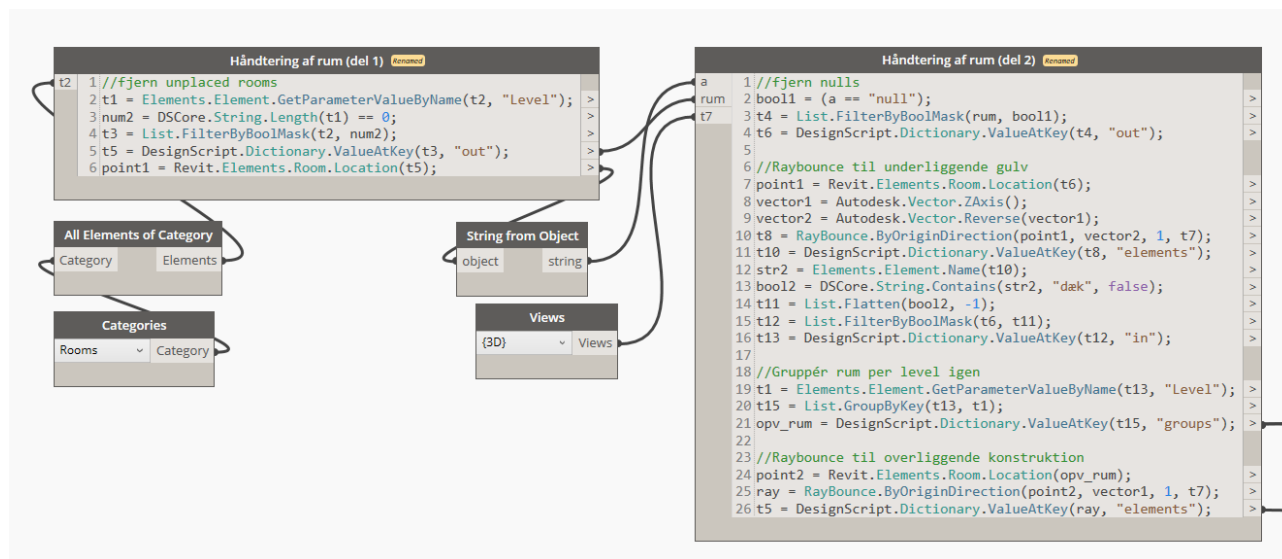
Transmissionsarealet for ydervægge bestemmes af væggenes yderside jf. DS418, og nærværende løsning tager derfor udgangspunkt i et overfladebaseret udtræk. Denne arbejdsgang og beregningsmetode kan opdeles i fire respektive dele, som er illustreret i Figur 47.



Figur 47 Workflow/arbejdsgang til opmåling af facadeareal

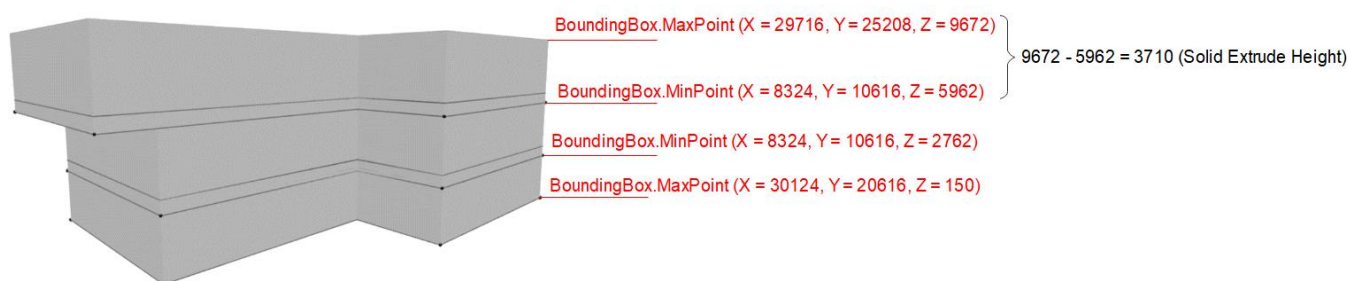
For at kunne udtrække de relevante overflader af bygningens ydervægge, oversættes bygningens ydre geometri til en solid masse, der er opdelt vertikalt svarende til bygningens etager. Denne masse skal kun

afspejle de transmissionsarealer, som er direkte forbundet til et opvarmet rum, og derfor tager løsningen udgangspunkt i bygningens rum. Ved hver rumlokation i bygningen benyttes noden "RayBounce.ByOriginDirection" i negativ z-retning til at identificere det underliggende dæk, hvorefter rummene bliver filtreret til at kun indeholde de opvarmede rum. Filtringen sørger først og fremmest for, at "unplaced rooms" og "Nulls" bliver fjernet, hvorefter de opvarmede rum kan lokaliseres med RayBounce og grupperes efter etage (Figur 48)



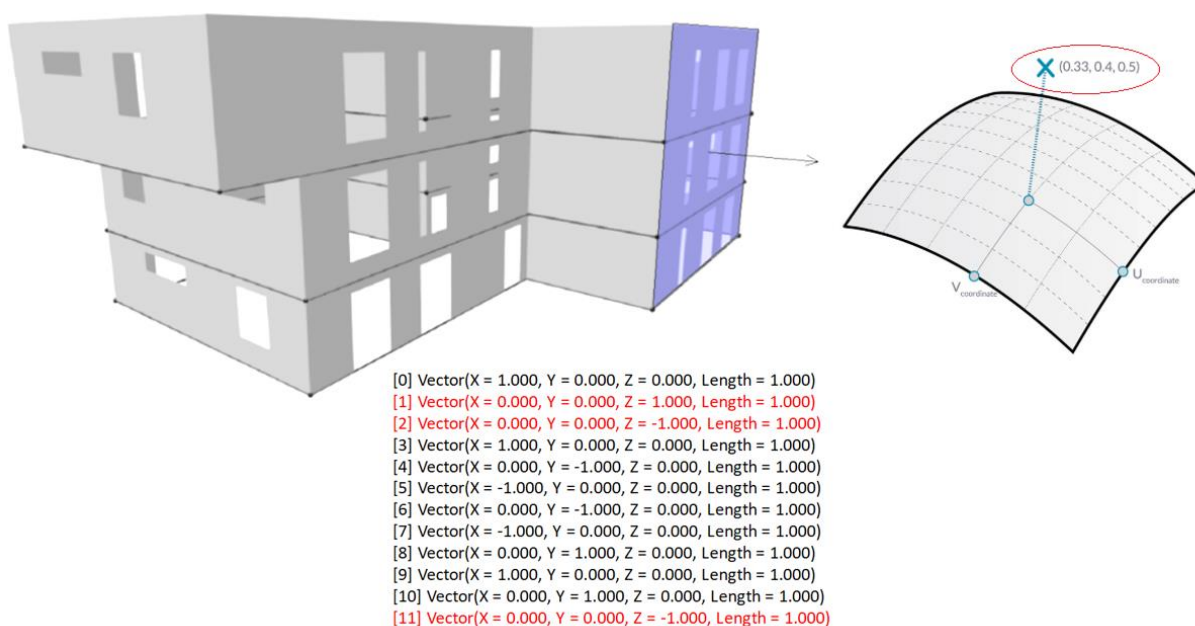
Figur 48 Håndtering af opvarmede rum ved beregning af facadeareal

Ved brug af RayBounceByOriginDirection bliver dækkenes "BoundingBox" samtidig oplyst, som indeholder den Z-værdi, der skal bruges til at dele masserne op i etager. Opdelingen fungerer ved at ekstrudere en solid masse fra etagens z-punkt til næste etages z-punkt, se Figur 49. Ved nederste dæk (I dette tilfælde terrændæk) benyttes noden *BoundingBox.MaxPoint* til at få oversiden af færdigt gulv jf. DS418. Ved øverste opvarmede rum benyttes noden *BoundingBox.MaxPoint* til at få oversiden af øverste varmeisolering jf. DS418. Ekstruderingen sker med udgangspunkt i rummenes samlede omkreds jf. Figur 49.



Figur 49 Ekstrudering af masser per etage til beregning af facadeareal

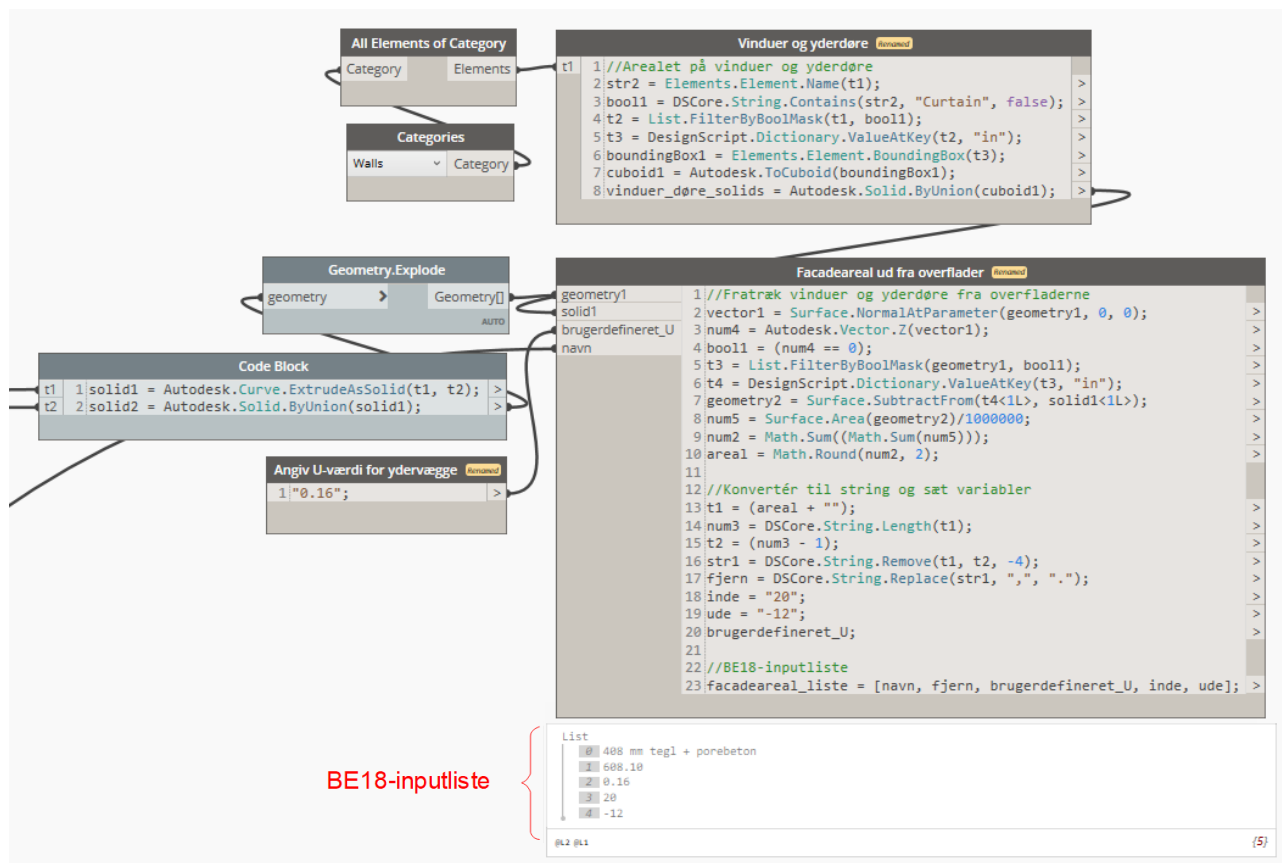
Når de relevante solide masser er fundet, skal denne geometri splittes op i overflader, da transmissionsarealet beregnes ved ydervæggens yderside. Overflader indeholder i matematisk forstand en normalvektor og et tangentplan, som kan bruges til at manipulere dataene i BIM-modellen til det nødvendige output, se til højre i Figur 50. Hver overflade på bygningens klimaskærm indeholder denne normalvektor, som er vinkelret på overfladen.



Figur 50 Visualisering af vektor-pile til sortering af overflader (Til venstre = Bygningens facader visualiseret, til højre = princip for vektor og tangentplan, nederst = top- og bundoverflader markeret med rødt)

Normalvektorerne kan aflæses ved at bruge noden "Surface.NormalAtParameter", som outputter en vinkelret vektor ud fra hver overflade. Herefter kan vektorerne filtreres ud fra deres orientering, hvor top- og bundoverfladen bliver frasorteres (markeret med rødt i Figur 50). Outputtet bliver således alle bygningens udvendige sider, som skal bruges til arealberegning af facaderne.

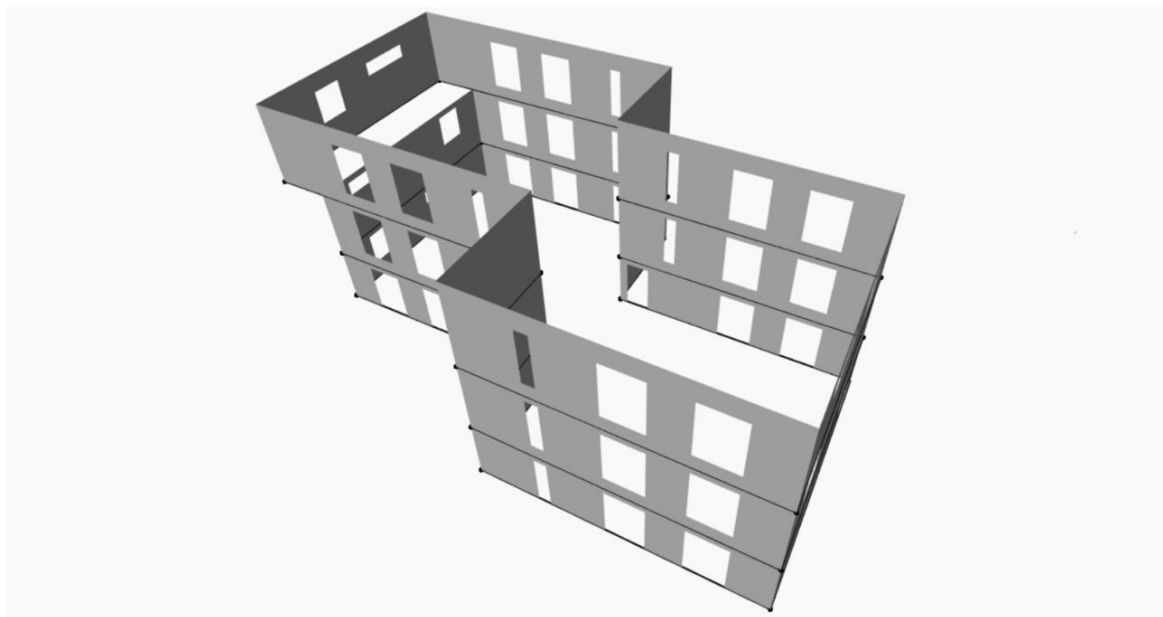
Vinduer og yderdøres areal hentes ved at benytte Elements.Element.BoundingBox igen, som konverteres til en Cuboid. Alle cuboids samles til en enkelt solid, som kan trækkes fra facadearealet via Surface.SubtractFrom, hvorefter det samlede facadeareal kan beregnes (linje 7-10, Figur 51).



Figur 51 Script til beregning af facadeareal gennem overflader

Til sidst i scriptet genereres en Be18-inputliste, som konverteres til string (linje 12-23, Figur 51).

Facadearealet kan visualiseres i Dynamo-miljøet, hvilket giver et godt overblik over, hvilke overflader der medregnes, se Figur 52.

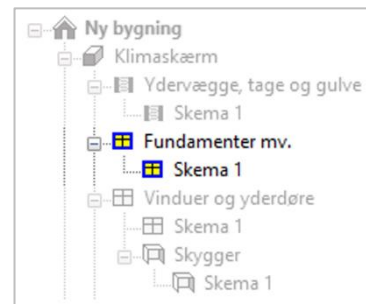


Figur 52 Overblik over facadearealet i Dynamo

8.3 Fundamenter og samlinger ved vinduer

Nærværende afsnit behandler kun automatisk opmåling af

kuldebroslængde. Linjetabet på hver enkelt bygningsdel er baseret på et brugerinput, hvoraf b-værdi og dimensionerende temperatur er tildelt standardværdier.



Figur 53 Overblik over Be18-inputdata (Afsnit: "Fundamenter og samlinger ved vinduer")

8.3.1 Kuldebroslængde ved vinduer og yderdøre

Kuldebroslængde ved vinduer og yderdøre i projektet deles op i to dele:

Samlinger omkring vinduer og yderdøre og samlinger omkring vinduer og

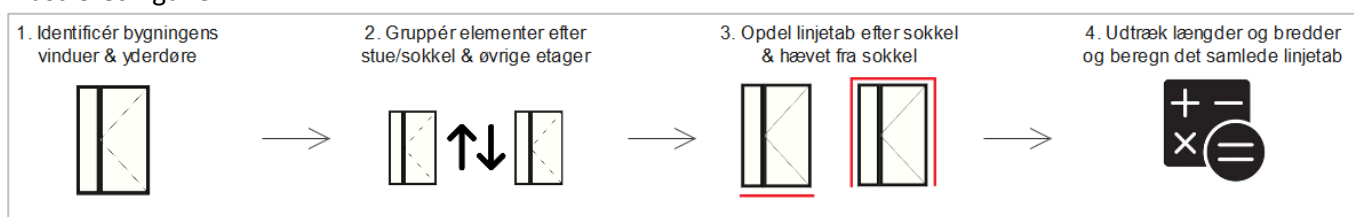
yderdøre til gulv/sokkel. Dette begrundet med, at der er væsentlig forskel på U-værdien på de to typer

samlinger jf. DS418. De eksakte U-værdier er jf. afsnit 7.1.3 betinget af konstruktionen og

materialeopbygningen på vinduerne eller yderdørene, hvorfor værdien baseres på et brugerinput.

Opmålingen af de to kuldebroslængder ud fra BIM-modellen kan opdeles i fire respektive dele, som er

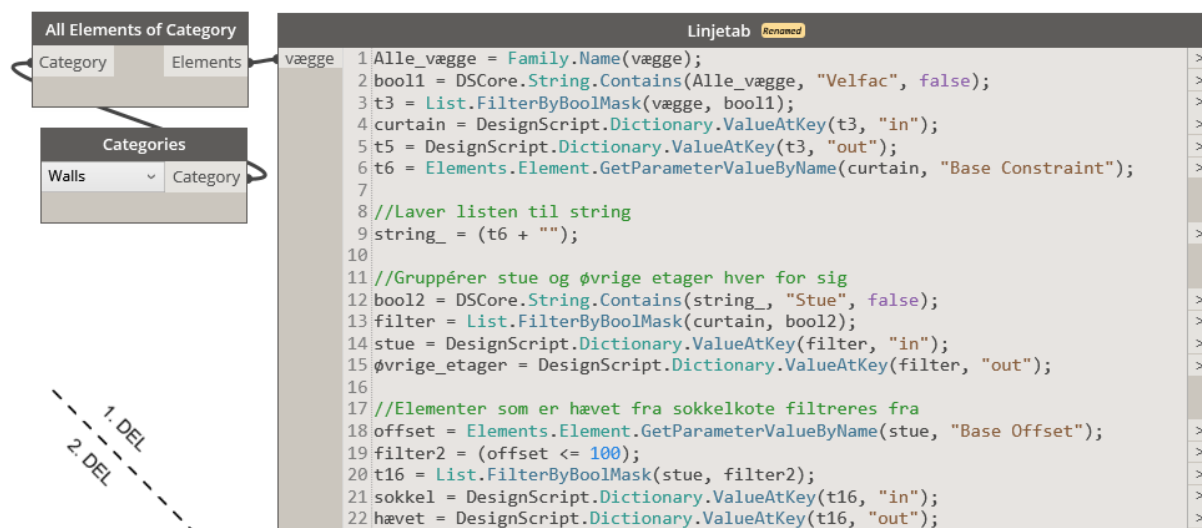
illustreret Figur 54:



Figur 54 Workflow/arbejdsgang for automatisk opmåling af kuldebroslængde

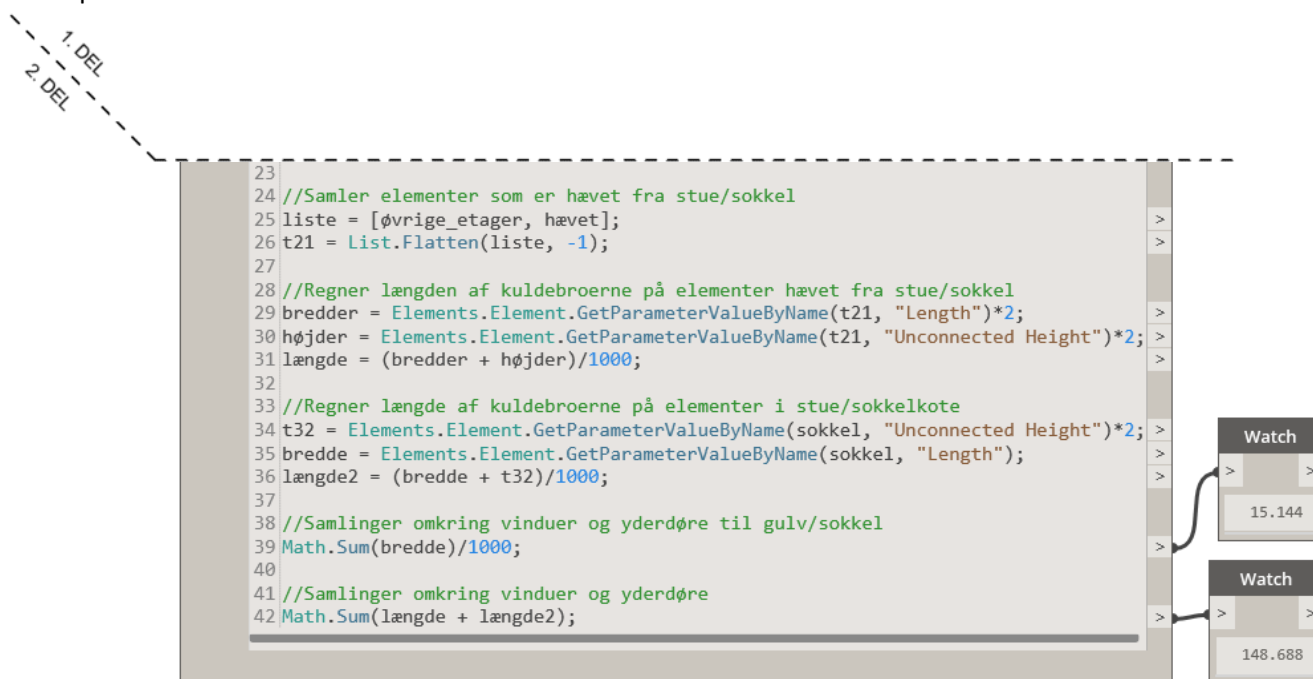
Dynamo-scriptet til beregning af kuldebroslængden forklares ud fra nedenstående codeblocks, hvor

Dynamos OOTB-nodes er komprimeret til designscript:



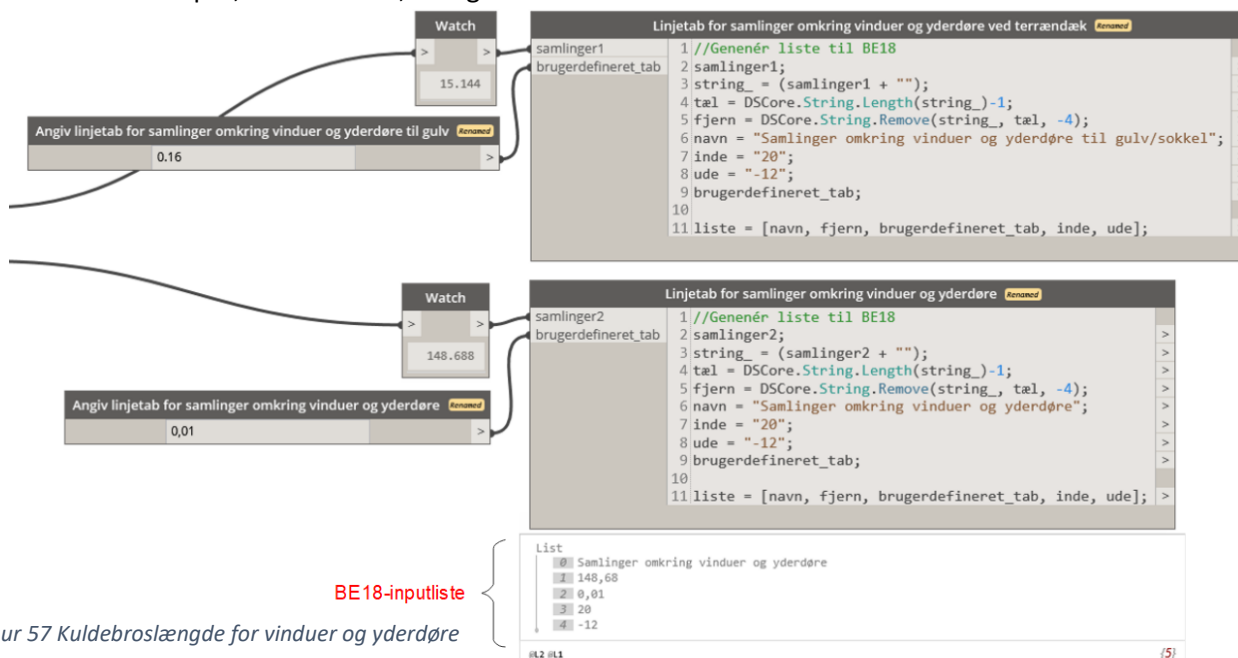
Figur 55 Kuldebroslængde ved vinduer og yderdøre (del 1)

Ved første del af scriptet (Linje 1-6, Figur 55) bliver BIM-modellens curtain walls identificeret, da de udgør vinduer og yderdøre i projektet. Alle curtain walls ved terrændæk bliver grupperet (linje 12-15, Figur 55) og underopdelt i elementer, som er hostet til stuen/terrændæk, og elementer som er offsat fra stue/terrændæk (linje 18-22, Figur 55). Dette gør, at man kan beregne fuld kuldebroslængde (alle fire sider) af de elementer, som er hævet fra soklen, mens der beregnes én side (én bredde) for elementer, der står på terrændækket.



Figur 56 Linjetab ved vinduer og yderdøre (Del 2)

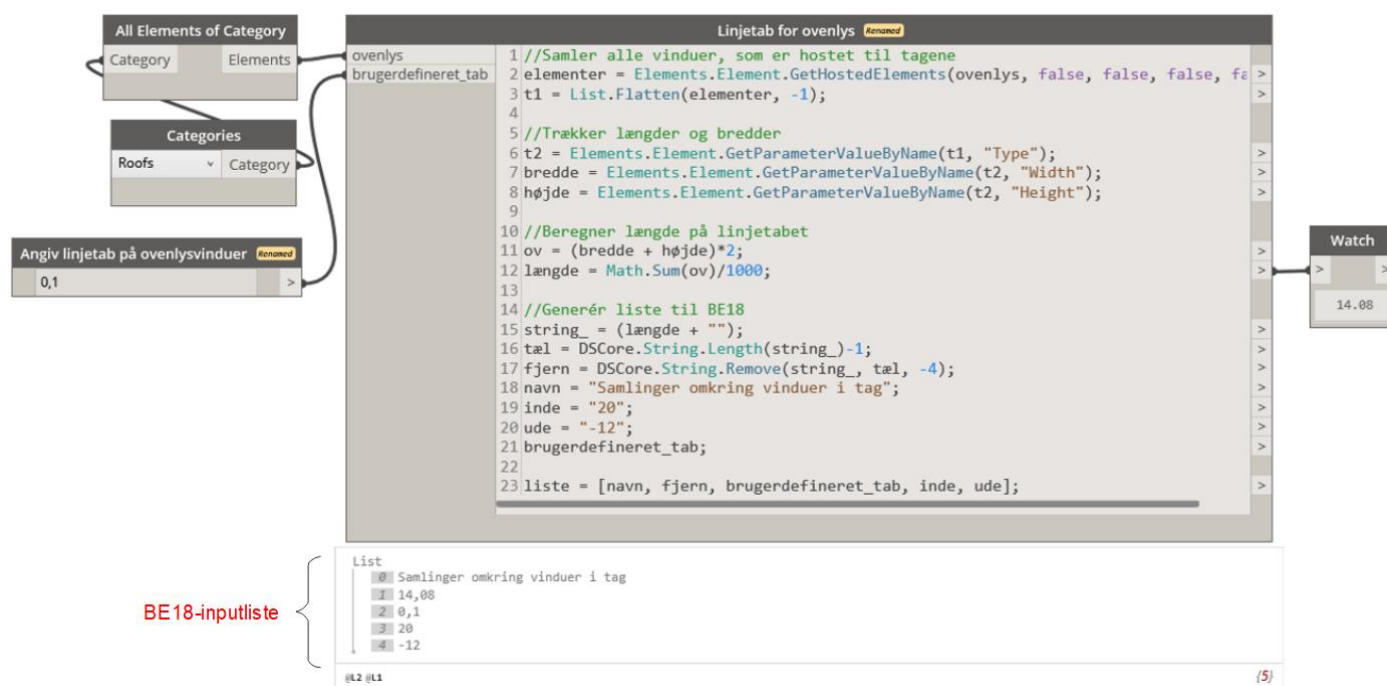
I anden del af scriptet (Figur 56) bliver der lavet en liste over alle elementer med fuld kuldebroslængde (linje 25-26, Figur 56), så længderne derefter kan beregnes for de respektive grupper (linje 29-31 og 34-36, Figur 56). Til sidst i scriptet (linje 39 og 42, Figur 56) bliver kuldebroslængderne samlet og konverteret fra mm til meter, som er det input, Be18 kræver. Inden dataene bliver formateret til XML-data, laves der en liste over de input, Be18 kræver, se Figur 57.



Figur 57 Kuldebroslængde for vinduer og yderdøre

Det er vigtigt, at alle dataene, inklusive tal, bliver konverteret til strings, således at Be18 filen kan oprettes og fungere. I en codeblock kan dette gøres ved at sammenlægge tallet med en tom string (linje 3, Figur 57). Når tal bliver konverteret til strings i Dynamo, bliver der ofte sat tre ekstra nuller bagpå. For at modvirke det, bliver "ordets" længde talt, hvorefter de overflødige nuller bliver fjernet igen (linje 4-5, Figur 57).

For ovenlysvinduer tages der udgangspunkt i bygningens tag og deri hostede elementer ved brug af *Element.GetHostedElements*. Scriptet trækker de relevante længder og bredder af vindueshullets omkreds og summerer disse. Outputtet bliver en liste med de input, som Be18 kræver. Se Figur 58.

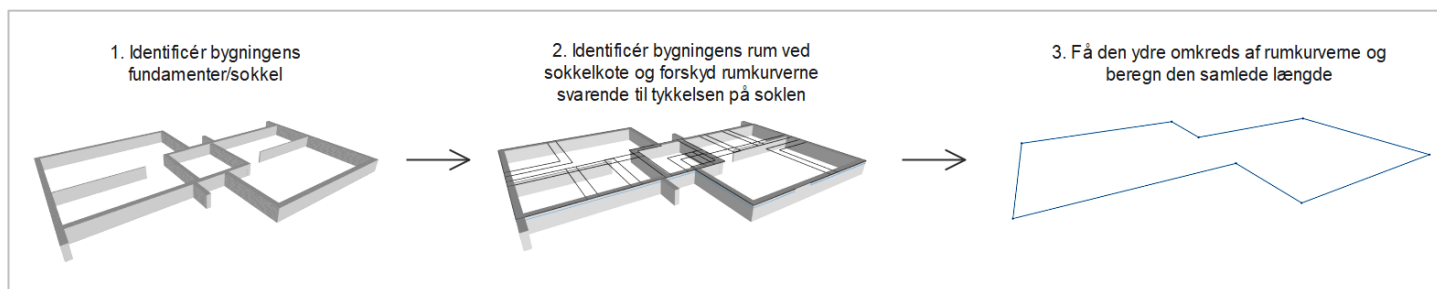


Figur 58 Kuldebroslængde for ovenlysvinduer

8.3.2 Kuldebroslængde ved ydervægsfundament

Kuldebroslængden ved ydervægsfundamentene måles ved ydersiden af fundamentet jf. DS418.

Opmålingen heraf tager udgangspunkt i bygningens opvarmede rum ved terrændækket, som værende det styrende element i forhold til at lokalisere ydersiden af fundamentet. Opmåling af kuldebroslængden ud fra BIM-modellen kan opdeles i tre respektive dele jf. Figur 59.



Figur 59 Workflow/arbejdsgang til opmåling af linjetab for ydervægsfundamenter

Rummene ved terrændæk identificeres med *Get Rooms By Level* fra Archilab-package. Den ydre omkreds af rummene fås ved at generere en polycurve, som bliver forskudt svarende til tykkelsen på fundamentet (linje 9, Figur 60). Tykkelsen på fundamentet kan hentes via et Python-script, som tilgår "Width"-parameteret. For at det kan lade sig gøre, skal væggene "Unwrappes" i Python, for at kunne tilgå elementerne direkte gennem Revit's API.

Linjetab ved ydervægsfundamenter

```

1 //Omkreds af alle rum
2 curve1 = Revit.Elements.Room.FinishBoundary(t3);
3 polyCurve1 = PolyCurve.ByJoinedCurves(curve1, 0.001);
4 t2 = (t4 * 1000);
5 t5 = List.UniqueItems(t2);
6 tykkelse = List.GetItemAtIndex(t5, 0);
7
8 //Forskyd rumkurverne svarende til tykkelsen på fundament
9 curve2 = Autodesk.Curve.Offset(polyCurve1, tykkelse);
10 surface1 = Surface.ByPatch(curve2);
11 t7 = List.Flatten(surface1, -1);
12
13 //Samler alle overfladerne til én solid
14 solid1 = Surface.Thicken(t7, tykkelse, true);
15 solid2 = Autodesk.Solid.ByUnion(solid1);
16
17 //Konverterer solid til én overflade
18 plane1 = Autodesk.Plane.XY();
19 geometry1 = Autodesk.Geometry.Intersect(solid2, plane1);
20
21 //Omkredsen af overfladen
22 curve3 = Surface.PerimeterCurves(geometry1);
23 polyCurve2 = PolyCurve.ByJoinedCurves(curve3, 0.001);
24 num3 = Autodesk.Curve.Length(polyCurve2);
25
26 //Beregner og summerer
27 samlet_længde = (num3 / 1000);
28 længde1 = Math.Round(samlet_længde, 2);
29 længde2 = Math.Sum(længde1);
30
31 //Fratræk linjetab for vinduer/yderdøre ved terrændæk
32 længde3 = (længde2 - sokkel_Elementer);
33
34 //Generér liste til BE18
35 string_ = (længde3 + "");
36 tæl = DSCore.String.Length(string_) - 1;
37 fjern = DSCore.String.Remove(string_, tæl, -4);
38 navn = "Linjetab ved ydervægsfundamenter";
39 inde = "20";
40 ude = "-12";
41 brugerdefineret_tab;
42
43 liste = [navn, fjern, brugerdefineret_tab, inde, ude];

```

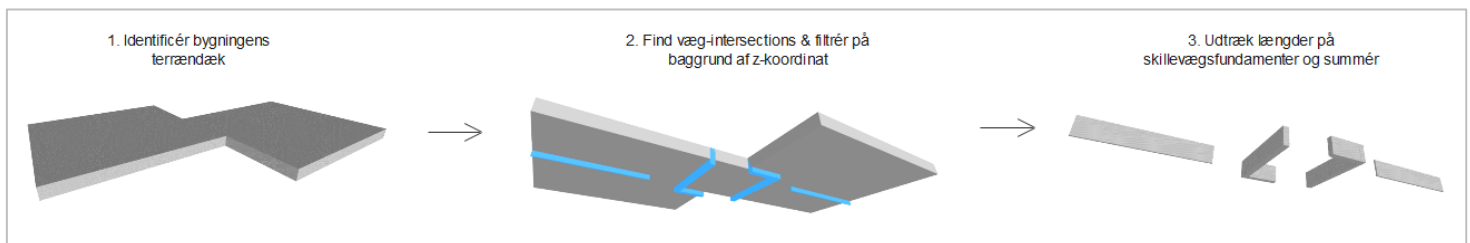
BE18-inputliste

Index	Value
0	Linjetab ved ydervægsfundamenter
1	59,54
2	0,11
3	20
4	-12

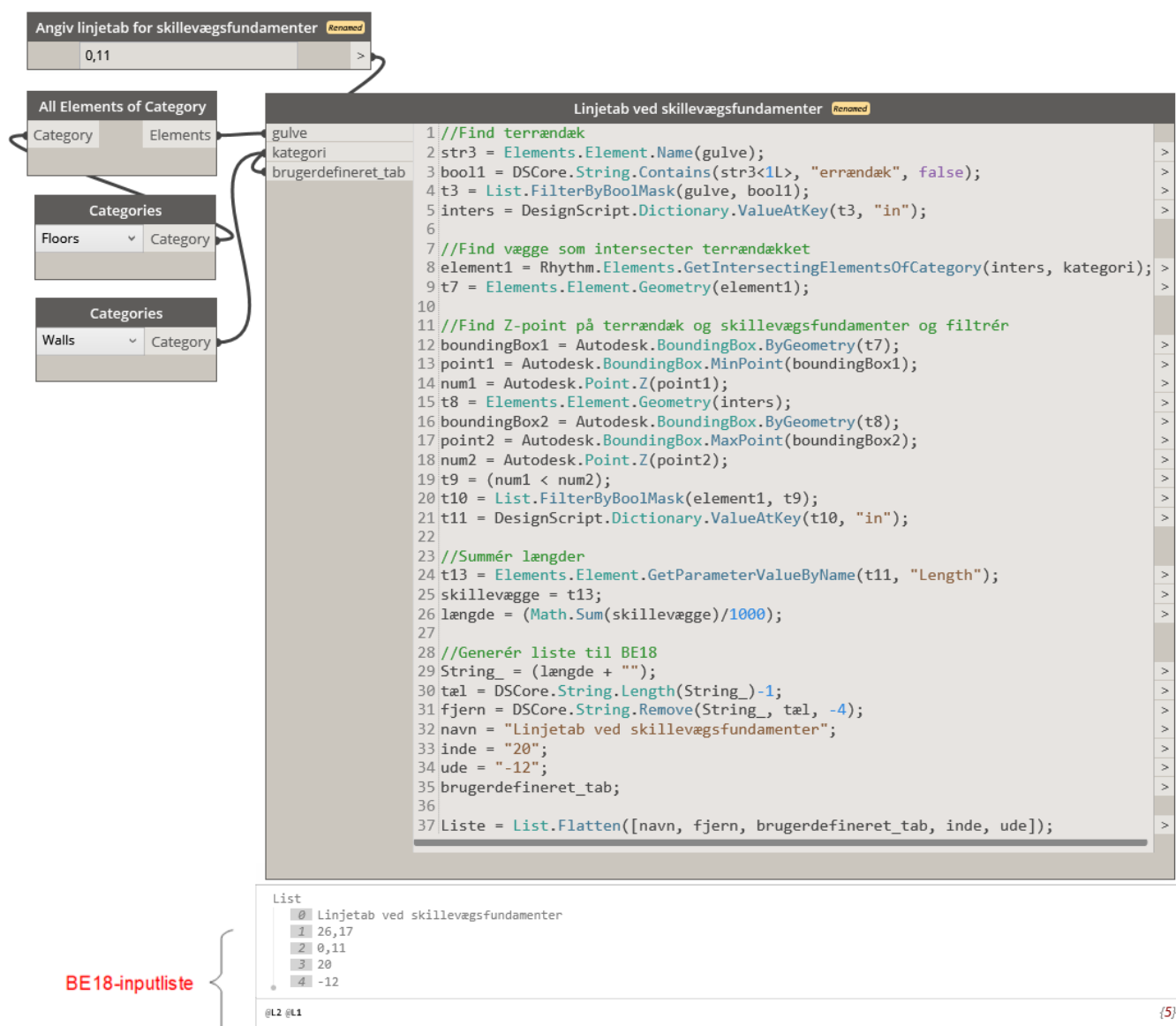
Figur 60 Script til beregning af kuldebroer ved ydervægsfundamenter

Herefter bliver rumkurverne konverteret til overflader i Dynamo, som derefter kan "merges" sammen til en samlet overflade (linje 10-19, Figur 60). Omkredsen af denne overflade er den samlede længde på ydervægsfundamentets yderside og kan hentes ved `Surface.PerimeterCurves`, hvor længderne bliver summeret (linje 22-29, Figur 60). Ved forrige script (Figur 57) blev længden af samlingerne ved vinduer og yderdøre ved terrændæk fundet. Denne længde skal fratrækkes længden af ydervægsfundamentet (linje 32, Figur 60), da kuldebroslængden ellers vil blive regnet med to gange. Til sidst i scriptet (linje 35-41, Figur 60) bliver Be18-inputlisten generet, som igen bliver konverteret til string, som er nødvendigt for XML-strukturen.

Kuldebroslængden for skillevægsfundamenter, der gennembryder terrændækket, skal medtages i transmissionstabsberegningen jf. DS418. Derfor tager nærværende løsning udgangspunkt i en intersection-metode i Dynamo. Opmålingen af skillevægsfundamenter kan opdeles i tre, respektive dele jf. Figur 61:



Figur 61 Workflow/arbejdsgang for linjetab ved skillevægsfundamenter

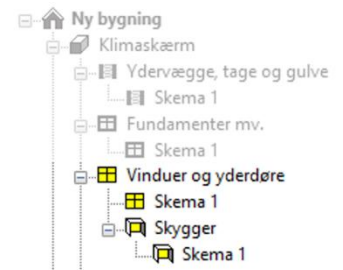


Figur 62 Kuldebrosrængde ved skillevægsgfundamenter

Når terrændækket er identificeret, benyttes `Elements.GetIntersectingElementsOfCategory` fra `Rhythm-` package (linje 8-9, Figur 62), hvor alle wall-intersections bliver fundet. For at sikre at filtreringen bliver mere præcis, benyttes elementernes Z-koordinater. Herfra bliver terrændækkets boundingbox fundet, hvor den laveste Z-koordinat kan udledes. Ved filtreringen bliver alle wall-intersections, som ligger over dette z-punkt, filtreret fra, hvilket gør, at man får alle skillevægsgfundamenter i jord identificeret (linje 12-21, Figur 62). Fundamenternes længde beregnes ved at udlede Revit's build in længde-parametre, da denne måles ud fra center-wall, uanset hvilken location-line, væggene er tegnet med (linje 24-26, Figur 62). Til sidst i scriptet genereres en inputliste til Be18 (linje 29-37, Figur 62).

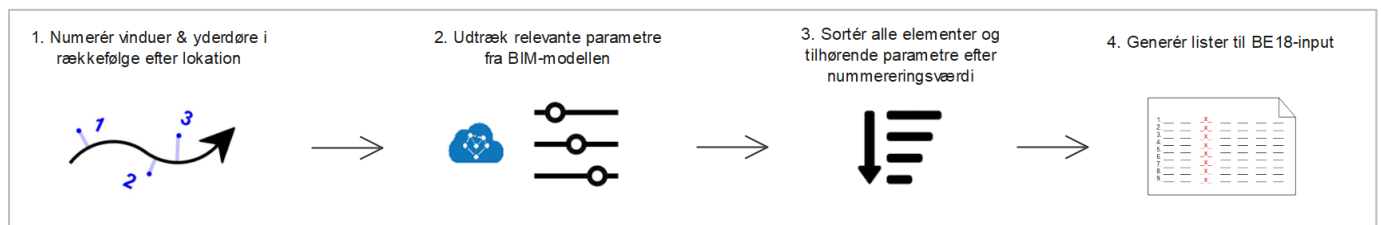
8.4 Vinduer og yderdøre

I afsnit 7.3 fremgår det, at der ofte mangler digital sammenkobling af arkitektmodellen og producentdata som eksempelvis et vinduesskema/tilbud. Struktur i vinduesdata og kodning er en forudsætning for at kunne holde styr på projektets elementer, hvorfor nærværende løsning adresserer dette med en automatisk nummerering samt udtræk af data. Nummereringen skal sørge for, at elementer kommer ind i en logisk struktur i Be18, samt at elementerne kan lokaliseres i modellen igen i tilfælde af ændringer.



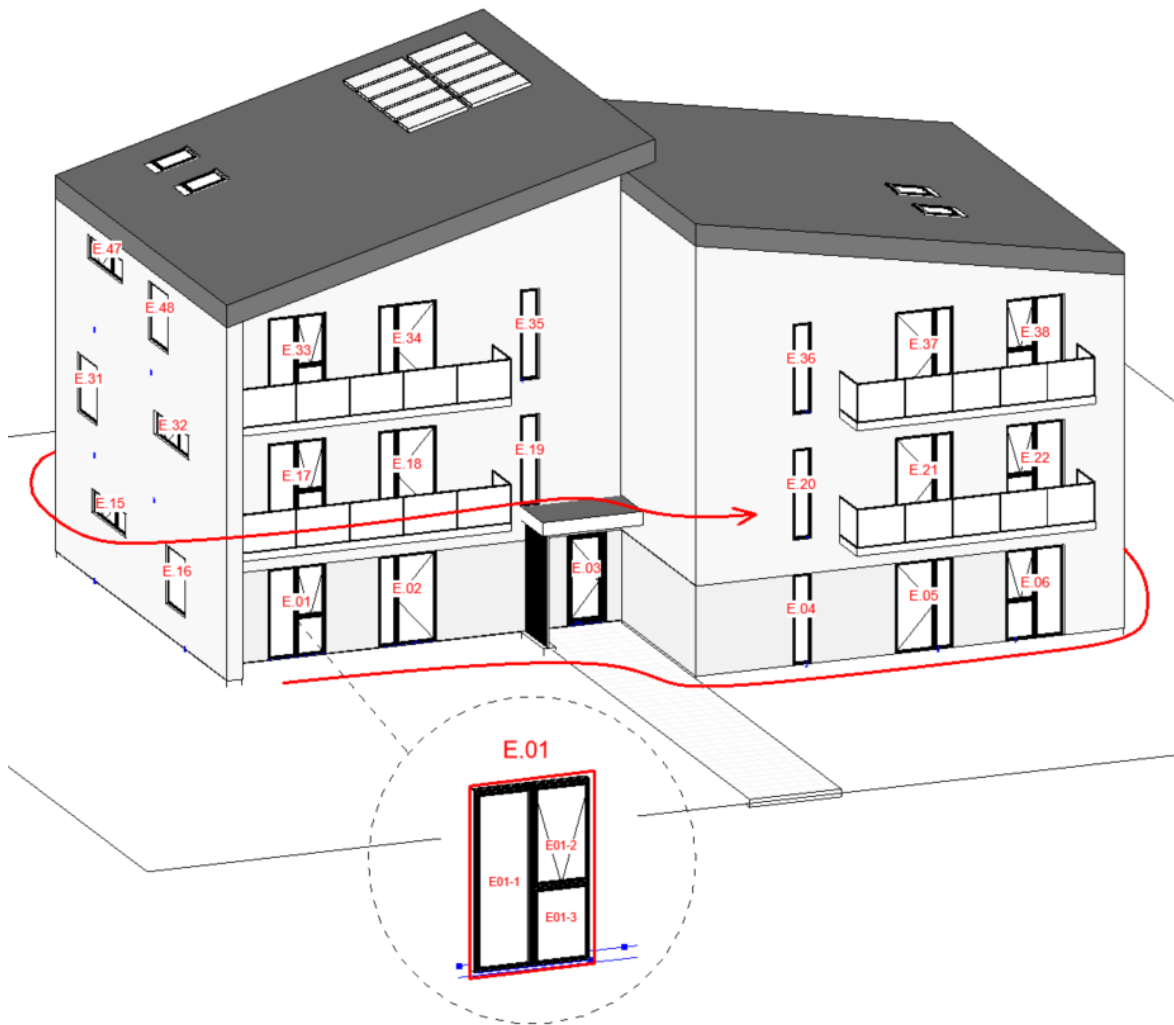
Figur 63 Overblik over Be18-inputdata (Afsnit: "Vinduer & yderdøre")

Workflowet/arbejdsgangen kan inddeles i fire, respektive dele, se Figur 64.



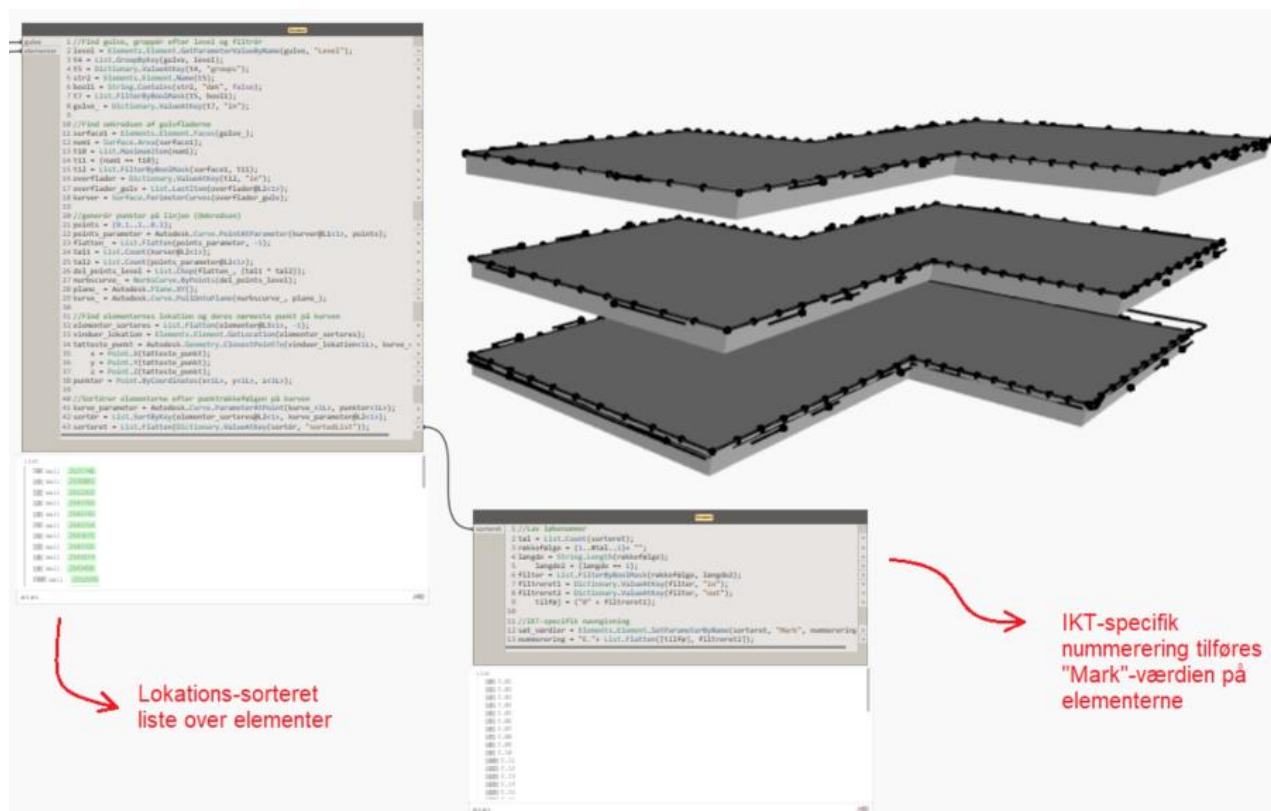
Figur 64 Workflow/arbejdsgang i beregning af vinduer og yderdøre

Vinduer og yderdøre nummereres efter et lokationsprincip, der er baseret på en logisk rækkefølge. Rækkefølgen på nummereringen bestemmes af en kurve, som følger gulvenes omkreds i bygningen. Dvs. at nummeringen sker fortløbende per etageniveau, startende fra nederste etage. Nummereringsprincippet kan ses i Figur 65.



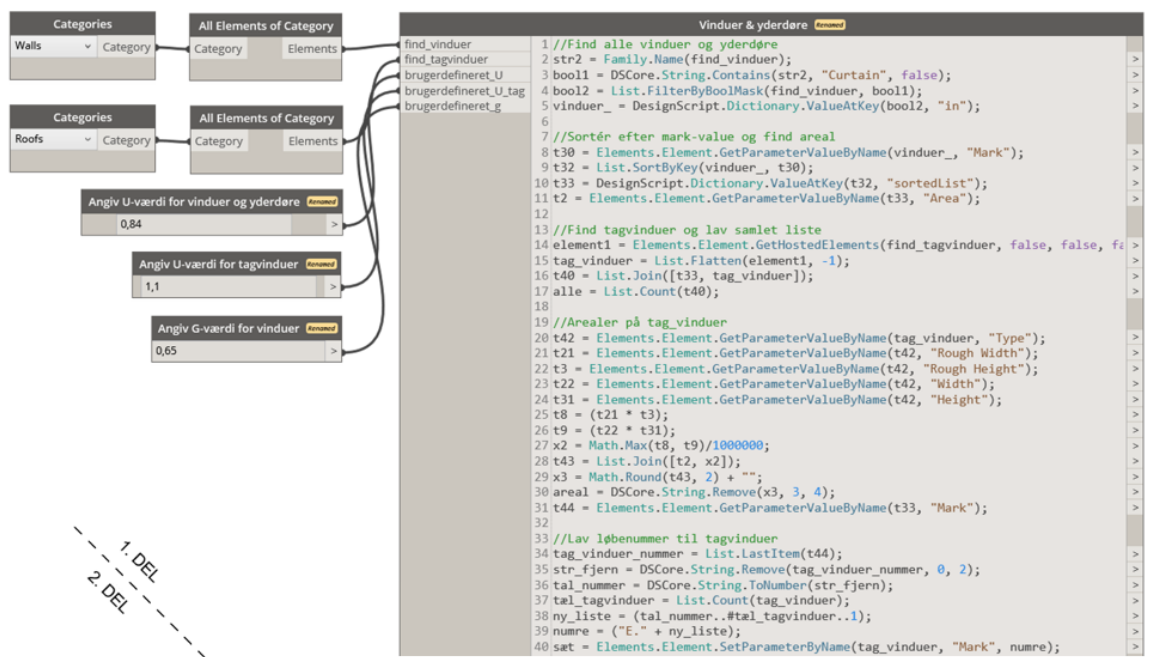
Figur 65 Nummereringsprincip for vinduer og yderdøre

I ovenstående eksempel (Figur 65) nummereres der med "E.01" på de samlede partier (Curtainwalls), hvor underpartierne (vinduer og døre) inde i curtainwallen bliver nummereret hierarkisk efter partiet, dvs. "E.01-1" osv. Selve nummereringen er valgfrit og kan tilpasses IKT-specifikationen på projektet. På Figur 66 ses et udsnit af Dynamo-scriptet, hvor der bliver genereret kurver og punkter langs gulvenes omkreds, som bliver bestemmende for rækkefølgen på nummereringen. Det samlede script kan findes i appendiks B.



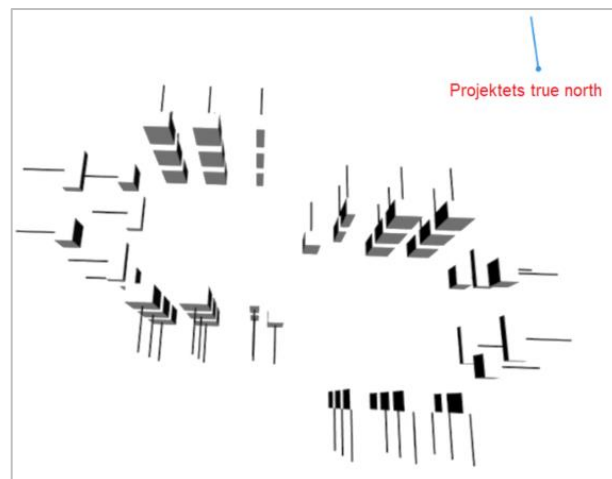
Figur 66 Udsnit af Dynamo-script til at lokations-sortere elementer efter gulvenes omkreds

Når vinduerne og dørene er nummereret med en fortløbende "mark"-værdi, kan vinduerne efterfølgende blive sorteret herefter, hvorefter de relevante arealer til Be18 kan udtrækkes (Linje 1-31 Figur 67). Ved tagvinduer benyttes en maxværdi af enten "Rough Width" eller "Width" samt "Rough Height" eller "Height" for at gøre scriptet mere fleksibelt i forhold til at kunne regne det største areal.



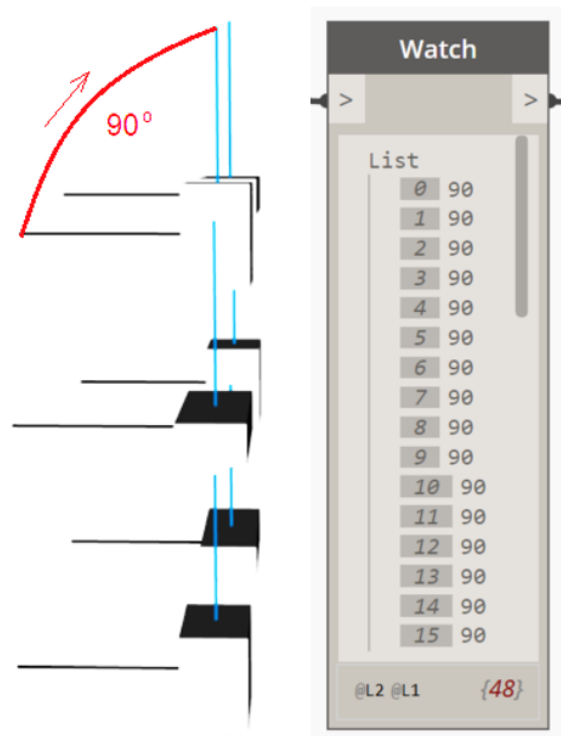
Figur 67 Script til vinduer og yderdøre (Del 1)

Orientering på elementerne måles i gradorientering i forhold til projektets true north, se Figur 68. Dette automatiseres ved at benytte Walls.Direction fra Rhythm package, som giver elementernes facingvector. Facingvectoren er en "pil", der går vinkelret fra vinduets normalplan og kan derfor bruges til at regne gradorientering i forhold til nord (linje 46-57). I scriptet benyttes *AngleAboutAxis* til at beregne graderne mellem de to vektorer i spændet [0, 360] grader. Dette er muligt, pga. at noden bruger en akse, i dette tilfælde Z-aksen, til at bestemme vinklen.



Figur 68 Vektorpile fra vinduer og yderdøre (sort) & projektets nordpil (blå)

Hældning på disse elementer er endnu et input i Be18. I scriptet benyttes samme facingvector fra elementernes orientering, som giver elementets vandrette plan. Fra det vandrette plan måles vinklen til lodret, som giver hældningen i grader. Se Figur 69. Det lodrette plan findes ved at benytte en normalvektor ud fra XY-planet. Scriptet til at beregne hældning kan ses på linje 59-76 Figur 70. Ved tagvinduer benyttes Dynamos OOTB-node *FamilyInstance.FacingOrientation*, som giver en vektor parallelt med vinduets plan. Herfra regnes vinklen til lodret igen, hvorefter der trækkes 90 grader fra regnestykket. Det betyder, at tagvindues hældning bliver lig med tagets hældning – f.eks. vil et vindue placeret på et fladt tag få hældningen 0 grader (90-90).



Figur 69 Elementernes hældning beregnet ud fra vektorer (Set fra siden)

1. DEL
2. DEL

```
41  
42 //nummereringsliste til elementerne  
43 navne = List.Join([t44, numre]);  
44 antal = List.OfRepeatedItem(1, alle);  
45  
46 //Find orientering på vinduer & yderdøre  
47 t47 = Rhythm.Walls.Direction(t33);  
48 t49 = DesignScript.Dictionary.ValueAtKey(t47, "facingVector");  
49 vector2 = Autodesk.Vector.ZAxis();  
50 r1 = 180 - Coordinates.ProjectRotation();  
51 vector3 = Autodesk.Vector.Rotate(t49, vector2, r1);  
52 vector4 = Autodesk.Vector.YAxis();  
53 vector5 = Autodesk.Vector.Reverse(vector4);  
54 vector6 = Autodesk.Vector.ZAxis();  
55 num15 = Autodesk.Vector.AngleAboutAxis(vector3, vector5, vector6) + "";  
56 num2 = DSCore.String.Length(num15)-7;  
57 orientering = DSCore.String.Remove(num15,num2, 7);  
58  
59 //Hældning på vinduer  
60 t35 = Rhythm.Walls.Direction(t33);  
61 t37 = DesignScript.Dictionary.ValueAtKey(t35, "facingVector");  
62 plane1 = Autodesk.Plane.XY();  
63 vector1 = Autodesk.Plane.Normal(plane1);  
64 r = Autodesk.Vector.AngleWithVector(t37, vector1);  
65  
66 //Hældning på tagvinduer  
67 vector7 = Revit.FamilyInstance.FacingOrientation(tag_vinduer);  
68 plane2 = Autodesk.Plane.XY();  
69 vector8 = Autodesk.Plane.Normal(plane2);  
70 num17 = Autodesk.Vector.AngleWithVector(vector7, vector8)-90;  
71 r2 = Math.Round(num17);  
72  
73 //Samlet liste med hældninger  
74 t50 = List.Join([r, r2]) + "";  
75 str33 = DSCore.String.Remove(t50, 3, 6);  
76 hældning = archilab.Strings.Replace(str33, ",", "");
```

2. DEL
3. DEL

Figur 70 Script til vinduer & yderdøre (del 2)

Parametre som U-værdi og G-værdi er brugerdefinerede inputs, som tilføjes til vinduerne, efter brugeren har indtastet en værdi. U-værdien for vinduer og tagvinduer er delt op i to, da der er væsentlig forskel på værdien herimellem. Fc-værdien angiver solafskærmingsfaktoren og har betydning for overophedning af rum, som ikke er en del af transmissionstab, men den samlede energiramme. Værdien sættes derfor til 1, som betyder, at der ikke er solafskærmning. Ff-værdien angiver vinduerne og yderdørenes glasandel og sættes som standard til 0,6. Værdien ligger typisk mellem 0,5-0,8, men afhænger af vinduesproducentens beregning. Dette bliver behandlet yderligere i afsnit 8.5.

BE18-inputliste

```

77
78 //Liste med U-værdier
79 u = brugerdefineret_U;
80 num13 = List.Count(t33);
81 t52 = List.OfRepeatedItem(u, num13);
82 t53 = brugerdefineret_U_tag;
83 num14 = List.Count(tag_vinduer);
84 t54 = List.OfRepeatedItem(t53, num14);
85 U_værdier = List.Join([t52, t54]);
86
87 //Liste Ff-værdier, G-værdier, Fc-værdier, Inde- og ude temperatur,
88 t41 = List.OfRepeatedItem(0.6, alle) + "";
89 Ff_værdier = DSCore.String.Remove(t41, 3, 4);
90 g = brugerdefineret_g;
91 g_værdier = List.OfRepeatedItem(g, alle);
92 Fc_værdier = List.OfRepeatedItem(1, alle);
93 inde = List.OfRepeatedItem(20, alle);
94 ude = List.OfRepeatedItem(-12, alle);
95
96 liste = [navne, antal, orientering, hældning, areal,
97 U_værdier, Ff_værdier, g_værdier, Fc_værdier, inde, ude];
98 List.Transpose(liste);

```

List

- 0 List
 - 0 E.01
 - 1 1
 - 2 180
 - 3 90
 - 4 3,50
 - 5 0,84
 - 6 0,60
 - 7 0,65
 - 8 1
 - 9 20
 - 10 -12
- 1 List
 - 0 E.02
 - 1 1

@L3 @L2 @L1

{572}

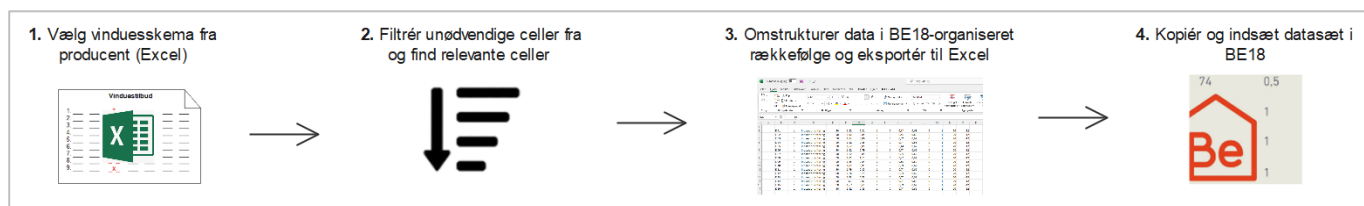
Figur 71 Script til vinduer & yderdøre (Del 3)

Til sidst i Figur 71 ses Be18-inputlisten, som genereres for hvert enkelt vindue og yderdør.

8.5 Datasæt fra producenter

Opdatering af energiberegninger kan være en tidskrævende proces, hvis producenter leverer et stort datasæt med mange forskellige værdier. Netop dette kan være tilfældet ved vinduesproducenter, hvor parametre som areal, u-værdi, glasandel og solvarmetransmittans kan variere fra vindue til vindue. For at imødekomme denne udfordring tager nærværende løsning udgangspunkt i producentens datastruktur og formaterer denne til Be18's inputstruktur. Således er det muligt at bekræfte det endelige transmissionstab for vinduer og yderdøre i projektet, når de nøjagtige værdier er indsat i beregningen.

Arbejdsgangen/workflowet for følgende script kan opdeles fire, respektive dele, se Figur 72:



Figur 72 Workflow/arbejdsgang i håndtering af vinduesskema fra producent

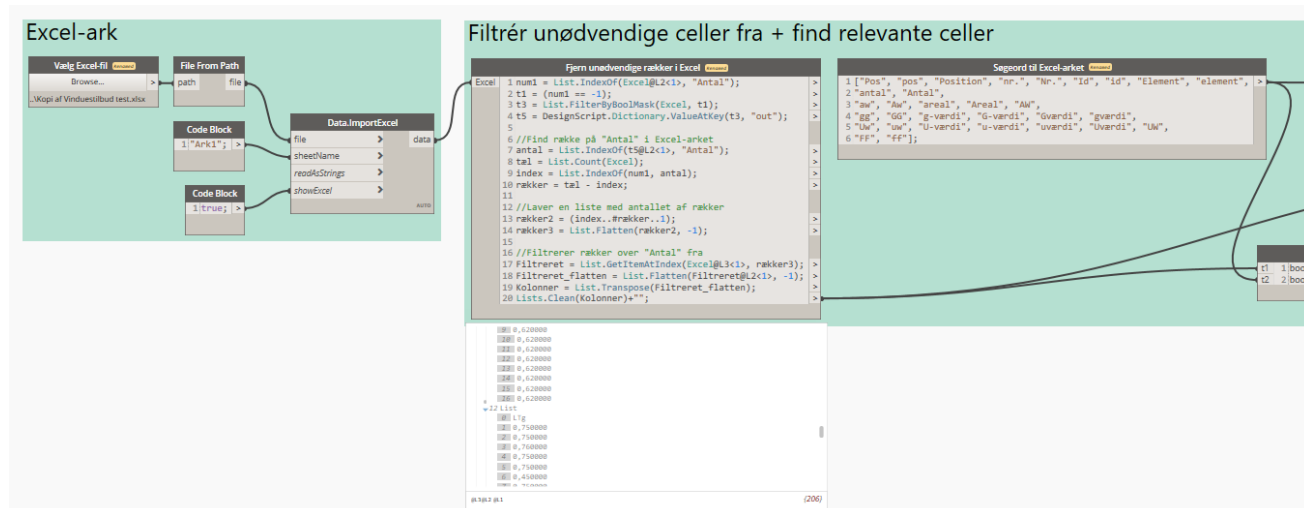
Excel-arket fra producenten består af en masse metadata, som ikke er nødvendige for beregning af transmissionstab. Kun dataene afgrænset med rød er relevante, se Figur 73.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2	Energioversigt																		Dato	25-10-2021	13:36	Side	1
3																							
4		Navn	Vedr: u-værdier kun_Kopi af 498789					Tilbud	475875		INT	JWA											
5																							
6		Pos	Tekest			Bredde	Højde		Antal	Aw	A total	gg	LTg		FF		Uw						
7		E.01	Vindue			1230	1480		1	1,82	1,82	0,63	0,75		0,84		0,81						
8		E.02	Vindue			1230	1480		1	1,82	1,82	0,62	0,75		0,54		0,85						
9		E.03	Vindue			1430	1280		1	1,84	1,82	0,62	0,76		0,74		0,86						
10		E.04	Vindue			1230	1480		1	1,82	1,82	0,66	0,75		0,74		0,85						
11		E.05	Vindue			1230	1480		1	1,62	1,82	0,62	0,75		0,64		0,85						
12		E.06	Vindue			1230	1480		1	1,82	1,82	0,62	0,45		0,74		0,79						
13		E.07	Vindue			1030	1480		1	1,72	1,82	0,62	0,75		0,74		0,85						
14		E.08	Vindue			1230	1480		1	1,82	1,82	0,62	0,75		0,44		1,11						
15		E.09	Vindue			1230	1480		1	1,85	1,82	0,62	0,75		0,68		0,84						
16		E.10	Vindue			1230	1480		1	1,82	1,82	0,62	0,75		0,74		0,91						
17		E.11	Vindue			1230	1480		1	1,79	1,82	0,62	0,75		0,74		0,85						
18		E.12	Vindue			1230	1480		1	1,76	1,82	0,62	0,75		0,74		0,79						
19		E.13	Vindue			1230	1480		1	1,73	1,82	0,62	0,75		0,74		0,73						
20		E.14	Vindue			930	1480		1	1,7	1,82	0,62	0,75		0,74		0,67						
21		E.15	Vindue			930	1580		1	1,67	1,82	0,62	0,75		0,74		0,61						
22		E.16	Vindue			1230	1480		1	1,82	1,82	0,62	0,75		0,74		0,85						
23									16		3,64						0,86						
24																							
25																							
26																							
27																							
28																							
29																							
30																							
31																							
32																							
33																							
34																							

Figur 73 Vinduesskema/tilbud fra producent i Excel

Filtreringsprocessen består i at lokalisere cellen med "Antal", som altid er repræsenteret i et vinduesskema. Dataen i Excel-arket bliver indlæst som rækker i Dynamo, og således kan man lokalisere indekset for cellen "Antal" og filtrere unødvendige rækker fra. I Figur 74 ses et udsnit af Dynamo-scriptet, hvor der fremgår en

liste med søgeord, som bruges til at identificere de relevante kolonner i Excel-arket, som skal bruges til Be18-input. Da navngivningen kan variere fra producent til producent, kan der opstilles et "bibliotek" for søgeordene, som gør løsningen mere fleksibel.



Figur 74 Udsnit af Dynamo-script til håndtering af Excel-data fra vinduesproducent (del 1)

Søgeordene gør det muligt at finde frem til alle de relevante datakolonner i Excel-arket. Ved hjælp af *List.Reorder* er det muligt at organisere datakolonnerne i den rækkefølge, som Be18 kræver, ud fra søgeordene (linje 15-18, Figur 75). Dataene i Excel-kolonnerne bliver således omstruktureret og kan trækkes ud enkeltvis via deres indeksering (linje 20-26, Figur 75).

Generér lister til BE18

```

1 antal_elementer = list;
2 index = Get.ValueAtIndex(antal_elementer, 0);
3 str2 = DSCore.Object.Type(index)+"";
4 num1 = DSCore.String.CountOccurrences(str2, "System.Double", false);
5 t5 = (num1 == 0);
6 //Tæller antal elementer med værdien = 1
7 num2 = List.CountTrue(t5@L2<1>);
8 chop_længde = num2;
9
10 //Fjerner gennemsnitsværdier fra Excel-arket
11 chop2 = List.Chop(list@L2<1>, chop_længde);
12 fjern_levels = List.GetItemAtIndex(chop2@L3<1>, 0);
13 parametre = List.FirstItem(fjern_levels@L2<1>);
14
15 //Organiserer ordene i den specificerede rækkefølge
16 first_index = List.FirstIndexOf(parametre, søgeord);
17 organiseret_ord = List.Reorder(fjern_levels, first_index)+"";
18 fjern_overskrifter = List.RestOfItems(organiseret_ord@L2<1>);
19
20 //Trækker værdierne ud i den organiserede rækkefølge
21 L1 = Get.ValueAtIndex(organiseret_ord, 0);
22 L2 = Get.ValueAtIndex(organiseret_ord, 1);
23 L3 = Get.ValueAtIndex(organiseret_ord, 2);
24 L4 = Get.ValueAtIndex(organiseret_ord, 3);
25 L5 = Get.ValueAtIndex(organiseret_ord, 4);
26 L6 = Get.ValueAtIndex(organiseret_ord, 5);
27
28 //Fjerner ekstra nuller
29 join = [L3, L5, L6, L4];
30 resten = List.RestOfItems(join@L2<1>);
31 tæl = DSCore.String.Length(resten)-1;
32 fjern = DSCore.String.Remove(resten, tæl, -4);
33 fjern2 = DSCore.String.Replace(fjern, ",", ".");
34 tilføj = List.AddItemToFront("0", fjern2@L2<1>);
35

```

Watch

- 5 E.06
- 6 E.07
- 7 E.08
- 8 E.09
- 9 E.10
- 10 E.11
- 11 E.12
- 12 E.13
- 13 E.14
- 14 E.15
- 15 E.16

↓ List

- 0 1,000000
- 1 1,000000
- 2 1,000000
- 3 1,000000

@L3 @L2 @L1 [96]

Figur 75 Udsnit af script til håndtering af excel-data fra vinduesproducent (del 2)

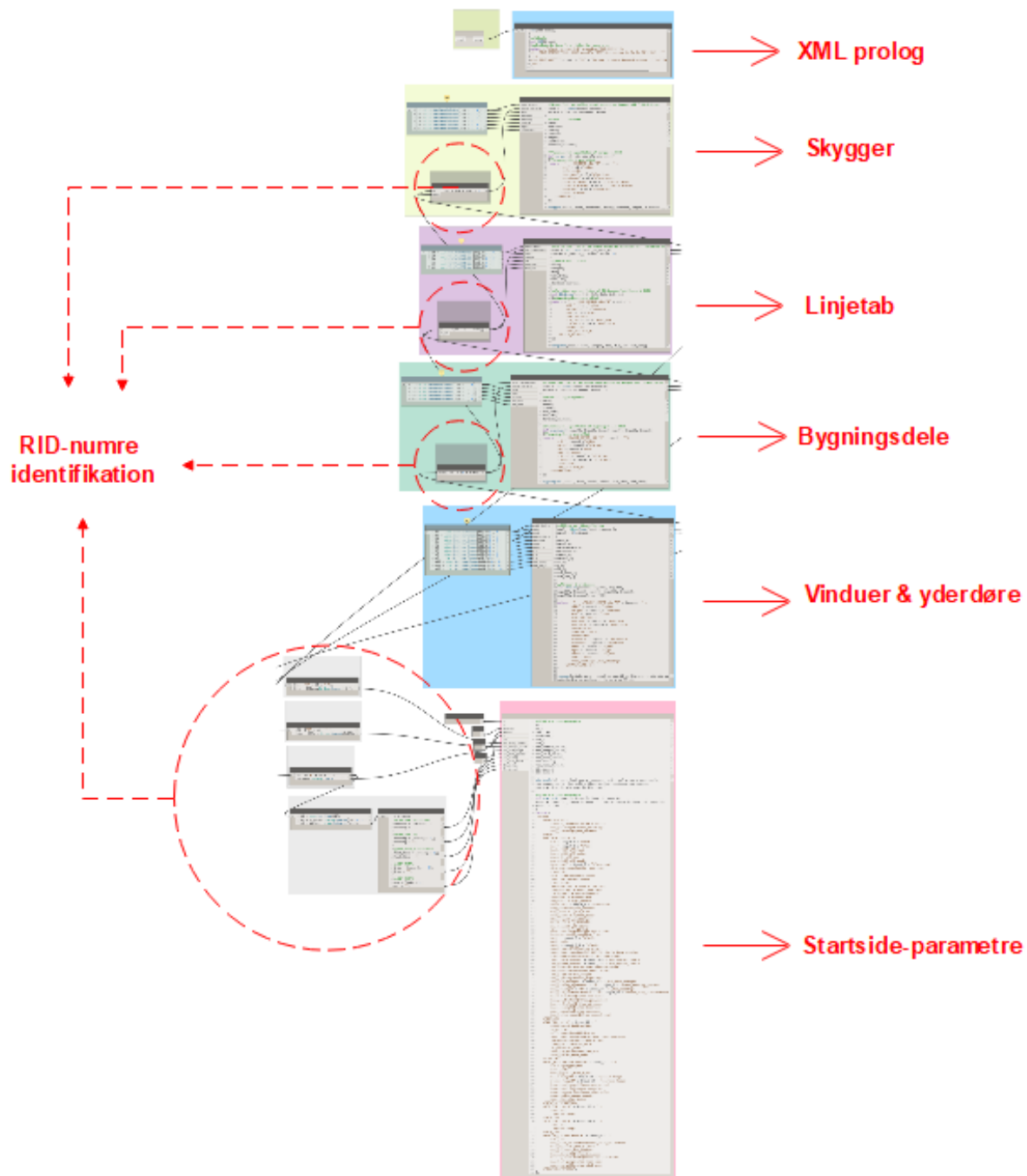
På Figur 76 ses dataene, som er eksporteret til Excel. De kolonner som indeholder værdien "0", afspejler beregningskolonnerne "Ht (W/K)" og "Tab (W)" i Be18. På den måde kan skemaet kopieres og indsættes direkte i Be18 ved at højreklikke og vælge "indsæt fra Clipboard" i den respektive fane med vinduer og yderdøre. Parameteret "Orientering" er ikke noget, som producenterne behandler og leverer med vinduesskemaet, hvorfor brugerne selv må udfylde felterne manuelt eller kopiere orienteringerne fra den automatiske beregning.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		E.01	1	indsæt orientering	90	1,82	0,81	1	0	0,84	0,63	0	1	20	-12	
3		E.02	1	indsæt orientering	90	1,82	0,85	1	0	0,54	0,62	0	1	20	-12	
4		E.03	1	indsæt orientering	90	1,84	0,86	1	0	0,74	0,62	0	1	20	-12	
5		E.04	1	indsæt orientering	90	1,82	0,85	1	0	0,74	0,66	0	1	20	-12	
6		E.05	1	indsæt orientering	90	1,62	0,85	1	0	0,64	0,62	0	1	20	-12	
7		E.06	1	indsæt orientering	90	1,82	0,79	1	0	0,74	0,62	0	1	20	-12	
8		E.07	1	indsæt orientering	90	1,72	0,85	1	0	0,74	0,62	0	1	20	-12	
9		E.08	1	indsæt orientering	90	1,82	1,11	1	0	0,44	0,62	0	1	20	-12	
10		E.09	1	indsæt orientering	90	1,85	0,84	1	0	0,68	0,62	0	1	20	-12	
11		E.10	1	indsæt orientering	90	1,82	0,91	1	0	0,74	0,62	0	1	20	-12	
12		E.11	1	indsæt orientering	90	1,79	0,85	1	0	0,74	0,62	0	1	20	-12	
13		E.12	1	indsæt orientering	90	1,76	0,79	1	0	0,74	0,62	0	1	20	-12	
14		E.13	1	indsæt orientering	90	1,73	0,73	1	0	0,74	0,62	0	1	20	-12	
15		E.14	1	indsæt orientering	90	1,7	0,67	1	0	0,74	0,62	0	1	20	-12	
16		E.15	1	indsæt orientering	90	1,67	0,61	1	0	0,74	0,62	0	1	20	-12	
17		E.16	1	indsæt orientering	90	1,82	0,85	1	0	0,74	0,62	0	1	20	-12	
18																

Figur 76 Dataoutput i Excel. Skema kan kopieres direkte og indsættes i Be18.

8.6 XML skemastruktur og dataoverførsel til Be18

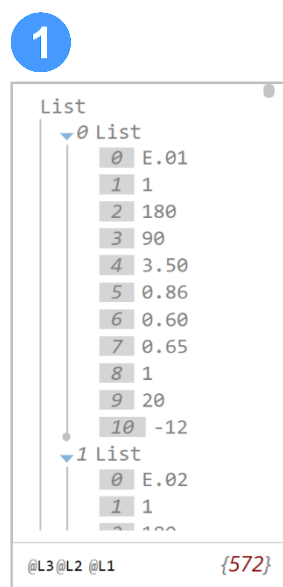
Når de foregående Be18-inputdata skal formateres til XML-data, foregår det via prædefinerede funktioner i codeblocks. Disse funktioner sørger for, at dataene bliver indsat de rigtige steder i XML-strukturen, mens der bliver tildelt et unikt RID-nummer til hvert element. De respektive codeblocks betjener hver især et Be18-element, som kan ses på Figur 77.



Figur 77 Overordnede struktur for dataformatering til XML

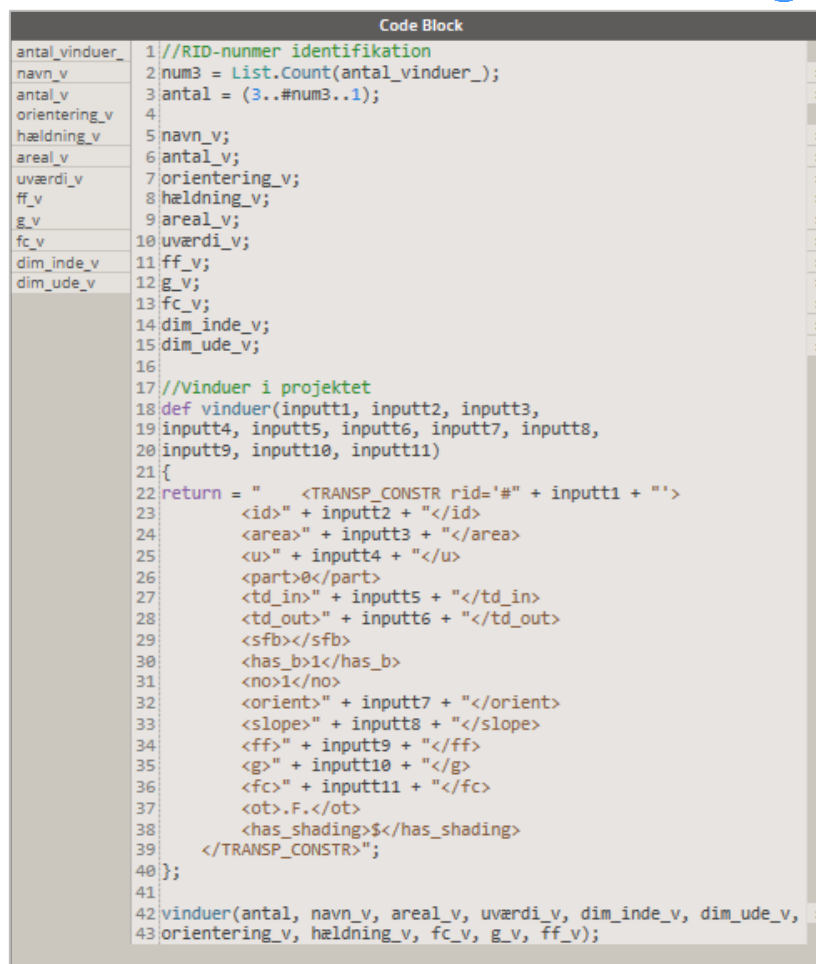
På nedenstående model ses et eksempel på en codeblock, der formaterer en Be18-inputliste for vinduer til XML. Her bliver parametrene fra forrige script (Figur 77) input i codeblocken, hvorefter funktionen sætter parametrene ind under de pågældende subelementer i XML-strukturen (linje 18-40, Figur 79). På linje 3

bliver vinduernes RID-nummer genereret via en *sequence*, der starter fra nummer 3 og går til og med antallet af vinduer. I dette tilfælde er der 52 vinduer i projektet, og det sidste løbenummer i rækken bliver således 54. Rækkefølgen fortsætter således ved bygningsdelene, hvor det første rid-nummer bliver 55.

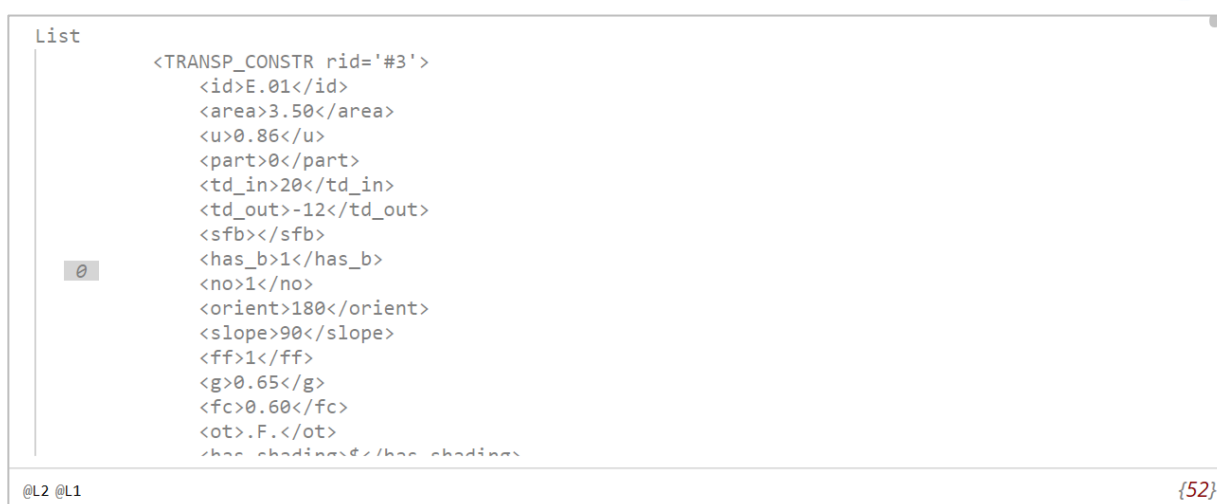


Figur 78 XML-outputliste for vinduer & yderdøre

2



Figur 79 Codeblock til at formatere data til XML



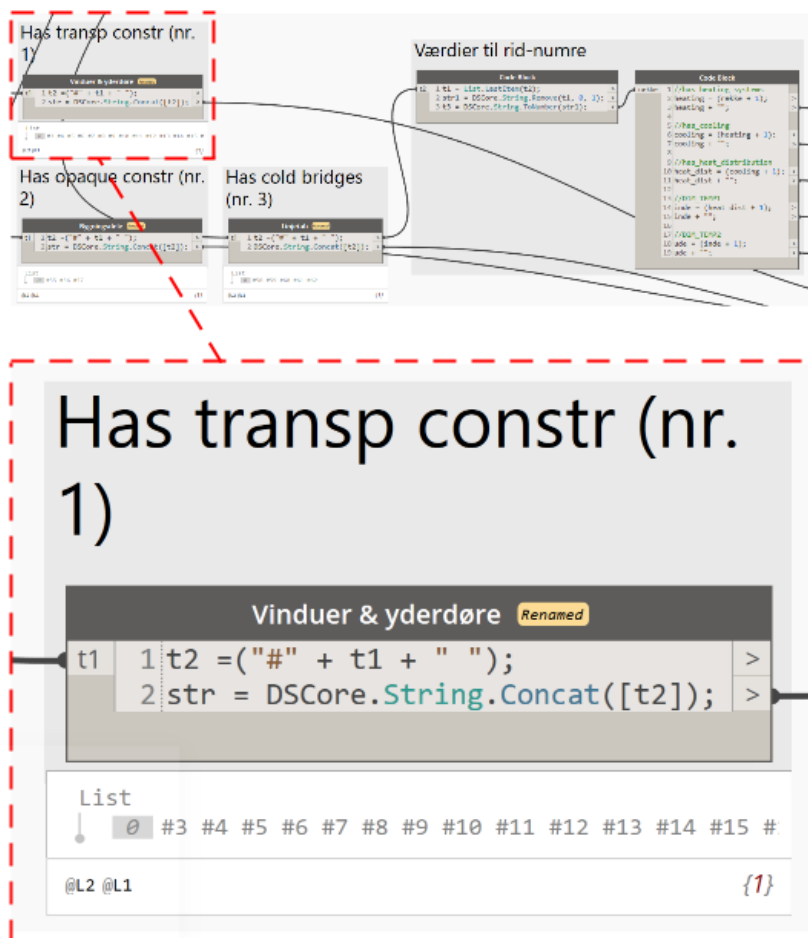
Figur 80 XML-subelement

8.7 Håndtering af RID-numre

Hver af de respektive codeblock i Figur 81 genererer en liste med rid-numre i en fortløbende rækkefølge. Rækkefølgen på disse numre skal fremgå i starten af XML-filen under elementet <BUILDING> jf. afsnit 7.2.

For at numrene kan fremstå som referencer i dette afsnit, skal de sammenkædes i en fortløbende rækkefølge efter hinanden. Til dette benyttes *String.Concat*, som fordeler en liste af strings ud på den samme linje. Her tilføjes der samtidig et hashtag foran hvert nummer, som gør, at dataene følger beXML-reference-strukturen. På Figur 81 ses et eksempel på rid-numrene for vinduer og yderdøre.

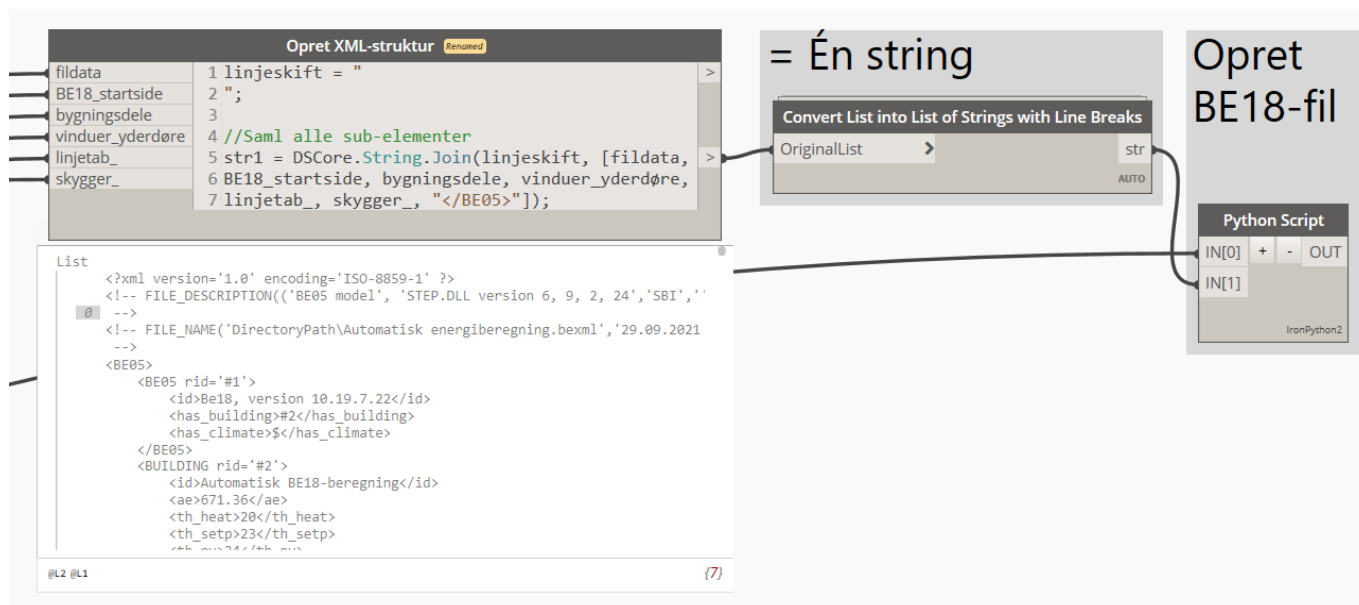
Listen med rid-numre bliver sat ind i XML-strukturen (Figur 82) efter samme princip som i Figur 79. Tilsvarende sker med de øvrige elementer som <has_opaque_const>, <has_cold_bridge>, <has_heating_systems>, <has_cooling>, <has_heat_distribution> samt <DIM_TEMP>. Når alle referencerne er indsat i XML-strukturen, er filen funktionsdygtig og kan åbnes i de beregningsprogrammer, som benytter Be-beregningskernen.



Figur 81 Rid-numre for vinduer og yderdøre struktureret til <BUILDING>-elementet i XML-filen



Figur 82 Rid-numre indsat i XML-strukturen via en codeblock (Udsnit af codeblock)



Figur 83 Script til oprettelse af XML-fil

Den samlede XML-fil bliver sammensat af alle sub-elementerne, som er blevet genereret af de codeblocks, som blev præsenteret i forrige afsnit (8.6). Dette foregår via *String.Join*, som sammenkæder en liste af strings til én samlet liste (Figur 83). Noden tager samtidig en separator som input, som bliver indsat mellem hver string. Denne separator kan defineres som et linjeskift, hvilket giver muligheden for at lave en XML-fil, hvor elementerne kommer i en naturlig rækkefølge. Da *String.Join* opretter indekseringer for hvert subelement, crasher filen ved oprettelse, hvorfor filen skal fremstå som en enkelt string. Dette kan løses ved at benytte *Convert List into List of Strings with Line Breaks*, som er en custom node fra Bakery package.

Afslutningsvis opretter Python-scriptet en beXML-fil i den mappe-placering, som brugeren angiver (Figur 84). Dette fungerer ved at Python sammenkæder den brugerdefinerede filsti med navnet på den nye fil. Herefter tilføjes data til filen via *fp.write*-kommandoen. Ønsker man at åbne filen direkte i Be18 efter oprettelsen, kan man benytte *os.startfile("filens navn")*.

```

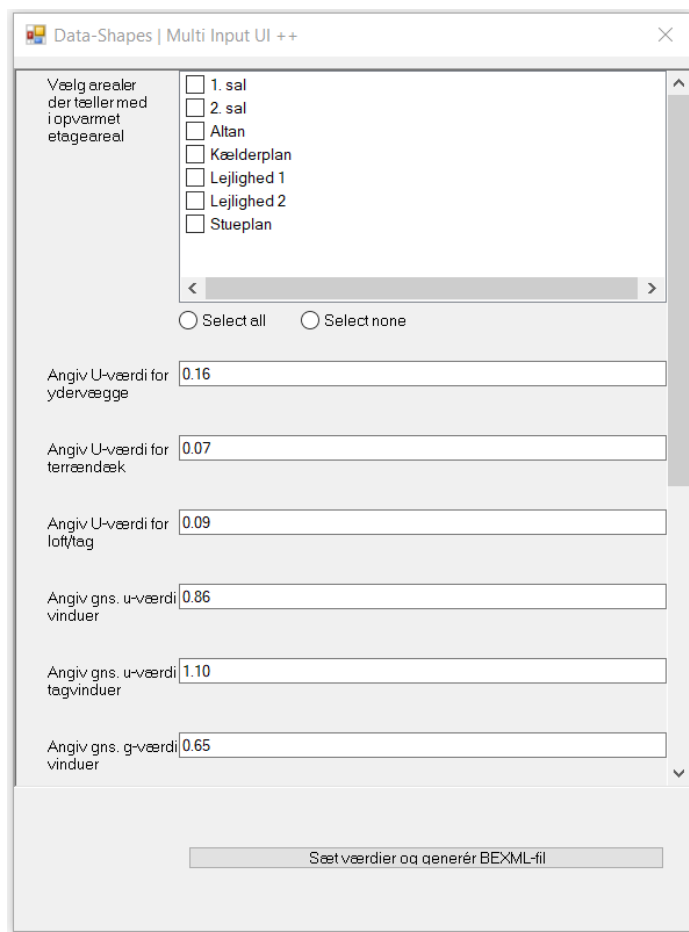
Python Script
1 import clr
2 import sys
3 clr.AddReference('ProtoGeometry')
4 from Autodesk.DesignScript.Geometry import *
5 sys.path.append("C:\Program Files (x86)\IronPython 2.7\Lib")
6
7 #The Element tree XML API - Fundet på docs.python.org/library/
  xml.etree.elementtree
8 import xml.etree.ElementTree as ET
9 import os
10
11 sti = IN[0]
12 xml_dokument = IN[1]
13
14 #Navnet på den nye fil
15 fil = "Automatisk energiberegning3.bexml"
16
17 #Lav ny BE18-fil og tilføj data
18 with open(os.path.join(sti, fil), 'w') as fp:
19     fp.write(xml_dokument)
20
21 OUT = fil
22

```

Figur 84 Python script til at oprette beXML-fil

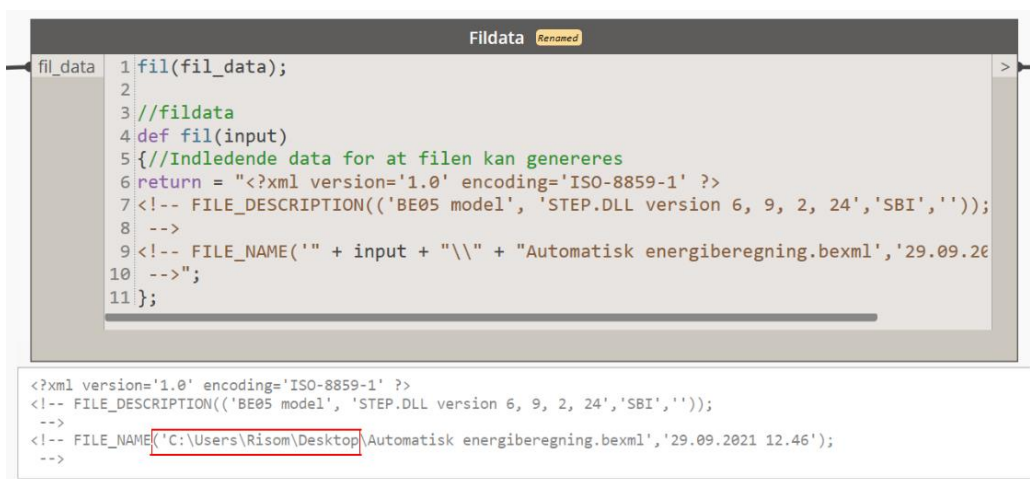
8.8 Brugeroverflade/Dynamo player

Når brugeren kører scriptet, bliver de mødt af et pop-up vindue, som indeholder de nødvendige datainput, for at scriptet kan fungere, se Figur 85. Det første input er det opvarmede etageareal, som fungerer ved afkrydsning af de arealer, som indgår heri. For at undgå en lang liste med duplikater, er arealerne grupperet efter navn inde i Dynamo. Afkrydser man eksempelvis "lejlighed 1" vil alle lejligheder af den type blive medregnet i etagearealet. Som nævnt i afsnit 8.1 er det opvarmede etageareal baseret på *area-plans* i Revit, og de indtegnede arealer i modellen vil fremgå i afkrydsningslisten. Det opvarmede etageareal bør altid kontrolleres, da det er forudsætningen for transmissionstabsberegningen.



Figur 85 Brugeroverflade for Dynamo-scriptet

De resterende brugerinput i brugeroverfladen er u-værdier på bygningsdele, egenskabsdata på vinduer og yderdøre samt linjetab. Dette giver muligheden for at indtaste erfaringstal og eller producentdata, alt efter hvornår i processen beregningen foretages, og hvilke data, der er til rådighed. Når man trykker "Sæt værdier og generér beXML-fil", overføres dataene til de respektive steder i scriptet. Til sidst i brugeroverfladen vælges en mappe-placering, som bliver inputtet i beXML-prologen, se Figur 86.



```

1 fil(fil_data);
2
3 //fildata
4 def fil(input)
5 { //Indledende data for at filen kan genereres
6 return = "<?xml version='1.0' encoding='ISO-8859-1' ?>
7 <!-- FILE_DESCRIPTION(('BE05 model', 'STEP.DLL version 6, 9, 2, 24','SBI',''));
8 -->
9 <!-- FILE_NAME('" + input + "\\\" + \"Automatisk energiberegning.bexml\", '29.09.2021 12.46');
10 -->";
11 };

```

```

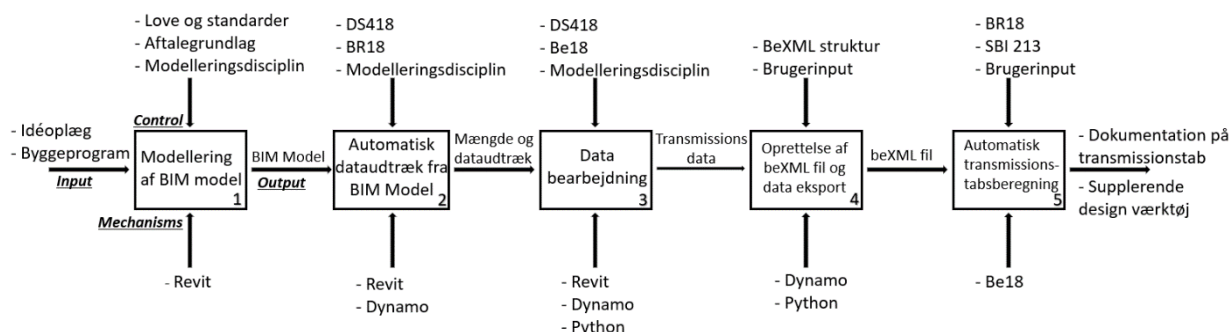
<?xml version='1.0' encoding='ISO-8859-1' ?>
<!-- FILE_DESCRIPTION(('BE05 model', 'STEP.DLL version 6, 9, 2, 24','SBI',''));
-->
<!-- FILE_NAME('C:\Users\Risom\Desktop\Automatisk energiberegning.bexml', '29.09.2021 12.46');
-->

```

Figur 86 Codeblock til oprettelse af beXML-prolog

9. Ny arbejdsproces

Der er på baggrund af arbejdsprocessen i afsnit 4.1 udarbejdet en ny arbejdsproces, der tager afsæt i løsningsforslaget i afsnit 8. Den nye proces skal anses som en optimeret arbejdsproces, der åbner op for nytænkning i forhold til at integrere arkitektens bygningsdesign med en tidlig energianalyse, som kan være udslagsgivende i forhold til det endelige bygningsdesign. Arbejdsprocessen er illustreret med et IDEF0 diagram for at skabe et detaljeret overblik over funktionerne i processen og dens sammenhænge med de omkringliggende faktorer, der påvirker processen. Ved at kortlægge processen skabes der foruden et grundlag for tidlig energianalyse også en platform for videre udvikling og analyse til fremtidige processer, såsom en fuldautomatisk energiberegning. Den nye arbejdsproces er illustreret i Figur 87 nedenfor.



Figur 87 Den nye arbejdsproces illustreret med et IDEF0 diagram

Arbejdsprocessen er delt i fem trin, som gennemgås nedenfor:

Første trin kan ses i Figur 88 til højre, hvor processen er i sin tidlige start med ideoplæg og byggeprogram som input.

Funktionen i første trin er at modellere en BIM model, der tager udgangspunkt i det input, der kommer. Control er de faktorer og rammer, funktionen er styret eller begrænset af.

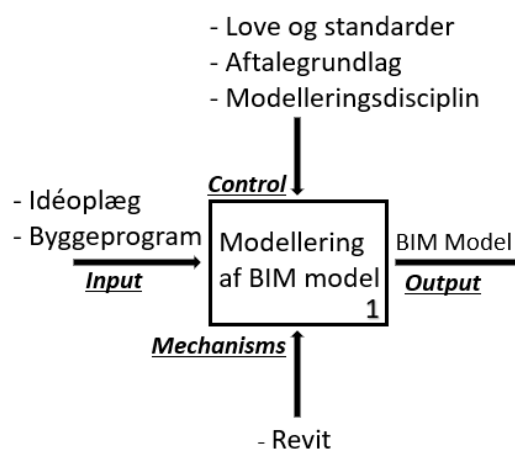
For at funktionen skal kunne praktiseres, er det således

nødvendigt, at man overholder love og standarder,

aftalegrund og modelleringsdisciplin. Mekanismen i

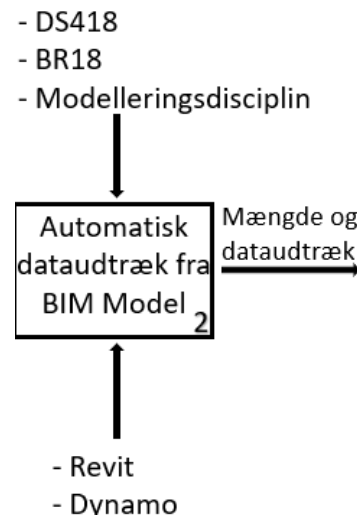
funktionen er i dette tilfælde Revit, som skal støtte funktionen

i midten. Resultatet af funktionen er en informativ BIM model, der bliver til output og føres videre til næste trin.



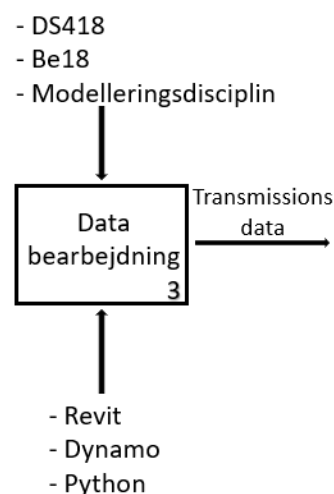
Figur 88 Trin 1, Modelling af BIM-model

I trin to (Figur 89) er funktionen at trække data automatisk ud af BIM-modellen, som var input trin et. Dataene, der udtrækkes, skal bruges til at dokumentere en bygnings energiforhold, som er forbeholdt nogle regler. Control er først og fremmest Bygningsreglementet (BR18), der fordrer, at der foreligger dokumentation om bygningens energiforhold, inden huset tages i brug. De andre Controls er DS418, som er bestemmelserne for, hvordan man beregner bygningers varmetab, herunder transmissionstab. Det sidste punkt er modelleringsdisciplin, som er nødvendig, da processen er afhængig af, at der foreligger data i modellen. Revit og Dynamo er mekanismer, som bliver brugt til at stille data til rådighed og gøre brug af dem. Resultatet af funktionen er automatisk udtræk af mængder og data, der skal bruges i trin tre.



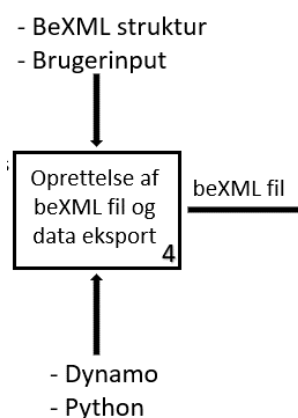
Figur 89 Trin 2, Automatisk dataudtræk fra BIM model

I trin tre (Figur 90) bliver den data, der er trukket ud af modellen, bearbejdet jf. DS418 bestemmelserne. Be18 kontrollerer hvilke data, der er nødvendige for processen, i dette tilfælde alle data med forbindelse til transmissionstabsberegningen. Revit er som mekanisme den platform, dataene tager udgangspunkt i, hvorefter Dynamo og Python går ind og bearbejder dataene med afsæt i opmålingsreglerne i DS418. Resultatet af funktionen er transmissionsdata, der er bearbejdet i.h.t. gældende regler. Disse bliver input til trin fire.



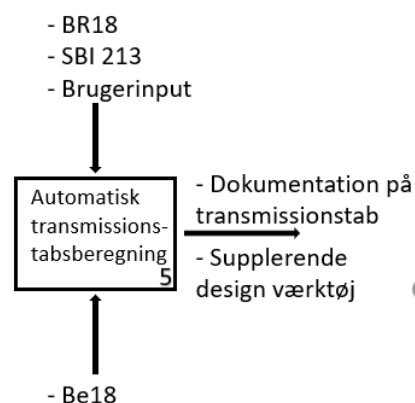
Figur 90 Trin 3, Data bearbejdning

I trin fire (Figur 91) oprettes en beXML indeholdende den transmissionsdata, der blev bearbejdet i forrige trin. Dynamo og Python er mekanismerne, der gør det muligt at formatere transmissionsdataene til en XML, mens selve strukturen i beXML kontrollerer, hvordan dataene skal indsættes, for at det skal fungere i praksis. Resultatet er en oprettet beXML fil indeholdende al den relevante data i.h.t. at beregne transmissionstab. Trin fire er dermed det trin, hvor der skabes interoperabilitet imellem tegneprogrammet og energiberegneren, hvilket muliggør automatisk datahåndtering.



Figur 91 Trin 4, Oprettelse af beXML fil og data eksport

I trin fem (Figur 92) er beXML filen oprettet og klar til at blive åbnet i energiberegningsprogrammet Be18. Be18 er mekanismen, der beregner selve transmissionstabet og dokumenterer om bygningen overholder det gældende krav. Bygningsreglementet er kontrol, da det er et krav fra deres side, at der foreligger dokumentation på bygningens energiforbrug. SBI 213 kontrollerer, hvordan dataene skal indgå i selve beregningen, for at gøre den gældende og brugbar som dokumentation. Brugerinput er også en kontrol, for at transmissionstabet kan blive beregnet automatisk, da der er enkelte dele såsom u-værdier og linjetab for de enkelte bygningsdele, der er nødvendige at definere for brugeren. Resultatet er først og fremmest, at man kan dokumentere, at bygningen overholder kravene til transmissionstab. Endvidere kan denne tidlige energianalyse fungere som et supplerende designværktøj, der kan påpege, hvorvidt de ydre rammer skal ændres, eller om de overholder kravene. Her henvises til Spørgeskemaundersøgelsen i 4.3, hvor 76% af de adspurgte har oplevet, at man pga. en sent udarbejdet energiberegning har været nødsaget til at ændre i bygningen design.



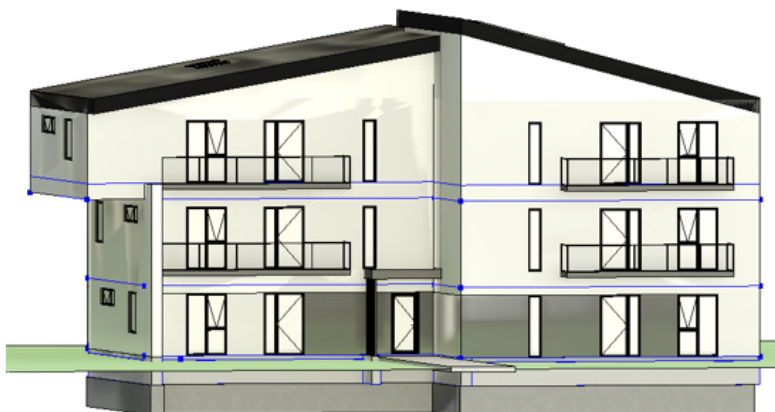
Figur 92 Trin 5, Automatisk transmissionstabsberegning

10. Test og sammenligning

Følgende afsnit præsenterer testen af det samlede Dynamo-script, som er afprøvet på testbygningen, som er beskrevet i Afsnit 6. Testen består først af en manuel opmåling af transmissionsarealer udført efter opmålingsreglerne beskrevet i Afsnit 7.1, som tager udgangspunkt i DS418. Den manuelle opmåling er derefter sammenlignet med den automatiske opmåling for at skabe grundlag for løsningens pålidelighed og nøjagtighed. Resultaterne heri skal bl.a. danne grundlag for rapportens efterfølgende diskussionsafsnit.

Resultatet af testen kan ses på følgende tabel (Tabel 3):

Transmissionsarealer - Testmodel				
Grundlag - Etagebolig	Manuel opmåling	Automatisk opmåling	Enhed	Difference
Opvarmet etageareal	713,56	713,85	m ²	0,04%
Bebygget areal	253,02	253,02	m ²	0,00%
Rotation	3,0°	3,0°	grader	0,00%
Bygningsdele	Manuel opmåling	Automatisk opmåling	Enhed	Difference
Ydervægge (408 mm tegl + porebeton)	609,16	608,10	m ²	-0,17%
Tag/loft (Loft 510 mm)	253,02	253,02	m ²	0,00%
Gulve (Terrændæk 500 mm - bolig)	200,69	200,69	m ²	0,00%
Vinduer & yderdøre (Velfac)	120,44	119,44	m ²	-0,83%
Orientering (stikprøve - E.01, E.09, E.15, E.28, E.33, E.40)	183°, 3°, 273°, 3°, 183°, 93°	183°, 3°, 273°, 3°, 183°, 93°	grader	0,00%
Hældning (stikprøve - E.01, E.09, E.15, E.48, E.49, E.51)	90°, 90°, 90°, 15°, 15°, 10°	90°, 90°, 90°, 15°, 15°, 10°	grader	0,00%
Linjetab/kuldebroer	Manuel opmåling	Automatisk opmåling	Enhed	Difference
Samlinger omkring vinduer og yderdøre	147,03	147,03	lbm	0,00%
Linjetab for vinduer og døre til gulv/sokkel	15,14	15,14	lbm	0,00%
Fundamenter under ydervægge	59,54	59,54	lbm	0,00%
Linjetab omkring vinduer i tag	14,42	14,08	lbm	-2,33%
Linjetab ved skillevægsgfundamenter	25,89	26,00	lbm	0,44%
BE18	Manuel	Automatisk	Enhed	Difference
Beregnet transmissionstab	11,9	11,9	W/m ²	0,00%



Tabel 3 Testresultater af Dynamo-script udført på testbygningen

Orientering og hældning på vinduer og yderdøre er sammenlignet ud fra en stikprøvekontrol og viser en en-til-en nøjagtighed i den automatiske opmåling. Enkelte udsving - på bl.a. opvarmet etageareal på 0,04 % - skyldes antallet af decimaltal, når arealerne bliver lagt sammen i den automatiske beregning. Det samme

gør sig gældende for vinduer, hvor arealer er eksporteret med ét decimal til Be18. I enkelte tilfælde vil scriptet runde ned, hvorfor arealet i sidste ende differentierer med -0,83 % i forhold til den manuelle beregning. Dette kan løses ved at tilføje ekstra decimaler for mere nøjagtighed i beregningen. Linjetab for vinduer i tag har den største difference på -2,33 %, hvilket skyldes, at vinduet ikke indeholder "Rough width" og "Rough height" parametre, som er vinduets ydre karm mål, der kræves ved opmåling jf. Afsnit 7.1. Dette kan løses ved at tilføje de ydre karm mål som parametre til vinduesfamilien, da scriptet tager højde for denne diversitet ved at bruge den største værdi af de repræsenterede parametre. Til sidst i Tabel 3 ses det, at differencen mellem den manuelle og automatiske opmåling ikke har betydning for det beregnede transmissionstab i Be18. Den manuelle opmåling vurderes at være korrekt i forhold til DS418 og facit for en præcis beregning, hvorfor den automatiske beregning betragtes som værende valid i forhold til opmåling af transmissionsarealer.

11. Diskussion

På baggrund af indholdet i nærværende rapport vil der i følgende afsnit blive diskuteret hvorvidt rapportens metoder har bidraget til undersøgelsen, samt de resultater der udledes af analyserne og det endelige løsningsforslag. Afsnittet tager afsæt i emnerne metoder, opmålingsregler, løsningsforslaget og begrænsningerne heri.

Metoder

Der er igennem rapportens metoder - præsenteret i afsnit 2 - opnået viden og skabt grundlag for yderligere undersøgelse af emnets problemstillinger, hvor vigtigheden af at tænke energi med ind i byggeprocessens designfase er belyst. Den systematiske dataindsamling med afsæt i nøgleord og snowballing-metoden - præsenteret i afsnit 2.1 - har tilvejebragt eksisterende viden og fået belyst den nuværende status i forbindelse med energiberegning. Den fundne litteratur har givet grundlag for yderligere undersøgelse af emnet, hvilket afspejles i spørgeskemaundersøgelsen i afsnit 4.3, som har været med til at kortlægge branchens nuværende udfordringer og arbejdsprocesser. Nogle af resultaterne fra spørgeskemaundersøgelsen er ikke behandlet yderligere i rapporten, men de har tilsammen bidraget til at kaste lys på nødvendigheden af en mere effektiv proces i forbindelse med energiberegning. Spørgeskemaet er, som beskrevet i afsnit 4.3, vurderet som den mest oplagte metode til undersøgelse af branchens nuværende situation. En svarprocent på over 37% fra den udvalgte skare af virksomheder vurderes godkendt og anses som en høj og rigtig god svarprocent iflg. Telefaction (TELEFACTION, 2021). En høj svarprocent er en god indikator på spørgeskemaets validitet, men det er vigtigt at forstå, at spørgeskemaet kun besvares af et lille udsnit af branchen. Dette betyder, at resultaterne nødvendigvis ikke kan generaliseres ud til hele branchen. Spørgeskemaet kan derfor ikke alene verificere eller falsificere påstande, men derimod være en hjælp til at opbygge en hypotese eller sandsynliggøre en påstand om emnet.

IDEF0 er, som beskrevet i afsnit 2.3, anvendt til at give et overblik over den nye arbejdsproces i afsnit 9, hvor de enkelte funktioner og deres sammenhænge bliver forklaret og gennemgået med hensigt på at den nye arbejdsproces skal være forståelig og overførbar for brugeren. Metoden er ikke brugt som et indledende analyseværktøj, som den ellers kan, fordi arbejdsprocessen i forbindelse med en energiberegning er så forskellig. Her er der hellere gjort brug af Figur 5 i afsnit 4.1 der illustrerer den generelle arbejdsproces i branchen. På baggrund af dette er det svært at vurdere, hvordan IDEF0 metoden bidrager til læserens forståelse og indblik.

Opmålingsregler

Som beskrevet i afsnit 7.1 er der mange uoverensstemmelser i forhold til, hvordan transmissionsarealet skal beregnes jf. DS418 kontra Revit's måleregler. Denne problemstilling har også været en af rapportens primære udfordringer. Af analysen kan det samtidig udledes, at det - på grund af de mange uoverensstemmelser - har været nødvendigt at bearbejde stort set al data, der er trukket ud af BIM modellen, ved hjælp af Dynamo og Python, da dataene ellers ikke opfylder kravene jf. DS418. Eksempelvis kan arealparametre på vægge i Revit ikke benyttes, fordi arealet måles fra væggenes centerlinje. Fordelen ved at bruge dynamo er, at løsningen kan gøres mere fleksibel ved f.eks. at identificere overkant gulv og øverst placeret isolering, som er nogle af de vigtige punkter, der definerer, hvor der skal måles fra jf. DS418. Ud fra disse målepunkter kan øvrige transmissionsarealer udledes, såsom terrændæk, linjetab ved fundament, facadeareal osv. Det der taler imod fleksibilitet i en automatisering er, at DS418 indeholder mange forskellige regler alt efter de geometriske forhold og deres funktion i bygningen. F.eks. varierer opmålingsreglerne alt efter, om der er kælder eller ej i bygningen, og om kælderen er opvarmet eller uopvarmet.

Løsningsforslag

I den nye arbejdsproces med transmissionstabsberegning er der åbnet op for nytænkning og optimering med flere muligheder og fordele til følge. Processen er optimeret ved at automatisere dataudtræk fra BIM-modellen jf. gældende bestemmelser i DS418 samtidig med, at der er skabt et direkte link mellem tegneprogram og energiberegner. Optimeringen er særdeles relevant jf. problemstillingerne nævnt i afsnit 1 og 4.3 hvor der er påpeget, at den nuværende arbejdsproces både er tids- og ressourcekrævende, og at der ytres et ønske om en bedre digital sammenkobling mellem energiberegningsprogram og tegneprogram. Den er nytænkende fordi, at man ikke kun skal anse Be18 m.fl. som et dokumentationsværktøj, men også som et supplerende designværktøj i for arkitekten. Her kan man på baggrund af en tidlig energianalyse af transmissionstabet sikre sig, at bygningens design kan overholde gældende krav, og at der ikke er behov for at lave ændringer sent i processen, som mange af respondenterne nævner i spørgeskemaet jf. afsnit 4.3. Det vil stadigvæk være muligt at lave en tidlig transmissionstabsberegning uden nærværende løsning, men det vil kræve en manuel opmåling og indtastning i Be18, som er tids- og ressourcetungt, især hvis energianalysen skal foretages flere gange løbende. Løsningsforslaget kan med god grund ikke påvirke kravet om, hvornår dokumentationen for overholdelse af energikravene skal foreligge, men giver derimod gode muligheder for at fremrykke processen, og oveni det åbner den for muligheden for tidlige energianalyser.

Begrænsninger

Ser man på indholdet i scriptet, er der flere relevante punkter at betragte. Selve filtreringsprocessen af bygningsdele i Dynamo, foregår enkelte steder via navn. Dette kan være en udfordring for pålideligheden af de eksporterede transmissionsarealer, hvis enkelte bygningsdele ikke kommer med pga. filtreringen. Dette kan derfor ses som en begrænsning i løsningen, hvis forudsætningerne for scriptet ikke bliver fulgt, som beskrevet i afsnit 13 - Forudsætninger. For at undgå for mange modelleringskrav og forudsætninger for brugeren, er løsningen gjort fleksibel ved at lave såkaldte "workarounds" i scriptet. Eksempelvis er facadearealet fundet via rummene og Z-koordinater på bygningsdele i modellen - og ikke direkte udledt af væggene. Det er dog bevist gennem scriptet, at mange af metoderne er alsidige og har potentiale til at blive udvidet til at håndtere flere modelleringsscenarier. Her kan bl.a. nævnes kældre, skrå tage med isolering og underopdeling af transmissionsarealer for facadevægge.

I løsningen er beXML-filer valgt som outputformat, da formatet er kompatibelt med diverse energiberegningsprogrammer, der benytter Be-beregningskernen. Dette gør løsningen fordelagtig, da beXML-filen kan deles på tværs af aktører som en "open standard", som man kender fra f.eks. IFC. Ulempen ved beXML filer er bl.a. referencestrukturen med rid-numre, som besværliggør en funktionel opdateringsfunktion. Opdatering af eksisterende Be18-beregninger, er ikke et område, som rapporten omhandler direkte. En direkte opdatering af filen vil foregå ved at overskrive eller tilføje dataene i XML-strukturen, hvor alle Rid-numre bliver tilpasset via en algoritme. Udfordringen er, at det er problematisk at afgøre, om eksportelementerne allerede er til stede i beXML-filen ved opdatering, og i så fald hvilke elementer der skal overskrives eller blot tilføjes som nye. Enten bliver de eksisterende data og referencer overskrevet helt, hvilket gør at allerede indtastet data går "tabt". Alternativt skal man bibeholde den eksisterende data, og tilføje den nye data som efterfølgende referencenumre. Ved sidstnævnte løsning vil der forekomme dubletter, som brugeren manuelt skal sortere i. Således kan det være situationsbestemt, hvad der giver mening i forhold til opdatering, hvorfor en fleksibel løsning med opdatering bør kunne håndtere begge scenarier. I rapportens afsnit 8.5 er givet et eksempel på, hvordan et vinduesskema fra producenten kan formateres til Be18's inputstruktur i brugerfladen. Denne løsning er ikke baseret på den underliggende XML-struktur i Be18, men er semiautomatisk, da brugeren selv skal kopiere og indsætte dataene direkte i Be18.

Her ville det i forbindelse med problemstillingen vedrørende automatisk opdatering være interessant at komme i kontakt og interviewe organisationer som SBI, der har stået for udviklingen af Be18, og forhøre omkring fremtidsmulighederne for energiberegning, herunder opdateringsfunktioner. Dette vil kunne belyse og nuancere problemstillingen set fra udbydernes side.

Brugerinput

Brugerinput er en væsentlig del af løsningsforslaget. Løsningsforslaget er fokuseret på automatisk dataudtræk og håndtering af data, hvilket har været den store udfordring i processen. En anden udfordring er, at løsningsforslaget anses som et værktøj, man bruger tidligt i designprocessen i et byggeprojekt. Den tidlige designproces er ofte lig med få, tekniske specifikationer og data. Udfordringen er derfor, at mange af de tekniske specifikationer endnu ikke findes, hvilket gør at man må bruge erfaringstal og gennemsnitsværdier. Hvis al data er repræsenteret i modellen, vil det ikke være en udfordring at trække denne ud, men dataene er ikke altid til rådighed, når man skal bruge dem. Det er derfor vurderet, at nogle af inputtene i energiberegneren skal håndteres manuelt, sådan at brugeren kan gøre brug af interne erfaringstal for at få det mest retvisende billede af transmissionstab.

Et andet relevant område er kvalitetssikring og validering af eksportdataene. Automatisk eksport af data kan have mange fordele til følge, specielt når man arbejder med større projekter, der indeholder store mængder data, som eksempelvis skal indtastes i en energiberegning. Det store spørgsmål ligger i indholdet og kvaliteten i eksportdataene. Det er svært at kvalitetssikre store mængder data, da man ikke har samme indblik i processen, som man har, hvis man gennemgår dem manuelt. I en manuel beregning af transmissionsarealerne og datahåndtering kan man f.eks. gøre det overskueligt ved at inddele bygningsdele efter orientering, hvor f.eks. arealet på ydervæggen mod nord bliver lagt sammen, hvoraf en ny kolonne oprettes for ydervæggen mod syd osv. På den måde kan man dele det op i mindre dele, der er nemmere at kvalitetssikre. I den automatiske proces bliver arealerne eksporteret baseret på *family type*, der gør, at de bygningsdele, der har samme *family type*, bliver samlet i én pulje, der gør det uoverskueligt at kvalitetssikre og lokalisere potentielle fejlkilder. I sidste ende handler det om at prioritere, om den manuelle beregning vil være hensigtsmæssig at bruge på trods af tids- og ressourceforbruget, eller om den automatiske beregning, som er sværere at kvalitetssikre, vil være mere oplagt.

Ser man på testresultaterne i afsnit 10, fremstår den automatiske beregning meget valid og præcis. Dette skyldes til dels, at den manuelle opmåling er foregået under gode forudsætninger tidsmæssigt og modelleringsmæssigt. F.eks. er testmodellens bredde- og højdeparametre på vinduer og yderdøre oplyst som hulmål, hvilket Be18 kræver. En mere valid test vil tage udgangspunkt i flere forskellige testmodeller, hvor sammenligningsgrundlaget vil være større og formodentligt give et bedre grundlag for at vurdere løsningen. Større og mere komplekse projekter må også formodes at frembringe flere fejl i den manuelle opmåling - og dertil også i den automatiske - grundet usikkerheder i modellen.

12. Konklusion

Problematismen af emnet blev indledt gennem rapportens indledende analyse (afsnit 4). Dette gav rapporten et undersøgelsesfelt, som har været gældende forud for løsningsforslaget og frem til afslutningen af projektet. Nærværende afsnit konkluderer rapportens endelige problemformulering, som er beskrevet i afsnit 5, og lyder som følge:

Hvordan håndterer og eksporterer man data fra en Revit bygningsmodel til Be18, formateret til Be18's XML-skema, for at kunne automatisere beregning af transmissionstab?

Gennem rapporten er det belyst, at opmålingsregler i Revit ikke stemmer overens med det output, der skal bruges i Be18, og ikke beregnes i henhold til DS418. Løsningsforslaget til problemformuleringen er præsenteret i afsnit 8, hvor et Dynamo-script skaber interoperabilitet mellem Revit og Be18 ved en direkte dataoverførsel herimellem. Det er demonstreret, hvordan Dynamo kan benyttes til at formatere data fra BIM-modellen med udgangspunkt i opmålingsreglerne fra DS418. Den største effektivitet i løsningen knytter sig til datahåndtering i relation til vinduer og yderdøre. Her er Revit-elementerne blevet kodet i rækkefølge efter lokation, mens parametre som areal, orientering, hældning, og kuldebroer er blevet beregnet automatisk. Via designscript og funktioner i Dynamo er dataene blevet formateret til Be18's XML-struktur og samlet til en funktionsdygtig fil med korrekte referencenumre på alle elementer. Med Python har det været muligt at oprette beXML-filer direkte fra Revit til en brugerdefineret mappe-placering. Løsningen er centreret omkring opmålingsaktiviteterne i forbindelse med transmissionstabsberegning, hvorfor parametre som u-værdier, G- og f-værdier, linjetab m.v. skal defineres af brugeren selv.

Den indledende analyse (afsnit 4) ligger til grund for løsningsforslaget. Her fremgår det af spørgeskemaundersøgelsen (afsnit 4.3), at 70% af respondenterne håndterer data manuelt i forbindelse med energiberegning, mens 48 % oplever udfordringer i beregningen. Herfra kan det også konkluderes, at der mangler konsensus i, hvornår energiberegning bliver udarbejdet. Der ytres et ønske om, at energiberegningen foreligger så tidligt i processen som muligt, men da det ikke er et krav, at der skal foreligge dokumentation inden ibrugtagning af en bygning, resulterer det i, at beregningen ofte laves senere i processen.

En undersøgelse af energiberegningsværktøjerne Be18, Energy10 og Rockwool Energy Design er foretaget i (afsnit 4.2). Her fremgår det, at alle tre programmer benytter samme beregningskerne og kan åbne og læse beXML-filer. Det kan konkluderes, at opdatering af eksisterende energiberegninger ikke er en funktion i programmerne, og import af beXML-filer overskriver det eksisterende indhold. I den forbindelse er det undersøgt, hvorledes man kan skabe en bedre interoperabilitet med producenter, der leverer datasæt til

energiberegning, da dette blev påpeget i spørgeskemaundersøgelsen. For at skabe en åben dataoverførsel mellem aktørerne, skal dataene distribueres i strukturerede, tabulære formater som (.CSV), (.XLS) eller tilsvarende, som er maskinlæsbare. I rapporten er det belyst, hvordan et vinduesskema fra en producent datamæssigt kan omstruktureres i Dynamo for at være direkte kompatibel med Be18's inputstruktur (afsnit 8.5). Denne løsning er betinget af, at der foretages digital sammenkobling af BIM-data med producenten, så nummereringen af elementer i vinduesskemaet stemmer overens med modellen, da øvrige parametre som orientering skal håndteres særskilt af brugeren.

En afsluttende test (afsnit 10) af løsningsforslaget blev udført på en testmodel som indeholder en række af de geometriske udfordringer, som besværliggør datahåndteringen i Dynamo (beskrevet i afsnit 6). Af resultatet fremgår det, at klimaskærmen og dertilhørende transmissionsarealer blev eksporteret korrekt. Den automatiske opmåling differentierer mindre end 1 % i forhold til den manuelle opmåling, hvorfor det kan konkluderes, at der er store effektivitetsgevinster ved at automatisere opmålingsaktiviteter med Dynamo. For at scriptet fungerer efter hensigten, skal der opsættes forudsætninger, da en fuld fleksibilitet i forhold til automatisk opmåling er tilnærmelsesvis umuligt at opnå. Endvidere påpeges det i rapporten, at kvalitetssikring og validering af eksportdataene er vigtigt, hvor især opvarmet etageareal er et kardinalpunkt, der bør kontrolleres.

Afslutningsvis - som svar på problemformuleringen - konkluderes det, at en automatisering af datahåndteringen mellem Revit og Be18 er mulig med troværdige resultater til følge. Der er store effektivitetsgevinster ved at automatisere processen, da dataene til transmissionstabsberegning er repræsenteret i modellerne. Det konkluderer samtidig, at løsningsforslaget besidder potentiale til at blive opkvalificeret til at kunne håndtere flere modelleringsscenarier samt opnå en bedre fleksibilitet.

13. Forudsætninger

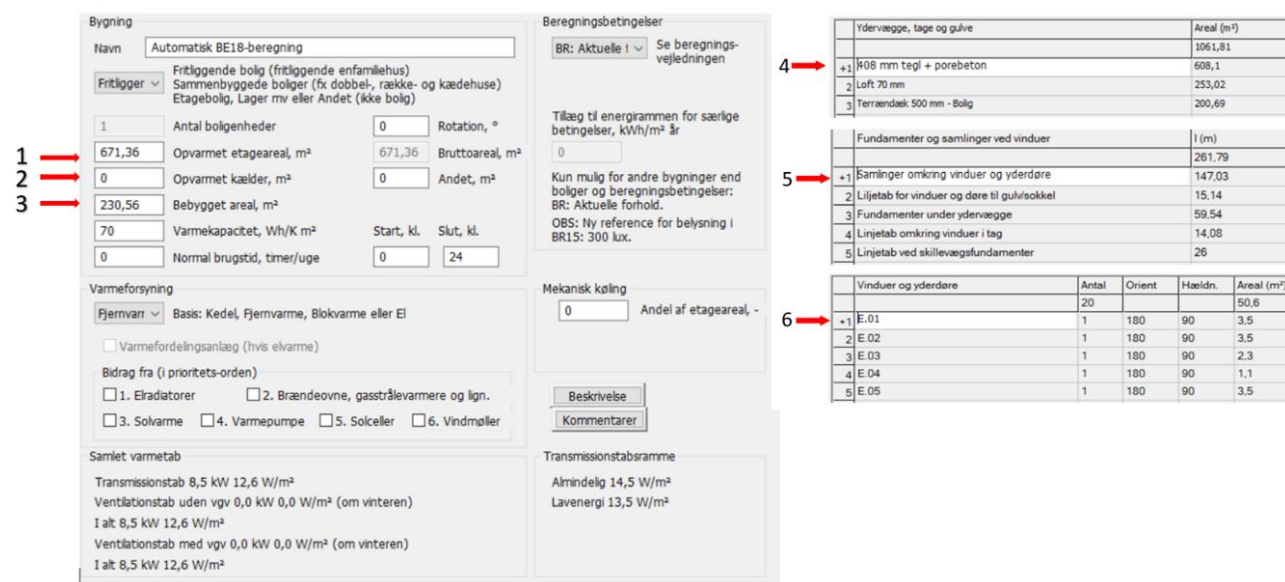
Nærværende afsnit belyser de krav til software og packages samt forudsætninger, der er nødvendige for, at rapportens løsningsforslag kan fungere i praksis. Afsnittet er delt i to underafsnit, software og packages samt modelleringsforudsætninger, hvilket vil give overblik over, hvad der bruges af software, samt de modelleringsforudsætninger der skal til for at muliggøre en nøjagtig automatiseret datahåndtering.

Software og packages

Nedenfor er oplistet den software og packages, som er nødvendig, for at løsningsforslaget kan fungere i praksis.

Revit 2022
Be18, beregningskerne (version 10.19.7.22)
Dynamo Core 2.10.1.3976
Dynamo Revit 2.10.1.4002
Packages:
<i>Bakery 2019.5.8, Data-Shapes 2022.2.96, Rhythm 2021.7.3, Archilab 2022.210.2522, LunchBox for Dynamo, DynamolronPython2.7, Spring Dynamo 2.0.</i>
Python, IronPython2

Afsnittet vil herefter følge rækkefølgen illustreret på Figur 93 nedenfor, taget fra brugerfladen i Be18, hvor en kort beskrivelse om emnet og dens forudsætninger præsenteres;



Bygning

Navn: Automatisk BE18-beregning

Fritliggende bolg (fritliggende enfamiliehus)
Sammenbyggede boliger (fx dobbelt-, række- og kædehuse)
Etagebolg, Lager mv eller Andet (ikke bolg)

1 2 3

1 Antal bolgheder: 0 Rotation, °: 671,36 Bruttoareal, m²: 671,36
2 Opvarmet etageareal, m²: 0
3 Opvarmet kælder, m²: 0 Andet, m²: 230,56
Begygtet areal, m²: 70
Varmekapacitet, Wh/K m²: 0
Normal brugstid, timer/uge: 0 Start, kl.: 24 Slut, kl.:

Varmedeforsyning

Fjernvarme Basis: Kedel, Fjernvarme, Blokvarme eller El

Varmedefordelingsanlæg (hvis elvarme)

Bidrag fra (i prioritets-orden)

1. Elradiatorer 2. Brændeovne, gasradiatorer og lign.
3. Solvarme 4. Varmepumpe 5. Sokkeler 6. Vindmøller

Samlet varmetab

Transmissionstab 8,5 kW 12,6 W/m²
Ventilationstab uden vgv 0,0 kW 0,0 W/m² (om vinteren)
I alt 8,5 kW 12,6 W/m²
Ventilationstab med vgv 0,0 kW 0,0 W/m² (om vinteren)
I alt 8,5 kW 12,6 W/m²

Beregning

BR: Aktuelle Se beregningsvejledningen

Tilleg til energigrammen for særlige betingelser, kWh/m² år: 0

Kun mulig for andre bygninger end boliger og beregningsbetingelser: BR: Aktuelle forhold.
OBS: Ny reference for belysning i BR15: 300 lux.

Mekanisk køling

0 Andel af etageareal, -

Beskrivelse
Kommentarer

Transmissionstabsramme

Almindelig 14,5 W/m²
Lavenergi 13,5 W/m²

4

	Ydervægge, tage og gulve	Areal (m²)
		1061,81
+1	408 mm tegl + porebeton	608,1
2	Loft 70 mm	253,02
3	Tærrændæk 500 mm - Bolg	200,69

5

	Fundamenter og samlinger ved vinduer	l (m)
		261,79
+1	Samlinger omkring vinduer og yderdøre	147,03
2	Lijetab for vinduer og døre til gulvsokkel	15,14
3	Fundamenter under ydervægge	59,54
4	Lijetab omkring vinduer i tag	14,08
5	Lijetab ved skillevægfundamenter	26

6

	Vinduer og yderdøre	Antal	Orient	Hældn.	Areal (m²)
		20			50,6
+1	E.01	1	180	90	3,5
2	E.02	1	180	90	3,5
3	E.03	1	180	90	2,3
4	E.04	1	180	90	1,1
5	E.05	1	180	90	3,5

Figur 93 Overblik over hvilke emner afsnittet kommer ind på

Opvarmet areal

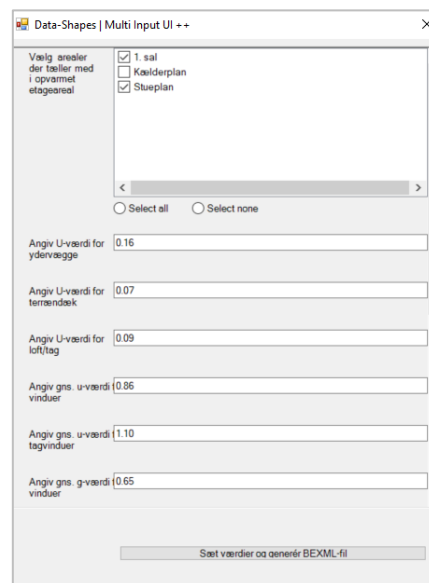
De opvarmede arealer defineres af bygningens samlede areal, som er opvarmet til min. 15 grader. Det opvarmede areal bliver derfor beregnet som det samlede bruttoareal af alle opvarmede etager, inklusive opvarmede kældre og tagetager, der i vandret plan 1,5m over færdigt gulv ligger inden for planets skæring på tagets udvendige side (Energistyrelsen, 2019).

Scriptet er designet således, at det tager udgangspunkt i bygningsmodellens *Area plans (Gross Building)*. Brugeren får ved start af scriptet mulighed for at vælge hvilke arealer, der skal indgå som opvarmet areal ved hjælp af *Data-Shapes*, se Figur 94. Her er det vigtigt for brugeren at være bekendt med gældende beregningsregler jf. SBI213 (Aggerholm, 2018), da det opvarmede areal f.eks. defineres alt efter, hvordan de enkelte rum indrettes og udnyttes. Det er derfor ikke vurderet at være hensigtsmæssigt at automatisere denne del, pga. usikkerheder og vigtigheden af resultatet.

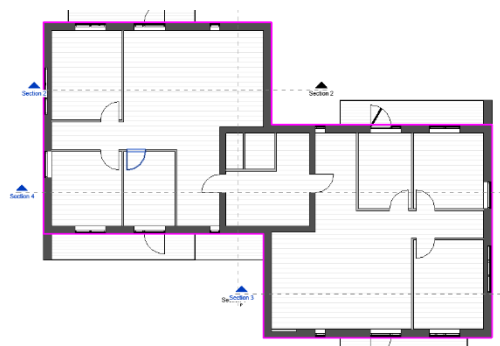
For at scriptet skal fungere, er det derfor en forudsætning, at brugeren opretter *Area Plans* manuelt, da denne del ikke er genereret på forhånd, hverken af projektgruppen eller i Revit. Et eksempel på oprettet *Area Plan* ses på figur Figur 95. Arealgrænserne kan låses til væggene, så arealerne bliver opdateret automatisk, hvis vægge flyttes.

Opvarmet kælder

Dette felt er ikke behandlet i rapporten, da casen ikke er projekteret med kældre. Det er derfor ikke udarbejdet et script til denne del, og det er derfor et input, brugeren selv står for. Jf. Bygningsreglementet 2018 §266 skal "... Opvarmede eller delvis opvarmede kældre, der ikke indgår i etagearealet, indregnes 50% af kælderarealet i energirammen". Det vil sige, at brugeren i dette tilfælde vil skulle måle fra indersiden af kælderydervæggen for at finde arealet, for siden at tage 50% af totalen. Resultatet bruges som input.



Figur 94 Datashape noden giver brugeren mulighed for at vælge imellem alle oprettede Area Plans. Her skal brugeren dog kun vælge dem der indgår i opvarmet etageareal.



Figur 95 Eksempel på hvor grænserne for det opvarmede etageareal ligger i testbygning.

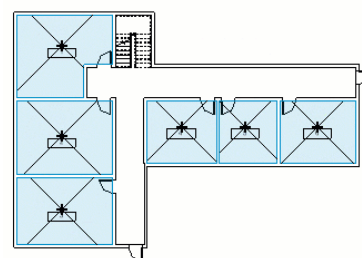
Bebygget areal

Det bebyggede areal defineres af den største etage i bygningen, dog undtaget hvis der er tale om uopvarmede arealer (Bygningsreglementet, 2018). Her er forudsætningen for at scriptet virker også, at brugeren opretter *Area Plans* i modellen, ligesom ved *Opvarmet Areal*.

Det bebyggede areal defineres af den største etage i bygningen, dog undtaget hvis der er tale om uopvarmede arealer (Bygningsreglementet, 2018). Her er forudsætningen for at scriptet virker også, at brugeren opretter *Area Plans* i modellen, ligesom ved *Opvarmet Areal*.

Areal af ydervægge, tage og gulve

Som nævnt i afsnit 8.2 er det en forudsætning, at man i sin bygningsmodel har oprettet *Rooms* i hele sin model for at finde det nøjagtige areal af ovenstående bygningsdele. Det er derfor en forudsætning, at der ikke findes arealer i projektet, der ikke er blevet tildelt et rum, se Figur 96. Det er nødvendigt, da rummene er udgangspunktet for scriptet, når de omkringliggende bygningsdele, herunder klimaskærmen, skal lokaliseres. Derudover er det en forudsætning, at bygningen modelleres med én type ydervæg. Scriptet tager ikke højde for en underopdeling af ydervægge.



Figur 96 Det er vigtigt at alle arealer i modellen for tildelt et *room* for at scriptet skal kunne lokalisere alle bygningsdele der berører klimaskærmen.

Fundamenter og samlinger ved vinduer

For *linjetabet ved vinduer* er det en forudsætning, at vinduespartier og døre til gulv, bliver hostet til det level, som er den generelle sokkelkote for bygningen. På den måde bliver linjetabene for vinduespartierne underopdelt korrekt i forhold til DS418. Vinduer og yderdøre i modellen skal indeholde længde- og breddeparametre, for at scriptet kan beregne kuldebroslængden.

For *linjetab for vinduer i tag* er det en forudsætning, at disse er hostet til taget i modellen. En void i taget med tilhørende generic models eller Sloped Glazing betegnes ikke som et vindue og vil derfor ikke blive medregnet. Derudover skal vinduer i tag indeholde længde- og breddeparametre, for at scriptet kan beregne kuldebroslængden. Der gøres opmærksom på, at det er vinduets ydre karmsmål, der skal benyttes, som ofte bliver kaldt for "Rough Width" og "Rough Height". Er disse ikke repræsenteret, tager scriptet højde for denne diversitet ved at benyttes det største mål til beregning.

For *linjetab ved ydervæggsfundamenter* er det en forudsætning, at navngivningen af bygningsdelen indeholder "Leca", da filtreringen af bygningsdele er baseret på navn. Derudover kræves det igen, at alle

arealer er tildelt rum i Revit, for at den nøjagtige omkreds af fundamentet kan lokaliseres. Rumkurvernes ydre omkreds bliver offset svarende til tykkelsen på bygningsdele, der indeholder navnet "Leca".

For *linjetab ved skillevægsgfundamenter* er det en forudsætning, at disse er indtegnet således, at de gennembrøder terrændækket i modellen. Skillevægge behøver ikke ramme betonpladen i gulvkonstruktionen, men skal være i berøring med enten isoleringen eller det kapillarbrydende lag, som er en del af terrændækket. Derudover er det en forudsætning, at terrændækket er navngivet "Terrændæk".

Vinduer og yderdøre

Vinduer og yderdøre indgår også som en del af klimaskærmen og er derfor vigtige at tage med, når transmissionsarealet skal beregnes.

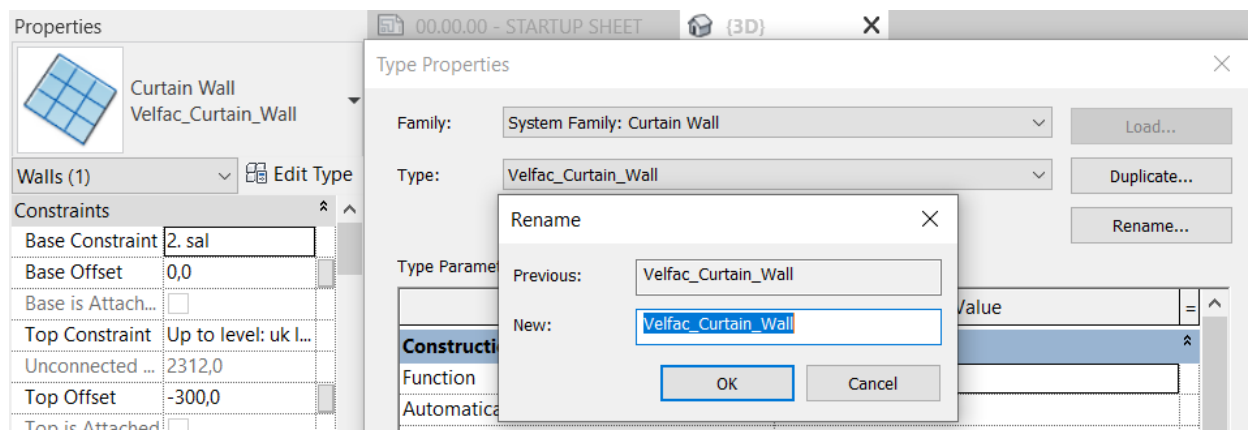
Curtain walls

Vinduerne og alle udvendige døre i projektet er modelleret med curtain walls, hvilket kan give problemer, hvis brugeren f.eks. har modelleret en brusevæg eller lignende, der ikke indgår som en del af klimaskærmen. Det er i scriptet løst ved at filtrere de relevante elementer fra, ved brug af noderne *Family.Name*, *String.Contains* og en *Code Block*, se Figur 97. Det scriptet gør, er at man henter alle elementer fra den pågældende category, og så søger man i dette tilfælde kun efter elementer, hvor navnet "Velfac" indgår, da de elementer, der skal indgå i beregningen, har fået det navn. På denne måde kan man filtrere præcis hvilke elementer, man skal hente fra modellen, uden at man risikerer at hente irrelevant data.



Figur 97 Udklip fra dynamoscript der viser at der bliver filtreret via navn

Forudsætningen for scriptet vil derfor være, at brugeren i dette tilfælde enten navngiver alle Curtain walls med forbindelse til klimaskærmen "Velfac", eller man fra start af opretter en family med det pågældende navn. Figur 98 nedenfor illustrerer den data scriptet tager afsæt i, og hvordan man ændrer navn på den pågældende type.



Figur 98 Viser hvordan man kan ændre navnet på familien

Blændefelter

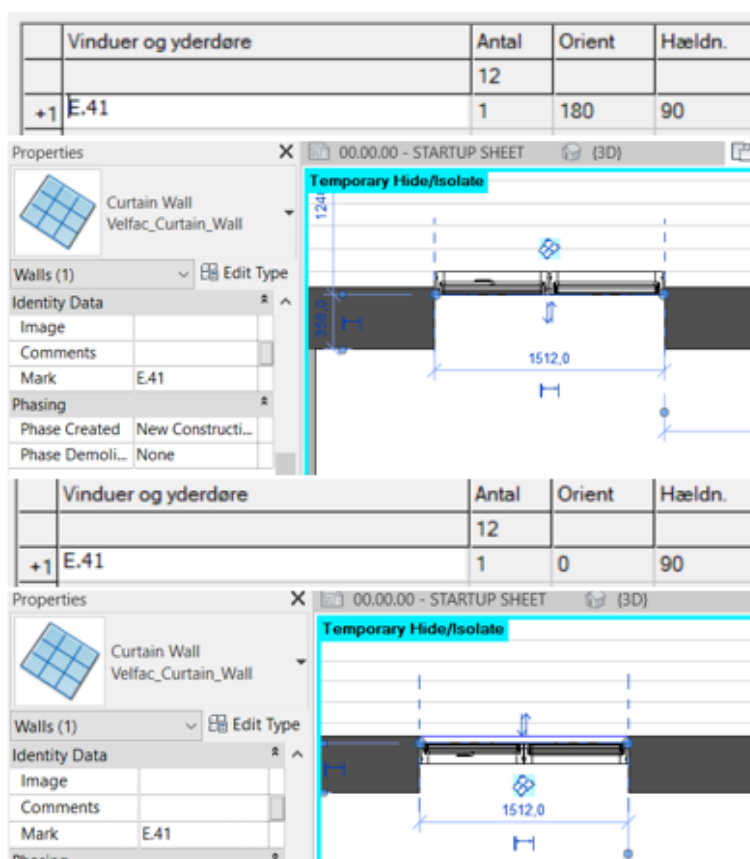
Bliver ofte også modelleret i Curtain walls, hvilket ville skabe problemer, hvis scriptet var designet til at tage alle Curtain walls med. Her er ovenstående filtrering via typenavn yderst effektiv.

Orientering

Det er i forbindelse med vinduernes og dørenes orientering vigtigt, at elementerne er modelleret korrekt, således at indersiden ikke vender ud af. Hvis de bliver modelleret omvendt, vil dataene, man trækker ud af dem, være forkerte, og derved får man en transmissionsberegning, der er forkert.

Figur 99 til højre viser konsekvenserne ved at modellere vinduerne omvendt.

Orienteringen på elementerne vil fremgå 180 grader forkert i forhold til, hvad de i virkeligheden er.



Figur 99 Viser forskellen hvis man vender vinduet forkert

14. Bibliografi

Aggerholm, S., 2018. *SBI- ANVISNING 213 - Bygningers energibehov*, København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.

Aksamija, A., 2009. *Integration in architectural design: methods and implementations*. s.l.:s.n.

Andersen, I., 2013. *Den skinbarlige virkelighed : vidensproduktion i samfundsvidenskaberne*. 5. red. s.l.:Samfundslitteratur.

Autodesk, 2020. *DynamoPrimer*. [Online]
Available at: <https://primer.dynamobim.org/index.html>
[Senest hentet eller vist den 14 oktober 2021].

Autodesk, u.d. [Online]
Available at: <https://gbs.autodesk.com/GBS/>

Bracht, M. & Melo, R. L., 2021. A metamodel for building information modeling-building energy modeling integration in early design stage.

Build - Institut for Byggeri, By og Miljø, 2021. *Build.dk*. [Online]
Available at: <https://build.dk/beregningsprogrammet/Pages/Hvad-er-Be18.aspx>
[Senest hentet eller vist den 13 Desember 2021].

BuildingSMART, 2021. [Online]
Available at: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-formats/>

Bygningsreglementet, 2018. [Online].

Choi, J.-W., Jun, Y.-J., Yoon, J.-h. Y. & Park, K.-S., 2019. A Study of Energy Simulation Integrated Process by Automated Extraction Module of the BIM Geometry Module.

Coursera, 2021. *Coursera.org*. [Online]
Available at: <https://www.coursera.org/articles/what-is-python-used-for-a-beginners-guide-to-using-python>
[Senest hentet eller vist den 15 oktober 2021].

Dariuz, W. & Barszcz, A., 2017. *Analysis of the Adoption Rate of Building Information Modeling [BIM] and its Return on Investment [ROI]*, s.l.: Procedia Engineering.

Dikon, 2018. [Online]
Available at: <https://www.dikon.info/wp-content/uploads/2018/11/DIKON-Molio-netv%C3%A6rkskonference-2018.pptx .pdf>

D. S., 2020. *Beregning af bygningers varmetab*. DS 418:2011 + Till.1:2020 red. s.l.:s.n.

Dynamo Primer, u.d. *Dynamo Primer*. [Online]
Available at: https://primer.dynamobim.org/07_Code-Block/7-1_what-is-a-code-block.html

Egwuntatum, S., Joseph-akwawa, E. & Akaigwe, R., 2016. OPTIMIZING ENERGY CONSUMPTION IN BUILDING DESIGN USING BUILDING INFORMATION MODEL (BIM). *Slovak Journal of Civil Engineering*.

Elbeltagi, E., Welfki, H. & Abdrabou, S., 2017. *Visualized strategy for predicting building energy consumption during early design stage using parametric analysis*. s.l.:s.n.

Energistyrelsen, 2019. *Definition af opvarmet areal (HB2019 - Historisk)*, København: s.n.

Energistyrelsen, u.d. [Online].

Energy10, 2021. *Energy10.dk*. [Online]
Available at: <https://www.energy10.dk/>
[Senest hentet eller vist den 15 December 2021].

Fjeldsted, S., 2008. *Intet spørgeskema uden en spørgeramme*, Aarhus: De Nationale Videncenter for e-læring.

Gao, H., Zhang, L., Koch, C. & Wu, Y., 2019. BIM-based real time building energy simulation and optimization in early design stage.

GeeksforGeeks, 2021. *GeeksforGeeks.org*. [Online]
Available at: <https://www.geeksforgeeks.org/python-os-path-join-method/>
[Senest hentet eller vist den 27 Oktober 2021].

Kim, K. & Yu, J., 2013. IFCXML Based Automatic Data Input Approach for Building Energy Performance Analysis.

Lightsay, B., 2001. *Systems Engineering Fundamentals*. 1 red. Virginia: Defense Acquisition University Press.

Negendahl, K. & Nielsen Rammer, T., 2015. Building energy optimization in the early design stages: A simplified method.

Porsani, G., Lersundi, K. D. V. d., Bandera, C. F. & Gutiérrez, A. S.-O., 2021. Interoperability between Building Information Modelling (BIM) and Building Energy Model (BEM).

Python, 2021. *python.org*. [Online]
Available at: <https://docs.python.org/3/faq/general.html>
[Senest hentet eller vist den 15 oktober 2021].

Reisinger, J. & Kovacic, I., 2019. BIM-based workflows for building energy modelling - a variant study.

Rockwool A/S, 2021. *Rockwool.com*. [Online]
Available at: <https://www.rockwool.com/dk/downloads-og-tools/beregningsprogrammer/energiberegninger-energy-design/>
[Senest hentet eller vist den 14 December 2021].

Sacks & Eastman, 2018. *BIM Handbook*. s.l.:s.n.

Sgambelluri, M., 2014. *Dynamo for Dummies: An Intro to Dynamo and How It Interacts with Revit*, s.l.: Autodesk University.

TELEFACTION, 2021. *Telefaction.com*. [Online]
Available at: <https://telefaction.com/hvor-mange-svar-skal-jeg-have-for-at-kunne-stole-paa-min-undersogelse/>
[Senest hentet eller vist den 31 December 2021].

US GSA, S., 2010. Information Delivery Manual for BIM Based Energy Analysis as Part of the Concept Design BIM 2010..

W3schools, u.d. *W3schools.com*. [Online].

Wohlin, C., 2014. *Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering*. s.l.:s.n.