

Enok Andersen, Abdulghani Ahmad og Andreas Giskeødegård

Prosjektering av energibesparende tiltak for Spilkas fabrikkbygg på Emblem

Bacheloroppgave i BYGA2900/FENA2900

Veileder: Amin Moazami, Seyedmohammad hosseini og Ann Rigmor Nerheim

Mai 2023

Enok Andersen, Abdulghani Ahmad og Andreas
Giskeødegård

Prosjektering av energibesparende tiltak for Spilkas fabrikkbygg på Emblem

Bacheloroppgave i BYGA2900/FENA2900

Veileder: Amin Moazami, Seyedmohammad hosseini og Ann Rigmor
Nerheim

Mai 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for havromsoperasjoner og byggteknikk



Kunnskap for en bedre verden

TITTEL:

Prosjektering av Energibesparende Tiltak på Spilkas Fabrikkbygg på Emblem

KANDIDATNUMMER(E):

10016, 10017 (bygg)
10005 (fornybar energi)

DATO:	EMNEKODE:	EMNE:	DOKUMENT TILGANG:
22/05/2023	BYGA2900 FENA2900	Bacheloroppgave	
STUDIUM:		ANT SIDER/VEDLEGG:	BIBL. NR:
Bygg Fornybar Energi		147/84	93

VEILEDER(E):

Seyedmohammad Hosseini, Amin Moazami
Ann Rigmor Nerheim

SAMMENDRAG:

Denne oppgaven benytter seg av redskapene Matlab og Rhino for å kunne beskrive, og komme med forslag til løsninger som vil minimere Spilkas fabrikk sitt energibruk. Kostnyttene av hvert tiltak drøftes. Tiltakene som undersøkes er etterisolering, installasjon av varmpumpe, tetting av porter, installasjon av solkraft, og forbedring av et underdimensjonert bjelkelag. Alle vurderes med hensyn til bespart/gjenvunnet energi, og med hensyn på kostnytte.

Teksten konkluderer med å beskrive tiltak med størst økonomisk og energimessig gevinst. Tiltakene som gir profitt, er rangert fra kortest til lengst tilbakebetalingstid: Plastlameller, buffersone, varmpumpe, solceller. De 3 tiltakene som gir høyest energibesparelse/produksjon er solceller, varmpumpe og etterisolering.

Denne oppgaven er en eksamensbesvarelse utført av studenter ved NTNU i Ålesund.



FENA2900/BYGA2900 - BACHELOROPPGAVE

Prosjektering av energibesparende tiltak for Spilkas fabrikkbygg på Emblem

Utarbeidet av:

Abdulghani Suhil Ahmad, Andreas Giskeødegård, Enok Saxe Andersen

NTNU Ålesund

Ferdigstilt: 22.05.2023

FORORD

Denne oppgaven er et tverrfaglig samarbeid mellom ingeniørlinjene bygg-konstruksjon og fornybar energi ved NTNU Ålesund, og handler om energieffektivisering av et fabrikkbygg. Nå som energikrisen pågår tenker vi at det er aktuelt å gjøre undersøkelser for å kunne effektivisere energibruk. Fabrikken til Spilka er et stort bygg med høyt energiforbruk, noe som betyr at potensialet for å spare energi kan være stort, og vi bestemte oss for å kartlegge forslag, med tanke på energieffektivitet og kost-nytte.

Etter å ha kommet i kontakt med Spilka, fant vi ut at de ønsker å kartlegge bedriftens utslipp. Etter å ha smalnet inn scopet til byggmasse skulle vi opprinnelig fokusere på konstruering av det framtidig planlagt kontorbygget. Siden dette bygget er i tidlig konseptfase, finnes det ingen håndfaste planer om utforming av bygget, og dermed endret fokus seg over til fabrikkbygget på samme tomt. På fabrikken tenkte vi at vi kunne forbedre energisituasjonen ved å foreslå en rekke løsninger bedriften kunne implementere her. Dette førte til enda en endring av fokus, og vi gikk fra å skulle se på både utslipp og energibesparelser til å fokusere på energibesparelsene for at oppgaven ikke skulle bli for bred. Fokus i oppgaven var da endelig å finne løsninger for å minke energibehovet i Spilkas eksisterende fabrikkbygg, i tillegg til å vurdere mulighet for egen kraftproduksjon.

Takk til Lars Erik Vinje og Lidvar Giskeødegård for god og åpen kommunikasjon, befaringer, gode samtaler, og hjelpeligheten med å sende relevant data og kontakter.

Takk til Ann Rigmor Nerheim, Amin Moazami, og Seyedmohammad Hosseini for all veiledning og nøyaktig oppfølging av oppgaven igjennom semesteret.

SAMMENDRAG

Denne oppgaven tok for seg energiforbruket til Spilkas fabrikkbygg på Emblem, Ålesund Kommune. Det ble undersøkt ulike tiltak som kan redusere hvor mye kraft fabrikken trenger å kjøpe fra strømmettet.

Arbeidsmetoden diskuteres, og resultatene presenteres fra energibesparingsperspektiv, i tillegg til et kostnadseffektivitetsperspektiv. Installering av varmpumpe, etterisolering, tetting av porter og solenergi er tiltakene som undersøkes. Tilbakebetalingstid og økonomisk profitt beregnes ved hjelp av netto nåverdi.

Til slutt, konkluderer teksten med å vise til energiløsninger som vil gi en profitt, og størst energibesparelse. Tiltak som er gunstig økonomisk er, i rekkefølge fra kortest til lengst nedbetalingstid, installasjon av plastlameller, installasjon av buffersone, installasjon av varmpumpe, og installasjon av solceller på tak og vegg. De tre mest energibesparende løsningene er solceller på tak, installasjon av varmpumpe, og etterisolering av bygget.

//

This thesis deals with the energy consumption of Spilka's factory building at Emblem, Ålesund. Various measures were investigated that could reduce the amount of power the factory needs to buy from the local power grid.

The working method is discussed, and the results are presented from an energy saving perspective, in addition to a cost effectiveness perspective. The measures that was investigated were: installation of a ground source heat pump, additional insulation, sealing of doors and solar power generation. Payback period and financial profit are calculated using net present value.

Finally, the text concludes by pointing to energy solutions that will yield a profit and the greatest energy savings. Measures that are economically beneficial are, in order from shortest to longest repayment period, installation of plastic slats, installation of a buffer zone, installation of a heat pump, and installation of solar cells on the roof and wall. The three most energy-saving solutions are solar cells on the roof, installation of a heat pump, and subsequent insulation of the building.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
Begrepsliste	xiii
Symboler	xv
Forkortelser	xvii
1 Innledning	1
1.1 Avgrensning	1
1.2 Beskrivelse av problemstilling	1
1.3 Rapportens oppbygning	2
2 Bakgrunn	3
2.1 Skisse av fabrikktoomt	4
2.2 Geologiske forhold	5
2.3 Klimasituasjon	6
3 Teori	8
3.1 Programmer og Tekniske/Digitale begreper	8
3.1.1 Rhino og Grasshopper	8
3.1.2 EPW-filer	8
3.1.3 Ladybug	8
3.1.4 Gizmo	8
3.1.5 Honeybee	8
3.1.6 OpenStudio	9
3.1.7 TToolbox	9
3.1.8 Building Energy Model	9
3.1.9 Matlab og Python	9
3.2 Statistiske operatører for usikkerhet i målinger	9
3.2.1 NMBE	9
3.2.2 CV(RMSE)	10
3.2.3 Coefficient of Determination	10
3.3 Andre relevante begreper for energimodellering	10
3.3.1 Solar Heat Gain Coefficient	10
3.3.2 Visible Transmittance	10
3.3.3 Bygningsfysikk	10
3.4 Økonomiske beregninger - Nåverdi	11
3.5 Strømpriser	11
3.6 Energieffektivisering	12
3.6.1 Etterisolering	12

3.6.2	U-verdi	13
3.6.3	Kuldebro	13
3.6.4	Materialer	14
3.6.5	Tak	15
3.7	Varmeoverføring i bygg	15
3.7.1	Transmisjon	15
3.7.2	Infiltrasjon	15
3.8	Varmepumpe	15
3.8.1	Bergvarme	17
3.8.2	Energibrønner	17
3.8.3	Fordeler og ulemper med grunnvarmepumper	18
3.9	Solkraft	19
3.9.1	Solcellepanel	19
3.9.2	BIPV	19
3.9.3	BAPV	19
3.9.4	Solinnstråling - DNI, DHI og GHI	19
3.9.5	Vinkling på solcelle	20
3.9.6	Skygge på takmonterte solcellemoduler	21
3.10	Lovverk og standarder	24
3.10.1	TEK17	24
3.10.2	TEK85	25
3.10.3	Eurocode	25
3.10.4	Plan- og bygningsloven	25
3.10.5	Lokale reglement	25
3.10.6	ASHRAE	25
3.10.7	SINTEF - Byggforsk	26
3.10.8	ISO - standarder	26
3.11	Betong	26
3.11.1	Armeringsstål	26
3.11.2	Prefabrikkerte betongelementer	26
4	Metoder	27
4.1	BEM	27
4.1.1	Kontekst	27
4.1.2	Fabrikkmodellens geometri og forenklinger	28
4.1.3	Fabrikkens fysiske egenskaper	33
4.1.4	Interne energilaster	39
4.1.5	HVAC	41
4.1.6	Drift av bygget	42
4.1.7	Kalibrering	48
4.1.8	Manuell og visuell kontroll	50
4.1.9	Videre modifikasjoner av Base Case	52
4.1.10	Praktiske løsninger	52

4.1.11	Økonomiske vurderinger	56
4.2	Dimensjonering av bærende rammesystem	59
4.2.1	Grunnleggende informasjon	60
4.2.2	Styrkeberegning	61
4.2.3	Tap som forekommer av underdimensjonert bjelkelag	62
4.3	Vurdering av væske-vann varmepumpe	63
4.3.1	Kraftbesparelse	64
4.3.2	Investeringskostnad	65
4.3.3	NNV-beregning	66
4.4	Solanalyse	67
4.4.1	EPW klimadata	67
4.4.2	Geometri av modeller	68
4.4.3	Brukbare arealer	70
4.4.4	Antagelser og forenklinger	70
4.4.5	Optimal helnings- og asimutvinkel	71
4.4.6	Parametrisk studie av moduler	71
4.4.7	Takmonterte moduler	75
4.4.8	Veggmonterte moduler	80
4.4.9	NNV-beregninger	83
5	Resultater	85
5.1	Tall fra BEM	85
5.1.1	Etterisolering	85
5.1.2	Passivhusvindu	86
5.1.3	Forhindring av infiltrasjon igjennom porter	87
5.2	Kostnad av foreslåtte løsninger til BEM	89
5.2.1	Etterisolering	89
5.2.2	Passivhusvindu	89
5.2.3	Buffer-zone	90
5.2.4	luftbarrierer	90
5.2.5	Plastlameller	90
5.2.6	Tetting rundt porter	91
5.3	Dimensjonering av bjelke	91
5.3.1	strukturell analyse og praktiske løsninger	92
5.3.2	Tap som følge av underdimensjonert bjelkelag	93
5.4	Varmepumpe	93
5.5	Solkraft	95
5.5.1	Optimal orientering for solcellemodul	95
5.5.2	Veggmonterte moduler	97
5.5.3	Skyggetap for takmonterte solceller	97
5.5.4	NNV og installert effekt	98
6	Diskusjon	102
6.1	BEM - Usikkerheter og feilkilder	102

6.1.1	Klima	102
6.1.2	Produksjon i fabrikken	102
6.1.3	Geometri	102
6.1.4	Byggets materialer	102
6.1.5	Driftsprofil	103
6.1.6	Varme til elektrisitet	103
6.1.7	Ventilasjon som feilkilde	103
6.1.8	Fordeling av energi	104
6.1.9	Teoretisk sparbart vs. praktisk utførbart	104
6.1.10	Antagelser vs målinger	104
6.1.11	Kalkulasjonsfeil	104
6.2	Oppsummerte tall fra BEM	104
6.3	Etterisolering	105
6.3.1	Sparepotensiale	105
6.3.2	Økonomisk	105
6.3.3	Kostnytte	106
6.4	Installering av passivhus-vindu	106
6.4.1	Sparepotensiale	106
6.4.2	Økonomisk	106
6.4.3	Kostnytte	106
6.5	Forhindring av infiltrasjon - foreslåtte løsninger	107
6.5.1	Buffer-zone	107
6.5.2	Luftbarriere	107
6.5.3	Plastlameller	108
6.6	Varmepumpe	108
6.7	Dimensjonering av bjelker	110
6.8	Solkraft	111
6.8.1	Usikkerhet og feilkilder	111
6.9	Lønnsomhetsanalysen	111
6.9.1	Kraftbesparing	112
6.9.2	Økonomisk	113
6.10	Usikkerhet i kraftpris	113
6.11	Iverksetting av flere løsninger	114
6.11.1	Tetting rundt porter	114
6.11.2	Tetting av konstruksjonen generelt	114
6.12	Fra et energiperspektiv	114
6.12.1	Teoretisk mulig effektivisering	114
6.13	Fra et økonomisk perspektiv	115
6.13.1	Økonomisk verdi av hvert tiltak	115
7	Konklusjon	118
7.1	BEM	118
7.2	Dimensjonering av bjelke	118

7.3	Varmepumpe	119
7.4	Solceller	119
7.5	Oppsummert	120

Vedlegg		i
----------------	--	----------

Figurer

2.1	Fabrikken til Spilka på Emblem [47]	3
2.2	Månedsforsbruket av elektrisitet til fabrikken i 2022	4
2.3	Kart over fabrikkomtten [59]. Det kommende kontorbygget er planlagt å være plassert i hjørnet lengst mot sørvest	5
2.4	Løsmassedybde i fabrikkens område [14]	5
2.5	Dominerende bergart i fabrikkens område [14]	6
2.6	Vindrosen viser at mesteparten av vind kommer fra sør-vest, og kan nå hastigheter på opp til 22 m/s. Dataen er presentert gjennomsnittlig per time og viser data over en periode på et år. Jo lenger vekk fra sentrum av rosen, jo flere timer er representert i den retningen og vindhastigheten.	6
2.7	Radiasjonsrosen viser fra hvilke retninger solen i Ålesund kommune er sterkest i løpet av et år. En kan se relativt store mengder sollys i nordlig retning, dette kommer av diffus stråling og dager med mange timer med sollys om sommeren.	7
3.1	Kraftpris utvikling med avgifter i Norge fra 2002 til 2022 [85]. Data for figur hentet fra Statistisk Sentralbyrå [4].	12
3.2	Formasjon av kuldebro og temperaturforskjeller ved installasjon av innvendig og utvendig isolasjon [31].	13
3.3	Prinsippskisse av hvordan en varmepumpe fungerer [87]	16
3.4	Skisse av et generelt borehull for utvinning av bergvarme [90]	17
3.5	Sammenhengen mellom direkte solinnstråing (DNI), diffus solinnstråing (DHI) og global solinnstråing (GHI) [18]	20
3.6	Asimutvinkel (Az) og helningsvinkel (Alt) [91]	21
3.7	Solcellemoduller som står på flat bakke vil skygge for hverandre. β er helningsvinkelen til sola. β_{max} er den maksimale helningsvinkelen til sola før det kommer skygge på raden bak. D er radbredden. d er avstanden mellom panelene. L er bredden til modulen. L_s er bredden av modulen uten skygge. v er helningsvinkelen til modulen.	22
3.8	Sinussetningen [75]	23
4.1	Veggene av sirkler modellerer omkringliggende trær skygge på bygget	28
4.2	Kurve generert av Gizmo	29
4.3	Tverrsnitt av (fra venstre:) kontorblokk, hall 1, lager 1, og hall 2. Tegning er tilsendt fra Spilka.	30
4.4	Modell av fabrikken tegnet inn i RH	30
4.5	GH tolker og viser modellen.	31
4.6	GH tolker modellen med rom som vist. Hvert punkt i rødt representerer et volumsenter. Modellen er inndelt slik for å forhindre bugs senere i scriptet.	31
4.7	Modellens vinduer er markert i grønt. Perspektiv fra Nord-Vest.	32
4.8	Modellens vinduer er markert i grønt. Perspektiv fra Sør-Øst	32
4.9	HB autogenerer bygningsdeler ut ifra geometrien som vist. Taket er satt gjennom-siktig her for å enkelt se innervegger.	33
4.10	Interne konstruksjoner generert av HB	39

4.11	Fra venstre: Dag hvor nedkjøling er nødvendig, Helg, Arbeidsdag. Verdier kan beskrives som 'prosentvis åpen garasjedør'	43
4.12	Fra venstre: Helg, Arbeidsdag. Mengder kan beskrives som 'Prosentvis antall folk tilstede'	43
4.13	Schedule for ferie. Mengder kan beskrives som 'prosentvis antall folk tilstede' . .	43
4.14	Fra venstre: helg, arbeidsdag. Mengder kan beskrives som 'prosentvis aktivitet av folk tilstede' hvor 0 er sammenlignbart med et individ i ubevisst tilstand, og 100 er sammenlignbart med et individ i full sprint for eksempel.	44
4.15	Ferie. Mengder kan beskrives som 'prosentvis aktivitet av folk tilstede'.	44
4.16	Vanlig driftsuke. Mengder kan beskrives som 'temperatur termostat er stilt inn på, hvor oppvarming initierer hvis innetemperatur er mindre'.	45
4.17	Ferie. Mengder kan beskrives som 'temperatur termostat er stilt inn på, hvor oppvarming initierer hvis innetemperatur er mindre'.	45
4.18	Fra venstre: helg, arbeidsdag. Mengder kan beskrives som 'prosentvis belysning påslått i fabrikken'.	46
4.19	Ferie. Mengder kan beskrives som 'prosentvis belysning påslått i fabrikken'. . . .	46
4.20	Fra venstre: helg, arbeidsdag. Mengder kan beskrives som 'prosentvis aktivitet i produksjonsanlegg og annet utstyr'	47
4.21	Ferie. Mengder kan beskrives som 'prosentvis aktivitet i produksjonsanlegg og annet utstyr'	47
4.22	Fra venstre: helg, arbeidsdag. Mengder kan beskrives som 'prosentvis aktivitet av ventilasjonsanlegg'.	48
4.23	Ferie. Mengder kan beskrives som 'prosentvis aktivitet av ventilasjonsanlegg'. . .	48
4.24	Totalt målt forbruk sammenlignet med simulert totalt forbruk	50
4.25	Målt forbruk til oppvarming av bygg sammenlignet med simulert energi til oppvarming	50
4.26	Målt energi til andre formål enn oppvarming sammenlignet med simulert energi til andre formål	51
4.27	Ekstrakt av GH script hvor visuell kontroll ble gjort.	51
4.28	Dampsperre plassert på innsiden av isolasjonssjikt.	54
4.29	Regnskjerm med totrinnstetting.	55
4.30	Eksempel på hvordan kan buffer-zone se ut.	56
4.31	Eksempel på hvordan kan indre garasjeport se ut [67].	57
4.32	Luftgardiner i industrielt bygg [69]	58
4.33	Plastlameller installert i port på yttervegg [60].	59
4.34	Hall-1 bjelke	60
4.35	Tversnitt av hall 1-2 og administrasjonsfløyen.	61
4.36	Snødybder i Ålesund.	62
4.37	matlab script for beregning av månedssummer	65
4.38	matlab script for beregning kraftbesparelser fra varmepumpeinstallasjon	65
4.39	matlab script for beregning investeringspris	66
4.40	matlab script for beregning av økonomisk besparelse fra varmepumpe	66
4.41	matlab script for beregning av NNV og tilbakebetalingstid.	66

4.42	En grafisk presentasjon av strålingsdata per time fra EPW filen som er geolokalisert til Ålesund. Strålingen her er GHI. Modellen viser et helt år.	68
4.43	Modellen ovenfra	69
4.44	Modellen sett fra sør-øst	69
4.45	Årlig solstråling på fabrikkens og nybyggets takarealer og sørvendte vegger. Bygningsselementer som ikke er vurdert for installering av solkraft er gjemt for enkelhets skyld.	70
4.46	Eksempelmodul	71
4.47	Modulen er lagd slik at den kan rotere hver individuelle del.	72
4.48	Denne modulen er veggmontert	72
4.49	Denne modulen er veggmontert	73
4.50	Denne modulen er montert på tak	73
4.51	Denne modulen er montert på tak	74
4.52	Dersom vinklede panel er for nærme hverandre, vil en miste produksjon	75
4.53	Gjennomsnittlig global horisontal innstråling (GHI) i området fabrikkens står på. Strålingen er gitt i W/kvm.	76
4.54	Modulradene beskytter hverandre	77
4.55	Matlab script for beregning av skyggefaktoren μ	78
4.56	Matlab script for beregning av vinkeltapsfaktor $\cos \theta$. Denne faktoren ble, i lag med μ , brukt for å korrigere DNI for å finne den totale forventede solinnstrålingen (GI).	78
4.57	Del 1 av hovedfunksjonen for solanalyse. Matlab script for beregning av mengde kraft kjøpt fra eller solgt til kraftnettet.	79
4.58	Del 2 av hovedfunksjonen for solanalyse. Matlab script for beregning av besparelser og inntjeninger med en vilkårlig mengde installert sol på fabrikketaket. Videre ble netto nåverdi og tilbakebetalingstid funnet i månedsoppløsning.	80
4.59	Enkel illustrasjon av hvordan veggmonterte moduler bør plasseres for å ikke skygge for hverandre mens de er i bruk. På modulene brukt i denne oppgaven, blir minimum avstand mellom toppene av PV-ene 1.5xL, som er 2.55 meter, cirka lik høyde som en normal etasje mellomrom.	82
4.60	Matlab script for beregning av NNV og tilbakebetalingstid	84
5.1	Simulert energi til oppvarming av bygg sammenlignet med simulert av bygg med +15cm-vegg-tak	85
5.2	Energibehovet av Base Caset er sammenlignet med energibehovet av en modell hvor hele bygget er antatt å være like tett som et passivhus. Verdier oppgitt i MWh.	86
5.3	Simulert energi til oppvarming av bygg sammenlignet med simulert av bygg med Passivhusvinduer	87
5.4	Forbruk av Base Caset sammenlignet med om garasjeportene er helt tette.	88
5.5	Simulert energi til oppvarming av bygg sammenlignet med simulert av bygg med null infiltrasjon. Det teoretisk mulige å spare på tetningsarbeid generelt på bygget.	89
5.6	Grafen viser priser på forskjellige bygningsdeler varierende med bredde av lameller	91
5.7	Styrking av kritiske punkter i bjelkelaget.	92
5.8	Støttende stålkonstruksjoner.	92

5.9	NNV for installasjon av bergvarmepumpe. Røde kurver viser endring i COP (+/- 0.5). Blå kurver viser endring i spesifikk varmeeffekt for energibrønn (Q/L) (+/- 20 %)	94
5.10	Tenkt løsning for utgraving av brønner og legging av kollektorslanger. KB er det fremtidige kontorbygget som skal bygges. Varmepumpen vil stå i det lille grå bygget som kollektorslangene kobles til.	95
5.11	Årlig total solinnstråling per kvm ved varierende asimutvinkel	96
5.12	Årlig total solinnstråling per kvm ved varierende helningsvinkel	96
5.13	Forventet solinnstråling per døgn i hver måned. x-aksene viser tid på døgnet i timer. y-aksene viser solinnstråling i W/m^2	97
5.14	Teoretisk beregnet skyggetap som funksjon av installert effekt. Skyggetapet påvirker årstotalen av solinnstråling per kvm solcelle. Det er gitt at helningsvinkelen til modulene er 41.5° , takareal er 7000 kvm og én kvm solcelle tilsvarer 200 Wp. . .	98
5.15	NNV som funksjon av installert effekt gitt ved ulike prisvekstfaktorer for strømmen og kalkulasjonsrente. Parameterene endres med +/- 10 %.	99
5.16	NNV som funksjon av installert effekt gitt ved ulike investeringskostnader. Parameteren endres med +/- 20 %.	99
5.17	Endring i månedlig kjøp av kraft ved å installere 400 kWp solceller på fabrikketaket.	101
6.1	Elektrisk energi som kan spares ved løsninger som reduserer byggets varmebehov.	105
6.2	Sparepotensiale for fabrikkens totale strømforbruk. Ikke-gjenvinnbar fra oppvarming er ekskludert fra sol for enklere visualisering.	115

Tabeller

2.1	Månedsoversikt over elektrisitetsforbruket til Spilka i 2022	4
3.1	Orienterende materialdata for noen varmeisolasjonsmaterialer [45].	14
4.1	Diverse konstruksjonsdelers tykkelse.	34
4.2	U-verdier av bygningsdeler [11] [21].	34
4.3	Konduktiviteten av bygningsdeler.	34
4.4	Massetetthet for diverse bygningsdeler og materialer [71].	35
4.5	Tyngdetetthet av konstruksjonsdeler	36
4.6	Spesifikk varmekapasitet av diverse materialer.	36
4.7	Spesifikk varmekapasitet av konstruksjonsdeler.	37
4.8	U-verdier for vindu og porter som oppgitt i TEK.	37
4.9	Månedlig strømforbruk, oppmålt og simulert. verdier gitt i kWh.	49
5.1	Tabellen viser strømforbruk av base case sammenlignet med modifiserte BEM hvor der er etterisolert. Denne dataen tar hensyn kun til redusert varmetap via transmisjon. Verdier oppgitt i MWh.	85
5.2	Tabellen viser strømforbruk av base case sammenlignet med om hele bygget har infiltrasjon som et passivhus. Verdier oppgitt i MWh.	86
5.3	Tabellen viser strømforbruk av base case sammenlignet med bytte til passivhusvindu. Verdier oppgitt i MWh.	87
5.4	Tabellen viser strømforbruk av base case sammenlignet med et scenario hvor garasjeporter holdes lukket konstant. Verdier oppgitt i MWh.	87
5.5	Tabellen viser strømforbruk av basecase sammenlignet med BEM hvor infiltrasjon i hele bygget er satt lik 0. Verdier oppgitt i MWh.	88
5.6	Resultater for varmepumpe med varmekapasitet på 40 kW med 28 W/m brønner	94
5.7	Resultater for installert effekt fra 350 - 550 kWp. Antatt virkningsgrad på solceller: 20 %	100
5.8	Resultater for installert effekt fra 350 - 550 kWp. Antatt virkningsgrad på solceller: 18 %	100

Begrepsliste

Asimutvinkel	Indikerer horisontal posisjonen til et himmellegeme. Sørvendt er 0.
Brønneffekt	Gjennomsnittlig varmeeffekt per meter energibrønn.
Byggforsk	Bibliotek som samler alle gjeldende bygnormer.
Coefficient of Performance	Antall kWh varme en varmepumpe avgir per kWh elektrisitet.
Coefficient of Variation of the Root Mean Squared Error	Statistisk feilkilde som tar hensyn til individuelle synkroniserte datapunkters avvik fra hverandre.
Coefficient of Variation	Statistisk feilkilde som tar hensyn til trender mellom synkroniserte datapunkter.
Diffuse Horisontal Radiation	Solinnstråling som reflekteres fra atmosfæren og treffer en horisontal flate.
Direct Normal Irradiance	Solinnstråling som går direkte fra sola og treffer ortogonalt på en flate.
Effektkurve	Effekten som forbrukes til en hver tid
Energibrønn	Dypt hull som borres i bakken for å hente ut varme.
Eurokode	Europeiske anbefalinger for konstruksjonssikkerhet. TEK og Plan- og Bygningsloven henviser til disse som beregningsgrunnlag.
Geosentrisk	Astronomisk modell hvor Jorda regnes som det stillestående sentrum av universet og alle himmellegemer går i bane rundt den.
Global Horisontal Irradiance	Solstråling målt ved bruk av en flate som ligger horisontalt over bakken.
Global Irradiance	defineres i denne rapporten som total solinnstråling som når frem til solcellene
Helningsvinkel	Indikerer hvor høyt noe peker. Horisontal retning er 0.
Infiltrasjon	Type varmeoverføring som omhandler lekkasjer i materialer.
kk	Tusen norske kroner.

Mkr	Millioner norske kroner.
Normal Mean Bias Error	Statistisk feilkilde som tar hensyn til forskjeller i mengde.
Normalvektor	En linje som står vinkelrett på et plan.
Plan og Bygningsloven	Norsk lov som er gjeldende for all byggmasse og tomter i Norge.
Solar Heat Gain Coefficient	Indikator for varme som genereres i bygg fra solinnstråling.
Solinnstråling	Strålingseffekten fra sola per kvadratmeter.
Stål-benkbeslag	En stål plate monteres rett under vindu for bedre isolasjon.
TEK17	Byggforskrift gjeldende fra 2017.
TEK85	Byggforskrift gjeldende fra 1985.
Termisk responstest	Metode for å finne de termiske egenskapene til berggrunnen.
Topp-bunnkarm	faste rammen på bunn og top av vindu.
Transmisjon	Type varmeoverføring som omhandler kontakt mellom partikler i material.
Vegglivet	Ytterflaten av en bygnings fasade.
Visible Transmittance	Tall på synlig lys som kommer igjennom overflate eller materiale.

Symboler

b	Bredde av tverrsnitt
d	Effektiv høyde av betongtverrsnitt
f_{cd}	Dimensjonerende trykkfasthet, betong
f_{ck}	Karakterisk trykkfasthet, betong
f_{yd}	Dimensjonerende trykkfasthet, stål
f_{yk}	Karakterisk trykkfasthet, stål
h	Høyde av tverrsnitt
M_{Ed}	Dimensjonerende moment
R^2	Coefficient of determination
\bar{m}	Gjennomsnittlig mengde av et datapunkt i et datasett.
m_i	Verdi av datapunkt i i et datasett som er målt.
s_i	Verdi av datapunkt i i et datasett som er simulert.
n	Antall punkter i et datasett.
p	Antall justerbare parametre i en simulering. Denne verdien bestemmes av ASHRAE.
C_0	Netto inntekt ved periode 0. (investering)
C_n	Netto inntekt ved periode n .
r	Kalkulasjonsrente (%)
n	Periode nummer n .
N	Levetid av økonomisk investering
p	Prisen til noe. [kr]
COP	Varmefaktor/COP-faktor [-]
Q	Varmeenergi [J]

\dot{Q}	Varmeeffekt [W]
W	Elektrisk arbeid [J]
P	Elektrisk effekt [W]
E	Elektrisk energi [J]
A	Areal [m^2]
d	Avstand mellom solcellemoduler på flatt underlag [m]
D	Radbredde til solcellemoduler på flatt underlag [m]
DHI	Diffuse horisontal solinnstråling [W/m^2]
DNI	Direkte normal solinnstråling [W/m^2]
GI	Global/total solinnstråling [W/m^2]
k_p	Installert effekt per kvadratmeter med solcellemodul [Wp/m^2]
L	Lengde på solcellemodul [m]
P_{inst}	Installert effekt [Wp]
v	Helningsvinkel til solcellemodul [$^\circ$]
β	Lokal høyde/helningsvinkel til et himmellegeme [$^\circ$]
λ	Lokal breddegrad/asimutvinkel til et himmellegeme [$^\circ$]
η	Virkningsgrad til solcelle [-]
μ	Skyggefaktor [-]
θ	Vinkel mellom solinnstråling og normalen til et plan [$^\circ$]
ρ	Tyngdetetthet [kg/m^3]

Forkortelser

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BAPV	Building attached photovoltaics
BC	Base case
BEM	Bygningsenergimodellering, Bygningsenergimodell
BIM	Bygningsinformasjonsmodellering, Bygningsinformasjonsmodell
BIPV	Building integrated photovoltaics
COP	coefficient of performance
CV(RMSE)	Coefficient of variation of the root mean squared error
DHI	Diffuse horisontal irradiance
DNI	Direct normal irradiation
EN	Europeisk standard
EPW	EnergyPlus Weather data file
GH	Grasshopper
GHI	Global horisontal irradiation
GI	Global irradiation
GSHP	Ground Source Heat Pump
Hall1	sørligste produksjonshall på spilkas fabrikktoomt
Hall2	Midterste produksjonshall på spilkas fabrikktoomt
Hall3	Nordligste produksjonshall på spilkas fabrikktoomt
HB	Honeybee
HVAC	Heating ventilation, air conditioning
ISO	International Organization for Standardization

kr	Norske kroner - NOK
kvm	Kvadratmeter
LB	Ladybug
NMBE	Normal mean bias error
NS	Norsk standard
NS-EN	Standard som er utviklet i Europa (CEN), og deretter fastsatt som Norsk Standard
PV	Photovoltaics (solceller)
RH	Rhino
SHGC	Solar Heat Gain Coefficient
SINTEF	Stiftelsen for industriell og teknisk forskning ved Norges tekniske høyskole
TEK	Teknisk forskrift
TRT	Termisk respons test
VT	Visible Transmittance

1 Innledning

Denne delen introduserer oppgaven og gir bakgrunnsinformasjon som motiverer gangen i teksten videre.

Norge har lenge hatt rikelig med fornybar vannkraft tilgjengelig på strømmettet, noe som har ført til lave kraftpriser. Dette har ført til at det vært lite fokus på energieffektivisering og egen kraftproduksjon på bygninger. I 2022 har, imidlertid, kraftprisene vært rekordhøye [8]. Dette har ført til høye strømregninger for bedrifter. Dermed er kan det bli mer aktuelt å begynne å minke energibehovet til kraftkrevende bygninger. Det kan også bli mer aktuelt for slike bygninger å produsere egen solkraft for å minke strømregningen. Et eksempel på en fabrikk med høyt energiforbruk er Spilka AS på Emblem. Det blir derfor sett på lønnsomheten av ulike energieffektiviserende tiltak som kan være aktuelle for denne fabrikkens å gjennomføre, samt se på muligheter for egen kraftproduksjon.

1.1 Avgrensning

Oppgaven må holde seg avgrenset til tiltak som er realistiske å utføre og som ikke motvirker Spilkas interesser. Oppgaven skal være av praktisk nyttig natur og forsøke å gi resultater som er anvendbare og nøyaktige teoretisk. Det planlagte kontorbygget er i konseptfase. Det vil si at der ikke er noen eksisterende digitale modeller eller håndfaste/vedtatte planer verken på byggets geometri, innredning eller funksjon. Bygningen vil være plassert i et område med relativt lite ledig tomteareal rundt grunnet eksisterende veier, tomtegrenser og bygg, og det vil da bli vanskelig å gjøre tester som omhandler endringer i geometri. Av denne grunn vil oppgaven i liten grad omhandle utforming og beregning rundt det planlagte bygget. Et enkelt studie som omhandler solkraft vil kunne inkluderes her. Fra Spilka, er gruppen tilsendt data om årlig strømforbruk, og plantegninger av fabrikkbygget. Videre har gruppen vært på befaringer på fabrikkens for å kunne ta til seg informasjon og innsikt fra observasjon og samtaler med ansatte. Det eksisterer lite detaljert informasjon om hva som eksisterer i bygningselementene som allerede er bygd. Noe informasjon kan måles, men for det meste må informasjon på dette feltet antas. Oppgaven vil derfor bestå av et relativt studium”. De fleste fysiske egenskaper vil bli antatt via arkiverte lovdata og byggnormer. Mange beregninger som omhandler byggets energibehov avhenger av lokalt klima. Dette vil aldri være konstant, og der vil være usikkerheter i resultater som følger av dette.

1.2 Beskrivelse av problemstilling

Etter en omvisning på fabrikkens til Spilka ble det besluttet å undersøke tiltak for de områdene som har tilsynelatende størst forbedringspotensial og som kan være lønnsomme. Tiltakene som undersøkes har som formål å minke oppvarmingsbehovet til fabrikkens, effektivisere bruk av energi til oppvarming av fabrikkens, og å se på potensialet for energiproduksjon og hvordan forsterking av struktur muliggjør dette.

Et av tiltakene som skal undersøkes er etterisolering av fabrikkens vegger og tak. Dette vil være et energieffektiviserende tiltak som skal minke varmestrømmen ut av byggets fasade og

infiltrasjonen igjennom byggmassen.

Det andre tiltaket som undersøkes er å bytte ut elektrisk kjel med varmepumpe som utnytter bergvarme. Dette tiltaket har som formål å delvis erstatte direkte elektrisk oppvarming av fabrikkens med fornybar varme fra berggrunnen under fabrikkens. Det blir sett på hvor mye kraft dette vil spare fabrikkens årlig, samt investeringskostnader for et slikt tiltak. Lønnsomheten for investeringen vurderes ved bruk av NNV-beregninger.

Det tredje tiltaket som skal undersøkes er å forsterke bæreevnen til første delen av fabrikkens. Tiltaket har elektriske varmekabler for å smelte snøen som havner på det om vinteren fordi bæreevnen ikke er dimensjonert for snølasten. Her skal det undersøkes om det vil være lønnsomt å forsterke bæreevnen til tiltaket for å kunne erstatte snøsmeltingen.

Det fjerde tiltaket som skal undersøkes er installasjon av solceller på fabrikkens tak og vegger. Formålet med dette tiltaket er å dekke deler av kraftbehovet til fabrikkens med solceller. Det blir gjort en vurdering på hvor mye solkraft som er gunstig å installere på fabrikkens. Det blir sett på hvor mye kraft fabrikkens vil spare og selge med solkraft og det blir gjort økonomiske vurderinger av tiltaket for å avgjøre om det blir lønnsomt.

Videre, vil erstatning av gamle vindu til passivhusvindu være en aktuell løsning å undersøke. Ved å minimere energitap her, kan en potensielt spare betydelige mengder med kraft.

Til sist, vil energitapet forårsaket av infiltrasjon igjennom porter bli tatt hensyn til. Pga flere store garasjeporter og langvarig på- og avlastning av varer og produkter kan det trygt teoretiseres at infiltrasjonen her vil ha en signifikant påvirkning på bygget. Flere metoder som omhandler tetting av disse vil bli presentert.

1.3 Rapportens oppbygning

Rapporten gir bakgrunnsinformasjon, før den forklarer all teori som er nødvendig for å kunne følge rapporten. Videre beskrives arbeidsmetodene som ble brukt for å komme frem til resultatene i detalj. Deretter presenteres resultatene for hvert tiltak og kvaliteten av disse diskuteres. Til slutt konkluderes studien ut ifra 2 tilnærminger: kostnytte av hvert foreslåtte tiltak, og energibesparelsen av tiltakene.

2 Bakgrunn

Spilka AS Industri er en bedrift som produserer vinduer og fasadeløsninger til bygg. Bedriften har en fabrikk stående på Emblem i Møre og Romsdal. Figur 2.1 viser hvordan fabrikkens ser ut.



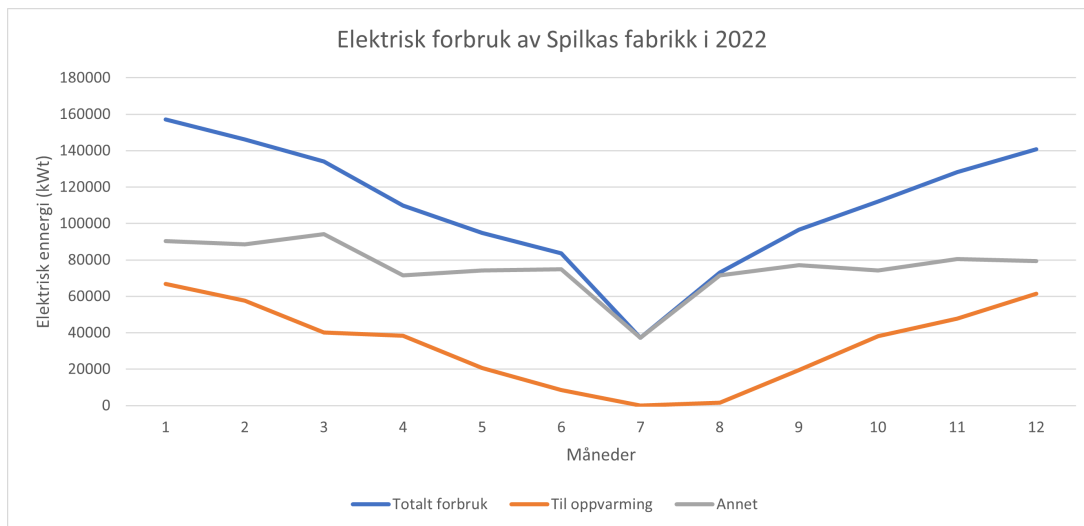
Figur 2.1: Fabrikkens til Spilka på Emblem [47]

Fabrikkens er bygd opp av tre produksjonshaller hvor det produseres aluminiums- og ståldeler til vinduer og fasader. Mellom hver produksjonshall er det lagerrom. I tillegg har fabrikkens en administrasjonsdel. Denne delen av bygget har pauserom, kontorer, møterom og en resepsjon.

Produksjonshall 1, produksjonshall 2, og kontorfløyen er bygd på 1980-tallet, og er antatt å være bygd i tråd med reglemang fra Teknisk Forskrift 1985. Produksjonshall 3 (lengst til venstre på figur 2.1) er bygd i 2019, og er antatt å følge Teknisk Forskrift 2017. Fysiske egenskaper av bygningselementer er antatt å være tilnærmet lik data fra byggnormer fra SINTEF-Byggforsk. Disse er forklart videre i kapittel 3.

Hele fabrikkens varmes opp ved bruk av vannbåren varme. Varmen genereres av en hybrid kjel som produserer varme fra elektrisitet og oljefyring. Kjelen er produsert av A.M.Anderssen Mek. Verksted AS og ble installert i 1983.

I 2022 brukte Spilka 400 MWh elektrisitet til romoppvarming og tappevann og 913 MWh elektrisitet til annen drift som inkluderer produksjon, ventilasjon, belysning osv. Totalt brukte fabrikkens 1314 MWh med elektrisitet i 2022. Tabell 2.1 og figur 2.2 viser månedsforbruket av elektrisitet i 2022.



Figur 2.2: Månedsforbruket av elektrisitet til fabrikk i 2022

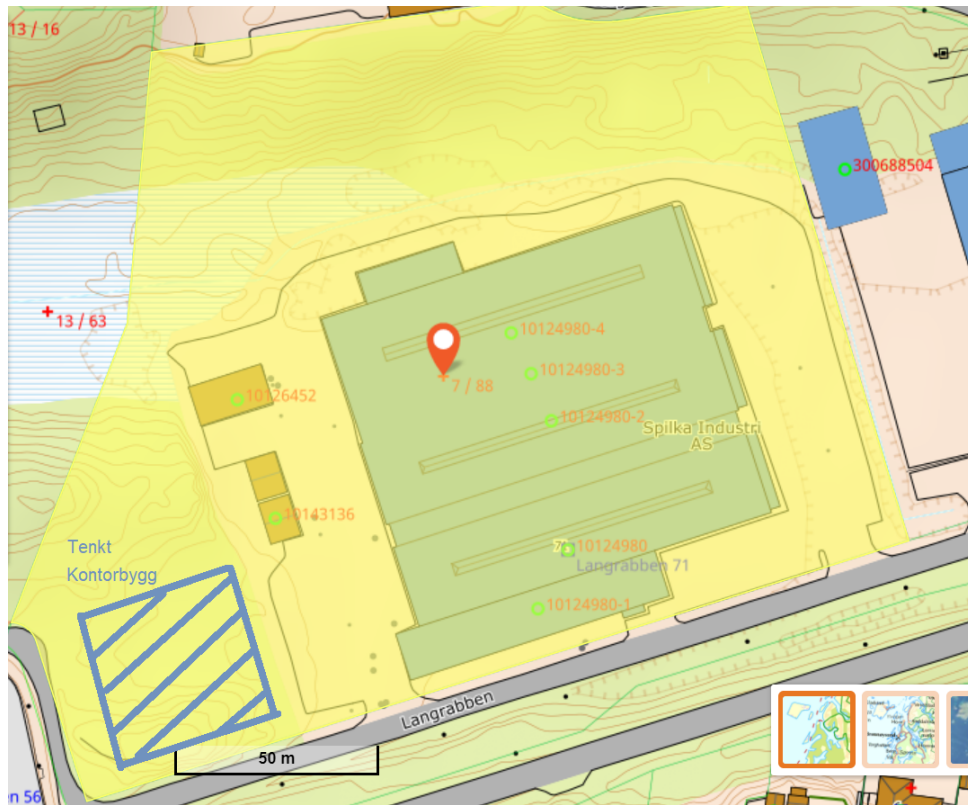
Tabell 2.1: Månedsoversikt over elektrisitetsforbruket til Spilka i 2022

Måned	Elektrisk kjel [kWh]	Annet [kWh]	Totalt [kWh]
Jan	66 757	90 275	157 032
Feb	57 619	88 495	146 114
Mar	40 059	94 098	134 157
Apr	38 302	71 562	109 864
Mai	20 621	74 231	94 852
Jun	8 617	74 950	83 567
Jul	30	37 170	37 200
Aug	1 658	71 497	73 155
Sep	19 597	77 039	96 636
Okt	38 014	74 172	112 186
Nov	47 797	80 436	128 233
Des	61 367	79 329	140 696
År 2022	400 438	913 254	1 313 692

70 % av årlig forbruk faller under kategorien ”annet”. 30% brukes på oppvarming av bygget.

2.1 Skisse av fabrikkomt

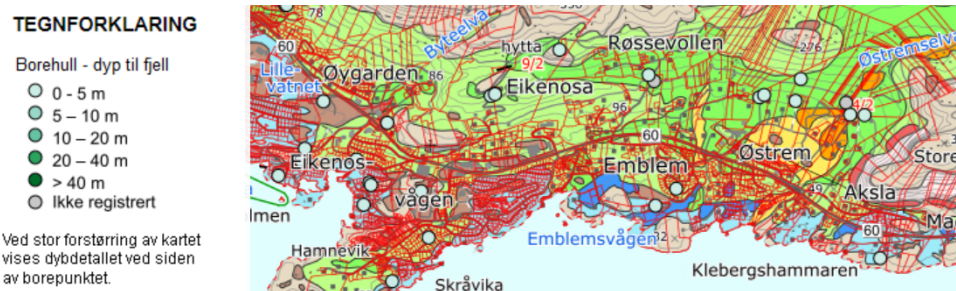
Figur 2.3 viser tomtens grenser. Kontorbygget skal plasseres mellom vegen og fabrikkens på det sørligste punktet på tomten.



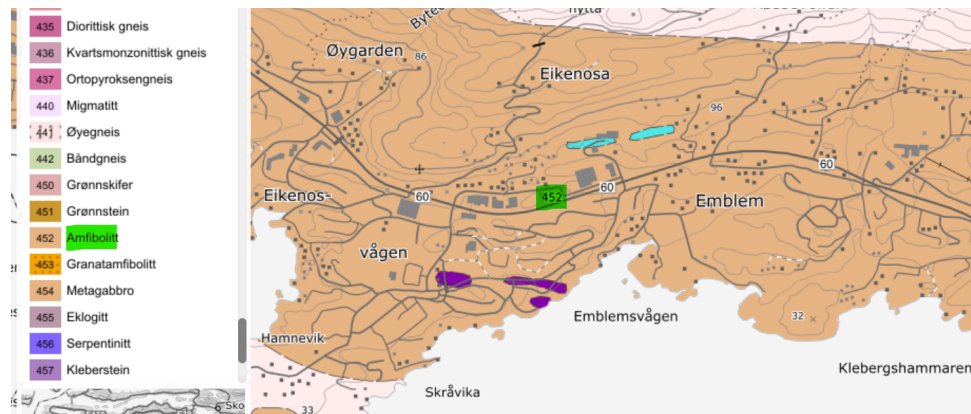
Figur 2.3: Kart over fabrikktomten [59]. Det kommende kontorbygget er planlagt å være plassert i hjørnet lengst mot sørvest

2.2 Geologiske forhold

Fabrikken er plassert på Emblem. Figurene 2.4 og 2.5 viser at i dette området er løsmassedybden 0-5 m og den vanligste bergarten i området er amfibolitt [14] og glimmerskifer [79].



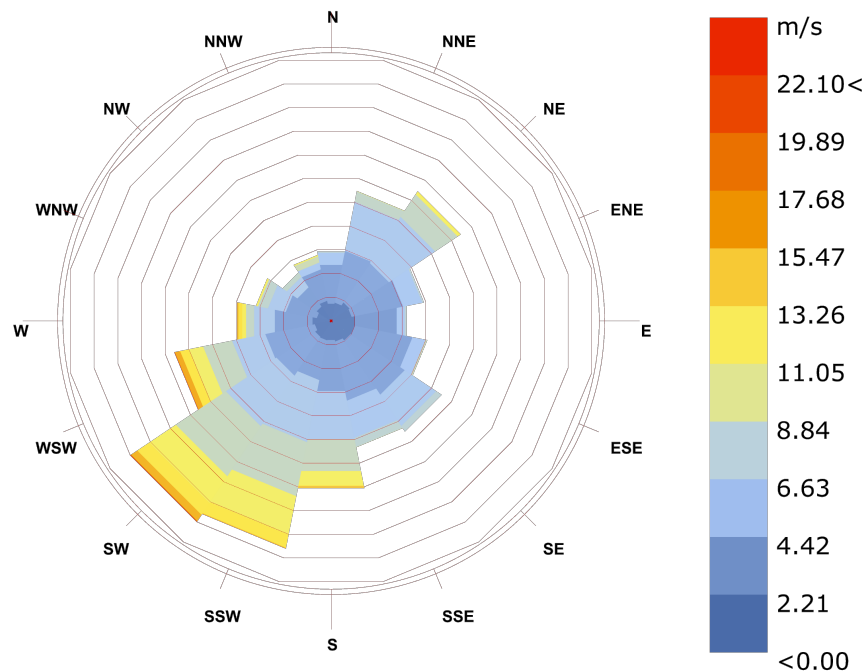
Figur 2.4: Løsmassedybde i fabrikkens område [14]



Figur 2.5: Dominerende bergart i fabrikkens område [14]

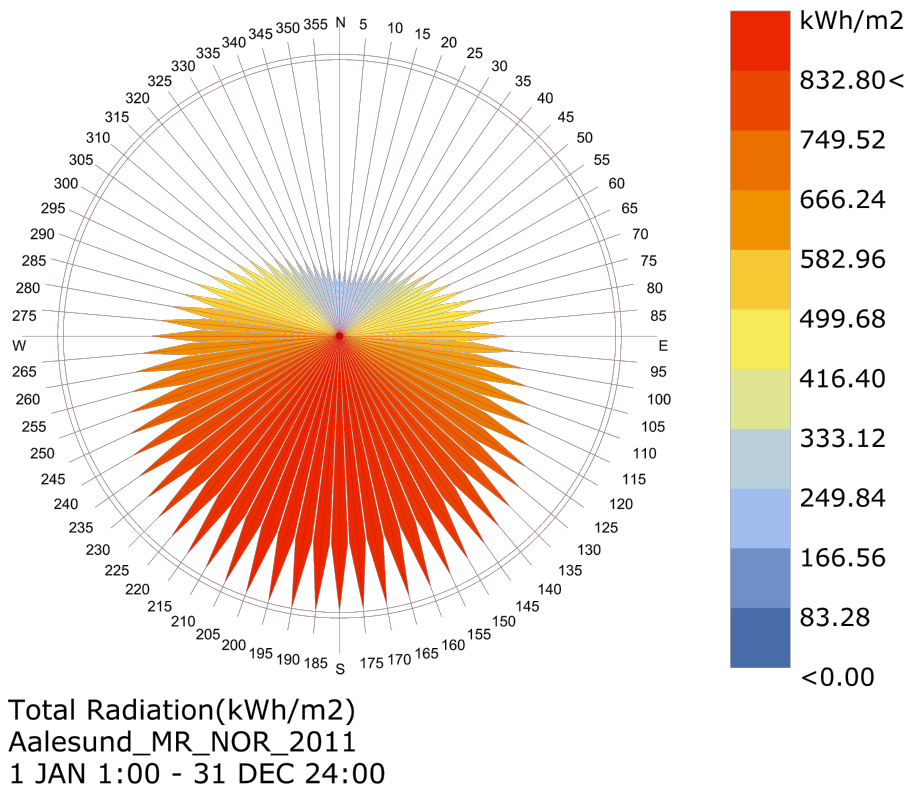
2.3 Klimasituasjon

Emblem er et vindutsatt område. I denne oppgaven brukes værfiler som forklares i kapittel 3. Figurene 2.6 og 2.7 beskriver vind og solinnstråling i Ålesund:



Wind-Rose
 Aalesund_MR_NOR
 1 JAN 1:00 - 31 DEC 24:00
 Hourly Data: Wind Speed (m/s)
 Calm for 0.02% of the time = 2 hours.
 Each closed polyline shows frequency of 1.2%. = 106 hours.

Figur 2.6: Vindrosen viser at mesteparten av vind kommer fra sør-vest, og kan nå hastigheter på opp til 22 m/s. Dataen er presentert gjennomsnittlig per time og viser data over en periode på et år. Jo lenger vekk fra sentrum av rosen, jo flere timer er representert i den retningen og vindhastigheten.



Figur 2.7: Radiasjonsrosen viser fra hvilke retninger solen i Ålesund kommune er sterkest i løpet av et år. En kan se relativt store mengder sollys i nordlig retning, dette kommer av diffus stråling og dager med mange timer med sollys om sommeren.

Disse figurene vil bli henvist til senere i oppgaven for å kunne beskrive klimasituasjonen til bygget.

3 Teori

I denne seksjonen presenteres alt av teoretisk grunnlag som oppgaven bygger på.

3.1 Programmer og Tekniske/Digitale begreper

I denne seksjonen blir alle dataprogrammer og teknologiske hjelpemidler som brukes i denne oppgaven presentert.

3.1.1 Rhino og Grasshopper

Rhino (RH) er et dataprogram brukt i byggeindustrien. Med innebygde digitale redskaper som Grasshopper (GH), som er en open-source plugin, kan dette programmet være meget anvendelig. Med forskjellige plugins, kan GH og RH brukes til mye forskjellig, som koding, miljø og klimaanalyse, simulering av vindtunneller og kuldebroer, analyse av struktur, parametrisk design, energimodellering og mer. I denne oppgaven vil energimodellering og klimaanalyse være spesielt relevant, men noen andre funksjoner benyttes også. Disse er skrevet videre om under:

3.1.2 EPW-filer

EPW-filer er datafiler som inneholder værdata over flere års perioder. Dataen hentes fra værstasjoner og fra satellittdata. Disse filene er regionale, og tar da i betraktning lokale vær fenomener. Under denne oppgaven brukes en fil geolokalisert til Ålesund, og tar for seg data fra perioden 2007-2021. Filen er hentet fra climate.onebuilding.org [22].

3.1.3 Ladybug

Ladybug (LB) er en plugin som er designet for å analysere klimadata. Programmet kan lese av data registrert per time, og gir gode grafiske hjelpemidler designet for å presentere dataen på en forståelig måte. Dette programmet er nødvendig å ha for å kunne senere gjøre analyser av solkraft og energibehov, da klima vil ha stor påvirkningskraft for begge tilfellene.

3.1.4 Gizmo

Gizmo er en plugin som kan brukes for å hente geometri fra forskjellige bygninger. Programmet bruker data fra karttjenesten OpenStreetMap for å generere modeller. Denne pluginen blir i denne oppgaven brukt for å simulere nærliggende bygninger. Mange av nabobyggene vil ha en neglisjerbar effekt på fabrikkbygget og det fremtidige kontorbygget til Spilka, men de nærmeste vil mulig ha en effekt på sollys som inntreffer på tomten.

3.1.5 Honeybee

Honeybee (HB) er en plugin som kan brukes til flere ting. Hovedfunksjonen er energisimulering. HB baserer seg på matematiske modeller fra OpenStudio. Det er gjennom denne pluginen alle beregninger angående energimodellenes energibehov foregår. Beregningene baserer seg på matematiske modeller og formler. Pluginen er også brukbar til beregning og visuell presentasjon av blant annet kuldebroer.

3.1.6 OpenStudio

OpenStudio er beregningsmodellen som brukes i Honeybee. OpenStudio er en kryssplattformssamling av redskaper for å forenkle energimodellering og dagslysanalyser [62]. OpenStudio er en PHD-oppgave, og gir en matematikk- og fysikkbasert modell til bruk for energimodellering.

3.1.7 TToolbox

Denne pluginen er brukbar til parametrisk design. I denne oppgaven brukes den til å eksportere data fra GH til Excel.

3.1.8 Building Energy Model

En Building Energy Model (BEM) er en digital modell som har som oppgave å simulere energibehov og energibruk av et bygg i drift [28]. Ved bruk av BEM, kan en si noe om hvor stor påvirkning diverse tiltak vil ha, og om de vil være verdt investeringen. Målet med BEM er å simulere ulike tiltak på bygningen og se hvordan de påvirker energibehovet som selve bygget har,

3.1.9 Matlab og Python

Matlab og ligner på Python. Begge er programmeringsspråk, og disse har mye til felles med tanke på syntaks og arbeidsfremgang [57]. Programmeringsspråket Python er brukt til enkle beregninger som omhandler antagelser til energimodellering. Matlab R2020b brukes til å gjøre tunge beregninger med store datasett.

3.2 Statistiske operatører for usikkerhet i målinger

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) krever kalibrering av BEM. Følgende statistiske feil skal og bør tas hensyn til:

3.2.1 NMBE

Normal Mean Bias Error (NMBE) er en statistisk feilmålingsmetode som gir uttrykk for hvor mye datapunkter i to datasett varierer i størrelse. I to datasett gir den da det helhetlige avviket mellom datasettene. ASHRAE krever at denne statistiske feilen er mindre enn 0.05, eller 5% for at de videre endringene i BEM'en skal være troverdige. NMBE er definert ved formelen:

$$NMBE = \frac{1}{\bar{m}} \cdot \frac{\sum(m_i - s_i)}{n - p} \quad (3.1)$$

hvor \bar{m} er den gjennomsnittlige mengden av ethvert datapunkt av den målte mengden, m_i er verdien av mengden av det målte datapunktet i , s_i er verdien av det simulerte datapunktet i , n er antall datapunkter, p er antall justerbare parametre, og i beskriver datasettets kronologi og er større enn 0 og mindre enn eller lik n . P er anbefalt å settes lik 0 for NMBE for å gjennomføre simuleringen [66].

3.2.2 CV(RMSE)

Coefficient of Variation of the Root Mean Squared Error (CV(RMSE)) er en statistisk feilmålingsmetode som måler det globale avviket mellom to datasett. To datasett med lik total mengde, kan fremdeles ha store forskjeller i størrelsen på hvert element. Dersom en for eksempel har en BEM med høy energiforespørsel om sommeren, og den faktiske dataen gir uttrykk for en høy etterspørselen om vinteren, kan en forvente stor feil i CV(RMSE) selv om totalen er tilnærmet lik. ASHRAE krever at CV(RMSE) er mindre enn 0.15, eller 15%. CV(RMSE) er definert med formelen:

$$CV(RMSE) = \frac{1}{\bar{m}} \cdot \sqrt{\frac{\sum(m_i - s_i)^2}{n - p}} \quad (3.2)$$

hvor alle parametre er forklart i 3.12.1, og hvor $p = 1$ for CV(RMSE) for simulering etter ASHRAE [66].

3.2.3 Coefficient of Determination

Coefficient of Determination (R^2) er en statistisk feilmålingsmetode som måler korrelasjon mellom trendene i to datasett. Dersom en i to datasett har lik progresjon mellom datapunkter fra start til slutt, vil R^2 konvergere mot 1. Dersom progresjon mellom datapunkter er ulik på like tidspunkter i datasettene, vil R^2 konvergere mot 0. ASHRAE anbefaler en R^2 av over 0.75, men dette er ikke påkrevd for å arbeide videre med BEM'en. R^2 er gitt ved formelen: [66].

$$R^2 = \left(\frac{n \cdot \sum(m_i \cdot s_i) - \sum m_i \cdot \sum s_i}{\sqrt{(n \cdot \sum(m_i)^2 - (\sum m_i)^2) \cdot (n \cdot \sum(s_i)^2 - (\sum s_i)^2)}} \right)^2 \quad (3.3)$$

3.3 Andre relevante begreper for energimodellering

Denne delen beskriver relevant terminologi for energimodellering.

3.3.1 Solar Heat Gain Coefficient

Solar heat gain coefficient (SHGC) er definert som prosentandelen av solstråling som penetrerer igjennom et materiale, og er applisert i energiberegninger som omhandler vinduer [64].

3.3.2 Visible Transmittance

Visible Transmittance (VT) er definert som prosentandelen av synlig lys som penetrerer igjennom et materiale. Dette er applisert i energiberegninger som omhandler vinduer [29].

3.3.3 Bygningsfysikk

Fra bygningsfysikken finnes former 3.4 og 3.5: [84] [43]

$$U = \frac{1}{R} \quad (3.4)$$

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (3.5)$$

hvor, U er U-verdi, R er Termisk resistanse, d er tykkelse av materialet, og λ er konduktiviteten av materialet. Formlene beskriver en fysisk sammenheng. Disse kan kombineres og omrokkeres for å løse for konduktivitet av materialer. Dette gjøres i kapittel 4.1.3.

3.4 Økonomiske beregninger - Nåverdi

For å gjøre økonomiske beregninger blir konseptet netto nåverdi (NNV) tatt i bruk. NNV forteller om hvor lønnsom en investering vil være i slutten av investeringens levetid. For å beregne NNV blir alle inntekter/besparelser og kostnader over levetiden summert med hensyn til en diskonteringsfaktor som tilpasser fremtidig kontantstrøm med dagens verdi. Formel 3.6 beregner netto nåverdi:

$$NNV = -C_0 + \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+r)^n} \quad (3.6)$$

I formel 3.6 er NNV netto nåverdi, C_0 er investeringskostnaden, n er tiden fra investeringen ble gjort, N er investeringens levetid, C_n er netto kontantstrøm ved et tidspunkt n , r er avkastningskravet eller diskonteringsrenten.

3.5 Strømpriser

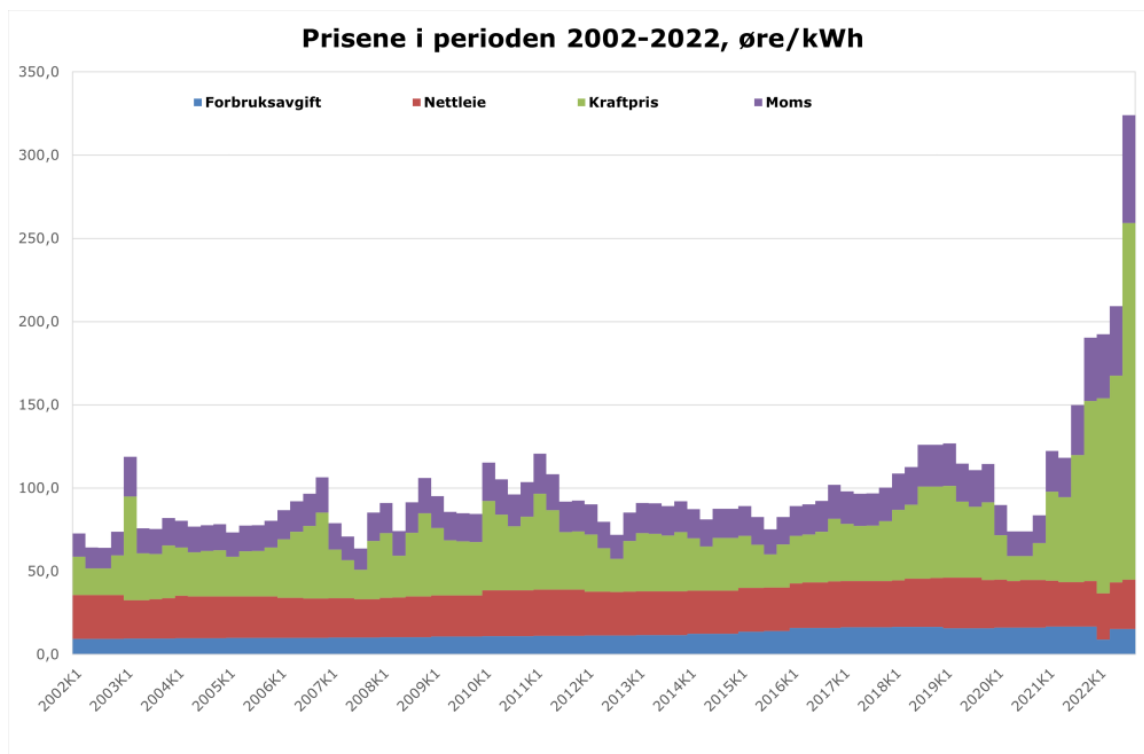
Når det kjøpes kraft fra strømmettet er det flere kostnader som spiller inn enn spottprisen på strømmen: Den totale kraftprisen er en sum av spottpris, nettleie, forbruksavgift, Enova-avgift og merverdiavgift [93]. Formel 3.7 viser hvordan disse parameterene spiller inn på hverandre:

$$p_{tot} = (p_{kraft} + p_{nett} + p_{forbruk} + p_{enova}) \cdot k_{mva} \quad (3.7)$$

Spottprisen og nettleien varierer gjennom året og tiden på dagen, mens forbrukeravgift, Enova-avgift og merverdien er konstant. Forbrukeravgiften er på 15,41 øre/kWh, Enova-avgiften er på 1 øre/kWh og merverdiavgiften er på 25 %. Alle avgiftene legges til strømprisen før merverdiavgiften ganges inn [93].

Historisk har strømprisen i Norge vært lav, som vist på figur 3.1, men siden begynnelsen av 2022 har strømprisen økt i stor grad [4]. I følge Statnett er det flere grunner til at prisene er høye. En av årsakene er at prisene på kull og gass har økt mye. En viktig grunn for dette er krigen i Ukraina, som påvirker energimarkedene og energiforsyningene. En annen grunn til at

kraftprisen har økt er at prisen på CO₂-avgifter har økt [61].



Figur 3.1: Kraftpris utvikling med avgifter i Norge fra 2002 til 2022 [85]. Data for figur hentet fra Statistisk Sentralbyrå [4].

3.6 Energieffektivisering

I denne seksjonen presenteres teori for de energieffektiviserende tiltakene som vurderes i denne studien.

3.6.1 Etterisolering

Fabrikken ble bygget på 1880-tallet som kun kontor og hall 1, 5 år senere trengte produksjonen mer plass og hall 2 ble konstruert. Rundt 2017 bestemte styret i selskapet seg for å bygge hall 3. For en slik konstruksjon, finner en forskjellige materialsammensetninger, som resultat av ulike gjeldende standarder som var gjeldende for ulike deler av bygget under konstruksjon. Kontordelen og de første to hallene antas å følge reglement gitt av TEK85. På den tiden var kravet for isolasjonstykkelse på mellom 10-20 cm på vegger, og mellom 15-25 cm på tak. Hall 3 er antatt å følge krav og standarder som beskrevet i TEK-17. Her er minstekrav for isolasjonstykkelse på veggene på rundt 25 cm, og 30-35 cm for tak.

Etterisolering kan være en krevende prosess, men det kan også være økonomisk lønnsomt på grunn av reduserte energikostnader. Isolasjon i vegg gjør at bygget minker energitap fordi det holder på varme bedre. i tillegg til dette øker isolasjon brannsikkerhet og lydtetthet mellom rom og etasjer.

3.6.2 U-verdi

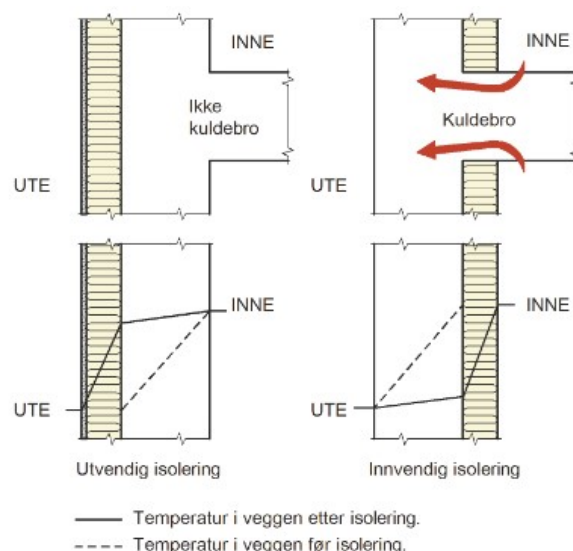
U-verdi eller varmegjennomgangskoeffisient er et mål på hvor god varmeisolerende evne bygget har. Dette beregnes gjennom de ulike varmemotstandene de ulike sjiktene ved både innvendig og utvendig overflate har, og gir en total verdi for hele konstruksjonsdelen. U-verdi beskriver mengden varme per tidsenhet som passerer igjennom en kvadratmeter av klimaskjermen, gitt temperaturforskjell mellom innendørs og utendørs miljø. Jo lavere U-verdien er, jo bedre isolasjon har bygget. U-verdi kan også beskrive varmtapet av hele bygget, gjennom varmemotstand av materialer i bygningsdelen ved innvendig og utvendig overflate [17].

Ifølge TEK-85 skal fabrikk bygg ha vindu med varerammer, og to lag vanlig glass. Vinduer er tillat en maksimal U-verdi av 2. Veggkonstruksjoner er påkrevd 10 cm isolasjonstykkelse, og maksimal U-verdi på 0.45.

Ifølge TEK-17 er minstekravet til yttervegg maksimal U-verdi på 0.22 og maksimal U-verdi på 1.2 for vinduer [17].

3.6.3 Kuldebro

En kuldebro er en del av konstruksjonen hvor det oppstår en direkte forbindelse mellom innendørs og utendørs områder. Dette fører til varmetap, økt fuktighet og risiko for muggvekst. Vanlige årsaker til kuldebroer er brudd i isolasjon eller feil under installering som forårsaker at ikke hele veggene er isolert. Figur 3.2 viser to måter å isolere en vegg på: utvendig og innvendig isolasjon. Utvendig isolering forhindrer dannelse av kuldebro ved etasjeskiller, fordi der ligger isolasjon og sjikter på utsiden av veggene som dekker over kuldebroen. På høyre side, der isolasjon blir installert på innsiden, ser en at det er fremdeles lett for kuldebroer å danne seg, og en taper energi igjennom sjikter med materialer med høy konduktivitet.



Figur 3.2: Formasjon av kuldebro og temperaturforskjeller ved installasjon av innvendig og utvendig isolasjon [31].

Figur 3.2 Viser også hvordan innvendig isolering kan føre til mugg, ved at temperaturforskjellen innvendig i konstruksjonen kan føre til kondens og fukt.

3.6.4 Materialer

Valg av isolasjonmaterialer avhenger av bygningens formål, klimatiske forhold i området og budsjettet for prosjektet. Alle isolasjonmaterialer har som felles funksjon å isolere, men noen kan ha en eller flere funksjoner utover dette som kan være bedre egnet til spesifikke byggs formål og budsjett-krav.

Mineralull er et isolasjonmateriale som er laget av mineralske fiber. Der finnes to hovedtyper: glassull og steinull.

Glassull er mest brukt i Norge. Det består av 70 prosent resirkulert glass i form av tynne fibre som danner en løs og lett masse. Materiale er tilgjengelig i en rekke forskjellige former som ruller, matter, plater og løs fyllmasse. Det er relativt lett å installere og gir god isolering for pengene. Det er viktig å bruke verneutstyr under installasjon da kan det irritere huden og lungene [88].

Steinull er laget av smeltet stein som er spunnet til fine fibre. Sammenlignet med glassull er den mer brann- og fuktsikker, og har god termisk- og lydisolering. Materialet er relativt miljøvennlig: det kan resirkuleres og avgir ikke farlige kjemikalier i luften. Omtrent levetid for mineralull er satt til å være 60 år. sperresjiktene kan bestå av hvilket som helst materiale som tilfredsstiller kravene for tetthet [88].

Tabell 3.1: Orienterende materialdata for noen varmeisolasjonsmaterialer [45].

Materiale	Bruksområde	Dimensjonerende varmekonduktivitet, W/(mK)	Luftgjennomgang $m^3/(m^2hpa)/m$	Spesifikk vamekapasitet J/(KgK)
Mineralull	Fuktbeskyttet bygningsdel	0,033 0,035 0,038 0,040	0,7	1030
Mineralull	Drensplater utenpå vegg mot grunnen, steinull	0,040	0,4	1030
Mineralull	Horisontalt i grunnen, utendøres, drenert	0,060	0,4	1030
Mineralull	Løsull utblåst på åpen flate	0,040 0,043 0,046	2,9	1030
Mineralull	Løsull innblåset i lukket hulrom	0,043 0,046	2,9	1030

For dampsperre er det viktig å ha størst mulig Z-verdi, (vanndampmotstand) som er en måling på

tetthet av dampperrer, for valg av materiale . 0.20mm polyetylenfolie har en vanndampmotstand på 450 (tetthetsmengde) og passer best for montering i yttervegg.

3.6.5 Tak

Takformer og type konstruksjon bestemmer både plassering av- og type isolasjon som kan brukes for nevnt tak. Fabrikken antas å ha kompakt tak med innvendig nedløp uten kalde luftede loftsrom som gir taket bedre sikkerhet mot brannspredning, fuktproblemer i form av inndrev av snø og regn fra utsiden, eller kondens ved luftlekkasjer fra innsiden.

3.7 Varmeoverføring i bygg

Denne delen beskriver to måter varmeenergi overføres på i konstruksjoner.

3.7.1 Transmisjon

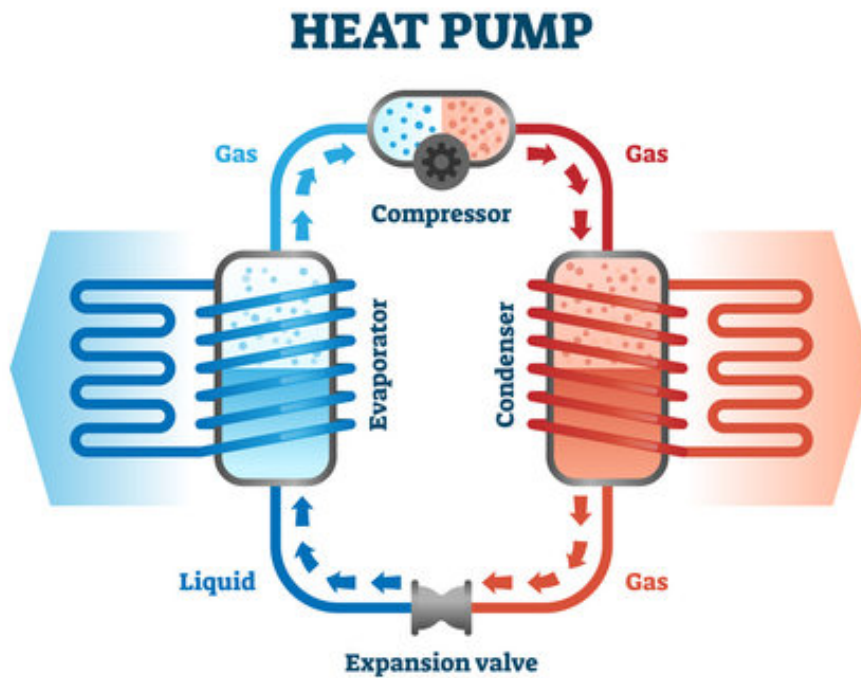
Transmisjon beskriver i bygningsfysikken varmen som overføres ved at den faser igjennom et material, og avhenger av konduktiviteten av materialer i bygget [58].

3.7.2 Infiltrasjon

Infiltrasjon beskriver i bygningsfysikken varmen som lekker igjennom sprekker og åpninger i byggets klimaskjerm. Typiske utsatte områder for infiltrasjon er dør- og vinduskarmer, men dette kan også forekomme ved at der er åpninger i sjikter i vegger [78].

3.8 Varmepumpe

En varmpumpe er en maskin som transporterer termisk energi fra en varmekilde til en varmelast. Det kan brukes til å både kjøle ned eller varme opp et område. Varmepumper tar i bruk høyverdig elektrisk energi og avgir flere ganger mer lavverdig termisk energi som hentes fra en varmekilde. Forholdet mellom varme avgitt og elektrisitet brukt kalles for varmfaktoren eller COP som betyr 'Coefficient of performance'. Se formel 3.8. I praksis er varmfaktoren på 3-4 for moderate temperaturløft (15 - 25 °C) [39]. Termisk energi absorberes gjennom at et kjølemedium går fra væske- til gasstilstand i lavtrykk. Energien avgis når kjølemediet går fra gass- til væsketilstand i høytrykk [19]. På figur 3.3 illustreres hvordan varmpumper fungerer.



Figur 3.3: Prinsippskisse av hvordan en varmepumpe fungerer [87]

Formelen for COP-faktor er:

$$COP = Q_{ut}/W_{inn} \quad (3.8)$$

Hvor Q_{ut} er varmen som går ut fra varmepumpen og W_{inn} er elektrisiteten som går inn.

På effektform er formel 3.8 gitt som:

$$COP = \dot{Q}_{ut}/P_{inn} \quad (3.9)$$

Hvor \dot{Q}_{ut} er varmeeffekten ut av varmepumpen og P_{inn} er den elektriske effekten som går inn i varmepumpen.

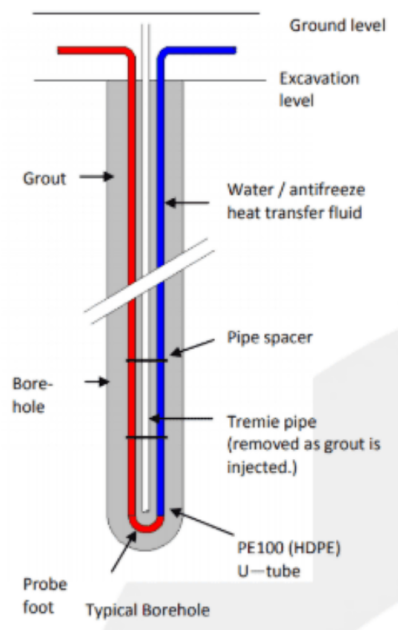
Energi kan hverken oppstå eller forsvinne, bare endre form. Dermed må summen av energien som går ut av pumpen være lik summen av energien som går inn av pumpen.

$$\dot{Q}_{ut} = P_{inn} + \dot{Q}_{inn} \quad (3.10)$$

Hvor \dot{Q}_{inn} er varmeeffekten som går inn i varmepumpen.

Ved å sette sammen ligning 3.9 og ligning 3.10 blir en ny ligning for \dot{Q}_{inn} funnet:

$$\dot{Q}_{inn} = \dot{Q}_{ut} \cdot \left(1 - \frac{1}{COP}\right) \quad (3.11)$$



Figur 3.4: Skisse av et generelt borehull for utvinning av bergvarme [90]

3.8.1 Bergvarme

Varmepumper kan variere i hvilke reservoar de henter varme fra og om de avgir varmen til luft eller vann. De fleste private hus som har varmepumpe bruker luft/luft-varmepumper. Her er varmekilden uteluft, og varmen avgis til luften inne i huset. Noen hus bruker luft/vann-varmepumpe, som avgir varme til et vannbårent distribusjonssystem i huset. Større bygningskomplekser bruker gjerne sjøvann, bergvarme eller jordvarme som varmekilde [19].

Varmepumper kan hente varme som er lagret under bakken, dette kalles grunnvarme. Grunnvarme kan hentes fra jord, berg og grunnvann. Disse kildene har stabil temperatur gjennom hele året. Dette gir gode driftsbetingelser for varmepumpen. Grunnvarme kommer hovedsakelig fra solvarme, men spalting av radioaktive elementer i berggrunnen bidrar også med noe varme [13]. I analysen for varmepumpe blir det kun sett på bergvarme som mulig løsning.

3.8.2 Energibrønner

Bergvarme benyttes ved å bore energibrønner. En energibrønn er et hull som typisk er omtrent 15 cm i diameter og er 60 til 200 m dypt, men kan være dypere. I brønnen blir det lagt en kollektorslange av plast med en frostsikker væske som absorberer varmen i berggrunnen [90]. På figur 3.4 vises hvordan en slik energibrønn ser ut.

Investeringskostnaden for et slikt type anlegg påvirkes av fire geologiske forhold [13]:

- Tykkelse på løsmassedeckket over fjelloverflaten
- Den varmeledende evnen til berggrunnen

- Temperatur i berggrunnen
- Grunnvannsnivå

Tykkelse på løsmassedekket over fjelloverflaten påvirker kostnaden på borearbeidet. Grunnen til dette er at løsmassen må støttes opp med et føringsrør av stål. Dermed blir boring i løsmasse omlag 4 ganger så dyrt som boring i fast fjell [13]. Borekostnader i fjell ligger på 150-250 kr. Borekostnader i løsmasser ligger på 500-700 kr [38]. I tillegg til borekostnader kommer kostnadene for kollektorslangen på 650 kr/m [41]. Dersom flere brønner skal borres bør det være minst 15 m avstand mellom dem [15].

Temperaturen i berggrunnen er vanligvis 1-2 °C høyere enn årsgjennomsnittlig lufttemperatur i området. Varmeledningsevnen til berggrunnen ligger som regel mellom 2 til 4.5 W/mK. Høy varmeledningsevne gir større varmeuttak per boremeter. Ren kvarts har varmeledningsevne på mer enn 6 W/mK [13]. I Ålesund er amfibolitt og glimmerskifer den vanligste bergartskomposisjonen. Denne har en gjennomsnittlig varmeledningsevne på 2.5 W/mK [79]. Ålesund har en årsmiddeltemperatur på 7 grader i luften [79].

Brønneffekt defineres som gjennomsnittlig effekt fra en brønn per meter. For energibrønner av granitt er denne mellom 55 to 70 W/m [90]. Brønneffekt varierer med parameterene som ble nevnt i avsnittene over, så for å finne den virkelige brønneffekten under fabrikkene blir det nødvendig å gjennomføre en termisk responstest (TRT), som samler empirisk data for brønneffekten. Dette kan lønne seg å gjøre for større prosjekter for å få en bedre dimensjonert varmpumpe [90]. En energibrønn på 300 m kan gi 1 kW varme under gode forhold [15]. Dette tilsvarer 33 W/m. I denne rapporten blir det antatt at brønneffekten er på 28 W/m ettersom at Ålesund regnes som å ha gode forhold [79].

3.8.3 Fordeler og ulemper med grunnvarmepumper

Det er fordeler og ulemper med bergvarmepumper: Fordeler med bergvarmepumper er at [56]:

- de har høy varmfaktor gjennom hele fyringssesongen. Dette kommer av at varmekilden har stabilt høy temperatur.
- de lager ingen utendør støy.
- de har lang levetid. Selve pumpen har levetid på 15-20 år, rørinstallasjonen på 50 år, energibrønner har tilnærmet uendelig levetid [23].
- Lave drifts og vedlikeholdskostnader.

Ulemper med bergvarmepumper er [56]:

- Investeringskostnaden er større enn luftvarmepumper på grunn av bore- og gravearbeid.

- Forholdene må ligge til rette for å kunne utnytte bergvarme som opptakskilde.

3.9 Solkraft

Her blir det presentert teori for solceller i form av BIPV og BAPV. Det blir forklart hva solinnstråling er og hvordan ulike former for solinnstråling defineres. Det blir også forklart hvordan vinkling på solcellemoduler og skygge kan påvirke solinnstråling.

3.9.1 Solcellepanel

Solcellepaneler er installasjoner som omgjør stråling fra solen om til elektrisk energi. Det er vanlig for solcellepanel å operere med en virkningsgrad på 16-20 % [76]. Denne verdien blir brukt i alle beregninger som omhandler solcellepaneler i oppgaven.

3.9.2 BIPV

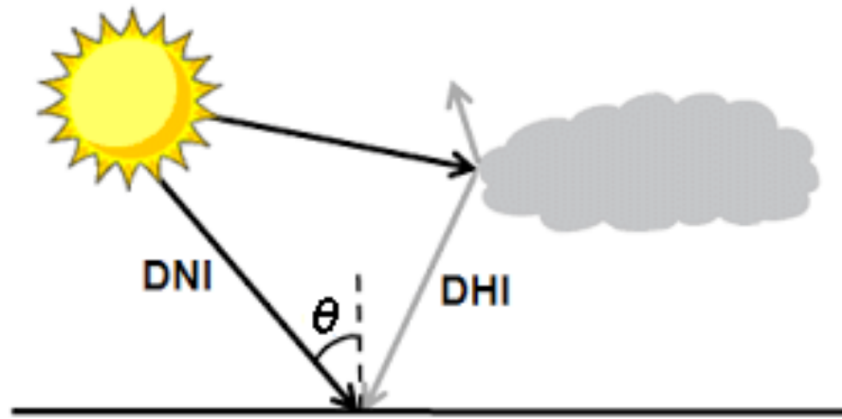
Building Integrated Photovoltaics (BIPV) er solcellepaneler som er integrert inn i byggets struktur og er selve klimaskjermen på bygget [81]. BIPV egnest godt til installasjon i bygg som enda er under planlegging.

3.9.3 BAPV

Building Attached Photovoltaics (BAPV) er solcellepaneler som er montert utenpå byggets eksisterende klimaskjerm [10]. Egnest godt både til motering på allerede eksisterende bygg og til integrering i planlegging av nye bygg.

3.9.4 Solinnstråling - DNI, DHI og GHI

Solinnstråling er strålingseffekten som treffer et avgrenset område, og er gitt i W/m^2 . Den totale solinnstrålingen som treffer et flatt horisontalt område kalles for 'Global Horisontal Innstråling' (GHI). GHI er en sum av to former for innstråling: 'Direkte Normal Innstråling' (DNI) og 'Diffus Horisontal Innstråling' (DHI). DNI er solinnstråling som treffer ortogonalt på et areal. Denne formen for solinnstråling påvirkes av vinkelen mellom solstrålene og arealet til panelet. DHI er solinnstråling som reflekteres av atmosfæren og treffer et område. Denne solinnstrålingen kan antas å være uavhengig av vinkel ettersom konsentrasjonen av diffuse solstråler er omtrentlig lik fra alle vinkler mot himmelen [70]. Figur 3.5 viser de to typene solinnstråling. Ligning 3.12 viser sammenhengen mellom GHI, DNI og DHI.



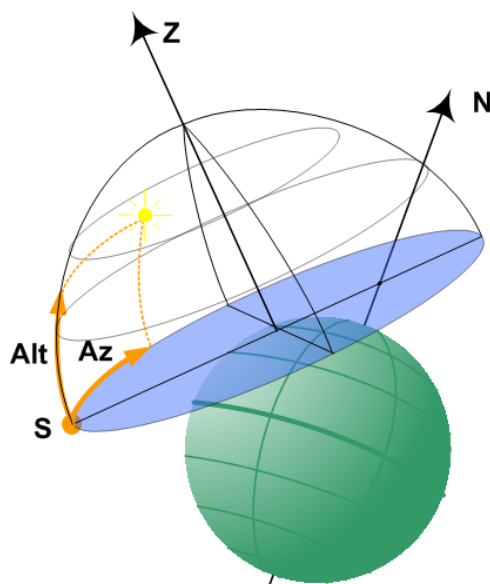
Figur 3.5: Sammenhengen mellom direkte solinnstråling (DNI), diffus solinnstråling (DHI) og global solinnstråling (GHI) [18]

Sammenhengen mellom DNI, DHI og GHI er gitt ved ligning 3.12. Her er θ vinkelen mellom vertikal og retning på solstrålene [70]:

$$GHI = DNI \cdot \cos \theta + DHI \quad (3.12)$$

3.9.5 Vinkling på solcelle

Retningen til en solcelle defineres av asimut og helningsvinkelen. På figur 3.6 illustreres disse to vinklene. Asimutvinkel er bestemmer hvordan panelet er rotert langs horisonten. Asimutvinkelen kan variere fra -180° til 180° , hvor 0° defineres som retning mot sør. Asimutvinkelen defineres til å øke med klokken. Helningsvinkelen bestemmer hvor bratt helningen på panelet skal være. Helningsvinkel kan variere fra -90° til 90° , hvor 0° defineres som retning parallelt med underlaget. Helningsvinkel defineres til å øke i retning oppover. Retningen til et panel er definert som retningen til normalen på planet.



Figur 3.6: Asimutvinkel (Az) og helningsvinkel (Alt) [91]

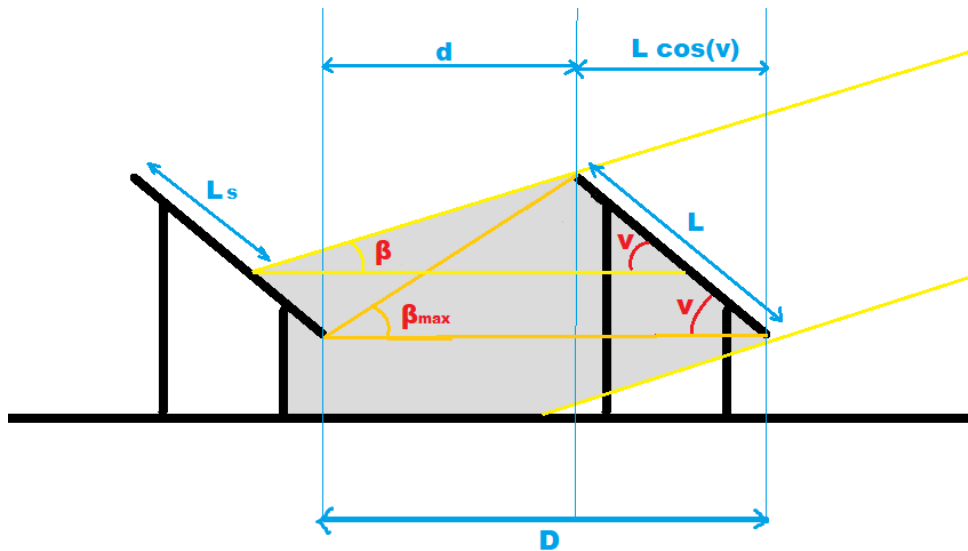
For å finne vinkelen mellom to himmellegemer blir følgende formel tatt i bruk [26]:

$$\cos \theta = \sin \beta_1 \sin \beta_2 + \cos \beta_1 \cos \beta_2 \cdot \cos (\lambda_1 - \lambda_2) \quad (3.13)$$

I formel 3.13 er θ vinkelen mellom solen og solcellen. β_1 og β_2 er helningsvinklene til de to himmellegemene. λ_1 og λ_2 er asimutvinklene til de to himmellegemene.

3.9.6 Skygge på takmonterte solcellemoduler

Figur 3.7 viser solceller som er montert i rader, og hvordan disse radene skygger for hverandre:



Figur 3.7: Solcellemoduller som står på flat bakke vil skygge for hverandre. β er hevningsvinkelen til sola. β_{max} er den maksimale hevningsvinkelen til sola før det kommer skygge på raden bak. D er radbredden. d er avstanden mellom panelene. L er bredden til modulen. L_s er bredden av modulen uten skygge. v er hevningsvinkelen til modulen.

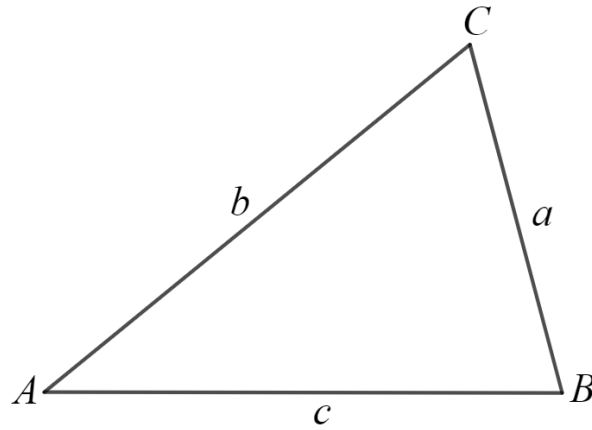
Det er direkte solinnstråling som påvirkes mest av skyggen. Skyggens påvirkning på diffus solinnstråling neglisjeres. Det defineres en faktor μ i formel 3.14 som ganges med den direkte solinnstrålingen for å korrigere for skyggetapet.

$$\mu := \frac{L_s}{L} \quad (3.14)$$

Formel 3.15 viser sinussetningen. Sinussetningen er et trigonometrisk teorem som forteller at forholdet mellom sidelengdene og sinus til motstående vinkel for siden er lik for alle sider av en trekant [75].

$$\frac{a}{\sin(A)} = \frac{b}{\sin(B)} = \frac{c}{\sin(C)} \quad (3.15)$$

Parameterne i formel 3.15 vises i figur 3.8.



Figur 3.8: Sinussetningen [75]

Det blir satt opp en formel 3.16 for maksimal installert effekt.

$$P_{inst,max} = A_{sol,max} \cdot k_p = A_{tak} \cdot \frac{L}{D} \cdot k_p \Leftrightarrow B := \frac{D}{L} = \frac{A_{tak} \cdot k_p}{P_{inst}} \quad (3.16)$$

I formel 3.16 er $P_{inst,max}$ maksimal installert sol gitt radbredden D , modullbredden L , takareal A_{tak} . k_p er hvor mye installert effekt én kvm solcellemodul gir, gitt i W_p/m^2 . B defineres som forholdet mellom radbredden D og modullbredden L .

Bruker sinussetningen (ligning 3.15) og får at:

$$\frac{L_s}{\sin \beta} = \frac{D}{\sin(180^\circ - \beta - v)} \Leftrightarrow L_s = D \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(180^\circ - \beta - v)}$$

Deler ligningen over med L og setter inn det som ble funnet i ligning 3.14 og 3.16, og får ligning 3.17, som gir et uttrykk for korrigeringsfaktoren μ som funksjon av solens helningsvinkel β :

$$\frac{L_s}{L} = \frac{D}{L} \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(180^\circ - \beta - v)} \Leftrightarrow \mu = B \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(180^\circ - \beta - v)} \quad (3.17)$$

Når solen står høyere enn maksimalhelningsvinkel β_{max} for beskygging defineres μ til å være 1. For å finne β_{max} blir det tatt i bruk trigonometri:

$$\tan(\beta_{max}) = \frac{L \sin v}{d} = \frac{L \sin v}{D - L \cos v} = \frac{\sin v}{D/L - \cos v} \Leftrightarrow \beta_{max} = \tan^{-1} \left(\frac{\sin v}{B - \cos v} \right) \quad (3.18)$$

μ fra formel 3.17 brukes til å korrigere for skyggetap i solinnstrålingen. Det betyr at formel 3.12 tilpasses til å bli formel 3.19:

$$GI = DNI \cdot \cos \theta \cdot \mu + DHI \quad (3.19)$$

Prosentvis skyggetap blir beregnet ved bruk av formel 3.20:

$$tap_{GI} = 1 - \frac{GI_{skygge}}{GI_{u,skygge}} = 1 - \frac{DNI \cdot \cos \theta \cdot \mu + DHI}{DNI \cdot \cos \theta + DHI} \quad (3.20)$$

3.10 Lovverk og standarder

Rehabilitering er tidsbegrensede, planlagte prosesser med klare mål og virkemidler, hvor alle aktører samarbeider for å oppnå best mulig funksjonevne for et bygg. fasadeendringer er søknadpliktig til vanlig men mindre tiltak er tillatt uten krav om dispensasjon. Disse er listet nedenfor [33]:

- fasadeendring som ikke fører til at bygningens karakter endres, samt tilbakeføring av fasade til tidligere dokumentert utførelse.
- reparasjon av byggverk.
- oppføring, endring eller reparasjon av bygningstekniske installasjoner.

Eksempler på fasadeendringer [32]:

- Utvendig etterisolering
- Bytte type av vinduer

Reguleringsplan er et arealplankart som skal følges for framtidig arealbruk for bestemte området. Der kommunestyrets vedtak er bindende for nye tiltak eller utvidelse av eksisterende tiltak. Med tiltak menes det alt fra oppføring, riving, endring og herunder fasadeendringer [33].

Standarder er et omfattende system som regulerer ulike områder, som blant annet bygg. Et eksempel på en slik standard er Eurocode.

3.10.1 TEK17

TEK17 er et lovverk som gir tekniske krav til byggverk, som setter minimumsgrenser for egenskaper av byggverk for at bygget kan oppføres lovlig i Norge [21]. Loven ble tatt i bruk fra 2017, og er den standarden som er gjeldende når dette dokumentet er skrevet. Her er blant annet lovverk om energieffektivitet, regulering av inneklimate, og installasjoner, som vil være relevant for denne teksten. selv om at lovverk setter krav på det meste, er det fritt å velge bygningstekniske løsninger så lenge det tilfredsstillende de overordnede kravene.

Hall 3 er bygget etter 2017, og dermed ble det bygget etter kravene fra TEK-17. Antagelser i tråd med forskriften vil bli applisert til denne bygningsdelen.

3.10.2 TEK85

TEK85 er meget likt TEK17, men er gjeldende for byggverk reist etter 1985 [11]. Lovverket hadde opptredende kraft from til år 1987, da TEK87 ble utgitt. Denne standarden gir også tekniske krav til bygg, men disse kan variere i stor grad fra krav i TEK17. For å kunne si noe om energibehovet i bygget, må en hente ut historiske data om varmegjennomtrenging fra dette dokumentet.

Hall 1, hall 2, og kontorbygget er alle bygd på 80-tallet. Under samtaler med Spilka kom det ikke frem nøyaktige årstall, men at det er en 5-års forskjell mellom tidspunktene disse ble bygd. På grunn av dette antas disse 3 delene av bygget å være konstruert etter reglement fra TEK85.

3.10.3 Eurocode

Eurocode er utviklet av European committee for standrization (CEN). Europeisk standard står for teknisk design og analyse av konstruksjoner, består av forskjellige standarder for konstruksjon innebærer styrke, stabilitet, holdbarhet og brannsikkerhet. Standardene dekker alle materialer som stål, betong, tre og fiberkomposittmaterialer [46].

3.10.4 Plan- og bygningsloven

Plan- og bygningsloven er et overordnet lovverk som gir generelle krav til utforming av byggverk [55]. Dersom bygget blir endret på, må det sjekkes om dette lovverket tillater en slik endring. Formålet med denne loven er at konstruksjoner i Norge skal være bærekraftige og allment brukbare. Dette er den samlingen av lover som er ”høyest rangerende” i den norske byggebransjen, og som er obligatorisk å følge.

Dersom fabrikkens fasade endres, eller om påbygg reises, må dette sjekkes opp imot Plan- og Bygningsloven.

3.10.5 Lokale reglement

Det kan være at kommunen har egne, lokale krav til utforming av bygg som skiller seg fra andre steder. Et tydelig eksempel på dette finnes i Ålesund sentrum: her finnes ferdige arealplaner med reglement om hvordan bygg skal se ut [49]. Det er mulig at en endring av byggets fasade, eller et påbygg kan stå i konflikt med, eller krever søknad av kommunale regler. Derfor må dette også sjekkes opp i.

3.10.6 ASHRAE

ASHRAE er en Amerikansk byggestandard. For utforming av energisimulering ved bruk av digitale 3D modeller, er ASHRAE en internasjonalt anerkjent standard, ettersom det er en av meget få standarder internasjonalt som tar for seg slike tema. Denne gir krav angående kalibrering av energimodeller av bygg, slik at resultatene som vises skal være så pålitelige som mulig [86].

3.10.7 SINTEF - Byggforsk

Byggforskserien er en serie med tekniske anvisninger, veiledninger og byggnormer for byggebransjen i Norge. Serien er en del av SINTEF, en av nordens største uavhengige forskningsorganisasjoner [73] [72]. Byggforskserien gir praktisk veiledning om utforming av arealer og hvordan man kan bygge og vedlikeholde bygninger på en god og effektiv måte. Samtidig omfatter serien veiledninger om materialvalg, konstruksjonsløsninger og energieffektivitet. I denne oppgaven er Byggforsk brukt til å hente informasjon om fysiske egenskaper til materialer og vegger til input for BEM-en.

3.10.8 ISO - standarder

ISO standarder er laget av en organisasjon dedikert til å utforme internasjonale standarder [44]. I denne oppgaven er ISO-standarden NS-EN ISO 10456 brukt for å hente data om spesifikk varmekapasitet i diverse bygningsmaterialer.

3.11 Betong

Betong er et byggemateriale som består av sement, sand, stein og vann. Det er kjent for sin styrke og holdbarhet. Betong kan støpes til ulike former og størrelser, og brukes i ulike bygningsdeler som tak, vegg, gulv og fundament. Betong er relativt billig og lett å produsere. Betong kan ha ulike egenskaper avhengig av ingrediensene som brukes og type armering. Betong er ikke et brennbart materiale og tåler høye temperaturer uten å miste styrken. Det har god evne til å absorbere lyd, som er gjør det til et godt valg for bygninger som krever støyreduksjon [46].

3.11.1 Armeringsstål

Armeringsstål er en type stål i form av runde eller deformede stenger som brukes til å forsterke betongkonstruksjoner, og øker evne til å motstå trykk- og strekkspenning. Dets primære oppgave er å ta opp strekkraftene i betong, da betongen i seg selv har dårlig strekkstyrke.

3.11.2 Prefabrikkerte betongelementer

Prefabrikkerte betongelementer er ferdigstøpte betongkonstruksjoner som er produsert på en fabrikk uavhengig av uteklimate, noe som gir høyere kvalitet og mer effektiv produksjon. Det er billigere og krever mindre byggetid enn plasstøpt betong.

4 Metoder

I denne seksjonen presenteres fremgangsmetoden som ligger bak resultatene for denne studien.

4.1 BEM

For å kunne kjøre større og krevende beregninger på fabrikkområdet, brukes RH og GH. For å lage en god BEM kreves modeller av omstendigheter som kan påvirke bygget, god geometri, og gode antagelser med tanke på byggets drift og oppbygging. Disse forklares videre:

4.1.1 Kontekst

Kontekst av en BEM er eksterne geometrier som muligens kan påvirke bygget som modelleres. For energimodellen vil terreng, trær og nabohus bli tatt hensyn til, da disse kan påvirke byggets tilførsel av solstråling.

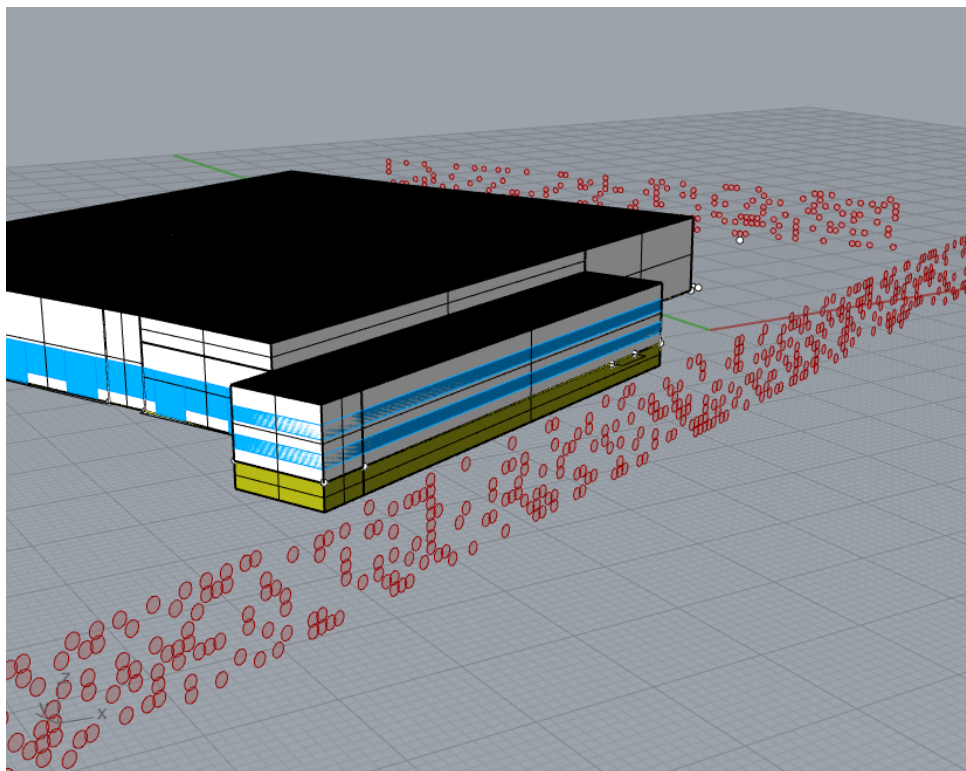
Først brukes pluginen Gizmo for å laste inn terreng, veinett og plassering av omkringliggende hus. Alle elementer innenfor en 300 meters radius er tatt med i kontekst. Terrengets topografi er autogenerert fra Gizmos høydedata fra OpenStreetMap og er allerede klar til å legges til som kontekst.

Videre lages modeller for nabohus. Alle omkringliggende hus er, til å begynne med, 2d-kurver som beskriver husenes geometri sett ovenfra. Siden målet med kontekst er å beskrive omtrentlig påvirkningsgrad, er det ikke nødvendig å modellere omkringliggende hus i særlig stor detalj. Etter å ha vært på befaring hos Spilka viser en rask undersøkelse at majoriteten av omkringliggende hus har 1-3 etasjer. Gizmo har en funksjon innebygd for å modellere bygg i 3D, men denne funksjonen genererer alle hus med identisk høyde fra bunn av grunnmur til tak, og vil derfor ikke bli brukt, ettersom variasjon i høyden er ønskelig. Alle hus i kontekst er modellert med flate tak. Siden høydedata for de fleste bygg mangler, vil alle omkringliggende bygg antas å ha en høyde på 6 meter over hushjørnet i hvert enkelt hus hvor topografien har høyest z-verdi. Dette gir varierende hushøyde som avhenger av terrengets form. Nabohusene er nå klare til å bli inkludert som kontekst.

Neste steg er å inkludere veier. Dette er ikke inkludert for å sjekke om de har påvirkningseffekt på fabrikkbygget, men for å brukes som visuelt referansepunkt for videre modellering. Veinettet importeres som linjer, og er gitt bredde med bruk av funksjoner i Gizmo designet for realistisk presentasjon av veier.

Trær er av og til inkludert i Gizmo. Dette avhenger av at trær har en registrert plassering, som er mest gjort i urbane områder, men ikke skog. Siden Spilkas fabrikk ligger i et område med mye skog, blir Gizmos innebygde funksjoner til liten hjelp her, og trær må modelleres på egenhånd. Til å begynne med var tanken å lage en vegg som blokkerte sol med forskjellig effekt til forskjellige årstider, modellert etter en sinuskurve. Denne idéen ble lagt til side på grunn av at en da måtte ha stykket opp modellens resultater i flere mindre biter. For å spare tid i beregninger og behandling av data, og for enkelhetens skyld ble da en modell som slipper

igjennom en 'gjennomsnittlig mengde' sollys tatt i bruk. Rundt fabrikken er 3 områder hvor trær mulig kan påvirke tilførsel av sol. Figur 4.1 viser plasseringen av 2 av 3 skjermere som ble plassert rundt fabrikken for å blokkere for sol. Selve modellen er en rektangulær samling av mange mindre sirkler, hver med diameter 1.2 meter. På østsiden er en 100x9 samling, på sørsiden en 250x9 samling, og på vestsiden en 100x15 samling av sirkler. Videre er et tilfeldig mønster av X% av sirklene tatt bort, for å modellere at sollys slipper til igjennom blader og grener. Trær er nå modellert ferdig og er klare for å bli lagt til som kontekst i BEM-en.

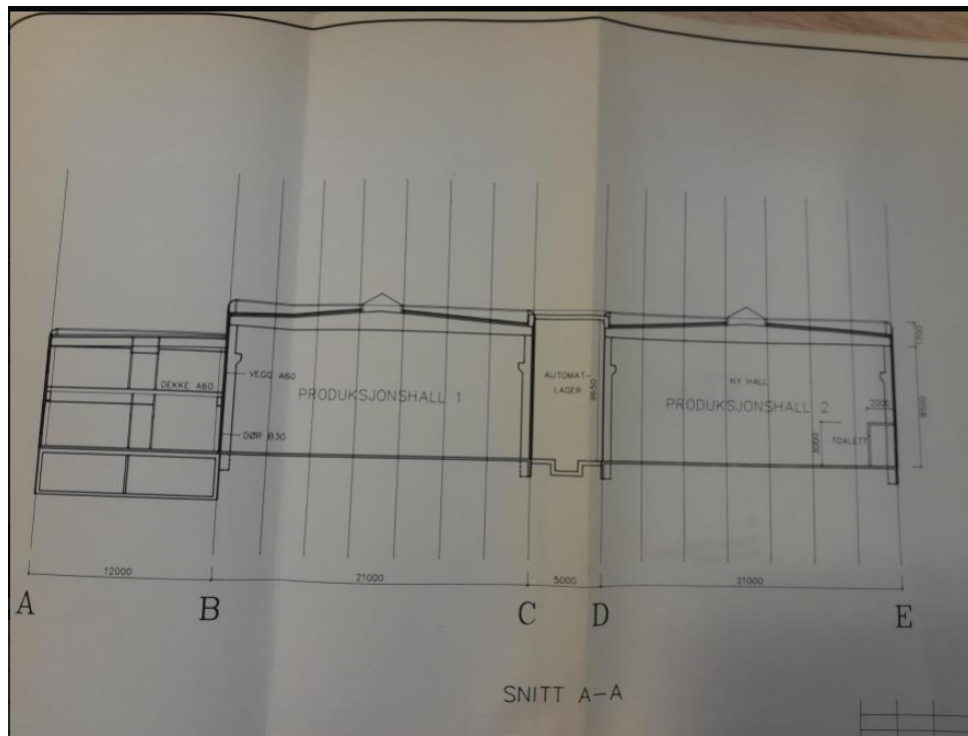


Figur 4.1: Veggene av sirkler modellerer omkringliggende trærns skygge på bygget

Det kommende kontorbygget vil ikke bli inkludert i BEM-en, ettersom formålet med en slik modell er å kartlegge og modifisere eksisterende behov og bruk for å så gjøre endringer. Å inkludere kontorbygget som kontekst til BEM er da ikke hensynsmessig. En modell av kontorbygget vil i stedet bli inkludert i solanalyse av området.

4.1.2 Fabrikkmodellens geometri og forenklinger

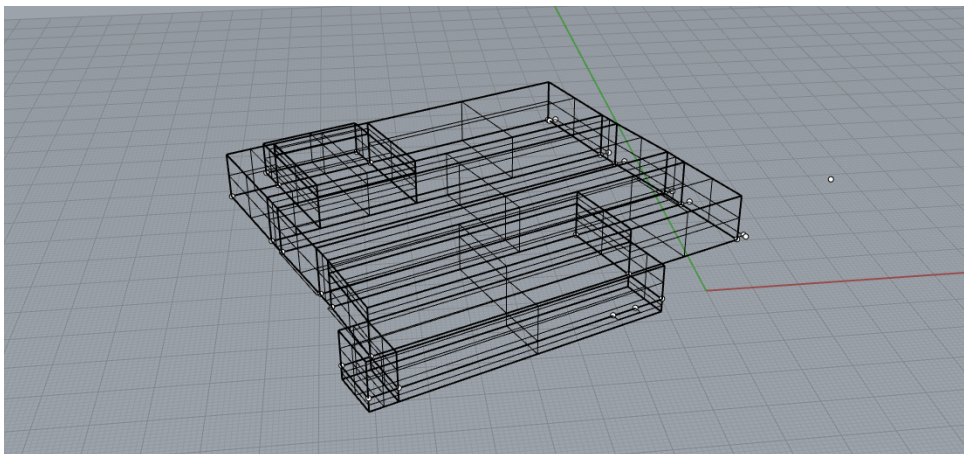
Fabrikkbygget modelleres i større detalj enn omkringliggende bygg. Her tas det utgangspunkt i en 2d-outline fra Gizmo, visuell data, og plantegninger av bygget tilsendt fra Spilka. Figur 4.2 viser 2D-kurven generert i GH ved bruk av Gizmo, som er eksportert til RH.



Figur 4.3: Tverrsnitt av (fra venstre:) kontorblokk, hall 1, lager 1, og hall 2. Tegning er tilsendt fra Spilka.

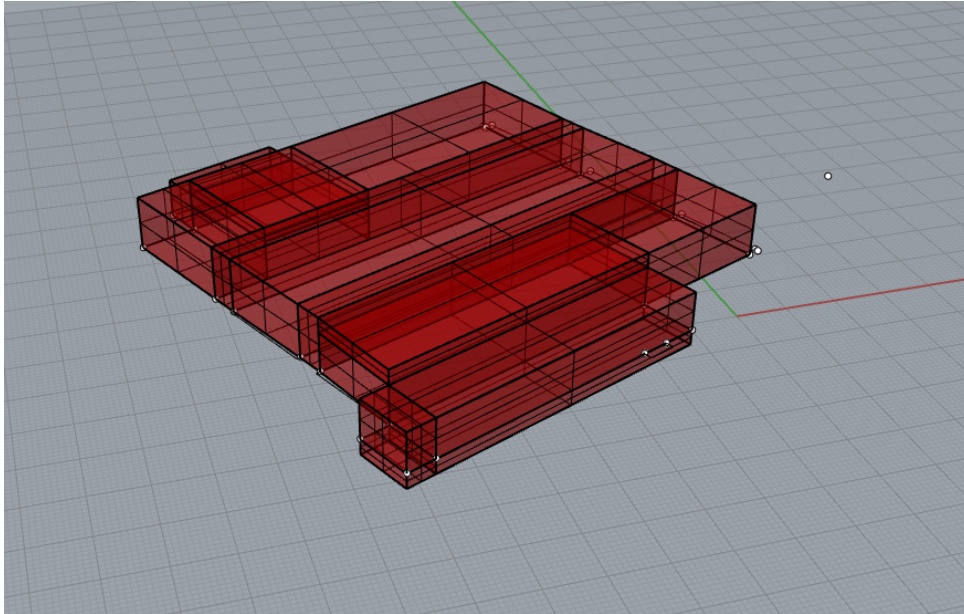
Der er 4 solskjermer på utsiden av bygget. Disse inkluderes ikke i geometrien av BEM-en, men tas med senere i solanalyse av området.

For å forkorte tiden programmet bruker på beregninger, er små hushjørner og 'hakk' i geometrien ikke inkludert. Hver bygningsdel (eller sone) er da tilnærmet lik en prisme i form, men avviker litt fra en perfekt geometrisk form, da den følger geometrien i kurven fra Gizmo. Modellen som er lagd i RH er vist i figur 4.4.

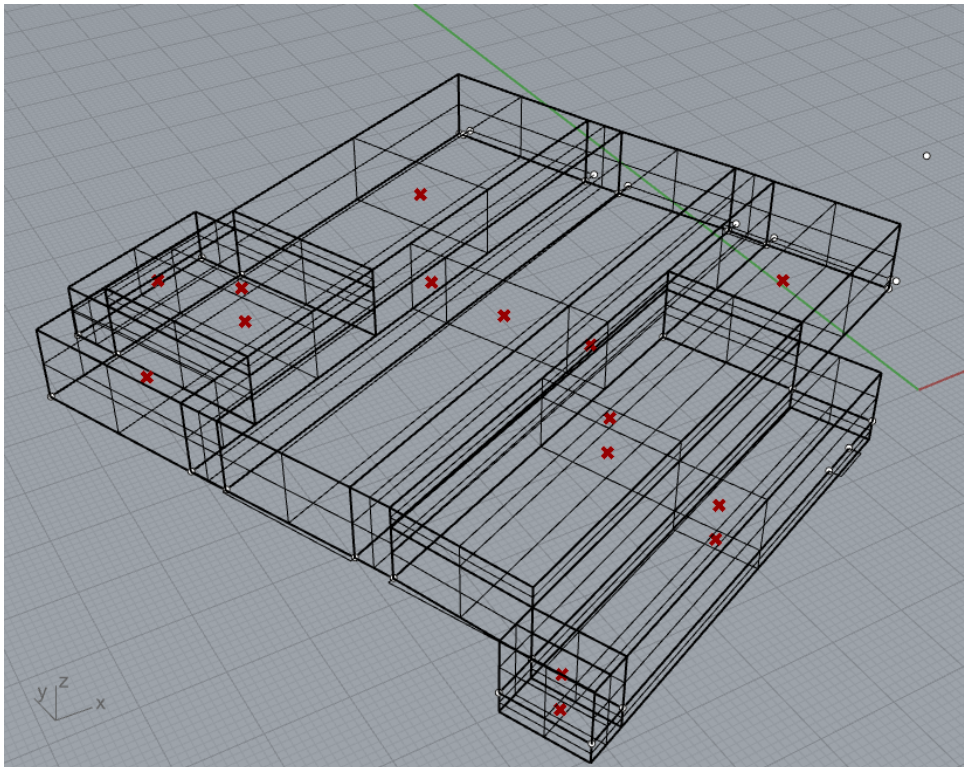


Figur 4.4: Modell av fabrikkens tegnet inn i RH

Modellen importeres så inn i GH. Figur 4.5 viser GHs tolkning av modellen som lagd i RH. Figur 4.6 viser alle volumsentre som GH registrerer.

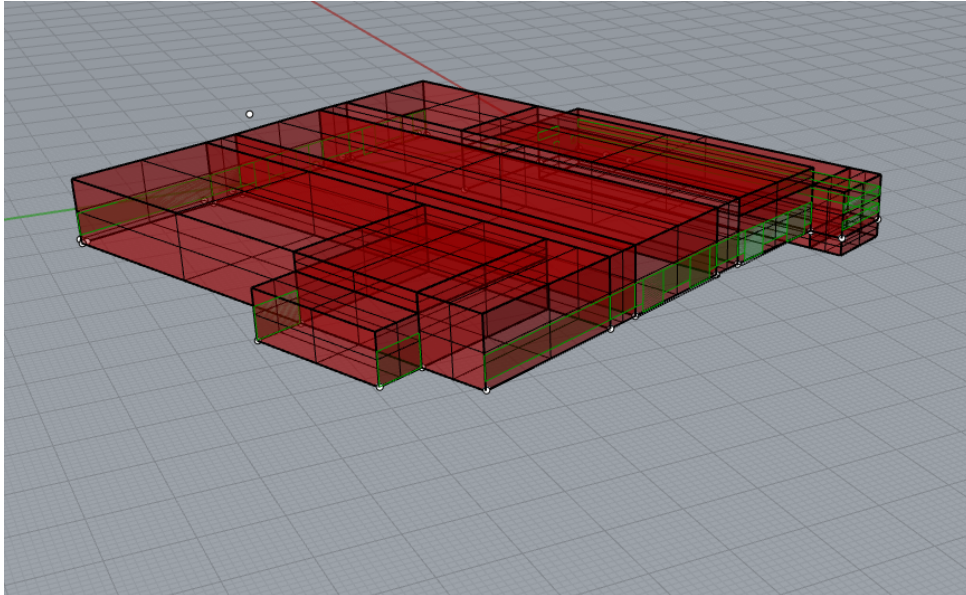


Figur 4.5: GH tolker og viser modellen.

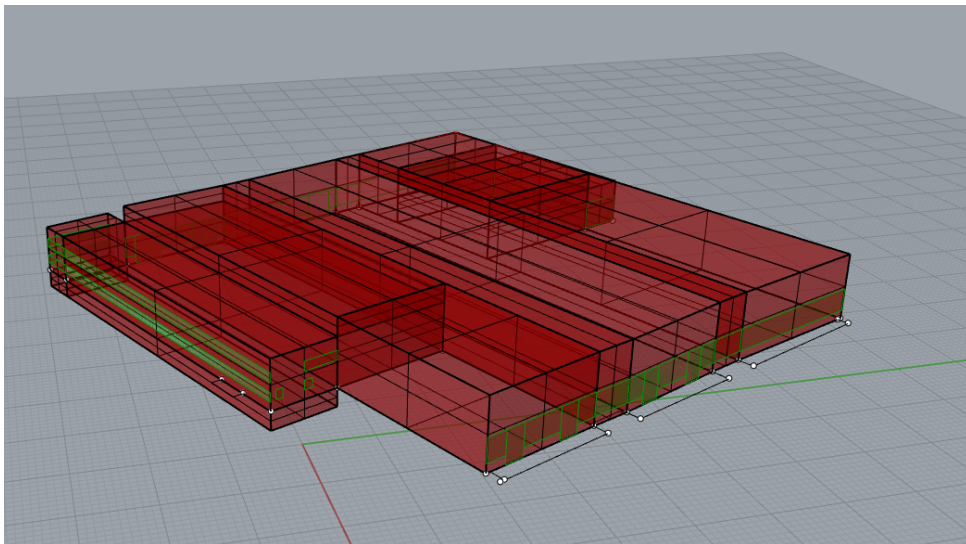


Figur 4.6: GH tolker modellen med rom som vist. Hvert punkt i rødt representerer et volumsenter. Modellen er inndelt slik for å forhindre bugs senere i scriptet.

Videre bestemmes størrelse og plassering av vinduer. Dører og garasjeporter er her også modellert som vinduer, da versjonen av HB som blir brukt ikke har funksjoner for dører og porter. Figurer 4.7 og 4.8 viser bilder av vinduenes geometri. På grunn av HBs beregningsregler, kan ikke vinduer dele grenselinjer med veggen de er plassert på. Derfor minkes størrelsen av geometrien med 2% rundt arealsenteret av vinduene.

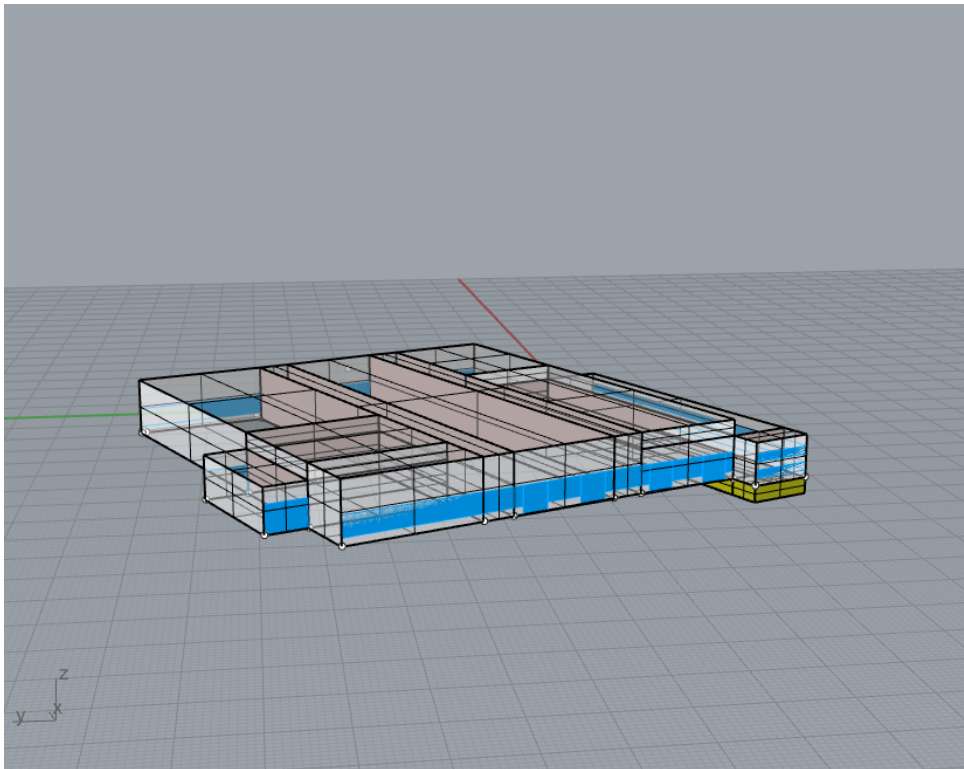


Figur 4.7: Modellens vinduer er markert i grønt. Perspektiv fra Nord-Vest.



Figur 4.8: Modellens vinduer er markert i grønt. Perspektiv fra Sør-Øst

Så snart HB tas i bruk, kan en definere disse opptegnede geometriene som vinduer i programmet, og HB tolker alle overflater som bygningsdeler som vist i figur 4.9.



Figur 4.9: HB autogenerer bygningsdeler ut ifra geometrien som vist. Taket er satt gjennomsiktig her for å enkelt se innervegger.

Modellen har nå en geometri som egner seg til bruk av BEM, og vi kan gå videre i prosessen. Figur 4.1 viser taket tydelig.

4.1.3 Fabrikkens fysiske egenskaper

Neste steg for å lage en god BEM, er å legge inn fysiske egenskaper som best mulig matcher den reelle og eksisterende situasjonen. HB krever følgende materialegenskaper for å kjøre beregninger:

- Tykkelse
- Konduktivitet
- Massetetthet
- Spesifikk varmekapasitet

En kan også legge til parametre angående absorbering av synlig lys, solstråling, og varme, men disse er ikke påkrevd. HB har her 'standardverdier' som er vanlige for ikke-metalliske materialer.

I denne BEM-en er der i hovedsak 6 ulike bygningsdeler: vegger, tak, og gulv bygd i tråd med TEK85, og de som er bygd i tråd med TEK17. For å komme frem til de 4 nødvendige parametrene ble normer fra SINTEF Byggforsk tatt i bruk, ettersom det er umulig å vite nøyaktig hva som er tilstede på innsiden av byggets deler. Bygningsdelene antas i denne modellen å være et homogent

materiale, disse værende 'Vegg', 'Tak', og 'Gulv på grunn'

Først ble tykkelse målt og/eller antatt som vist i 4.1:

Tabell 4.1: Diverse konstruksjonsdelers tykkelse.

Konstruksjonsdel	TEK85	TEK17
Vegg	15cm	30cm
Tak	20cm	35cm
Gulv på grunn	40cm	50cm

Videre, ble U-verdier hentet fra energikrav fra TEK17 §14-3 og TEK85 tabell 53:2 som vist i tabell 4.2.

Tabell 4.2: U-verdier av bygningsdeler [11] [21].

Konstruksjonsdel	TEK85	TEK17
Vegg	0.45	0.22
Tak	0.23	0.18
Gulv på grunn	0.3	0.18

Merk at disse verdiene er minstekravet satt av TEK. En kan anta at bygget følger minstekrav for energieffektivitet som gitt av standarder. I TEK85 refereres U-verdier til som K-verdier [9].

En kan omorganisere formler 3.4 og 3.5 til uttrykk 4.1:

$$\lambda = d \cdot U \quad (4.1)$$

Etter å ha kjørt beregninger i Python får en uttrykk for konduktivitet som vist i tabell 4.3:

Tabell 4.3: Konduktivitet av bygningsdeler.

Konstruksjonsdel	TEK85	TEK17
Vegg	0.068	0.066
Tak	0.046	0.063
Gulv på grunn	0.12	0.09

Neste parameter er massetetthet. HB krever at dette oppgis i enhet $\frac{kg}{m^3}$. Fra Byggforskserien del 471.031, finner vi egenlaster som vist i tabell 4.4:

Tabell 4.4: Massetetthet for diverse bygningsdeler og materialer [71].

Bygningsdel/materiale	Egenlast
Vegg (trekonstruksjon)	$0.6kN/m^2$
Tak (trekonstruksjon)	$0.7kN/m^2$
Tak (stålkonstruksjon)	$0.7kN/m^2$
Armert betong	$25kN/m^3$
Steinull	$1kN/m^3$

For å konvertere fra egenlast til massetetthet, trengs tykkelsen av vært bygningselement. Formel 4.2 er brukt for å finne tyngdetettheten (ρ) i vegg og tak:

$$\rho = \frac{m}{d} \cdot \frac{1000 \frac{N}{kN}}{g} \quad (4.2)$$

hvor m er egenvekt per kvm, d er tykkelse, og g er tyngdeakselerasjonen på jorden. Dette gir til slutt enheten $\frac{kg}{m^3}$.

Der er ikke gitt noen standardisert egenlast for gulv på grunn. Gulvet antas å være betongkonstruksjon, hvor 15 % av volumet er betong, og 85 % antas å være isolasjon. På et gulv med tykkelse 50 cm, ville dette vært 75 cm betong, og 415 cm isolasjon. På et gulv med 400 cm tykkelse, vil verdiene være 60 cm, og 340 cm respektivt. Gulvets massetetthet i $\frac{kg}{m^3}$ er funnet ved følgende utregning:

$$\rho_{gulv} = (15\% \cdot 25 + 85\% \cdot 1) \frac{kN}{m^3} \cdot \frac{1000 \frac{N}{kN}}{9.81 \text{ m/s}^2} = 468.91 \frac{kg}{m^3} \quad (4.3)$$

hvor alle tallverdier i formelen er beskrevet ovenfor i teksten. Grunnet beregningsfeil ble dette endelig innført som 835. Dette vil påvirke energibehovet i bygget, men er ikke tenkt å ha en kritisk effekt da konduktiviteten og tykkelse har større utslag på energistrømmen igjennom byggedelen. Videre, siden gulvet er på grunn, er der en jevnere temperatur på denne delen av klimaskjermen. Hadde en slik feil blitt gjort i taket, ville en trolig sett at dette ville fått et større utslag. Dette diskuteres i Kapittel 6. Feilen ble oppdaget rett før leveringsfrist på oppgaven, og dermed var der ikke tid til å rette opp. Dette føres inn som feilkilde.

Tabell 4.5 viser hvilke verdier for tyngdetetthet som endte opp i modellen. Merk at beregningsfeilen for golv på grunn er brukt her ettersom dette var verdien som ble benyttet.

Tabell 4.5: Tyngdetetthet av konstruksjonsdeler

Konstruksjonsdel	Tyngdetetthet (kg/m^3)
Vegg	203.87
Tak	203.87
gulv	835.88

Til sist, trengs spesifikk varmekapasitet til materialene. Her blir det tatt utgangspunkt i veggkonstruksjoner fra 2019, og verdier blir applisert på bygningsdeler fra 1980-tallet. Siden varmekapasitet avhenger av masse og ikke tykkelse/areal, antas det at konstruksjonene har like store prosentandeler med de samme materialene.

Data i tabell 4.6 er hentet fra NS-EN ISO 10456 [1]:

Tabell 4.6: Spesifikk varmekapasitet av diverse materialer.

material	spesifikk varmekapasitet (J/kgK)
Bygningselementer av tre	1600
Mineralull	1400
Betong	1000

I disse beregningene er det tenkt at veggene inneholder 5/6 isolasjon og 1/6 trematerialer, taket inneholder 6/7 isolasjon og 1/7 trematerialer, og at gulvet inneholder 7/10 isolasjon, og 3/10 betong. Ved bruk av matriseregning i formel 4.4, ble varmekapasiteten til gulv, vegg og tak funnet. Resultatene fra beregningene listes opp i tabell 4.7.

$$\begin{bmatrix} 1/6 & 5/6 & 0 \\ 1/7 & 6/7 & 0 \\ 0 & 7/10 & 3/10 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1600 \\ 1400 \\ 1000 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1433 \\ 1428 \\ 1280 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Tabell 4.7: Spesifikk varmekapasitet av konstruksjonsdeler.

bygningssdel	spesifikk varmekapasitet (J/kgK)
Vegg	1433
Tak	1428
Gulv	1280

Videre må en inkludere materialegenskaper av vinduer, dører og garasjeporter. HB krever følgende parametre for at beregninger kan gjennomføres på vinduer:

- U-verdi
- SHGC
- VT

Der er ingen ytterligere alternativer for informasjonsinput for materialegenskaper av vinduer.

Siden HB ikke har egne funksjoner for dører, som tidligere nevnt, må alle dører og porter behandles som vinduer i energiberegninger.

Tabell 4.8 viser en oversikt over data som er gitt og antatt fra forskjellige standarder:

Tabell 4.8: U-verdier for vindu og porter som oppgitt i TEK.

Del og årstall	Gitt U-verdi i modell
Vindu 2019	1.2 (oppgitt i TEK17)
Dør 2019	1.2 (oppgitt i TEK17)
Garasjeport 2019	1.2 (antatt lik dør)
Vindu 1985	2 (antatt lik garasjeport)
Dør 1985	2 (antatt lik garasjeport)
Garasjeport 1985	2 (oppgitt i TEK85)

Som vist i tabell 4.8, må samtlige verdier antas, ettersom informasjon om diverse bygningsdeler ikke er oppgitt i de forskjellige lovverkene.

SHGC er antatt lik i alle vinduer (og da som et følge også alle garasjeporter). Verdien er bestemt lik 0.7, gitt informasjon fra Sustainable Design [25].

Til sist må VT defineres. VT vil være lik for alle vinduer. Denne variabelen avhenger av mange faktorer, deriblant vinduets renhold, og kan variere i stor grad om partikler samler seg på vinduet.

Av denne grunn er verdien 0.95 valgt som en vilkårlig verdi som kan ofte være sann, men behøver ikke å alltid være slik.

I kjellerdelen er der spesielle krav. HB har en innebygd funksjon gir beregningsgrunnlag for underjordiske konstruksjoner. Relevante bygningsdeler er vegg mot grunn, og gulv mot grunn.

Gulv på grunn er modellert identisk som gulv på grunn omtalt tidligere i teksten.

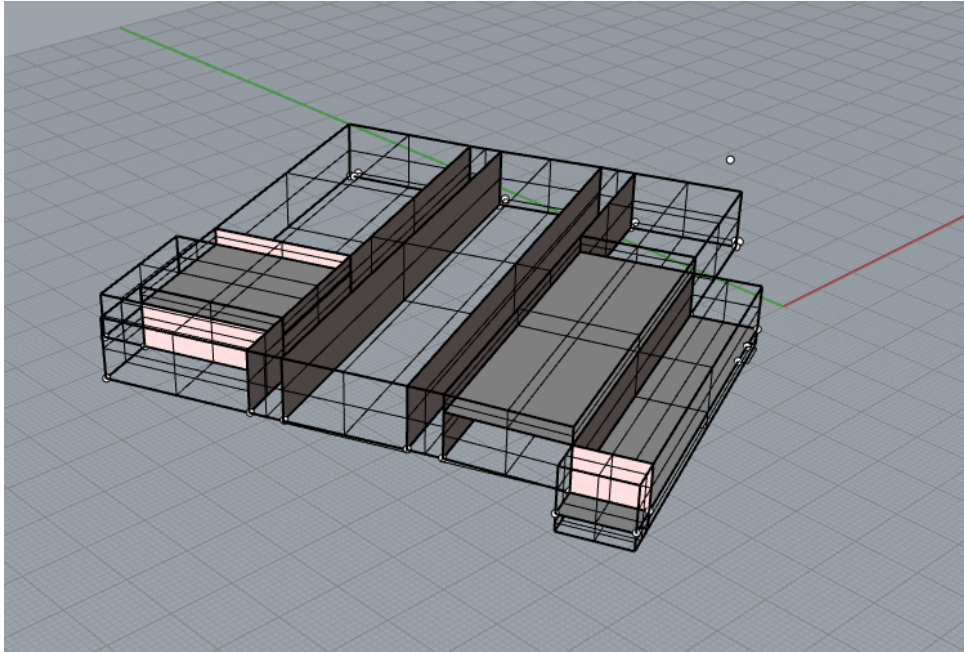
Vegg mot grunn er i oppbygging en kopi av modellen for gulv på grunn, men med halvparten av tykkelsen (20 cm). Dette begrunnes for det første med at vegg mot grunn antas å være laget av betong. For det andre vil denne konstruksjonsdelen dekke en liten, men ikke neglisjerbar, del av byggets ytterveggareal. En enkel modell v en betongkonstruksjon er da tenkt å være tilstrekkelig for å ta hensyn til dette bidraget.

Klimaskjermen har nå alle nødvendige informasjonsbiter for å gjennomføre nødvendige beregninger. Videre blir det sett på interne bygningsdeler.

Innertak og innergulv er begge definert med tykkelse = 0, og da annullerer all isolerende effekt. Grunnen til at dette er gjort er på grunn av den tidligere nevnte oppdelingen av hall 3, hall 1, og kontordelen som var diskutert i delkapittel 4.1.2. Mange innvendige konstruksjoner som ikke er der i virkeligheten kan gi effektutslag i form av varmelagring, og kan påvirke modellens energibehov i forhold til det reelle forbruket. Disse innvendig genererte flatene vil få store areal. Merk at der ikke finnes store innvendige konstruksjoner innad i hallene. Varmelagringseffekten fra innvendige konstruksjoner er tenkt å kunne modelleres kun ved bruk av innervegger, som i mye større grad står korrekt plassert i forhold til byggets faktiske innvendige geometri.

Modellen for innervegger er i all hovedsak en kopi av modellen for ytterveggene, men tykkelsen er nå satt til 10 cm. Veggene vil gi en passiv varmelagringseffekt mellom haller, lagre og kontorbygg, i tillegg til en høyere varmelagringseffekt i hall 3, hall 1, og kontordelen. Dette vil til en moderat grad samsvare med virkeligheten, ettersom hall 3 har høyere isolasjonskrav, og kontordelen av bygget har flere innvendige konstruksjoner. Avviket blir da hall 1, som får flere innvendige vegger i modellen. En kan argumentere for at disse kan 'gjøre opp for' manglende innvendige konstruksjoner i kontordelen av bygget. Figur 4.10 viser interne konstruksjoner som generert av HB.

Der finnes ingen interne vinduer.



Figur 4.10: Interne konstruksjoner generert av HB

I sin helhet, forventes innvendige konstruksjoner å ha lite utslag på byggets totale energibehov, ettersom at hele bygget varmes opp til 20 °C. Videre er hele bygget oppvarmet til 20 °C (dette diskuteres i delkapittel 4.1.4) untatt i fellesferien. Dermed vil intern varmelagring forventes å ha liten innvirkning på det totale energibehovet. Dersom det hadde eksistert kjølerom eller fryserom eller lignende, hadde nøyaktige målinger på interne konstruksjoner vært mer aktuelle.

Av grunner nevnt over er innvendige konstruksjoner ikke forventet å ha en signifikant påvirkningsgrad av energibehovet, og modelleres derfor enkelt.

BEM-en sin klimaskjerm er da ferdig modellert. Neste steg er å se på byggets interne energibehov.

4.1.4 Interne energilaster

For å kunne beskrive byggets energibehov, må en si noe om hva bygget bruker energi på. Interne laster krever data om følgende energipåkjenninger:

- Utstyr (som produksjonsmaskiner, datamaskiner, hvitevarer, etc.)
- Infiltrasjonsrate per kvm av byggets fasade
- Behov for belysning
- Antall folk per kvm gulvareal
- Ventilasjon per kvm gulvareal
- Ventilasjon per person
- Resirkulert luft per kvm gulvareal

Videre er antagelsene bak disse diskutert:

Utstyr krever input i enheten W/kvm. Ifølge HB er 15 Watt/kvm sammenlignbart med et kontorareal fylt med datamaskiner. Ettersom produksjonsmaskinene mest sannsynlig krever langt større energiforbruk enn en datamaskin, bestemmes denne verdien som 35.2 i BEM-en.

Infiltrasjon per fasadeareal er her satt lik 0.000157 kubikkmeter per sekund per kvadratmeter. Dette beskriver en mellomting mellom passivhusstandard og et gjennomsnittlig hus i følge HB sin egen opplysning. 0.000071 er sammenlignbart med passivhus, og 0.0003 er et gjennomsnittlig hus. Cirka 1 tredjedel av huset er bygget med passivhusstandard, og antas å ha infiltrasjonsrate 0.000071. Resten av huset antas å være 0.0003 inkludert garasjeporter, og 0.0002 om det sees bort fra garasjeportene. Dette på grunn av at der er mindre sannsynlighet for imperfeksjoner (eller sprekker) innad mer homogene strukturer da nettopp overganger mellom ulike bygningsdeler vanligvis er hovedbidraget til infiltrasjon. En noe redusert infiltrasjonsmengde er da tatt i bruk, og satt lik 0.0002. Utregning av total gjennomsnittlig infiltrasjon vises i ligning 4.5:

$$\frac{1}{3} \cdot 0.000071 + \frac{2}{3} \cdot 0.0002 = 0.000157 \frac{m^3}{s \cdot m^2} \quad (4.5)$$

Neste parameter er Belysningsbehov. HB har en funksjon som definerer lysbehov etter følgende parametre:

- lysmengde i enheten lux
- effektivitet av omgjøring av energi fra Watt til Lumen
- vedlikehold
- andel nyttig lys

HB gir 2 referanseverdier for å definere lysmengde: 500 lux som er sammenlignbart med lysstyrken i kontorarealer, og 300 lux som er sammenlignbart med vanlig lysstyrke i et privat hjem. På grunn av stort gulvareal, og samtaler som har beskrevet lav belysning i produksjonshaller, er det antatt at lampene i fabrikken leverer en lysstyrke på 250 lux per gulvareal.

Effektiviteten av belysningen er satt til 80 %, som er sammenlignbart med LED-lys, og rørlamper i følge HB.

Vedlikehold er ikke målbart med tilgjengelig informasjon, og en standardverdi fra HB på verdi 0.65 som samsvarer med 'middels bra vedlikehold' er brukt.

Andel nyttig lys kan bare spekuleres gitt tilgjengelige ressurser, og en standardverdi fra HB på 84 % er benyttet.

Neste interne last er antall folk per gulvareal. Det er antatt at der fins omlag 20 ansatte i bygget til enhver tid, dette tallet blir så delt på gulvarealet av modellen.

Videre må en definere Ventilasjonsrate per gulvareal. Ifølge TEK17 §13-3, er minimumskrav for luftutskiftning per gulvareal $2.5 m^3$ luft per time per kvm gulvareal mens rommene er i bruk, og $0.7 m^3$ per time per kvm gulvareal men de ikke er i bruk. Ved en feil er ventilasjon satt til alltid å være $0.7 m^3/kvm$. Dette vil ha en effekt på energibehovet, men burde ikke ha et signifikant utslag på resultat.

TEK17 §13-3 krever videre en minimums luftutskiftning på $26 m^3$ per person per time. Dette er antatt i BEM-en [21].

Resirkulering av luft i slike bygningstyper er kun lovlig i Norge under spesielle omstendigheter, som oppgitt av arbeidstilsynet, og blir antatt lik 0 [12].

Interne laster er nå definert, og en er klar for å definere spesifikasjoner angående HVAC.

4.1.5 HVAC

Heating, Ventilation, Air Conditioning (HVAC) forteller hvordan byggets klimaanlegg driftes. HVAC krever informasjon om følgende parametre:

- Generelle inneklimatebegrensninger i bygget
- Detaljer om ventilasjon
- Detaljer om oppvarming
- Detaljer om nedkjørling
- Detaljer om naturlig ventilasjon (lufting)
- Informasjon om type HVAC-system

Detaljer om nedkjøling er ikke relevant for denne modellen ettersom bygget ikke har installert AC. Grensen for nedkjøling vil da være satt på $100\text{ }^\circ\text{C}$ interntemperatur, for å forhindre at bygget igangsetter nedkjøling under simulering. I stedet vil naturlig ventilasjon stå for nedkjøling.

Detaljer om total COP-faktor ved oppvarming av bygget krever data som ikke var tilgjengelig på grunn av krav til avansert utstyr eller informasjon som der ikke var tilgang på. En standard COP faktor fra HB vil bli benyttet for å modellere omgjøring av energibehov av varmeenergi til elektrisk energi. Denne konverteringen kalles 'VAV w/ PFP boxes'. Dette forklares igjen senere.

Angående detaljer om ventilasjon er varmegjenvinningen relevant. De fleste systemer av balansert ventilasjon har en varmegjenvinningsrate på 70-80 % [30]. Endelig tall inn i modellen er 75 %. Dette er forventet å ville ha en stor påvirkning på byggets energibehov.

Under generelle begrensninger er følgende data lagt inn i modellen: Nedkjøling i modellen igangsetter på interntemperaturer over $100\text{ }^\circ\text{C}$, og oppvarming igangsetter ved interntemperaturer under $20\text{ }^\circ\text{C}$, også når bygget er tomt. Nedkjøling er satt såpass høyt for å forhindre at nedkjøling igangsettes.

Når det kommer til type HVAC system, er et preset fra HB brukt. Dette heter 'Packaged VAV

with PFP boxes'. Dette reflekterer store ventilasjons- og klimaanlegg ofte brukt i store bygninger som for eksempel flereetasjers kontorbygg, hoteller, eller industrielle bygg.

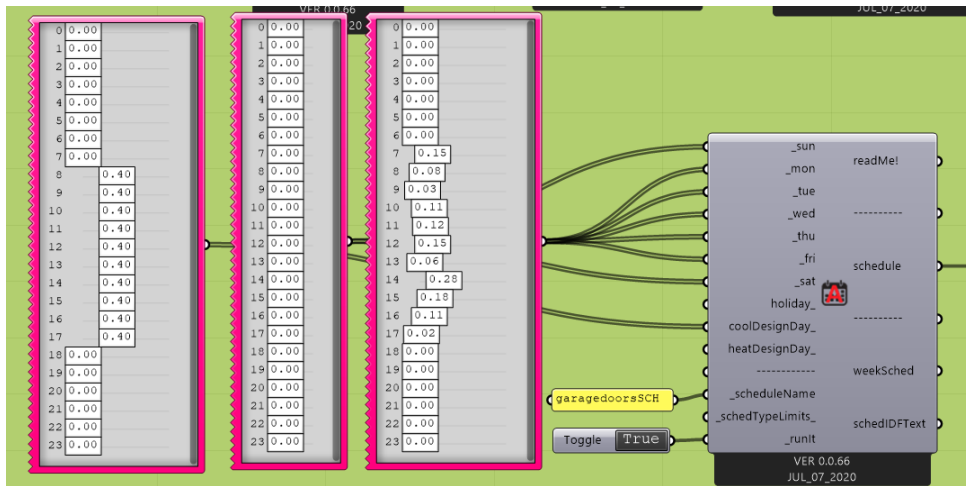
Til sist, må en definere hvorvidt lufting har en effekt på bygget. Naturlig ventilasjon er tenkt å være hovedkilden for infiltrasjon og vil operere igjennom hele året. I løpet av en uke vil garasjeporter holdes prosentvis åpne i løpet av arbeidsdager. Denne prosenten er satt til å variere tilfeldig hver time. Dette skal modellere ulik aktivitet over en dag i tillegg til gjennomsnittlig bruk per dag. Porter vil holdes stengt på nattestid og ıla helger. På dager hvor innsiden overoppheter, vil portene holdes åpne hele arbeidsdagen. Detaljer på hvordan dette er modellert vil vises i delkapittel 4.1.6.

4.1.6 Drift av bygget

Siste steg for å sette sammen en BEM er å definere hvordan bygget driftes, det vil si å forsøke å besvare spørsmål som: 'Når på dagen brukes produksjonsmaskiner?', 'Når på dagen åpnes portene?' og 'Hvor mye per time er de åpne da?'. For å lage en grei oversikt har HB en inputseksjon som heter 'schedules'. Her kan en definere en verdi for hver time per dag og opp til 7 unike inputer som blir tilskrevet hver dag i uken. Videre er det muligheter for å definere variasjoner i lengre perioder hvor driftsprofilen ser ulik ut, som for eksempel i løpet av fellesferien. Schedules er definert for følgende parametre i denne modellen:

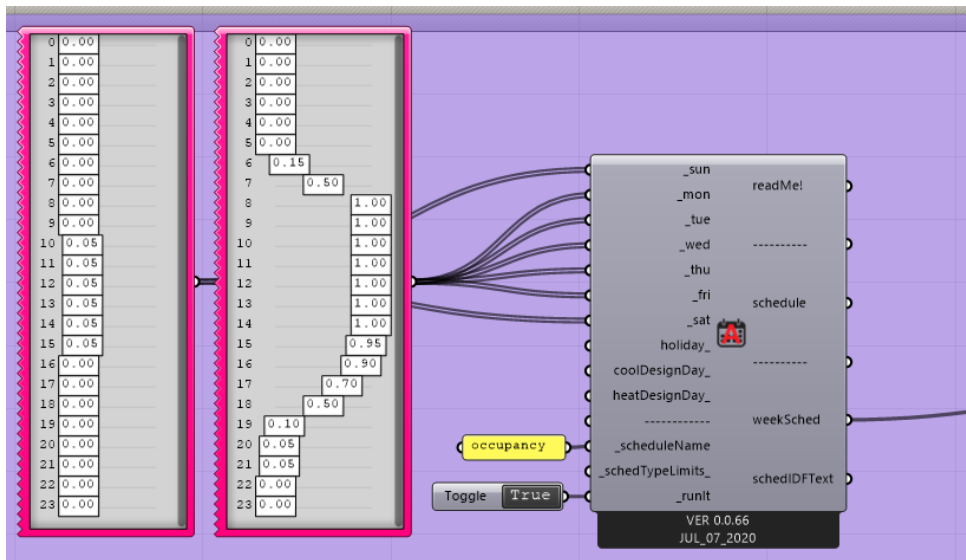
- Naturlig ventilasjon
- Antall folk i bygget
- Aktivitetsnivået til folk i bygget
- Temperatur som aktiverer oppvarming
- Belysning
- utstyr
- ventilasjon

Naturlig ventilasjon har en definert 'schedule' i alle produksjonshaller. 40 % av alt vindusareal er satt til å være operativt. Av disse 40 %-ene vil vinduet åpnes med tilfeldig bestemte mengder mellom 08 og 18 hver arbeidsdag. I helger og ferier holdes portene stengte. På dager hvor nedkjøling er nødvendig, holdes portene åpne hele tiden fra 08 til 17. Figur 4.11 viser bilder av disse 'schedules' under:

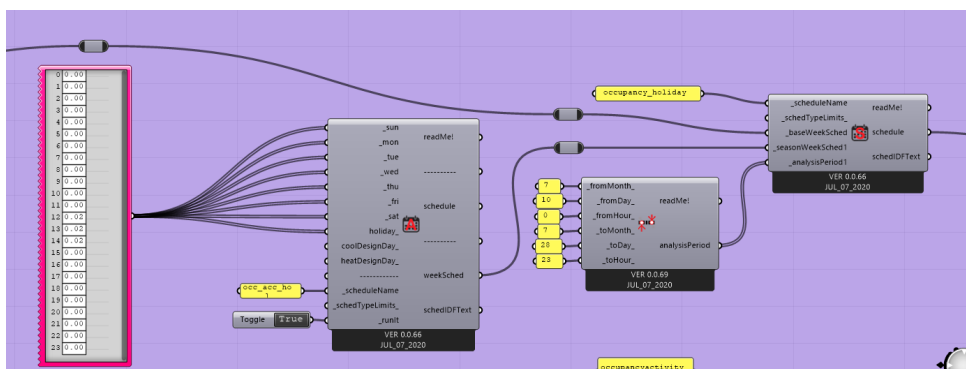


Figur 4.11: Fra venstre: Dag hvor nedkjøling er nødvendig, Helg, Arbeidsdag. Verdier kan beskrives som 'prosentvis åpen garasjedør'

Videre er 'schedules' og deres funksjoner lagt til som bilder med beskrivelse:

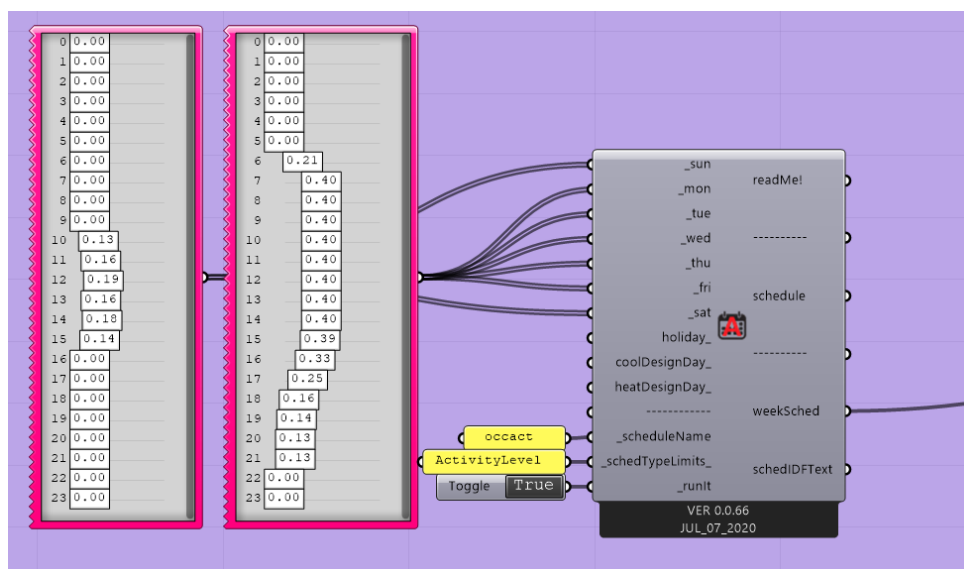


Figur 4.12: Fra venstre: Helg, Arbeidsdag. Mengder kan beskrives som 'Prosentvis antall folk tilstede'

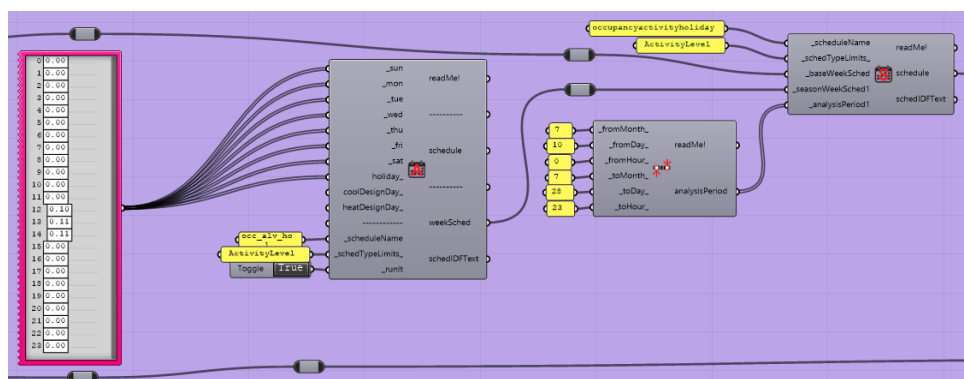


Figur 4.13: Schedule for ferie. Mengder kan beskrives som 'prosentvis antall folk tilstede'

Figurer 4.12 og 4.13 viser schedules som beskriver antall folk i bygget til enhver tid av dagen i ukedager og ferier.

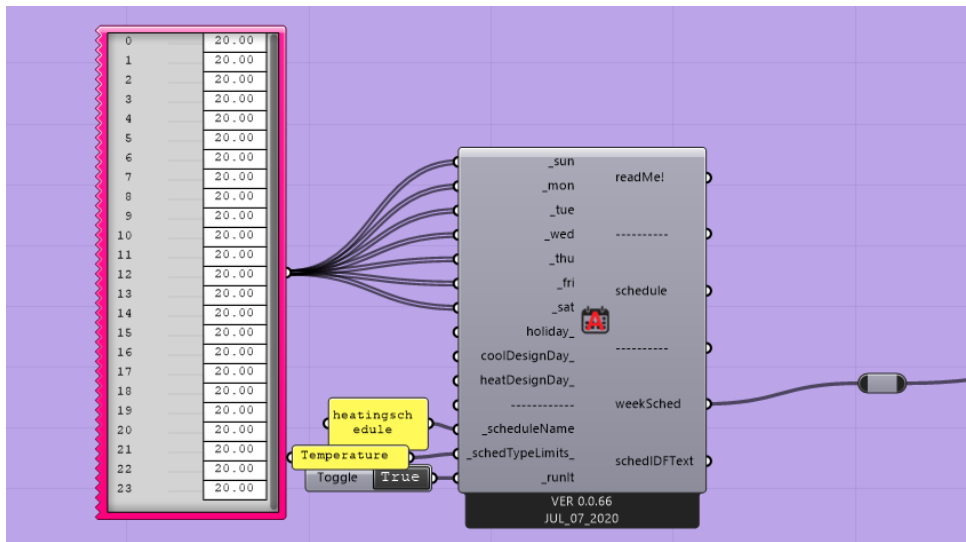


Figur 4.14: Fra venstre: helg, arbeidsdag. Mengder kan beskrives som 'prosentvis aktivitet av folk tilstede' hvor 0 er sammenlignbart med et individ i ubevisst tilstand, og 100 er sammenlignbart med et individ i full sprint for eksempel.

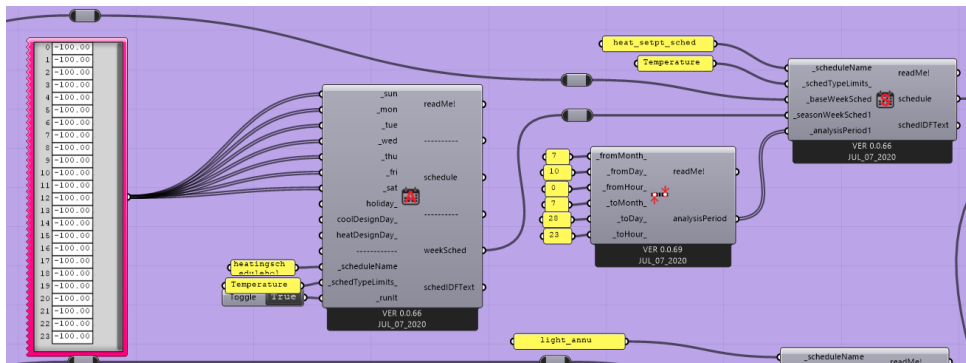


Figur 4.15: Ferie. Mengder kan beskrives som 'prosentvis aktivitet av folk tilstede'.

Figurer 4.14 og 4.15 viser aktivitetsnivå av personer i bygget i ukedager og ferier.

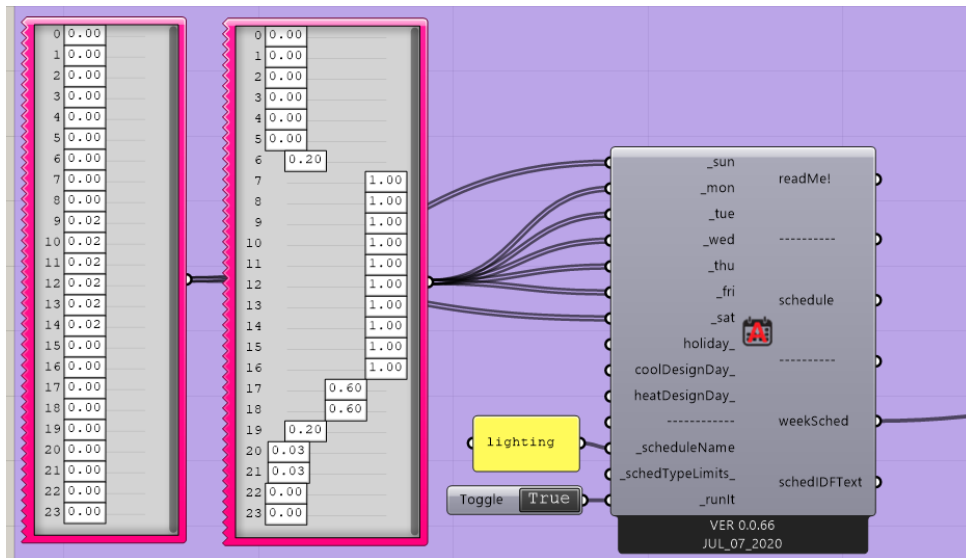


Figur 4.16: Vanlig driftsuke. Mengder kan beskrives som 'temperatur termostat er stilt inn på, hvor oppvarming initierer hvis innetemperatur er mindre'.

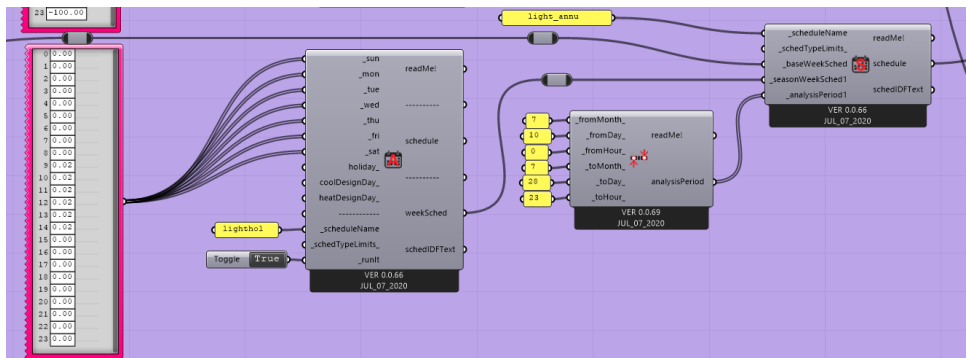


Figur 4.17: Ferie. Mengder kan beskrives som 'temperatur termostat er stilt inn på, hvor oppvarming initierer hvis innetemperatur er mindre'.

Figurer 4.16 og 4.17 viser temperaturen termostaten er satt på i ukedager og i ferier i modellen.

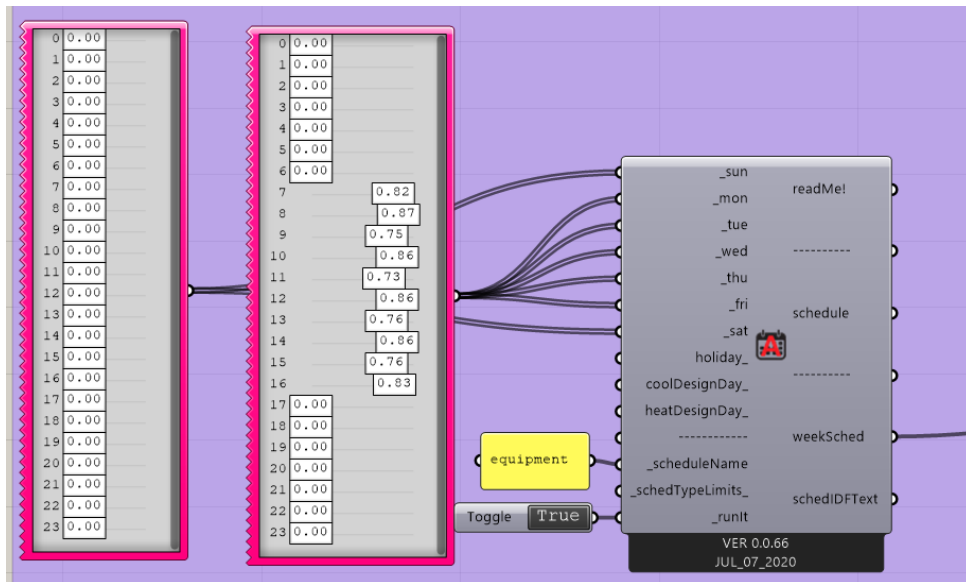


Figur 4.18: Fra venstre: helg, arbeidsdag. Mengder kan beskrives som 'prosentvis belysning påslått i fabrikkken'.

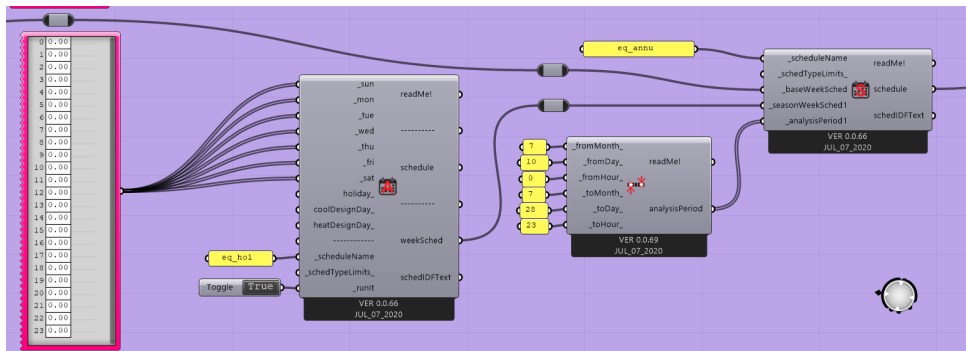


Figur 4.19: Ferie. Mengder kan beskrives som 'prosentvis belysning påslått i fabrikkken'.

Figurer 4.18 og 4.19 viser belysning i arbeidsuker og ferieuker.

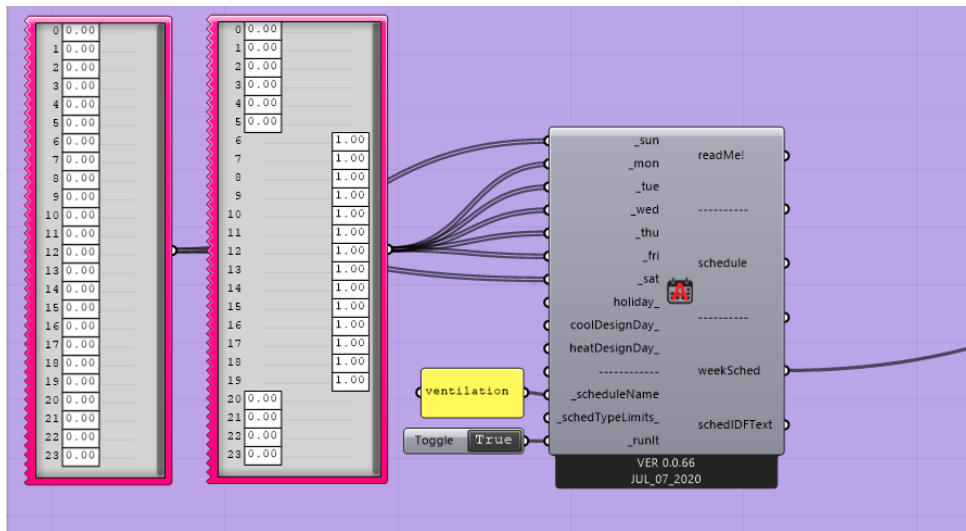


Figur 4.20: Fra venstre: helg, arbeidsdag. Mengder kan beskrives som 'prosentvis aktivitet i produksjonsanlegg og annet utstyr'

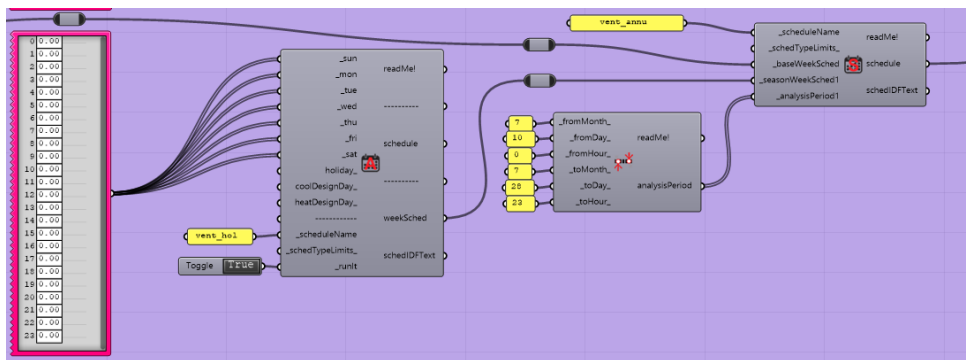


Figur 4.21: Ferie. Mengder kan beskrives som 'prosentvis aktivitet i produksjonsanlegg og annet utstyr'

Figurer 4.20 og 4.21 viser prosentvis bruk eller ytelse av maskineri i arbeidsuker og ferieuker.



Figur 4.22: Fra venstre: helg, arbeidsdag. Mengder kan beskrives som 'prosentvis aktivitet av ventilasjonsanlegg'.



Figur 4.23: Ferie. Mengder kan beskrives som 'prosentvis aktivitet av ventilasjonsanlegg'.

Figurer 4.22 og 4.23 viser ventilasjonens ytelse/aktivitet i arbeidsuker og ferieuker.

Driftsprofil av bygget er da ferdig designet og modellert, BEM-en er da klar for kalibrering.

4.1.7 Kalibrering

Inputer som er diskutert mellom del 4.1.1 og del 4.1.6 er de ferdigjusterte verdiene, som er bestemt etter kalibrering av modellen har blitt gjennomført. De største endringene har skjedd på verdier som angår ventilasjon, på verdier angående utstyr, og på verdier angående naturlig ventilasjon. Til å begynne med, produserte modellen et ekstremt høyt og urealistisk forbruk, og forbruket har blitt redusert over flere parametre samtidig for å produsere de inputene som tidligere diskutert i teksten. Dette gir statistiske feilmålinger med resultat som kan brukes til modellering. Å forklare hele prosessen og dens utslag ville vært en lang diskusjon, og mye av dataen som ble produsert under selve kalibreringsprosessen er tapt. Det ble derfor besluttet å diskutere kun de finaliserte inputene, og heller nevne at de er produkter av en bakenforliggende kalibreringsprosess som allerede har funnet sted.

ASHRAE gir som nevnt i delkapittel 3.2 to krav og én anbefaling for at en BEM kan brukes til modellering. Første krav er en NMBE med verdi mindre enn eller lik 0.05. Der er et datapunkt per måned, for å matche månedlig målt forbruk av strøm av fabrikkbygget. Verdiene er gitt under:

- $\bar{m} = 109474$ kWh
- $n = 12$
- $p = 0$

Tabell 4.9: Månedlig strømforbruk, oppmålt og simulert. verdier gitt i kWh.

Måned (i)	Målt verdi (m_i)	Simulert Verdi (s_i)
1	157032	159718
2	146114	132550
3	134157	138930
4	109864	101601
5	94852	94830
6	83567	87874
7	37200	28223
8	73155	88897
9	96636	89298
10	112186	109440
11	128233	134630
12	140696	148723

Tabell 4.9 viser månedlige energimengder fra den matematiske simuleringen og målt data fra Spilka. Disse datasettene er dem som sammenlignes under kalibrering av BEM.

Disse inputene gir en NMBE med verdi 0.0008, som oppfyller NMBE mindre enn eller lik $|0.05|$.

CV(RMSE) er påkrevd å ha en verdi mindre enn eller lik 0.15. Gitt verdiene tidligere beskrevet, men hvor

$$p = 1$$

får CV(RMSE) en verdi på 0.07, som oppfyller kravet CV(RMSE) mindre enn eller lik 0.15.

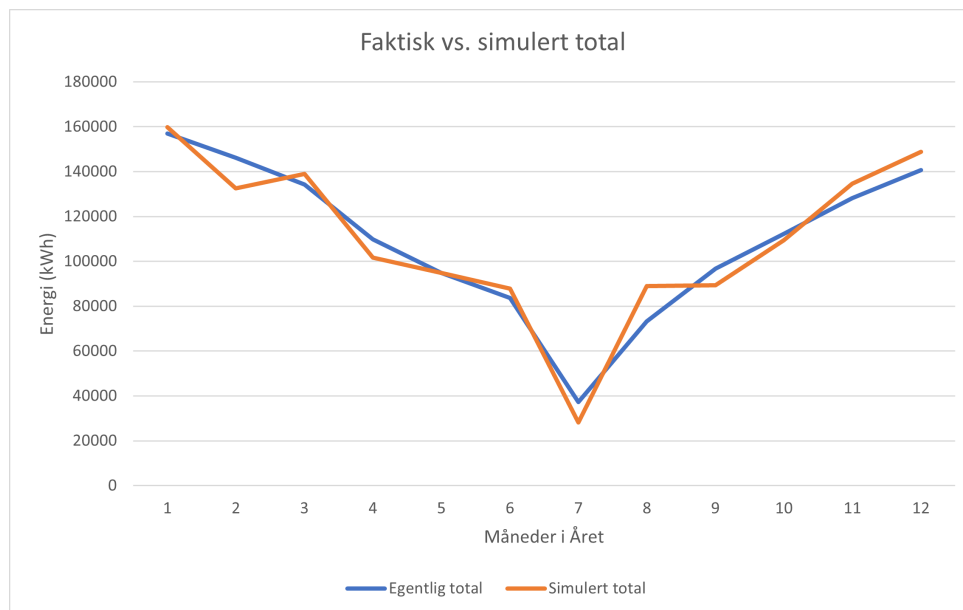
Til sist, kjøres resultatene igjennom anbefalingen R^2 større enn eller lik 0.75. Gitt verdiene nevnt over får R^2 en verdi på 0.86, som oppfyller anbefalingen.

Etter krav og anbefalinger gitt fra ASHRAE, oppfyller BEM-en kalibreringskrav, og kan brukes

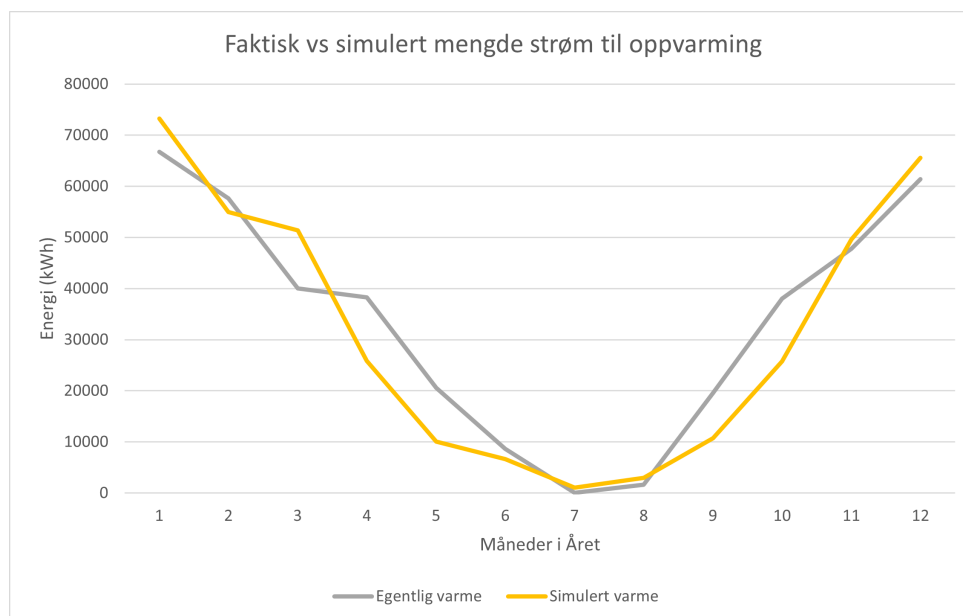
til å simulere energiprofilen av det eksisterende bygget [66].

4.1.8 Manuell og visuell kontroll

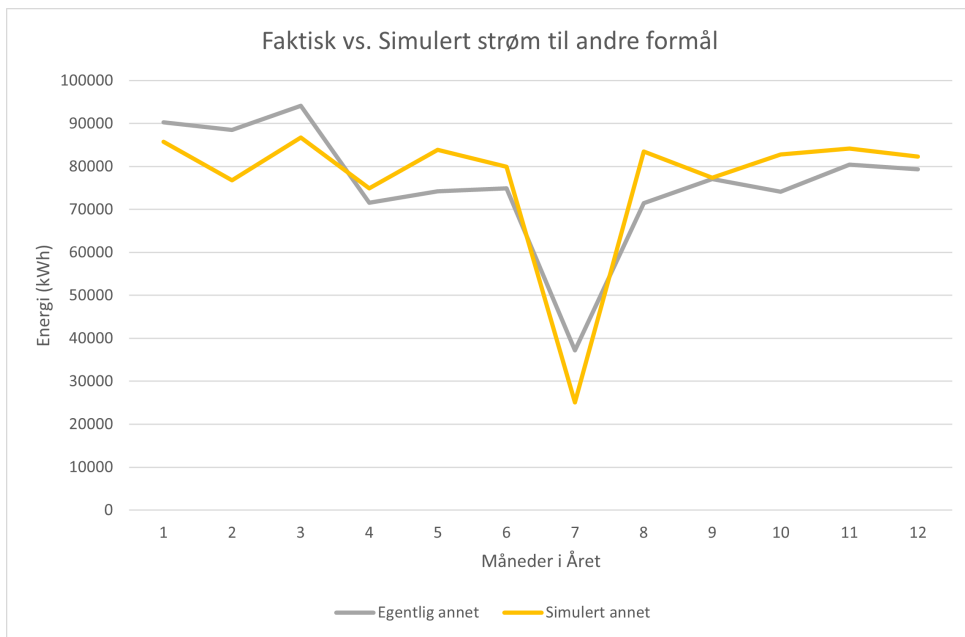
En kan videre foreta en visuell kontroll av datapunktene grafisk presentert. I figur 4.24, 4.25, og 4.26 er forbruk av elektrisk energi presentert og sammenlignet:



Figur 4.24: Totalt målt forbruk sammenlignet med simulert totalt forbruk

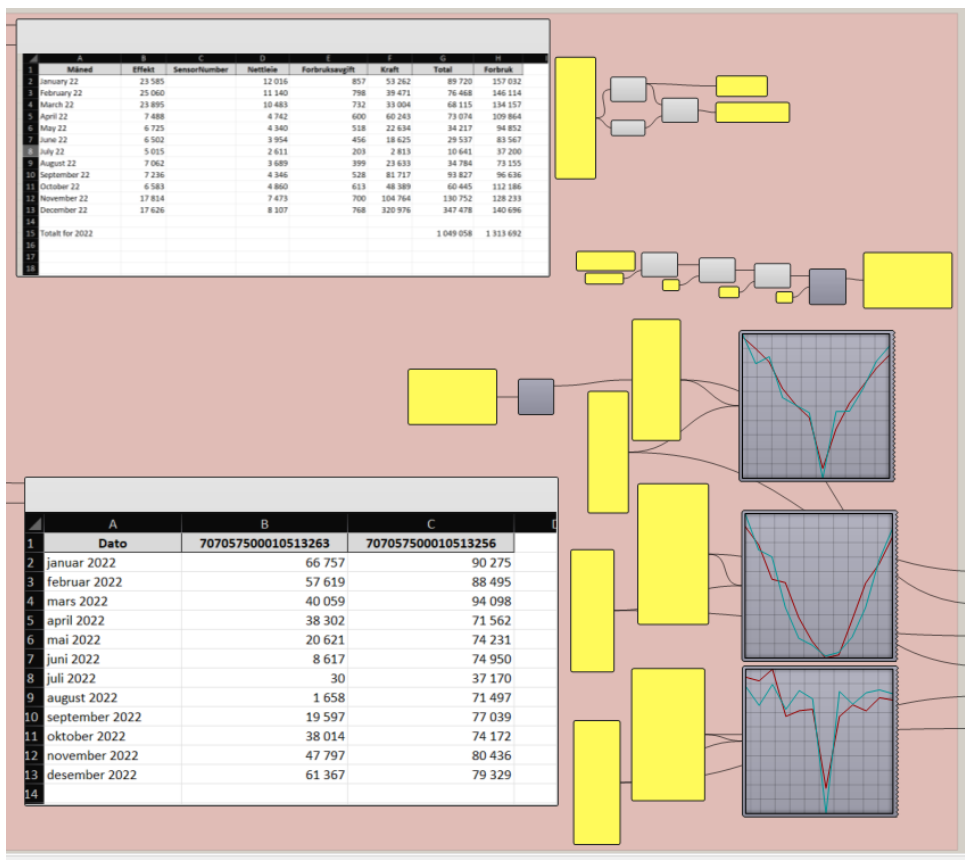


Figur 4.25: Målt forbruk til oppvarming av bygg sammenlignet med simulert energi til oppvarming



Figur 4.26: Målt energi til andre formål enn oppvarming sammenlignet med simulert energi til andre formål

Etter en visuell sjekk, ser grafene ut til å være relativt like. Figur 4.27 viser hvordan visuell kontroll tok sted i GH:



Figur 4.27: Ekstrakt av GH script hvor visuell kontroll ble gjort.

Tilstanden denne BEM-en er i nå refereres til som 'base case', og det er igjennom sammenligninger med denne at en kan fortelle noe om størrelsen av eksterne påvirkninger. Merk at årlig strømforbruk til varme er 378 MWh i base-caset. Dette er totalen som alle tiltak sjekkes opp imot idet årsforbruket diskuteres. Del 4.1.9 forteller hvilke modifikasjoner som skal gjøres, og hvilke reelle løsninger dette ville samsvart med.

4.1.9 Videre modifikasjoner av Base Case

Den første modifikasjonen er å øke veggens og takets tykkelse. Dette vil samsvare med å etterisolere bygget. Både tak og vegg vil først få etterisolering hver for seg, før det blir sett på det samlede innsparingspotensialet. Det fører til endring i bygnings karakter, men er vanligvis ikke søknadpliktig av kommunen med opptil 20 cm utvendig etterisolering av taket og yttervegger.

Den andre modifikasjonen, er å endre U-verdien i de forskjellige bygningsdelene som vindusflater fra 2.0 ifølge minstekrav til TEK-85 til 0.8 dette er ekvivalent med å installere passivhusvinduer. Vinduer, dører og veggåpninger har stor betydning for bygget energiforbruk.

Videre, vil vinduene (portene) holdes stengte hele døgnet. Dette vil være ekvivalent med løsninger som buffersone, luftbarriere, plastlameller, og installasjon av isolerende gulvlist.

Til sist vil all infiltrasjon settes lik passivhusstandard. Dette vil kunne beskrive bidraget etterisolering kan potensielt ha på infiltrasjon igjennom vegg og andre konstruksjonsdeler. Et tilfelle hvor infiltrasjon er satt lik 0 for alt vil også inkluderes for å beskrive det teoretiske sparepotensialet som finnes i bygningen.

For å kvalitetssikre resultatene vil følgende formel bli brukt for å sjekke verdier som omhandler transmisjon: [84]

$$Q_t = t \cdot \Sigma(A \cdot U \cdot \Delta\bar{\Theta}) \quad (4.6)$$

Hvor Q er varmeenergi, t er antall timer i et år (8760 h), A er den gjeldende fasadens areal, U er elementets U-verdi, og $\Delta\bar{\Theta}$ er den gjennomsnittlige temperaturforskjellen (20 °C innendørs, og gjennomsnittlig 9 °C utendørs, altså 11 °C forskjell [16]).

Ved bruk av formel 4.6, viser beregningene at resultat fra BEM-en, som omhandler transmisjon, stemmer godt overens med dette uttrykket fra bygningsfysikken. Ettersom BEM tar hensyn til flere faktorer, vil resultatet av disse to utregningene naturligvis avvike. Formålet med denne sjekken er å se om bygningsfysikken er enig med modellen, og ikke å komme frem til et identisk resultat. Resultatet av denne forenklete beregningen peker mot at resultatene er troverdige.

4.1.10 Praktiske løsninger

Første løsning, som kan samsvare med modellen, er etterisolering av bygget. Etterisolering monteres utvendig, eksisterende fasadeplater demonteres slik at det kan monteres igjen senere. For

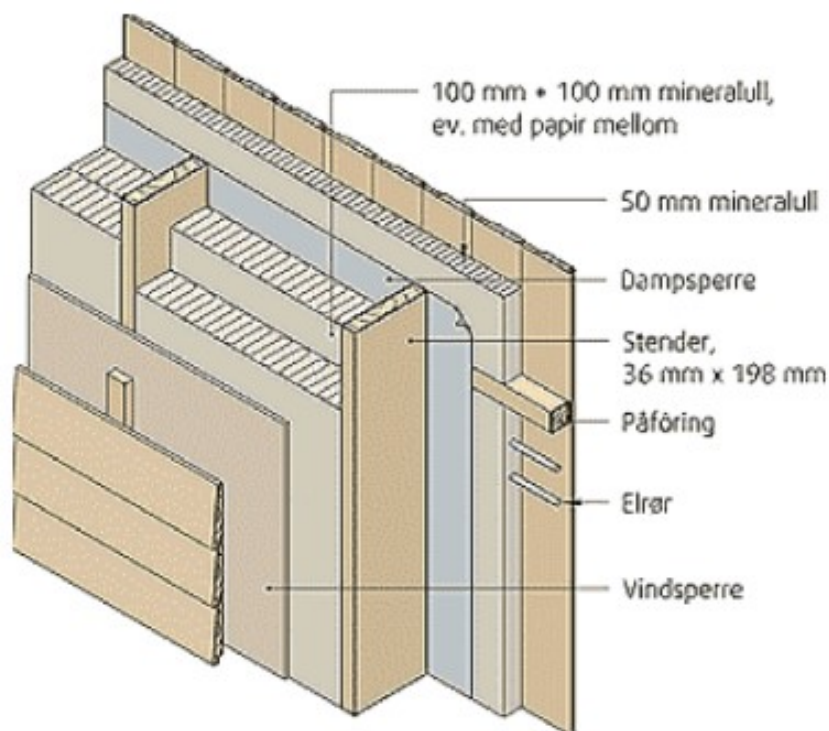
å oppnå kravene til Tek-17 erstatter en eksisterende isolasjon med tykkelse antatt lik 10cm, og etterisolerer med 15cm mer i vegg. Samme prosess vil finne sted i tak; eksisterende isolasjon på antatt 15cm tykkelse erstattes og etterisoleres med 15cm i tillegg. Gammel isolasjon har stått i rundt 40 år. Gjennomsnittlig levetid til isolasjon ligger på rundt 60 år. Da lønner det seg i større grad å fjerne den gamle isolasjonen og legge til ny. Slik unngår en å ha to lag med isolasjon med forskjellig levetid. Siden hall 3 ble bygget opp rundt 2017 etter Tek-17, så gjelder tiltaket kun resten av bygget.

Utvendig etterisolering er mer beleilig enn innvendig, fordi utføring av tiltaket ikke hindrer bruk av selve bygget underveis. I tillegg er etterisolering på utsiden mer egnet til å forhindre kuldebruer og luftlekkasjer ved bruk av vindsperre og dampspærre. Det er et dyrt tiltak som kun bør gjøres dersom ytterkledning må ned uansett. Vinduene bør flyttes mot utsiden av klimaskjerm for å forbedre tetthet.

Innvendig etterisolering etterlater fasaden uten endring, samtidig kan en isolere valgte deler av ytterveggen fra innsiden. Isolasjon tar en del plass i rommet, forhindrer ikke kuldebruer, den opprinnelige konstruksjon blir kaldere og fuktigere, og det kan oppstå skader i den ytre delen av veggen. for å få den tilsiktede tetthet på yttervegger er det viktig at mineralullen fyller hulerommene i bindingsverket. for å oppnå dette må en installere mineralull i to lag slik at det fyller helt ut i hjørner og lignende. Fabrikken har et totalt grunnareal på rundt 8000 kvm, hvorav omtrent 6000 kvm er aktuelt å etterisolere. Veggene kan fylles ut med mineralull som forbedrer bygget mot brann, og gir bedre lydisolasjon mellom rom. Ytterveggene og taket etterisoleres utvendig med mineralull (glassull). Estimert tidbruk for tiltaket sammen med andre tiltakene kan være cirka 1 år [32].

Vind-sperresjikt skal plasseres på utsiden av isolasjonen, som skal være lufttett, vannavvisende og tilstrekkelig åpent for vanndampgjennomgang [2]. Dette forhindrer uteluft fra å infiltrere inn i isolasjonen. Vind-sperressjikt og skjøtene må derfor være lufttette, og horisontale og vertikale skjøter må klemmes mellom faste og plane materialer for å oppnå full lufttetthet. Ytterveggen kan videre utsettes for slagregn og en må forutse at noe vann kan trenge inn gjennom veggkledningen og på vindsperre. Derfor må sjikt være regntett for å fungere som midlertidig beskyttelse mot slagregn i konstruksjonsfasen. Vindsperre bør ha så lavt som mulig vanndampmotstand for at byggefukt skal diffundere raskt gjennom vindsperre.

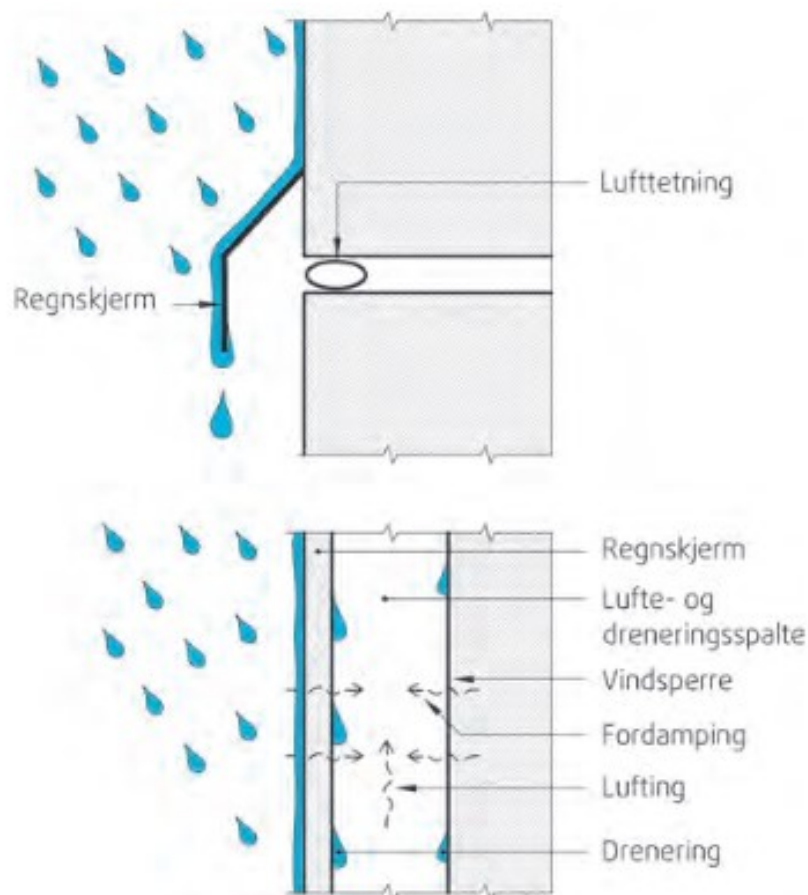
Dampspærre skal plasseres på innsiden av isolasjonssjikt for å danne et lufttett sjikt for å hindre luftlekkasjer [3]. Dampspærre skal være behandlet mot vanndamp. For å unngå kondens, sopp og muggvekst i veggkonstruksjonen. På samme måte som vindsperre skal dampspærre også dekke hele veggen. Samtidig skal alle bygningsdeler være kontinuerlig klemt mellom to plan og faste lag for å oppnå en tilstrekkelig lufttetthet som er vist på figuren. Figur 4.28 viser et tverrsnitt av en vegg, og plassering av blant annet dampspærre.



Figur 4.28: Dampsperre plassert på innsiden av isolasjonssjikt.

[83] Dette vill også endre U-verdien på både yttervegger og taket ifølge mintekrav fra TEK-85: Fra 0.45 for yttervegg og 0.23 for tak til 0.18 for yttervegg og 0.13 for tak etter å ha lagt til 15cm mineralull.

En annen praktisk modifikasjon som reflekterer endringer i BEM-en, er erstatning av eksisterende vinduer med vinduer av passivhusstandard. Passivhusvinduer skal være godt isolert med tre lag glass og gass mellom dem, som minimerer fare for kondens på innvendig side [89]. Vinduene bør plasseres lenger inn i vegglivet for å redusere faren for utvendig kondens på ruter med lite varmegjennomgang. En slik plassering gir større skyggevirking i vindusåpningen og mindre kuldebroverdi for vindusinnsettingen. Utfordringen med denne løsningen er at det kan være komplisert og kostbart når det kommer til tetting og vannlekkasjer. Bygget har vinduene plassert i vegglivet slik at sporet for stål-benkbeslag på bunnkarmens underside flukter med veggens vindsperrersjikt. slik at vann som trenger seg inn bak kledningen og bak utvendig vindusomramminger ved slagregnspåvirkning drenerer ut. For at vinduene skal bli så tette som mulig må fugene mellom karm og vegg på utsiden lufttettes, og ha en regnskjerm med et ventilert og drenert hulrom bak som gir en såkalt tottrinns regntetting. Figur 4.29 viser eksempler på tetting mot regn.



Figur 4.29: Regnskjerm med totrinnstetting.

[74]

Fugetetting kan gjøres på flere måter som fugemasse, fugeskum eller tetningslister. Fugemasse og fugeskum har den ulempen at karmen kan ikke justeres etter montering. Tetningslister har en særlig utfordring på tetting av hjørner. Innvendig lufttetting av fugen mellom karm og vegg kan gjøres med teip, som kan ansees som et godt alternativ. For drenering ved slagregnspåvirkning brukes det vannbrett med beslag mot topp- og bunnkarm og inn sidevis bak veggkledningen for sikring av tetthet. For dører gjelder samme prinsipp som for vindu.

En tredje løsning som kan modellere endinger gjort i BEM-en, er tetting av porter. En buffersone er et eksempel på en slik løsning. En buffersone er en type påbygg rundt porter som kan monteres både utvendig og innvendig. Oppgaven sitt er å forhindre luftlekkasjer og trekk igjennom portene.

Selv om at garasjedørene holdes stengt utenfor varelevering/mottaktiden er det fortsatt ikke helt tett mot infiltrasjon. Fra befaringen kunne en se at portene ikke er så godt tett på bunnsiden. Dette kan føre til store varmetap. Garasjedørkantene har en gummi-stripe på bunnsiden som er montert fra før, men dette materialet er veldig slitt nå og varme lekker ut fra hallene. Disse kan byttes med rørformet gummi, som er mest effektivt med tanke på isolering og tetting mot fukt. Materialene er lette å installere, samtidig som de har en levetid på opptil 5 år. Stripene koster

cirka 100 kr per meter. dette gir en totalinvestering på 4200 kr for 6 porter på 5 meter bredde og 4 lasteramper på 2 meter bredde.

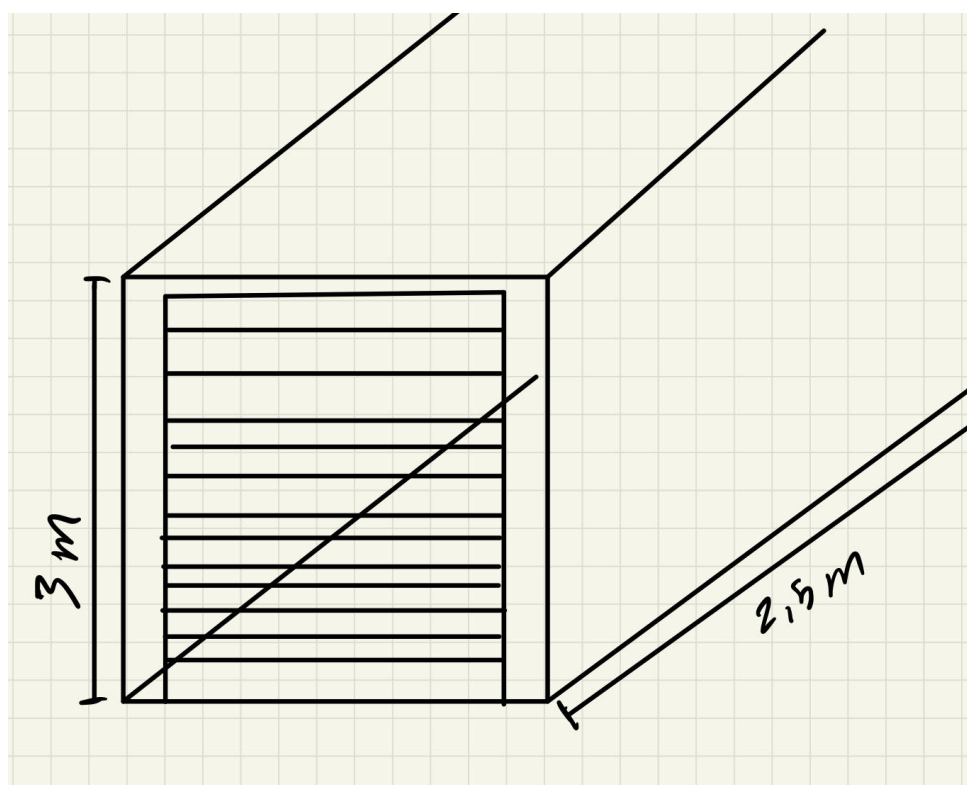
Disse tiltakene og deres reelle besparingspotensial vil bli diskutert videre.

4.1.11 Økonomiske vurderinger

Etterisolering monteres på utsiden av ytterveggen, ofte gjennomføres tiltaket med bytting av kledning som kan legge til store utgifter. Siden dette er et industribygg som bruker metallplater som ytterkledning, kan den gjenbrukes. En kan anta at glassull brukes for etterisolering av ytterveggene og taket, som koster omtrent 75 kr per kvm. Vind- dampsperre sjiktene kommer i tillegg for omtrent 40 kr per kvm tilsammen. Etter å samtalt med Glava, ble det antatt en pris på 700 kr per kvm for montering og materialkostnader.

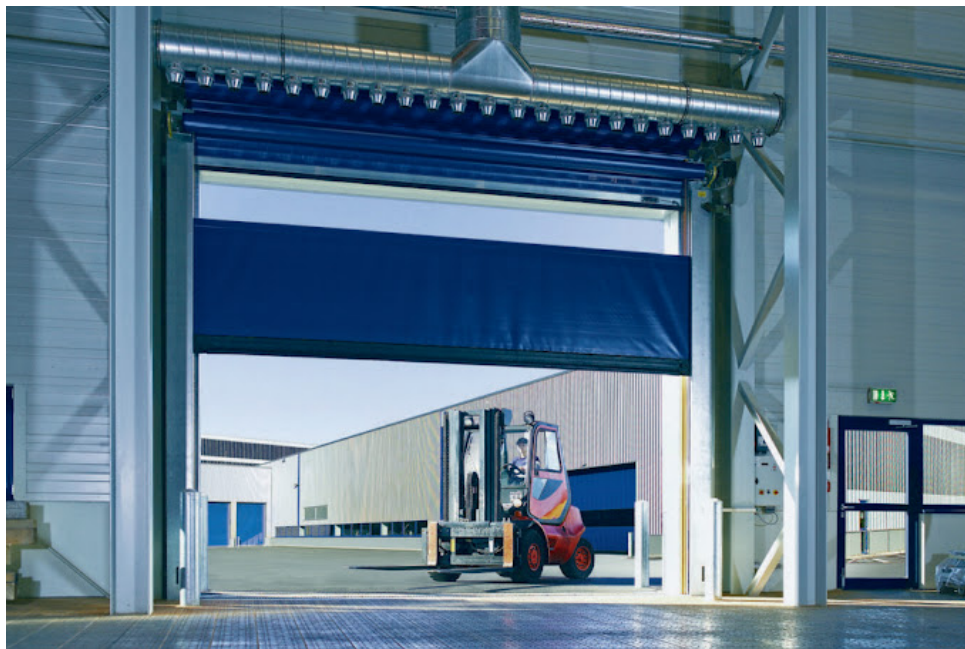
Bytting til passivhusvinduer. Kostnadene for vinduer er avhengig av kvaliteten av materialer og størrelse. Et 3-lags PVC H-vindu koster cirka 3600 kr pluss montering kostnader kan ende opp på cirka 5000 kr per vindu, disse kostnaden variere med kvaliteten og kan komme opp på 10000 kr inkluderte montering [42]. Fabrikshallene har mindre størrelse vinduer med fastkarm, mindre størrelse vill si mindre kostnader.

En buffersone kan beskrives som et lite rom med en isolerende stålport med like dimensjoner som de eksisterende portene med veggene lengde på 2.5 m og høyde på 3 m som illustrerte i bilde. Figur 4.30 viser en enkel illustrasjon av en buffersone.



Figur 4.30: Eksempel på hvordan kan buffer-zone se ut.

Rommet er tett og relativt lett å montere. Fabrikken har perioder i løpet av en måned da de leverer eller får varer ved varemottakene og portene står åpne mens dette foregår. En buffersone forhindrer at luft tar seg inn eller slipper ut ved å holde den inneste døren til buffersonen lukket. Dette gjøres med en bevelgesensoren som en rull-dør for mer behagelig arbeids rytme for ansatte. Figur 4.31 viser en slik rulldør.



Figur 4.31: Eksempel på hvordan kan indre garasjeport se ut [67].

Prisen for installasjon rundt porter vil variere med hensyn til portens bredde. En isolerende garasjeport med 2-2.6 m bredde har en produkt pris på 13200 kr, mens en på 5 m bredde har en pris på 22700 kr [34]. For vegger og taket for bygging av rommet, ble det tatt hensyn til isolerende innvendig vegg som får kostnader får 1792kr per kvm [42] .

En annen løsning som kan bidra til å redusere utslipp fra infiltrasjon, er installasjon av luftbarriere. Dette er et apparat som blåser store mengder luft parallelt med døråpninger, slik at luften selv fungerer som et isolasjonssjikt. Gitt at portene er nesten 5 meter høye, begrenses antall produkter en kan kjøpe. Gruppen har utforsket produkter fra Rosenberg-gruppen. Her er det 2 aktuelle modeller som kommer i flere forskjellige varianter og dimensjoner. Disse er: Windbox L,XL og Maxwell luftgardiner [6] [7]. Gitt de forskjellige variantene som er på markedet varierer prisene mellom 3000 og 16000 euro per produkt kjøpt. Dette inkluderer ikke frakt eller montasje. Per idag er en euro omlag 11.8 norske kroner. Gitt at portene er montert på fasaden, og at Ålesund har et klima med mye vind (som vist i figur 2.6), er det sannsynligvis verdt å investere i en variant med større nominell luftstrømming. Hvor stor luftstrømmen burde være, er ikke besvart i denne oppgaven. Ved lasterampene kan mindre varianter brukes. Priser på luftbarrierer starter på rundt 2000 euro for installasjonshøyder på 3-4 meter og 3000 euro for de billigste modellene designet for 5 meters høyde. Prisen for luftbarrierer kan komme opp i så mye som 18000 EUR per produkt [5]. Figur 4.32 viser installerte luftbarrierer i en hall.



Figur 4.32: Luftgardiner i industrielt bygg [69]

Siden garasjeportene rulles opp på innsiden av fasaden, kan det bli utfordrende å montere disse. En kan konstruere enkle sidevegger vinkelrett til døråpningen for å forhindre luftlekkasje, og sette luftgardinen på toppen av disse, eller montere apparatet utendørs i en påbygd klimaskjerm. Luftbarrierer kan muligens settes opp på høykant langs sidene på døren, og da lage en barriere med å skyte luft inn horisontalt mot portens midt. Kunnskap om hvert enkelt produkts egenskaper er nødvendig å ha før en kan igangsette en slik montering. Eventuelt kan luftgardinene monteres under der hvor garasjedøren sammenrulles, men dette vil gå på bekostning av portens høyde, tilnærmet lik produktets egen høyde.

Shipping av produkter fra dør til dør vil trolig koste opp imot 13000 NOK, og installasjon nærmere 30000 NOK, totalt 43000 i montering og frakt.

En tredje løsning er installering av plastlameller. Disse er nok best egnet på østsiden av bygget, på lasterampene, men kan og benyttes på garasjeporter. Figur 4.33 viser hvordan dette kan se ut på større utendørs åpninger:



Figur 4.33: Plastlameller installert i port på yttervegg [60].

Pris på plastlameller varierer. For 200 mm tykkelse: 85 kr per løpemeteter, for 300 mm: 169 kr/m, og for 400 mm: 295 kr/m [35]. Jo færre og bredere hvert element er, desto mindre luftstrøm vil en få igjennom disse. Gitt dimensjonene på porter og en antatt overlapp på 4 cm på hver side kan en regne ut et konservativt prisestimat. Dette kan gjøres med følgende formel:

$$Total\ pris = pris\ per\ løpemeteter \cdot høyde\ av\ port \cdot \frac{bredde\ av\ port}{bredde\ av\ lamell - 8\ cm} \cdot antall\ porter \quad (4.7)$$

Frakt er gratis ifølge Gerdmanns, og pris for installasjon vil trolig ligge på rundt 6600 NOK.

4.2 Dimensjonering av bærende rammesystem

Bærende ramme i hall 1 er underdimensjonert med hensyn til snølast. Etter samtaler med Spilka kommer det frem at dem har prøvd å løse dette problemet ved å installere varmekabler over taket, noe som har ikke har virket optimalt. Dette på grunn av at kablene smelter snøen i flere 'rør' parallelt med kablene, og mye av snøen blir igjen på taket. Dette faktum er en hindring for utbygging av solcellepaneler, og er et aldri så lite tap på Spilkas økonomi og produktivitet, da

elektrisitet og arbeidskraft brukes for smelting og måking av snø per idag. Oppgaven vil forsøke å gi et beregningsgrunnlag for hvor mye underdimensjonert bjelkelaget er, og hvilken besparelse Spilka kan få av å styrke bjelkelaget.

Å installere solceller på tak, vil øke belastningen som er påført på taket. Dersom solcellene er vinklet mot solen, vil dette videre gjøre taket enda mer utsatt for akkumulering av snø. På grunn av at taket allerede er underdimensjonert, er det da imperativt å sjekke takets kapasitet og potensial for styrking av konstruksjonen før en gjør installasjoner på taket.

4.2.1 Grunnleggende informasjon

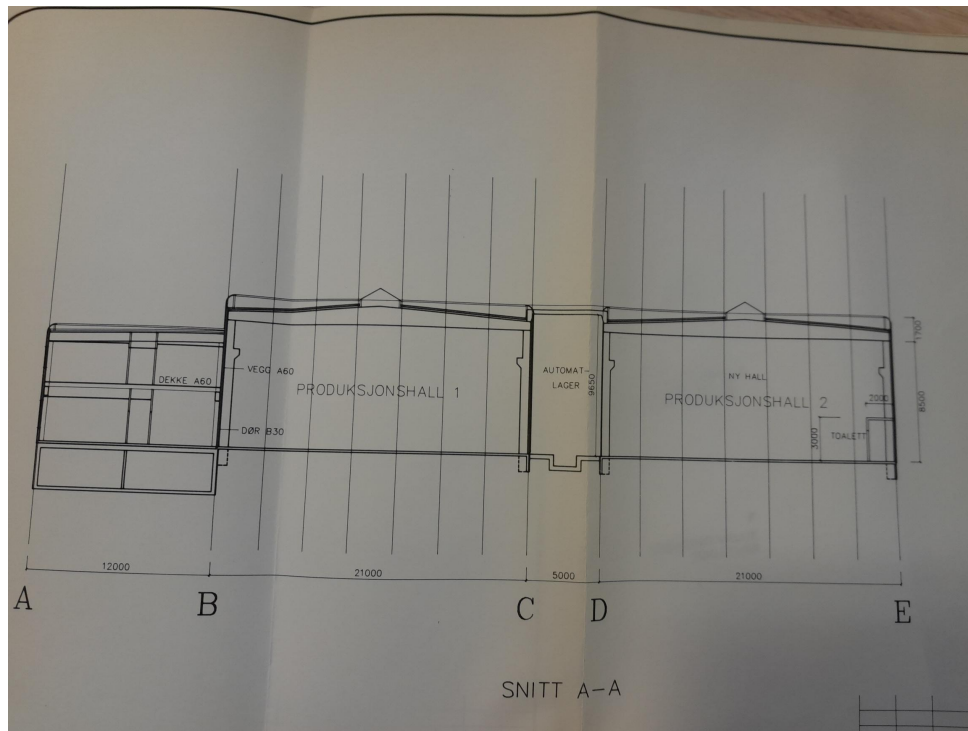
Bærende ramme står i dag som vises på figur 4.34:



Figur 4.34: Hall-1 bjelke

En kan se fra figur 4.34 at tverrsnittet er en type I-profil, trolig armert i bunnen.

Spilka har videre sendt et tverrsnitt av hall 1-2 og kontorfløyen. Dette kan brukes til å beskrive bjelkens geometri. Figur 4.35 viser tegningen.



Figur 4.35: Tversnitt av hall 1-2 og administrasjonsfløyen.

Før det kan gjøres beregninger på bjelken, er det viktig å uttrykke laster som påføres bjelken. En begynner da med å forstå byggets dimensjoner som vist i figur 4.35. Her kan en se et spenn over 21 meter minus tykkelsen av søylene på siden. Bjelken har varierende høyde, fra hva kan se ut som 400mm til 1500mm på det tykkeste fra tverrsnittet.

Bjelken er påført flere laster. For å sjekke påkjenningen bjelken skal tåle, må en først kjenne til belastningen som vil bli påført den. Disse er: permanent last fra selve byggematerialene og variabel last som variere med tid som snølast eller vindlast. En må også kjenne spennvidden og lengden av bjelken. Formeler og konstanter hentes fra Eurokode-1 (laster på konstruksjoner) del 1-1 (allmenne regler) og del 1-3 (snølast) [46]. Videre må en også beregne egenlasten av materialere til bjelken, slik vi har total lasten som skal tas av bjelken.

Egenvekt av betong er 25 kN/m^3 , og massetettheten av tak er nermere 0.7 kN/m^3 som oppgitt i tabell 5.4.

4.2.2 Styrkeberegning

Neste steg er å definere styrken av tverrsnittet. For å beskrive dette trenger en enten avansert utstyr som gruppen ikke har tilgang til eller kunnskap om hvordan å operere, eller å kontakte selskapet som produserte og dimensjonerte bjelkelaget i håp om at de har informasjon om bjelkelaget. Spilka forteller at bjelkelaget i Hall 1 er konstruert av Spenncon. Under samtaler med Spenncon kommer det frem at de ikke har dokumentasjon over konstruksjonsdelene. Dette gjør at en ikke har noe grunnlag for å beskrive betongens fasthet, armeringsstengenes kvalitet, mengden av armering (både strekk-, trykk-, og skjærarmering), og armeringens plassering. Dette

er kritiske mangler i beregningen, ettersom tverrsnittets kapasitet utgår kun fra disse. Ettersom selve fundamentet i beregningen ikke er definerbart gitt gruppens kompetanse, tid og ressurser, vil beregninger av bjelkens kapasitet utgå fra denne oppgaven.

På den andre siden, er det ikke umulig å gi uttrykk for betongens styrke. Får en tak i riktig utstyr, kan en bruke ultralyd til å kartlegge armeringens plassering og størrelse [48], og en såkalt 'ultrasonic pulse velocity test', eller UPV test, for å beskrive betongens kvalitet [82]. Ettersom gruppen ikke har tilgang på ressurser for dette, er dette en beregning som kan deles ut i for eksempel en ny bachelor- eller masteroppgave for fremtidige år dersom dette er i Spilkas interesse.

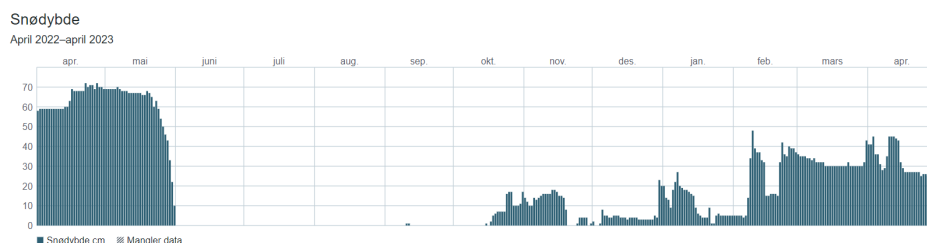
Gitt informasjonen diskutert over, besluttet gruppen å ikke gå videre med beregninger angående struktur.

4.2.3 Tap som forekommer av underdimensjonert bjelkelag

Et tap i strømproduksjonspotensiale kommer av at rundt 2200 kvm av taket ikke egnes til installering av solceller. Dette er et resultat av at taket i hall 1 er underdimensjonert. Dette gir en begrensning på produksjon som kan installeres på taket. Det endelige resultatet fremkommer fra analysen av solkraft som diskuteres videre i oppgaven.

Videre, er der tapt lønning og produktivitet av at personale drar opp på taket og måker av snø. Det er umulig å si nøyaktig hvor mye som tapes per år, men om en antar antall personer på taket som måker, tid i antall timer, antall dager i året etter tungt snøfall hvor måking er nødvendig, og gjennomsnittlig lønning på folkene, kan en kjøre en enkel beregning på Spilkas tap her. 3.5 personer brukes som et gjennomsnitt for antall folk, 2.5 tapte arbeidstimer per dag med måking, 5 dager i året, og en gjennomsnittlig lønning på f.eks 320 kr/time, finner vi at Spilka taper 44 timer med produktivitet, og 14000 kr i lønninger årlig.

Til sist, tapes energi til strømkablene som smelter snøen. Spilka har ikke data som beskriver forbruket av kablene, så en annen tilnæringsmåte trengs her. Ved å gi et uttrykk for volumet snø som må smeltes, kan en ved bruk av spesifikk og latent varmekapasitet uttrykke mengden energi som brukes på snøsmelting. Varmeenergien kan konverteres til strømenergi direkte. Figur 4.36 hentet fra metrologisk institutt gir snødybden i Ålesund det siste året:



Figur 4.36: Snødybder i Ålesund.

Fra figur 4.36 kan en tolke ethvert 'hopp' som en dag der ny snø faller. Dette er dager kablene

vil være effektive i bruk. Spilka forteller at dersom snødybden er for høy, produserer kablene luftlommer på bunnen av snøen. Dermed vil nok kablene være effektive et begrenset antall dager. En kan anta at om der ligger snø på taket fra før, er ikke kablene brukbare. Grafen viser til 2 ganger hvor snø faller på bar bakke. Av snø som ligger opptil 10cm over taket, antas det at omtrent 50% av snøen smeltes. Volumet av snø som smeltes er da lik $2200m^2 \cdot 0.1m \cdot 0.5 = 110m^3$. Massetettheten av is er $100 kg/m^3$ [24], altså $11000 kg$.

Om en antar at snøen har gjennomsnittlig intern temperatur på $0^\circ C$, kan en finne varmeenergien nødvendig for å smelte snøen ved å beregn latent varmeenergi nødvendig. Latent varme fra is til vann er $334 J/g$ [53], eller $334000 J/kg$. Beregninger vises under:

$$Q_{total} = 334000 \cdot 11000 = 3.67 \cdot 10^9 J$$

Dette repeteres for 2 dager hvor kablene er brukbare:

$$3.67 \cdot 10^9 \cdot 2 = 7.35 \cdot 10^9 J$$

En kan konvertere joule til kWh ved å gange med faktoren 2.7777778×10^{-7} [92]. Dette gir:

$$7.35 \cdot 10^9 \cdot 2.7777778/10^7 = 2041 kWh$$

Om en antar 1 krone per kWh strøm, ser en at Spilka taper 2000 kroner årlig på varmekablene når de er i bruk. Om en antar at kablene brukes annenhvert år, reduseres dette til halvparten i snitt hvert år, altså 1000 kr årlig. Dette vil variere med flere faktorer som hvor lenge kablene er påskrudde, mengde snø og kanskje også klimaendringer. En annen måte å formidle dette på er at for hver gang snø smeltes med kabler, koster dette Spilka 1000 kWh energi.

4.3 Vurdering av væske-vann varmepumpe

For å vurdere om en væske-vann varmepumpe er en god oppvarmingsløsning for fabrikken, blir det sett på økonomiske konsekvenser av en slik installasjon. Varmepumpen er ment til å erstatte den elektriske kjelen fabrikken har ettersom at den er 40 år gammel og må antageligvis byttes ut innen noen år. Da kan en varmepumpe være en mulig erstatning for den elektriske kjelen. Grunnen til dette er at fabrikken har mye av rørsystemet som trengs for for å distribuere varmen fra en væske-vann-varmepumpe. Mesteparten av fabrikken har vannbåren varme. For å installere en væske-vann-varmepumpe blir det bare nødvendig å grave energibrønner og legge inn kollektorslanger til å hente varme fra under bakken, i tillegg til installasjon av selve pumpen.

For å vurdere de økonomiske konsekvensene blir det sett på årlige kraftbesparelser og hvor mange kroner som spares fra dette. Deretter blir det gjort nåverdiberegninger på disse besparelsene.

Videre må det estimeres en investeringskostnad for varmepumpen.

For å finne hvor mye fabrikken kan spare hvert år blir det beregnet hvor mye kraft fabrikken bruker til oppvarming med en varmepumpe og uten. Varmefaktoren for bergvarmepumpen antas å være konstant ettersom at temperaturen i bakken er stabil gjennom året. Dermed blir kraftbesparelsene enkle å beregne. Kraftforbruket til oppvarming med varmepumpe vil være lik kraftforbruket uten dividert med effektfaktoren. Dette stemmer dersom hele kraftforbruket til el-kjelen dekkes med varmepumpe. Det er ikke gunstig å dimensjonere en varmepumpe til å gjøre høye temperaturløft ettersom at dette minker varmfaktoren til pumpen. Dermed bør tappevann varmes direkte med elektrisitet, som fører til mindre besparelse. I tillegg bør ikke varmepumpen dimensjoneres til å dekke hele oppvarmingsbehovet til fabrikken ettersom at dette vil føre til at mye av kapasiteten til pumpen går ubrukt store deler av året. Resultatet av dette blir at uttrykket for kraftforbruket med varmepumpe blir:

$$E_{VP} = Q_{el} + Q_{VP}/COP \quad (4.8)$$

For å finne en passende kapasitet på varmepumpen, blir det gjort NNV-beregninger. NNV blir regnet ut som funksjon av varmeeffekten som pumpen skal levere. Den varmeeffekten som gir høyest NNV vil i teorien være mest gunstig, men det vil være noe usikkerhet, som gjør at det kun er mulig å gi en omtrentlig optimal varmeeffekt.

4.3.1 Kraftbesparelse

For å beregne kraftbesparelsen av en varmepumpe må differansen mellom kraftbehovet med og uten varmepumpe bli funnet. Kraftbehovet uten varmepumpe er gitt i 2.1. Kraftbehovet med varmepumpe blir regnet ut ved å anta en varmeeffekt ut av varmepumpen (\dot{Q}_{ut}). Denne trekkes fra varmeforbruket til fabrikken time for time for å finne ut hvor stor andel av varmebehovet varmepumpen ikke klarer å dekke. De negative verdien settes til 0. Deretter summeres dette opp i tilhørende måneder. Summeringen gjøres ved bruk av funksjonen som vises i figur 4.37. Resultatet av dette er den månedlige kraften som må dekkes med direkte elektrisk oppvarming (Q_{el}). Videre blir fabrikkens månedsbehov for varme trukket fra Q_{el} for å finne den månedlige varmen som varmepumpen avgir (Q_{ut}). Deretter blir det elektriske kraftbehovet for oppvarming med varmepumpe (E_{vp}) regnet ut som summen av Q_{el} og det elektriske arbeidet til å drive varmepumpen (W_{inn}). Ligning 3.8 gir at $W_{inn} = Q_{ut}/COP$. Månedlig besparelse blir deretter funnet som differansen av varmebehovet til fabrikken og E_{vp} . Disse beregningene vises i matlab scriptet på figur 4.38


```

function manedsum = f_manedsum(vek_h)
% Tar inn en 1x8760 vektor og gir ut en 1x12 vektor med månedssummer
manedsum = zeros(1,12);
maned = [0,31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31]*24; % timer per måned
for i = 2:length(manedsum)+1 % Summerer sammen verdiene for timene tilhørende hver måned
    m = vek_h(sum(1+sum(maned(1:i-1))):sum(maned(1:i)));
    manedsum(i-1) = sum(m);
end
end

```

Figur 4.37: matlab script for beregning av månedssummer

```

%%% Beregner Kraftbesparelser %%%
Q_el = Q-Q_ut_max; % W
Q_el(Q_el<0) = 0;
Q_el = f_manedsum(Q_el); %Månedlig varmebehov som må dekkes av strøm %Wh
Q_forbruk = f_manedsum(Q); %Månedlig varmebehov
Q_ut = Q_forbruk-Q_el; %Månedlig varmebehov som dekkes av varmepumpe
dekningsfaktor = sum(Q_ut)/sum(Q_forbruk); %Andel av varmebehovet som dekkes av VP

E_VP = Q_el + Q_ut/COP; % Månedlig energiforbruk med varmepumpe. Elektrisitet til direkte oppvarming + Elektrisitet til varmepumpe
E_spart = Q_forbruk - E_VP; % Månedlig energi spart

```

Figur 4.38: matlab script for beregning kraftbesparelser fra varmepumpeinstallasjon

4.3.2 Investeringskostnad

Investeringskostnad blir vurdert gjennom å se på kostnader av å bore hull og å legge inn kollektorslange i brønnene. I tillegg blir det antatt en pris for kompressoren og sirkulasjonspumpen. Beregningene ble gjort i Matlab som vist i figur 4.38.

Investeringskostnad for borehull ble gjort ved å finne ut hvor mange energibrønner som må bores. Dette ble gjort ved å dimensjonere dem etter ønsket varmeeffekt inn i varmepumpen (\dot{Q}_{inn}). Denne ble funnet ved bruk av formel 3.11. Det ble antatt at hver energibrønn er 200 meter dypt i fjellet og at det er 6 meter mellom hver brønn. Videre antas det at det at spesifikk varme fra løsmassen er 20 W/m og spesifikk varme fra berggrunn er 35 W/m. Løsmassen antas å være 5 m dyp. Alle disse antagelsene begrunnes i teorien. Deretter kan det bli funnet hvor mye som må boring som må gjøres for å oppnå ønsket \dot{Q}_{inn} . Hver brønn gir 6 m løsmasse og 200 m berg. Dette brukes til å finne ut hvor mye varmeeffekt hver brønn kan avgi. Ønsket \dot{Q}_{inn} ble så dividert med varmeeffekt per brønn for å estimere antall energibrønner som må graves. Prisen for energibrønnene ble så funnet ved å finne å gange sammen prisen for hver brønn med antallet brønner. Prisen for en brønn ble funnet ved følgende ligning:

$$pris_{brønn} = pris_{l\ddot{o}smasse} \cdot dybde_{l\ddot{o}smasse} + pris_{berg} \cdot dybde_{berg}$$

Prisen på kollektorslangen ble funnet ved å finne lengden med slange som trengs og gange denne med prisen, som antas å være 650 kr/m. Det skiller mellom lengden av slange i horisontal retning ($l_{x,y}$) og i vertikal retning (l_z). Beregningene for disse vises i figur 4.39.

Investesteringen på kompressoren og sirkulasjonspumpen og diverse annet ble antatt å være 300 000 kr.

```

%%% Beregner investeringspris %%%
Fjellybde = 200; %m
Losdybde = 5; %m
d_bronn = 15; %m distanse mellom brønner
bronndybde = Fjellybde+Losdybde;

p_los = 600; %kr/m
p_fjell = 200; %kr/m
p_kollektor = 650; %kr/m

Q_bronn = q_berg*bronndybde; % W/m * m
Q_losmasse = d_bronn*20; % 15 m mellom brønner, 20 W/m i grus
P_tot_bronn = Q_bronn + Q_losmasse; %W/bronn , Varmeeffekt per brønn

Q_inn = Q_ut_max*(1-1/COP); % Q_inn: Varme som hentes fra berg
bronner = Q_inn/P_tot_bronn; % antall brønner som må borres

l_z = bronner*bronndybde*2; % Lengde av vertikale rør (tur+retur)
l_xy = bronner*d_bronn*2; % Lengde av horisontale rør (tur+retur)

p_bor = (p_los*Losdybde + p_fjell*Fjellybde)*bronner; % Pris for brønner, Neglisjerer gravemaskin kost
p_slange = (l_xy+l_z)*p_kollektor; % Pris for kollektorslange
p_pumpe = 300000; % kr , Vilkårilig antagelse for pris på pumpe og installasjon
Investering = p_bor+p_slange+p_pumpe;

```

Figur 4.39: matlab script for beregning investeringspris

4.3.3 NNV-beregning

For å beregne NNV av investeringen ble det først funnet hvor mye kraftbesparelsene utgjør økonomisk. Dette ble gjort ved å gange månedlig kraftbesparelse med månedlig strømpris. Det antas at strømprisen vokser med 3 % årlig. Strømpris og besparelse beregnes i figur 4.40. Vedlikeholdskostnad antas å være 2.5 % av total investering. Vedlikeholdskostnaden fordeles likt på hver måned over hele levetiden til pumpen

```

%%% Beregner Økonomiske besparelser %%%
strompris_unett = [52.32,46.26,45.45,51.54,37.69,34.80,38.93,47.56,60.04,41.32,55.89,89.47]/100; % kr/kWh , 17-23\20 u/nett inkl. MVA
nettleie = [7.65,7.62,7.81,4.32,4.58,4.73,7.02,5.04,4.5,4.33,5.83,5.76]/100;
strompris_mat_eksp = (transpose(transpose(strompris_unett)*k_strompris.^(1:levetid)))+(nettleie+0.1541+0.01)*1.25)/1000; %kr/Wh

cash_spart = E_spart .* strompris_mat_eksp; % Alle besparelser over hele levetiden i månedsoppløsning

```

Figur 4.40: matlab script for beregning av økonomisk besparelse fra varmpumpe

Netto nåverdi og tilbakebetalingstid ble beregnet i figur 4.41 og matlab script for NNV-beregning figur vises i figur 4.60.

```

%%% Vedlikehold %%%
cash_vedlikehold = Investering*0.025/levetid/12; % Månedlig vedlikehold.

%%% Beregner NNV %%%
r_m = r/12; % Månedlig rente
cashflow = cash_spart-cash_vedlikehold; % Netto besparelse
c_N = zeros(ones(1,levetid*12));
for i = 1:levetid % Deler opp matrise og setter sammen til en vektor
    c_N(1+(i-1)*12:i*12) = cashflow(i,:);
end
I = [-Investering, c_N]; % [0: Investering, levetidsinntekter, ny pumpeinvestering, levetidsinntekter]

[NNV,~,t_tilbakebetal] = f_NNV(I, r_m); % Beregner NNV og tilbakebetalingstid for investeringen
t_tilbakebetal = ceil(t_tilbakebetal/12); % Tilbakebetalingstid konverteres til år og rundes opp

```

Figur 4.41: matlab script for beregning av NNV og tilbakebetalingstid.

4.4 Solanalyse

En analyse av produksjonspotensiale av solkraft vil bli gjort i denne oppgaven. Analysen vil inkludere det planlagte kontorbygget som skal bli stående ved siden av fabrikkens. Et script i RH/GH vil bli lagd med følgende formål:

- Importering og prosessering av EPW fil med data om solstråling
- Analysing av eksterne påvirkninger og beskrivelse av brukbare flater for installering av solanlegg.
- Modelering og plassering av en enkel modul
- Parametrisk studie av fiktiv veggmontert modul som beregningsgrunnlag
- uthenting av maksimal årlig vinkel fra horisontal bakke til sol

Beregninger vil bli gjort på sørvendte vegger og tak i de 2 byggmassene.

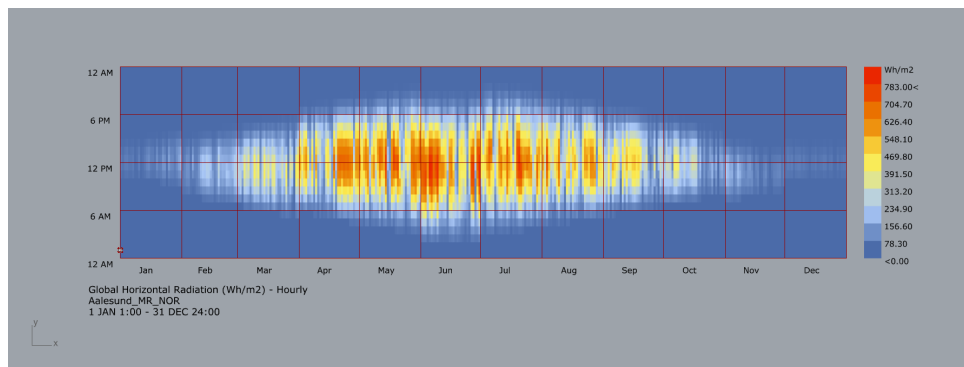
Beregninger av solkraft på tak vil ikke bli gjort ved hjelp av RH. Her brukes MatLab som et redskap for grafisk fremstilling og beregning. 2 scenarioer ble opprinnelig vurdert: solcellepaneler og solfangere. Montering og bruk av solfangere krever også en løsning for varmelagring. På grunn av at dette kan bli en dyr og krevende prosess, ble solfangere sett bort ifra. Arbeidet er diskutert videre. Denne delen vil si noe om maksimalt potensiale for strømproduksjon og maksimal kostnytte av solcellepaneler samt hvor mye energi dette scenarioet vil generere.

4.4.1 EPW klimadata

Ved bruk av LB, kan en importere og analysere klimadata. LB gir 8760 datapunkter per år, eller et datapunkt per time. Interessante verdier for beregninger videre er DNI, DHI, og GHI. Dataen blir prosessert i LB, og et timelig, et daglig, og et månedlig datasett blir eksportert ut til Matlab for beregninger. En årstotal er også gitt.

For beregninger på vegg brukes LB direkte til utregninger.

LB sine grafiske redskaper presenterer av data om GHI fra EPW-filen som vist i figur 4.42:



Figur 4.42: En grafisk presentasjon av strålingsdata per time fra EPW filen som er geolokalisert til Ålesund. Strålingen her er GHI. Modellen viser et helt år.

4.4.2 Geometri av modeller

Modellen av selve fabrikk er lagd noe forskjellig en når en BEM ble fremstilt. En 2d-kurve fra Gizmo er brukt som utgangspunkt, men alle haller og lagre er en sammenhengende prisme med høyde 10.3 meter. Kontordelen av bygget og garasjeport-tilbygget i hall 3 er modellert med 8 meters høyde. Utstikkende geometri som danner skygge over dører og vinduer er inkludert i modellen.

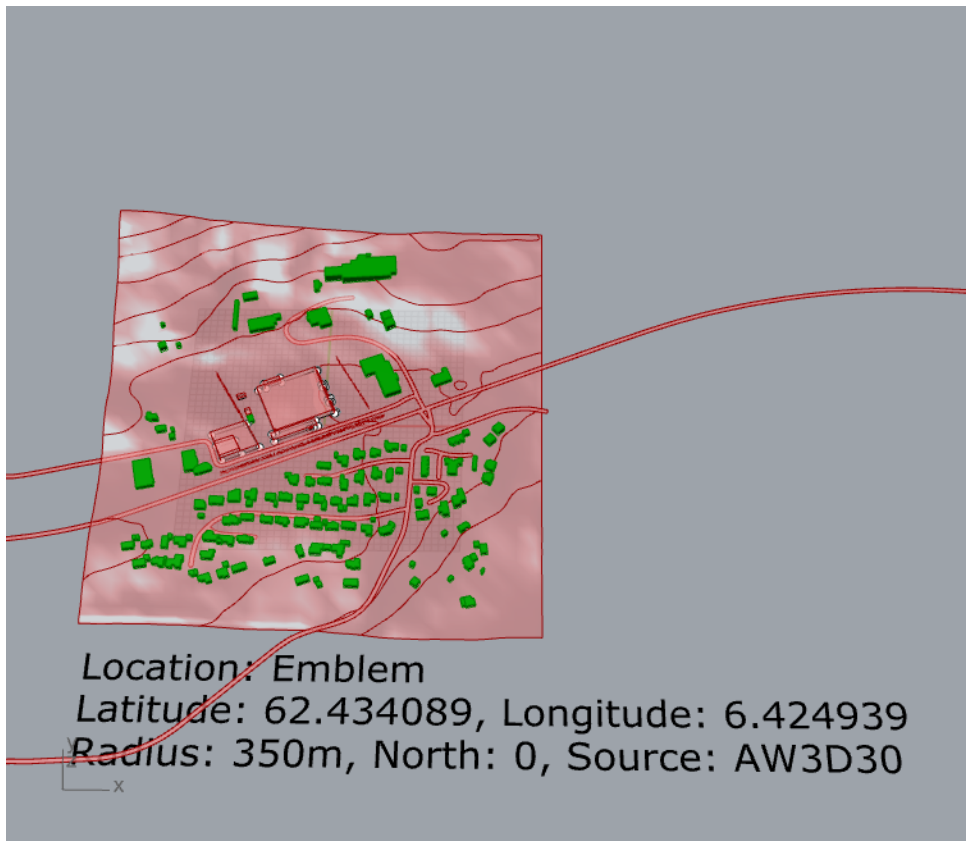
Modellen av kontorbygget er modellert som en 8 meter høy prisme med en grunnflate på cirka 20x20 meter. Denne har en annen prisme oppå, som er 8 meter høy, men denne er 10x10 meter. Bygget er modellert enkelt ut ifra eksisterende konsepttegninger som finnes i Spilkas fabrikkbygg idét denne oppgaven skrives. Modellen plasseres ut ifra disse tegningene, tomtedata, og veinett som prosjektert i Gizmo.

Nabohus og terreng er likt som tidligere i teksten generert via Gizmo i en 300 meters radius. Nabohus er modellert med flate tak og en 8 meters høyde over terrenget ved hushjørnet med høyest verdi langs z-aksen.

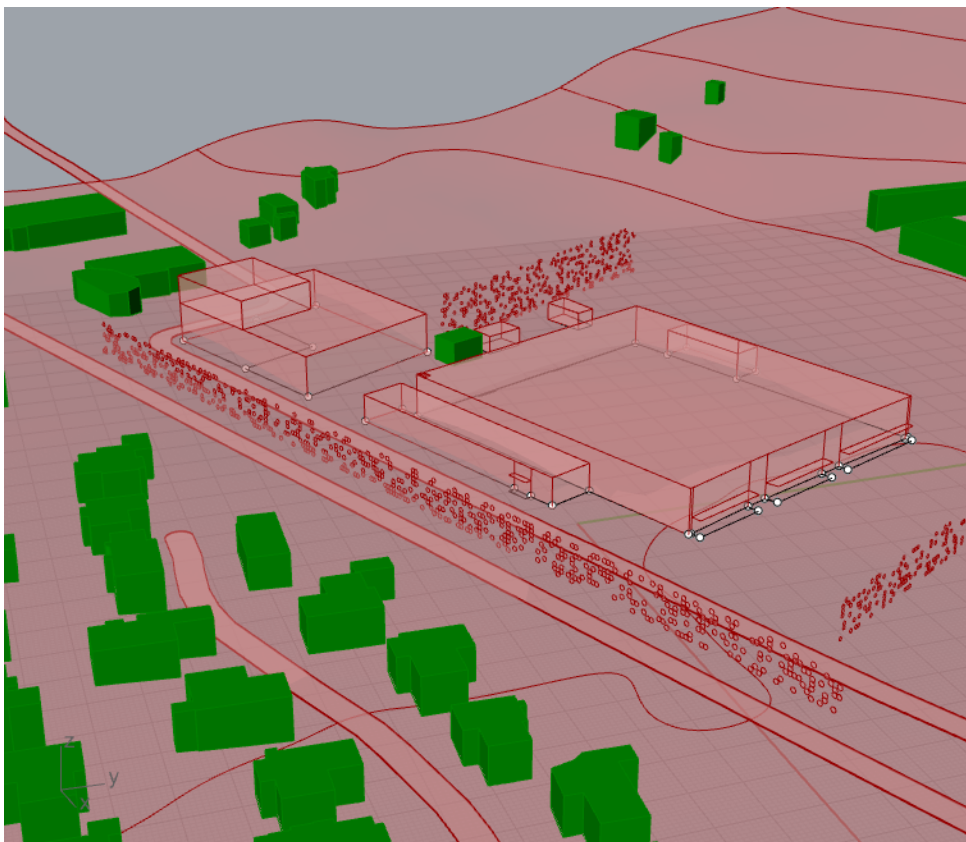
Trær er modellert likt som i BEM.

2 bygg nærliggende fabrikk mangler: en liten garasje og bygget hvor kjelen er. Disse er modellert som 3 meters høye bokser plassert etter øyemål ved hjelp av Google Maps og 2d kurven generert i Gizmo.

Figur 4.43 og 4.44 viser hvordan sluttproduktet ser ut:



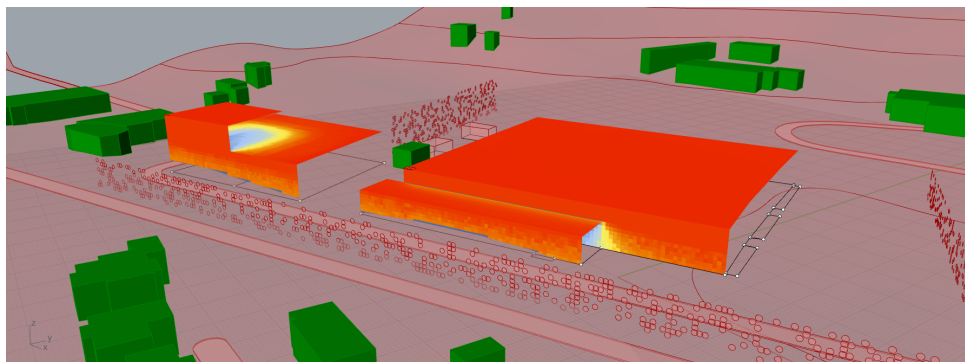
Figur 4.43: Modellen ovenfra



Figur 4.44: Modellen sett fra sør-øst

4.4.3 Brukbare arealer

En visuell sjekk er gjort for å analysere arealer som er egnet til installasjon av solkraft. Figur 4.45 viser visualisert strålingsdata fra simuleringer i GH:



Figur 4.45: Årlig solstråling på fabrikkens og nybyggets takarealer og sørvendte vegger. Bygningsselementer som ikke er vurdert for installering av solkraft er gjemt for enkelhets skyld.

En kan raskt se at brukbare veggarealer på nybygget vil være på cirka 6-7 meter over terrenget, kontorblokkens sørvendte vegger er ikke effektive arealer å bruke med tanke på å installere veggmonterte moduler. Produksjonshall 1 har en brukbar høyde fra cirka 6 meter over bakken på sørvendt vegg.

På nybygget, er taket over tenkt 4. etasje fullt brukbart, mens taket over den tenkte 2. etasjen vil kreve en klaring rundt 3. og 4. etasje på opptil 5 meter fra vegg før modulene er genererer strøm som optimalt. På fabrikk vil takarealet over kontorfløyen være for det meste brukbart, men en kan se en liten reduksjon i potensialet helt inntil hall 1. Dette er mest sannsynlig gjeldende for solstråling fra nord. Taket over produksjonshallene er helt brukbart, mens taket over portene inn til hall 3 er ikke brukbart.

4.4.4 Antagelser og forenklinger

I nybygget er hver etasje antatt å være 4 meter høy. der er ingen eksisterende data eller plan-tegninger på dette, så et håndfast svar på dette vil ikke finnes per nå.

Det er antatt for beregninger på tak at plasseringen av moduler ikke blir påvirket av skygge fra annen omkringliggende geometri. Beregningene tar, på den andre siden, hensyn til at solcellepaneler kan skygge for hverandre.

Under beregninger er Solcellepaneler antatt å ha en effektivitet på 20 %. Det vil si at 20 % av energien av solstrålingen som inntreffer panelet blir omgjort til elektrisk energi. I virkeligheten kan dette variere avhengig av alder og kvalitet på solcellepanelet. Dette som følge av informasjon fra Otovo [63].

For alle moduler blir det antatt at solcellene ikke justerer seg med retningen til sola.

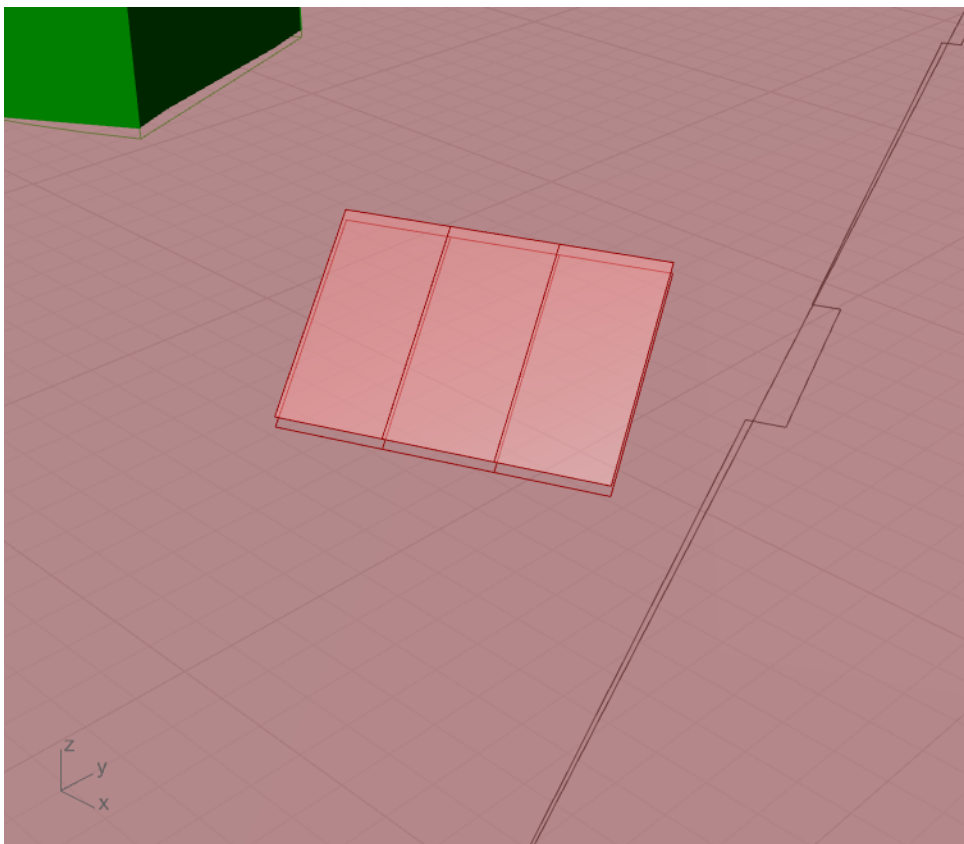
Størrelsen av en PV modul vil antas å være 1x1.7 meter. Dette fordi en har gått ut ifra et spesifikt produkt. Produktinformasjon diskuteres senere i oppgaven.

4.4.5 Optimal helnings- og asimutvinkel

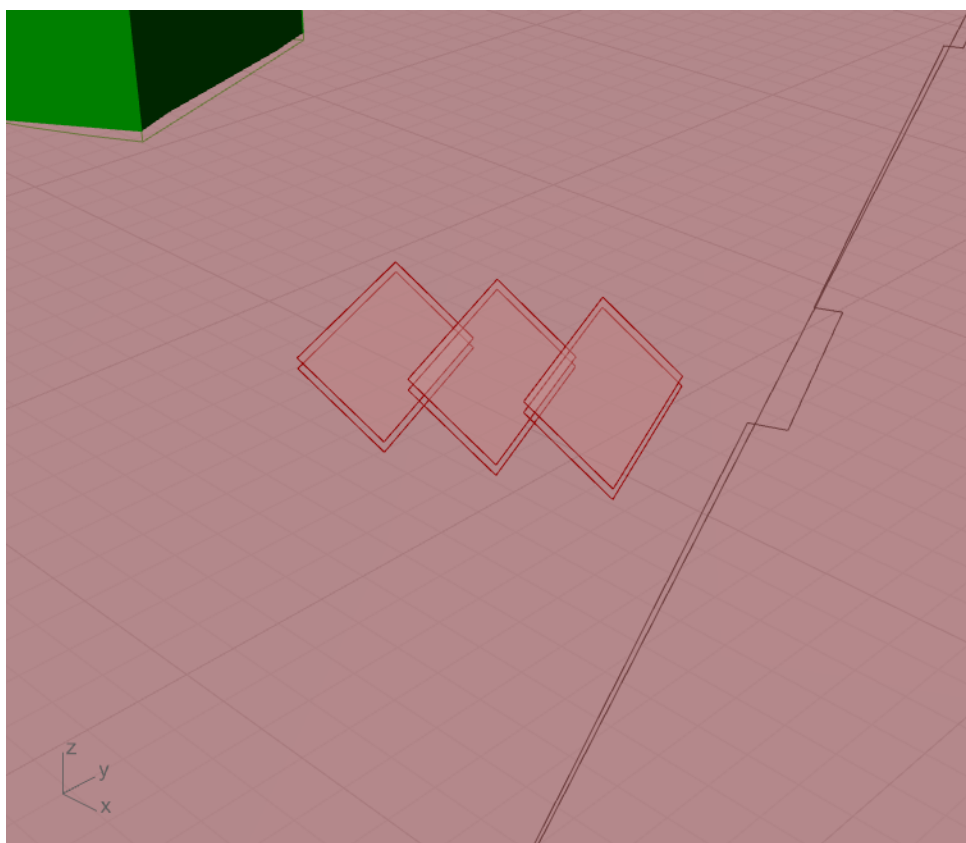
Det er nødvendig å bestemme en orientering for solcellepanelene ettersom at det antas at de er fikserte. Det blir funnet optimal helningsvinkel og asimutvinkel. Begge blir funnet ved å beregne total årlig innstråling per kvm ved varierende asimut eller helning, ved å sette opp grafer blir for disse blir optimal vinkel lest av.

4.4.6 Parametrisk studie av moduler

I GH lages en enkel 2m x 3m modul som skal etterligne et solcellepanel. Figurer 4.46 og 4.47 viser hvordan disse ser ut.

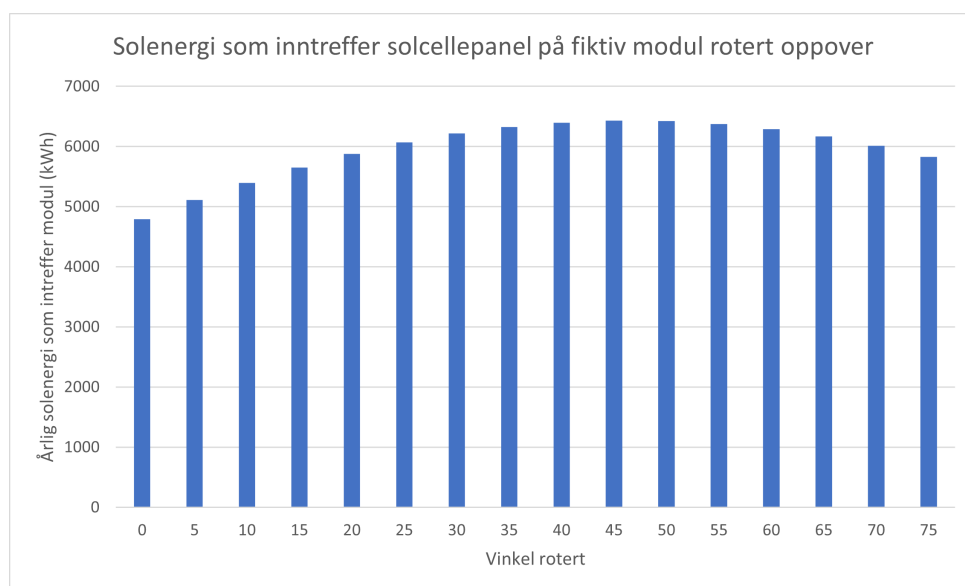


Figur 4.46: Eksempelmodul

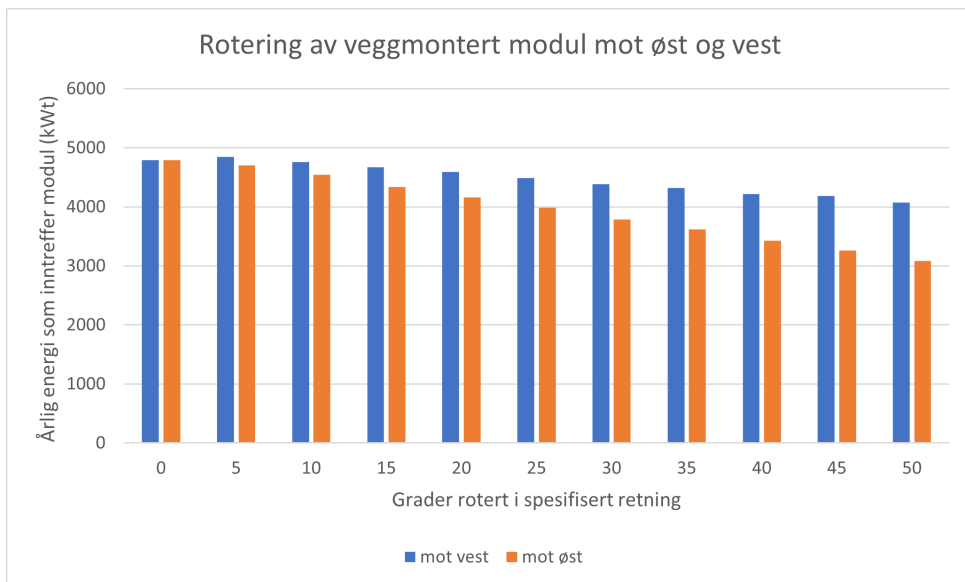


Figur 4.47: Modulen er lagd slik at den kan rotere hver individuelle del.

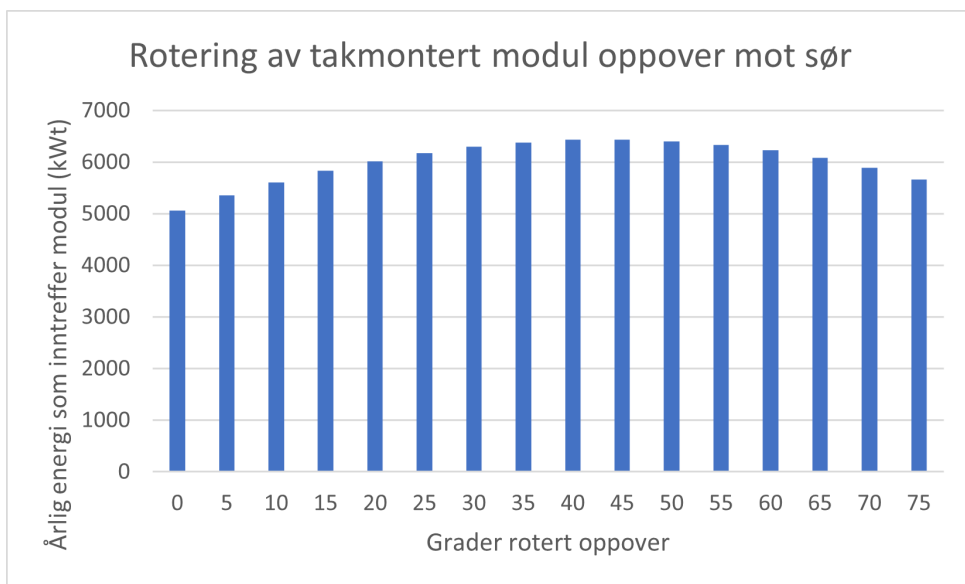
Dette blir da plassert på gunstige areal med tanke på mengden solstråling som inntreffer der. I GH lages et script som roterer modulens flate øst, vest, og 'ut av sitt plan mot solen' med 5-graders intervaller. Resultatene blir nedskrevet av GH og eksportert og grafisk fremstilt i Excel. Figurer 4.48, 4.49, 4.50, og 4.51 viser dataene som omhandler modulenes orientering:



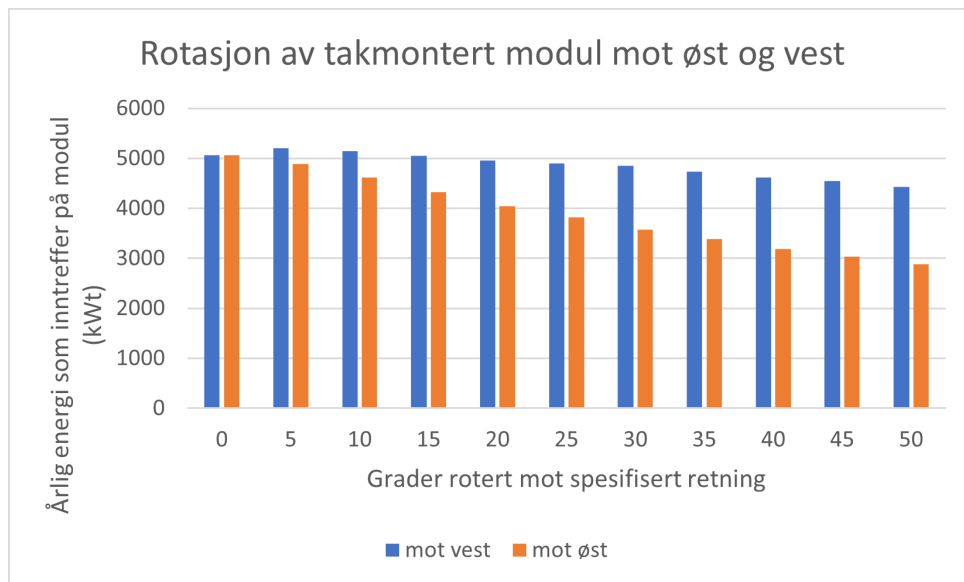
Figur 4.48: Denne modulen er veggmontert



Figur 4.49: Denne modulen er veggmontert



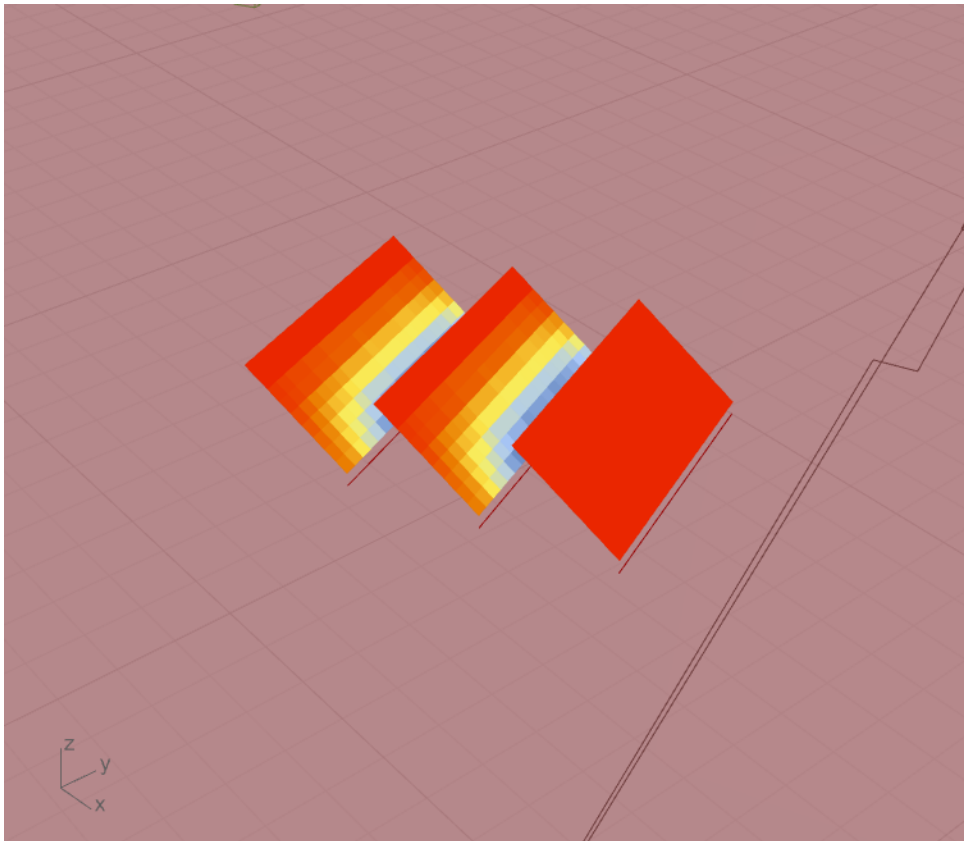
Figur 4.50: Denne modulen er montert på tak



Figur 4.51: Denne modulen er montert på tak

En kan da fastslå at en modul som står med en vinkel omtrent 45 grader fra bakken vil være mest energieffektiv, og at en rotasjon 5 grader mot vest i forhold til retningen av fabrikkens sørvendte vegg vil gi en liten ekstra produksjon. Maksimal mengde solstråling som inntreffer på et panel med areal på 6 kvm vil være rundt 6400 kWh.

På den andre siden gjør enhver rotasjon av et solcellepanel at mindre av arealet som den monteres på er brukbart, som figur 4.52 viser. Dette kommer av at panelene skygger for hverandre.

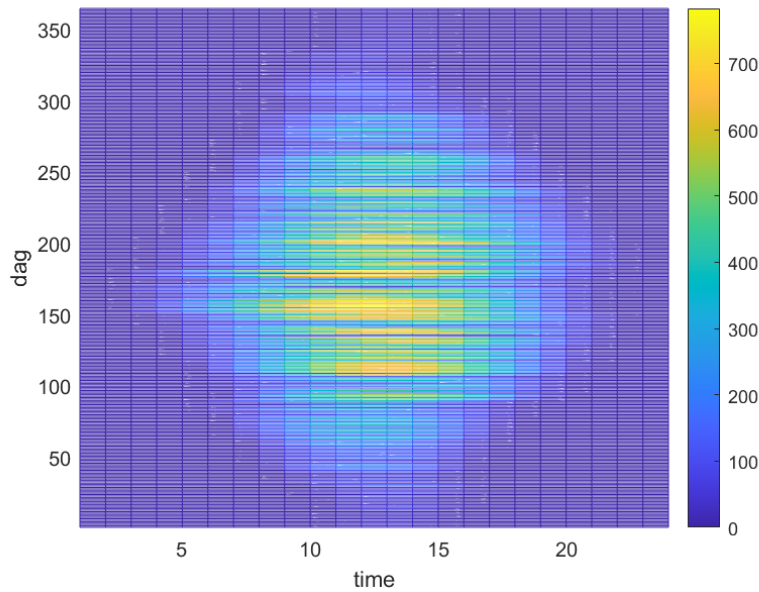


Figur 4.52: Dersom vinklede panel er for nærme hverandre, vil en miste produksjon

4.4.7 Takmonterte moduler

For å vurdere om takmontert solkraft vil være en god løsning for fabrikken, blir det sett på den økonomiske gevinsten av investeringen. Dette er knyttet til hvor mye energi panelene vil produsere og hvor godt strømproduksjonen overlapper med effektkurven til fabrikken gjennom dagen. Det blir også nødvendig å vurdere løsninger for et eventuelt kraftoverskudd, for eksempel i helgene når produksjonsmaskinene er slått av eller om sommeren når tilgjengelig solkraft er høy.

For å beregne hvor stort potensial det er for solkraft på fabrikketaket ble det hentet data over solinnstrålingen som treffer fabrikketaket. Dataen ble hentet fra climate.onebuilding.org [22] og inneholder timegjennomsnittlig DNI, DHI, GHI over flere år. Figur 4.53 viser solinnstrålingsdataen for området fabrikken står på.



Figur 4.53: Gjennomsnittlig global horisontal innstråling (GHI) i området fabrikken står på. Strålingen er gitt i W/kv.m.

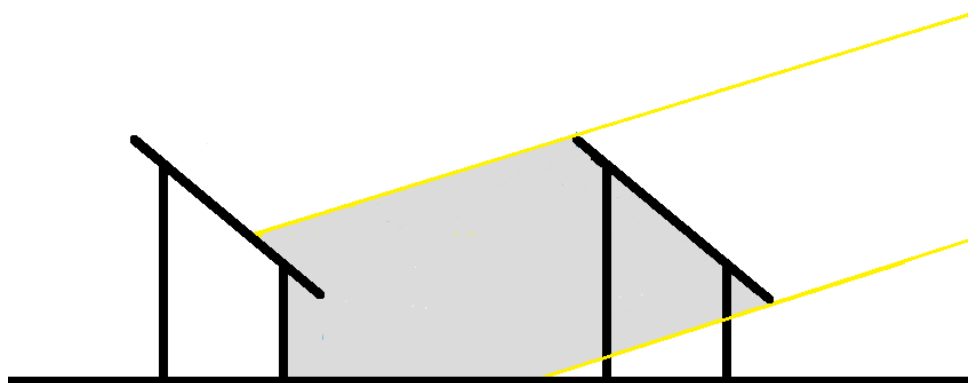
Siden det antas at takmodulene ikke følger solen gjennom dagen må det gjøres justeringer i beregningene for hvor mye solkraft som kan hentes. Det er to vinkler som må velges for solcellen: Asimut- og helningsvinkel, som illustreres i figur 3.6. Optimal solvinkling for en fiksert modul ble funnet ved bruk av GH-modellen som ble laget.

Den diffuse solinnstrålingen antas å være uavhengig av vinkling på solpanelet, så det er kun den direkte solinnstrålingen (DNI) som på korrigeres. Korrigeringsfaktoren vil være avhengig av vinkel mellom solstrålene og panelets areal. Maksimal solinnstråling oppnås når solstrålene treffer normalt på panelet. Vinkelen, θ , mellom normalvektoren og solstrålene vil da være 0° . Når solstrålene er parallelle med panelet blir ingen direkte solinnstråling tatt opp. Korrigeringsfaktoren blir da $\cos \theta$.

Korrigeringsfaktoren $\cos \theta$ ble funnet ved bruk av formel 3.13, hvor asimutvinkelen og helningsvinkel for solen og solcellen ble brukt for å finne korrigeringsfaktoren. Solcellen har konstant retning, men det har ikke solen, så for å finne data over solens posisjon på himmelen over fabrikken ble det hentet data fra 'NASA - Jet Propulsion Laboratory - Horizons System' [40]. Dette ble gjort på nettstedet ved å velge sola som himmellegeme, legge inn koordinatene til fabrikken og hente ut dataen med navn 'Apparent AZ & El'. Denne dataen gir lokal, geosentrisk asimut- og helningsvinkel til sola, time for time over ett år, sett fra fabrikken. Denne dataen ble lastet ned som en '.txt'-fil og konvertert til en excelfil som videre ble importert til MatLab. Når både solposisjon og solcelleretning ble funnet kunne ligning 3.13 brukes for å finne vinkeltapsfaktoren til DNI. På figur 4.56 vises hvordan $\cos \theta$ ble regnet ut i Matlab.

Videre ble formel 3.12 brukt for å finne den totale solinnstrålingen som treffer solcellene med optimal helnings- og asimutvinkel. Resultatene vises i figur 5.11 og 5.12.

Taket har ikke ubegrenset plass, så dette vil også være en begrensende faktor for mye installert solkraft som er gunstig å ha på taket. Et problem med takmonterte solmoduler er at de vil skygge for hverandre når solen er står lavt på himmelen. På figur 4.54, 3.7 og 4.52 illustreres dette.



Figur 4.54: Modulradene beskygger hverandre

Skygge på solcellene vil påvirke hvor mye energi som solcellene vil kunne ta opp. Det blir gjennomført beregninger for å finne ut hvor mye skyggen vil påvirke solkraftproduksjonen. Dette blir funnet ved å finne forholdet mellom årlig solinnstråling per kvm (GI) med hensyn til skyggetap og uten skyggetap, som vist i formel 3.20.

Når helningsvinkelen til sola er spissere enn vinkel β_{max} , som vist på figur 3.7, vil det komme skygge på de solcellene bak fremste rekke. Det antas at alle rekkene av solcellepanel har like mye avstand. Det sees bort i fra asimutvinkelens påvirkning på skyggen, fordi denne vil trolig ha en liten påvirkning på skyggetapet. Beregningene forenkles videre ved å anta at også fremste rad får skyggetap, selv om det ikke vil forekomme i virkeligheten.

Ut i fra disse antagelsene ble formel 3.20 brukt til å finne prosentvis tap av solkraft som funksjon av installert effekt på fabrikketaket. På figur 5.14 vises hvordan skyggetapet øker ved økende mengde installert soleffekt.

For å korrigere GI for skyggetap ble den direkte solinnstrålingen multiplisert med tapsfaktoren μ som beregnes i formel 3.14, som er forholdet mellom det ubeskyggede arealet av solcellene og det totale arealet. Denne formelen ble utledet videre til å bli formel 3.17. Denne formelen gir μ som funksjon av solens helningsvinkel β . μ defineres lik 1 når β er større enn β_{max} som regnes ut ved bruk av formel 3.18. Når β er under 0° settes μ lik 0. På figur 4.55 vises hvordan faktoren ble beregnet i matlab.

```

A_tak = 7000; %m2
kp = 200; %W/m2
Vm = 41.5; %deg

B = A_tak*kp/P_inst; % D/L

beta_max = atand(sind(Vm)/(B-cosd(Vm)));
beta_min = 0;

load("solvinkler.mat") % Data over solens plassering på himmelen (NASA)
load("soldata.mat") % Data over solinnstråling: DNI, DHI (climate.onebuilding.org)

mu = B*sind(Slope./sind(180-Vm-Slope));
mu(Slope>beta_max) = 1;
mu(Slope<beta_min) = 0;

```

Figur 4.55: Matlab script for beregning av skyggefaktoren μ

Etter både vinkeltapet $\cos\theta$ og skyggetapet μ ble funnet, ble disse brukt til å korrigere den direkte solinnstrålingen (DNI). Figur 4.56 viser matlab-koden som beregner vinkeltap og finner den korrigerede solinnstrålingen GI.

```

Solcelle_Azi = -3; %deg      sør = 0, vest = 90, øst = -90
Solcelle_Slope = 41.5; %deg  Horizontal = 0, Opp = 90, Ned = -90

% beregner korreksjonsfaktor for vinkeltap: cos(theta)
cos_theta = sind(Solcelle_Slope)*sind(Slope) + cosd(Solcelle_Slope)*cosd(Slope).*cosd(Solcelle_Azi-Azi);
cos_theta(cos_theta<0) = 0; % Definisjonsområde: 0 < cos(theta) < 1

% Solinnstråling med vinkel- og skyggetap
GI_v = transpose(direkte_sol).*cos_theta.*mu + transpose(diffuse_sol);

```

Figur 4.56: Matlab script for beregning av vinkeltapsfaktor $\cos\theta$. Denne faktoren ble, i lag med μ , brukt for å korrigere DNI for å finne den totale forventede solinnstrålingen (GI).

Etter å ha beregnet den forventede solinnstrålingen ble det gjort beregninger for å finne hvor mye solkraft som kan produseres årlig. Dette ble gjort ved å gange den totale solinnstrålingen som treffer panelet med virkningsgraden, η , til panelet. Denne antas å være 0.2, som tilsvarer installert effekt per kvm, k_p , på 200 Wp/kvm.

Etter å ha funnet solkraften som kan hentes per kvadratmeter per time, E_{PV} , ble driftsprofilen brukt til å finne hvor mye kraft fabrikken kan spare ved en gitt mengde installert solkraft. Beregninger for dette vises i figur 4.57. Ved kjøp av kraft må fabrikken betale for både nettleie, skatt og avgifter. Ved salg av kraft antas det at fabrikken kun får tilbake spottpris. Dermed er det mer lønnsomt å dekke fabrikkens eget behov for kraft enn å selge solkraft. Det vil føre til at det finnes en optimal mengde installert solkraft. Denne kan bli estimert ved plottet en graf for nettonåverdi som funksjon av installert effekt (se figurene 5.15 og 5.16). For å plote en slik graf ble det laget en funksjon i matlab som beregner NNV som funksjon av installert effekt. Denne funksjonen vises i figur 4.57 og 4.58. I seksjon 4.4.9 forklares fremgangsmetoden brukt for beregning av NNV og antagelse av fremtidig kraftpris. Fullstendige matlab-beregninger finnes i vedlegg. Resultatene for optimal mengde installert sol vises i figur 5.15 og 5.16. I tabell 5.7 og

5.8 viser detaljerte resultater for installasjon av gitte mengder solceller.

```
function [NNV_I,t_tilbakebetal,A_PV,e_PV,e_kjopt,e_solgt] = f_solanalyse(P_inst,pris_Wp_PV,strompris_mat,spottpris_m

    load("effektdata.mat"); %Driftsprofilen over 2022 til fabrikken. 8760 datapunkter.

    % Månedskonsum
    e_forbruk_maned = [157032,146114,134157,109864,94852,83567,37200,73155,96636,112186,128233,140696]; %kWh/mnd
    maned = [31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31]; % dager per måned

    % Driftsprofil
    driftsprofil = vek_mat(effektdata(:,1))*1000; % Wh/h

    % Solcelleparametere - TwinPeak 4 - REC Solar
    % Finner arealet av solceller
    TP4_Wp = 365;
    TP4_m2 = 1.755*1.04;
    TP4_e = TP4_Wp/TP4_m2;
    TP4_eta = TP4_e/1000; % standard - STC
    A_PV = P_inst/TP4_e; % Areal solceller

    % Finner ut hvor mye kraft som kjøpes/selges
    % Effektkurve = driftsprofil - solcelle
    P_PV_tak = GI*A_PV*TP4_eta; % Wh produsert/h. 365x24 matrise
    Effektkurve_h = driftsprofil - P_PV_tak; % Wh_forbruk/h
    Effektkurve_pos = Effektkurve_h;
    Effektkurve_neg = Effektkurve_h;
    Effektkurve_pos(Effektkurve_pos<0) = 0;
    Effektkurve_neg(Effektkurve_neg>0) = 0;
    % kjøpt og solgt kraft
    e_kjopt = dag_til_maned(sum(transpose(Effektkurve_pos))); % Wh kjøpt per måned
    e_solgt = dag_til_maned(sum(transpose(Effektkurve_neg))); % Wh solgt per måned
    e_PV = dag_til_maned(sum(transpose(P_PV_tak)));
```

Figur 4.57: Del 1 av hovedfunksjonen for solanalyse. Matlab script for beregning av mengde kraft kjøpt fra eller solgt til kraftnettet.

```

% Økonomi
% Investert
Investering = P_inst*pris_Wp_PV;

% Spart
betal_maned_PV = e_kjopt/1000.*strompris_mat;
betal_maned = e_forbruk_maned.*strompris_mat;
c_sparing_maned = betal_maned-betal_maned_PV;

% Tjent
c_tjent_maned = -e_solgt/1000.*pris_salg;

% Vedlikehold proporsjonal med investering, per måned
c_vedlikehold_maned = -Investering*0.01/levetid/12;

% Finner netto inntekt i månedsoppløsning.
r_m = r/12;
c = c_sparing_maned+c_tjent_maned+c_vedlikehold_maned;
c_N = zeros(ones(1,levetid*12));
for i = 1:levetid
    c_N(1+(i-1)*12:i*12) = c(i,:);
end
I = [-Investering, c_N, -pris_avhending];

% NNV
[NNV_I,t_tilbakebetal] = NNV(I, r_m);

% Tilbakebetalingstid. Fra måneder til år
t_tilbakebetal = t_tilbakebetal/12; %år tilbakebetal
if t_tilbakebetal > levetid
    t_tilbakebetal = "Nei";

```

Figur 4.58: Del 2 av hovedfunksjonen for solanalyse. Matlab script for beregning av besparelser og inntjeninger med en vilkårlig mengde installert sol på fabrikktaget. Videre ble netto nåverdi og tilbakebetalingstid funnet i månedsoppløsning.

4.4.8 Veggmonterte moduler

Følgende beregninger er gjort på veggmonterte moduler: 2 scenarier er sett på: BIPV, og rotering med høyest kostnadseffektivitet. Data er hentet fra EPW-filer behandlet og analysert ved bruk av LB. Det er antatt at 55% av veggareal er brukbart til solcellepaneler, grunnet at der er vinduer montert på vegg. Fremgangsmåtene er vist under:

Dersom en antar at bygget vil få geometri 20x8 meter på sørvendt vegg i 1.-2. etasje, og 10x8 meter i 3-4 etasje, ender en opp med totalt 240 kvm. Som beskrevet tidligere er de nederste 7 metrene av bygget skyggelagt store deler av året. Brukbart areal reduseres da til 100 kvm. Videre kan en anta at omlag 55% av areal er brukbart til solcellepanel, areal reduseres da til omlag 55 kvm. Dette kan igjen reduseres i og med PV er modulbasert. Denne reduksjonen diskuteres per modultype.

For BIPV:

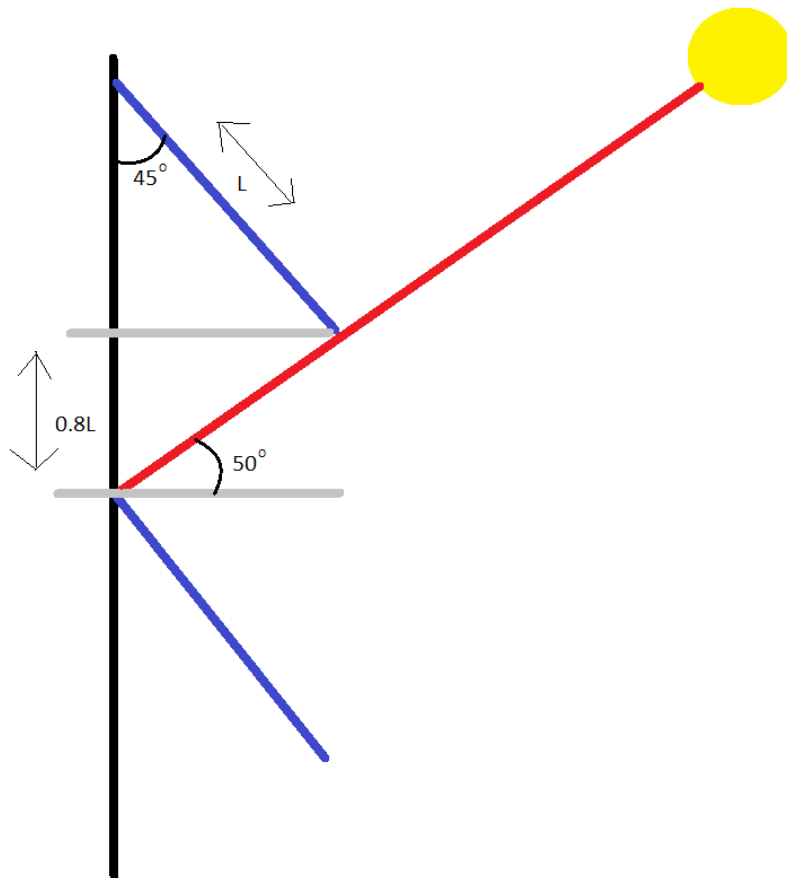
På hver kvadratmeter med panel inntreffer omlag 798 kWh med solenergi. 20% av dette kan konverteres til elektrisk energi. Hver kvm PV vil da produsere omlag 160 kWh energi årlig. Dette vil si at reell total produksjon vil være på omlag 8790 kWh årlig. Fordi PV konstrueres som moduler, vil ikke hele det brukbare arealet nødvendigvis være dekket. Dette kan forekomme av at byggets dimensjoner er av samme størrelser som modulenes dimensjoner. Produksjon kan minke noe som følge av dette.

En vil da ha installert nøyaktig 46 kvm PV på sørvendt vegg på nybygget.

På Fabrikkens sørvendte vegg har en cirka 2 meters klaring fra takkanten på hall 1 til skygge fra trær vil påvirke solstrålingen. Her kan en da installere $1.7 \cdot 88 = 150$ kvm med PV. Dette vil generere $160 \cdot 150 = 24000$ kWh årlig.

For idéell orientering:

Idéell orientering vil være 45 graders rotasjon fra bakken. Solens høyeste vinkel i året ifølge EPW-filen er rundt 50 grader fra bakkenivå. For å unngå at moduler skygger for hverandre, bør en da plassere moduler med vertikalt mellomrom på rundt 0.8 ganger modulens lengde. Er solcellepanelet da for eksempel 1 meter langt og rotert 45 grader, bør en ha 80 cm mellomrom mellom denne og monterte solceller over og under for å unngå at de skygger for hverandre. Brukbart areal vil da reduseres. En kan anta at om der er en rekke med vinduer per etasje, kan en installere en rad over hver etasje. En vil da få to linjer med PV moduler på 9 meters bredde, og en linje med 19 meters bredde. Figur 4.59 viser hvordan moduler kan skygge for hverandre.



Figur 4.59: Enkel illustrasjon av hvordan veggmonterte moduler bør plasseres for å ikke skygge for hverandre mens de er i bruk. På modulene brukt i denne oppgaven, blir minimum avstand mellom toppene av PV-ene $1.5 \times L$, som er 2.55 meter, cirka lik høyde som en normal etasje mellomrom.

På hver kvm PV inntreffer 1070 kWh energi fra solstråling årlig. 20% konverteres til elektrisk energi, altså 214 kWh. Om en antar høyde 1.7 meter på hver PV, og bredde av installasjon som tidligere får en *totaltforbruk* = $214 \cdot 1.7 \cdot 37$ som er omtrent lik 13 480 kWh totalt.

En vil da ha installert 62 kvm PV på sørvendt vegg på nybygget.

Fabrikkens sørvendte vegg er 90 meter bred. Installasjon her måtte som vist i Figur4.45 være en rett linje på toppen av bygget. Her kan en nok installere 88 meter i bredden av praktiske grunner. $214 \text{ kWh} \cdot 1.7 \text{ m} \cdot 88 \text{ m} = 33000$ kWh elektrisk energi årlig over det totale arealet. En har da installert rundt 150 kvm PV.

For å oppsummere veggmonterte moduler:

En vil få 34% mer kostnytte ut av moduler som er rotert 45 grader fra veggen, enn av BIPV.

Videre, er det også verdt å notere at fra et energiperspektiv kan solcellepaneler som er vinklet ut ifra byggets fasade skygge for vinduer, som reduserer behov for nedkjøling i bygget, og minker

mengden energi som brukes på nedkjøling dersom AC er installert. PV installert på denne vinkelen vil da være sparsom på det resterende byggets forbruk. Om vinteren når solen er lavere, vil der også være mindre skygge på byggets fasade, som vil si at en større mengde sollys treffer fasaden, og en kan spare seg en ørliten mengde energi til oppvarming.

Kostnad av installert PV er funnet ved følgende formel:

$$\text{Investeringskostnad} = P_{inst} \cdot 10kr/Wp \quad (4.9)$$

P_{inst} er installert effekt.

4.4.9 NNV-beregninger

For å beregne NNV for solceller må alle besparelser/inntjeninger og bekostninger estimeres. Besparelser og inntjeninger blir funnet ved å finne ut hvor mye solkraft dekker kraftbehovet til fabrikken og finne hvor mye fabrikken sparer på å ikke kjøpe denne strømmen. I tillegg, må overskuddsstrømmen selges for spotpris, noe som spiller inn på inntjeningen til fabrikken. Kostnader deles inn i to komponenter investering og vedlikehold. Avhendingskostnader blir sett bort ifra.

For å regne ut besparelser og inntjeninger blir det valgt en installert effekt som skal installeres på fabrikken. Ut ifra dette blir den forventede solkraftproduksjonen regnet ut for hver av de 8760 timene gjennom året. Solkraftproduksjonen ble trukket fra kraftforbruket til fabrikken for hver time av året for å finne ut hvor mye kraft fabrikken må kjøpe eller avgi til nettet. Når fabrikken har positivt forbruk, kjøper fabrikken kraft. De positive datapunktene ble ganget med prisen for kjøp av strøm. Når forbruket er negativt selges det strøm til nettet. Dette ble ganget med salgsprisen for strøm, som består kun av spotprisen til strømmen.

For å bestemme strømpriser ble det hentet data fra Fjordkraft - Historiske strømpriser for midt-Norge [37]. Dette viser kun til spotprisen for strømmen. Gjennomsnittlig månedspris fra 2017-2022 uten 2020 ble brukt som utgangspunkt for den fremtidige, månedsgjennomsnittlige spotprisen. Grunnen til at år 2020 ikke blir med er at det antas å være et unntaksår på grunn av koronapandemien, som førte til unormalt lave strømpriser [68]. Det antas at strømprisene øker i årene fremover, så det må estimeres en strømvækst. I en annen lønnsomhetsanalyse gjort på solceller ble det antatt en prisvekst på 3.5 % årlig [65]. I denne analysen antas 3 % årlig kraftprisvekst for å få sikrere estimat.

I tillegg til kraftpris er det nødvendig å inkludere en nettleie. Nettleie estimeres ved å dele antall kWh fabrikken brukte per måned i 2022 på hvor mye fabrikken betalte i nettleie per måned i 2022. Dette gir gjennomsnittlig nettleie for hver måned. Denne legges til i strømprisen i tillegg til de faste avgiftene: Enova-avgift og forbrukeravgift. Deretter ble hele summen ganget med MVA for å få kjøpsprisen til kraften. Den totale prisen ble regnet ut ved bruk av formel 3.7.

Investeringskostnaden blir estimert som produktet av to faktorer: pris per watt installert effekt

(kr/Wp) og installert effekt (Wp). Prisen for solceller inkludert installasjon for større solkraft-anlegg (> 100 kWp) var i 2017 10 kr/Wp [36]. Siden dette er over 5 år siden antas det at 10 kr/Wp er et rimelig estimat for installasjonskostnader.

Det kreves lite vedlikehold for solceller, så det antas at den totale vedlikeholdskostnaden hele solanlegget trenger gjennom operasjonstiden er 1 % av investeringskostnad [52]. Denne kostnaden fordeles jevnt over levetiden til solcellene.

Ved beregning av netto nåverdi blir formel 3.6 brukt. Det antas en kalkulasjonsrente på 5 %, og en levetid på 30 år. NNV blir dermed beregnet i Matlab som vist i figur 4.60

```
function [NNV,t_tilbakebetal] = NNV(I, r)
% I er en liste med netto inntekt for hvert år hvor første element er
% investeringsåret (år 0). r er kalkulasjonsrenten
N = length(I)-1; % Investerings levetid
n = 0:N;

NNV_v = I./(1+r).^n; % Beregner årlig NNV
NNV_i = zeros(1,length(NNV_v));
for i = 1:length(NNV_i) % Beregner kumulativ NNV for år i
    NNV_i(i) = sum(NNV_v(1:i));
end
t_tilbakebetal = length(NNV_i(NNV_i<0)); % Finner året hvor kumulativ NNV blir positiv.
NNV = sum(NNV_v); % Total NNV for investeringen
end
```

Figur 4.60: Matlab script for beregning av NNV og tilbakebetalingstid

5 Resultater

I denne seksjonen presenteres alle resultater som ble funnet gjennom den metoden som ble brukt og det teoretiske grunnlaget som ble gått ut ifra.

5.1 Tall fra BEM

Gitt de tidligere nevnte modifikasjonene, produserer BEM'en nye energiprofiler som vil gi et idéelt teoretisk sparingspotensiale. Del 5.1 har som formål å vise det teoretiske resultatet, og kostnytten opp imot dette. I del 6 diskuteres det om det réelle sparingspotensialet vil være av samme størrelse i praksis. Tabeller i kapittel 6 viser månedlig data.

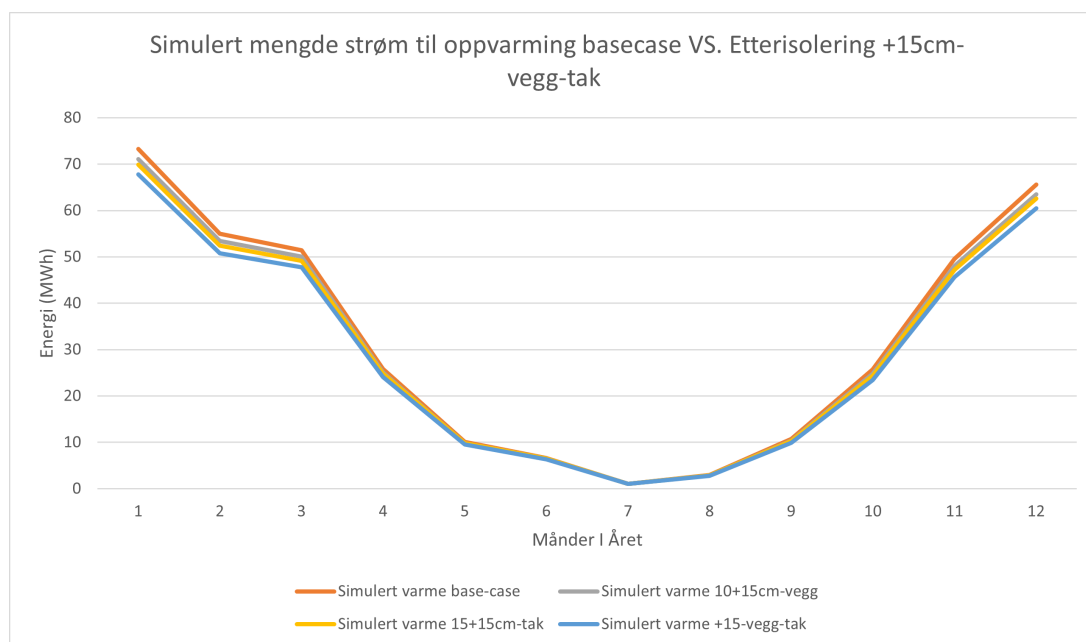
5.1.1 Etterisolering

Den første endringen var etterisolering av modellen. Tak, vegg, og begge deler ble etterisolert med 10+15 cm vegg og 15+15 cm tak isolasjon i 3 ulike simuleringer. Overflatene som ble etterisolert var dem som tilhører byggmasse som er konstruert på 1980-tallet. Deler av bygget konstruert i 2019 er ikke endret på. Dataen er presentert grafisk i figur 5.1 og 5.2:

Dataen er presentert i Tabell 5.1:

Tabell 5.1: Tabellen viser strømforbruk av base case sammenlignet med modifiserte BEM hvor der er etterisolert. Denne dataen tar hensyn kun til redusert varmetap via transmisjon. Verdier oppgitt i MWh.

Basecase	73,29	54,95	51,39	25,82	10,1	6,63	1,06	2,96	10,75	25,73	49,61	65,56
Etterisolert tak	69,91	52,42	49,17	24,82	9,83	6,49	1,04	2,9	10,26	24,31	47,22	62,57
Etterisolert vegg	71,07	53,38	50,04	25,06	9,82	6,51	1,02	2,86	10,39	24,8	48,03	63,44
Etterisolert begge	67,78	50,78	47,77	24,09	9,56	6,38	1	2,8	9,92	23,41	45,62	60,45



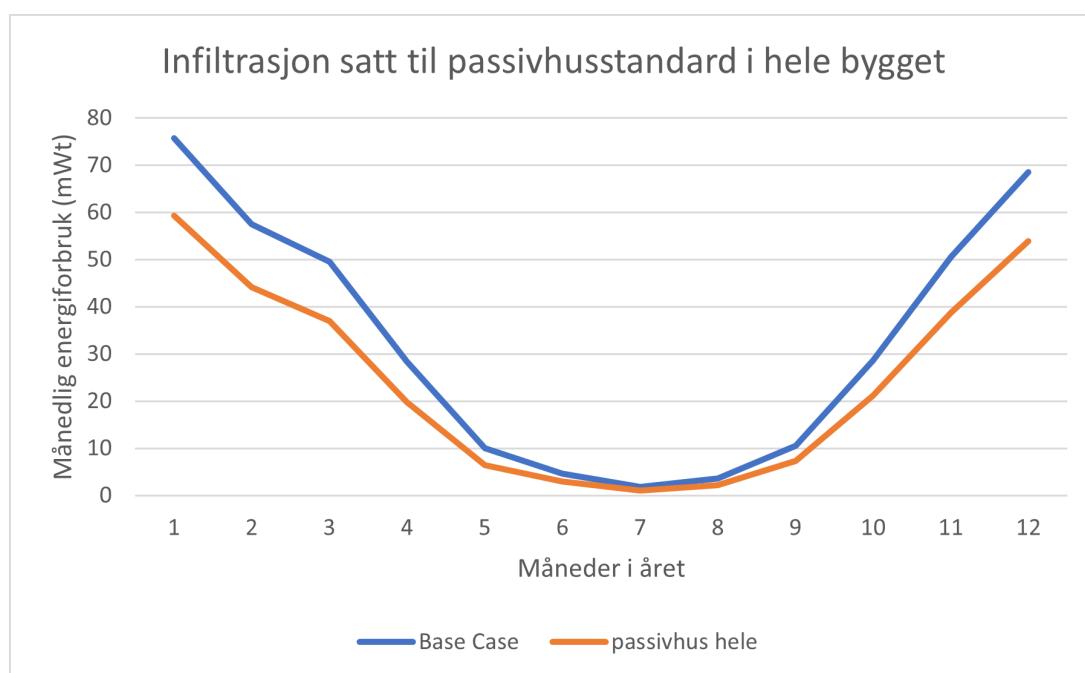
Figur 5.1: Simulert energi til oppvarming av bygg sammenlignet med simulert av bygg med +15cm-vegg-tak

Årlig kan en spare 17 MWh om en kun isolerer takarealet. Etterisolering av kun vegger vil spare omtrent 11 MWh. Om en etterisolere begge, sparer en omtrent 28 MWh årlig. Dette er det som blir spart av transmisjon igjennom veggen.

Å etterisolere både tak og vegg vil og redusere infiltrasjon igjennom vegg. Figur 5.2 viser strøm bespart fra det reduserte infiltrasjonsbidraget som dette vil ha. Tabell 5.2 viser dataen i tabell-format.

Tabell 5.2: Tabellen viser strømforbruk av base case sammenlignet med om hele bygget har infiltrasjon som et passivhus. Verdier oppgitt i MWh.

Basecase	73,29	54,95	51,39	25,82	10,1	6,63	1,06	2,96	10,75	25,73	49,61	65,56
Infiltrasjon på passivhusnivå	59,36	44,20	36,91	19,76	6,38	2,91	1,05	2,22	7,34	21,20	38,77	53,87



Figur 5.2: Energibehovet av Base Caset er sammenlignet med energibehovet av en modell hvor hele bygget er antatt å være like tett som et passivhus. Verdier oppgitt i MWh.

Disse to energibesparelsene vil virke sammen og gi et totalt teoretisk potensiale en vil kunne spare. Hvor figur 5.1 beskriver energitap til transmisjon som spares, beskriver figur 5.2 energitap til infiltrasjon som spares. Totalt forbruk til varme etter å ha redusert infiltrasjonsrate til det av passivhus er 294 MWh, altså 84 MWh mindre energiforbruk årlig enn base-case.

Totalt vil etterisolering av bygget da spare $84 + 28MWh = 112MWh$ årlig. (29,6% av årlig forbruk)

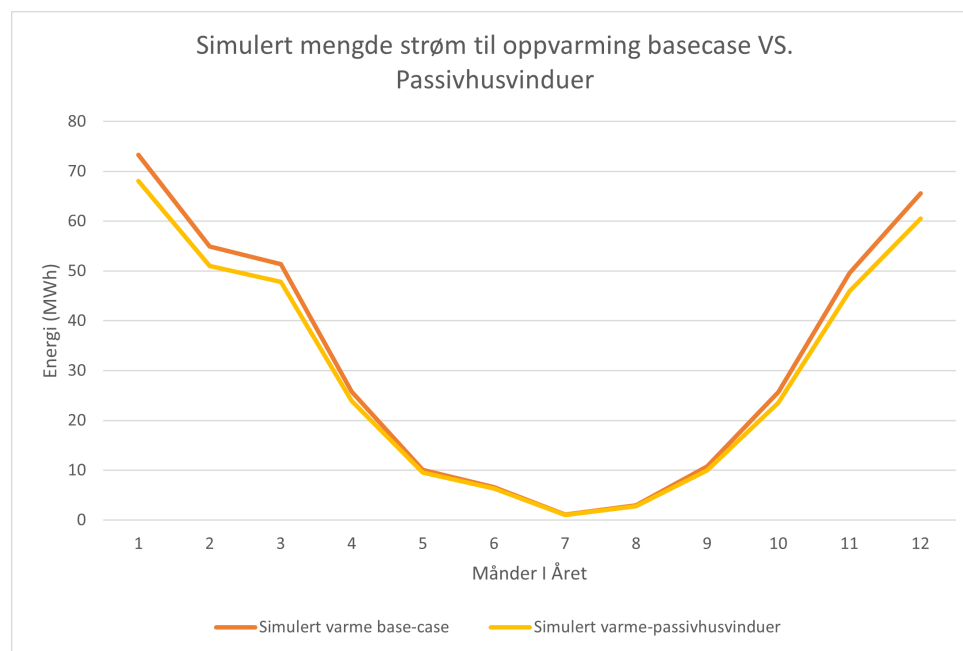
5.1.2 Passivhusvindu

Den andre modifikasjonen som ble gjort av base caset, var å erstatte alle vindusflater på bygningsdeler bygd i 1985 med passivhusvinduer. Det vil si en reduksjon i U-verdi fra 2 til 0.8

W/kvm/K. Vinduer installert under konstruksjon i 2019 er ikke endret. Dataen er presentert i tabell 5.3:

Tabell 5.3: Tabellen viser strømforbruk av base case sammenlignet med bytte til passivhusvindu. Verdier oppgit i MWh.

Basecase	73,29	54,95	51,39	25,82	10,1	6,63	1,06	2,96	10,75	25,73	49,61	65,56
Passivhusvindu	68,0	51,0	47,76	23,91	9,5	6,37	0,99	2,82	9,98	23,58	45,96	60,53



Figur 5.3: Simulert energi til oppvarming av bygg sammenlignet med simulert av bygg med Passivhusvinduer

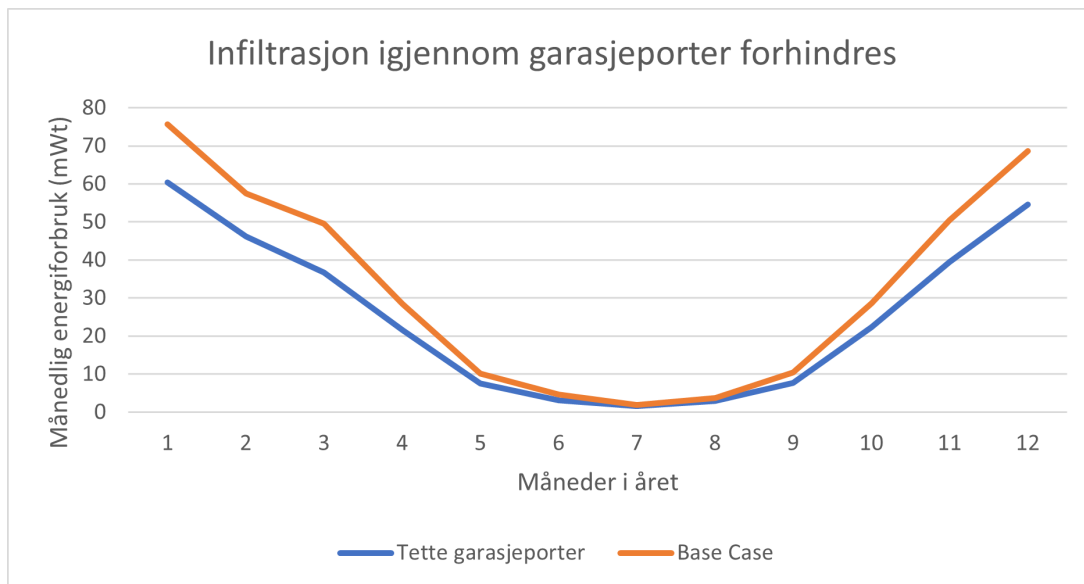
Installering av passivhusvindu vil gi en årlig reduksjon av 27 kWh, eller 5% av det årlige energiforbruket til oppvarming. Dette kan øke dersom vinduene installeres tett, og da forhindrer infiltrasjon.

5.1.3 Forhindring av infiltrasjon igjennom porter

Infiltrasjon er eliminert fra garasjeporter. Dette gir et teoretisk sparepotensiale om portene er tettet helt. Figur 5.4 og tabell 5.4 beskriver sparepotensialet her:

Tabell 5.4: Tabellen viser strømforbruk av base case sammenlignet med et scenario hvor garasjeporter holdes lukket konstant. Verdier oppgitt i MWh.

Basecase	73,29	54,95	51,39	25,82	10,1	6,63	1,06	2,96	10,75	25,73	49,61	65,56
Infiltrasjon forhindret i port	60,42	46,14	36,72	21,64	7,55	3,12	1,54	2,90	7,66	22,41	39,41	54,57



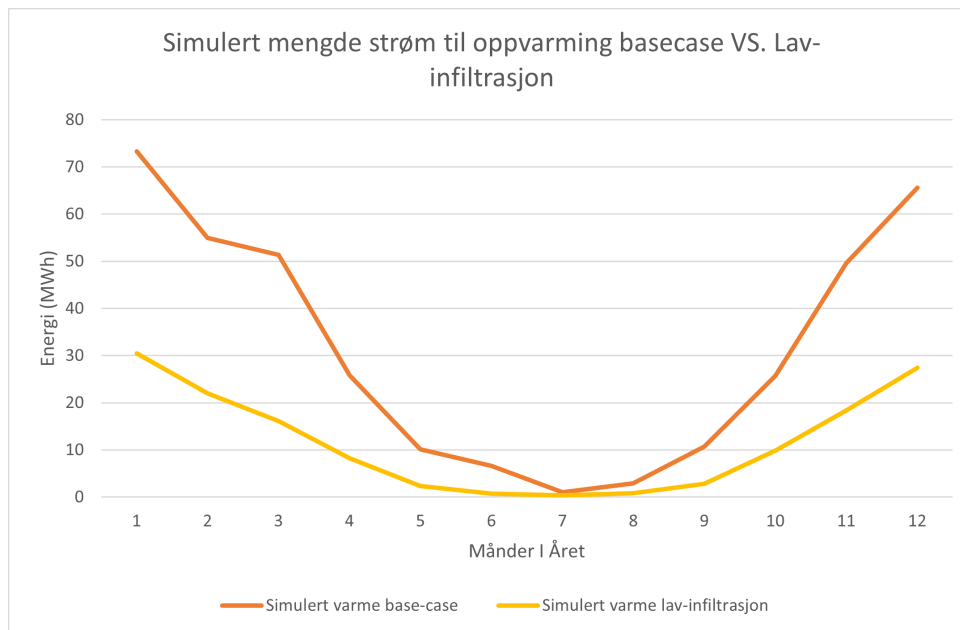
Figur 5.4: Forbruk av Base Caset sammenlignet med om garasjeportene er helt tette.

Forbruket her er simulert til å være rundt 304 MWh, og gir altså en teoretisk besparelse på 74 MWh årlig (19,6 % av årlig forbruk).

Til sist, er all infiltrasjon satt lik 0. Figur 5.5 og tabell 5.5 forteller at cirka 50 % av varmeenergi som trengs i bygget tapes på infiltrasjon.

Tabell 5.5: Tabellen viser strømforbruk av basecase sammenlignet med BEM hvor infiltrasjon i hele bygget er satt lik 0. Verdier oppgitt i MWh.

Basecase	73,29	54,95	51,39	25,82	10,1	6,63	1,06	2,96	10,75	25,73	49,61	65,56
Lav infiltrasjon	30,51	21,99	16,16	8,22	2,31	0,69	0,39	0,83	2,8	9,83	18,39	27,46



Figur 5.5: Simulert energi til oppvarming av bygg sammenlignet med simulert av bygg med null infiltrasjon. Det teoretisk mulige å spare på tetningsarbeid generelt på bygget.

Her ligger det simulerte årlige forbruket på 140 MWh. Dette vil kunne teoretisk spare opp til 238 MWh energi Årlig (62,3 % av årlig forbruk). Dette er ikke mulig å oppnå reelt, men det viser at andre tiltak for å forhindre infiltrasjon utover etterisolering og tetting av garasjeporter kan da også være aktuelle.

5.2 Kostnad av foreslåtte løsninger til BEM

Denne delen diskuterer løsninger som beskriver modifikasjonene som er gjort i BEM.

5.2.1 Etterisolering

Både ytterveggene og taket etterisoleres, og ny vindspærre og dampspærre monteres. Kostnader for dette beregnes per kvm av fasaden. Isolasjonsmaterialer (f. eks. glasull) koster 75kr per kvm. I tillegg til dette koster vind- og dampspærre omtrent 40 kr per kvm tilsammen. Med montering og transport, kommer kostnader per kvadratmeter på opptil 700 kr. Veggene og taket har et samlet areal på rundt 7000 kvm, og en får en total investeringskostnad på 4.9 millioner NOK. NNV for etterisolering av bygget er -1800000 NOK. Dette har en nedbetalingstid som lengre enn levetiden til løsningen; et økonomisk tapsprosjekt men samtidig en meget energibesparende løsning. (Det er mulig å spare opptil 112 megawatt-timer årlig.)

5.2.2 Passivhusvindu

Spilka har en del vindue areal både på fabrikk og administrasjon delen, det kan forvente en del kostnader for bytting av dem. H-vindu med 3 lag glass har en produkt pris på omtrent 3600 kr og fastkarm vinduer på 2600 kr, dette kan variere med størrelse og kvalitet. En variasjon for bytting av vinduer inkludert montering vil være mellom 5000-10000 mellom minste pris og snittpris, disse vil variere mellom H-vinduer og fastkarm. Bygget har 94 H-vinduer og 195 vinduer

med fastkarm totalt vil utgjøre 289 vinduer, total kostnader vil variere mellom 1.45 og 2.89 Mkr. NNV til investeringen i dette tiltaket vil være -1.1 Mkr på den billigste kostnader og -2.6 Mkr på den gjennomsnittlige prisen, dette er ugunstig nedbetalingstid i forhold til investeringen og levetiden til produktene.

5.2.3 Buffer-zone

Kostnader av buffer-zone varierer med arealet til portene, fabrikken har 6 garasjeporter med cirka 5 m bredde og 4 lastramper med cirka 2 m bredde dette påvirker kostnadene for porten da en port på 5m bredde koster 22700 kr, mens en port på 2.0-2.6 m koster 13200 kr [34]. Geometri størrelse for vegger av buffer-zone rommet er fast, mens taket varierer med bredde størrelse på portene. kostnader for isolerte vegg og tak per kvm er 1792kr veggene utgjør 15 kvm og taket varierer mellom 5 kvm og 12.5 kvm mellom garasjeporter og lastramper [42]. tillegg kostnader er portåpner på 3290 kr og bevegelsesensor på 699 kr, Disse er kun produkt priser inkludere ikke frakt eller montering [54]. Total investering for tiltaket ligger på 680000 kr for 6 garasjeporter og 5 lastramper. NNV vil ligge på 770000 kr med nedbetalingstid på 12-13 år.

5.2.4 luftbarrierer

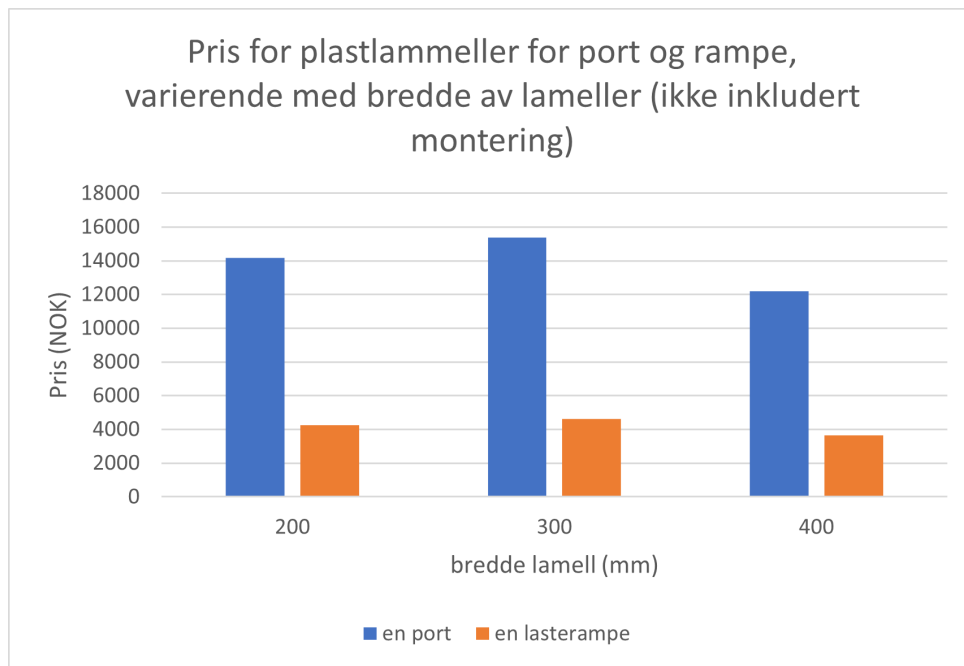
Om en investerer i produktene henvist til i delkapittel 4.1.10, vil kostnad for kjøp av produkter til porter variere mellom 12000 - 108000 EUR. For lastrampene kan kostnad variere mellom 10 000 - 90 000 EUR, basert på hvilket produkt som kjøpes. Totalt vil kostnader av kjøp variere mellom 22000 - 198000 euro. Ved å konvertere til norske kroner (hvor dagens valutakurs er 11.8 NOK i en EUR) kan en se at kjøpsprisen for produkter vil trolig variere mellom 0.24 - 2.12 Mkr. Dette inkluderer ikke frakt og montasje som vil komme som et tillegg på 43000. Variasjonen er såpass stor begrunnet med store prisforskjeller mellom produkter som kan egnes for installasjon i fabrikken.

NNV for kjøp av luftgardiner varierer mellom -1091000 og 985000 NOK dersom en antar en teoretisk besparelse på 75 MWh årlig. Tilbakebetalingstiden kan ved billigste investering være så lavt som 4 år. Her antas en levetid av 25 år for luftgardiner. Levetiden kommer av et estimat, da leverandørene som ble sett på i denne oppgaven ikke oppgir en levetid, men heller 1-6 års garanti. En kan se at hvorvidt dette er lønnsomt avhenger i meget stor grad av hvor dyr modell en investerer i.

En bør unngå å bruke mer enn 1.29 millioner NOK på luftbarrierer, da vil økonomisk profitt nulle ut på slutten av luftbarrierens levetid, antatt at alle kan overleve så lenge som 25 år.

5.2.5 Plastlameller

Prisen på forskjellige bredder visualiseres i figur 5.6:



Figur 5.6: Grafen viser priser på forskjellige bygningsdeler varierende med bredde av lameller

400 mm synes å være både mest energibesparende og kostnadseffektivt. Der er 6 porter, og 5 lasteramper. Dersom en monterer plastlameller på alle porter og lasteramper, vil kostnad for kjøp totalt trolig ligge på mellom 91000 - 115000 NOK, ut ifra pris per åpning, som figur 5.6 viser. Om kun lasterampene behandles på denne måten, vil dette trolig koste mellom 18000 og 23000 kr. For garasjeportene vil kostnaden ligge på mellom 73000 og 92000 kr. Merk at dette er kostnaden for kjøp av produkter, og at frakt og montering legger til rundt 6600 NOK utover dette beløpet.

NNV for kjøp av plastlameller ligger mellom 1.85 og 1.84 millioner NOK dersom en antar en teoretisk besparelse på 75 MWh årlig. Her antas en levetid på 50 år for plastlameller, på lik linje med et standard konstruksjonsprodukt. Dette kan trygt ansees som en lønnsom investering gitt dets levetid. Dersom skade skulle oppstå ved hyppig og tung bruk, ser det fremdeles ut til å være lønnsomt på tross av eventuell reparasjon.

5.2.6 Tetting rundt porter

Gummistriper er en løsning for forhindring av infiltrasjon, kostnader varierer på kvaliteten. Vinyl gummi stripper egner seg for beste tetting mot infiltrasjon og den har produkt pris på 100 kr per m. Strippene er realvant lett å montere, da det kan monteres selv. En total investering for løsningen er 4200 kr, 3800 kr for materiale kostnader og 400 kr transport.

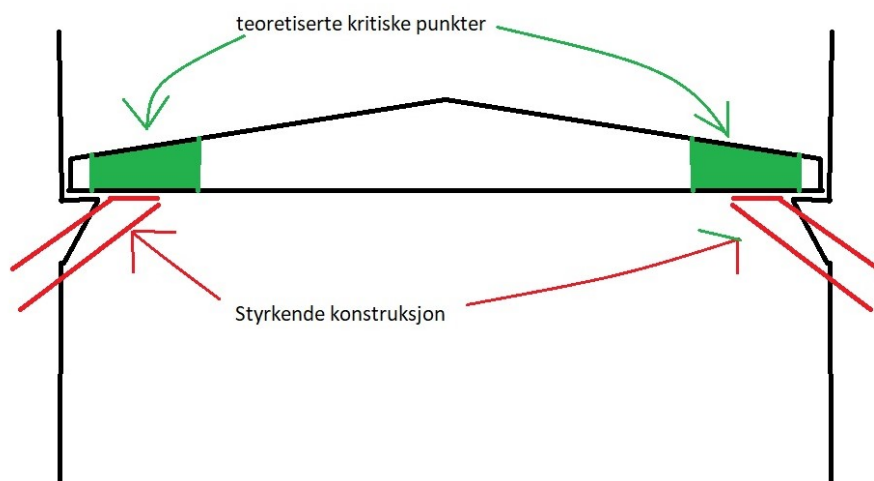
5.3 Dimensjonering av bjelke

Denne delen presenterer resultater som følger av det underdimensjonerte bjelkelaget.

5.3.1 strukturell analyse og praktiske løsninger

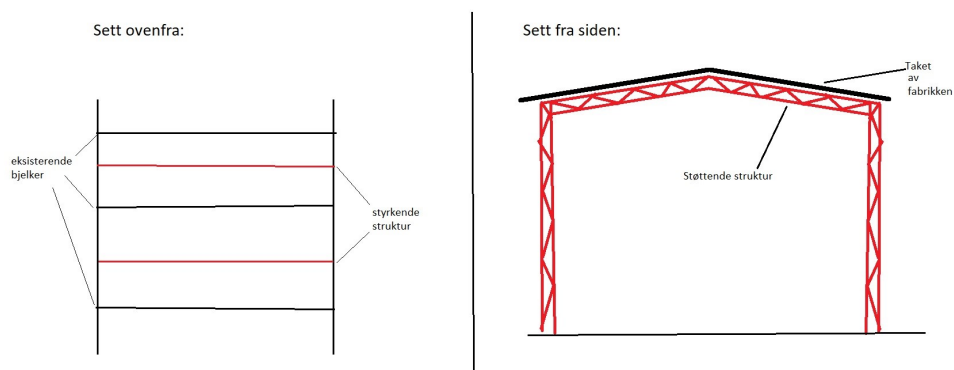
Det er tidligere diskutert at grunnlag for strukturell analysering av bjelkelaget mangler, og at ingen beregninger vil gjennomgås i denne oppgaven. Gruppen tok seg tid, på den andre siden, til å foreslå potensielle løsninger som kan styrke den eksisterende konstruksjonen.

Den første løsningen som ble teoretisert var en forsterkning av kantene av bjelkene. Teorien var at det er mulig at siden bjelkene er tynnere her, er dette det svake punktet i bjelkelaget. Figur 5.7 under illustrerer dette:



Figur 5.7: Styrking av kritiske punkter i bjelkelaget.

En annen løsning som ble diskutert var installasjon av stålkonstruksjoner mellom de eksisterende bjelkene for å lette på lasten som hver enkelt bjelke må bære. Forslaget illustreres under i figur 5.8:



Figur 5.8: Støttende stålkonstruksjoner.

Det er teoretisert at installasjon av støttende konstruksjon som vist i figur 5.8 vil kunne bidra

til å avlaste bjelkene som allerede eksisterer.

5.3.2 Tap som følge av underdimensjonert bjelkelag

Tap som følge av bjelkelaget gir Spilka et grunnlag for å diskutere Det er funnet at Spilka taper rundt 125 MWh av potensiell solproduksjon, rundt 44 arbeidstimer, og 15000 NOK årlig i lønninger og strømforbruk som følge av underdimensjonert bjelkelag i hall 1.

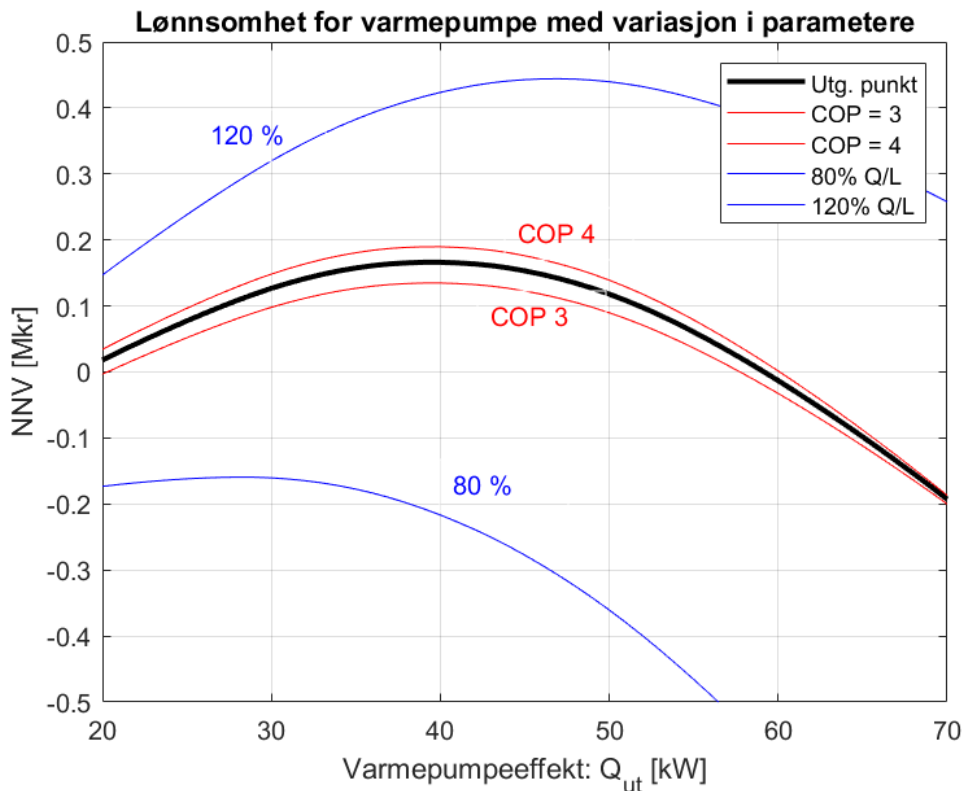
Om det er i Spilkas interesse å fikse taket, er dette et estimat som kan gi grunnlag for å igangsette et slikt prosjekt utover konstruksjonssikkerheten. Som nevnt er det mulig å kunne beskrive bjelkenes materialegenskaper ved bruk av ultralyd og UVP-tester. Potensielt er dette en mulighet til å samarbeide med universiteter neste år.

5.4 Varmepumpe

I lønnsomhetsanalysen for varmpumpeinstallasjonen ble følgende parametere brukt:

- Brønndybde: 200 m
- Løsmassedybde: 5 m
- Avstand mellom brønner: 15 m
- Spesifikk varmeeffekt for løsmasse: 20 W/m
- Spesifikk varmeeffekt for brønn: 28 W/m
- Pris for boring i løsmasse: 600 kr/m
- Pris for boring i fjell: 200 kr/m
- Pris for kollektorslange: 650 kr/m
- Andre investeringskostnader: 300 000 kr
- Vedlikehold: 2.5 % av total investeringskostnad.
- Varmefaktor: COP = 3.5
- kalkulasjonsrente: $r = 5\%$
- levetid: $N = 20$ år
- Kraftprisvekst: 3 %

Parameterene over regnes som et utgangspunkt. På figur 5.9 vises resultatene fra disse parametrene. Figuren viser også hvordan resultatet endrer seg ved å endre på COP-faktor og spesifikk varmeeffekt for energibrønn (Q/L).



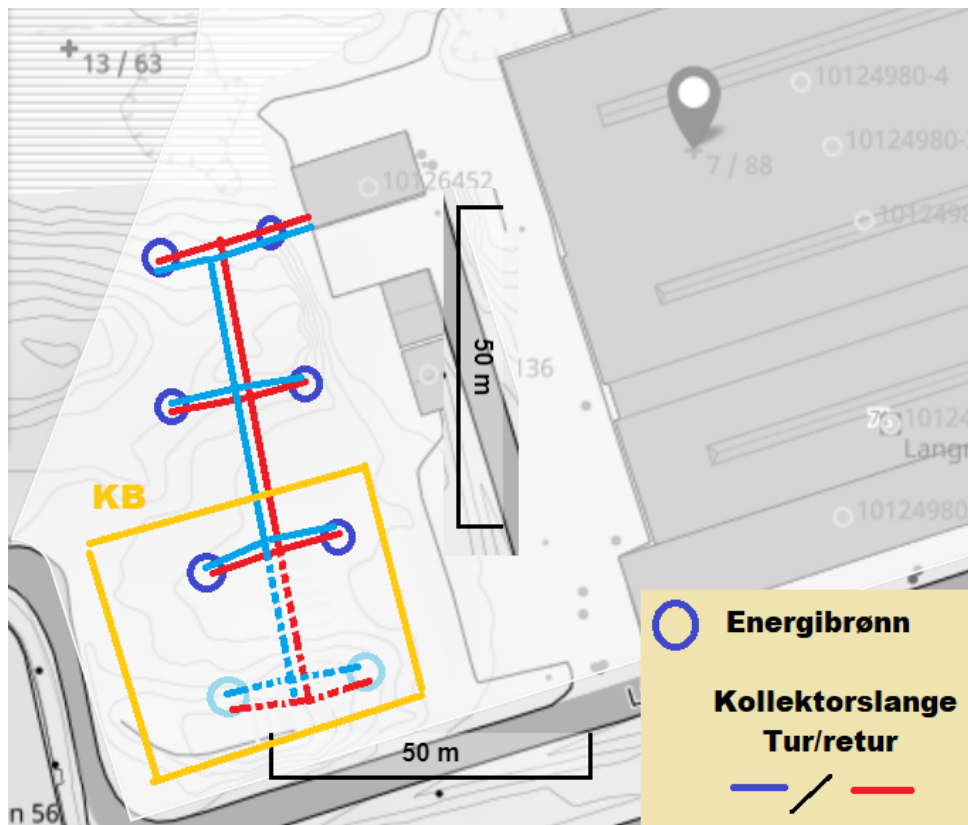
Figur 5.9: NNV for installasjon av bergvarmepumpe. Røde kurver viser endring i COP (± 0.5). Blå kurver viser endring i spesifikk varmeeffekt for energibrønn (Q/L) ($\pm 20\%$)

I figur 5.9 vises det at gunstig varmepumpekapasitet er på rundt 40 kW. Tabell 5.6 viser detaljerte resultater for varmepumpekapasitet på 40 kW varme levert.

Tabell 5.6: Resultater for varmepumpe med varmekapasitet på 40 kW med 28 W/m brønner

Varmepumpekapasitet [kW]	40
Dekningsgrad (%)	58
Brønner (stk)	5
Årlig kraft spart (MWh)	166
Investering (Mkr)	1.86
NNV (Mkr)	0.16
NNV uten investering (Mkr)	2.02
Tilbakebetalingstid (år)	18
Internrente [%]	5.9

Varmepumpen vil kreve minst 5 energibrønner. På figur 5.10 vises det hvordan disse brønnene plasseres i forhold til hverandre på eiendommen.



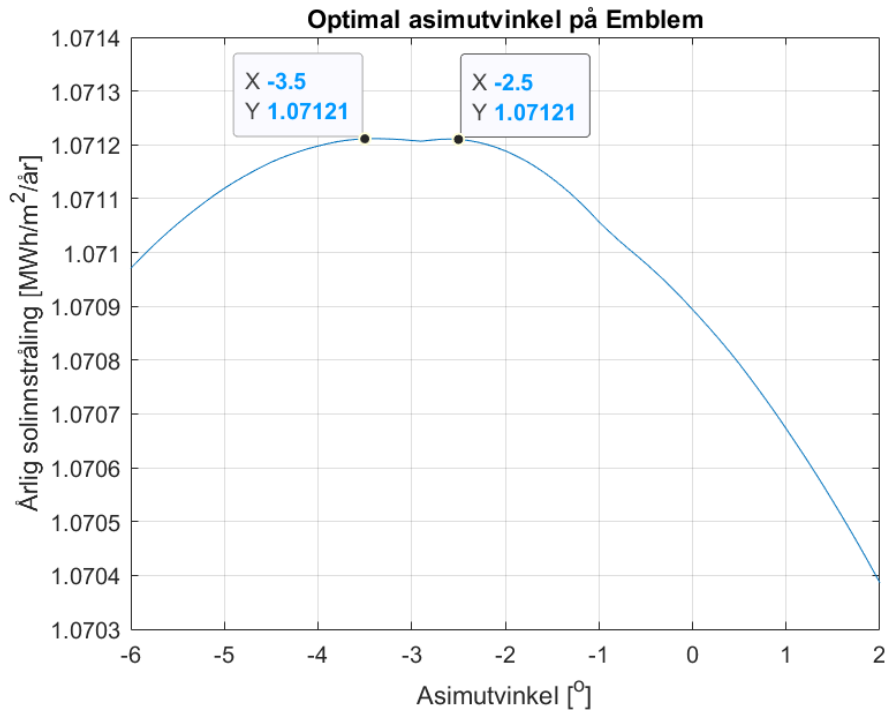
Figur 5.10: Tenkt løsning for utgraving av brønner og legging av kollektorslanger. KB er det fremtidige kontorbygget som skal bygges. Varmepumpen vil stå i det lille grå bygget som kollektorslangene kobles til.

5.5 Solkraft

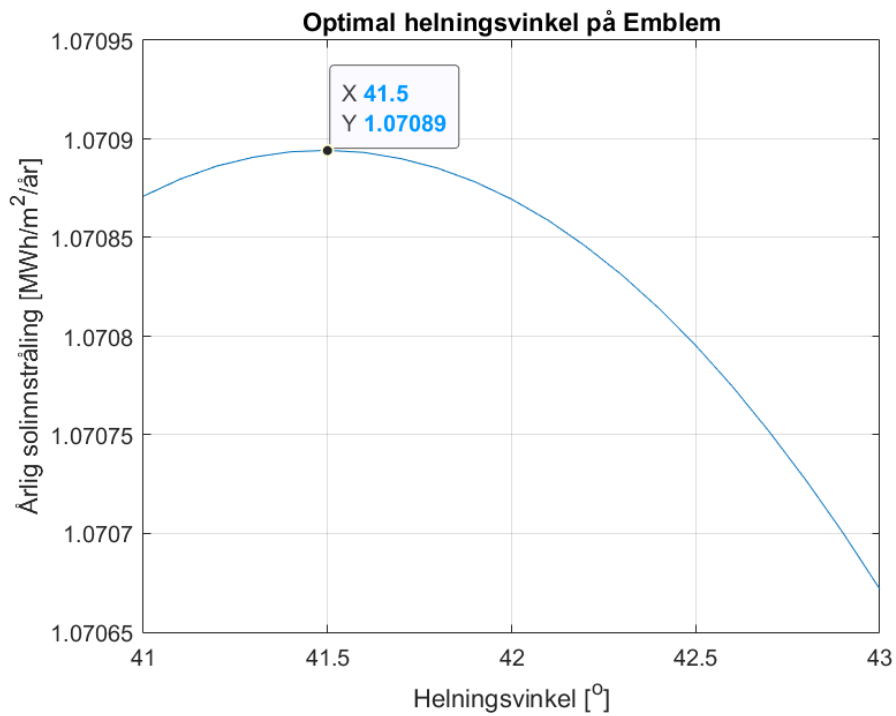
Her er resultatene fra solanalysen som ble gjort. Det ble funnet optimal asiumt- og helningsvinkel for solmodulene, teoretisk optimal installert effekt og detaljerte resultater for investering i solceller.

5.5.1 Optimal orientering for solcellemodul

Figur 5.11 og 5.12 viser henholdsvis optimal asiumtvinkel på 2.5° - 3.5° mot øst og optimal helningsvinkel på 41° - 42° . Gjelder for solcellemoduler plassert på Emblem.

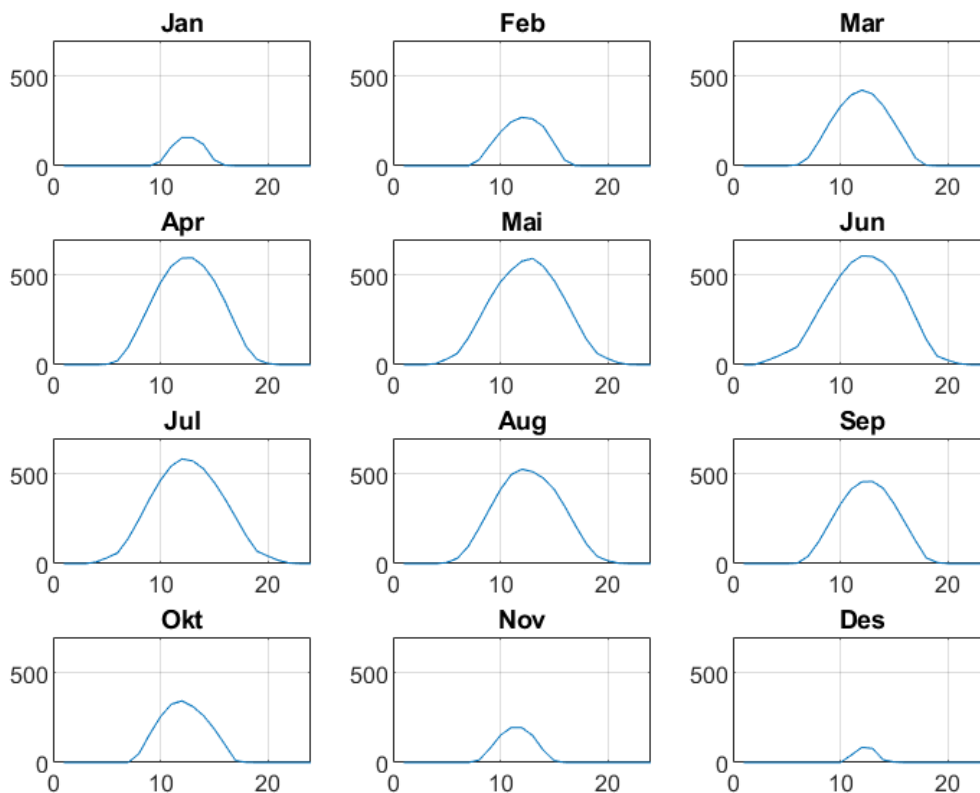


Figur 5.11: Årlig total solinnstråling per kvm ved varierende asimetvinkel



Figur 5.12: Årlig total solinnstråling per kvm ved varierende helningsvinkel

Ved denne vinklingen blir årlig forventet solinnstråling: 1.07 MWh/m²/år. Timesgjennomsnittlig, forventet solinnstråling over et døgn per måned vises i figur 5.13.



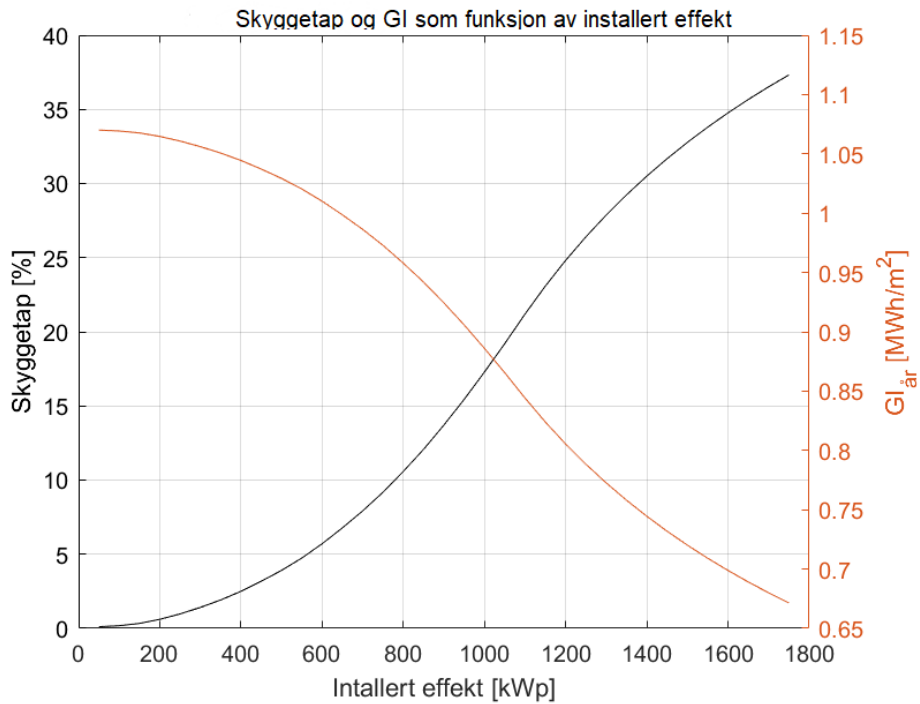
Figur 5.13: Forventet solinnstråling per døgn i hver måned. x-aksene viser tid på døgnet i timer. y-aksene viser solinnstråling i W/m^2

5.5.2 Veggmonterte moduler

På fabrikkens sørvendte vegg kan 150 kvm solceller monteres. Dette vil generere opp til 33 MWh energi årlig (varierende med vinkelen de er montert), og koste omtrent 300000 NOK å installere.

5.5.3 Skyggetap for takmonterte solceller

Her presenteres resultatene av det teoretiske skyggetapet som resulteres av at modullrader står nærme hverandre. På figur 5.14 vises skyggetapet som oppstår på fabrikketaket gitt at taket har areal på 7000 kvm, solcellene har installert effekt på 200 Wp/kvm, og helningsvinkelen til panelene er 41.5° .

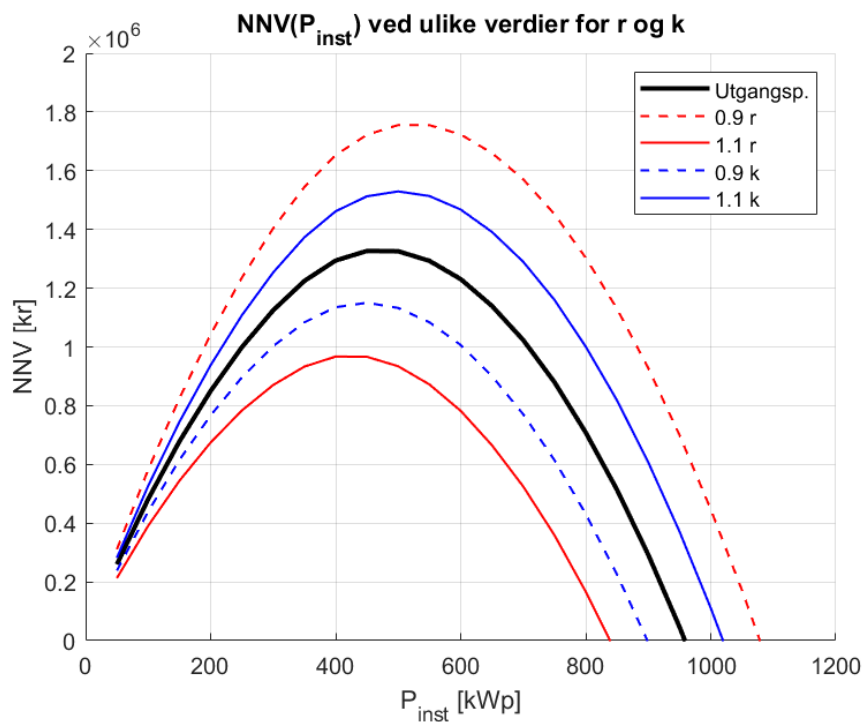


Figur 5.14: Teoretisk beregnet skyggetap som funksjon av installert effekt. Skyggetapet påvirker årstotalen av solinnstråling per kvm solcelle. Det er gitt at helningsvinkelen til modulene er 41.5° , takareal er 7000 kvm og én kvm solcelle tilsvarer 200 Wp.

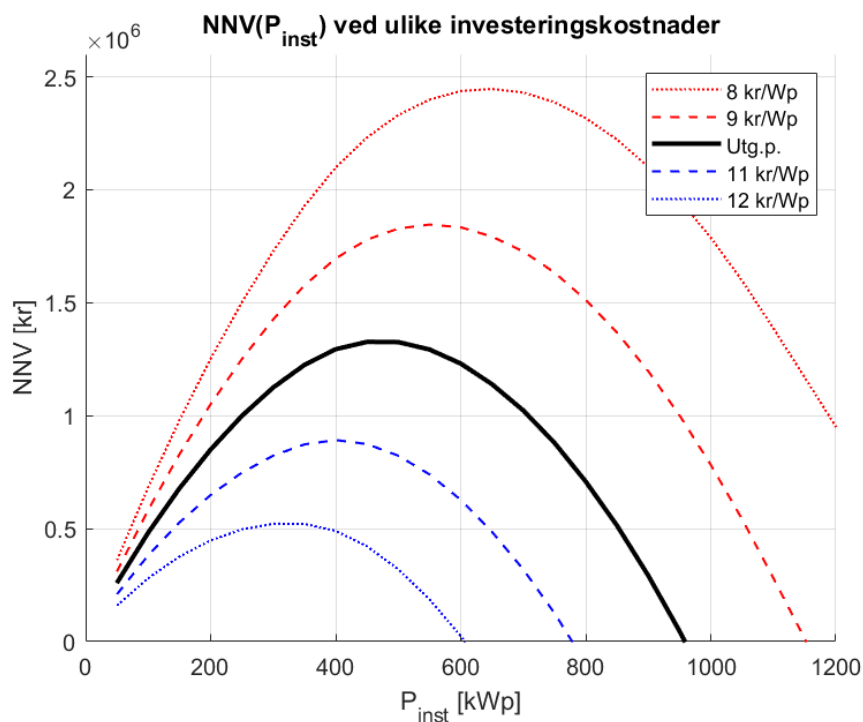
5.5.4 NNV og installert effekt

NNV vises som funksjon av installert effekt i figurene 5.15 og 5.16. I figur 5.15 blir kalkulasjonsrenten og strømprisfaktor variert. I utgangspunktet antas parameterene å være:

- Kalkulasjonsrente: $r = 5 \%$
- Kraftprisvekstfaktor: $k = 3 \%$
- Levetid: $N = 30$ år
- Solcellepris: 10 kr/Wp
- Virkningsgrad: 20 %



Figur 5.15: NNV som funksjon av installert effekt gitt ved ulike prisvekstfaktorer for strømmen og kalkulasjonsrente. Parameterene endres med +/- 10 %.



Figur 5.16: NNV som funksjon av installert effekt gitt ved ulike investeringskostnader. Parameteren endres med +/- 20 %.

Gjennom NNV-beregninger ble det funnet at optimal installert effekt for fabrikken gitt parameterene som tas utgangspunkt i, så vil det være mest lønnsomt for fabrikken å installere 400-550

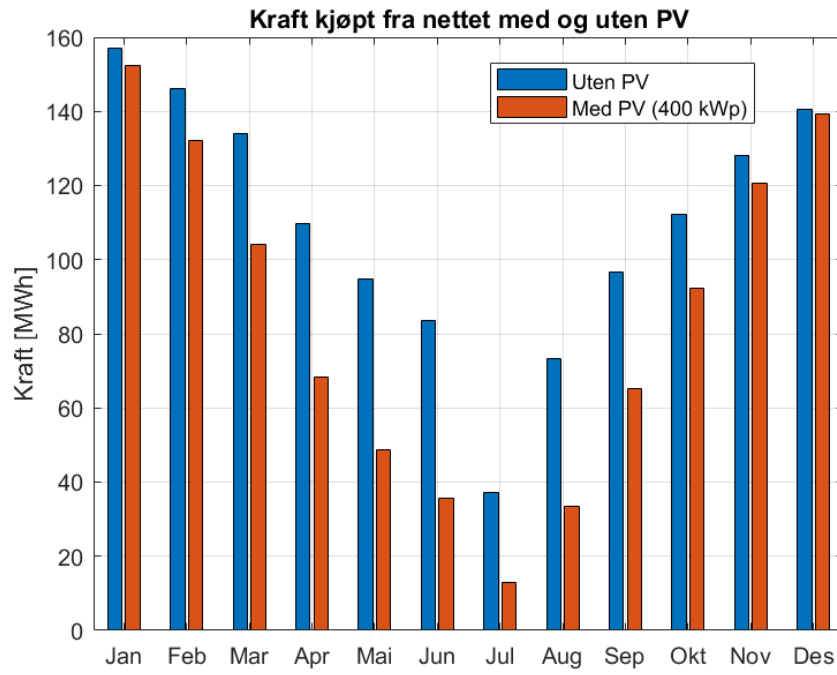
kWp med solkraft på fabrikketaket. Tabell 5.7 og 5.8 viser detaljert resultatene fra å installere disse mengdene med solkraft. Figur 5.17 viser den månedlige kraften som fabrikket må kjøpe fra strømmettet uten solceller og 400 kWp med solceller.

Tabell 5.7: Resultater for installert effekt fra 350 - 550 kWp. Antatt virkningsgrad på solceller: 20 %

Installer effekt [kWp]	350	400	450	500	550
Areal solceller [kvm]	1750	2000	2250	2500	2750
Radbredde/modulbredde (B) [-]	4.00	3.50	3.11	2.80	2.55
Årlig produsert [MWh]	368	418	467	515	561
Produsert per kvm [kWh/kvm]	210	209	207	206	204
Årlig kraft kjøpt [MWh]	1032	1005	982	963	948
Årlig kraft spart [MWh]	282	309	332	351	366
Årlig kraft solgt [MWh]	86	109	135	164	195
NNV [Mkr]	1.23	1.29	1.33	1.33	1.29
Tilbakebetalingstid [år]	20	21	21	21	22
Internrente [%]	7.5	7.31	7.19	7.06	6.94

Tabell 5.8: Resultater for installert effekt fra 350 - 550 kWp. Antatt virkningsgrad på solceller: 18 %

Installer effekt [kWp]	350	400	450	500	550
Areal solceller [kvm]	1944	2222	2500	2778	3056
Radbredde/modulbredde (B) [-]	3.6	3.15	2.8	2.52	2.29
Årlig produsert [MWh]	366	415	463	510	554
Produsert per kvm [kWh/kvm]	188	187	185	183	181
Årlig kraft kjøpt [MWh]	1033	1007	985	967	952
Årlig kraft spart [MWh]	280	307	333	347	361
Årlig kraft solgt [MWh]	86	108	134	163	193
NNV [Mkr]	1.20	1.26	1.28	1.26	1.20
Tilbakebetalingstid [år]	20	21	22	22	23
Internrente [%]	7.5	7.31	7.19	7.06	6.94



Figur 5.17: Endring i månedlig kjøp av kraft ved å installere 400 kWp solceller på fabrikketaket.

6 Diskusjon

I denne seksjonen blir resultatene diskutert. Det blir diskutert påliteligheten til resultatene, forbedringsområder for studien og anbefalinger til videre arbeid.

6.1 BEM - Usikkerheter og feilkilder

Det finnes mulige kilder til feil og usikkerhet i resultatene for BEM-analysen. Usikkerheter oppstår på grunn av forenklinger og antagelser som ble gjort.

6.1.1 Klima

En grunn til at resultatene i BEM'en kan avvike fra virkeligheten, er på grunn av klima/vær. Da EPW-filen gir en gjennomsnittlig påkjenning, kan året strømforbruksdataen er samlet fra variere utenom dette. Eksterne påkjenninger har mye å si for byggets energiforbruk, og variasjoner her kan få merkbare utslag på energibehovet. Utrekningene i HB tar videre ikke hensyn til "mikroklima", og bruker mange teoretiske tilnærminger som brukes for kalkulasjoner av klimaskjermer. Om en skal ta hensyn til mikroklimaets påvirkninger, kan en potensielt generere egne meso- og mikroklimadata ved å bruke plugins i GH som Dragonfly, men mikroklima her hvor nabohus er relativt små og påvirkende topografi ligger et stykke unna bygget, er det tenkt at mikroklimaet vil variere lite fra den allerede samlede dataen. Dersom bygget hadde vært plassert i sentrum, måtte en ha tatt hensyn til dette, ettersom der er mange, høyere bygg tett inntil hverandre.

6.1.2 Produksjon i fabrikken

Under kategorien "anneter produksjon inkludert. Produksjonen er varierende etter etterspørsel av produkter. I figur 4.26 kan en tydelig se at der er høyere etterspørsel i perioden januar-mars i forhold til resten v året, men en kan se en jevnt økende trend ut mot slutten av året. I BEM'en er produksjon eller "utstyr" antatt å operere med en konstant gjennomsnittlig rate. Dette gjør at "annetbidrar til en mismatch i data, spesielt med tanke på allokering av strømforbruket, og kan bidra til et noe unøyaktig resultat per måned.

6.1.3 Geometri

Byggets Geometri er forenklet. Mange hjørner og interne konstruksjoner er fjernet. Dette skal ikke ha et stort utslag på modellen så lenge overflateareal av de forskjellige konstruksjonsdelene er representativt av virkeligheten. Det desidert største arealet av bygget er taket, dette vil være arealet hvor mest transmisjon foregår, om vindu og vegg varierer en del fra den faktiske størrelsen, vil dette da ha liten påvirkningsgrad. Videre er en kompleks modell tyngre for programmet å kjøre utregninger på. Ut ifra et tidsbesparende perspektiv er det derfor og forsvarlig å forenkle modellens geometri. Derfor er modellen tegnet forenklet.

6.1.4 Byggets materialer

Byggets faktiske oppbygging er ukjent. Hva som befinner seg i vegg, tak, og gulv er umulig og vite, og det hjelper ikke at bygget er bygd i flere faser. Unøyaktigheter her vil få utslag på

byggets energibehov som mest sannsynlig vil være merkbare. Det er derfor viktig å ta seg god tid og ta så gode antakelser her som mulig. Å anta at bygget følger minstekrav for energieffektivitet er eneste antagelsen som gir tall en kan gå ut ifra. Det er godt mulig at bygget er bygd mer energieffektivt enn minstekrav fra lovverk, men i hvor stor grad er umulig å vite uten å ta målinger av hver bygningsdel. Derfor er minstekrav for energieffektivitet brukt som utgangspunkt for energimodellering av modellen.

6.1.5 Driftsprofil

Byggets driftsprofil er ikke mulig å vite. Mange av timeplanene henvist til i delkapittel 4.1.6 krever enten særegent måleutstyr eller kontinuerlig observasjon over flere dager. Siden schedules samler data per time, vil hvert datapunkt ha relativt liten påvirkningsgrad. Videre er dette nødt å være en gjennomsnittlig verdi, som fort kan erstattes eller variere i stor grad. Det er derfor ikke hensiktsmessig å bruke lang tid på å lage detaljerte schedules. Her er et gode estimat basert på samtaler om drift av bygget med samtlige ansatte tilstrekkelig for å lage en rekke estimat som vil gi intuitiv mening. Noe mer nøyaktig er ekstremt ressurskrevende, og vil ha lite utslag på det totale energibruket, ettersom store deler av schedules påvirker kategorien ”annet” mer enn kategorien ”varme”, som er den som er interessant i denne teksten. Derfor er schedules basert på estimat og ikke målt data.

6.1.6 Varme til elektrisitet

Som nevnt i delkapittel 4.1.5, er et standardinput brukt for å beregne konvertering fra varmeenergi til elektrisk energi. Det er mulig å samle data om byggets eksisterende Ventilasjonsanlegg og oppvarmingsanlegg. HB gir som nevnt i 4.1.5 muligheter for å spesifisere tekniske egenskaper av ethvert anlegg. Ettersom Spilka tar i bruk flere forskjellige oppvarmingsmetoder i fabrikkbygget, er en da tvunget til å finne gjennomsnittlige verdier for hele bygget, og påvirkningsgraden hvert system vil ha på byggets energibehov. Derfor ble standardverdier benyttet på oppvarming.

Når det kommer til ventilasjon, på den andre siden, hadde det i retrospekt vært realistisk å hente data om anlegget. Dette kunne ha bidratt til en mer nøyaktig BEM med relativt lite tidkrevende prosesser til grunn. Om denne modellen ble lagd igjen, ville dette vært en høyaktuell forbedring i prosjektet. I stedet for å samle verdier om det eksisterende ventilasjonsanleggets tekniske egenskaper, ble der tatt antagelser på tekniske ferdigheter som var tenkt å ha størst påvirkning på energiforbruk. Disse antagelsene kan være gode, og kan gi et virkelighetstro resultat, men en faktisk måling ville i retrospekt vært bedre.

6.1.7 Ventilasjon som feilkilde

I BEM'en er der mangle avvik fra påbud i lovverk. Feil luftutskiftninger og feil drifting av ventilasjonsanlegget kan føre til avvik i mengden luft som varmes opp i bygget. Dette kan føre til feil resultater på slutten av BEM. Etter TEK 17, burde det vært mer ventilasjon av bygget enn hva som ble lagt inn i modellen. Dette ble oppdaget for sent, og der var ikke tid til å kalibrere en ny BEM for så å kjøre økonomiske vurderinger. Trolig er varmen som går tapt til ventilasjon i virkeligheten nå allokert til andre områder i modellen, og som følge er det godt

mulig at sparepotensialet som beskrevet i BEM skulle vært mindre.

6.1.8 Fordeling av energi

Under kategorien ”anneter der usikkert hva energi brukes til. Lys og ventilasjon vil begge ha en indirekte effekt på byggets varmebehov. Siden der er mørketall her, vil påvirkninger som disse være usikre, og en kan dermed ende opp med avvik fra virkeligheten. Med mange detaljerte målinger kan alle disse påvirkningene fra interne system tas hensyn til, men dette vil som på samme måte som diskutert om schedules i stor grad være mer ressurskrevende enn det som er hensiktsmessig for denne oppgaven.

6.1.9 Teoretisk sparbart vs. praktisk utførbart

Grunnet mange antagelser, vil nok de réelle verdiene på besparing variere. En kan forvente reduksjon i forbruk med lik grad av innvirkning.

6.1.10 Antagelser vs målinger

Mange av inputene i BEM er antatt etter normer, lovverk, standarder, intervju, og sammenligning med andre systemer. Dersom en får tak på skikkelig måleutstyr og en god og pålitelig måte å hente nøyaktig data om tekniske installasjoner på, vil der være færre usikkerhetsmoment, og et bedre grunnlag for virkelighetstro kalibrering.

6.1.11 Kalkulasjonsfeil

Under beregning for gulvplatens massetetthet, ble der ført inn et galt tall som følge av beregningsfeil. Dette vil påvirke energibehovet i bygget, men er ikke tenkt å ha en kritisk effekt da konduktiviteten og tykkelse har større utslag på energistrømmen igjennom byggedelen. Dette er fordi massetetthet har mer å si for termisk lagring. En vil få utslag her med at dobbelt så mye masse holder på energi”. Dette vil få utslag dersom temperaturen av grunnen endrer seg raskt, da der er mer energi som må til for å endre temperaturen til konstruksjonsdelen. Siden gulvet er på grunn, er der en jevnere temperatur på denne delen av klimaskjermen, og en forventer ikke raske endringer av temperatur. Hadde en slik feil blitt gjort i taket, ville en trolig sett at dette ville fått et større utslag, da temperatur i luft kan variere mye raskere enn grunnens temperatur. Dette ble ikke rettet opp i på grunn av at feilen ble oppdaget dagen før leveringsfrist. Å rette på dette krever ny kalibrering og ny beregning av resultater, og dermed er den i stedet ført opp som en feilkilde.

6.2 Oppsummerte tall fra BEM

Etter å ha analysert tall fra BEM, kan en allokere energitap inn i diverse kategorier som vist i figur 6.1:



Figur 6.1: Elektrisk energi som kan spares ved løsninger som reduserer byggets varmebehov.

Teoretisk, er det mulig å redusere byggets varmebehov med 57% dersom alle løsninger fra BEM'en implementeres. Hvordan disse underkategoriene håndteres individuelt diskuteres under:

6.3 Etterisolering

Denne delen diskuterer etterisolering av bygget.

6.3.1 Sparepotensiale

Bedre isolering kan ha en betydelig innbakt på energikostnader. Bedre isolering betyr, mindre varme vil slippe ut om vinteren og mindre vil varme komme inn om sommeren. som fører til at oppvarming og kjølesystemer vil bruke mindre energi for å oppholde en behagelig temperatur, slik reduseres energiforbruket og klimautslippene. besparelsen er avhengig av bygningens størrelse og alder. Ifølge 6.3 etterisolering av både tak og vegg med +15cm gir en besparelse på 112 MWh av oppvarmingenergi.

6.3.2 Økonomisk

Kostnader av etterisolering er avhengig av type materialer og metode som skal brukes for prosessen. Bygget etterisoleres utvendig, da er det ofte sammenligget med bytting av kledningen. Bygget har metallplater kledning som kan demonteres uten behov for å bytte dem. Dette vil kutte totale kostnader for etterisolering. I tillegg vil unngå søknad kravet for bytting av kledningen og på samme måte er det for utvendig etterisolering inntill 20cm isolasjonstykkel. Innkjøp av materialer som vann/dampspærre har en produkt pris på cirka 40 kr per m² tilsammen, mine-

ralull (glassull) koster omtrent 75kr per m². Disse kostander i tillegg til transport og montering utgjøre 700 kr per m².

6.3.3 Kostnytte

Etterisolering er ofte veldig kostnyttig og har en realvant kort nedbetalingstid, men det er jo avhengig fra prosjekt til prosjekt. I denne situasjonen store areal dekning en utfordring i forhold til kostnader. Med tenke på besparelse potensiale til strøm, kan nedbetalingstid var langt i forhold til levetids for selve isolasjon materiale. NNV for etterisolering er -1827994, dette viser at det er ikke lønnsomt økonomisk for dette tiltaket. Som utgjør det mindre realvant tiltaket for seg selv med mindre tiltaket kaliberes med andre tiltaket som forhindring av infiltrasjon, Kan det bli mer lønnsomt.

6.4 Installasering av passivhus-vindu

Denne delen diskuterer erstatning av eksisterende vinduer med nye passivhusstandard-vinduer. Bytting av vindu til passivhus-vinduer er en søknadpliktig tiltak, der det byttes type vinduer [51].

6.4.1 Sparepotensiale

På samme måte som etterisolering installering av passivhus-vinduer fører til reduksjon i oppvarmingskostnader. Dette er avhengig av hvilke type vinduer som er montert fra før og på hvilken måte. Ifølge BEM modellen reduseres forbruk energi til oppvarmingen på cirka 27 MWh, som utgjøre en liten del av totale forbrukenergi til oppvarming. Dette skylder på at Enova modellen følger vanlig huset struktur, mens fabrikken har større areale og mindre vinduere i forhold til arealet. Det er også andre faktorer som kan tas med på besparelse potensiale som kvaliteten av temperaturen i bygge. Dette også bidrar til reduksjon av kostnadene til oppvarming og nedkjøling av rommet, som gir mer besparelse verdi på langsiktig.

6.4.2 Økonomisk

kostnadene på vinduere er avhengig av størrelse og kvalitet, nye vinduer er av 3-lag glass type med høy kvalitet for isolering. størrelsen for vinduene på fabrikk bygget variere mellom vanlig H-vinduer størrelse og mindre vinduer som på produksjon halene. et vanlig H-vindue med 3-lag glass koster rundt 5000-10000 kr per vindu inkludert montering total investering på dette vil være 1445000-2890000 kr, variasjon på kostnader skyldes mellom H-vinduer og faskarm vinduer og kostnader på montering og transport. kostbarheten for materialer kommer på kvaliteten, der disse vinduene har en levetid på cirka 30 år.

6.4.3 Kostnytte

Tiltaket redusere oppvarmingskostnader med 34020 kr per år med en spottpris på 126 øre. NNV -1122493kr på minste kostnader og -2567493kr på gjennomsnittlige kostnader som er ugunstig i forhold til totale investering i tiltaket, men dette kan endres om strøm priser øker i framtiden. Passivhus-vinduer har høyre kvalitet en vanlig vinduer, derfor er de vurdert mer enn vanlig

vinduer selv om de koster mer. I tillegg så øker verdi på eiendommen, der er mer jakt på merkede i dag etter bygg som har høy energimerking som betyr mindre kostnader for oppvarming. Hvis tiltaket vurderes på langsiktig, selv om vinduene er satt til ha en levetid på 30 år er det mange vinduer som brukes i 100 år om de har bra kvalitet og godt vedlikehold. Bygget har en stor vindue areal som er godt for naturell ventilasjon og dagslys, men dette har ulemper på mye infiltrasjon og høye varmtap. begrensning av vindue arealet kan ha både fordeler og ulemper, derfor er det beste å egne seg til personlig forbruke ønske til bygget.

Videre vil passivhusvinduer kunne bidra til forhindring av infiltrasjon dersom de installeres godt. Dette kan da øke sparepotensialet av passivhusvindu utover 5% av årlig forbruk til oppvarming som teoretisert.

6.5 Forhindring av infiltrasjon - foreslåtte løsninger

Totalt i bygget står infiltrasjon for 250 MWh tapt elektrisk energi til oppvarming. 85 MWh er tapt igjennom garasjeporter, resten igjennom klimaskjerm. Dersom hele klimaskjermen var like tett som dagens passivhusstandard, kunne en eliminert 95 MWh av elektrisk energi til oppvarming. Figur 6.1 visualiserer dette:

Av ”Annet tap til infiltrasjonkan en og gjenvinne energi ved å utføre godt tetningsarbeid på konstruksjonen. Slike tiltak behøver ikke å være særlig dyre og kan gi gode utslag på fabrikkens forbruk.

Tap som gjenvinnes ved etterisolering diskuteres videre i delkapittel 6.3.

6.5.1 Buffer-zone

Buffer-zone er et plasskrevende tiltak. Hver port skal ha et liten rom på innsiden eller utsiden med en automatisk portdør. Arealet på denne er 12.5 m² på porter og 5 m² på lasteramper. Tiltaket er ikke søknadpliktig til Ålesund Kommune så lenge buffersonen er montert innvendig, og består av ikke-bærende vegger. Dersom rommet er på utsiden av bygget er tiltaket søknadpliktig [50]. Dette kan ha en usikkerhetsmoment for fabrikken da den tar en del areal av produksjon hallene. Montering av sonen tar mer tid enn andre løsninger som kan påvirke produksjon på en liten grad. NNV på investeringen er 770000 kr med nedbetalingstid på 12 år. Årlig går det 74 MWh elektriske energi tapt gjennom garasjeporter som kan bespares ved buffer-zone. Dette viser lønnsomhet for tiltaket med tenke at levetiden til produkter er på omtrent på 50 år vegg/tak og garasjeport er på 20-25 år. Løsningen vil være realvant iforhold til strøm sparing og reduksjon av oppvarmingenergi, men samtidig er det plass krevende tiltaket. Slik at må ta hensyn til hvordan vil hallene se ut, og hvor mye påvirker det produksjonen.

6.5.2 Luftbarriere

Luftbarriere er et stort usikkerhetsmoment med tanke på tilbakebetaling. For å kunne spare på tiltaket må en begrense den totale investeringen til omlag 1.3 millioner. Utfordringen med dette er at Ålesund er en særdeles vindutsatt kommune, hvor størsteparten av vind kommer

fra sørvest. Figur 2.6 henviser til vindrose fra EPW fil over Ålesund. Her ser vi at vinden kan komme opp i så mye som 22 m/s fra sørvest, som gitt byggets utforming og plassering, setter garasjedørene i en utsatt posisjon. Sterkere modeller av luftgardiner er da nødvendig å ta i bruk for å kunne effektivt isolere garasjeportene med luftbarrierer.

Videre, er det usannsynlig at luftbarrierene vil kunne tette 100% av den teoretiske besparelsen. Med riktig modell kan en nok bevege seg nærme det som er teoretisert, men det at den i praksis skal forhindre alt tap til infiltrasjon er usannsynlig. Dette avhenger av dimensjoner av produktet og portene, av montering, og vindstyrke utenfra. Derfor kan en forvente en reduksjon fra det teoretisk mulige som faktisk bespares. Luftbarrierer med høy luftstrømning er å foretrekke, da disse vil forhindre at vind bryter igjennom porten.

Å montere luftbarrierer på lasteramper kan være smart. Lasterampene fungerer nesten som sluser, og er sannsynligvis tette rundt. Dersom en pålessing pågår flere timer, vil dette være en gylden mulighet å spare inn tapt varmeenergi. I og med at lasterampene er plassert på byggets østvendte vegg, er det også tilstrekkelig med luftbarrierer med lavere luftutskiftning.

Netto nåverdi av luftbarrierer vil variere mellom -1.04 million og 1.01 million NOK, med tilbakebetalingstid på 4-5 år på det laveste.

Til sist, er det verdt å notere at selve luftbarrieren vil kreve strøm for å operere, og at dette vil redusere innspart energi.

6.5.3 Plastlameller

Plastlameller er definitivt en lønnsom løsning, gitt at den kan holde porter og lasteramper tette, og at den ikke lar vinden forårsake store varmetap. Ettersom at dette er en passiv løsning, vil ekstra kostnader begrenses til eventuelt vedlikehold og erstatning av sterkt slitte elementer. Ettersom produktet har en garanti på 7 år og en teoretisk tilbakebetalingstid på 2 år, vil dette produktet være av meget lønnsom natur. Produktet er nok best egnet til installasjon av byggets østside, dette fordi der er mindre vind fra denne retningen. Dette er en løsning som kan være lur å kombinere med tetting av porter som er lukket.

Netto nåverdi av plastlameller varierer mellom 1.84 og 1.85 millioner NOK, og har en tilbakebetaling på omlag 2 år om de fungerer optimalt.

6.6 Varmepumpe

Ut i fra resultatene i tabell 5.6 ble det vist at ved å installere en varmpumpe med kapasitet til å levere 40 kW varme kan fabrikken årlig spare 166 MWh med kraft årlig. Dette dekker opptil 58 % av fabrikkens varmebehov. Det resterende behovet regnes som spisslast og må dekkes med direkte elektrisk oppvarming. Det ble ikke tatt med i beregningene at varmpumpen ikke kan levere varmtvann, så dette behovet må også dekkes med direkte elektrisk oppvarming, men andelen av varmebehovet som består av varmtvann er trolig lavt ettersom at det ikke skjer dusjing på fabrikken. Så dette endrer trolig ikke resultatene noe betydelig. Installering av

varmepumpe er et søknadpliktig tiltak ifølge Ålesund kommune da det regnes som fasadeendring [51].

En usikkerhet rundt hvor mye kraft som kan spares er at dataen over kraftforbruket til Spilka er kun gitt for 2022. I beregningene er det antatt at kraftforbruket er likt hvert år, men det trenger ikke være tilfellet. Det kan være at forbruket endrer seg noe fra år til år. Dette vil påvirke den økonomiske gevinsten hvert tiltak vil ha.

Det som påvirker resultatene betydelig er hvordan de egentlige geologiske egenskapene er i berggrunnen er, fordi dette har størst betydning på investeringskostnadene. Brønnene ble dimensjonert etter den ønskede varmeeffekten som varmepumpen skal kunne levere, men en annen faktor som er viktig å dimensjonere etter er varmekapasiteten i berggrunnen. Den som bestemmer hvor mye varme som kan hentes per meter med brønn. Vanligvis kan det hentes omtrent 120-150 kWh/året per meter brønn [27]. Dette gir, med de antagelsene som ble gjort, at de 5 brønnene som kreves for å møte effektbehovet kan til sammen levere 120-150 MWh varme årlig. Siden Ålesund ligger ved kysten og har høy årlig gjennomsnittstemperatur så er forholdene for bergvarmepumpe gode [80] og den tilgjengelige energien vil trolig lene mot 150 kWh/år per meter brønn. Dermed kan fabrikken spare omtrent 20 MWh mindre enn beregnet, men dette kan fikses ved å grave de 5 brønnene dypere eller ved å bore en ekstra. For å få en sikrere oversikt over investeringskostnadene vil det være nødvendig å få en befaring av en bergvarmepumpeleverandør. Det vil eventuelt være nødvendig å gjøre en termisk responstest for å få en nøyaktig oversikt over de termiske egenskapene til berggrunnen. Påvirkningen av investeringskostnad vil være avgjørende i om investeringen vil lønne seg eller ikke.

På figur 5.10 vises en tenkt løsning for hvor energibrønner og kollektorslanger kan legges på eiendommen til Spilka. Figuren viser at det enkelt er plass til 8 energibrønner med rundt 25 meter mellom hver. Dette er 10 meter over det som er minimumsavstand.

Siden det skal bygges et nytt kontorbygg ved siden av fabrikken, vil det trolig være ønskelig å installere kraftigere varmepumpe for å dekke dette byggets varmebehov. Dette ble ikke regnet på ettersom at bygget fortsatt er tidlig i planleggingsfasen og ikke er prosjektert skikkelig enda. Dermed blir det vanskelig å estimere varmebehovet det vil ha.

En fordel med at det skal bygges kontorbygg vil være at energibrønner kan graves ut samtidig. Dette vil spare anleggsarbeid som kreves og kan gjøre investeringen rimeligere.

Det ble gjort en antagelse om at andre investeringskostnader er på 300 000 kr. Dette inkluderer selve kompressoren, sirkulasjonspumpe og installasjon av disse, i tillegg til andre komponenter som ikke er kjent. Denne antagelsen ble gjort ved å se på kostnaden for kompressorer og så ble det gjort et overslag for å komme frem til at disse kostnadene trolig ikke vil havne noe høyere enn 300 000 kr. Denne kostnaden er usikker og bør sjekkes med en leverandør.

Hvordan kraftprisen utvikler seg vil påvirke lønnsomheten til varmepumpen. Dette står om i seksjon 6.10.

På figur 5.9 ble det endret på 2 parametere: COP og brønneffekt. Det vises på figuren at om COP faktor endrer seg med +/- 0.5 så har dette lite påvirkning på resultatet. Figuren viser også hvordan resultatene endrer seg om brønn effekten varieres med +/- 20 % som tilsvarer brønneffekt på 22-34 W/m. 28 W/m ble antatt som følge av en kilde som forteller om at en 300 m dyp brønn kan gi 1 kW varme under gode forhold [15]. Dette tilsvarer 33 W/m.

Noe som ikke ble sett på er hvor mye varmpumpen kan spare fabrikken i effektledd. Fabrikken betaler et månedlig effektledd som bestemmes av det høyeste, gjennomsnittlige effektforbruket over én time som fabrikken har gjennom en måned. Varmepumpen kan minke denne utgiften noe ettersom at den alltid jobber, men det vil trolig ikke være så mye at det påvirker resultatene i betydelig grad.

En viktig ting å merke seg er at selv om varmpumpen har levetid på cirka 20 år, men rørinstallasjonen har levetid på 50 år. Brønnen har praktisk talt uendelig levetid. Det vil si at når pumpen byttes ut etter 20 år kan en ny installeres for å få nye 20 år med bergvarme uten å måtte gjøre nytt borearbeid eller bytte rørsystem.

En mulig feilkilde er at det kan oppstått feil i beregningene. Dette kan eventuelt skyldes manglende kunnskap eller slurv. Trolig har ingen betydelige slurvefeil blitt gjort. Funksjonene som ble brukt i analysen ble testet ved å plote grafer ved ulike ekstreme scenarier for å se om funksjonen gav ut forventede resultater. Det ble blant annet satt COP faktor til 1, som gjorde at NNV-kurven ble flat. Dette var som forventet. Etter flere tester, som ble som forventet ble det konkludert at det trolig ikke har oppstått betydelige slurvefeil i beregningene. Om det noe er feil i beregningene eller om noen vurderinger ikke er tatt med så skyldes dette uvitenhet. Men ut ifra den kunnskap gruppen har burde resultatene stemme med de antagelsene som ble gjort.

Det ble ikke sett på miljøinnvirkningen rundt tiltaket på grunn av at arbeidsmengden hadde blitt for stor i forhold til tiden som var tilgjengelig for oppgaven.

6.7 Dimensjonering av bjelker

Dimensjonering av bjelke har en del faktorer som er nødvendig for å fullføre beregninger som gruppen ikke er i stand til å beskrive. Fasthetsklasse av betong og kvaliteten på armeringstål er et par av dem. Verken Spilka eller Spenncon hadde noe informasjon om det siden det er lenge siden fabrikken ble bygd. For å beregne bjelkelagets kapasitet trenger en avansert utstyr, riktig kompetanse og mer tid.

Fabrikkens produksjonshaller har et totalt takareal på 8000 kvm, der hall-1 utgjør 2250 kvm. Spilka har installert varmekabler for å smelte snøen om vinteren for å redusere lasten på bjelkene. Dette øker strømbruk og fører til mer utgifter. Årlig estimeres dette å være 15000 kr tapt til lønning og strøm, i tillegg til 44 tapte arbeidstimer. Dette er spekulativt, og réelt tap kan avvike fra dette estimatet. Analysen viser også at hver gang et snølag smeltes fra taket vil det koste 1000 kWh elektrisk energi.

Solceller vil monteres på taket for produksjon av solkraft. Dette vil ikke være mulig gitt tilstanden

til taket på hall 1 og en vil konsekvent tape 2250 m² av takarealet som kunne. Denne forskjellen utgjør 125 MWh av årlig produksjon av solkraft.

Dersom en styrker takkonstruksjonen, vil en kunne spare seg strøm til varmekabler for smelting. Om en da både styrker taket og monterer solceller på taket av hall 1, tilsvarer dette en total gevinst av på 134 MWh elektrisk energi. Videre vil der være arbeid som en kan spare seg for å unngå fare for brudd, som måking av snø om vinteren når snødybden når ekstreme verdier som vist i figur 4.36.

På grunn av lite tid, mange antagelser og mangel på data om tidligere dimensjoneringsarbeid av bjelkelaget, er denne gruppen ikke i stand til å gi et nøyaktig svar på investering eller nødvendig bærestyrke på installert konstruksjon. På den andre siden, om dette er i Spilkas interesse, kan denne problemstillingen delegeres videre som en ny bachelor- eller masteroppgave i kommende tid. Dette tillater mer detaljerte beregninger av betongens kapasitet ved hjelp av for eksempel UPV-testing, og detaljert analyse av plassering og størrelse av armering ved hjelp av for eksempel ultralyd.

6.8 Solkraft

I denne seksjonen blir resultatene for solcelletiltaket diskutert. installasjon av solseller på bygget vil være søknadpliktig, som må søkes om til Ålesund kommune [20].

6.8.1 Usikkerhet og feilkilder

Basert på det spesifikke produktet som en faktisk kjøper og integrerer inn i bygget, vil kvaliteter som dimensjoner, pris og energieffektivitet variere. Tall tidligere presentert gir da en omtrentlig energiproduksjon og kostnytte.

Nybyggets geometri er ikke bestemt enda. Totalt potensiale for produksjon kan da variere utover det som er anslått i beregninger.

6.9 Lønnsomhetsanalysen

Ut i fra lønnsomhetsanalysen vises det, på figur 5.15 og 5.16 at det mest lønnsomme for fabrikken er å installere rundt 450-500 kWp med solkraft på fabrikketaket. Det er imidlertid noe usikkerhet rundt tallene, så den tryggere investeringen kan være på rundt 400 kWp. Dette viser seg på de nevnte figurene ved at toppen av kurvene ligger rundt 400 kWp når noen parameterne viser seg å være mindre gunstige enn antatt. I tillegg viser tabell 5.7 at internrenten er høyere for en investering på 400 kWp enn for en større investering. Høyere internrente vil si at investeringen har lavere risiko.

Det ble antatt at virkningsgraden til solcellene er 20 %. Det ble likevell undersøkt hva som skjer når denne parameteren endres på. Resultatene av dette finnes i tabell 5.7 og 5.8). Ved en 10 % endring i virkningsgrad ble det omtrent ingen endring i årlig produsert sol, selv om disse faktorene burde være proporsjonale. Grunnen til dette er at solanlegget på taket dimensjoneres etter installert effekt (P_{inst}). Eneste innvirkningen virkningsgraden har er på nødvendig solcelleareal.

Investeringsprisen blir ikke påvirket av virkningsgraden ettersom at den kun avhenger av P_{inst} . Dette fører til at NNV ikke påvirkes direkte av virkningsgraden ettersom at den ikke virker inn på investeringsprisen i denne modellen. Den lille endringen i kraftproduksjon mellom tabellene skyldes at flere solceller må installeres når virkningsgraden minker, for å oppnå den ønskede installerte effekten. Dette fører til høyere skyggetap, som vist i figur 5.14.

6.9.1 Kraftbesparing

Tabell 5.7 viser at årlig solcelleproduksjon med 400 kWp er 418 MWh hvor 109 MWh selges som betyr at fabrikkens sparer 309 MWh årlig.

I følge NVE er forventet produksjon fra et solcelleanlegg i Norge mellom 650 til 1000 kWh/kWp [77]. I tabell 5.7 ble det beregnet at forventet solkraftproduksjon ligger på 1.04 MWh/kWp. Dermed er dette tallet noe høyt. Dette kan ikke skyldes virkningsgraden ettersom at kraftproduksjon per installert effekt er uavhengig av dette som begrunnet i forrige avsnitt. Dette vises også i ligning 6.1, hvor virkningsgraden kanselleres på grunn av at anlegget dimensjoneres etter installert effekt.

$$E_{produisert, \text{år}} = E_{GI, \text{år}} \cdot A_{sol} \cdot \eta = GI \cdot \frac{P_{inst}}{k_p} \cdot \frac{k_p}{1000 \text{ W/m}^2} = \frac{E_{GI, \text{år}} \cdot P_{inst}}{1000 \text{ W/m}^2}$$

$$\Leftrightarrow \frac{E_{produisert, \text{år}}}{P_{inst}} = \frac{E_{GI, \text{år}}}{1000 \text{ W/m}^2} \quad (6.1)$$

I ligning 6.1 er $E_{produisert, \text{år}}$ energien som produseres årlig av solcellene. $E_{GI, \text{år}}$ er den totale tilgjengelige solinnstrålingen på panelene. k_p er installert effekt per kvadrat sol.

Ligning 6.1 viser at grunnen til at kraftproduksjonen per installert effekt er høy er bare på grunn av solinnstrålingen (GI). Dette kan skyldes at noen solinnstrålingstap ikke er tatt med. For eksempel kan det som gjør at forholdet mellom kraftproduksjon og installert effekt er så høyt være at EPW-filen, som er brukt som datagrunnlag, ikke tar hensyn til at snø kan legge seg på panelene over vinteren.

Det kan også tenkes at 1040 ikke er mye større enn 1000, så det kan være at solforholdene i Ålesund faktisk er så gode når solcellene vinkles optimalt og opplever lite skygge. Faktisk grunn er vanskelig å si.

Den årlige kraftproduksjonen av solcellene vil ikke være samme fra år til år. Dette er på grunn av at været vil variere fra år til år, men dataene som ble brukt for å beregne årsproduksjonen er gjennomsnittstall fra 2007 til 2021. Gjennomsnittlig over levetiden til solcellene vil årlig kraftproduksjonen tilnærmes den forventningsverdien på 418 MWh årlig. Dermed vil værvariasjoner ha liten innvirkning på resultatene.

6.9.2 Økonomisk

Tabell 5.7 viser at ved en solcelleinstallasjon på 400 kWp spares 309 og selges 109 MWh årlig. Dette gir grunnlaget for å beregne de økonomiske besparelsene og inntektene over levetiden til solcellene. Investeringskostnaden blir 4.0 Mkr for en slik investering antatt 10 kr/Wp. Dermed blir NNV 1.3 Mkr.

En av de usikre parameterene i denne NNV-beregningen er hvordan strømprisen kommer til å utvikle seg. Dette diskuteres i avsnitt 6.10.

En annen usikkerhet i NNV-beregningen er investeringskostnaden. Denne har en del å si for lønnsomheten, som vist i figur 5.16. Antagelsen på 10 kr/Wp er en forenkling gjort for å estimere en investeringskostnad. Denne er usikker ettersom at den virkelige investeringskostnaden vil avhenge av prisen på solcellene og frakten av dem, installasjonskostnader og diverse mindre komponenter som installasjonen krever. Dette vil bestemme den virkelige installasjonskostnaden.

Prisen på 10 kr/Wp ble hentet fra en rapport av NVE, som ble laget i 2018, hvor grafen for investeringskostnader viser en prisnedgang for solkraftanlegg av ulike størrelser. Storskala anlegg over 100 kWp hadde i 2018 en pris på 10 kr/Wp [36], som ble antatt for denne lønnsomhetsanalysen siden dette er 5 år siden og dermed ble det antatt at prisen i dag ligger på rundt 10 kr/Wp. For å få en nøyaktig investeringspris må en solcelleinstallør gjøre en vurdering gjennom en befaring.

Resultatene for solkraftsanalysen bør ikke tas som sannhet, fordi investeringskostnaden er usikker og må bli gjennom en befaring av en solcelleinstallatør, men resultatene gir en god pekepinn mot at en slik investering kan være lønnsom. Spesielt om strømprisene holder seg høye i årene fremover.

6.10 Usikkerhet i kraftpris

De økonomiske beregningene som ble gjort avhenger i stor grad hvordan strømprisen utvikler seg i årene fremover. Historisk har kraftprisen Norge vært lav, som vist på figur 3.1. Dette har gjort at gjennomsnittlig kraftprisen de siste fem årene, uten avgifter, er lavere enn hva som kan forventes fremover de neste årene [85]. Det er vanskelig å forutsi hvordan kraftprisen kommer til å se ut om 10 år, på grunn av alle faktorene som påvirker dette. Kraftprisene påvirkes av politikk, energiforsyning og energiforbruk, og disse faktorene er vanskelig å forutsi utviklingen på. Dermed kan det være en fordel at strømprisestimatet er lavere enn det som kan forventes i de nærmeste årene fremover, fordi det gjør at den egentlige lønnsomheten kan være høyere enn beregnet. Strømprisen antas likevel å vokse 1 % fortere enn inflasjon, som antas å være på 2 %. Dermed er prisveksten til strømprisen antatt å være 3 %. Det er kun kraftprisen som antas å vokse med denne faktoren de andre delene av strømprisen (nettleie, elavgift, MVA) antas å være konstant selv om også noen av disse vil øke i fremtiden. Dette gjør at strømprisene som brukes i de økonomiske beregningene er konservative og vil trolig være mindre enn det som kan forventes.

6.11 Iverksetting av flere løsninger

Annet tetningsarbeid kan utføres i bygget for å spare inn infiltrasjonstap. Dette diskuteres videre:

6.11.1 Tetting rundt porter

Erstatning av klamp rundt portene vil ikke telle som et helt løsning fordi den forhindrer ikke infiltrasjon mens portene er åpen. Allikevel redusere en del varmtap gjennom portene mens det holdes stengt, da det ble oppdaget på befaringen med måling av temperatur på forskjell plasser på port/yttervegg. NNV er på 331605 kr med nedbetalingstid på 1 år, det er jo som forventet å være en lønnsomt løsning. Dette vil ha påvirkning på infiltrasjon gjennom veggene, men ikke en direkte løsning for varmtap mens portene er åpne.

6.11.2 Tetting av konstruksjonen generelt

Generelt tetningsarbeid vil kunne videre bidra til redusert tap til infiltrasjon. Siden der er mange vinduer, og mye veggareal, kan enkelt tetningsarbeid med sparkel og temperaturmåler mest sannsynlig produsere små men merkbare utfall på årlig varmebehov.

6.12 Fra et energiperspektiv

Fra et komplett energi-perspektiv, er det interessant å se hva som er teoretisk gjennomførbart med tanke på energi. Ut av interesse inkluderes derfor et rent energiperspektiv”i tillegg til økonomiske resultater videre i oppgaven.

6.12.1 Teoretisk mulig effektivisering

Om en kombinerer alle tiltak som bidrar til mindre forbruk i fabrikkens finner vi følgende: Installasjon av alle tiltak som foreslått i BEM, vil kunne redusere forbruket av fabrikkens med 57%. Installasjon av varmepumpe vil kunne effektivisere fabrikkens behov med en reduksjon på 42,5%. Om en installerte alt sammen på en gang, teoretiseres det at fabrikkens vil kunne komme end til

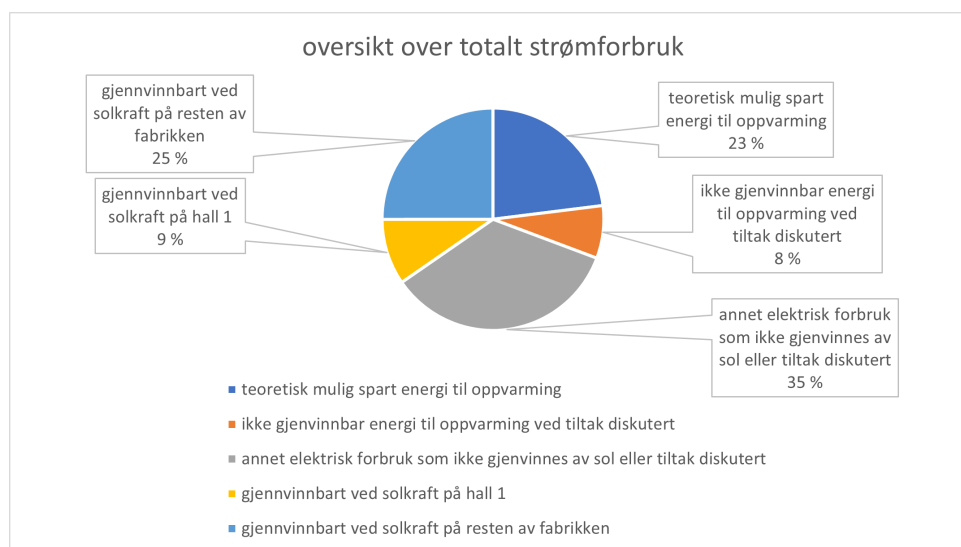
$$(1 - 0.57) * (1 - 0.425) = 0.247$$

, altså 24,7% av dagens forbruk på oppvarming av bygget, og da teoretisk spare opp til 300 MWh årlig, som gir mest utslag på vinteren. Dette vil da videre redusere nødvendig effekt i bygget. ut av det totale forbruket kan disse løsningene redusere fabrikkens totale strømforbruk til 77% av dagens strømforbruk.

Ved å produsere sol i tillegg til dette kan en produsere ytterligere 418 MWh fra å installere solcellepanel på fabrikkens tak, gitt at taket over hall 1 kan støtte den ekstra vekten. Videre kan en produsere 33 MWh fra montering av solcellepanel på fabrikkens sørvendte vegg. Totalt gir dette 451 MWh potensiell energiproduksjon fra å installere solceller på både tak og vegg.

Om en legger sammen teoretisk spart energi fra redusert behov og produksjon fra solceller kan en da redusere forbruket med $300 + 451 = 751 MWh$ Totalt kan en da redusere fabrikkens

totale årlige strømforbruk fra 1303 MWh til 552 MWh årlig forbruk. Dette er 42% av fabrikkens nåværende totale strømforbruk. (En reduksjon på 58%.) Figur 6.2 under viser dette:



Figur 6.2: Sparepotensiale for fabrikkens totale strømforbruk. Ikke-gjenvinnbar fra oppvarming er ekskludert fra sol for enklere visualisering.

Det er verdt å nevne at å inkludere *alle* tiltak ikke er økonomisk lønnsomt, men at dette er en teoretisk fremstilling av hva som er teoretisk mulig, gitt at en implementerer alle løsninger diskutert i denne oppgaven. Den økonomiske nytten i tiltakene diskuteres i neste delkapittel:

6.13 Fra et økonomisk perspektiv

Som en bedrift er det interessant å se på økonomisk gevinst av tiltakene som igangsettes i fabrikk. Dette er alle tiltak som er sett på i denne oppgaven, og som har en beskrevet NNV-verdi:

- Etterisolering
- Passivhusvindu
- Tetting av port ved buffer-zone
- Tetting av port ved luftgardin
- Tetting av port ved plastlamell
- Varmepumpe
- Solkraft på tak
- Solkraft på vegg

6.13.1 Økonomisk verdi av hvert tiltak

Etterisolering krever en investering på 4.9 millioner NOK inkludert montering og frakt. Siden utsiden av fabrikk er tenkt å etterisoleres, vil ikke arbeid inne i fabrikk forhindres. NNV av denne investeringen vil ende opp på -1.8 millioner NOK. Tiltaket vurderes å være et økonomisk tapsprosjekt. Tiltaket blir ikke tilbakebetalt i løpet av dets levetid.

Installering og erstatning av eksisterende vinduer til passivhusvindu vil kreve en investering mellom 1.4-2.9 million NOK. Dette gir NNV mellom -1.1 million til -2.6 million NOK. En kan konkludere at erstatning av fabrikkens vinduer er et særdeles stort økonomisk tapsprosjekt gitt investeringskostnaden. Tiltaket blir ikke tilbakebetalt i løpet av dets levetid.

Tetting av port ved bruk av buffer-zone vil ha en investering på 680000 NOK, og en NNV på 770000 NOK inkludert montering og transport. Det kan oppstå komplikasjoner med montering av denne løsningen og bruk av porter, som kan få utslag på arbeidsflyt. Generelt er dette en meget lønnsom løsning gitt dets investering. Det er mulig at denne løsningen ikke lever opp til å bespare 100% av det som er teoretisk estimert. Dette vil variere med kvaliteten av montering. Tiltaket har en tilbakebetalingstid på 12 år.

Tetting av port ved bruk av luftgardin vil variere i investering fra 2.23 millioner NOK til 0.26 millioner NOK ekskludert frakt og montering. NNV varierer dermed fra -1.0 og 1.0 millioner NOK. Variasjonen kommer av store forskjeller i pris på produktet. Dette anses som en jevnt over negativ økonomisk investering. Installering kan også hindre bruk av porter, men for relativt korte tidsrom. Videre vil luftgardinen konsumere strøm selv. Det er mulig at denne løsningen ikke lever opp til å bespare 100% av det som er teoretisk estimert. Dette vil variere med kvaliteten av montering. Tilbakebetalingstiden kan komme ned i 4-5 år på det minste om luftbarrieren fungerer optimalt, men kan hende ikke vil tilbakebetales om investeringen overskrider 1.29 millioner NOK.

Tetting av port ved bruk av plastlameller har en investering som varierer fra 94000 til 117000 NOK inkludert frakt og montering. Produktet har en NNV på 1.83-1.85 millioner NOK, og kan anses som en meget lønnsom investering. Montering vil trolig forhindre bruk av porter over et kort tidsrom. Det er tvilsomt at denne løsningen lever opp til å spare 100% av det som er teoretisk estimert grunnet faktorer som vind og slitasje ved hyppig bruk. Dette vil variere med kvaliteten av montering. Dette kan være en løsning som kan oppleves som irriterende om en må passere igjennom porten den er installert i mangeganger over et kort tidsrom. Plastlameller vil tilbakebetales innen 2-3 år.

Montering av varmepumpe krever en investering på 1.9 millioner NOK inkludert montering og frakt, og har en NNV på 0.16 millioner NOK. Økonomisk, er dette et relativt nøytralt tiltak, men vil alt i alt gi en liten gevinst. Det er verdt å merke at på slutten av varmepumpens levetid vil det en ny investering være mye billigere enn den første ettersom at kun selve varmepumpen må byttes ut. Kollektorslangene og energibrønnene har over dobbelt så lang levetid enn selve varmepumpen. En slik reinvestering vil øke NNV, men på grunn av at dette vil gi en 40 år lang investering ble NNV gjort uten reinvestering, fordi usikkerhetene øker med levetiden.

Solkraft på tak vil kreve en investering på 3.25 millioner NOK. Dette inkluderer ikke hall 1, som er underdimensjonert og ikke bør bære mer last. Dette tiltaket har en NNV på 1.07 millioner NOK. Solkraft på tak virker å være en god økonomisk løsning. PV montert på tak vil ha en tilbakebetalingstid på 20 år.

Solkraft på vegg vil kreve en investering på 300000 NOK. Veggmonterte moduler har en NNV

på 214000 NOK. Dette gir god gevinst, gitt størrelsen på investeringen. På grunn av at de er på vegg, vil de trolig ikke dekkes av mindre snø på vinteren, og vil heller ikke tilskygges noe særlig på vinterstid. PV montert på vegg vil ha en tilbakebetalingstid på 15 år.

7 Konklusjon

I denne seksjonen blir det gjort konklusjoner for hvert av de tiltakene som ble undersøkt i denne studien.

7.1 BEM

Dersom en skal ta hensyn til økonomi, er ikke alle løsninger for å redusere byggets behov like gunstige: Løsninger som viser til å være mest kostnadseffektive er plastlameller, buffer-zone, og billige luftbarrierer. De minst kostnadseffektive løsningene er etterisolering, dyre luftbarrierer, og installering av passivhusvindu, hvorav alle trolig leder til økonomisk tap, men dette kan og endre seg om strømpriser øker i fremtiden.

Løsninger med størst innsparingspotensiale av energi er etterisolering og tetningsarbeid/prevensjon av infiltrasjon både i port og generelt.

Det er lite effektivt både med tanke på kostnad og energibesparelse å erstatte vinduer for andre med passivhusstandarder.

Faktisk innspart energi fra varme kan avvike fra teoretiske verdier.

For videre utvikling av en BEM for fabrikken anbefales det først å skaffe nøyaktig informasjon om tekniske installasjoner i bygget, og videre å kunne ta nøyaktige målinger av flere konstruksjonsdeler som ikke nødvendigvis er tilgjengelige fra bakkenivå. Tekniske installasjoner som vil ha størst utslag på nøyaktigheten på BEM, er produksjonsmaskineri, ventilasjonsanlegg, belysning, og termostat/oppvarmingsanlegg. Ved å hente så mye nøyaktig informasjon som mulig vil en kunne få en mer virkelighetstro modell som enklere kan kalibreres. Videre vil målinger av egenskaper av bygningsdeler som tak, golv på grunn, kjellervegger, takvindu osv bidra til en enda mer virkelighetstro modell, da denne informasjonen vil være målt og ikke antatt etter andre standarder. Eventuelt kan en monitorere driftsprofil av bygget med hensyn til arbeidere, belysning, oppvarming, åpning og lukking av porter osv for å gi mer nøyaktige antagelser. Ettersom en BEM medbringer antagelser, vil arbeidet videre være å redusere usikkerheten bak hver enkelt antagelse, og hvor mulig gi nøyaktig målte verdier.

7.2 Dimensjonering av bjelke

Spilka har både spare- og produksjonspotensiale ved å forsterke bjelkelaget over hall 1. Denne oppgaven estimerer 44 tapte arbeidstimer og 15000 NOK tapt årlig under vanlig drift som følge av underdimensjonert bjelkelag. Videre ser en at dersom solceller er aktuelle å montere over hall 1, vil dette ha potensiale til å produsere 125 MWh energi årlig.

Gruppen har foreslått 2 strukturelle forbedringer som kan undersøkes videre. I denne oppgaven har ressursmangel gjort at en ikke har kunnet regne på bjelkelagets styrke og da nødvendig forsterking. Teksten foreslår bruk av ultralyd og UVP testing kan muligens gi et grunnlag for beregning uten å skade den eksisterende konstruksjonen. Denne teksten diskuterer og at det

kan være i Spilkas interesse å delegere dette problemet videre til fremtidig samarbeid med universiteter, eller å samarbeide med en bedrift med kompetanse innenfor dette feltet.

7.3 Varmepumpe

Det ble gjennomført en kraftbesparingsanalyse og lønnsomhetsanalyse på installasjon av en bergvarmepumpe. Ut i fra lønnsomhetsanalysen ble det funnet at den mest lønnsomme investeringen vil være en varmepumpe som er i stand til å levere 40 kW med varme. Ut i fra kraftbesparingsanalysen ble det dermed funnet at en 40 kW varmepumpe kan dekke opp til 58 % av fabrikkens oppvarmingsbehov. Det vil kreve 5-6 energibrønner på 200-250 m dybde. Dette sparer Spilka rundt cirka 170 MWh med kraft årlig. Investeringskostnad ble beregnet til å ligge rundt 1.9 Mkr, men dette er usikkert på grunn av begrenset med data. For en mer nøyaktig investeringskostnad blir det nødvendig å få en befaring med en varmepumpeleverandør og et brønnboringsfirma som kan gjøre en termisk responstest (TRT) på eiendommen. NNV for investeringen ble funnet å være rundt 0.16 Mkr, med en kalkulasjonsrente på 5 %. Investeringen er tilbakebetalt etter cirka 18 år og har en internrente på rundt 5.9 %. Ved endt levetid på varmepumpen vil rørsystemet fortsatt ha 30 år igjen med levetid, som gjør at en investering i ny pumpe kan gjøres for å få nye 20 år med bergvarme.

På grunn av usikre investeringskostnader vil ikke NNV-beregningen være helt pålitelig, men kan brukes som en pekepinn på at varmepumpe kan være lønnsomt. Innsparingene på cirka 2.0 Mkr (se tabell 5.6) er et brukbart estimat på hva fabrikkens kan forvente å spare inn på en bergvarmepumpe.

Anbefaling til videre arbeid er å gå dypere til verks i å undersøke berggrunnens termiske egenskaper, for å finne et bedre estimat på hvor mange energibrønner som bør investeres i. Det bør også bli gjort nye dimensjoneringsberegninger hvor varmebehovet til kontorbygget tas med i beregningene. Dette kan gjøres når kontorbygget er prosjektert.

Dersom det er lønnsomt for Spilka å installere varmepumpe kan det også være det for andre bygninger i Ålesund med lignende varmebehov.

7.4 Solceller

Det ble gjennomført en lønnsomhetsanalyse, en besparingsanalyse og en NNV-beregning for installasjon av solceller på vegger og tak av fabrikkens. I lønnsomhetsanalysen ble det funnet, på figur 5.15 og 5.16, at å installere rundt 400 kWp totalt på vegger og tak med effekt vil være en gunstig investering selv om de antatte parameterene skulle avvike noe. Dette vil kunne spare rundt 300 MWh for fabrikkens årlig. Disse besparelsene i lag med en kalkulasjonsrente på 5 % og en levetid på 30 år gir en NNV på rundt 1.3 Mkr og en tilbakebetalingstid på 21 år.

Resultatet av NNV-beregningen viser at det trolig vil være lønnsomt å investere i solceller for fabrikkens. Det anbefales at videre undersøkelser på investeringskostnader gjøres for å skape større sikkerhet over NNV-beregningen.

I diskusjonen ble det argumentert for at den årlige solinnstrålingen er noe høyt i forhold til hva som normalt forventes. Grunnen til dette er ikke kjent. Det kan være at solforholdene i Ålesund er bedre enn forventet. Anbefaling til videre arbeid vil være å undersøke årsaken til det høye potensialet.

Siden det sannsynligvis er lønnsomt for Spilkas fabrikk å installere solceller vil det også trolig også være det for andre industribygg i Ålesund som trenger mye kraft. Spesielt da bygg med lik geometri; et stort og flatt takareal.

7.5 Oppsummert

Skal en gjøre endringer på Fabrikken fra et energi-økonomisk perspektiv, er følgende løsninger dem som gav økonomisk profitt, rangert etter kortest tilbakebetalingstid øverst:

- Plastlameller i porter og lasteramper
- Buffersone innenfor porter og lasteramper
- Installasjon av varmepumpe
- Solkraft på vegg
- Solkraft på tak

Skal en gjøre endringer på fabrikken fra kun et rent energi-perspektiv, er følgende løsninger de tre som gir størst utslag:

- Solkraft på tak
- Installasjon av varmepumpe
- Etterisolering av bygningsdeler fra 80-tallet.

Referanseliste

- [1] SN/K 034. *NS-EN ISO 10456:2007+NA:2010*. URL: <https://www.standard.no/no/nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=461975> (sjekket 14.05.2023).
- [2] Av Redaksjonen-3 oktober 2022. *Vindsperre forbedrer isolasjonen med 10 %*. nb. Section: Isolering. Okt. 2022. URL: <https://gjoerdetselv.com/energisparing/isolering/vindsperre-beskytt-isolasjonen-med-vindsperre> (sjekket 13.05.2023).
- [3] Av Redaksjonen-28 mars 2023. *Guide: Alt du skal vite om dampsperre*. nb. Section: Isolering. Mar. 2023. URL: <https://gjoerdetselv.com/energisparing/isolering/aldri-mer-i-tvil-om-dampsperreren> (sjekket 13.05.2023).
- [4] Thomas Aanensen. *Elektrisitetspriser - 09387: Kraftpris, nettleie og avgifter for husholdninger, etter kvartal og statistikkvariabel*. nb. 2023. URL: <https://www.ssb.no/statbank/sq/10082716> (sjekket 13.05.2023).
- [5] airtecnicos. *Air Curtains*. Engelsk. Feb. 2022. URL: <https://www.airtecnicos.com/download/file/10009/air-curtains-price-list-2022-r0.pdf> (sjekket 25.04.2023).
- [6] airtecnicos. *Maxwell luftgardin*. URL: <https://www.luftpporter.com/produkter/maxwell-luftgardin> (sjekket 13.05.2023).
- [7] airtecnicos. *Windbox L,XL luftgardin*. URL: <https://www.luftpporter.com/produkter/windbox-lxl-luftgardin> (sjekket 13.05.2023).
- [8] *Alt om strømpriser*. no. 2022. URL: <https://www.fornybarnorge.no/strommarked/derfor-er-stromprisen-hoyere-i-ar-enn-i-fjor/> (sjekket 20.05.2023).
- [9] Reynaers Aluminium. *U-verdi og K-verdi*. no-SE. Des. 2017. URL: <https://www.reynaers.se/no-SE/u-verdi-og-k-verdi> (sjekket 10.05.2023).
- [10] Simon Andre. *BAPV vs BIPV : what are the differences?* en-GB. Nov. 2019. URL: <https://www.asca.com/news/bapv-vs-bipv-what-are-the-differences/> (sjekket 14.05.2023).
- [11] v Kommunal-og arbeidsdepartementet. *Byggeforskrift 1985*. Norsk. Nov. 1984. URL: https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/byggeforskrift-1985.pdf (sjekket 03.03.2023).
- [12] Arbeidstilsynet. *§ 7-2. Resirkulering av luft i ventilasjonsanlegg*. no. URL: <https://www.arbeidstilsynet.no/regelverk/forskrifter/arbeidsplassforskriften/7/7-2/> (sjekket 14.05.2023).
- [13] Johannes de Beer. *Grunnvarme*. Nov. 2020. URL: <https://www.ngu.no/emne/grunnvarme>.
- [14] *Berggrunn*. no. URL: https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/ (sjekket 14.05.2023).
- [15] *Bergvarme- og jordvarmepumpe – Varmepumpeforeningen*. no. 2023. URL: <https://www.varmepumpeinfo.no/varmepumpe typer/bergvarmepumpe-og-jordvarmepumpe> (sjekket 16.05.2023).
- [16] Bestetidareise.no. *Ålesund klima Vanntemperatur Beste tid å reise*. nb. URL: <https://www.bestetidareise.no/norge/alesund-2946187/> (sjekket 10.05.2023).
- [17] Bygg og Bevar / Bygg og bevar. *Hva er U-verdi? - Bygg og Bevar*. no. URL: <https://www.byggogbevar.no/pusse-opp/vindu-doer/artikler/hva-er-u-verdi> (sjekket 11.05.2023).

- [18] Mohamed Khalifa Boutahir mfl. "Effect of Feature Selection on the Prediction of Direct Normal Irradiance". I: *Big Data Mining and Analytics* 5 (des. 2022), s. 309 –317. DOI: 10.26599/BDMA.2022.9020003.
- [19] Arne M. Bredesen og Gustav Lorentzen. *varmepumpe*. no. Jan. 2023. URL: <http://snl.no/varmepumpe> (sjekket 14.02.2023).
- [20] *Byggesøknad for solcelle- eller solfangaranlegg - Ålesund kommune*. URL: <https://alesund.kommune.no/plan-bygg-og-eigedom/skal-du-bygge-rive-eller-endre/ma-du-sende-byggesoknad/byggesoknad-for-solcelle-eller-solfangaranlegg.1510.aspx> (sjekket 19.05.2023).
- [21] *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. no. URL: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17> (sjekket 10.05.2023).
- [22] Climate.OneBuilding.Org. *climate.onebuilding.org*. Mar. 2023. URL: <https://climate.onebuilding.org/> (sjekket 10.05.2023).
- [23] daniel. *5 Grunner for å velge et Bergvarmeanlegg*. nb-NO. Jan. 2021. URL: <https://www.hitechenergy.no/5-grunner-for-a-velge-bergvarmeanlegg/> (sjekket 10.04.2023).
- [24] *Density Of Snow And Ice - Energy Balance*. en. Mai 2023. URL: <https://www.climate-policy-watcher.org/energy-balance/density-of-snow-and-ice.html> (sjekket 21.05.2023).
- [25] Sustainable By Design. *Sustainable By Design :: Window SHGC*. URL: https://susdesign.com/popups/overhang_annual_beta/inputSHGC.php (sjekket 14.05.2023).
- [26] Peter Duffett-Smith, Jonathan Zwart og Peter Duffett-Smith. *Practical astronomy with your calculator or spreadsheet*. 4th ed. OCLC: ocn670374857. Cambridge ; New York: Cambridge University Press, 2011, s. 66. ISBN: 978-0-521-14654-8.
- [27] *Energibrønnboring - Energibrønn som varmekilde*. nb-NO. URL: <https://www.hitechenergy.no/varmesystemer/energibronn/> (sjekket 16.05.2023).
- [28] US Department of Energy. *About Building Energy Modeling*. en. URL: <https://www.energy.gov/eere/buildings/about-building-energy-modeling> (sjekket 14.05.2023).
- [29] US Department of Energy. *Energy Performance Ratings for Windows, Doors, and Skylights*. en. URL: <https://www.energy.gov/energysaver/energy-performance-ratings-windows-doors-and-skylights> (sjekket 14.05.2023).
- [30] Enova. *Balansert ventilasjon | Oppgradere huset*. nb-NO. URL: <https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/oppgradere-huset/balansert-ventilasjon/> (sjekket 10.05.2023).
- [31] *Etterisolering av murvegger*. NORSK. URL: <file:///C:/Users/kyros/Downloads/Etterisolering+av+murvegger.pdf>.
- [32] *Fasadeendring: En komplett guide (pris, vinduer, søknadspliktig)*. no. URL: <https://www.byggstart.no/guide/fasadeendring> (sjekket 19.05.2023).
- [33] *Forskrift om habilitering og rehabilitering - Lovdata*. URL: <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2001-06-28-765> (sjekket 11.05.2023).
- [34] *Garasjeport*. nb-NO. URL: <https://www.garasjer.no/oppgrader-din-garasje/garasjeport/> (sjekket 13.05.2023).
- [35] Gerdmanns. *Plastlameller, PVC-gardin & Sveiseskjerm | Fri Frakt | Gerdmanns*. URL: <https://www.gerdmans.no/lager-og-industri/sikkerhet/plastlameller-sveiseskjermer?>

- gclid=CjwKCAjwx_eiBhBGEiwA15gLN-3brEPON-__AT0t8Ea-pGdKMTQvgfxlpQM8j9bt45qtLBkgJ6rphoCzBwE (sjekket 12.05.2023).
- [36] Torgeir Henden Lisa og Ericson. *Teknologianalyser 2018 - Bruken av solkraft vokser raskt*. no. 2018. URL: https://publikasjoner.nve.no/faktaark/2019/faktaark2019_01.pdf?fbclid=IwAR1aK610rFdUSbF8EMCLSGAqiWSQtfWm3cMozi3qLrIBQ_GtdV8tqtFXc (sjekket 06.05.2023).
- [37] *Historiske strømpriser – Pris på strøm før og nå*. nb. URL: <https://www.fjordkraft.no/strom/strompriser/historiske-strompriser/> (sjekket 19.05.2023).
- [38] Jostein Karlsen Hjertnes. *LCC-analyse for varmpumpeanlegg*. no. 2021. URL: <https://munin.uit.no/bitstream/handle/10037/25256/thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (sjekket 12.04.2023).
- [39] Knut Hofstad. *varmefaktor*. no. Okt. 2021. URL: <https://snl.no/varmefaktor> (sjekket 15.05.2023).
- [40] *Horizons System*. URL: <https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons/> (sjekket 19.05.2023).
- [41] *Hva koster bergvarme? Pris i 2023*. no. URL: <https://www.boligsmart.no/pris/bergvarme> (sjekket 15.05.2023).
- [42] *Hva koster det å bytte vinduer? | Pris i 2023*. no. URL: <https://boligfiks.no/pris/vinduer-1535984069225x459259181749075650> (sjekket 16.05.2023).
- [43] Thermtest Instruments. *Thermal Conductivity and Thermal Resistance Calculator*. en-US. URL: <https://thermtest.com/thermal-resources/thermal-conductivity-and-thermal-resistance-calculator> (sjekket 14.05.2023).
- [44] ISO. *ISO - International Organization for Standardization*. en. Apr. 2023. URL: <https://www.iso.org/home.html> (sjekket 11.05.2023).
- [45] Knut Ivar Edvardsen og Trond Ø. Ramsrad. “Materialer og komponenter”. NORSK. I: *Trehus*. OSLO, s. 126. ISBN: 978-82-536-1391-8.
- [46] Knut Ivar Edvardsen og Trond Ø. Ramsrad. *Trehus*. NORSK. 2020. OSLO: SINTEF, 2014. ISBN: 978-82-536-1391-8.
- [47] *Kibsgaard-Petersen*. en-US. URL: <http://www.k-p.no/prosjekter/spilka-industrianlegg/> (sjekket 17.05.2023).
- [48] Kiwa. *Ultralydtesting av betong | Tjenester | Kiwa Norge*. no-NO. URL: <https://www.kiwa.com/no/no/tjeneste/inspeksjon/ultralydtesting-av-betong/> (sjekket 16.05.2023).
- [49] Ålesund Kommune. *Verne- og Byformingsplan for Ålesund Sentrum*. Norsk. Mar. 2001. URL: https://alesund.kommune.no/_f/p1/id05ea4d0-003d-4f78-b1c2-c0d2d7b739f0/verneplansentrum.pdf (sjekket 14.05.2023).
- [50] *Kva må du søke om ved små endringar innandørs? - Ålesund kommune*. URL: <https://alesund.kommune.no/plan-bygg-og-eigedom/skal-du-bygge-rive-eller-endre/ma-du-sende-byggesoknad/kva-ma-du-soke-om-ved-sma-endringar-innandors.1512.aspx> (sjekket 19.05.2023).
- [51] *Kva vil det seie å endre fasade? - Ålesund kommune*. URL: <https://alesund.kommune.no/plan-bygg-og-eigedom/skal-du-bygge-rive-eller-endre/ma-du-sende-byggesoknad/kva-vil-det-seie-a-endre-fasade.1582.aspx> (sjekket 19.05.2023).

- [52] Kvalitetssjef. *Forvaltning, drift og vedlikehold av solenergianlegg*. nb. 2019. URL: <https://blogg.fusen.no/alle/fdv-forvaltning-drift-vedlikehold-solceller-og-solenergianlegg> (sjekket 07.05.2023).
- [53] David R. Legates. "Latent Heat". en. I: *Encyclopedia of World Climatology*. Red. av John E. Oliver. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Dordrecht: Springer Netherlands, 2005, s. 450–451. ISBN: 978-1-4020-3266-0. DOI: 10.1007/1-4020-3266-8_124. URL: https://doi.org/10.1007/1-4020-3266-8_124 (sjekket 16.05.2023).
- [54] *Liftmaster LM75EVK garasjeportåpner, Liftmaster Evolution*. nb-NO. URL: <https://portspesialisten.com/fjernkontroll/liftmaster-lm75evk-garasjeportapner/> (sjekket 13.05.2023).
- [55] Lovdata. *Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven)* - Lovdata. Norsk. lovdata. Jan. 2023. URL: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71> (sjekket 14.05.2023).
- [56] Thomas Leypoldt Marthinsen. *Fordeler og ulemper med varmepumpe | TjenesteTorget*. no. Okt. 2019. URL: <https://tjenestetorget.no/blogg/fordeler-og-ulemper-med-varmepumpe> (sjekket 11.04.2023).
- [57] Mathworks. *MATLAB vs. Python: Which one is right for you?* en. URL: <https://se.mathworks.com/products/matlab/matlab-vs-python.html> (sjekket 14.05.2023).
- [58] Naturbo. *What is transmission heat loss? - naturbo - dry installation system*. URL: <https://www.naturbo.co.uk/wall-heating-system/faq-frequently-asked-questions/what-is-transmission-heat-loss.html> (sjekket 10.05.2023).
- [59] *Norgeskart*. URL: <https://www.norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=3&lat=7197864.00&lon=396722.00> (sjekket 17.05.2023).
- [60] Norhage. *PVC Lamellgardiner System |PVC Gardiner 50m |Norhage.no*. nb-NO. URL: <https://norhage.no/produkt/byggematerialer/pvc-lamellgardiner-og-tilbehor/pvc-lamellgardiner-system/> (sjekket 15.05.2023).
- [61] *Om strømpriser*. no. Apr. 2023. URL: <https://www.statnett.no/om-statnett/bli-betere-kjent-med-statnett/om-strompriser/> (sjekket 13.05.2023).
- [62] OpenStudio. *OpenStudio*. URL: <https://openstudio.net/> (sjekket 11.05.2023).
- [63] Otovo. *Solceller i Norge – hvor effektive er de?* nb-NO. Mar. 2023. URL: <https://www.otovo.no/blog/solcellepanel-solceller/solceller-norge-virkningsgrad/> (sjekket 10.05.2023).
- [64] Peak. *Solar Heat Gain Coefficient: What Exactly Is It?* en-US. Section: Windows. Jan. 2022. URL: <https://www.peakcustomremodeling.com/solar-heat-gain-coefficient/> (sjekket 10.05.2023).
- [65] Aurora Retterstøl. *VURDERING AV SOLCELLER PÅ FJÆRE BARNESKOLE*. no. 2020. URL: https://www.grimstad.kommune.no/_f/p1/idab9ec97-a7f3-43e7-93c0-47b5abad00ce/h-rap-02-vurdering-av-solceller-pa-fjare-barneskole_siste.pdf (sjekket 06.05.2023).
- [66] Germán Ramos Ruiz og Carlos Fernández Bandera. *Validation of Calibrated Energy Models: Common Errors*. English. Okt. 2017. (Sjekket 10.03.2023).
- [67] *Rulleporter*. URL: <https://carolanportservice.no/rulleporter.htm> (sjekket 13.05.2023).

- [68] Oliver Rønning. *Korona og dårlig vær gir historisk lav strømpris – NRK Nordland*. 2020. URL: <https://www.nrk.no/nordland/korona-og-darlig-vaer-gir-historisk-lav-strompris-1.14961827> (sjekket 19.05.2023).
- [69] Tupello Property Services. *Industrial Air Curtains for Doors UK*. en-GB. URL: <https://www.tupellopropertyservices.co.uk/air-curtains/> (sjekket 10.05.2023).
- [70] Shaurya Singh. *Solar Irradiance Concepts: DNI, DHI, GHI & GTI*. en-US. Jan. 2020. URL: <https://www.yellowhaze.in/solar-irradiance/> (sjekket 23.04.2023).
- [71] SINTEF. *471.031 Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler - Byggforskserien*. URL: https://www.byggforsk.no/dokument/215/egenlaster_for_bygningsmaterialer_byggevarer_og_bygningsdeler (sjekket 14.05.2023).
- [72] SINTEF. *Byggforskserien*. URL: <https://www.byggforsk.no/byggforskserien> (sjekket 15.05.2023).
- [73] SINTEF. *SINTEF - Anvendt forskning, teknologi og innovasjon*. no. Mai 2023. URL: <https://www.sintef.no/> (sjekket 15.05.2023).
- [74] *SINTEF Byggforsk Luftede kledninger*. NORSK. URL: <file:///C:/Users/kyros/Downloads/SB%20rapport%20nr%202-1.pdf>.
- [75] *Sinussetningen - Matematikk 1T - NDLA*. nb. URL: <https://ndla.no/subject:1:8bfd0a97-d456-448d-8b5f-3bc49e445b37/topic:5:1:165344/topic:4:1:165413/resource:1:23252> (sjekket 10.05.2023).
- [76] *Solceller i Norge – hvor effektive er de?* nb-NO. Mar. 2023. URL: <https://www.otovo.no/blog/solcellepanel-solceller/solceller-norge-virkningsgrad/> (sjekket 18.05.2023).
- [77] *Solkraft - NVE*. no. 2023. URL: <https://www.nve.no/energi/energisystem/solkraft/> (sjekket 14.05.2023).
- [78] Build Test Solutions. *Ventilation and Infiltration - Build Test Solutions*. en-GB. Feb. 2022. URL: <https://www.buildtestsolutions.com/sectors/ventilation-and-infiltration> (sjekket 10.05.2023).
- [79] Bjørnar Strand mfl. "POTENSIALET FOR UTNYTTELSE AV GEOTERMISK VARME I NORGE". no. I: (2004).
- [80] Bjørnar Strand mfl. "POTENSIALET FOR UTNYTTELSE AV GEOTERMISK VARME I NORGE". no. I: (2004).
- [81] Steven Strong. *Building Integrated Photovoltaics (BIPV) | WBDG - Whole Building Design Guide*. Okt. 2016. URL: <https://www.wbdg.org/resources/building-integrated-photovoltaics-bipv> (sjekket 14.05.2023).
- [82] DailyCivil Team. *Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPV Test)*. en-US. Jul. 2021. URL: <https://dailycivil.com/ultrasonic-pulse-velocity-test-upv-test/> (sjekket 16.05.2023).
- [83] *TEMAHEFTE BYGGTEKNIKK*. NORSK. URL: <https://www.optimera.no/globalassets/brosjyrer-og-kataloger/2016-og-2017/pdf-av-brosjyre/byggteknikk.pdf/download>.
- [84] Jan Vincent Thue. *Bygningsfysikk: Grunnlag*. Norsk. Trondheim: Vigmostad & Bjørke AS, mar. 2016. ISBN: 978-82-450-1994-0. (Sjekket 01.05.2023).

- [85] Thor-Christian Tuv. *Kutt strømkostnadene med solceller*. nb. Feb. 2021. URL: <https://blogg.fusen.no/alle/kutt-alle-fire-deler-av-stromprisen> (sjekket 13.05.2023).
- [86] Thomas C. Varkie. *Standards, Guidelines, Codes | Energy-Models.com*. URL: <https://energy-models.com/standards-guidelines-codes> (sjekket 14.05.2023).
- [87] *Varmepumpe forklaring: En komplett guide (pris, forklaring, funksjon)*. no. URL: <https://www.boligsmart.no/guide/varmepumpe-forklaring> (sjekket 15.05.2023).
- [88] S Veteljord. *Isolasjon – hva er det og hvilke typer finnes? - Byggvalg*. nb-NO. Section: Bolig. Aug. 2019. URL: <https://byggvalg.no/isolasjon-hva-er-det-og-hvilke-typer-finnes/> (sjekket 11.05.2023).
- [89] *Vindu H-vinduet+ Toppsving 3-Lags PVC 46293898H*. URL: <https://www.byggjhemme.no/hus-och-bygg/vinduer/toppsving-vindu/toppsving-vindu-pvc/vindu-h-vinduetplus-toppsving-3-lags-pvc/p-551223> (sjekket 13.05.2023).
- [90] *What are Ground Source Heat Pump Boreholes?* en-US. URL: <https://www.kensaheatpumps.com/boreholes/> (sjekket 15.05.2023).
- [91] Wikipedia. *Asimut — Wikipedia, det frie oppslagsverket*. [Hentet bilde fra denne siden. Ingen teori hentet fra denne kilden. På internett; henta 26-april-2023]. 2013. URL: [//nn.wikipedia.org/w/index.php?title=Asimut&oldid=2511865](https://nn.wikipedia.org/w/index.php?title=Asimut&oldid=2511865).
- [92] Xconvert. *Joules To Kilowatt-hours | Convert J To kWh Online - XConvert*. URL: <https://www.xconvert.com/unit-converter/joules-to-kilowatt-hours> (sjekket 16.05.2023).
- [93] Linda Ørstavik Öberg. *Hva består egentlig strømregningen din av?* no. Feb. 2022. URL: <https://www.huseierne.no/nyheter/hva-bestar-stromregningen-din-av/> (sjekket 06.05.2023).

VEDLEGG

VEDLEGG A MatLab script for beregninger om varmepumpe

VEDLEGG B MatLab script for beregninger av solceller

VEDLEGG C Grasshopper scripts for dataeksport, konstruering av modell, BEM, og solanalyse

VEDLEGG D Beregninger for klimaskjerm i Python

VEDLEGG E Data og diverse formler for BEM i Excel

VEDLEGG F Data fra parametrisk studie av solceller i Rhino-GrasshopperR +

VEDLEGG G Lovdata, Byggnormer, Standarder

VEDLEGG H Data fra Spilka

VEDLEGG I Data for strømpriser

VEDLEGG J Krav for U-verdier for konstruksjonsdeler etter TEK-17

VEDLEGG A

MatLab script for beregninger om varmpumpe

Bergvarmepumpe

```
clc;clear;

load effektdata.mat

Q = transpose(effektdata(:,3))*1000; %Wh/h
Q_VP_dim = 40000; %W
COP = 3.5;
P_m_berg = 28; %W/m
levetid = 20; %år
r = 0.05;
k_strompris = 1.03;

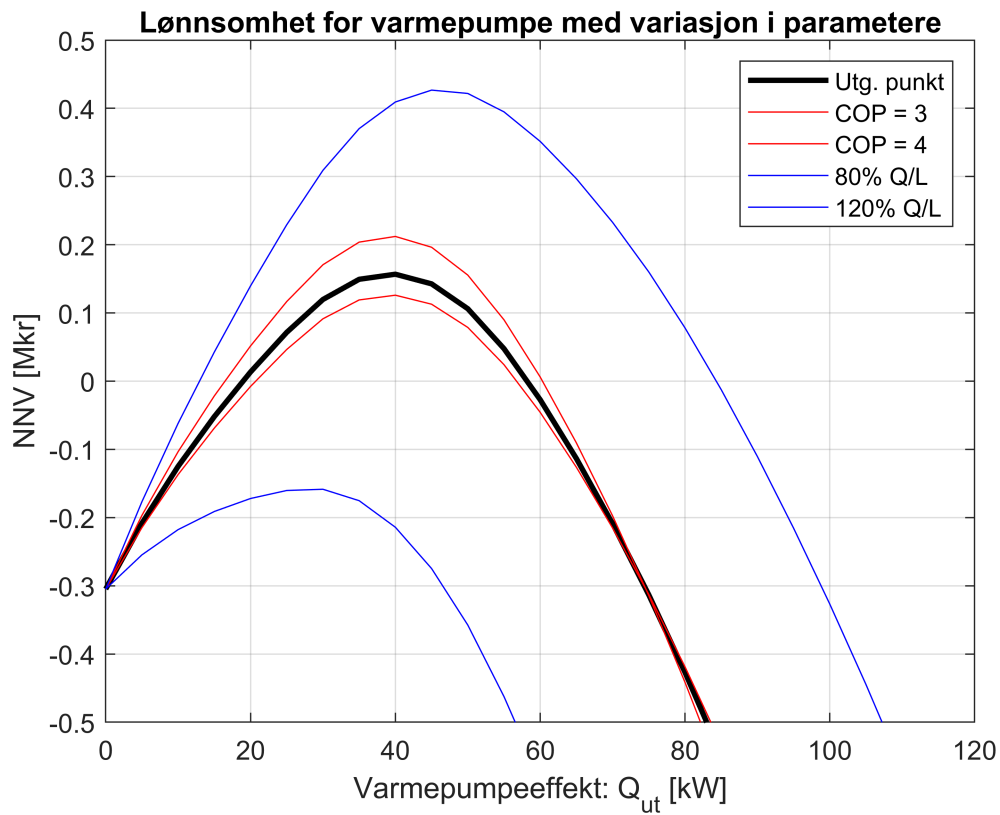
[NNV, t_tilbakebetal,Investering, E_VP, E_spart, bronner] = f_varmepumpeanalyse(Q,Q_VP_dim,COP,

Q installert = 40 kW
Brønner = 4.73 stk
Dekning = 58.12 %
Årlig spart = 166.23 MWh
NNV = 0.16 Mkr
T tilbake = 18 år
Investering = 1.86 Mkr
Årlig cashflow = 134.21 kkr
```

Optimal Installert

```
Q_VP_dim_vek = (0:5:150)*1000;
NNV_vek = zeros(1,length(Q_VP_dim_vek));
NNV_demo_COP = zeros(2,length(Q_VP_dim_vek));
NNV_demo_berg = zeros(2,length(Q_VP_dim_vek));
for i = 1:length(Q_VP_dim_vek)
    [NNV_vek(1,i)] = f_varmepumpeanalyse(Q,Q_VP_dim_vek(i),COP,P_m_berg,levetid,r,k_strompris);
    [NNV_demo_COP(1,i)] = f_varmepumpeanalyse(Q,Q_VP_dim_vek(i),COP-0.5,P_m_berg,levetid,r,k_strompris);
    [NNV_demo_COP(2,i)] = f_varmepumpeanalyse(Q,Q_VP_dim_vek(i),COP+1.5,P_m_berg,levetid,r,k_strompris);
    [NNV_demo_berg(1,i)] = f_varmepumpeanalyse(Q,Q_VP_dim_vek(i),COP,P_m_berg*0.8,levetid,r,k_strompris);
    [NNV_demo_berg(2,i)] = f_varmepumpeanalyse(Q,Q_VP_dim_vek(i),COP,P_m_berg*1.2,levetid,r,k_strompris);
end

clf
plot(Q_VP_dim_vek/1000,[NNV_vek/10^6 ],"k","LineWidth",2)
xlabel("Varmepumpeeffekt: Q_{ut} [kW]")
ylabel("NNV [Mkr]")
hold on
plot(Q_VP_dim_vek/1000,[NNV_demo_COP/10^6],"r")
plot(Q_VP_dim_vek/1000,[NNV_demo_berg/10^6],"b")
ylim([-0.5,0.5])
title("Lønnsomhet for varmepumpe med variasjon i parametere")
legend("Utg. punkt", "COP = 3", "COP = 4", "80% Q/L", "120% Q/L")
grid on
```

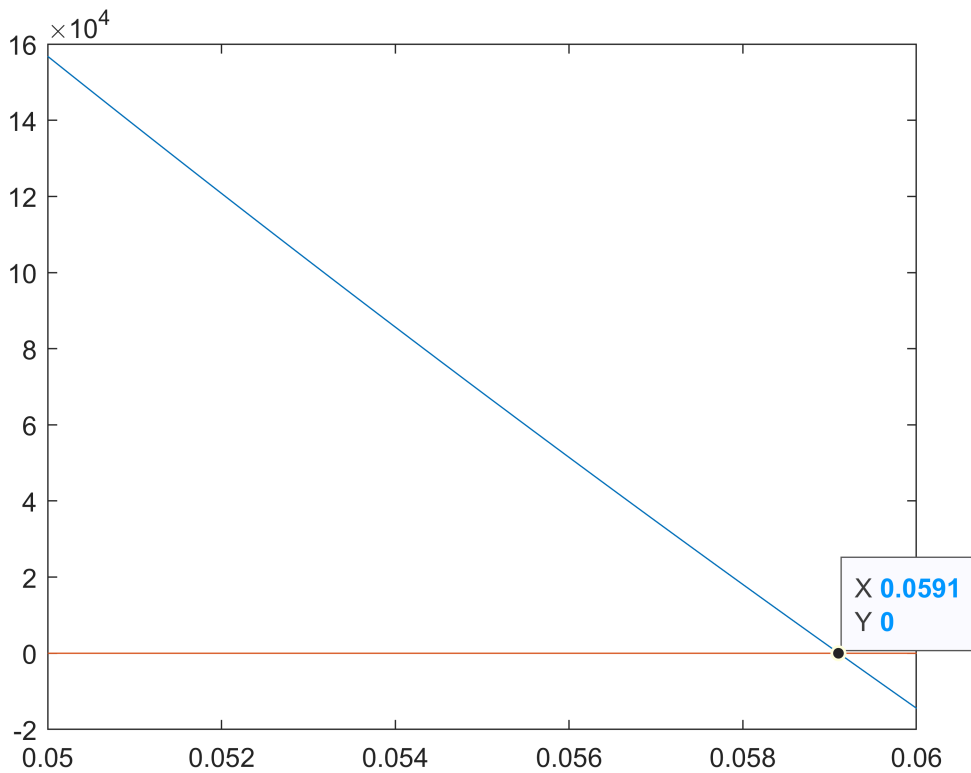


Internrente

```

r_IRR = 0.05:0.0001:0.06;
NNV_vek = zeros(1,length(r_IRR));
for i = 1:length(r_IRR)
    [NNV_vek(1,i)] = f_varmepumpeanalyse(Q,40000,COP,P_m_berg,levetid,r_IRR(i),k_strompris);
end
clf
plot(r_IRR,NNV_vek,r_IRR,zeros(size(r_IRR)))

```



Funksjoner

```
function [NNV, t_tilbakebetal, Investering, E_VP, E_spart, bronner] = f_varmepumpeanalyse(Q,Q_u)

%%% Beregner Kraftbesparelser %%%
Q_el = Q-Q_ut_max; % W
Q_el(Q_el<0) = 0;
Q_el = f_manedsum(Q_el); %Månedlig varmebehov som må dekkes av strøm %Wh
Q_forbruk = f_manedsum(Q); %Månedlig varmebehov
Q_ut = Q_forbruk-Q_el; %Månedlig varmebehov som dekkes av varmepumpe
dekningsfaktor = sum(Q_ut)/sum(Q_forbruk); %Andel av varmebehovet som dekkes av VP

E_VP = Q_el + Q_ut/COP; % Månedlig energiforbruk med varmepumpe. Elektrisitet til direkte
E_spart = Q_forbruk - E_VP; % Månedlig energi spart

%%% Beregner Økonomiske besparelser %%%
strompris_unett = [52.32,46.26,45.45,51.54,37.69,34.80,38.93,47.56,60.04,41.32,55.89,89.47];
nettleie = [7.65,7.62,7.81,4.32,4.58,4.73,7.02,5.04,4.5,4.33,5.83,5.76]/100;
strompris_mat_eksp = (transpose(transpose(strompris_unett)*k_strompris.^(1:levetid))+nettleie)

cash_spart = E_spart .* strompris_mat_eksp; % Alle besparelser over hele levetiden i måneds

%%% Beregner investeringspris %%%
Fjelldybde = 200; %m
Losdybde = 5; %m
```

```

d_bronn = 15; %m distanse mellom brønner
bronndybde = Fjelldybde+Losdybde;

p_los = 600; %kr/m
p_fjell = 200; %kr/m
p_kollektor = 650; %kr/m

Q_bronn = q_berg*bronndybde; % W/m * m
Q_losmasse = d_bronn*20; % 15 m mellom brønner, 20 W/m i grus
P_tot_bronn = Q_bronn + Q_losmasse; %W/bronn , Varmeeffekt per brønn

Q_inn = Q_ut_max*(1-1/COP); % Q_inn: Varme som hentes fra berg
bronner = Q_inn/P_tot_bronn; % antall brønner som må borres

l_z = bronner*bronndybde*2; % Lengde av vertikale rør (tur+retur)
l_xy = bronner*d_bronn*2; % Lengde av horisontale rør (tur+retur)

p_bor = (p_los*Losdybde + p_fjell*Fjelldybde)*bronner; % Pris for brønner, Neglisjerer grav
p_slange = (l_xy+l_z)*p_kollektor; % Pris for kollektorslange
p_pumpe = 300000; % kr , Vilkårleg antagelse for pris på pumpe og installasjon
Investering = p_bor+p_slange+p_pumpe;

%%% Vedlikehold %%%
cash_vedlikehold = Investering*0.025/levetid/12; % Månedlig vedlikehold.

%%% Beregner NNV %%%
r_m = r/12; % Månedlig rente
cashflow = cash_spart-cash_vedlikehold; % Netto besparelse
c_N = zeros(ones(1,levetid*12));
for i = 1:levetid % Deler opp matrise og setter sammen til en vektor
    c_N(1+(i-1)*12:i*12) = cashflow(i,:);
end
I = [-Investering, c_N]; % [0: Investering, levetidsinntekter, ny pumpeinvestering, levetid

[NNV,~,~,t_tilbakebetal] = f_NNV(I, r_m); % Beregner NNV og tilbakebetalingstid for invest
t_tilbakebetal = ceil(t_tilbakebetal/12); % Tilbakebetalingstid konverteres til år og runde

if exist('visverdier','var')
    disp("Q installert = " + num2str(round(sum(sum(Q_ut_max))/10^3,2)) + " kW")
    disp("Brønner = " + num2str(round(bronner,2)) + " stk")
    disp("Dekning = " + num2str(round(dekningsfaktor*100,2)) + " %")
    disp("Årlig spart = " + num2str(round(sum(sum(E_spart))/10^6,2)) + " MWh")
    disp("NNV = " + num2str(round(NNV/10^6,2))+ " Mkr")
    disp("T tilbake = " + num2str(t_tilbakebetal)+ " år")
    disp("Investering = " + num2str(round(Investering/10^6,2))+ " Mkr")
    disp("Årlig cashflow = " + num2str(round(sum(cashflow(1,:)/10^3,2))+ " kkr")
end

end

function manedsum = f_manedsum(vek_h)
% Tar inn en 1x8760 vektor og gir ut en 1x12 vektor med månedssummer

```

```

manedsum = zeros(1,12);
maned = [0,31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31]*24; % timer per måned
for i = 2:length(manedsum)+1 % Summerer sammen verdiene for timene tilhørende hver måned
    m = vek_h(sum(1+sum(maned(1:i-1))):sum(maned(1:i)));
    manedsum(i-1) = sum(m);
end
end

function [NNV,NNV_v,NNV_i,t_tilbakebetal] = f_NNV(I, r)
N = length(I)-1;
n = 0:N;
NNV_v = I./(1+r).^n;
NNV_i = zeros(1,length(NNV_v));
for i = 1:length(NNV_i)
    NNV_i(i) = sum(NNV_v(1:i));
end
t_tilbakebetal = length(NNV_i(NNV_i<0));
NNV = sum(NNV_v);
end

```

VEDLEGG B

MatLab script for beregninger av solceller

SOLanalyse - fulstendig funksjon

```
clc;clear;
```

Parametere

```
strompris_unett = [52.32,46.26,45.45,51.54,37.69,34.80,38.93,47.56,60.04,41.32,55.89,89.47]/100  
nettleie = [7.65,7.62,7.81,4.32,4.58,4.73,7.02,5.04,4.5,4.33,5.83,5.76]/100; % Gjennomsnittlig  
strompris = strompris_unett+(nettleie+0.1541+0.01)*1.25; %spott + nett + elavgift + enova , ink  
spottpris = strompris/1.25 - nettleie - 0.1541-0.01; %mervendi: 25 %, el-avgift: 15.41 øre/kWh
```

```
A_tak = 7000; % 7000 utgangspunkt  
P_inst = 400*10^3; %Wp  
pris_wp_PV = 10; %kr/Wp  
%strompris = [50.32,46.65,41.98,42.46,37.99,34.44,40.03,46.09,56.76,41.49,53.58,83.47]/100; % k  
%strompris = ones(1,12);  
pris_avhending = P_inst*0;  
pluss_kunde_loesning = "D"; %A: 1kr, D: spottpris uten avgifter  
r = 0.05;  
k_strompris_eksp = 1.03; %vekstfaktor strømpris. 13-22\20.  
levetid = 30; %år  
kp = 200; %Wp/m^2
```

```
strompris_mat_eksp = transpose(transpose(strompris_unett)*k_strompris_eksp.^(1:levetid))+ (nettleie  
spottpris_mat_eksp = transpose(transpose(spottpris)*k_strompris_eksp.^(1:levetid));
```

```
%Solinnstråling med skygetap og vinkeltap  
[GI,B] = f_skygetap(P_inst,kp,A_tak); %GI solinnstråling skyggekorrigert, B = radbredde/modulb  
[NNV_I,t_tilbakebetal,A_PV,e_PV,e_kjopt,e_solgt] = f_solanalyse(P_inst,pris_wp_PV,strompris_mat_eksp,
```

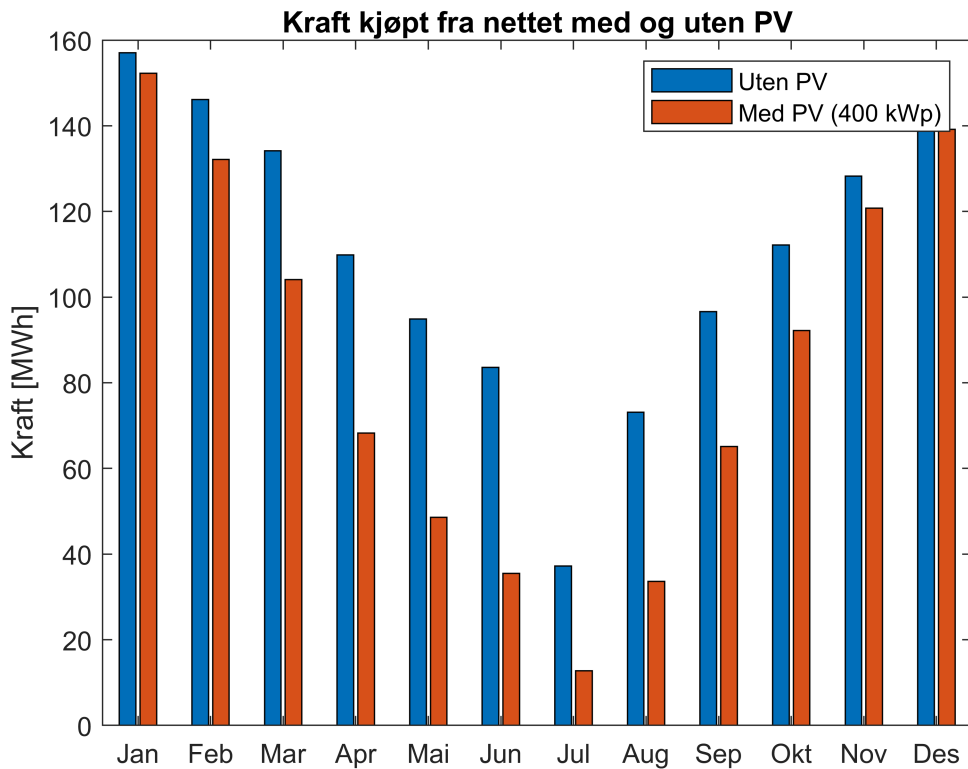
```
P_inst = 400000 kWp  
Areal_sol = 2000 kvm  
Årlig_produisert = 417.78 MWh  
Årlig_produisert/kvm = 209 kWh/kvm  
Årlig_kjopt = 1004.58 MWh  
Årlig_solgt = -108.67 MWh  
NNV = 1.29 Mkr
```

```
disp("B = " + num2str(B) + " -")
```

```
B = 3.5 -
```

Stolpediagram

```
maned_navn = ["Jan", "Feb", "Mar", "Apr", "Mai", "Jun", "Jul", "Aug", "Sep", "Okt", "Nov", "Des"];  
e_forbruk_maned = [157032,146114,134157,109864,94852,83567,37200,73155,96636,112186,128233,140000];  
clf  
bar(transpose([e_forbruk_maned/10^3;e_kjopt/10^6]))  
ylabel("Kraft [MWh]")  
title("Kraft kjøpt fra nettet med og uten PV")  
legend("Uten PV", "Med PV (" +int2str(P_inst/1000)+" kWp)")  
set(gca, 'XTickLabel',transpose(maned_navn))
```

Variere parametere

```

P_inst = (50:50:1500)*10^3;

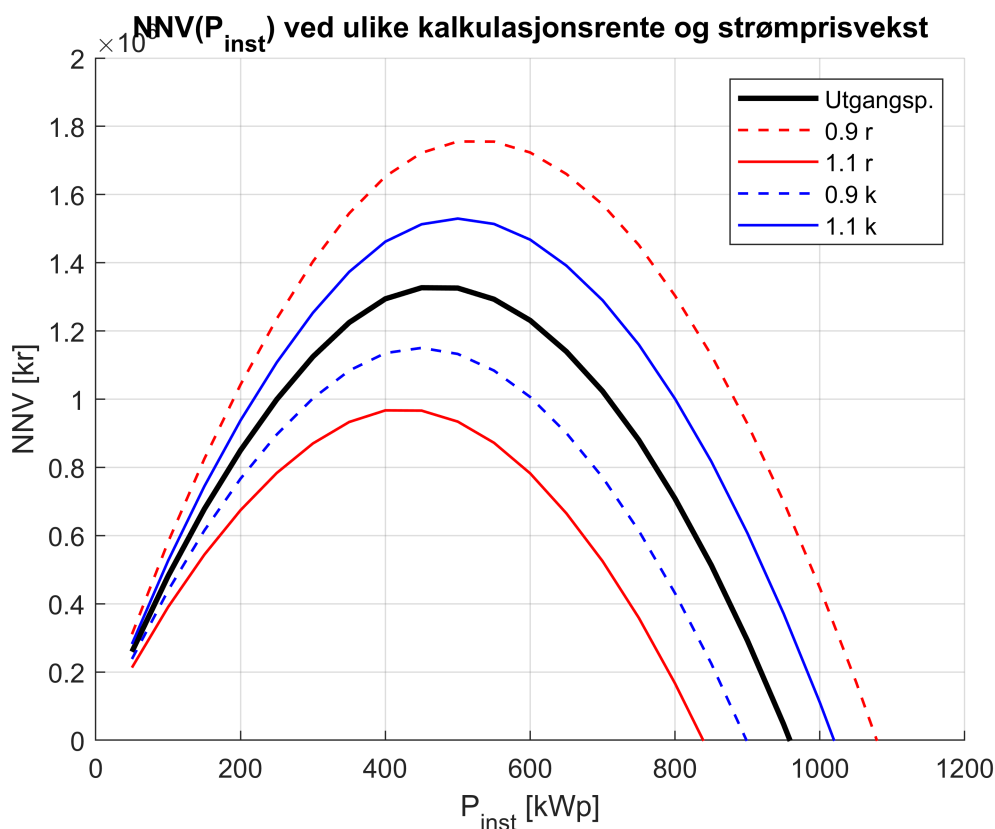
NNV_I_Pi = zeros(6,length(P_inst));
for i = 1:length(P_inst)
    [GI,~] = f_skyggetap(P_inst(i),kp,A_tak);
    [NNV_I,~,~,~,~,~] = f_solanalyse(P_inst(i),pris_wp_PV,strompris_mat_eksp,spottpris_mat_eksp);
    NNV_I_Pi(1,i) = NNV_I;
    [NNV_I,~,~,~,~,~] = f_solanalyse(P_inst(i),pris_wp_PV,strompris_mat_eksp,spottpris_mat_eksp);
    NNV_I_Pi(2,i) = NNV_I;
    [NNV_I,~,~,~,~,~] = f_solanalyse(P_inst(i),pris_wp_PV,strompris_mat_eksp,spottpris_mat_eksp);
    NNV_I_Pi(3,i) = NNV_I;
    strompris_mat_eksp = transpose(transpose(strompris_unett)*(k_strompris_eksp-(k_strompris_eksp-1)*levetid));
    spottpris_mat_eksp = transpose(transpose(spottpris)*(k_strompris_eksp-(k_strompris_eksp-1)*levetid));
    [NNV_I,~,~,~,~,~] = f_solanalyse(P_inst(i),pris_wp_PV,strompris_mat_eksp,spottpris_mat_eksp);
    NNV_I_Pi(4,i) = NNV_I;
    strompris_mat_eksp = transpose(transpose(strompris_unett)*(k_strompris_eksp+(k_strompris_eksp-1)*levetid));
    spottpris_mat_eksp = transpose(transpose(spottpris)*(k_strompris_eksp+(k_strompris_eksp-1)*levetid));
    [NNV_I,~,~,~,~,~] = f_solanalyse(P_inst(i),pris_wp_PV,strompris_mat_eksp,spottpris_mat_eksp);
    NNV_I_Pi(5,i) = NNV_I;
    strompris_mat_eksp = transpose(transpose(strompris_unett)*(k_strompris_eksp).^(1:levetid));
    spottpris_mat_eksp = transpose(transpose(spottpris)*(k_strompris_eksp).^(1:levetid));
end
clf
hold on
specs = ["k", "--r", "-r", "--b", "-b"];

```

```

vidde = [2,1,1,1,1];
for i = 1:length(specs)
    plot(P_inst/1000,NNV_I_Pi(i,:),specs(i),'LineWidth',vidde(i))
end
xlabel("P_{inst} [kWp]")
ylabel("NNV [kr]")
legend("Utgangsp.", "0.9 r", "1.1 r", "0.9 k", "1.1 k")
title("NNV(P_{inst}) ved ulike kalkulasjonsrente og strømprisvekst")
ylim([0,2*10^6])
xlim([0 1200])
grid on

```



```

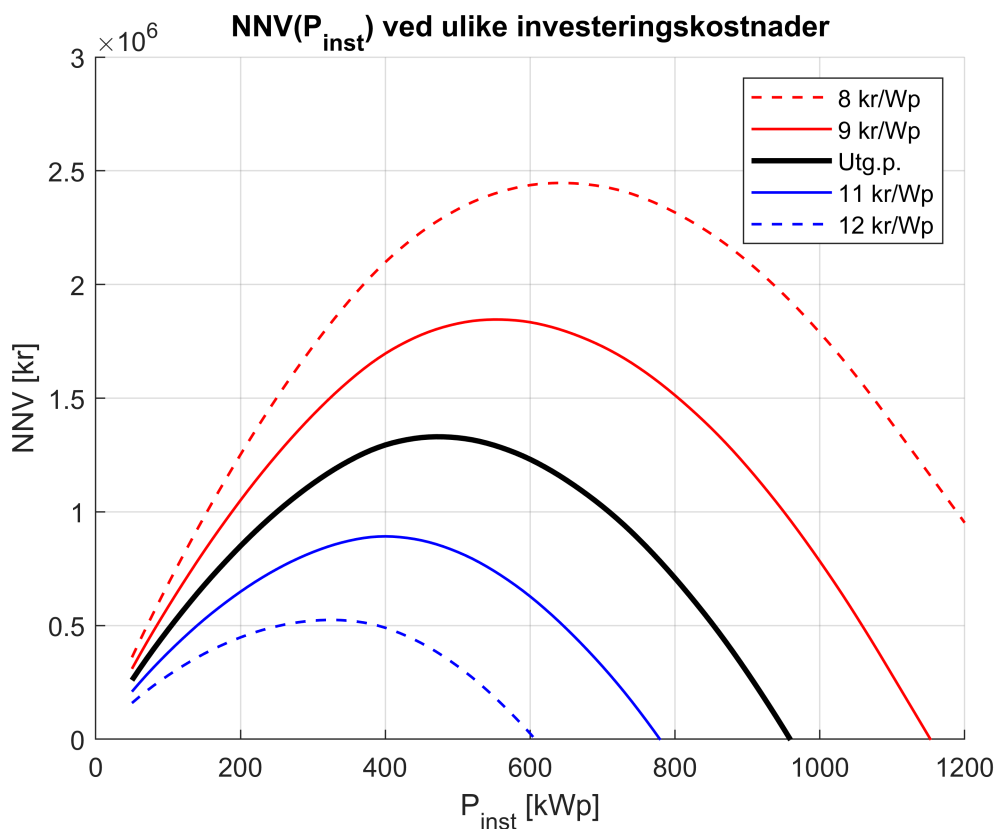
P_inst = (50:10:1200)*10^3;
NNV_I_Pi = zeros(6,length(P_inst));
for i = 1:length(P_inst)
    [GI,~] = f_skyggetap(P_inst(i),kp,A_tak);
    [NNV_I,~,~,~,~,~] = f_solanalyse(P_inst(i),pris_wp_PV*0.8,strompris_mat_eksp,spottpris_mat_eksp);
    NNV_I_Pi(1,i) = NNV_I;
    [NNV_I,~,~,~,~,~] = f_solanalyse(P_inst(i),pris_wp_PV*0.9,strompris_mat_eksp,spottpris_mat_eksp);
    NNV_I_Pi(2,i) = NNV_I;
    [NNV_I,~,~,~,~,~] = f_solanalyse(P_inst(i),pris_wp_PV*1,strompris_mat_eksp,spottpris_mat_eksp);
    NNV_I_Pi(3,i) = NNV_I;
    [NNV_I,~,~,~,~,~] = f_solanalyse(P_inst(i),pris_wp_PV*1.1,strompris_mat_eksp,spottpris_mat_eksp);
    NNV_I_Pi(4,i) = NNV_I;
    [NNV_I,~,~,~,~,~] = f_solanalyse(P_inst(i),pris_wp_PV*1.2,strompris_mat_eksp,spottpris_mat_eksp);
    NNV_I_Pi(5,i) = NNV_I;

```

```

end
clf
hold on
specs = ["--r", "-r", "k", "-b", "--b"];
vidde = [1,1,2,1,1];
for i = 1:length(specs)
    plot(P_inst/1000,NNV_I_Pi(i,:),specs(i),'LineWidth',vidde(i))
end
xlabel("P_{inst} [kWp]")
ylabel("NNV [kr]")
legend("8 kr/Wp", "9 kr/Wp", "Utg.p.", "11 kr/Wp", "12 kr/Wp")
title("NNV(P_{inst}) ved ulike investeringskostnader")
ylim([0,3*10^6])
xlim([0 1200])
grid on

```



Skyggetap

```

load("GI.mat")
P_inst = (50:50:1750)*10^3;
tap = zeros(size(P_inst));
GI_skygge = tap;
for i = 1:length(P_inst)
    GI_skygge(i) = sum(sum(f_skyggetap(P_inst(i),kp,A_tak)));
    tap(i) = 1- sum(sum(GI_skygge(i)))/sum(sum(GI));
end
clf

```

```

plot(P_inst/1000,tap*100,"k")
xlabel("Intallert effekt [kWp]")
ylabel("Skyggetap [%]")
title("Energitap og fra fra skygge på modlrader")
grid("on")

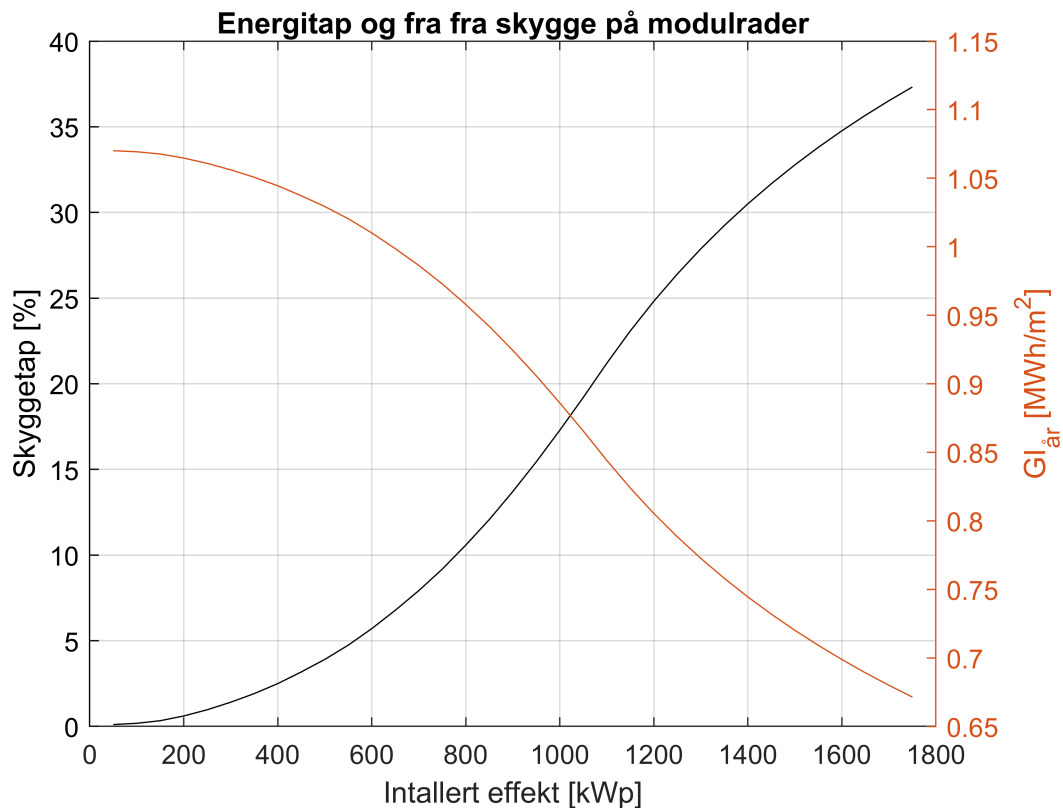
```

hold on

```

yyaxis right
plot(P_inst/10^3,GI_skygge/10^6)
ylabel("GI_{år} [MWh/m^2]")

```



THE FUNCTION

```

function [NNV_I,t_tilbakebetal,A_PV,e_PV,e_kjopt,e_solgt] = f_solanalyse(P_inst,pris_Wp_PV,stro
    load("effektdata.mat"); %Driftsprofilen over 2022 til fabrikken. 8760 datapunkter.

    % Månedskonsum
    e_forbruk_maned = [157032,146114,134157,109864,94852,83567,37200,73155,96636,112186,128233,
    maned = [31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31]; % dager per måned

    % Driftsprofil
    driftsprofil = vek_mat(effektdata(:,1))*1000; % Wh/h

    % Solcelleparametere - TwinPeak 4 - REC Solar

```

```

% Finner arealet av solceller
%   TP4_Wp = 365;
%   TP4_m2 = 1.755*1.04;
eta = kp/1000; %TP4_e/1000; % standard - STC
A_PV = P_inst/kp; % Areal solceller

%   eta_0 = 0.2;
%   degraderingsfaktor = 1-0.005;
%   n =
%   eta_deg = zeros(1,N);
%   for i = 1:N
%       eta_deg(i) = eta*degrad^i;
%   end

% Finner ut hvor mye kraft som kjøpes/selges
% Effektkurve = driftsprofil - solcelle
P_PV_tak = GI*A_PV*eta; % Wh produsert/h. 365x24 matrise
Effektkurve_h = driftsprofil - P_PV_tak; % Wh_forbruk/h
Effektkurve_pos = Effektkurve_h;
Effektkurve_neg = Effektkurve_h;
Effektkurve_pos(Effektkurve_pos<0) = 0;
Effektkurve_neg(Effektkurve_pos>0) = 0;
% kjøpt og solgt kraft
e_kjopt = dag_til_maned(sum(transpose(Effektkurve_pos))); % Wh kjøpt per måned
e_solgt = dag_til_maned(sum(transpose(Effektkurve_neg))); % Wh solgt per måned
e_PV     = dag_til_maned(sum(transpose(P_PV_tak)));

% Plusskundeavtale - løsning D brukes
if pluss_kunde_losning == "A" % Strøm selges for 1 kr/kWh
    pris_salg = ones(1,12);
elseif pluss_kunde_losning == "D" % Strøm selges spotpris uten moms og avgifter
    pris_salg = spottpris_mat;
end

%   % *** EFFEKTLEDD ***           Antas å være neglisjerbar
%   effekt = transpose(effektdata(:,1));
%
%   % Finner maks effekt per måned
%   glattegrad = 0;
%   max_effekt_maned = f_max_effekt(effekt,glattegrad);
%
%   % Effektledd priser
%   pris_kw_vinter = 58;
%   pris_kw_sommer = 25;
%   pris_kw = [ones(1,3)*pris_kw_vinter,ones(1,7)*pris_kw_sommer,ones(1,2)*pris_kw_vinter]; %
%   betal_effekt = max_effekt_maned.*pris_kw;
%   betal_effekt_faktisk = [23585, 25060, 23895, 7488, 6725, 6502, 5015, 7062, 7236, 6583, 17
%   korrigering = (betal_effekt_faktisk./betal_effekt);
%   pris_kw = pris_kw.*korrigering;
%   betal_effekt = max_effekt_maned.*pris_kw;
%
%   % effektkostnad med PV (Kun diffus sollys)
%   load("soldata.mat","diffuse_sol")
%   effekt_PV = mat_vek(driftsprofil)-transpose(diffuse_sol).*A_PV.*TP4_eta;

```

```

% max_effekt_maned_PV = f_max_effekt(effekt_PV,glattegrad)/1000;
% betal_effekt_PV = max_effekt_maned_PV.*pris_kw;
% c_sparing_effekt = betal_effekt-betal_effekt_PV;

% Økonomi
% Investert
Investering = P_inst*pris_Wp_PV;

% Spart
betal_maned_PV = e_kjopt/1000.*strompris_mat;
betal_maned = e_forbruk_maned.*strompris_mat;
c_sparing_maned = betal_maned-betal_maned_PV;

% Tjent
c_tjent_maned = -e_solgt/1000.*pris_salg;

% Vedlikehold proporsjonal med investering, per måned
c_vedlikehold_maned = -Investering*0.01/levetid/12;

% Finner netto inntekt i månedsoppløsning.
r_m = r/12;
c = c_sparing_maned+c_tjent_maned+c_vedlikehold_maned;
c_N = zeros(ones(1,levetid*12));
for i = 1:levetid
    c_N(1+(i-1)*12:i*12) = c(i,:);
end
I = [-Investering, c_N, -pris_avhending];

% NNV
[NNV_I,t_tilbakebetal] = NNV(I, r_m);

% Tilbakebetalingstid. Fra måneder til år
t_tilbakebetal = t_tilbakebetal/12; %år tilbakebetal
if t_tilbakebetal > levetid
    t_tilbakebetal = "Nei";
end

if exist('visverdier','var')
    %IRR = f_IRR(I)
    disp("P inst = " + num2str(P_inst)+ " kWp")
    disp("Areal sol = " + num2str(A_PV) + " kvm")
    disp("Årlig produsert = " + num2str(round(sum(sum(e_PV))/10^6,2)) + " MWh")
    disp("Årlig produsert/kvm = " + num2str(round(sum(sum(e_PV))/A_PV/10^3,0)) + " kWh/kvm")
    disp("Årlig kjøpt = " + num2str(round(sum(sum(e_kjopt))/10^6,2)) + " MWh")
    disp("Årlig solgt = " + num2str(round(sum(sum(e_solgt))/10^6,2)) + " MWh")
    disp("NNV = " + num2str(round(sum(sum(NNV_I))/10^6,2)) + " Mkr")
    %disp("Tilbakebetalingstid = " + num2str(round(sum(sum(t_tilbakebetal)),2)) + " år")
    %disp("IRR = " + num2str(round(IRR)*100,1)) + " %")
end
end

function IRR = f_IRR(I)
syms("IRR")

```

```

N = length(I)-1;
n = 0:N;
NNV_v = I./(1+IRR).^n;
eq = sum(NNV_v) == 0;
IRR = vpsolve(eq,IRR,[0 , 0.3]);
end

function dager = h_til_dag(timer)
dager = zeros(1,365);
for i=1:365
    dager(i) = sum(timer(1+24*(i-1):24+24*(i-1)));
end
end

function maneder = dag_til_maned(dager)
maned = [0,31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31];
maneder = zeros(1,12);
for i = 2:13
    maneder(i-1) = sum(dager(1+sum(maned(1:i-1)):sum(maned(2:i))));
end
end

function mat = vek_mat(vek)
if size(vek)==[365,24]
    mat = vek;
else
    mat = zeros(365,24);
    for i = 1:365
        mat(i,:) = vek(1+24*(i-1):24*i);
    end
end
end

function vek = mat_vek(mat)
vek = zeros(365*24,1);
for i = 1:365
    vek(1+24*(i-1):24*i) = mat(i,:);
end
end

function snitt = maned_snitt(mat)
maned = [0,31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31];
snitt = zeros(12,24);
for i = 2:13
    snitt(i-1,:) = sum(mat(1+sum(maned(1:i-1)):sum(maned(2:i))),:)/maned(i);
end
end

function [NNV,t_tilbakebetal] = NNV(I, r)
% I er en liste med netto inntekt for hvert år hvor første element er
% investeringsåret (år 0). r er kalkulasjonsrenten
N = length(I)-1; % Investerings levetid
n = 0:N;

```

```

NNV_v = I./(1+r).^n; % Beregner årlig NNV
NNV_i = zeros(1,length(NNV_v));
for i = 1:length(NNV_i) % Beregner kumulativ NNV for år i
    NNV_i(i) = sum(NNV_v(1:i));
end
t_tilbakebetal = length(NNV_i(NNV_i<0)); % Finner året hvor kumulativ NNV blir positiv.
NNV = sum(NNV_v); % Total NNV for investeringen
end

function max_effekt_maned = f_max_effekt(effekt,glattegrad)
% Finner max gjennomsnittlig effekt over 3 timer for hver måned
effekt_3hsnitt = zeros(size(effekt));
v = [ones(1,glattegrad)*effekt(1),effekt,ones(1,glattegrad)*effekt(8760)];
for i = 1+glattegrad:length(effekt)+glattegrad
    effekt_3hsnitt(i) = sum(v(i-glattegrad:i+glattegrad))/length(v(i-glattegrad:i+glattegrad));
end

max_effekt_dager = zeros(1,365);
for i=1:365
    max_effekt_dager(i) = max(effekt_3hsnitt(1+24*(i-1):24+24*(i-1)));
end

maned = [0,31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31];
max_effekt_maned = zeros(1,12);
for i = 2:13
    max_effekt_maned(i-1) = max(max_effekt_dager(1+sum(maned(1:i-1)):sum(maned(2:i))));
end
end

function [GI,B] = f_skyggetap(P_inst,kp,A_tak)
Vm = 41.5; %deg

B = A_tak*kp/P_inst; % D/L

beta_max = atand(sind(Vm)/(B-cosd(Vm)));
beta_min = 0;

load("solvinkler.mat") % Data over solens plassering på himmelen (NASA)
load("soldata.mat") % Data over solinnstråling: DNI, DHI (climate.onebuilding.org)

mu = B*sind(Slope./sind(180-Vm-Slope));
mu(Slope>beta_max) = 1;
mu(Slope<beta_min) = 0;

% Orientering sol og panel
Azi = Azi-180;
Solcelle_Azi = -3; %deg        sør = 0, vest = 90, øst = -90
Solcelle_Slope = 41.5; %deg    Horisontal = 0, Opp = 90, Ned = -90

% beregner korreksjonsfaktor for vinkeltap: cos(theta)
cos_theta = sind(Solcelle_Slope)*sind(Slope) + cosd(Solcelle_Slope)*cosd(Slope).*cosd(Solcelle_Azi);
cos_theta(cos_theta<0) = 0; % Definisjonsområde: 0 < cos(theta) < 1

```



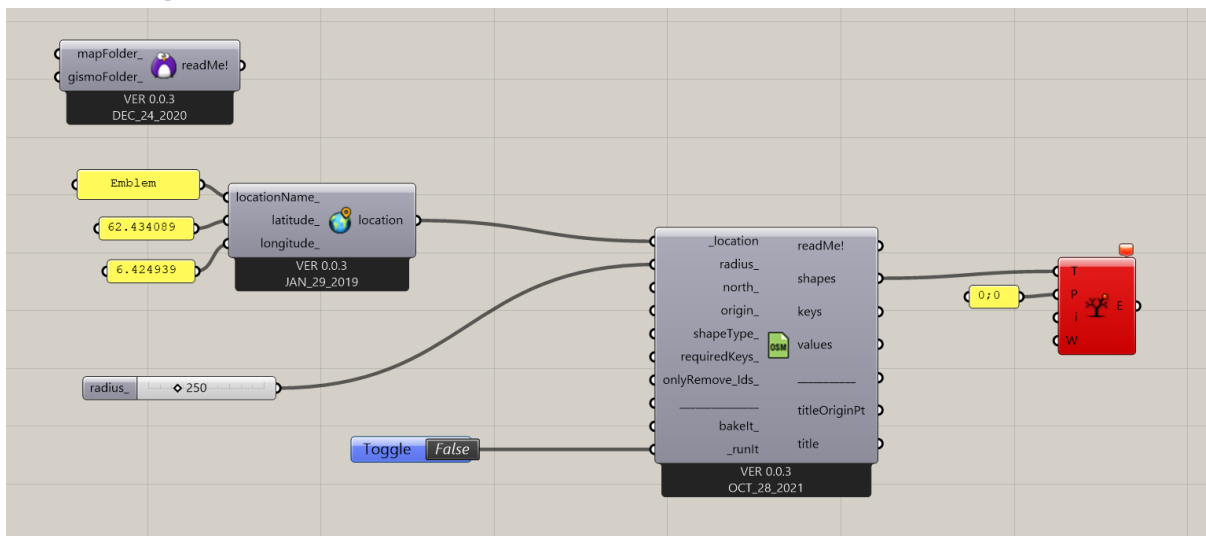
```
% Solinnstråling med vinkel- og skyggetap
GI_v = transpose(direkte_sol).*cos_theta.*mu + transpose(diffuse_sol);

GI = vek_mat(GI_v);
%disp("Rekkebredde/modulbredde = " + num2str(round(B,2)))
end
```

VEDLEGG C

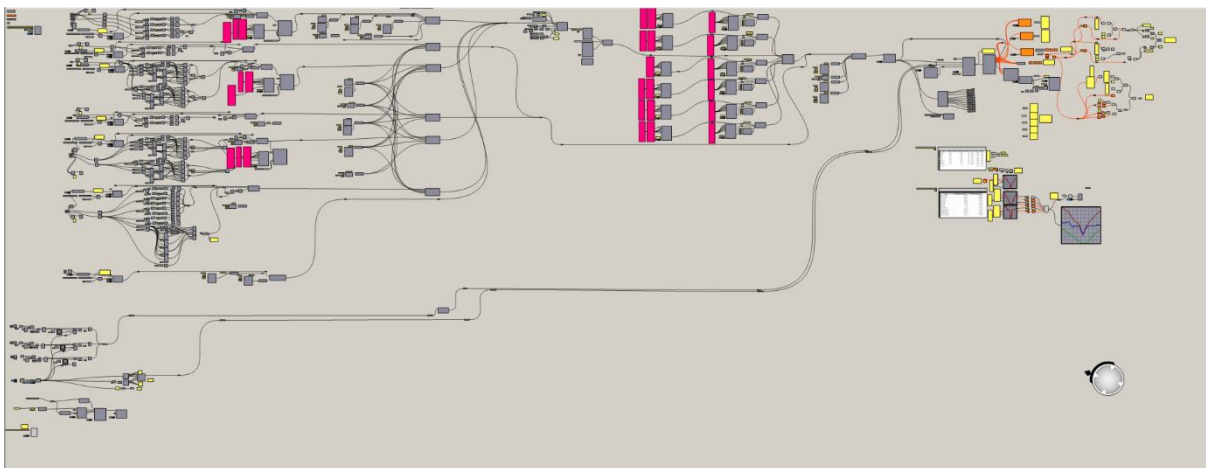
Grasshopper scripts for dataeksport, konstruering av modell, BEM,
og solanalyse

Uthenting av 2D-kurve av fabrikk til Rhino

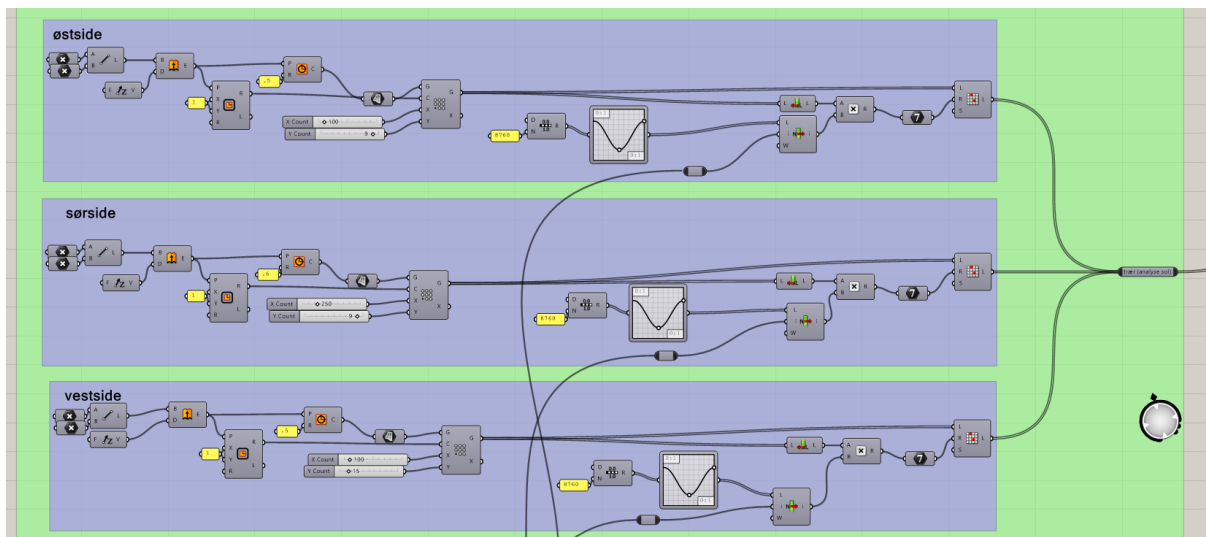


Figur 3: dette scriptet tegner en 2d-kurve på $z=0$ i rhino. Kurven "bakes" inn i rhino for å kunne tegne geometrien videre. Dette vises i Vedlegg - Fabrikmodell BEM

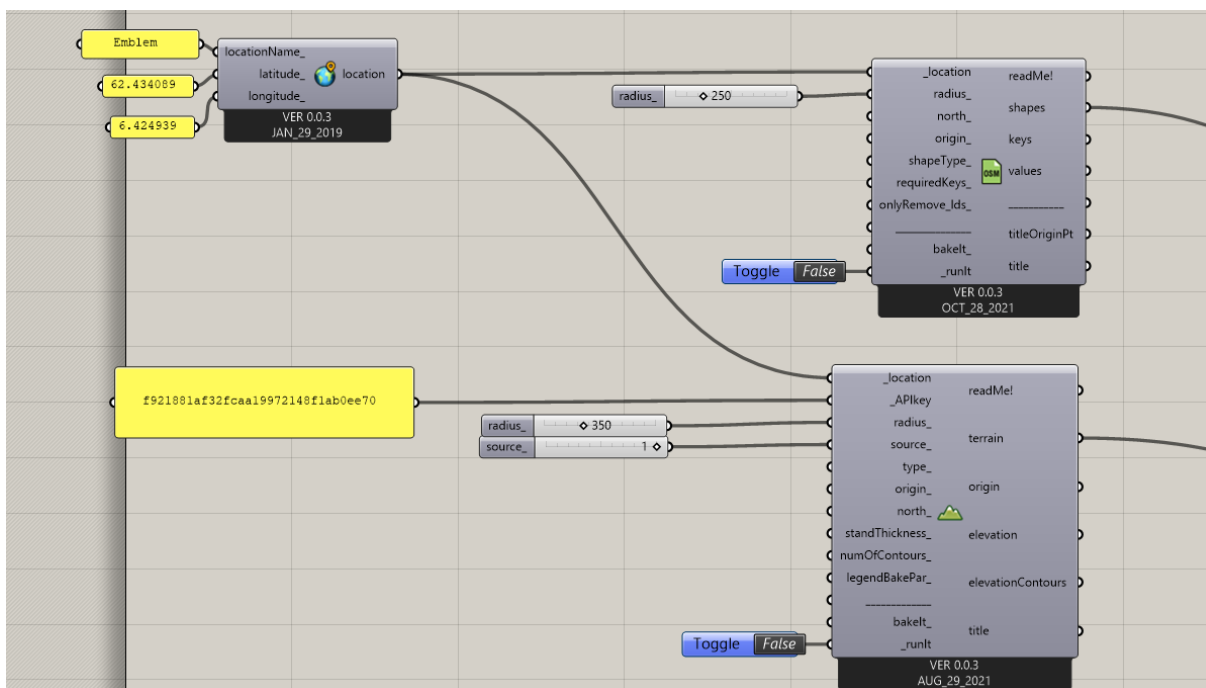
BEM



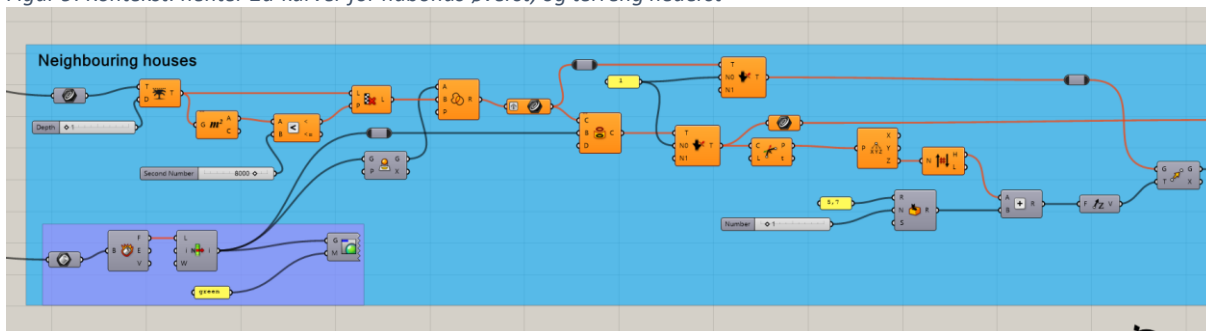
Figur 4: hele scriptet



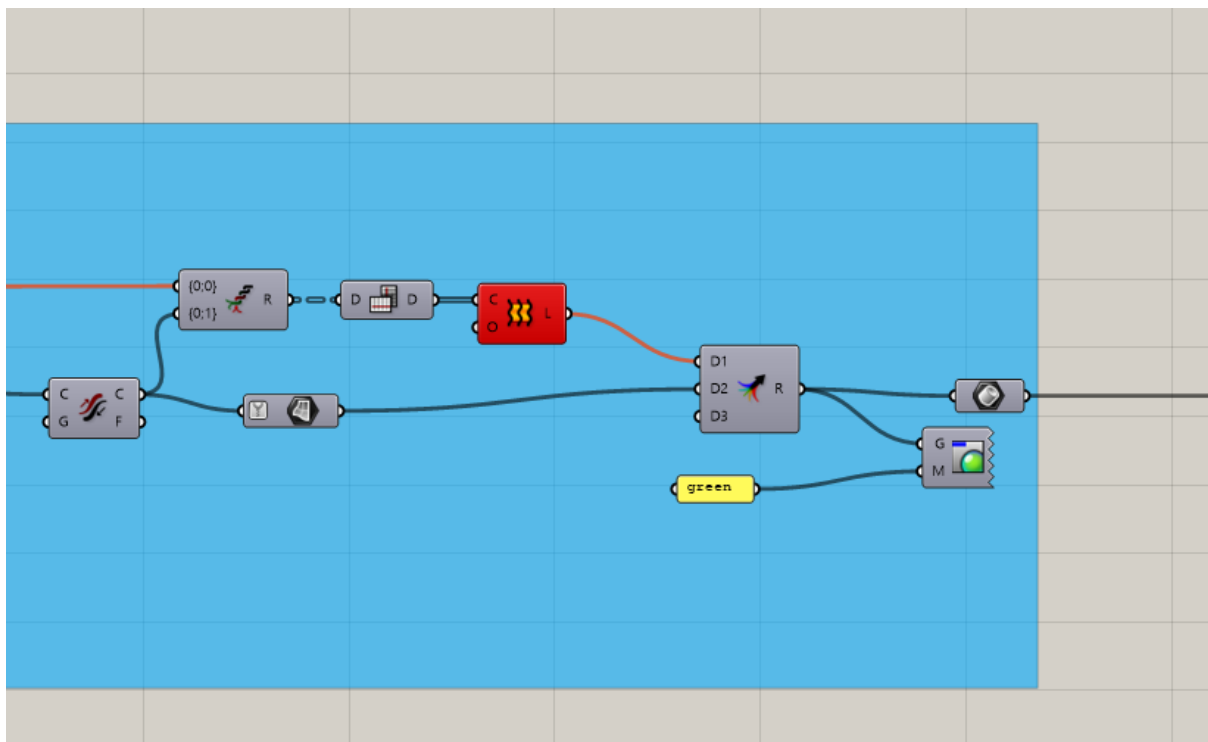
Figur 8: Kontekst: dette modellerer 3 skjermer med trær. Dette var planlagt å samvirke med loopen vist i figur 5, men vil forårsake liten påkjenning på byggets energitilstand, og loopen er derfor gått bort ifra; trærnes modell er konstant igjennom året.



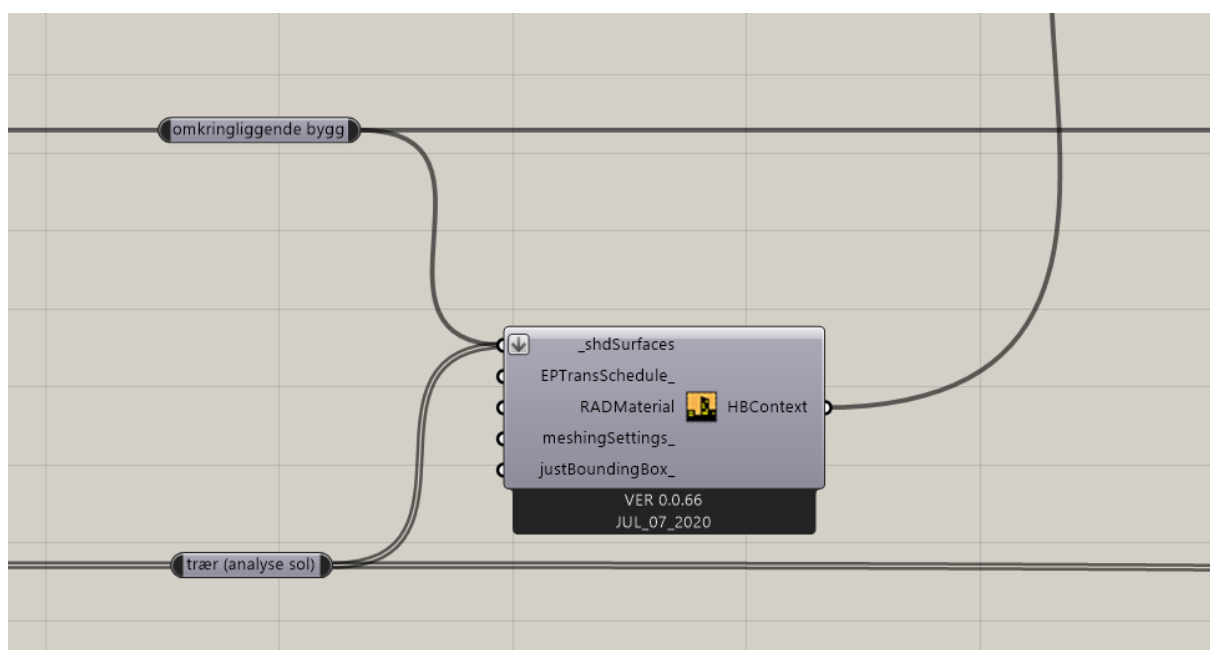
Figur 9: Kontekst: henter 2d-kurver for nabohus øverst, og terreng nederst



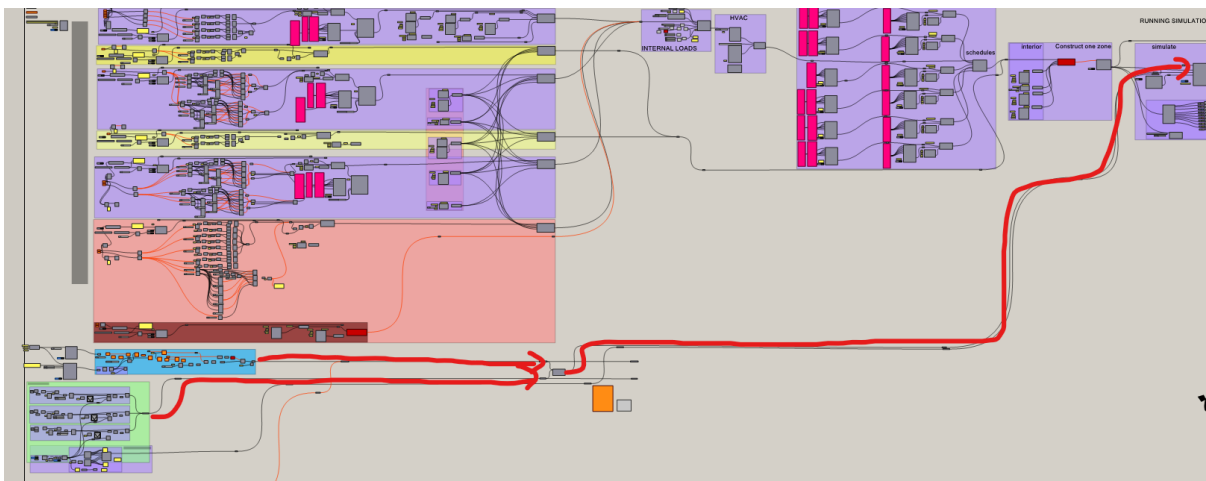
Figur 10 Kontekst: DEL 1 konstruering av modeller for nabohus



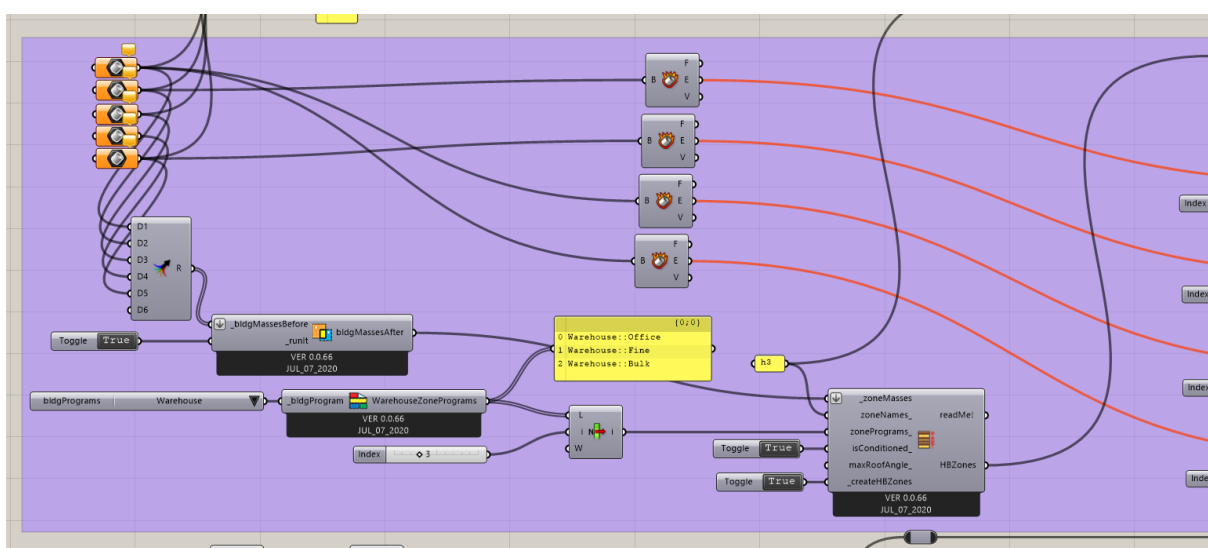
Figur 11 Kontekst: DEL 2 konstruering av modeller for nabohus



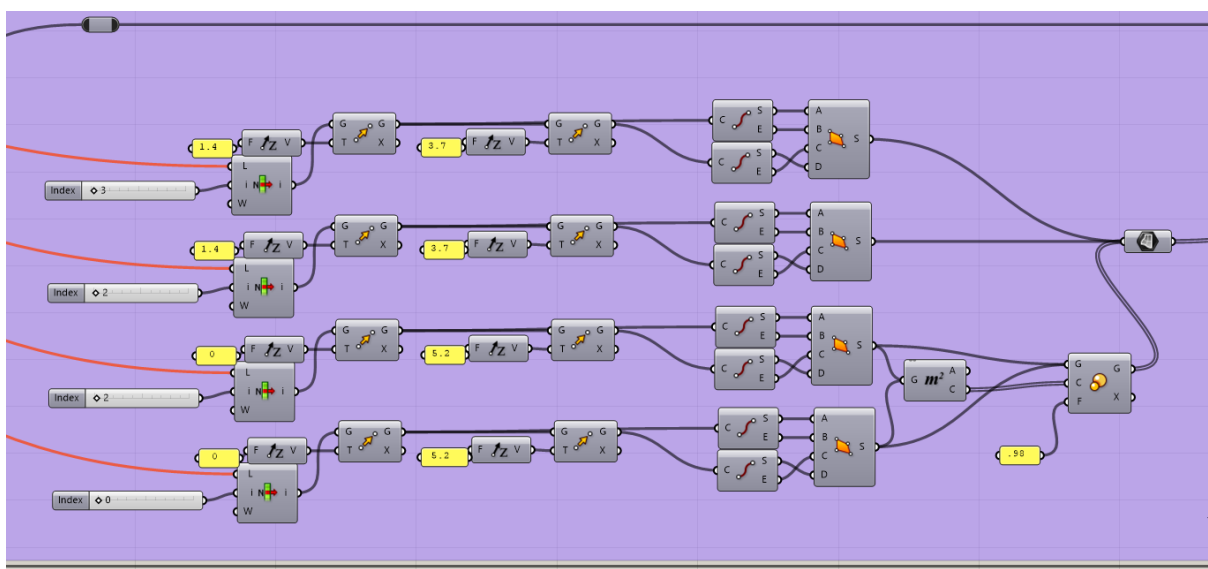
Figur 12: Kontekst: trær og nabohus omgjøres som tolkbare for honeybee og kan kaste skygge på fabrikkbygget og da redusere varmende effekt fra solstråling



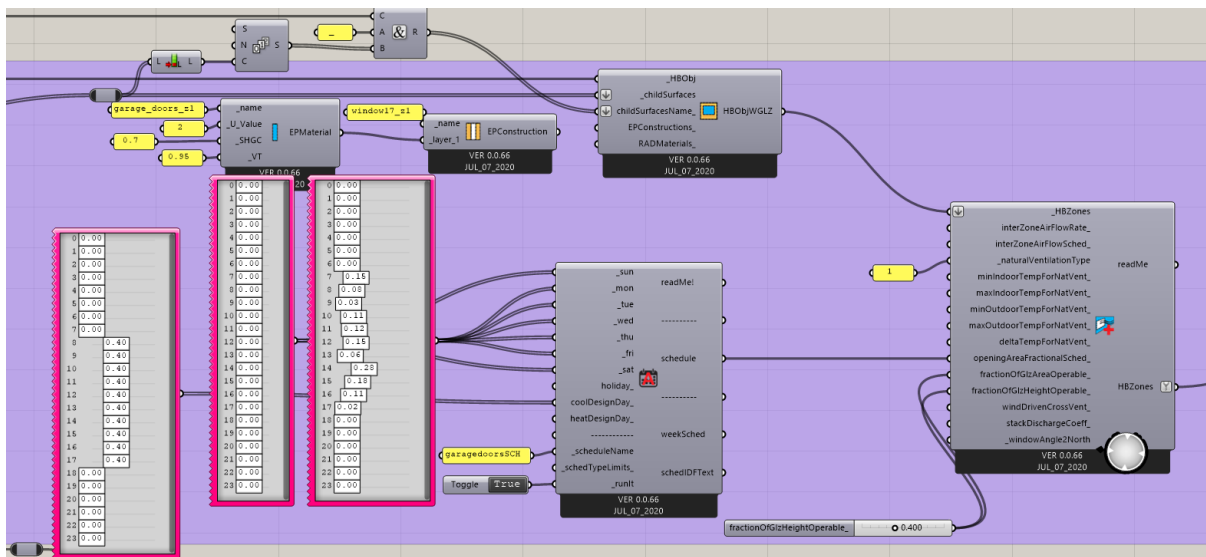
Figur 13: Kontekst sammenføres inn i simulering



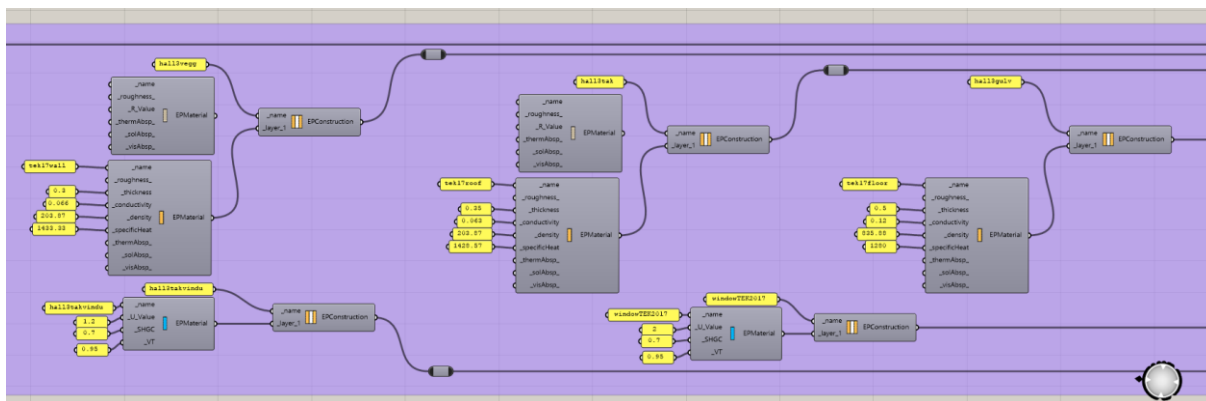
Figur 14: Hall 3 DEL 1 - konstruering av sone



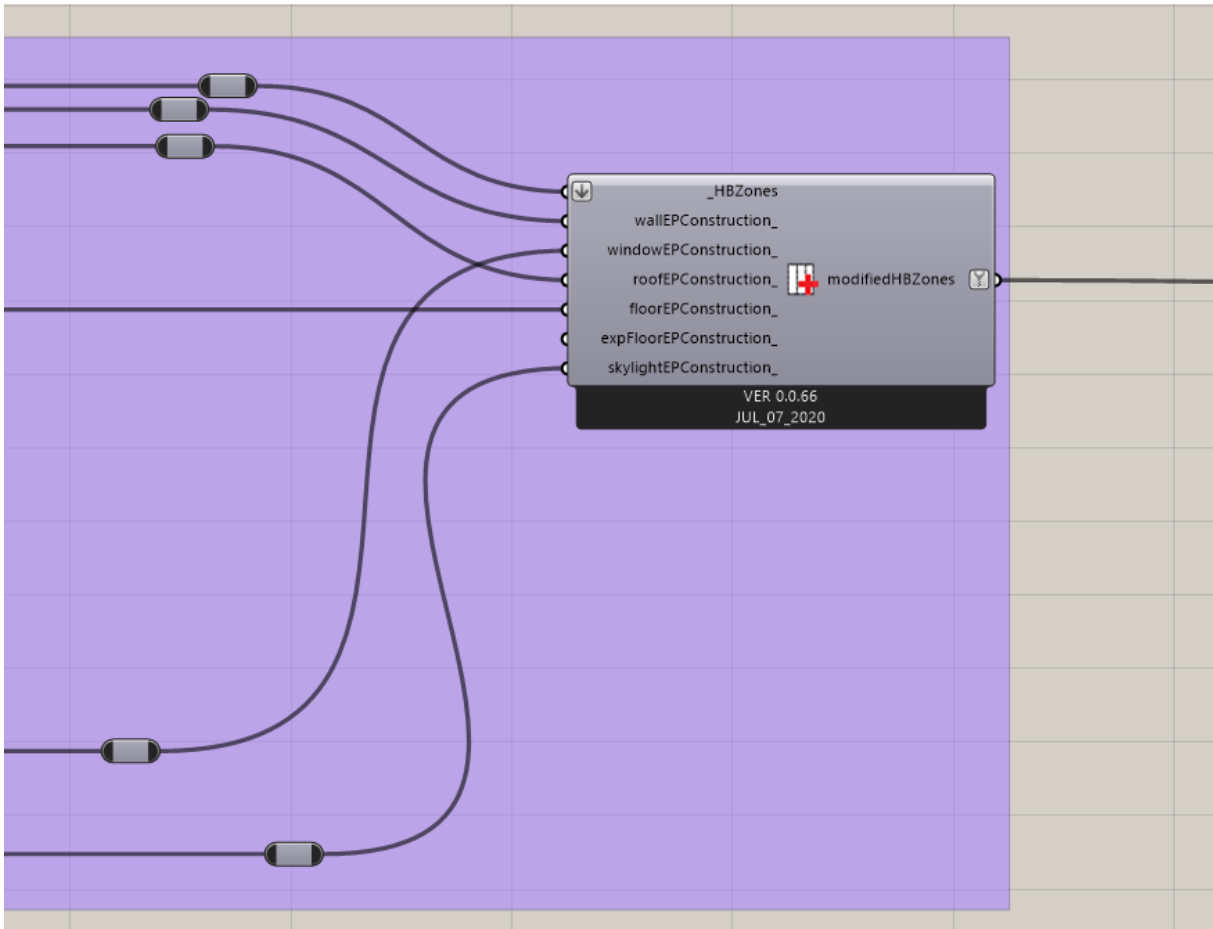
Figur 15: Hall 3 DEL 2: konstruering av vinduer



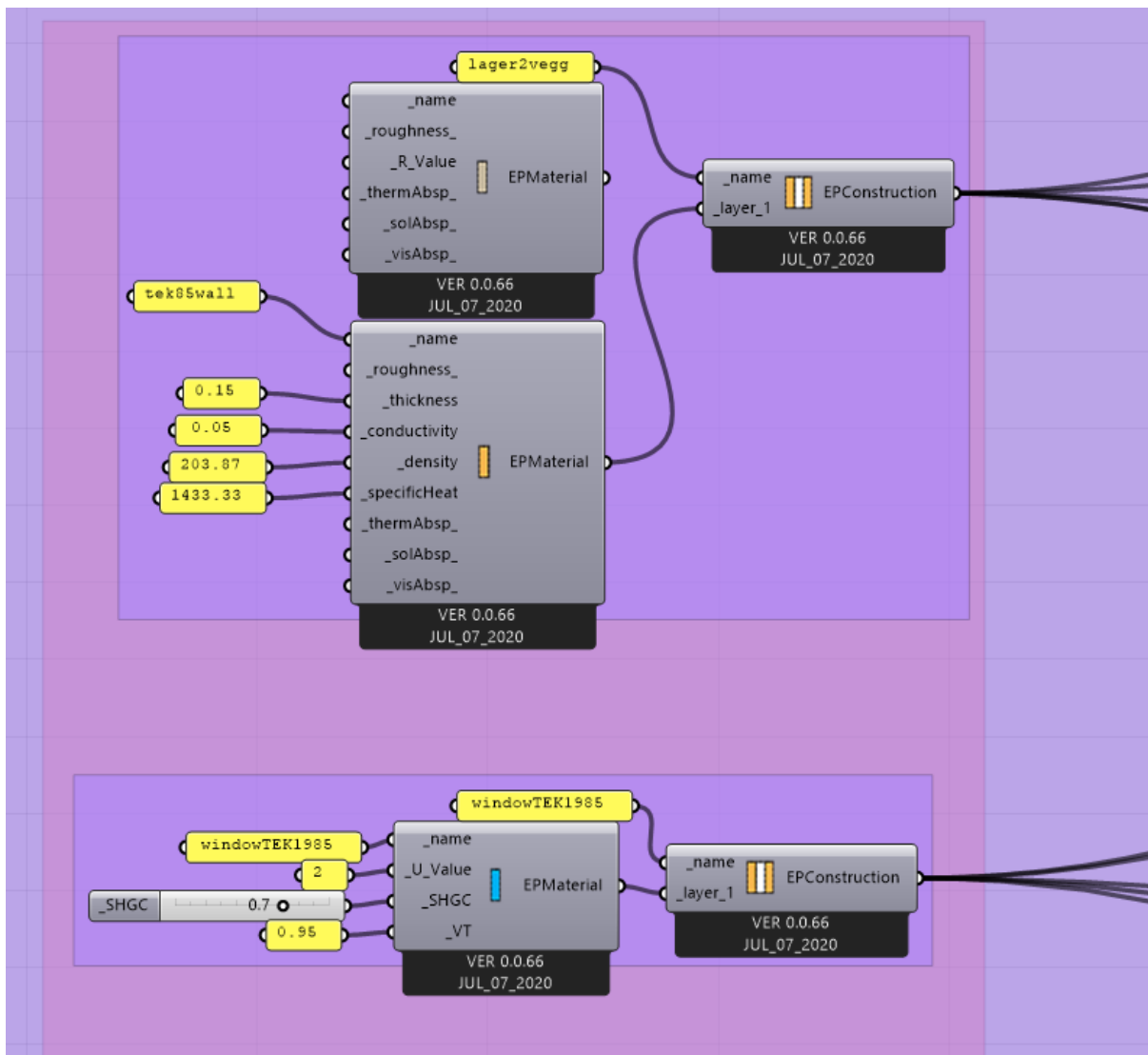
Figur 16: Hall 3 DEL 3: definisjon av vindu som HB sone, bestemmelse av timeplan for åpning av porter



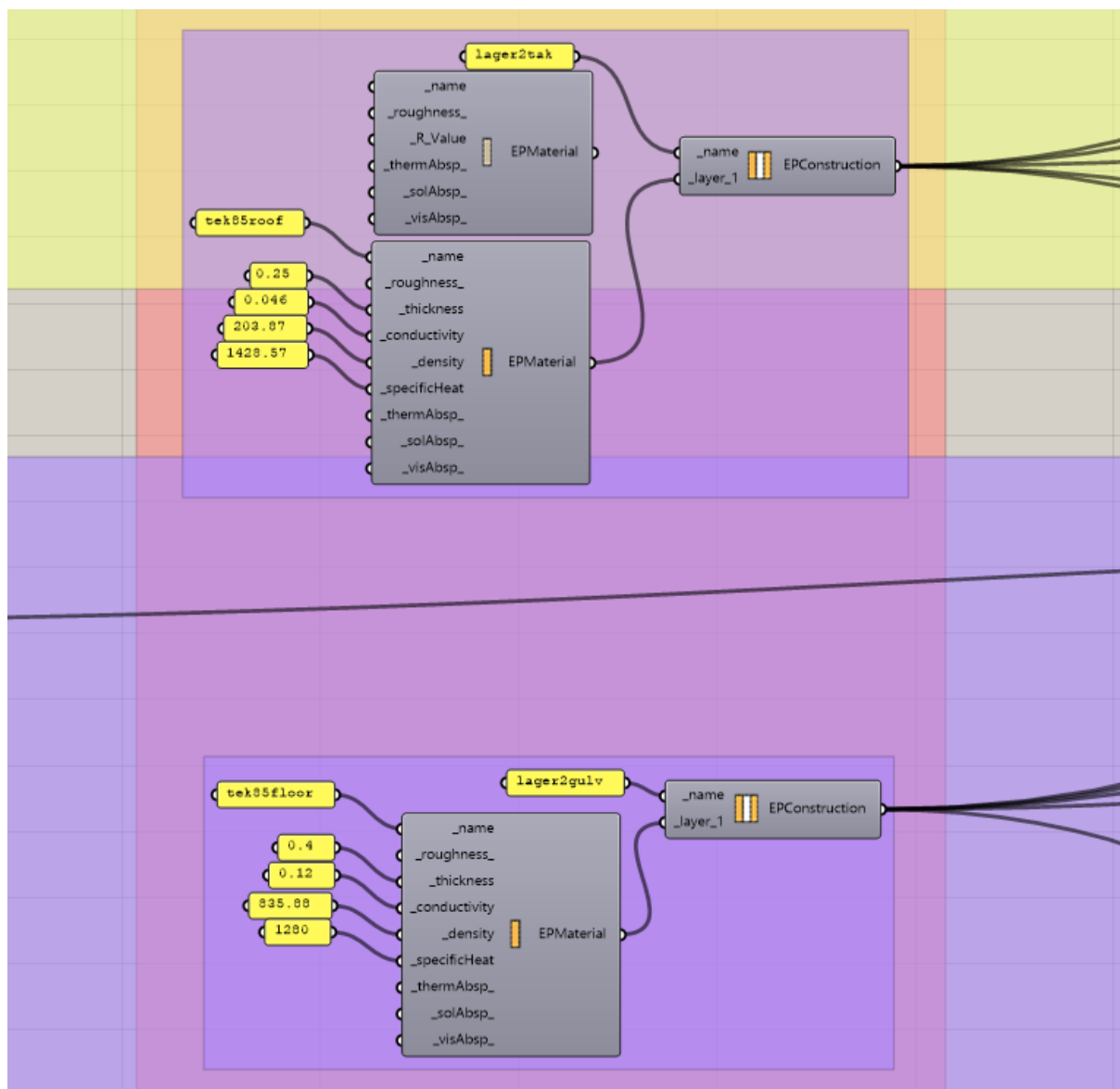
Figur 17: Hall 3 DEL 4: bestemmelse av bygningselementer etter TEK 17, og kalkulasjoner fra Vedlegg – Klimaskjermberginger



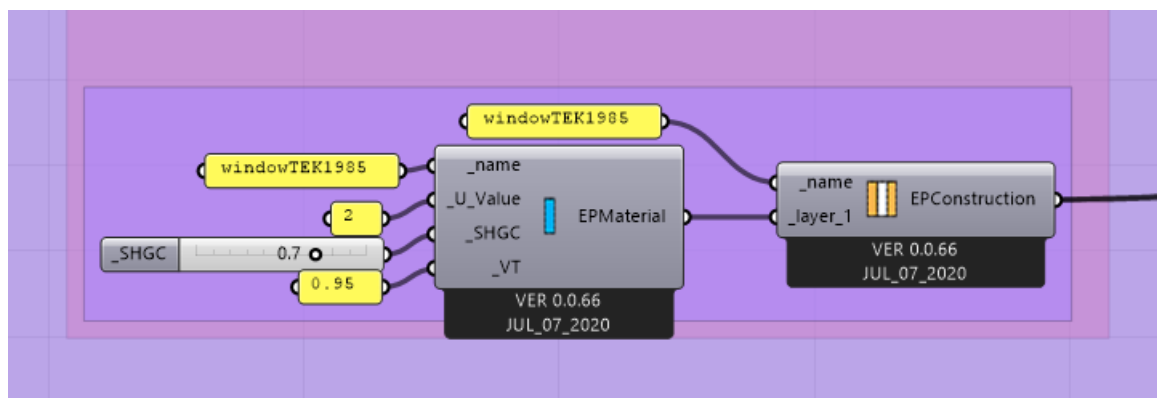
Figur 18: Hall 3 DEL 5: Endelig sammenføring av hall 3



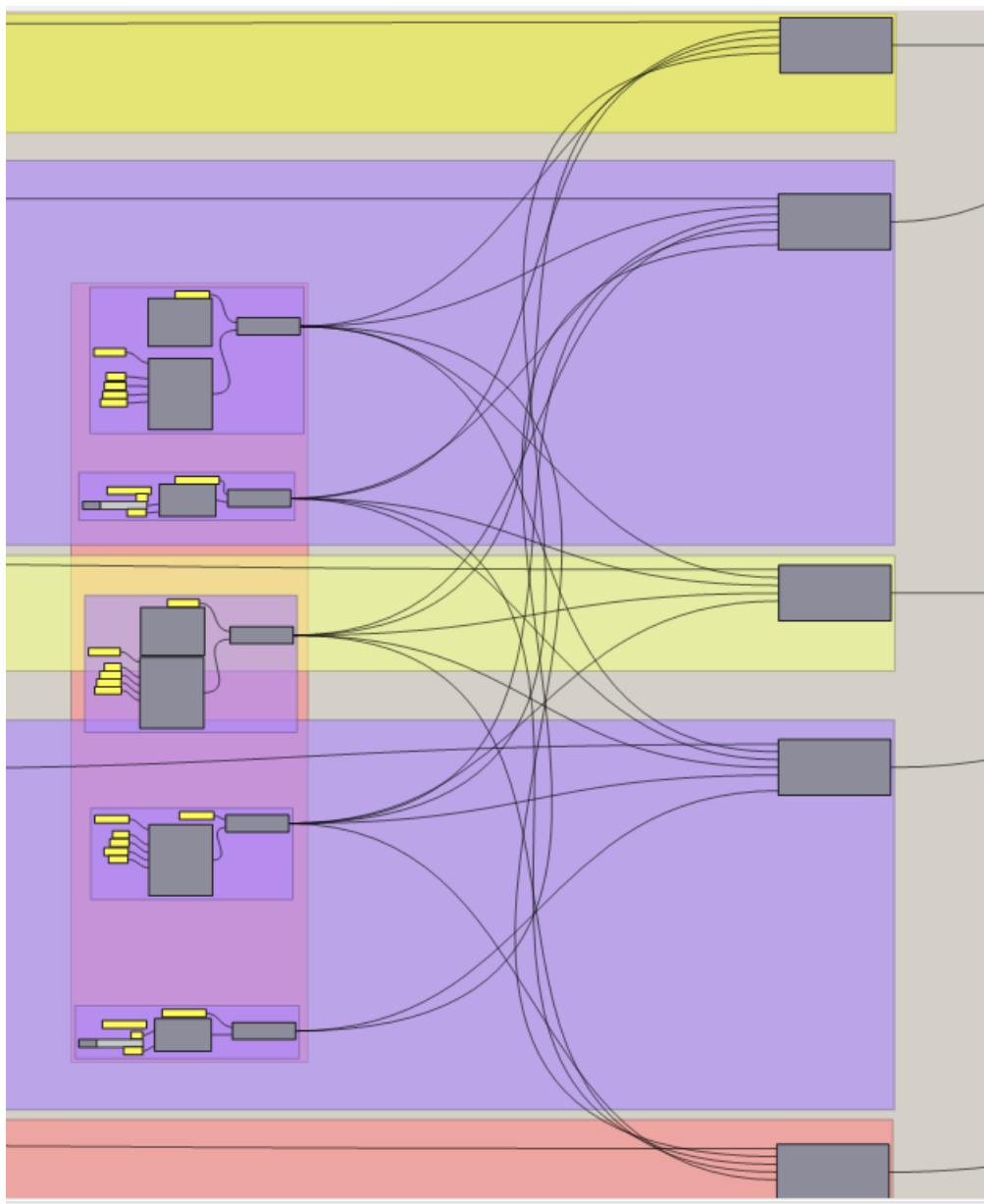
Figur 19: Materialer TEK85 DEL 1: veggkonstruksjon og vinduskonstruksjon defineres



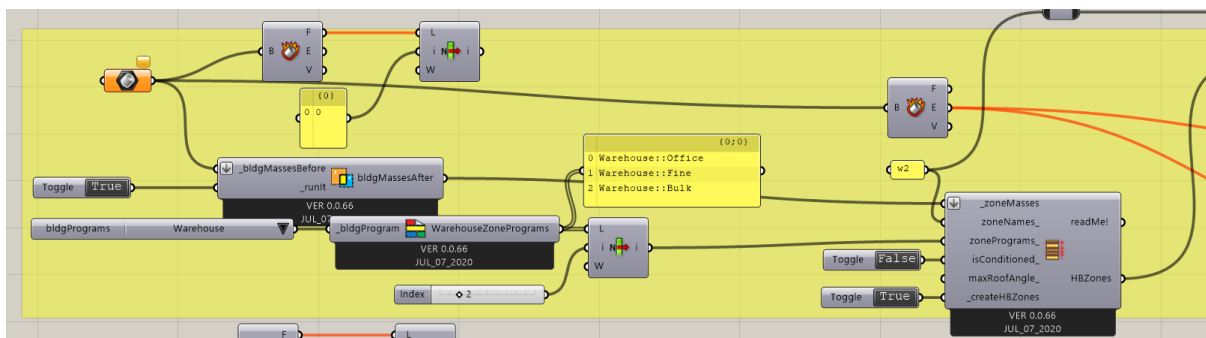
Figur 20: konstruksjoner fra TEK5 DEL 2: definering av tak og golv på grunn



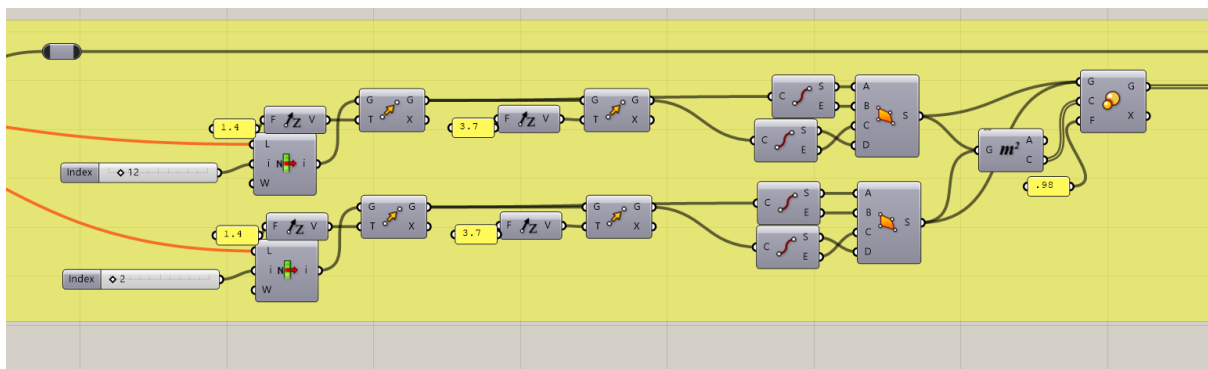
Figur 21: UTGÅTT: modellering av konstruksjoner fra TEK5 del 3: modellering av takvindu, dette utgår til fordel for forenkling av beregninger i simuleringen.



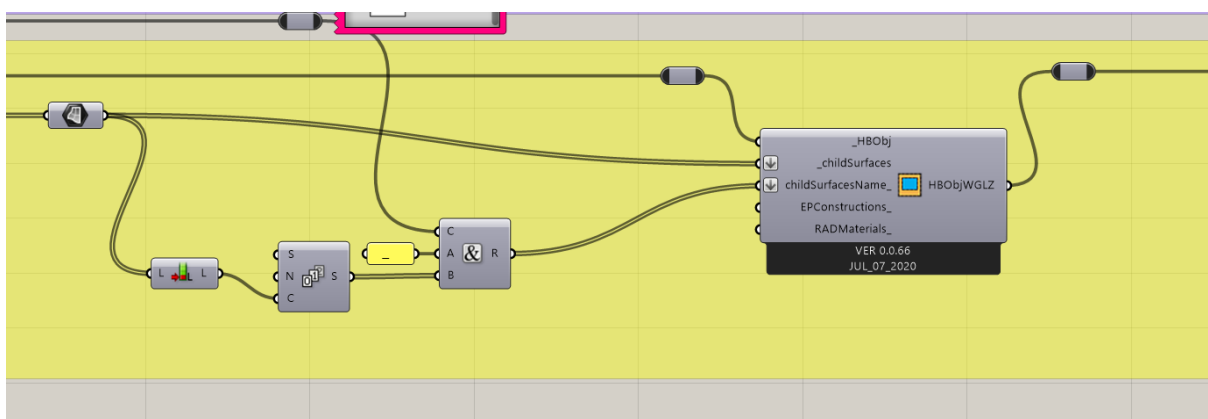
Figur 22: Kabling av materialer til (fra øverst til nederst) Lager 2, Hall 2, Lager 1, Hall 1, Kontorfløy over bakke



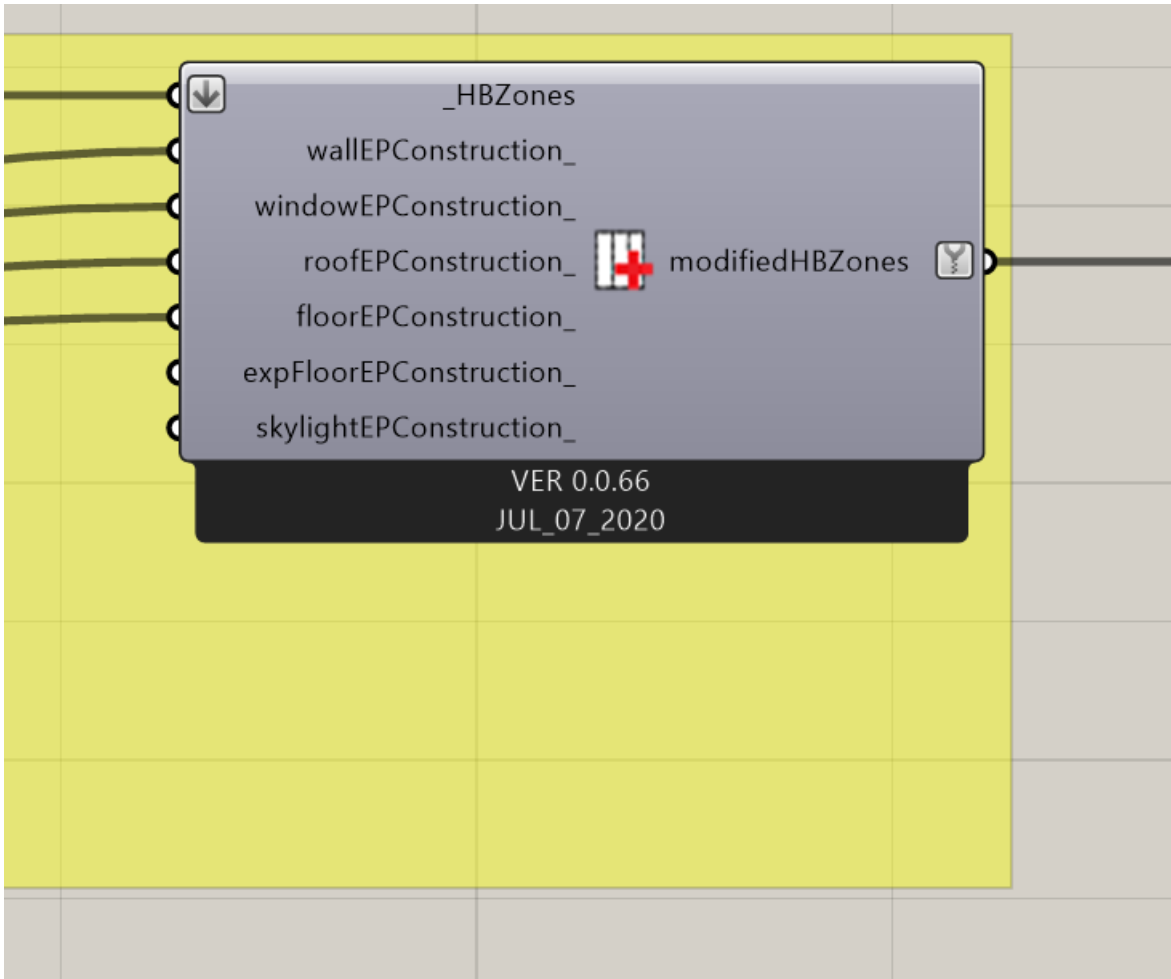
Figur 23: Lager 2 DEL 1: konstruering av sone



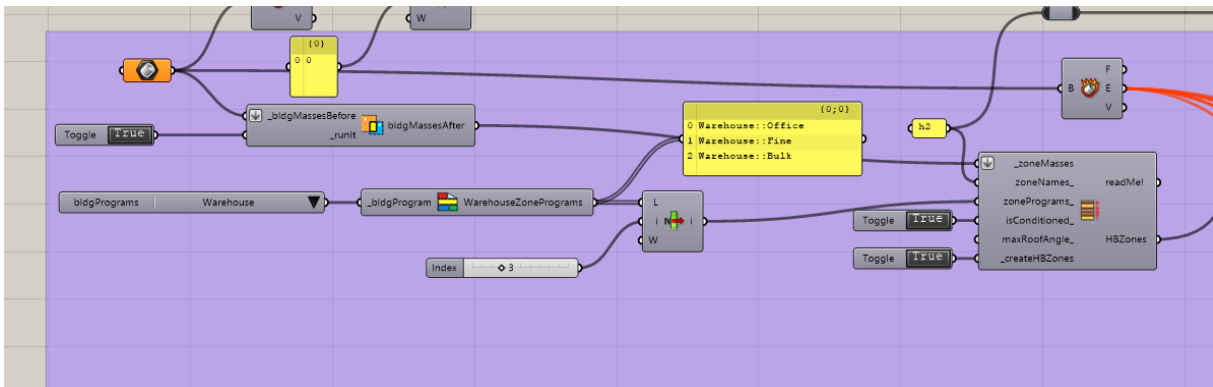
Figur 24: Lager 2 DEL 2: konstruering av vinduer



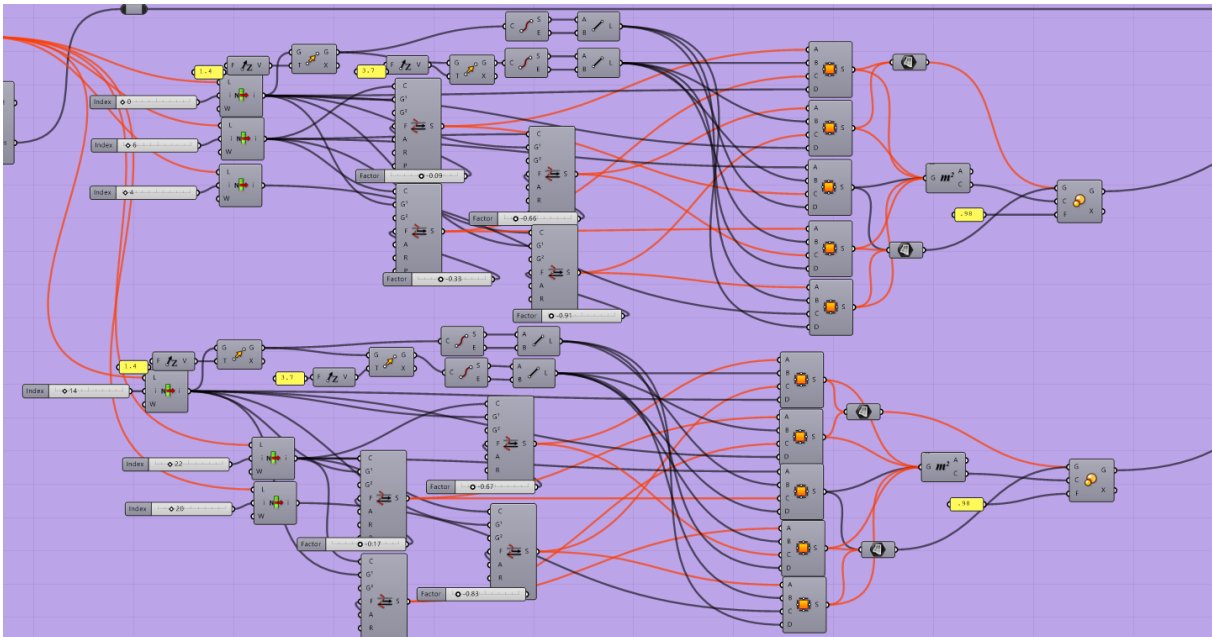
Figur 25: Lager 2 DEL 3: inkludering av vinduer som Honeybee objekter



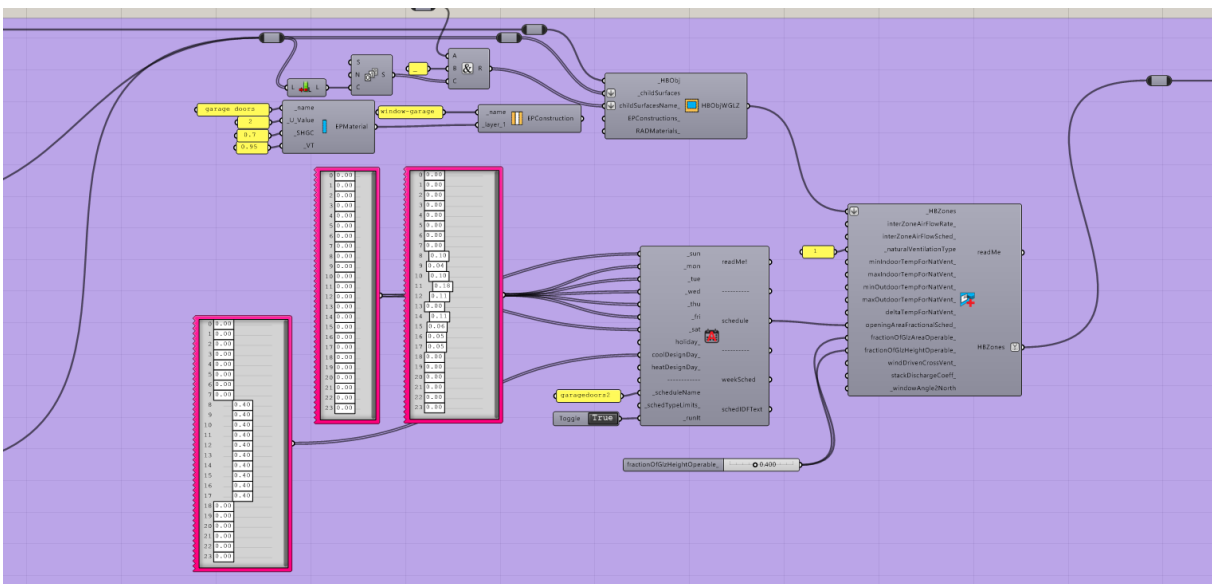
Figur 26: Lager 2 DEL 4: sammenføring av sonen



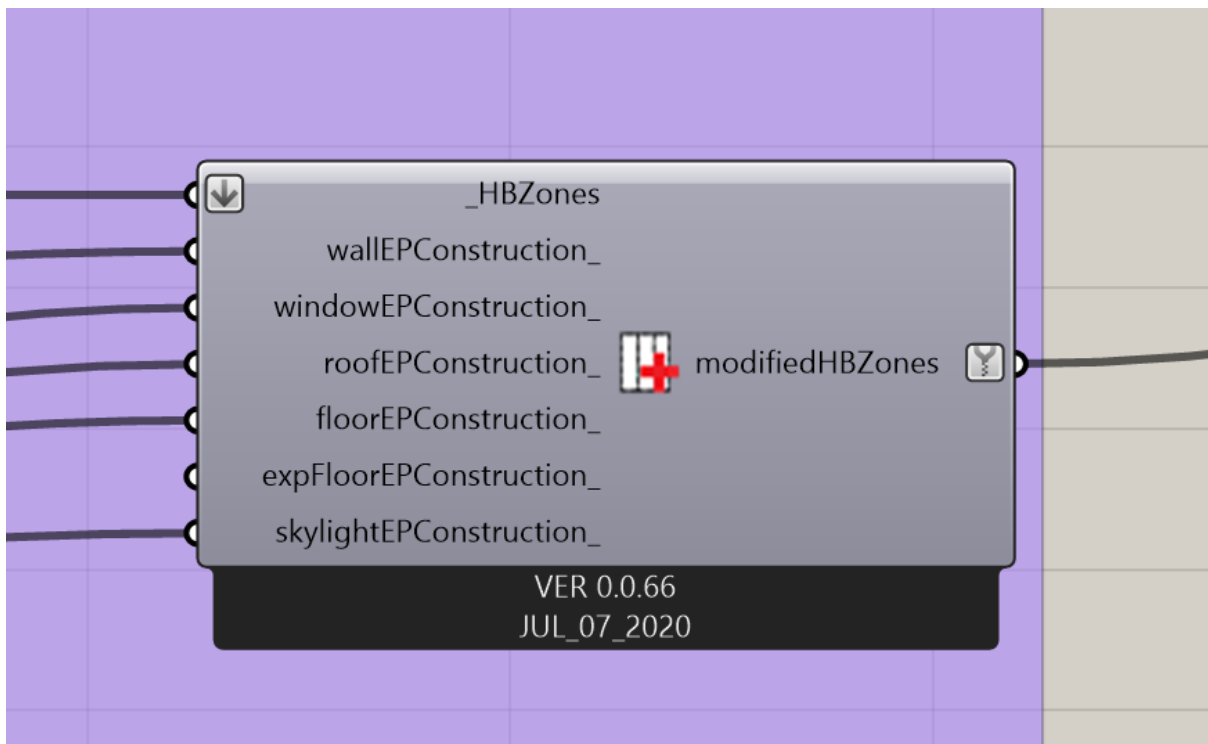
Figur 27: Hall 2 DEL 1: konstruering av HB sone



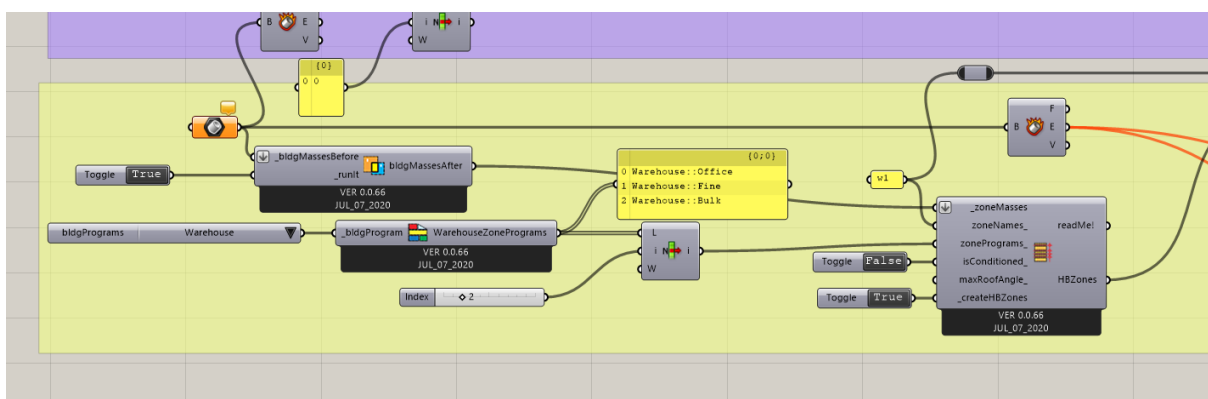
Figur 28: Hall 2 DEL 2: konstruering af vinduer. Øvre og nedre halvdel beskriver hver sin ende af hallen (øst og vest)



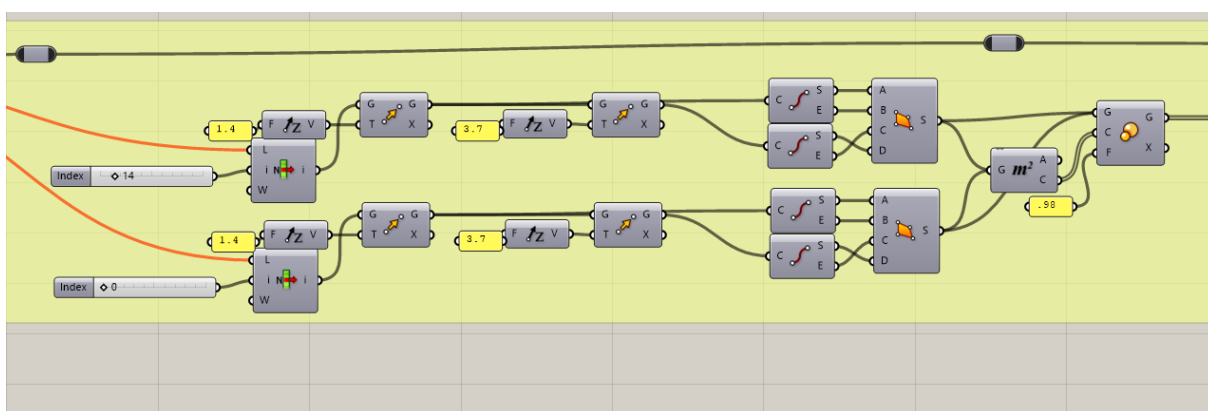
Figur 29: Hall 2 DEL 3: definerig af timeplan for porter i hall 2, en kopi af timeplan i Hall 3



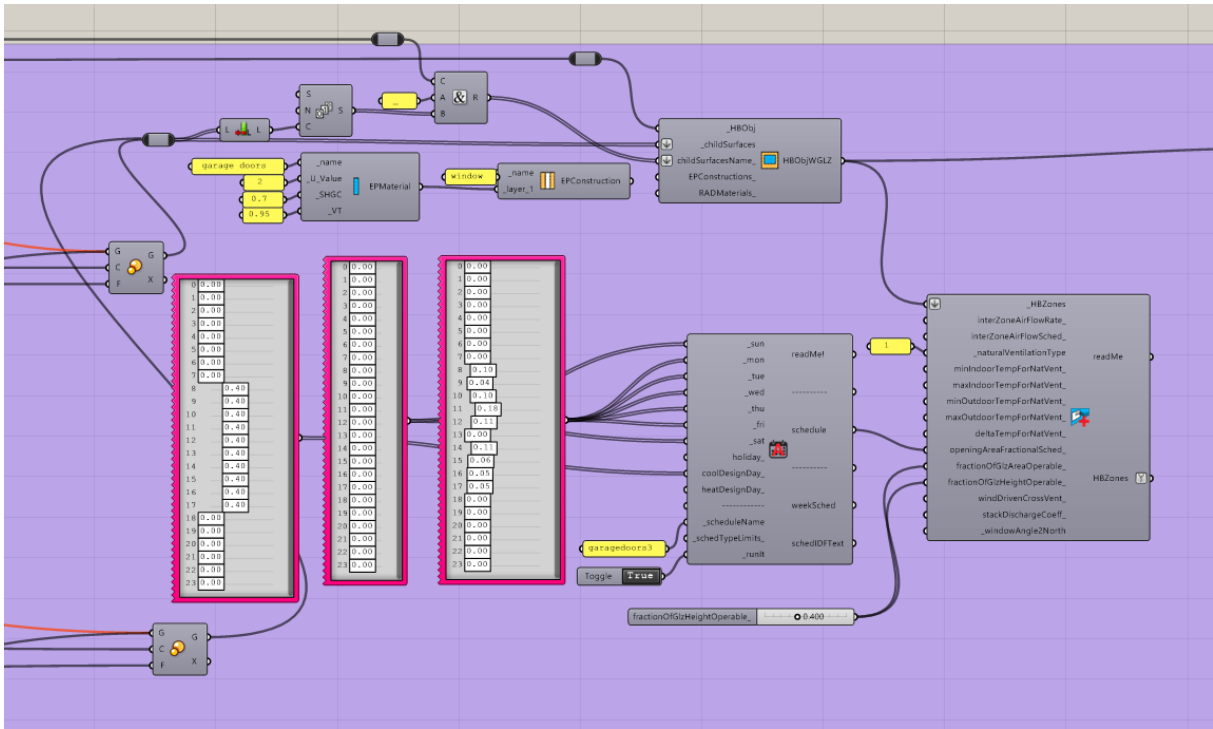
Figur 30: Hall 2 DEL 4: Sammenføring av konstruksjonsdel



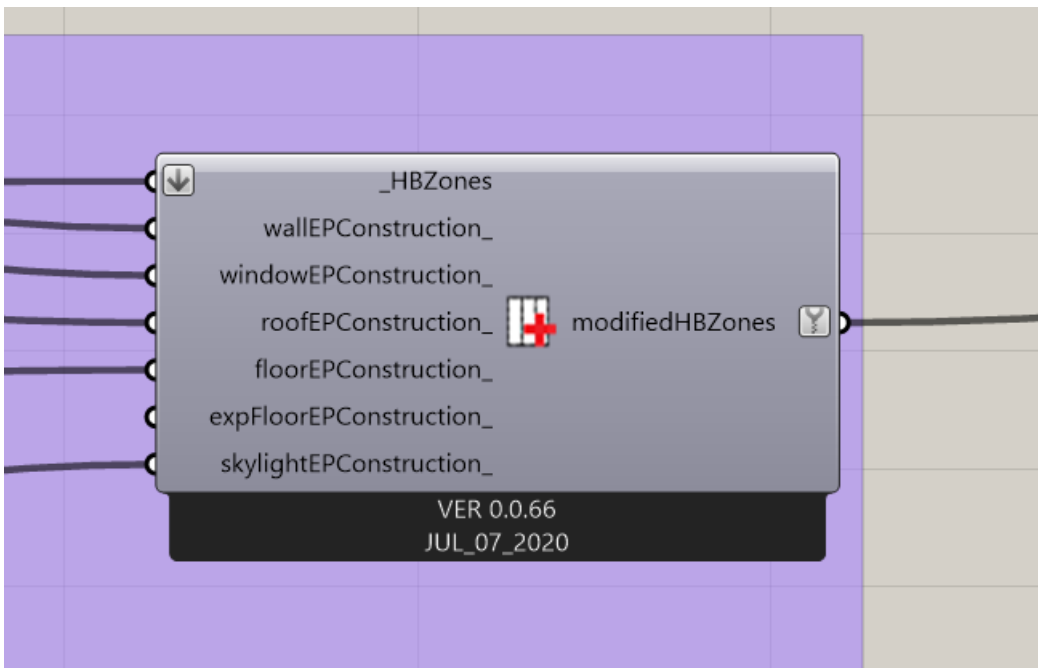
Figur 31: Lager 1 DEL 1: konstruering av Honeybee sone.



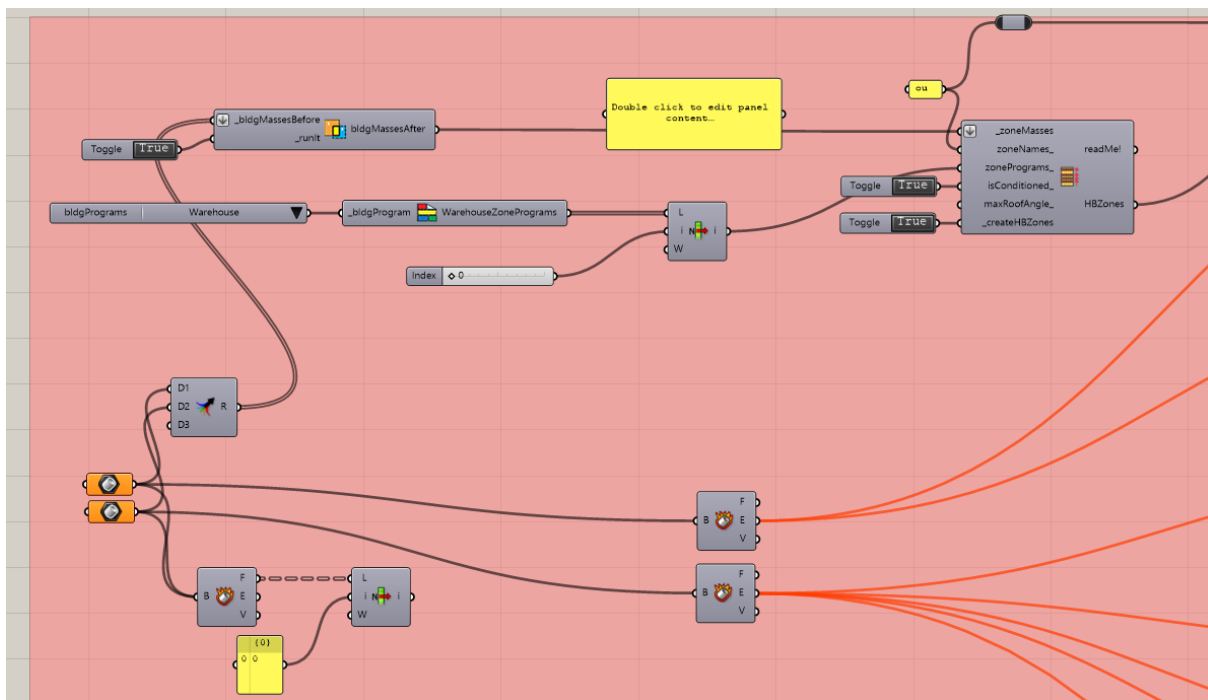
Figur 32: Lager 1 DEL 2: konstruering av vinduer



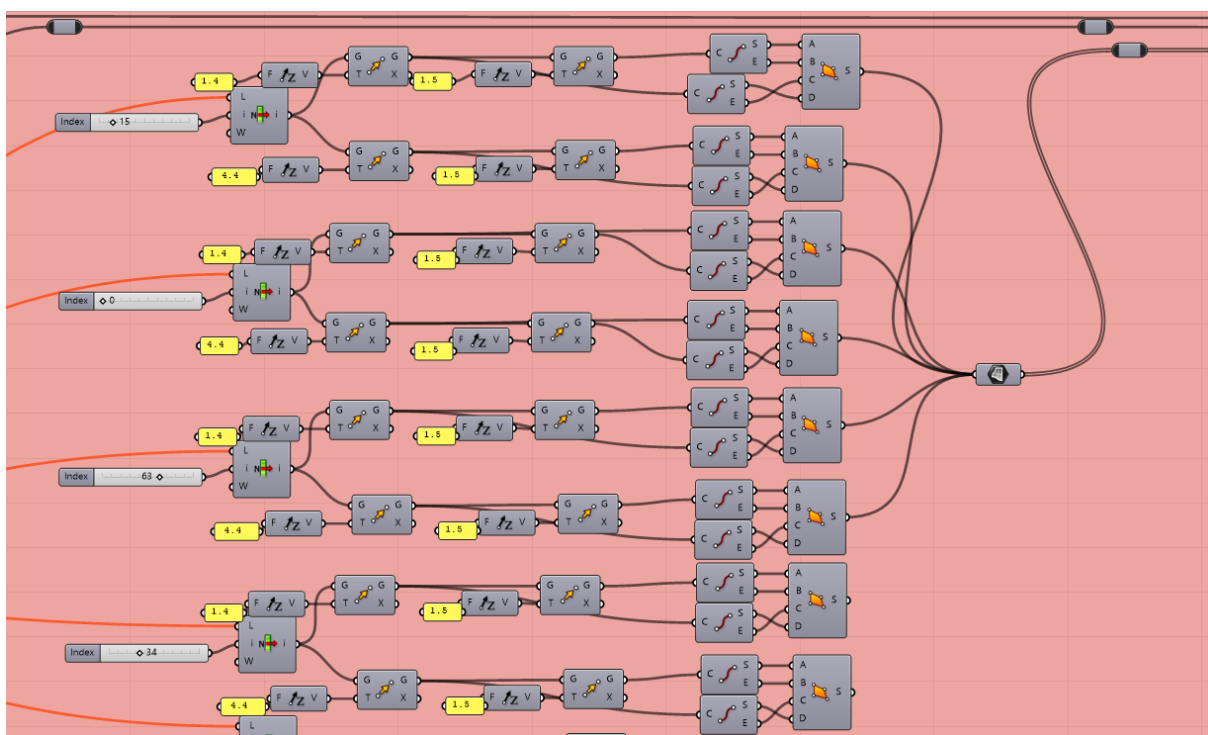
Figur 37: Hall 1 DEL 3: Definerings av timeplan for Hall 1s vinduer



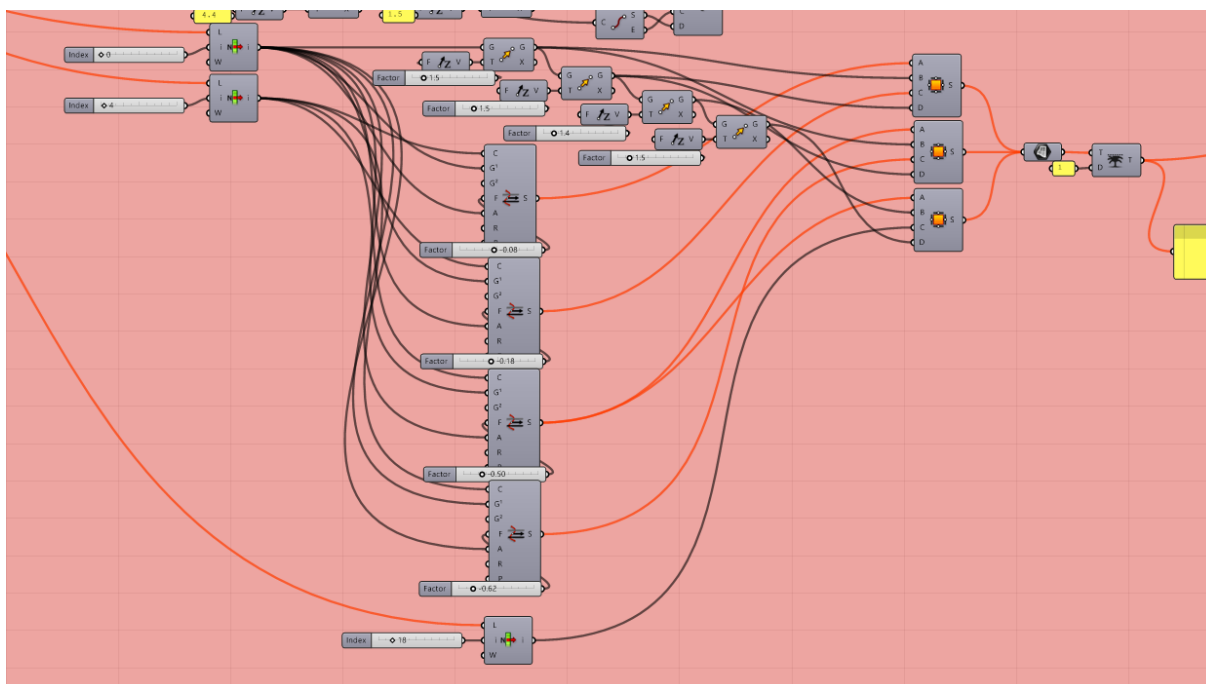
Figur 38: Hall 1 DEL 4: konstruksjonen sammenføres



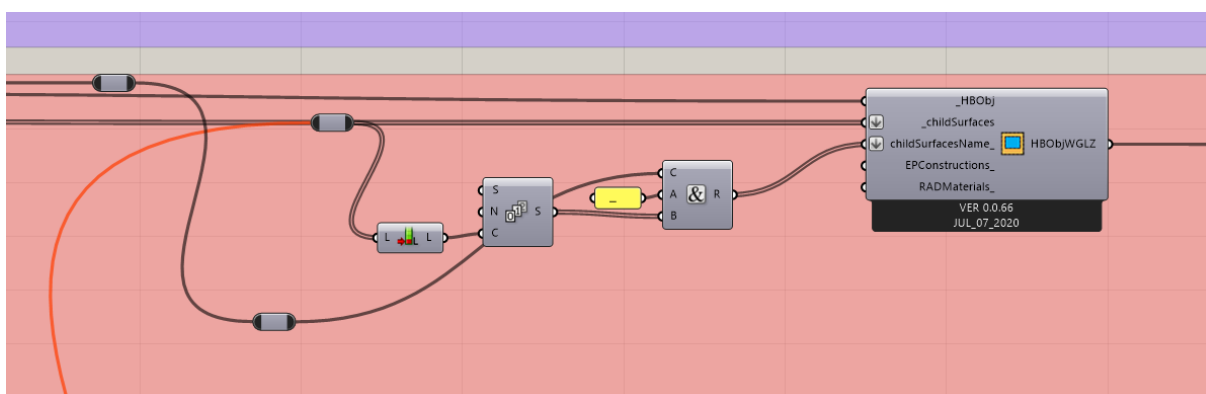
Figur 39 kontorfløy DEL 1: HB sone konstrueres



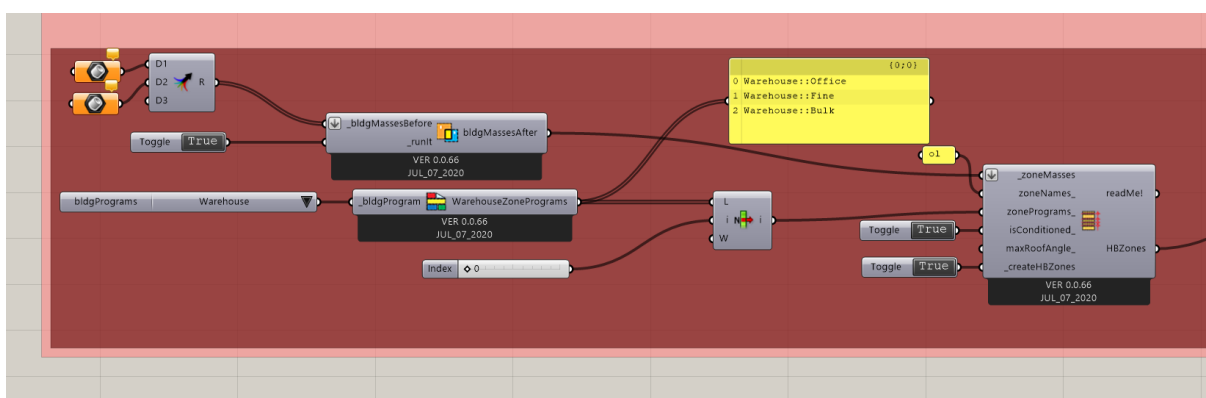
Figur 40 kontorfløy DEL 2: rekker av vinduer på sørsiden og vestsiden av fløyen defineres



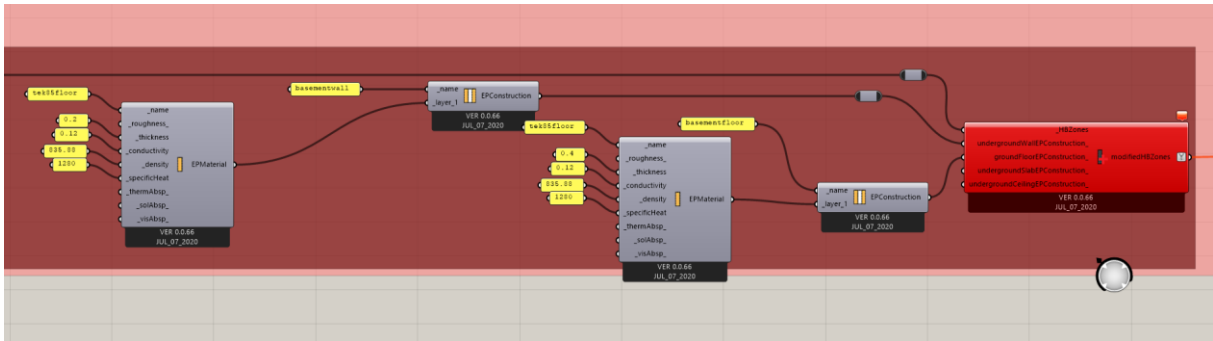
Figur 41 kontorfløy DEL 4: vinduer på østsiden av fløyen defineres



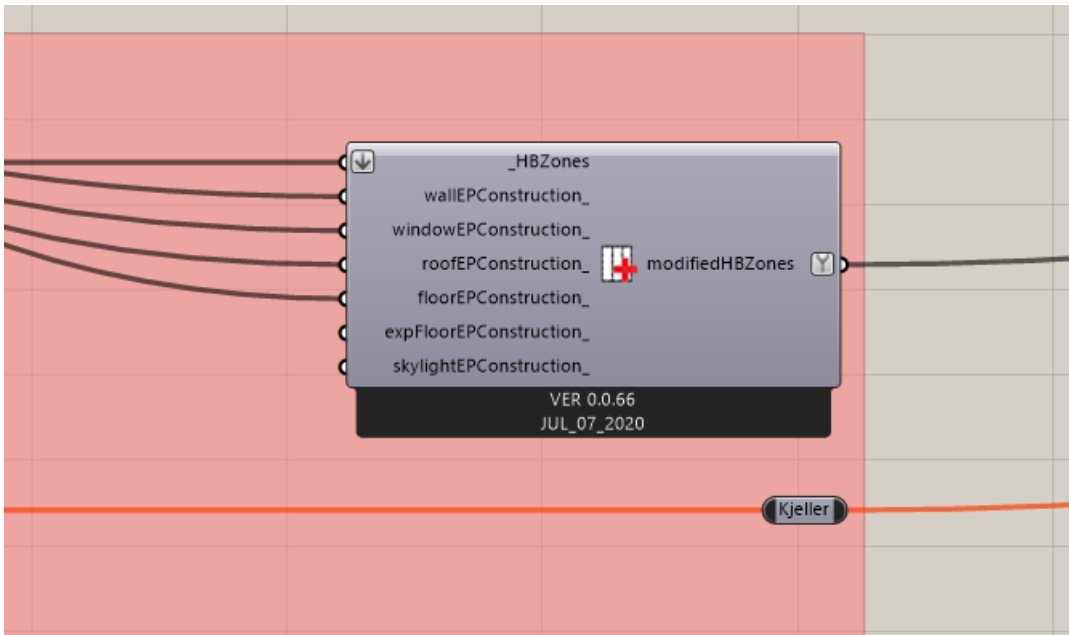
Figur 42: kontorfløy DEL 5: vinduer defineres som HB objekter



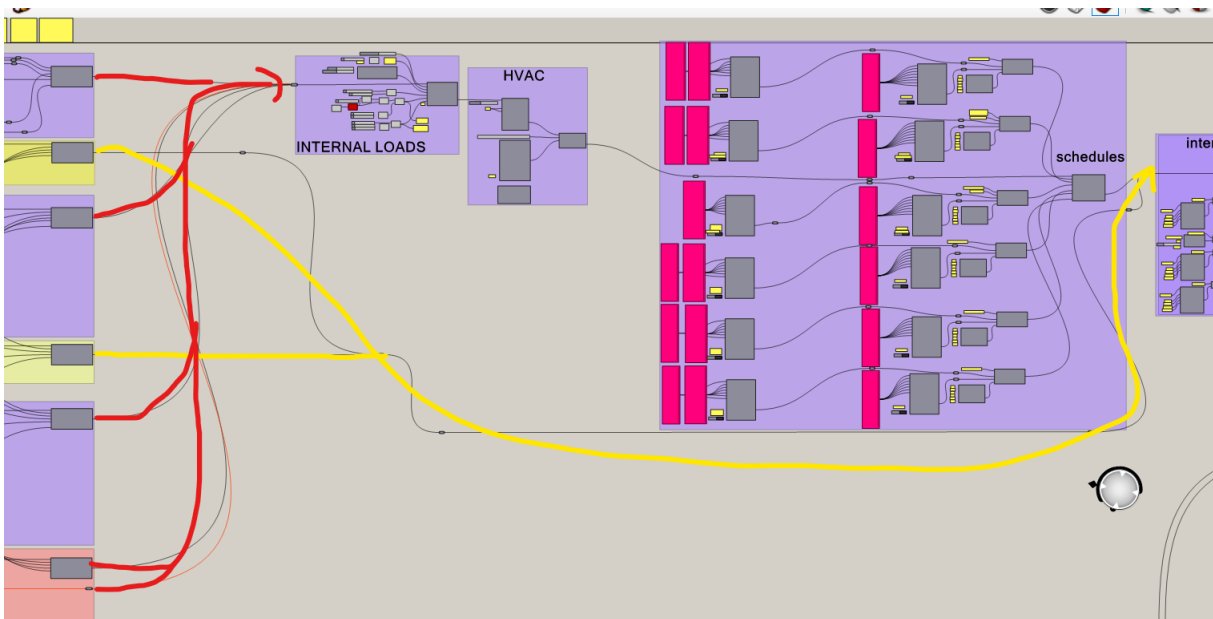
Figur 43 kontorfløy DEL 6: kjeller konstrueres som undergrunns-soner



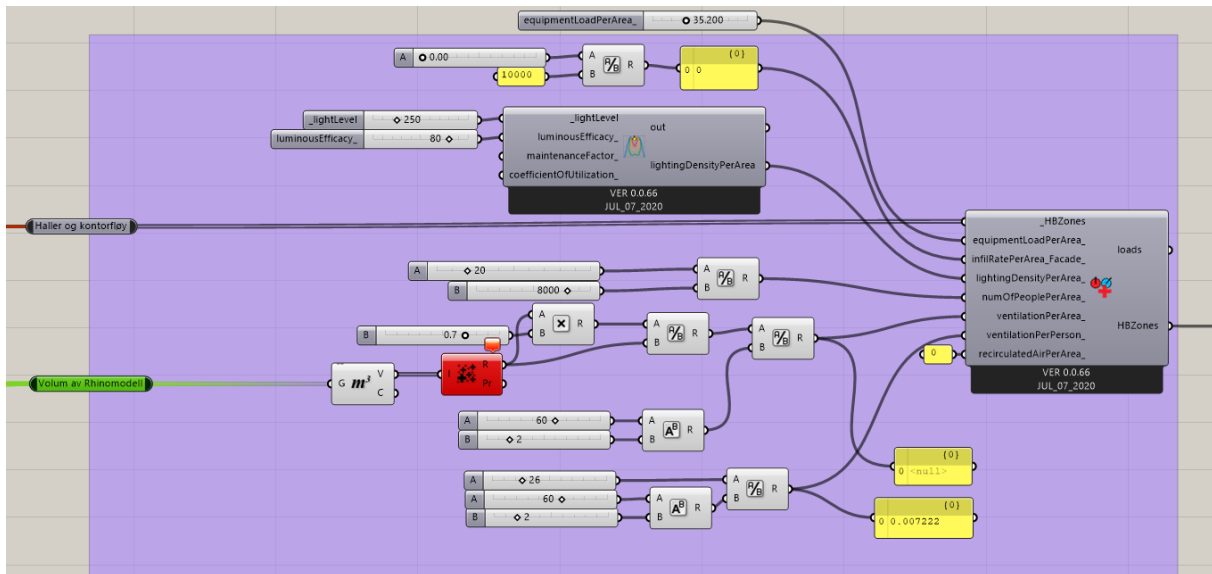
Figur 44 kontorfløy del 7: kjellerdels vegg og golv på grunn defineres, og kjellerens sone sammenføres



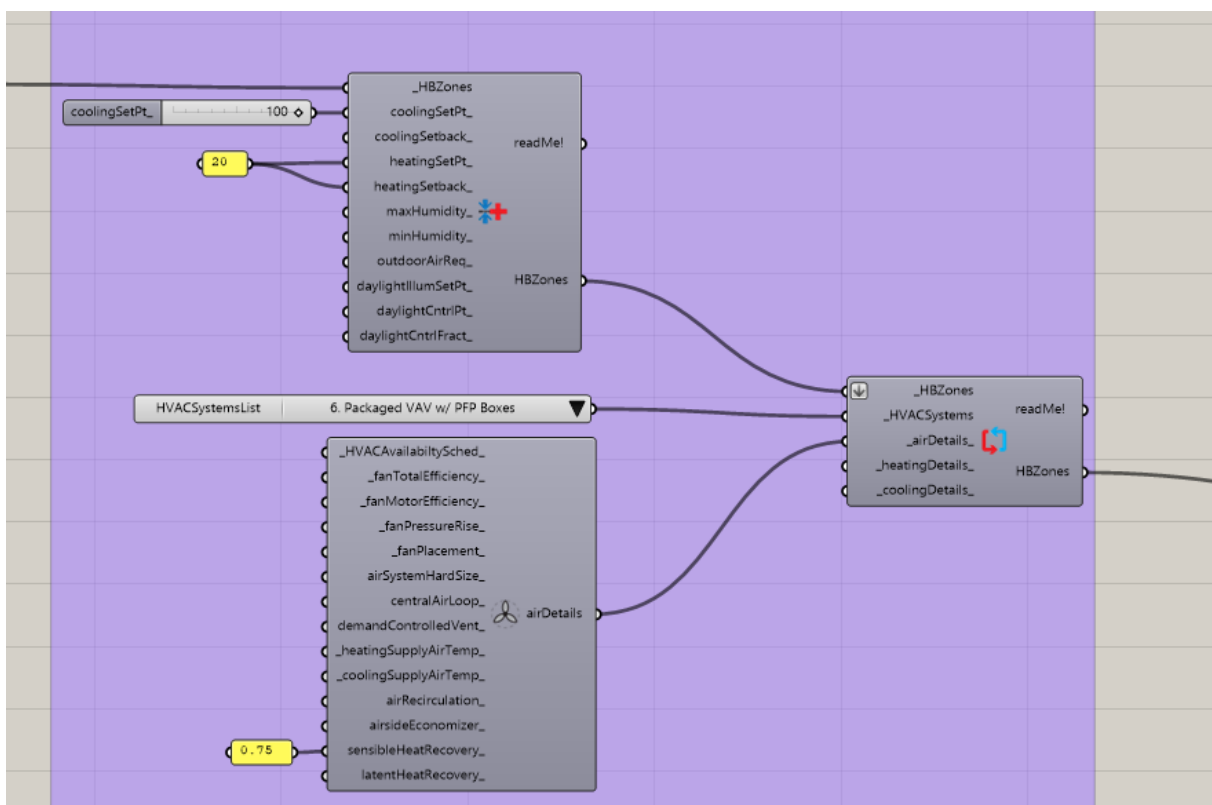
Figur 45 kontorfløy DEL 8: konstruksjonen sammenføres



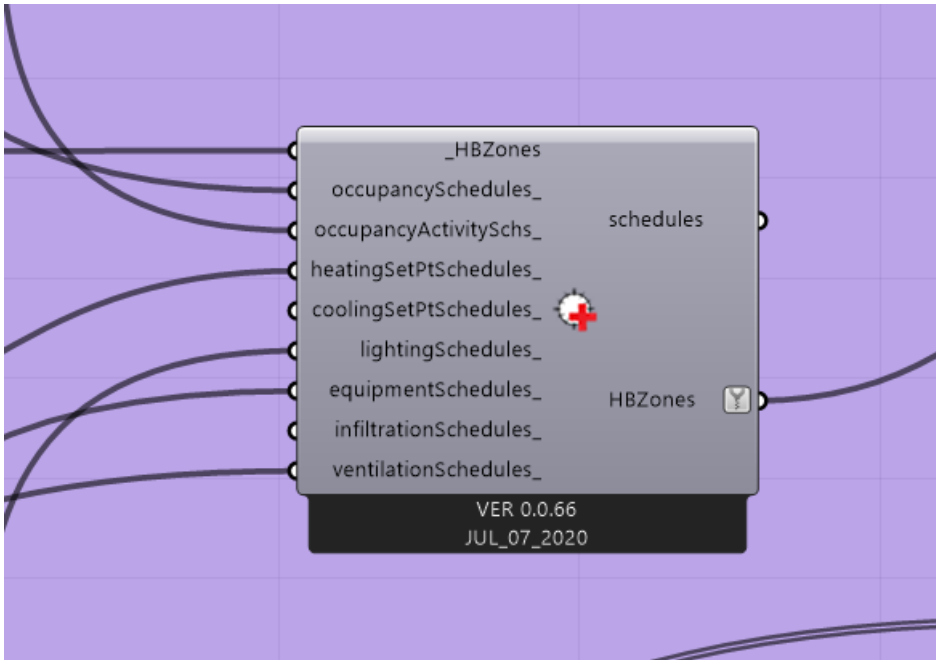
Figur 46 I rødt: kontorfløy og produksjonshaller modelleres med drift, I gult: lagre er ikke akklimatisert og unngår definering av energilaster og drift av bygget



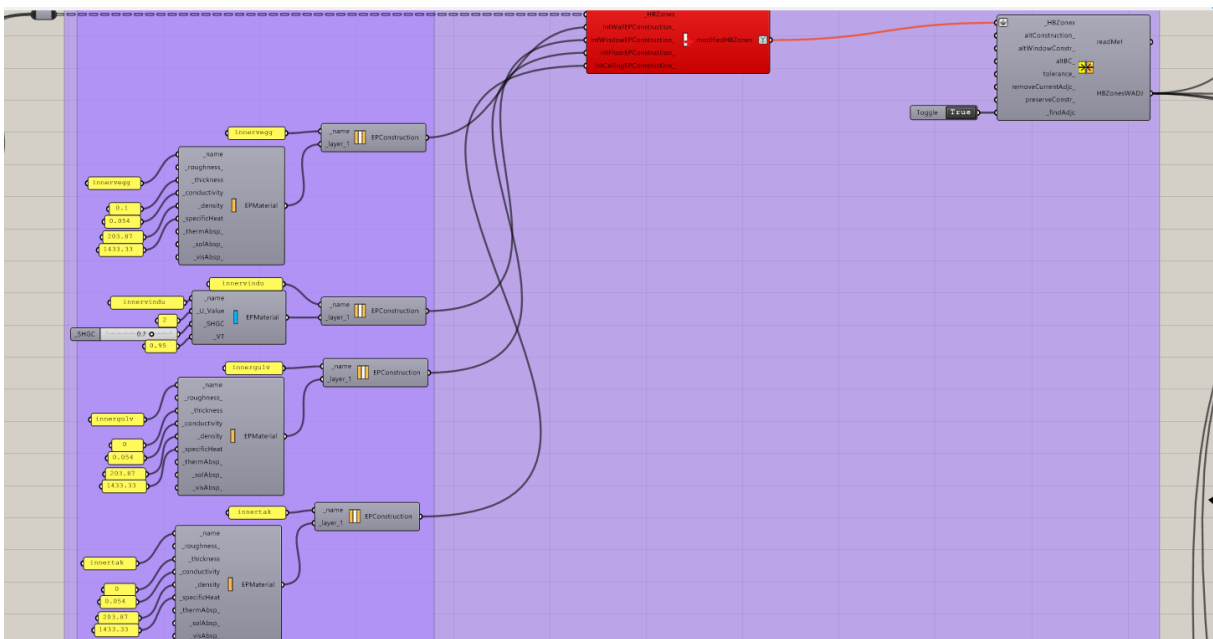
Figur 47: interne laster er definert i soner



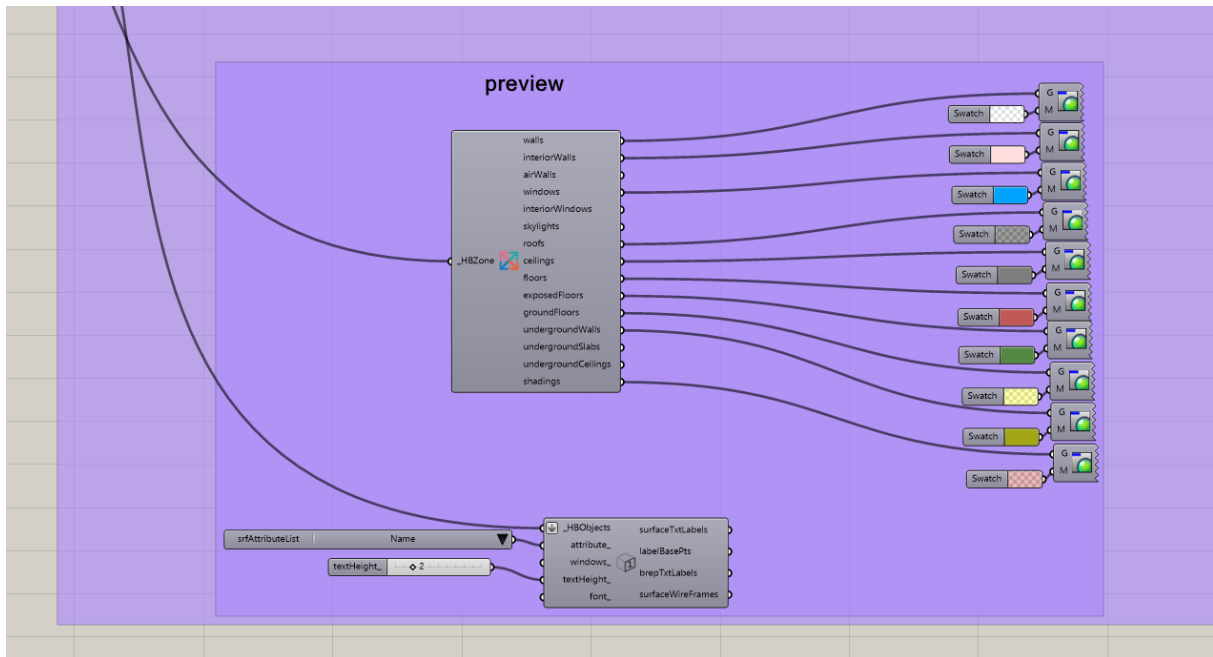
Figur 48: HVAC defineres i bygget



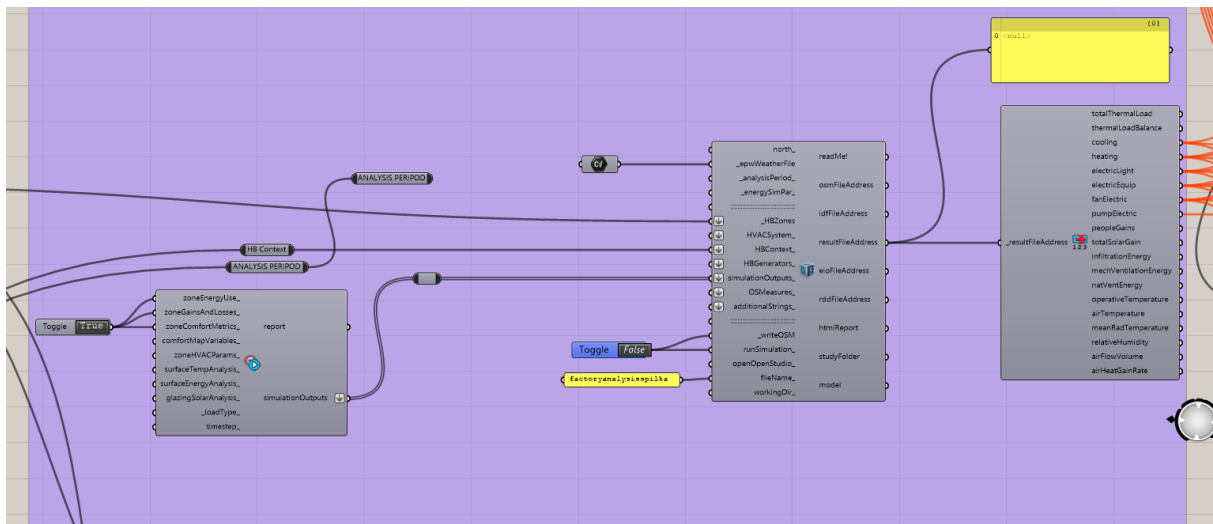
Figur 52: timeplaner DEL 4: schedules inkluderes i Honeybee soner



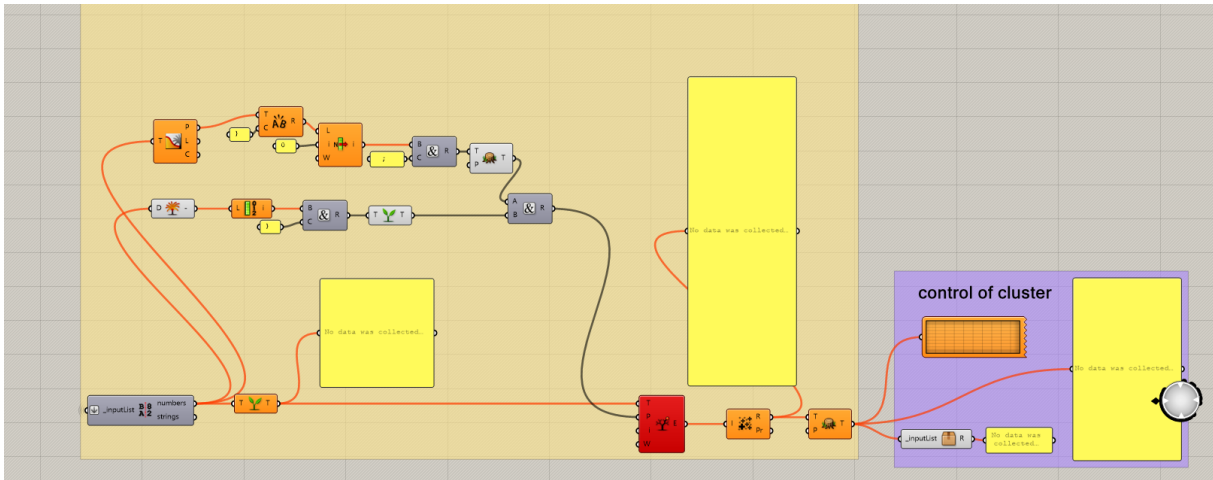
Figur 53: innvendige konstruksjoner defineres, og alle soner er sveist sammen i en sammenhengende stor modell



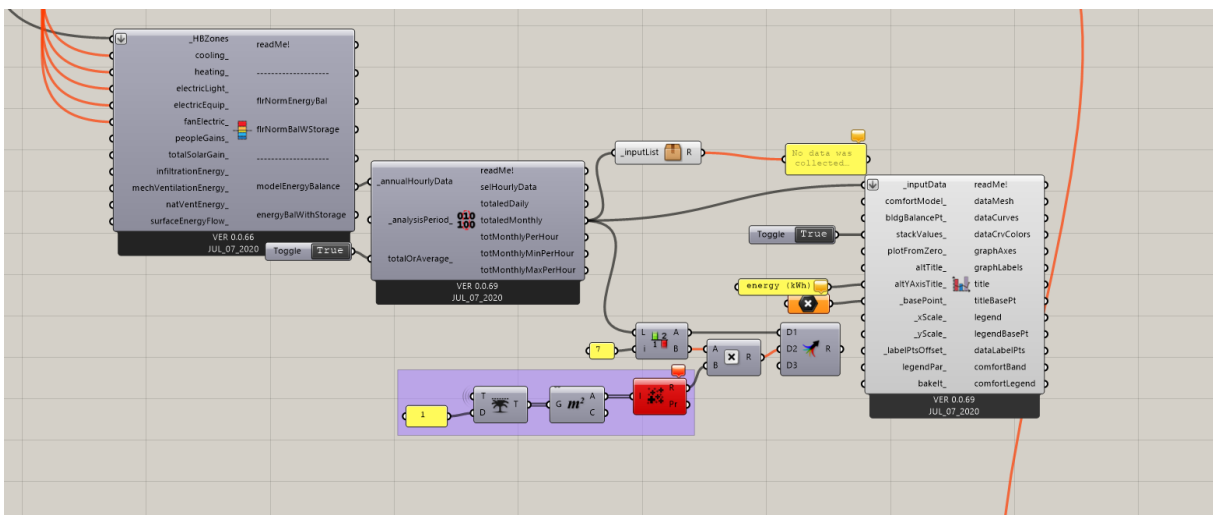
Figur 54 visuell presentasjon av den endelige modellens geometri og plassering av HB genererte konstruksjoner



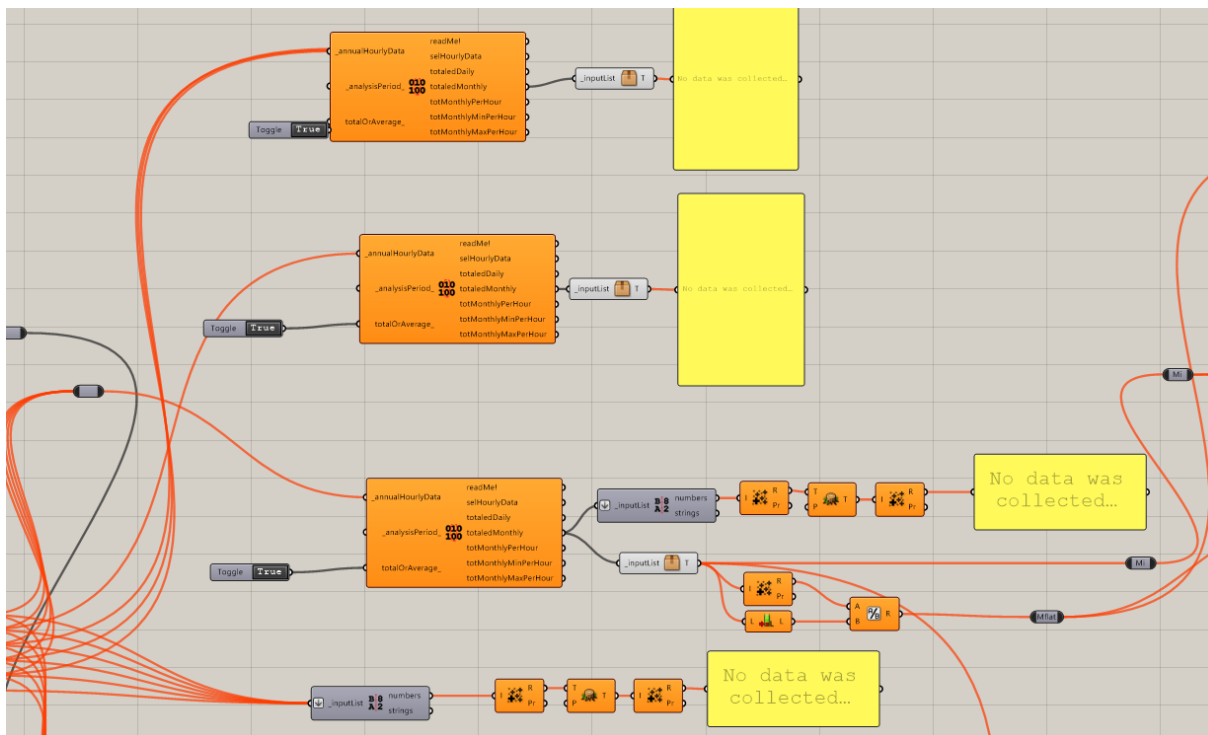
Figur 55 fra venstre: definering av resultat som simuleringen skal produsere, kjøring av simulering, uthenting av resultat for simulering



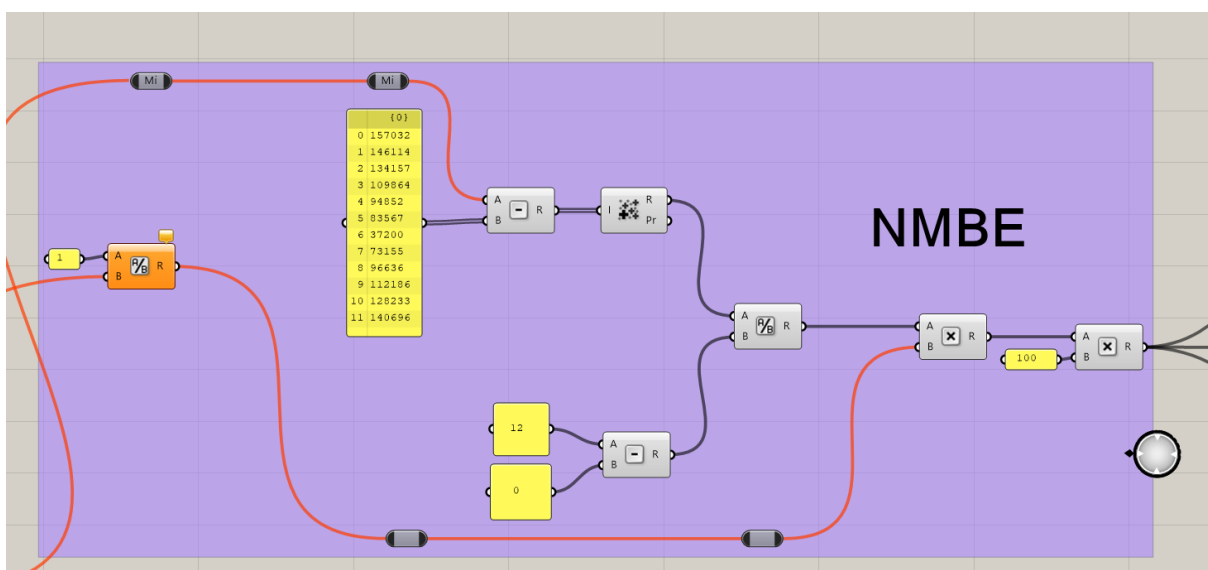
Figur 56 egendefinert "cluster". Dets funksjon er å sammenføre data fra flere soner inn i en lesbar streng data kan bedre tolkes fra



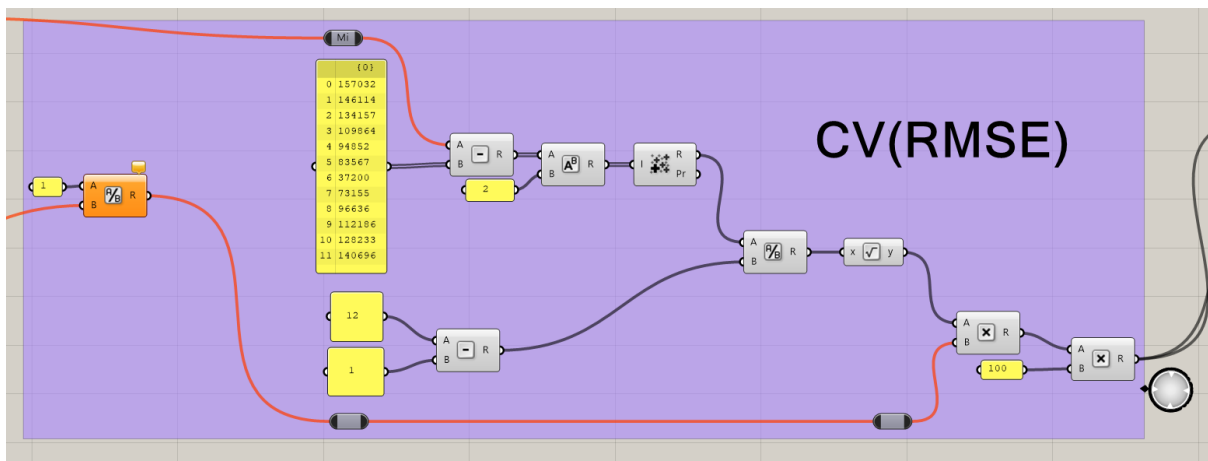
Figur 57: visuell presentering av månedlig fordeling og allokering av energi i simulering



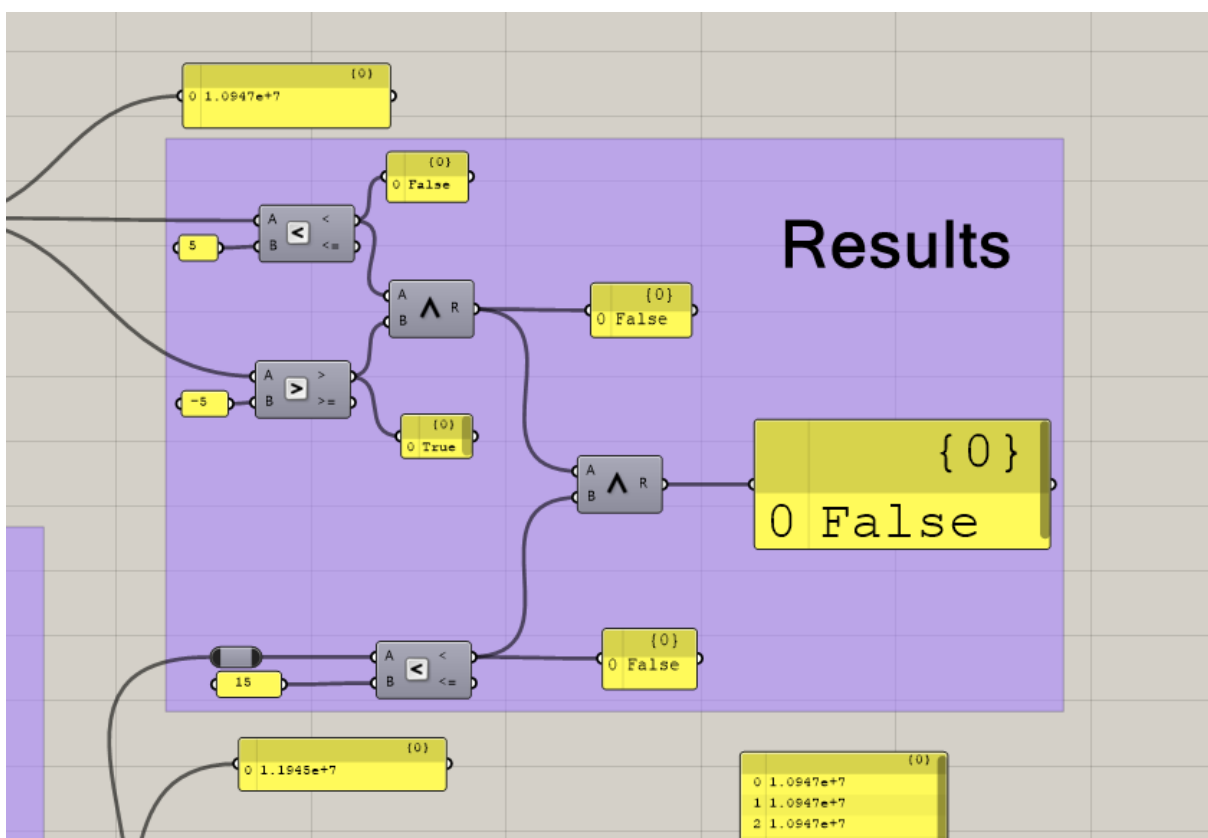
Figur 58: uthenting av data fra simuleringen og klargjøring av data for kalibreringsjekk



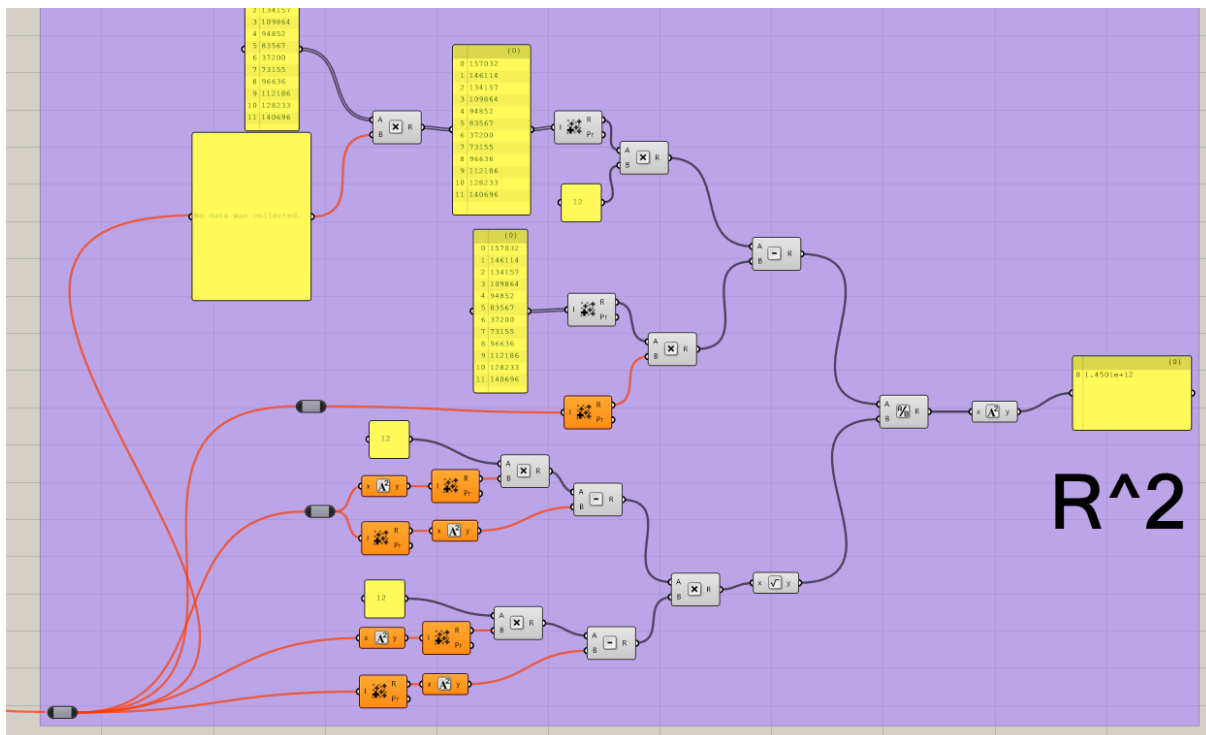
Figur 59 kalibrering DEL 1: formel for NMBE konstruert med logiske operatører



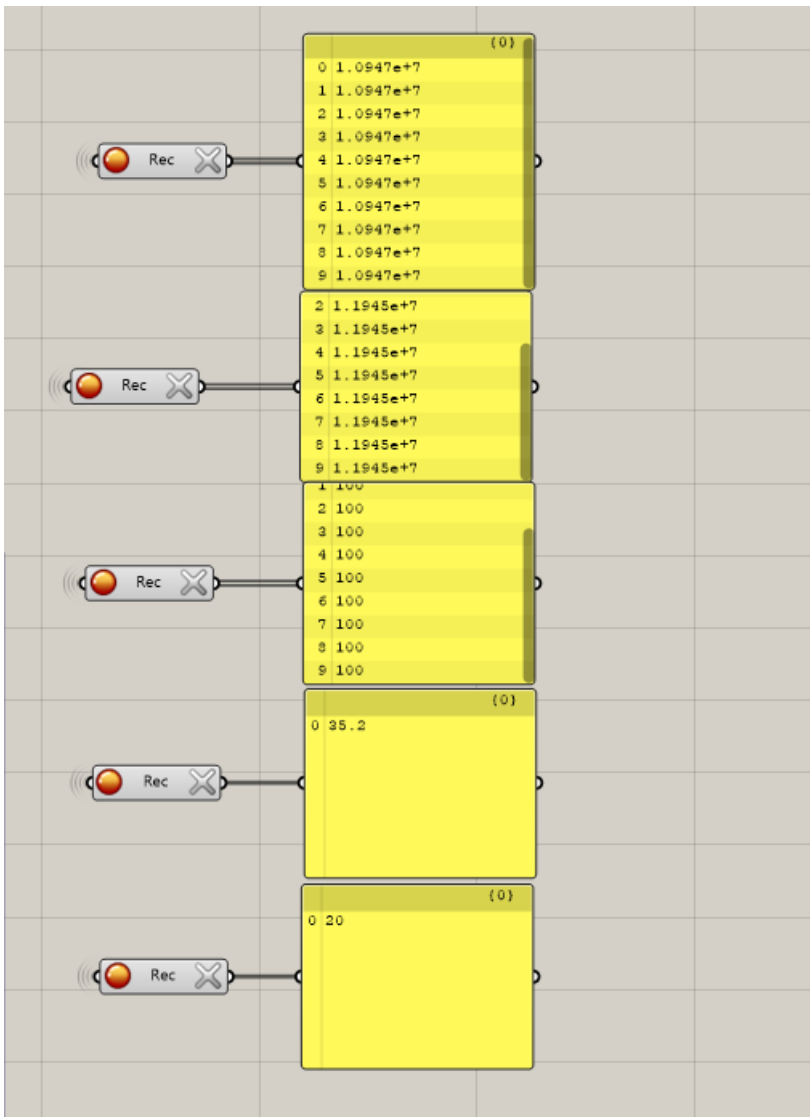
Figur 60 kalibrering DEL 2: formel for CV(RMSE) konstruert ved logiske operatører



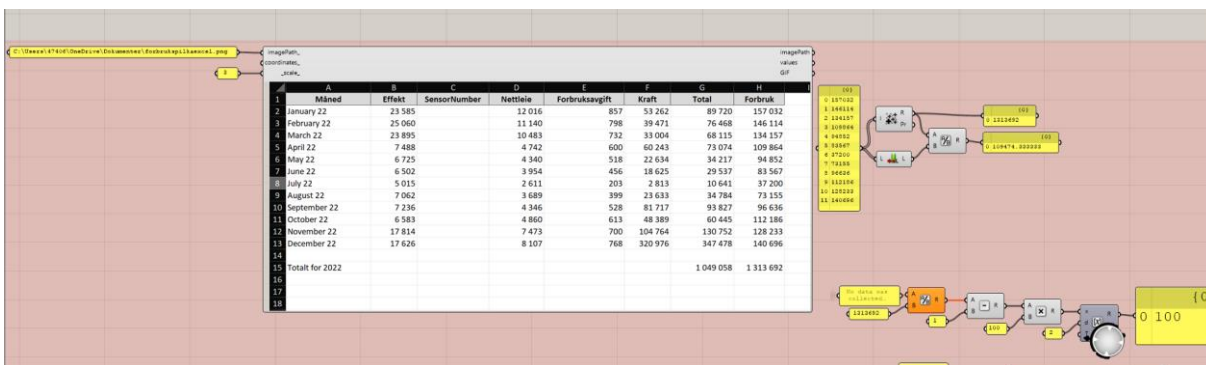
Figur 61 kalibrering DEL 3: validering av endelig resultat av KRAV fra ASHRAE ved bruk av logiske operatører



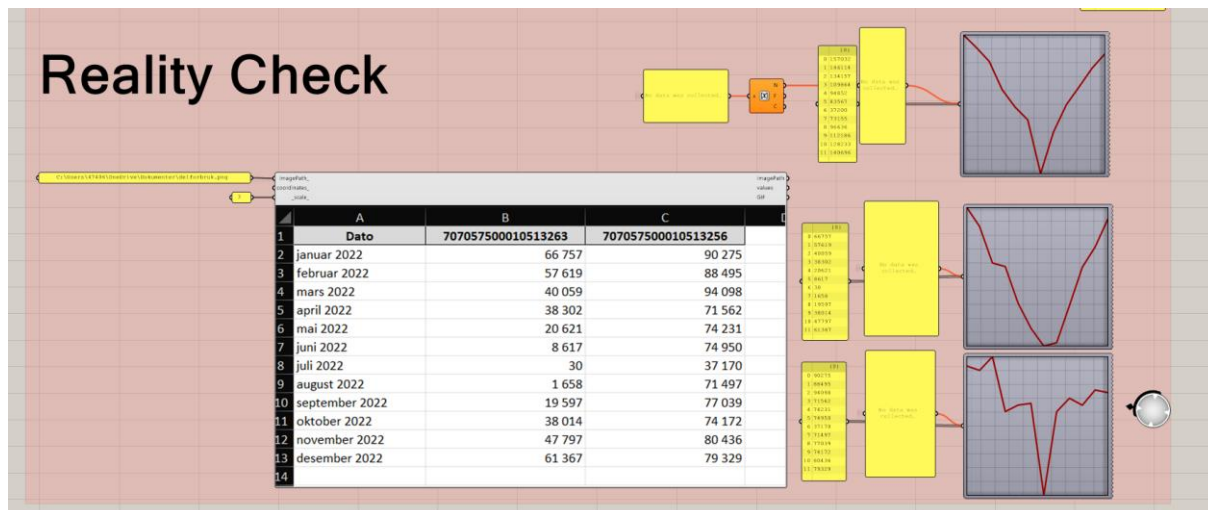
Figur 62 kalibrering DEL 4: formel for Coefficient of Determination ved bruk av logiske operatører, merk at dette er en ANBEFALING og ikke et krav fra ASHRAE



Figur 63: kalibrering DEL 5: data recordere brukes for å holde styr på optimale verdier for diverse inputs i interne energilaster, kalibreringskrav, og kalibreringsanbefalinger

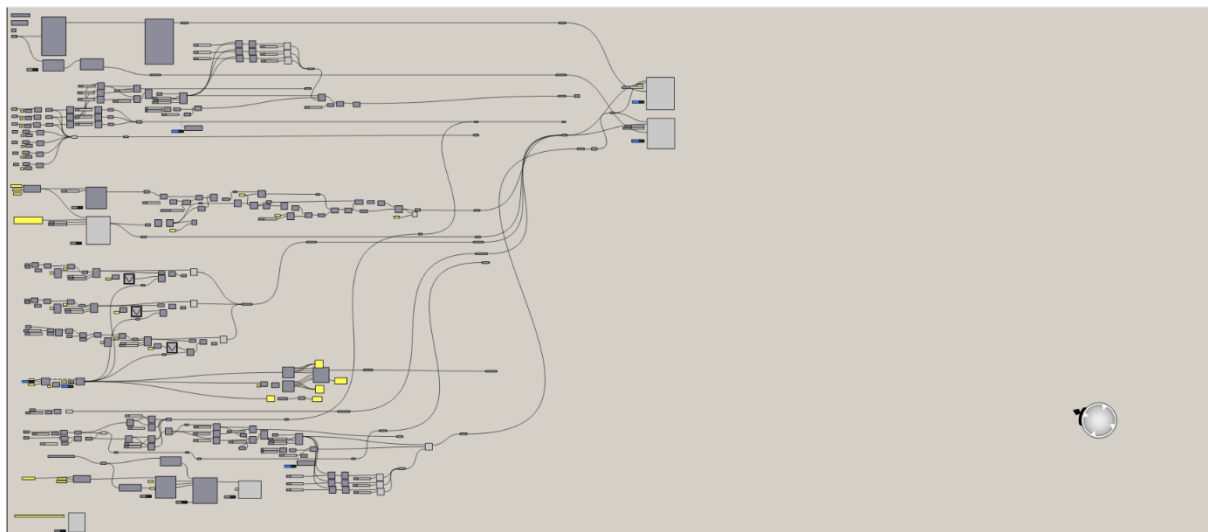


Figur 64: kalibrering DEL 6: kontroll av strømndata tilsendt fra Spilka

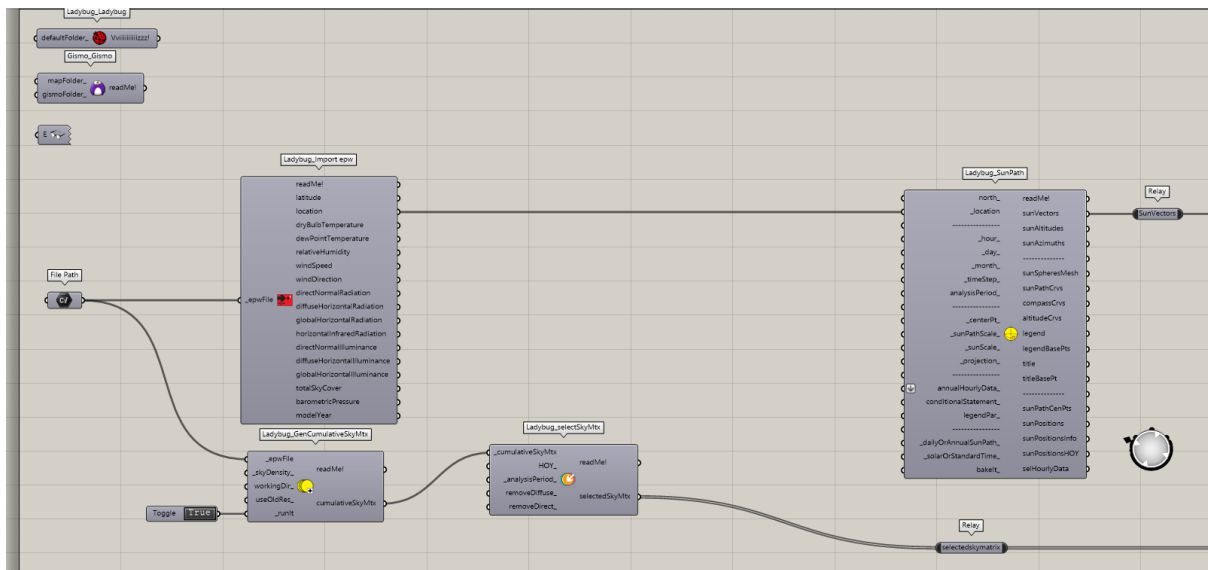


Figur 65 kalibrering DEL 7: visuell kontroll av energi til varme og energi til andre formål oppimot simulerte verdier av BEM

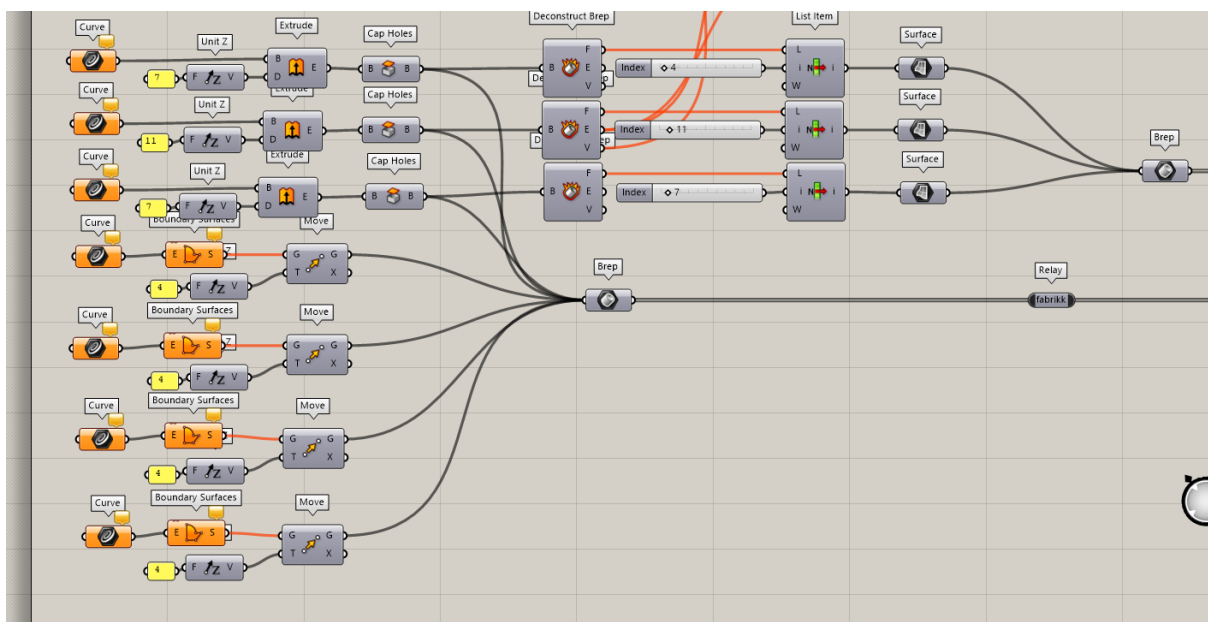
Parametrisk studie av moduler i Rhino



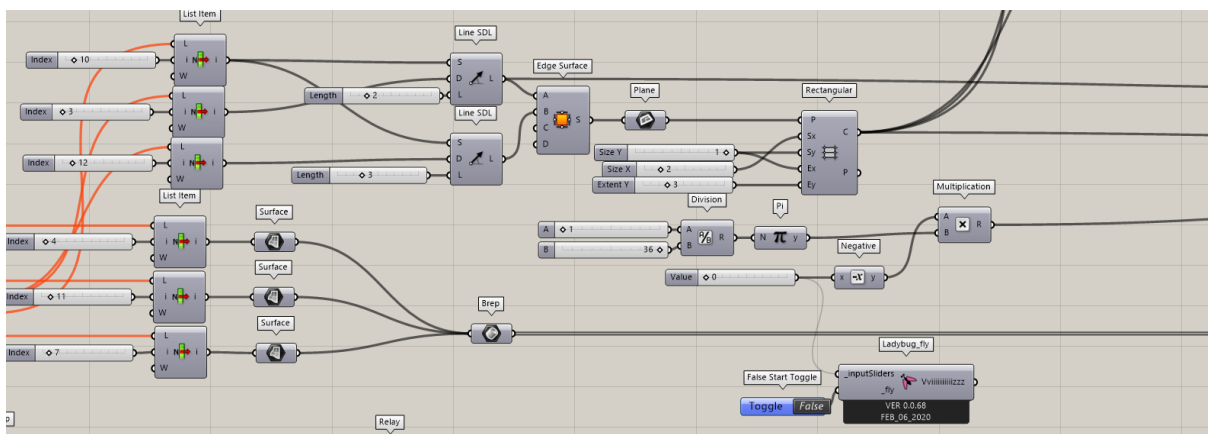
Figur 66: hele scriptet ekskludert datahentning og dataeksport, disse vises mot slutten av dette delkapittelet



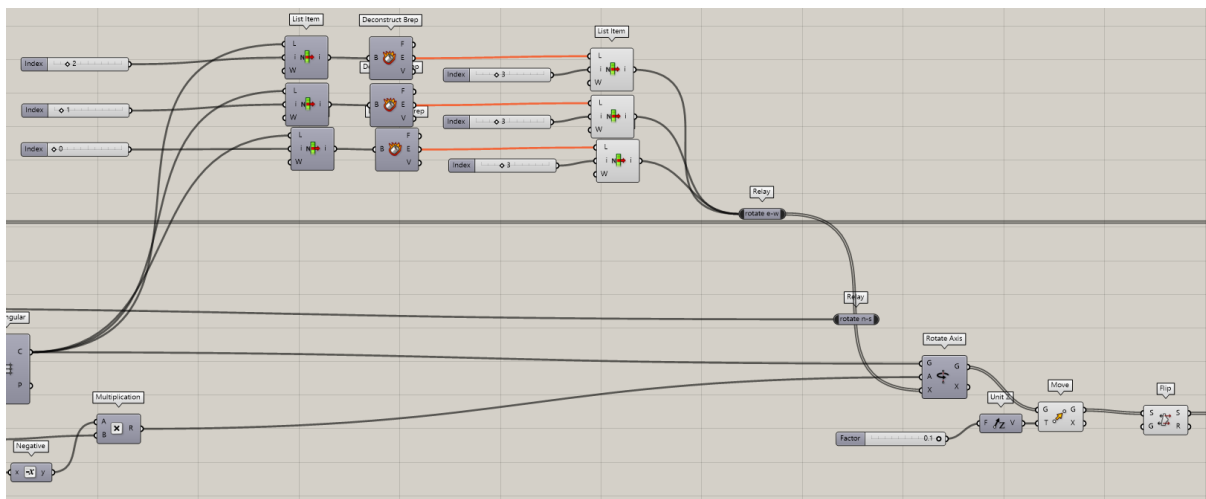
Figur 67: henting av klimadata, innlasting av ladybug og Gizmo



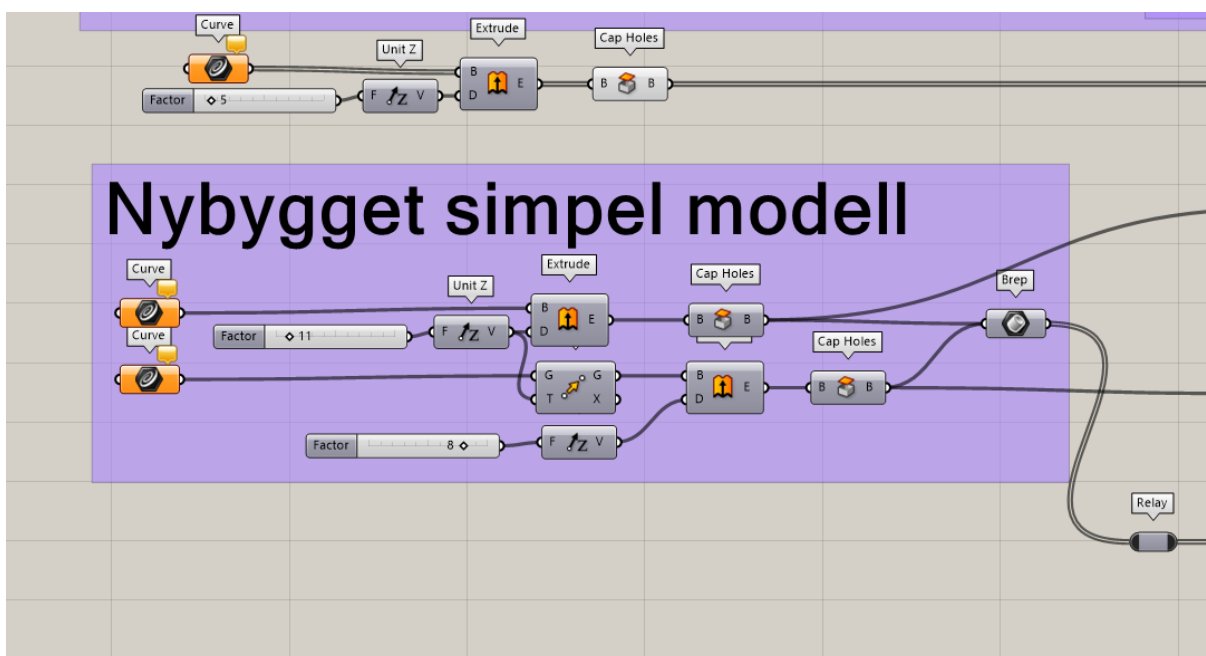
Figur 68: konstruering av fabrikkens geometri



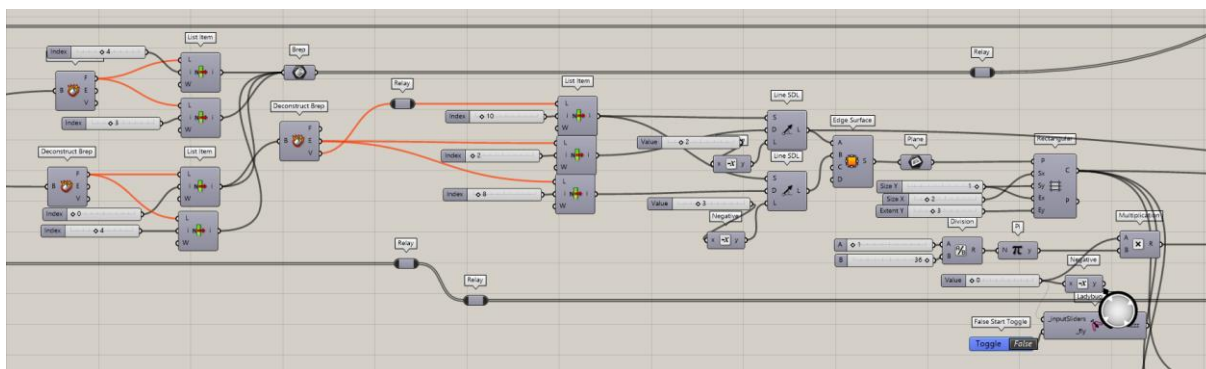
Figur 69: venstre nederst: fabrikkens geometri, øverst: installering av fiktiv modul. nederst: rottering av modul



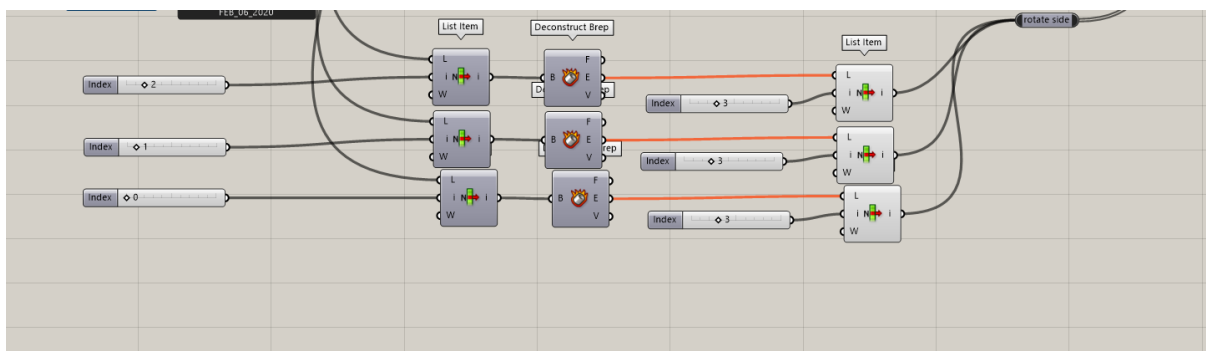
Figur 70: øverst: definering av rotasjon av fiktiv modul. Nederst til høyre: endelig geometri av modul som flate til analyse



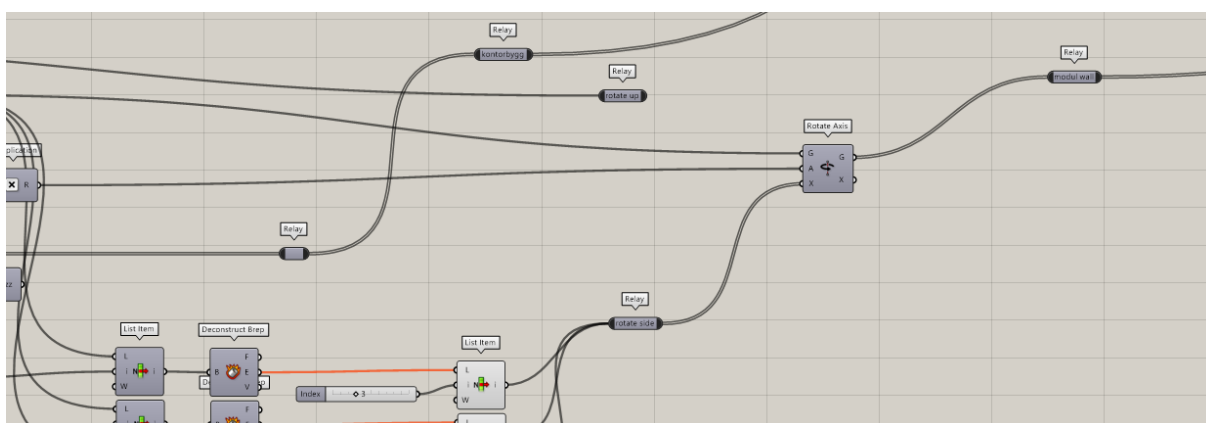
Figur 71 øverst: manglende bygg fra Gizmo fylles inn. Nederst: nybygget konstrueres som en enkel modell



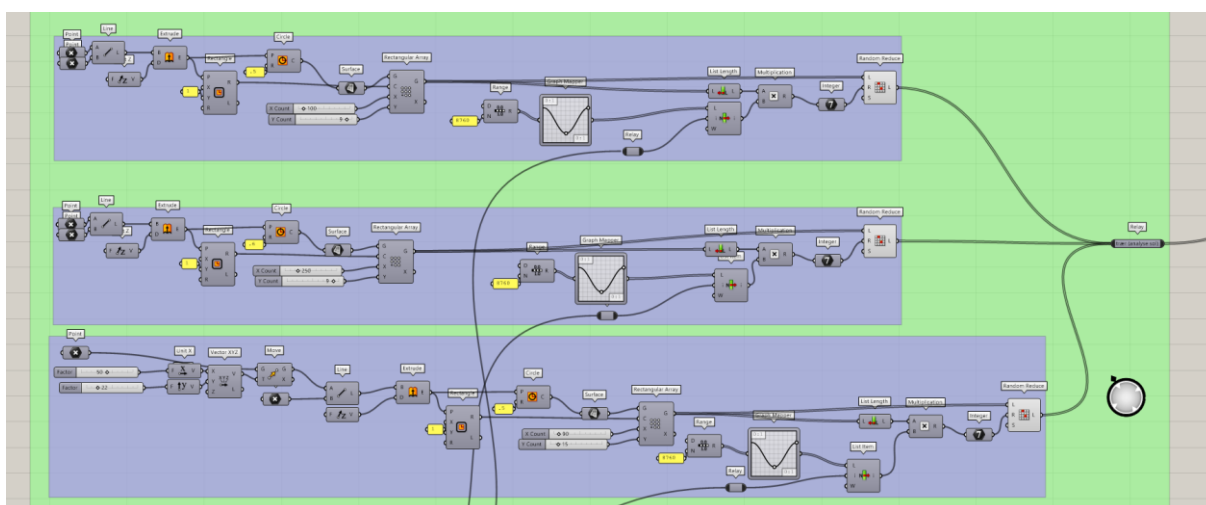
Figur 72 venstre: plassering av fiktiv modul beskrives. øverst til høyre: beskrivelse av modulens geometri. nederst til høyre: funksjon for rotasjon av modul



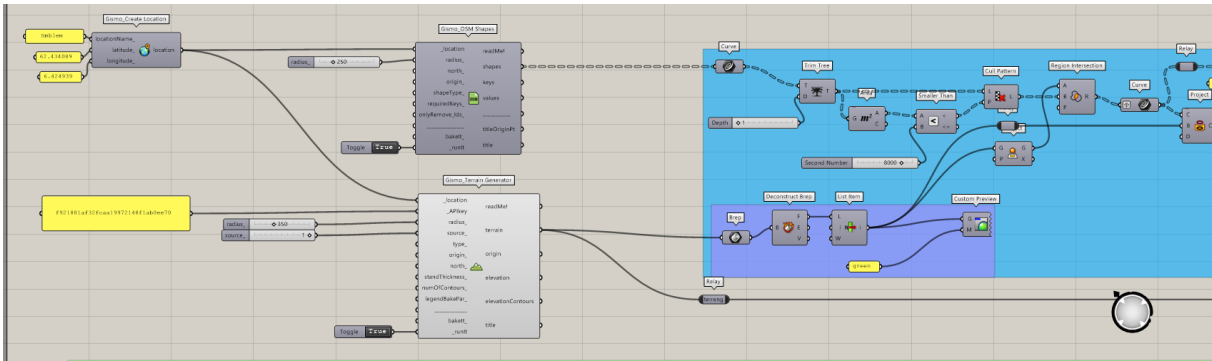
Figur 73 beskrivelse av rotasjonsakse for fiktiv modul



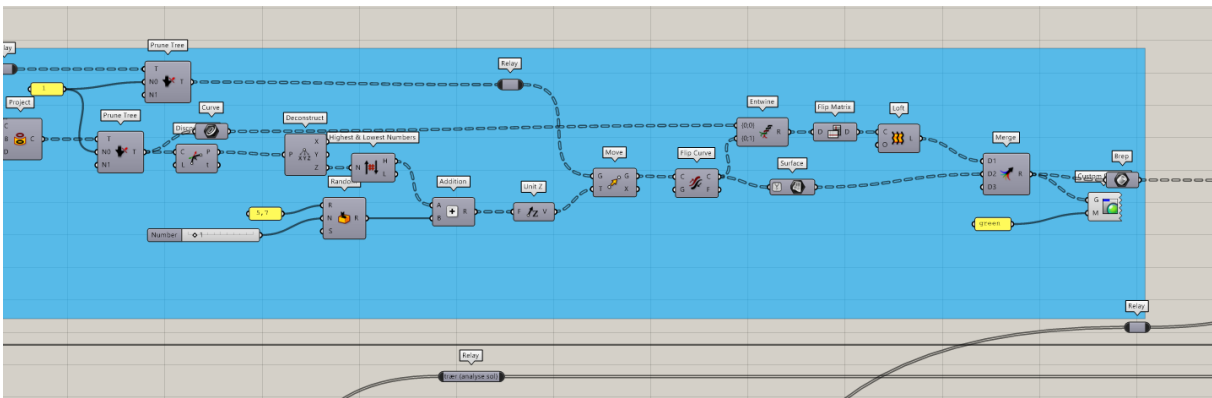
Figur 74 endelig rotert geometri av modul og geometri av nybygget eksporteres som klare til analyse



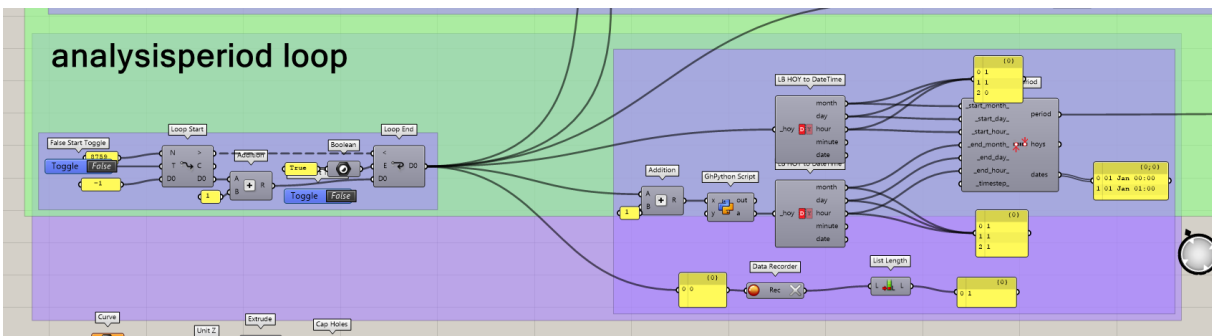
Figur 75: kontekst: Trær



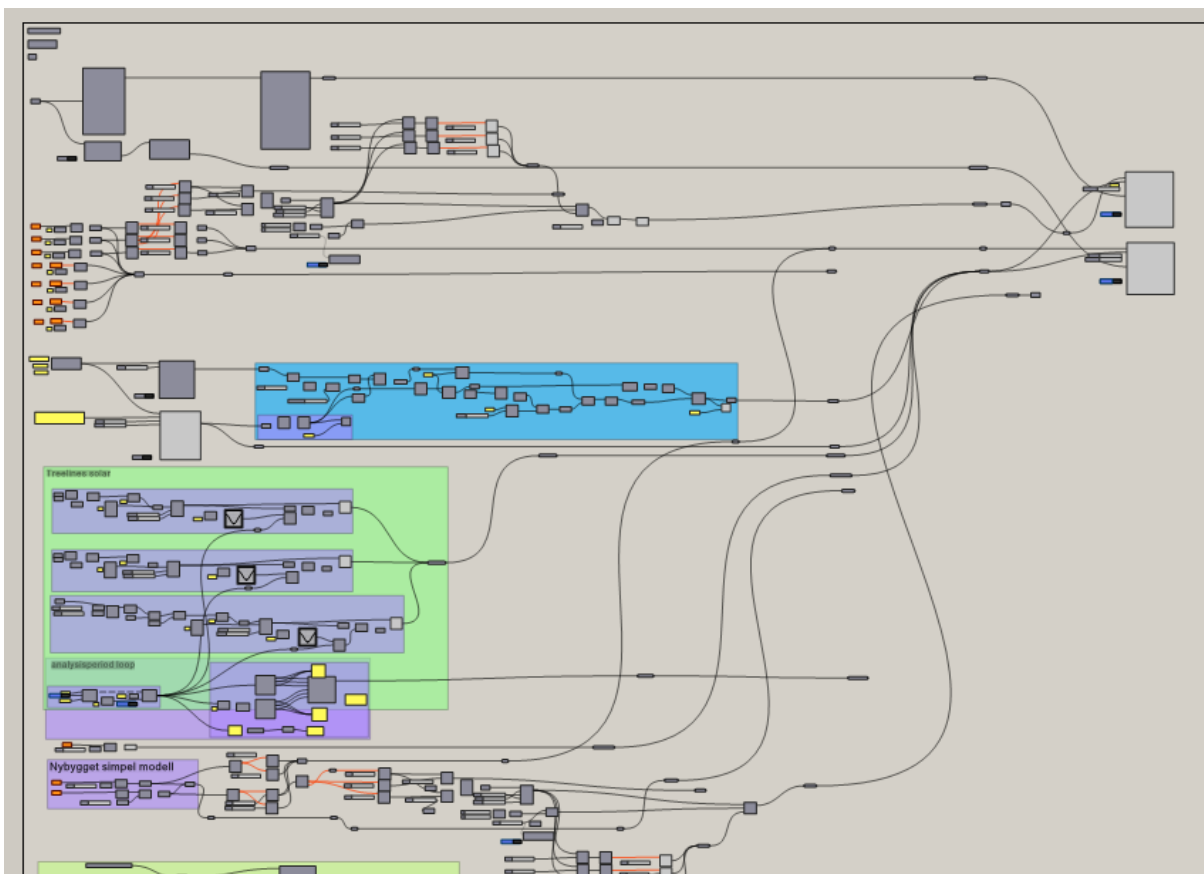
Figur 76 kontekst nabohus DEL 1



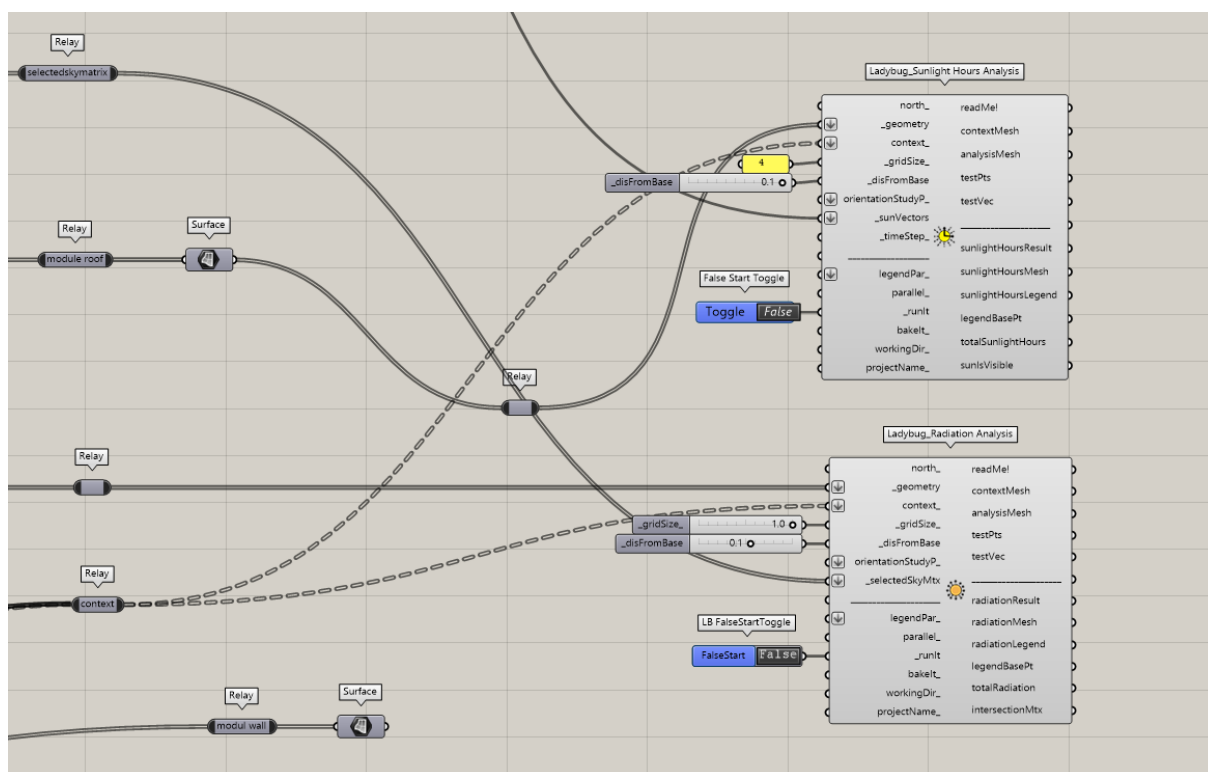
Figur 77 kontekst nabohus DEL 2:



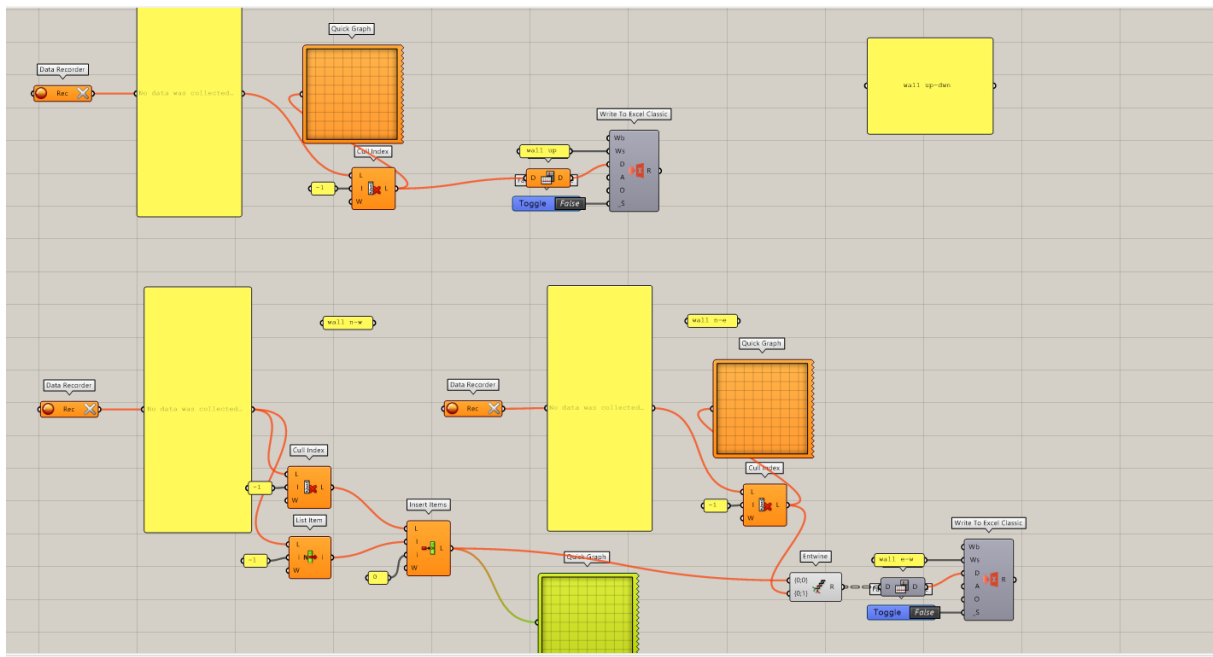
Figur 78 UTGÅTT: modellering av trær over årstider



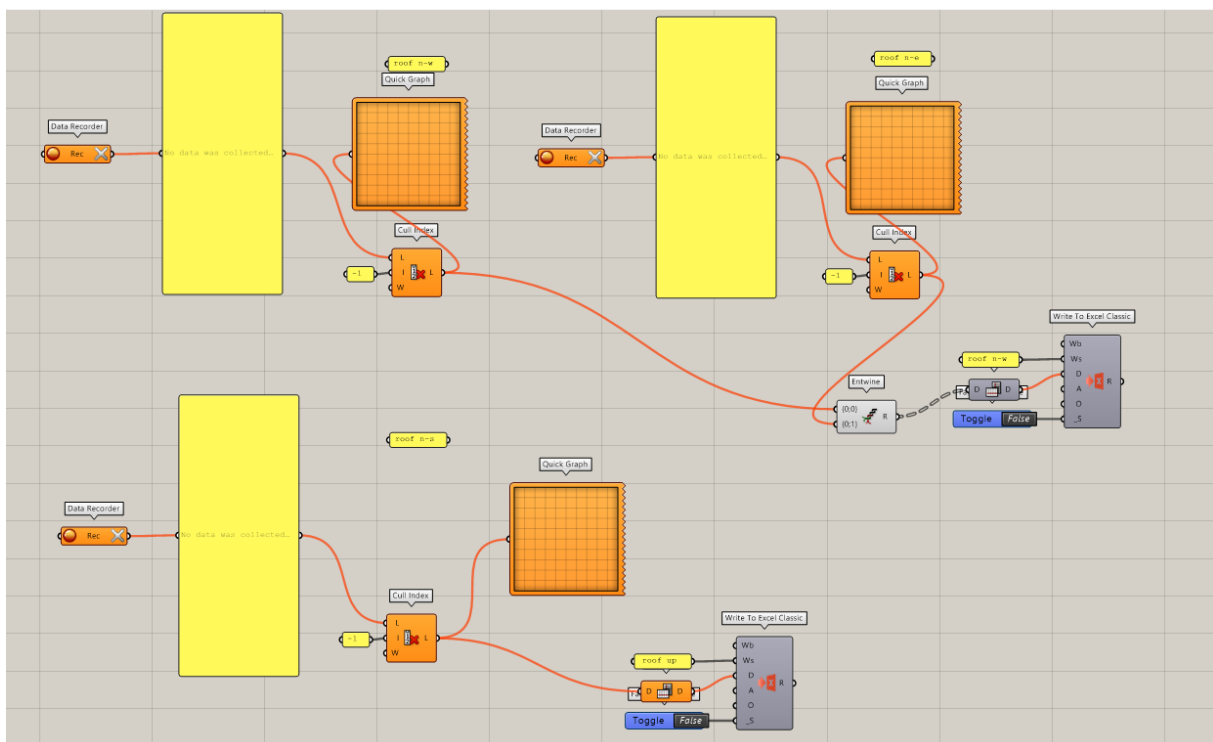
Figur 79 sammenføring av alt til endelig analysering



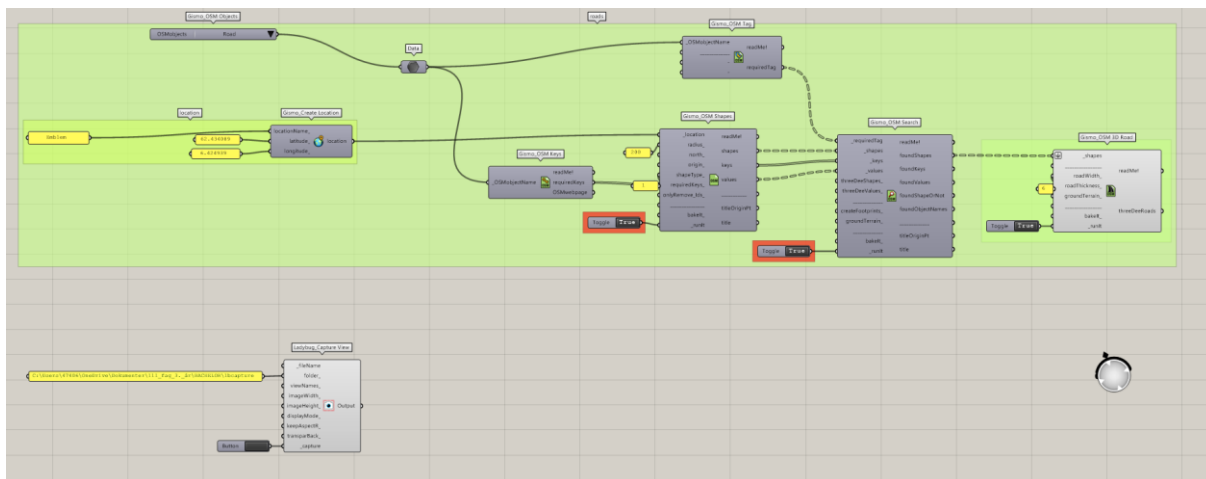
Figur 80 analyse av antall timer sollys og mengde energi fra solstråling på bestemt geometri gitt definert kontekst som skygger



Figur 81 data DEL 1: samling, visuell presentering og eksportering til Excel



Figur 82 data DEL 2: samling, visualisering og eksportering av data til Excel



Figur 83 estetisk: Generering av veinett øverst og bildetaking nederst

VEDLEGG D

Beregninger for klimaskjerm i Python

```

#define u-values (v->wall; t->roof; g->floor)
Uv17 = 0.22
Uv85 = 0.45
Ut17 = 0.18
Ut85 = 0.23
Ug17 = 0.18
Ug85 = 0.3

#assume envelope thickness
dv17 = 0.3
dv85 = 0.15
dt17 = 0.35
dt85 = 0.2
dg17 = 0.5
dg85 = 0.4

#calculate conductivity U = 1/R , R = d/Lambda, therefore C = U*d
Lamv17 = Uv17*dv17
Lamv85 = Uv85*dv85
Lamt17 = Ut17*dt17
Lamt85 = Ut85*dt85
Lamg17 = Ug17*dg17
Lamg85 = Ug85*dg85
print(Lamv17,Lamv85,Lamt17,Lamt85,Lamg17,Lamg85)

```

```
0.066 0.0675 0.063 0.046000000000000006 0.09 0.12
```

Figur 1: uverdi, tykkelse, og konduktivitet antas/måles/beregnes

```

bd=0.15 #betongdekke
#assuming density of envelope
#density of envelope from 85 is the same per m3
#take density from byggforsk, multiply out the width of passivhouse wall, convert to kg
rhuv = (0.6/dv17)*(1000/9.81) #kN/m2 /m >kN/m3 > 1kN = 1/9.81 * 1000
rhut = (0.7/dt17)*(1000/9.81)
rhug = ((25*bd+1*(dg17-bd))/dg17)*(1000/9.81)
print(rhuv,rhut,rhug)

#assuming Sp. heat Cap. of envelope

Cv = 1400*5/6 + 1600/6 #assuming 250 mm isolation
Ct = 1400*6/7 + 1600/7 #assuming 300 mm isolation
Cg = 1400*7/10 + 1000*3/10 #assuming 350 mm isolation
print(Cv,Ct,Cg)

```

```

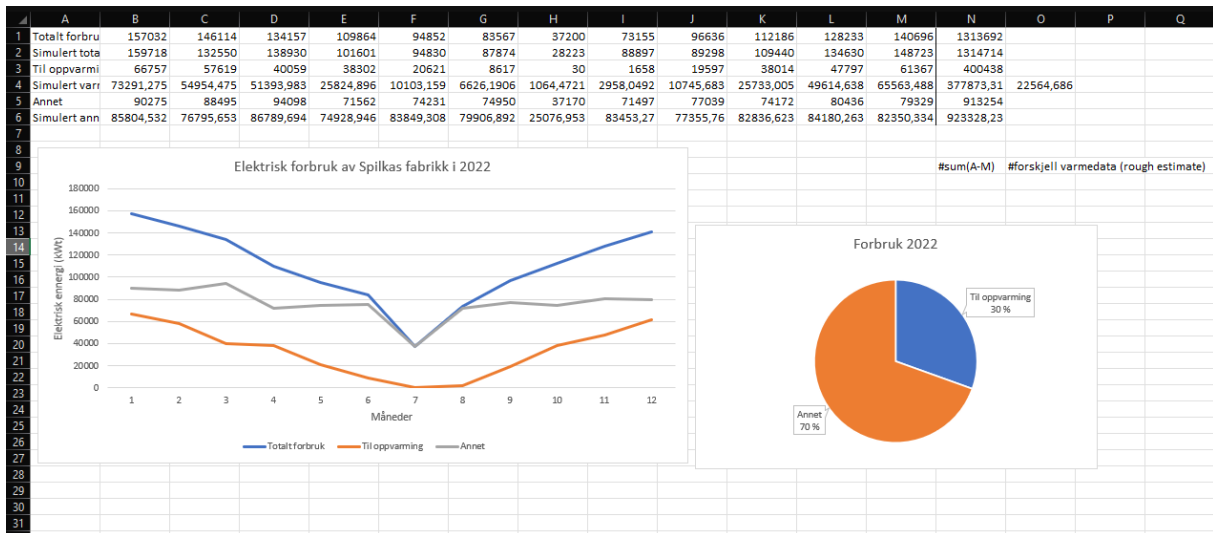
[2]
.. 203.8735983690112 203.8735983690112 835.8817533129459

```

Figur 2: tyngdetetthet og spesifikk varmekapasitet uttrykkes i python

VEDLEGG E

Data og diverse formler for BEM i Excel



Figur 1 BEM data 1: Base case

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Egentlig total	157032	146114	134157	109864	94852	83567	37200	73155	96636	112186	128233	140696	1313692		
2	Simulert total	155577	129350	136185	100074	94445	87915	28321	89004	88810	107712	131663	144749	1293805		
3	Egentlig varm	66757	57619	40059	38302	20621	8617	30	1658	19597	38014	47797	61367	400438	41219,714	
4	Simulert varm	69701,6268	52231,3343	48970,4652	24524,1672	9703,09377	6468,54579	1011,43462	2866,59576	10227,8441	24254,2034	47116,2153	62142,7598	359218,286		
5	Egentlig annet	90275	88495	94098	71562	74231	74950	37170	71497	77039	74172	80436	79329	913254		
6	Simulert anne	85243,8414	76307,7457	86487,0854	74783,4861	83951,6667	80107,4853	25202,2813	83568,1553	77387,2434	82599,8219	83714,8475	81794,82	921148,48		

sum rad rough estimate

Figur 2 BEM data passivhusvindu

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Egentlig total	157032	146114	134157	109864	94852	83567	37200	73155	96636	112186	128233	140696	1313692	
2	Simulert total	157143	130698	137350	100676	94508	87780	28210	88793	88896	108317	132747	146271	1301389	
3	Egentlig varm	66757	57619	40059	38302	20621	8617	30	1658	19597	38014	47797	61367	400438	
4	Simulert varm	71066,9362	53379,5953	50037,7737	25059,7294	9823,02466	6508,50841	1019,30417	2861,88154	10389,9553	24799,9684	48025,4543	63444,7818	366416,913	
5	Egentlig annet	90275	88495	94098	71562	74231	74950	37170	71497	77039	74172	80436	79329	913254	
6	Simulert anne	85450,408	76515,1687	86565,6583	74789,8398	83827,1336	79936,5999	25105,5727	83422,9499	77309,5906	82648,297	83884,7706	82016,7142	921472,703	

sum rad

Figur 3 BEM data etterisolert vegg 1980-tallet

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	146114	134157	109864	94852	83567	37200	73155	96636	112186	128233	140696		
2	129741	136459	100441	94518	87751	28214	88848	88760	107764	131931	145401		
3	57619	40059	38302	20621	8617	30	1658	19597	38014	47797	61367		
4	52418,6838	49169,0129	24823,6738	9827,68257	6486,22396	1041,83484	2901,58159	10264,6472	24306,7246	47219,8959	62574,9535		
5	88495	94098	71562	74231	74950	37170	71497	77039	74172	80436	79329		
6	76518,3068	86542,2025	74778,6908	83818,2059	79917,5908	25087,614	83430,3304	77291,2145	82586,5136	83873,7417	82015,3846		

Figur 4 BEM data etterisolert tak 1980-tallet

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Egentlig total	157032	146114	134157	109864	94852	83567	37200	73155	96636	112186	128233	140696		1313692
2	Simulert total	153540	127849	134880	99584	94216	87713	28203	88810	88388	106701	130051	142969		1282904
3	Egentlig varme	66757	57619	40059	38302	20621	8617	30	1658	19597	38014	47797	61367		400438
4	Simulert varme	67780,16751	50775,0302	47771,1691	24091,416	9560,98001	6383,49744	998,258988	2803,06646	9922,59039	23412,7409	45617,4167	60452,2588		349568,5926 50869,4074
5	Egentlig annet	90275	88495	94098	71562	74231	74950	37170	71497	77039	74172	80436	79329		913254
6	Simulert annet	85127,98269	76267,3242	86362,4168	74678,8677	83817,6275	79984,7251	25115,9769	83464,0788	77262,5414	82420,3828	83594,0292	81706,3392		919802,2924
7														sum rad	rough estimat

Figur 5 BEM data etterisolert tak og vegg transmission loss

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Basecase	73291,275	54954,4748	51393,9828	25824,896	10103,1588	6626,19063	1064,47208	2958,04919	10745,6826	25733,0053	49614,6382	65563,4884				
2	Etterisolert tak	69908,2783	52418,6838	49169,0129	24823,6738	9827,68257	6486,22396	1041,83484	2901,58159	10264,6472	24306,7246	47219,8959	62574,9535				
3	Etterisolert vegg	71066,9362	53379,5953	50037,7737	25059,7294	9823,02466	6508,50841	1019,30417	2861,88154	10389,9553	24799,9684	48025,4543	63444,7818				
4	Etterisolert begge	67780,1675	50775,0302	47771,1691	24091,416	9560,98001	6383,49744	998,258988	2803,06646	9922,59039	23412,7409	45617,4167	60452,2588				
5																	
6	Passivhusvindu	69701,6268	52231,3343	48970,4652	24524,1672	9703,09377	6468,54579	1011,43462	2866,59576	10227,8441	24254,2034	47116,2153	62142,7598				
7																	
8	Simulert varme	30508,5408	21992,5338	16157,6634	8216,15155	2314,80478	689,734212	388,076908	827,219461	2799,36489	9829,96439	18386,24	27462,0725				
9																	
10	Basecase	73,29	54,95	51,39	25,82	10,1	6,63	1,06	2,96	10,75	25,73	49,61	65,56			377,85	
11	Etterisolert tak	69,91	52,42	49,17	24,82	9,83	6,49	1,04	2,9	10,26	24,31	47,22	62,57			360,94	16,91
12	Etterisolert vegg	71,07	53,38	50,04	25,06	9,82	6,51	1,02	2,86	10,39	24,8	48,03	63,44			366,42	11,43
13	Etterisolert begge	67,78	50,78	47,77	24,09	9,56	6,38	1	2,8	9,92	23,41	45,62	60,45			349,56	28,29
14																	
15	Passivhusvindu	69,7	52,23	48,97	24,52	9,7	6,47	1,01	2,87	10,23	24,25	47,12	62,14			359,21	18,64
16																	
17	null infiltrasjon	30,51	21,99	16,16	8,22	2,31	0,69	0,39	0,83	2,8	9,83	18,39	27,46			139,58	238,27
18																	
19														sum rad		forskjell til basecase	
20																	

Figur 6 konvertering til MWh

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Egentlig total	157032	146114	134157	109864	94852	83567	37200	73155	96636	112186	128233	140696	
2	Simulert total	153606	127904	134887	99401	94302	87856	28372	89095	88591	106925	130251	142835	
3	Egentlig varme	66757	57619	40059	38302	20621	8617	30	1658	19597	38014	47797	61367	
4	Simulert varm	68020,7222	51007,0666	47765,5319	23914,877	9514,72028	6367,35988	991,238197	2820,88461	9983,76481	23580,4152	45958,0956	60526,1347	
5	Egentlig annet	90275	88495	94098	71562	74231	74950	37170	71497	77039	74172	80436	79329	
6	Simulert anne	84953,5148	76085,2114	86431,9575	74807,5196	84056,7996	80152,7423	25261,6148	83659,0378	77417,6684	82500,2678	83468,6432	81496,2445	
7														
8														

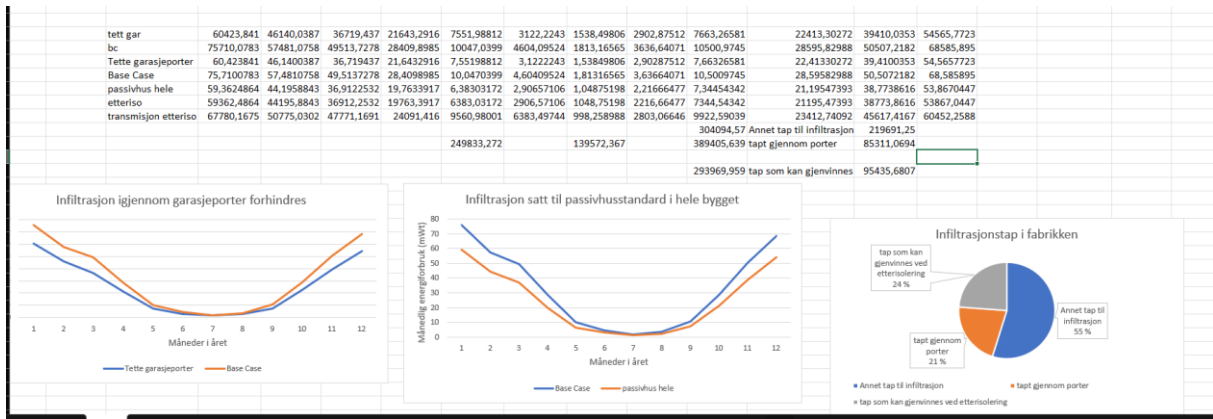
Figur 7: passivhusvindu

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Egentlig total	157032	146114	134157	109864	94852	83567	37200	73155	96636	112186	128233	140696			
2	Simulert total	120532	102365	105156	84880	87731	83294	28512	88217	82148	94933	105811	114289			
3	Egentlig varme	66757	57619	40059	38302	20621	8617	30	1658	19597	38014	47797	61367			
4	Simulert varm	30508,5408	21992,5338	16157,6634	8216,15155	2314,80478	689,734212	388,076908	827,219461	2799,36489	9829,96439	18386,24	27462,0725			
5	Egentlig annet	90275	88495	94098	71562	74231	74950	37170	71497	77039	74172	80436	79329			
6	Simulert anne	89438,9674	79578,1549	88238,7776	75755,121	84512,9002	80951,9033	25905,2933	84430,7198	78004,3494	84243,724	86541,8085	85987,1419			
7																
8														sum rad		rough estimate
9																
10																

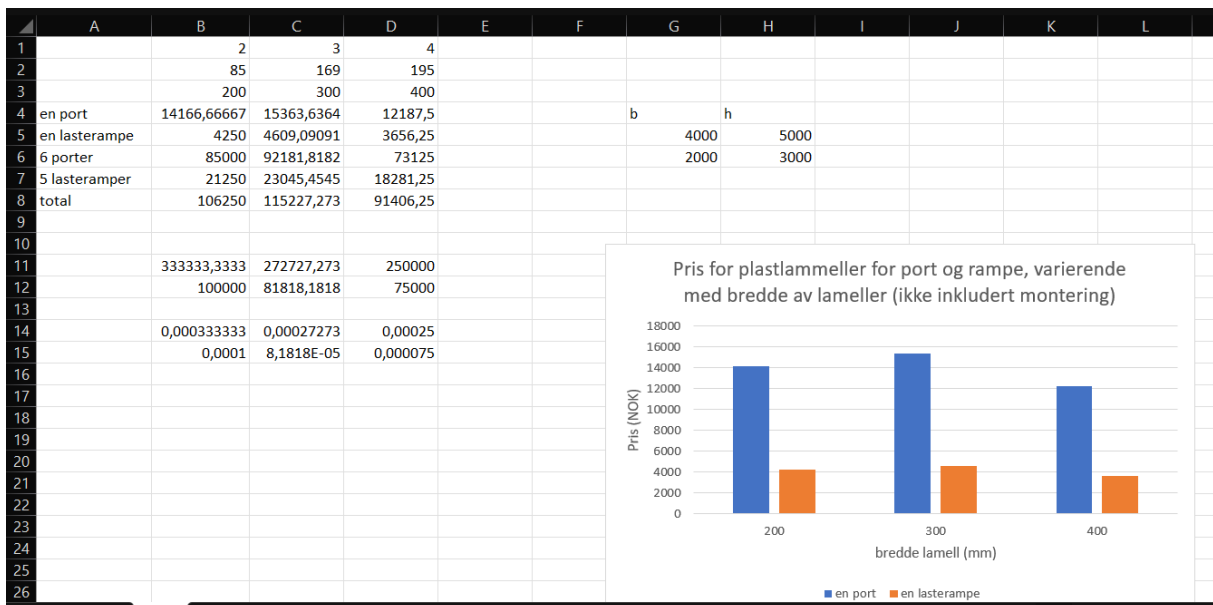
Figur 8 eliminert all infiltrasjon

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Simulert varme	73291,275	54954,4748	51393,9828	25824,896	10103,1588	6626,19063	1064,47208	2958,04919	10745,6826	25733,00528	49614,6382	65563,4884		sum rader	
2	passiv hele	59362,4864	44195,8843	36912,2532	19763,3917	6383,03172	2906,57106	1048,75198	2216,66477	7344,54342	21195,47393	38773,8616	53867,0447		377873,3137	
3	tett port	60423,841	46140,0387	36719,437	21643,2916	7551,98812	3122,2243	1538,49806	2902,87512	7663,26581	22413,30272	39410,0353	54565,7723		293969,9588	
4	Simulert varme	30508,5408	21992,5338	16157,6634	8216,15155	2314,80478	689,734212	388,076908	827,219461	2799,36489	9829,96439	18386,24	27462,0725		304094,5701	
5															139572,3666	
6															377,873137	
7															293,969588	
8															304,0945701	
9	21858,6994	17464,636	16224,2883	10379,9868	4206,18694	1940,21738	830,626763	1574,95867	3979,5233	9720,620324	15730,5781	19830,0798		139,5723666		
10	5511,10749	4179,44455	3622,81371	1733,48002	542,178808	242,693193	66,213091	154,982724	823,092181	2320,264368	3997,22151	5111,22954		konverter til MWh		
11	16347,5919	13285,1915	12601,4746	8646,50679	3664,00813	1697,52419	764,413672	1419,97595	3156,43112	7400,355956	11733,3566	14718,8503				
12	15286,2373	11341,0371	12794,2908	6766,6069	2495,05173	1481,87095	274,667589	733,76559	2837,70873	6182,527162	11097,1829	14020,1227				
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																

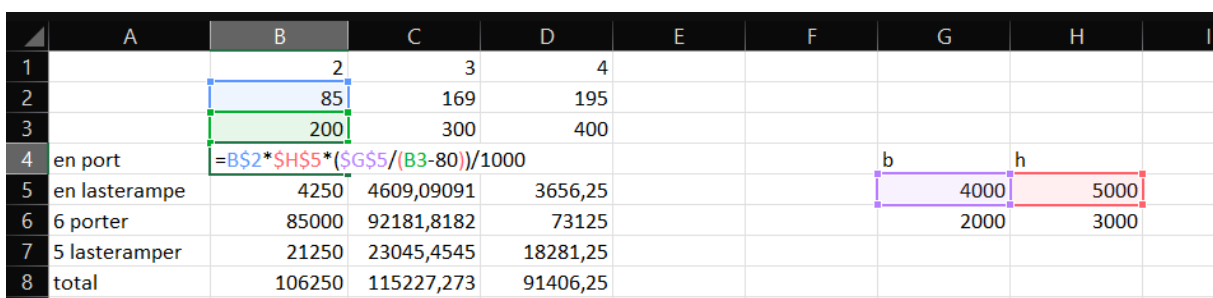
Figur 9: data for flere tiltak, deriblant infiltrasjonsbidrag av porter



Figur 10 samling av diverse data og visuell presentering



Figur 11 beregning av kostnad for plastlammeller, formel er gitt i rapporten



Figur 12 formel : pris per meter * høyde * (portbredde / (stripebredde-overlapp)) / 1000-> { konverterer lengde til meter}

VEDLEGG F

Data fra parametrisk studie av solceller i Rhino-Grasshopper

	A	B	C	D
1	4790,69023	4790,69023	0	
2	4844,98729	4699,94293	5	
3	4759,0921	4541,97344	10	
4	4670,01429	4337,8314	15	
5	4590,05858	4159,22561	20	
6	4491,31697	3986,48711	25	
7	4386,14421	3788,32938	30	
8	4318,59977	3621,32152	35	
9	4214,61803	3431,07203	40	
10	4187,80981	3258,94713	45	
11	4076,92108	3083,4692	50	
12			55	
13	mot vest	mot øst	60	
14			65	
15			70	
16			75	
17				
18			vinkel rotert	
19				

Figur 1 data fra grasshopper: veggmonterte moduler

	A	B	C	D
1	5067,71776	5067,71776	0	
2	5206,81761	4890,0572	5	
3	5147,83827	4619,89566	10	
4	5049,69536	4319,04044	15	
5	4959,24016	4046,5975	20	
6	4903,59435	3819,12753	25	
7	4856,06115	3573,68407	30	
8	4728,95803	3384,76391	35	
9	4612,84991	3181,51816	40	
10	4552,28869	3029,43896	45	
11	4431,35139	2877,73944	50	
12			55	
13	mot vest	mot øst	60	
14			65	
15			70	
16			75	
17				
18			vinkel rotert	
19				
20				

Figur 2 data fra GH: takmonterte moduler

	A	B	C	D
1	5067,71776		0	
2	5353,2354		5	
3	5605,03389		10	
4	5830,82971		15	
5	6018,57612		20	
6	6177,24942		25	
7	6298,66661		30	
8	6383,76873		35	
9	6433,13616		40	
10	6438,90246		45	
11	6407,86827		50	
12	6335,48814		55	
13	6228,33998		60	
14	6078,98652		65	
15	5888,24012		70	
16	5659,95376		75	
17				
18	mot sol		vinkel rotert	
19				

Figur 3 GH data: takmontert modul

	A	B	C	D
1	5067,71776		0	
2	5353,2354		5	
3	5605,03389		10	
4	5830,82971		15	
5	6018,57612		20	
6	6177,24942		25	
7	6298,66661		30	
8	6383,76873		35	
9	6433,13616		40	
10	6438,90246		45	
11	6407,86827		50	
12	6335,48814		55	
13	6228,33998		60	
14	6078,98652		65	
15	5888,24012		70	
16	5659,95376		75	
17				
18	mot sol		vinkel rotert	
19				
20				

Figur 4 GH data: veggmontert modul

VEDLEGG G

Lovdata, Byggnormer, Standarder

Tabell 53:2 Høyeste tillatte varmegjennomgangskoeffisient (k-verdi) for bygningsdeler¹)

Bygningsdel		k-verdi W/m ² °C		
		Innetemperatur °C		
		minst 18 °C	10 – 18 °C	0 – 10 °C
		1 ²⁾	2	3
1	Fasader og kjelleryttervegger	0,45	0,70	0,90
2	Tak	0,23	0,40	0,65
3	Golv mot det fri	0,23	0,35	0,45
4	Golv mot ikke oppvarmet rom med samlede ventilasjonsåpninger 0,2 m ² pr. 100 m ² grunnflate	0,30	0,45	0,60
5	Golv på grunnen	0,30	0,50	0,60
6	Porter i industri- og lagerbygg	2,00	2,00	–
1) For småhus gjelder Tabell 53:5.				
2) Industri og lager kan likevel utføres etter kolonne 2.				

Figur 1 TEK85

:4 Påvisning av k-verdier.

Påvisning av k-verdier kan utføres ved beregning etter NS 3031 eller ved måling etter anerkjent metode. Virkning av kuldebroer som følge av gjennombrutt isolering i de enkelte bygningsdeler skal medregnes. De i NS 3031 angitte beregningsverdier (ekvivalente k-verdier) for vinduers

varmebalanse kan brukes for et totalt vindusareal på maksimalt 15 % av brutto golvareal for hus med bredde maksimalt 10 m. Bare golvareal av primære deler regnes med. For hus med større bredde kan dette vindusareal økes med 3 % av det indre golvareal som befinner seg mer enn 5 m fra fasadens utside, se figur 53:4. Er den totale vindusflate større enn dette, regnes for den overskytende del med k-verdier uten hensyn til solstråling (natt-k-verdier), se NS 3031.

Arealer og volumer beregnes etter NS 3940.

Dersom kravene i Tabell 53:2 fravikes etter reglene i 53:1, tredje ledd, kan isolering av golv på grunn inngå i omfordelingsberegningene bare med den del som ligger i et 6 m bredt randfelt langs bygningens yttervegger.

Figur 2 TEK85

Kapittel 14 Energi

§ 14-3. Minimumsnivå for energieffektivitet

(1) Følgende minimumsnivå skal alltid være oppfylt:

[Veiledning til første ledd](#) ▾

a) Alle bygninger, unntatt boligbygning og fritidsbolig med laftede yttervegger, skal ha:

Tabell: Minimumsnivå

<i>U-verdi yttervegg [W/(m² K)]</i>	<i>U-verdi tak [W/(m² K)]</i>	<i>U-verdi gulv på grunn og mot det fri [W/(m² K)]</i>	<i>U-verdi vindu og dør inkludert karm/ramme [W/(m² K)]</i>	<i>Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell (luftveksling per time)</i>
≤ 0,22	≤ 0,18	≤ 0,18	≤ 1,2	≤ 1,5

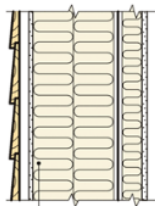
[Veiledning til første ledd bokstav a](#) ^

Både § 14-2 første og annet ledd gir rom for fleksibilitet ved at det gis mulighet for omfordeling. Minimumsnivåene skal sikre en minste akseptabel kvalitet på utvalgte bygningsdeler og på bygningskroppen ved omfordeling.

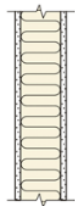
Figur 3 TEK17

6 Veggkonstruksjoner

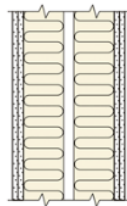
61 Trevegger



Yttervegg med heltre eller I-profiler



Innervegg



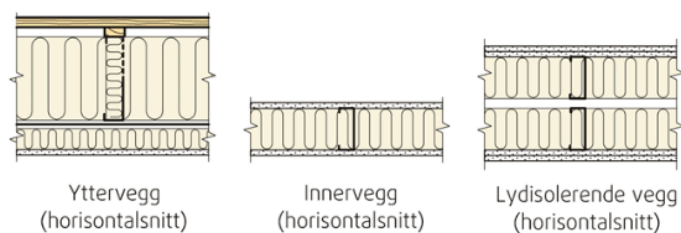
Lydisolerende vegg



Konstruksjon	Kledning og isolasjon	Egenlast kN/m ²
Yttervegg av 198 mm bindingsverk heltre eller I-profiler, c/c 0,6 m og 48 mm innvendig påføring	Utvendig utlektet trekledning, vindsperre av 9,5 mm gips (GU), 13 mm gips innvendig og 250 mm mineralull	0,6
Innervegg av 98 mm heltre, c/c 0,6 m	13 mm gips på hver side og 100 mm mineralull	0,4
Lydisolerende vegg med dobbelt bindingsverk av 2 × 98 mm, c/c 0,6 m	2 × 13 mm gips på hver side og 2 × 100 mm mineralull	0,7

Figur 4 Byggforsk 571.048

62 Stålvegger



Konstruksjon	Kledning og isolasjon	Egenlast kN/m ²
Yttervegg, bindingsverk av stålprofiler, 200 mm, med senteravstand 0,6 m	Utvendig luftet trekledning, lektet ut med tre, vindsperre av 9,5 mm gips (GU), innvendig kledning av 13 mm gips og isolasjon av 200 mm mineralull + 50 mm mineralull	0,5
Innervegg med bindingsverk stålprofiler, 100 mm, med senteravstand 0,6 m	Kledning på hver side av 13 mm gips og isolasjon av 100 mm mineralull	0,3
Lydisolerende vegg med stålprofiler, 100 mm, med senteravstand 0,6 m	Kledning på hver side av 2 × 13 mm gips og isolasjon av 2 × 100 mm mineralull	0,6

Figur 5 Byggforsk 571.048

Konstruksjon	Kledning og isolasjon	Egenlast kN/m ²
Yttervegg av standard lettklinkerblokker, 250 mm	Utvendig luftet plate- eller trekledning med vindsperre av 9,5 mm gips (GU), 125 mm trykkfast mineralull og 15 mm innvendig puss	2,6
	15 mm utvendig puss på 200 mm trykkfast mineralull, 15 mm innvendig puss	2,8
	Teglforblending, 200 mm trykkfast mineralull og 15 mm innvendig puss	4,4
	Ubehandlet	2,0
	15 mm puss på begge sider	2,6
Yttervegg av lettklinker isolasjonsblokker med polyuretanskumisolasjon, 250 mm	15 mm puss på begge sider, 85 mm polyuretanskumisolasjon i lettklinkerblokken	2,4
Yttervegg av lettklinker isolasjonsblokker med polyuretanskumisolasjon, 350 mm	15 mm puss på begge sider, 150 mm polyuretanskumisolasjon i lettklinkerblokken	2,6

Figur 6 Byggforsk 571.048

63 Varmekapasitet

Spesifikk varmekapasitet for trefiberplater i henhold til NS-EN ISO 10456 er vist i [tabell 63](#).

Tabell 63

Spesifikk varmekapasitet til trefiberplater i henhold til NS-EN ISO 10456

Densitet (kg/m ³)	Spesifikk varmekapasitet (J/(kgK))
250	1700
400	1700
600	1700
800	1700

Figur 7 byggforsk 573.344

25 Varmekapasitet

Varmekapasiteten, c_p , uttrykker energimengden som tas opp eller avgis ved temperaturendring. Verdien kan gi en indikasjon på materialets evne til å lagre varme. [NS-EN ISO 10456](#) angir spesifikk varmekapasitet for noen ulike isolasjonsmaterialer. Spesifikke produkter kan ha andre verdier, som kan oppgis av produsenten.

Figur 8 byggforsk 573.344

Table 3 — Design thermal values for materials in general building applications

Material group or application		Density ρ kg/m ³	Design thermal conductivity λ W/(m·K)	Specific heat capacity c_p J/(kg·K)	Water vapour resistance factor	
					dry	wet
					μ	
Asphalt		2 100	0,70	1 000	50 000	50 000
Bitumen	Pure	1 050	0,17	1 000	50 000	50 000
	Felt/sheet	1 100	0,23	1 000	50 000	50 000
Concrete^a	Medium density	1 800	1,15	1 000	100	60
		2 000	1,35	1 000	100	60
		2 200	1,65	1 000	120	70
	High density	2 400	2,00	1 000	130	80
	Reinforced (with 1 % of steel)	2 300	2,3	1 000	130	80
	Reinforced (with 2 % of steel)	2 400	2,5	1 000	130	80
Floor coverings	Rubber	1 200	0,17	1 400	10 000	10 000
	Plastic	1 700	0,25	1 400	10 000	10 000
	Underlay, cellular rubber or plastic	270	0,10	1 400	10 000	10 000
	Underlay, felt	120	0,05	1 300	20	15
	Underlay, wool	200	0,06	1 300	20	15
	Underlay, cork	< 200	0,05	1 500	20	10
	Tiles, cork	> 400	0,065	1 500	40	20
	Carpet / textile flooring	200	0,06	1 300	5	5
	Linoleum	1 200	0,17	1 400	1 000	800
Gases	Air	1,23	0,025	1 008	1	1
	Carbon dioxide	1,95	0,014	820	1	1
	Argon	1,70	0,017	519	1	1
	Sulphur hexafluoride	6,36	0,013	614	1	1
	Krypton	3,56	0,009 0	245	1	1
	Xenon	5,68	0,005 4	160	1	1
Glass	Soda lime glass (including "float glass")	2 500	1,00	750	∞	∞
	Quartz glass	2 200	1,40	750	∞	∞
	Glass mosaic	2 000	1,20	750	∞	∞
Water	Ice at -10 °C	920	2,30	2 000	—	—
	Ice at 0 °C	900	2,20	2 000	—	—
	Snow, freshly fallen (< 30 mm)	100	0,05	2 000	—	—
	Snow, soft (30 to 70 mm)	200	0,12	2 000	—	—
	Snow, slightly compacted (70 to 100 mm)	300	0,23	2 000	—	—
	Snow, compacted (< 200 mm)	500	0,60	2 000	—	—
	Water at 10 °C	1 000	0,60	4 190	—	—
	Water at 40 °C	990	0,63	4 190	—	—
Water at 80 °C	970	0,67	4 190	—	—	
Metals	Aluminium alloys	2 800	160	880	∞	∞
	Bronze	8 700	65	380	∞	∞
	Brass	8 400	120	380	∞	∞
	Copper	8 900	380	380	∞	∞
	Iron, cast	7 500	50	450	∞	∞
	Lead	11 300	35	130	∞	∞
	Steel	7 800	50	450	∞	∞
	Stainless steel ^b , austenitic or austenitic-ferritic	7 900	17	500	∞	∞
	Stainless steel ^b , ferritic or martensitic	7 900	30	460	∞	∞
	Zinc	7 200	110	380	∞	∞

NS-EN ISO 10456:2007+NA:2010 provided by Standard Online AS for NTNU Universitetsbiblioteket

Figur 9 NS-EN ISO 10456

Material group or application		Density ρ kg/m ³	Design thermal conductivity λ W/(m·K)	Specific heat capacity c_p J/(kg·K)	Water vapour resistance factor	
					dry	wet
Plastics, solid	Acrylic	1 050	0,20	1 500	10 000	10 000
	Polycarbonates	1 200	0,20	1 200	5 000	5 000
	Polytetrafluoroethylene (PTFE)	2 200	0,25	1 000	10 000	10 000
	Polyvinylchloride (PVC)	1 390	0,17	900	50 000	50 000
	Polymethylmethacrylate (PMMA)	1 180	0,18	1 500	50 000	50 000
	Polyacetate	1 410	0,30	1 400	100 000	100 000
	Polyamide (nylon)	1 150	0,25	1 600	50 000	50 000
	Polyamide 6.6 with 25 % glass fibre	1 450	0,30	1 600	50 000	50 000
	Polyethylene/polythene, high density	980	0,50	1 800	100 000	100 000
	Polyethylene/polythene, low density	920	0,33	2 200	100 000	100 000
	Polystyrene	1 050	0,16	1 300	100 000	100 000
	Polypropylene	910	0,22	1 800	10 000	10 000
	Polypropylene with 25 % glass fibre	1 200	0,25	1 800	10 000	10 000
	Polyurethane (PU)	1 200	0,25	1 800	6 000	6 000
	Epoxy resin	1 200	0,20	1 400	10 000	10 000
Phenolic resin	1 300	0,30	1 700	100 000	100 000	
Polyester resin	1 400	0,19	1 200	10 000	10 000	
Rubber	Natural	910	0,13	1 100	10 000	10 000
	Neoprene (polychloroprene)	1 240	0,23	2 140	10 000	10 000
	Butyl, (isobutene), solid/hot melt	1200	0,24	1 400	200 000	200 000
	Foam rubber	60 – 80	0,06	1 500	7 000	7 000
	Hard rubber (ebonite), solid	1 200	0,17	1 400	∞	∞
	Ethylene propylene diene monomer (EPDM)	1 150	0,25	1 000	6 000	6 000
	Polyisobutylene	930	0,20	1 100	10 000	10 000
	Polysulfide	1 700	0,40	1 000	10 000	10 000
Butadiene	980	0,25	1 000	100 000	100 000	
Sealant materials, weather stripping and thermal breaks	Silica gel (desiccant)	720	0,13	1 000	∞	∞
	Silicone, pure	1 200	0,35	1 000	5 000	5 000
	Silicone, filled	1 450	0,50	1 000	5 000	5 000
	Silicone foam	750	0,12	1 000	10 000	10 000
	Urethane/polyurethane (thermal break)	1 300	0,21	1 800	60	60
	Polyvinylchloride (PVC), flexible, with 40 % softener	1 200	0,14	1 000	100 000	100 000
	Elastomeric foam, flexible	60 – 80	0,05	1 500	10 000	10 000
	Polyurethane (PU) foam	70	0,05	1 500	60	60
Polyethylene foam	70	0,05	2 300	100	100	
Gypsum	Gypsum	600	0,18	1 000	10	4
	"	900	0,30	1 000	10	4
	"	1 200	0,43	1 000	10	4
	"	1 500	0,56	1 000	10	4
	Gypsum plasterboard ^c	700	0,21	1 000	10	4
	"	900	0,25	1 000	10	4
Plasters and renders	Gypsum insulating plaster	600	0,18	1 000	10	6
	Gypsum plastering	1 000	0,40	1 000	10	6
	"	1 300	0,57	1 000	10	6
	Gypsum, sand	1 600	0,80	1 000	10	6
	Lime, sand	1 600	0,80	1 000	10	6
	Cement, sand	1 800	1,00	1 000	10	6
Soils	Clay or silt	1 200 – 1 800	1,5	1 670 – 2 500	50	50
	Sand and gravel	1 700 – 2 200	2,0	910 – 1 180	50	50

Figur 10 NS-EN ISO 10456

Table 3 (continued)

Material group or application		Density ρ kg/m ³	Design thermal conductivity λ W/(m·K)	Specific heat capacity c_p J/(kg·K)	Water vapour resistance factor		
					μ		
						dry	wet
Stone	Natural, crystalline rock	2 800	3,5	1 000	10 000	10 000	
	Natural, sedimentary rock	2 600	2,3	1 000	250	200	
	Natural, sedimentary rock, light	1 500	0,85	1 000	30	20	
	Natural, porous, e.g. lava	1 600	0,55	1 000	20	15	
	Basalt	2 700 – 3 000	3,5	1 000	10 000	10 000	
	Gneiss	2 400 – 2 700	3,5	1 000	10 000	10 000	
	Granite	2 500 – 2 700	2,8	1 000	10 000	10 000	
	Marble	2 800	3,5	1 000	10 000	10 000	
	Slate	2 000 – 2 800	2,2	1 000	1000	800	
	Limestone, extra soft	1 600	0,85	1 000	30	20	
	Limestone, soft	1 800	1,1	1 000	40	25	
	Limestone, semi-hard	2 000	1,4	1 000	50	40	
	Limestone, hard	2 200	1,7	1 000	200	150	
	Limestone, extra hard	2 600	2,3	1 000	250	200	
	Sandstone (silica)	2 600	2,3	1 000	40	30	
	Natural pumice	400	0,12	1 000	8	6	
	Artificial stone	1 750	1,3	1 000	50	40	
	Tiles (roofing)	Clay	2 000	1,0	800	40	30
Concrete		2 100	1,5	1 000	100	60	
Tiles (other)	Ceramic/porcelain	2 300	1,3	840		∞	
	Plastic	1 000	0,20	1 000	10 000	10 000	
Timber^d		450	0,12	1 600	50	20	
		500	0,13	1 600	50	20	
		700	0,18	1 600	200	50	
Wood-based panels^d	Plywood ^e	300	0,09	1 600	150	50	
		500	0,13	1 600	200	70	
		700	0,17	1 600	220	90	
		1 000	0,24	1 600	250	110	
	Cement-bonded particleboard	1 200	0,23	1 500	50	30	
	Particleboard	300	0,10	1 700	50	10	
		600	0,14	1 700	50	15	
		900	0,18	1 700	50	20	
	Oriented strand board (OSB)	650	0,13	1 700	50	30	
	Fibreboard, including MDF ^f	250	0,07	1 700	5	3	
"		400	0,10	1 700	10	5	
"		600	0,14	1 700	20	12	
"		800	0,18	1 700	30	20	

NOTE 1 For computational purposes the ∞ value may have to be replaced with an arbitrarily large value, e.g. 106.

NOTE 2 Water vapour resistance factors are given as dry cup and wet cup values, see 8.3.

^a The density for concrete is the dry density.

^b EN 10088-1 contains extensive lists of properties of stainless steels which may be used when the precise composition of the stainless steel is known.

^c The thermal conductivity includes the effect of the paper liners.

^d The density for timber and wood-based products is the density in equilibrium with 20 °C and 65 % relative humidity, including the mass of hygroscopic water.

^e As an interim measure and until sufficient significant data for solid wood panels (SWP) and laminated veneer lumber (LVL) are available, the values given for plywood may be used.

^f MDF: Medium density fibreboard, dry process.

NS-EN ISO 10456:2007+NA:2010 provided by Standard Online AS for NTNU Universitetsbiblioteket 2020-01-2

Figur 11 NS-EN ISO 10456

42 Tretak

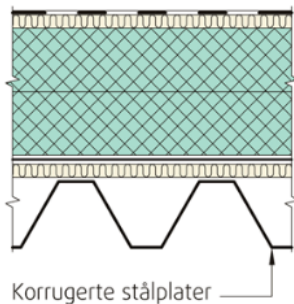


Konstruksjon	Taktekning og undertak	Egenlast ¹⁾ kN/m ²
Takstoler eller sperrer med senteravstand 0,6 m og ca. 350 mm mineralull og himling	Asfalttakbelegg eller shingel og undertak av plater eller bord av tre	0,7
	Lette plater (takpanner) og med undertak av folie, fiberplater e.l.	0,5
	Takstein og undertak av plater eller bord av tre med asfalttakbelegg	1,1
	Torv, ca. 200 mm, og undertak av plater eller bord	4,0
Reduksjon for tak uten varmeisolasjon og himling: ca. 0,23 kN/m ²		
Tillegg for nedhengt himling, se pkt. 37		

¹⁾ Egenlaster er angitt for den skrå flaten. Ved omregning til horisontalprojeksjonen øker egenlasten med $1/\cos \alpha$, hvor α er takvinkelen.

Figur 12 byggforsk 471.031

43 Ståltak



Konstruksjon og taktekning	Isolasjon	Egenlast kN/m ²
Korrugerte stålplater, asfalttakbelegg, mekanisk festet folie- eller metallplatetekning	Ca. 350 mm polystyren	0,4
	Ca. 350 mm mineralull	0,7

Figur 13 byggforsk 471.031

21 Konstruksjonsbetong

Materiale	Tyngdetetthet kN/m ³
Uarmert betong	24
Armert betong	25
Spesialbetong med lette tilslag LC 1,0–LC 2,0	11–22

Figur 14 byggforsk 471.031

26 Isolasjonsmaterialer

Materiale	Tyngdetetthet kN/m ³
Steinull, standard, lett bygningskvalitet	0,3
Steinull, trinnlydplate	1,6
Steinull, tunge plater	0,7, 1,0, 1,4 og 1,8
Steinull, løsull, innblåst	0,4–1,0
Glassull, standard, lett bygningskvalitet	0,2
Glassull, trinnlydplate	1,2
Glassull, løsull, innblåst	0,2–0,6
Ekspandert polystyren (EPS), standard, lett bygningskvalitet	0,2, 0,3 og 0,5
Ekstrudert polystyren (XPS), standard, lett bygningskvalitet	0,3
Polyuretanskum (PUR), standard, lett bygningskvalitet	0,3–0,5
Trellsement	1,5–5,0
Skumglass, løst, fylt	2,5
Sagflis, løst, fylt	2,5
Cellulosefiber, løst, innblåst	0,3–0,6

Isolasjonsmaterialer produseres for øvrig i en lang rekke forskjellige densiteter, tilpasset ulike bruksområder. Se data for det enkelte fabrikkat.

Figur 15 byggforsk 471.031

28 Treprodukter

Materiale	Tyngdetetthet kN/m ³
Gran/furu, fasthetsklasse til og med C30	5,0
Limtre	4,7
Bjørk, eik	6,5
Sibirsk lerk	6,4
Sponplater	7,0–8,0
Trefiberplater, harde	10,0
Trefiberplater, halvharde	8,0
Trefiberplater, porøse	4,0
Kryssfiner av gran, furu e.l.	5,0
Kryssfiner av bjørk	7,0
Møbelplate	4,5

Figur 16 byggforsk 471.031

29 Diverse materialer

Materiale	Tyngdetetthet kN/m ³
Gips, i platematerialer	9,0
Kalksementmørtel	18–20
Sementmørtel	19–23
Gipsmørtel	12–18
Sand, tørr	15–16
Jord, våt tilstand	20
Støpeasfalt og asfaltbetong	24–25
Glassfiberarmert polyester	21
Linoleum	12
PVC-plast, golvbelegtype	15
Gummi, golvbelegtype	12–18
Akrylplast	12
Bambus	3,0–4,0
Torv, våt	10–14
Golvavrettingsmasser	18–20

Figur 17 byggforsk 471.031

32 Taktekning av asfalttakbelegg eller folie

Byggevare/komponent	Egenlast kN/m ²
Asfalttakbelegg, ett lag (3,7–4,4 mm)	0,05
" to lag	0,09
" tre lag	0,12
Asfaltshingel (3,0–4,0 mm)	0,05
Asfaltshingel med asfaltunderlagsbelegg	0,11
Takfolie av plast/gummi, ett lag (1,2–2,4 mm)	0,02–0,03

Figur 18 byggforsk 471.031

Tabell 4 – Fukttegenskaper og spesifikk varmekapasitet for varmesisjonsmaterialer og murmaterialer

Materialer	Densitet ρ kg/m ³	Fuktnnhold ved 23 °C, 50 % RH ^a		Fuktnnhold ved 23 °C, 80 % RH ^a		Fuktomregningskoeffisient ^b			Relativ vann damp- motsstand μ		Spesifikk varme- kapasitet c_p J/(kg K)	
		w kg/kg	v m ³ /m ³	w kg/kg	v m ³ /m ³	Fuktnnhold n kg/kg	Fuktnnhold ψ m ³ /m ³	f_v	tarr	våt		
Ekspanderert polystyren	10 – 50		0		0		< 0,10	4	60	60	1 450	
Ekstruderert polystyrenskum	20 – 65		0		0		< 0,10	2,5	150	150	1 450	
Sivt polyuretanskum	28 – 55		0		0		< 0,15	6	60	60	1 400	
Mineralkull	10 – 200		0		0		< 0,15	4 ^c	1	1	1 030	
Fenoliskum	20 – 50		0		0		< 0,15	5	50	50	1 400	
Cellerglass	100 – 150	0		0		0					1 000	
Perlitplate	140 – 240	0,02		0,03		0,03	0,8				900	
Ekspanderert kork	90 – 140		0,008		0,011			< 0,10	6	10	5	1 660
Trefullplate	250 – 450		0,03		0,05			< 0,10	1,8	5	3	1 470
Trefberplate	40 – 250	0,1		0,16				< 0,05	1,4	5	3	2 000
Uresformaldehydeskum	10 – 30	0,1		0,15		< 0,15	0,7		2	2	1 400	
Sprayt polyuretanskum	30 – 50		0		0			< 0,15	6	60	1 400	
Løselbåst mineralull	15 – 60		0		0			< 0,15	4	1	1 030	
Løselbåst cellulosefiber	20 – 60		0,11		0,18	< 0,20	0,5		2	2	1 800	
Løselbåst ekspanderert perlit	30 – 150	0,01		0,02		0,8	0,02	3	2	2	900	
Løselbåst ekspanderert vermiculitt	30 – 150	0,01		0,02		0,8	0,02	2	3	2	1 080	
Løselbåst ekspanderert leire	200 – 400	0		0,001		0,8	0,02	4	2	2	1 000	
Løselbåst ekspandererte polystyrenkuler	10 – 30		0		0	< 0,10		4	4	2	1 400	
Ildefast leire	1 000 – 2 400		0,007		0,012			0,8	0,25	10	1 000	

Figur 19 NS-EN ISO 10456

VEDLEGG H

Data fra Spilka

Måned	Effekt [kr]	Nettleie [kr]	Forbruksavgift [kr]	Kraft [kr]	Total [kr]	Forbruk [kWh]
January 22	23 585	12 016	857	53 262	89 720	157 032
February 22	25 060	11 140	798	39 471	76 468	146 114
March 22	23 895	10 483	732	33 004	68 115	134 157
April 22	7 488	4 742	600	60 243	73 074	109 864
May 22	6 725	4 340	518	22 634	34 217	94 852
June 22	6 502	3 954	456	18 625	29 537	83 567
July 22	5 015	2 611	203	2 813	10 641	37 200
August 22	7 062	3 689	399	23 633	34 784	73 155
September 22	7 236	4 346	528	81 717	93 827	96 636
October 22	6 583	4 860	613	48 389	60 445	112 186
November 22	17 814	7 473	700	104 764	130 752	128 233
December 22	17 626	8 107	768	320 976	347 478	140 696

VEDLEGG I

Data for strømpriser

Midt-Norge Inkl. mva	2023	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013
jan	87.01	32.98	56.87	29.12	64.12	38.97	33.97	33.98	34.04	34.46	38.34
feb	60.82	22.59	55.10	17.43	55.17	47.54	36.32	23.23	30.60	31.77	36.64
mar	80.19	21.60	31.75	12.53	49.97	53.80	35.38	25.48	27.35	28.23	41.63
apr	87.01	56.34	34.70	6.61	49.70	47.12	34.34	26.11	27.39	28.56	43.63
mai		19.70	46.11	12.00	47.26	40.65	34.73	27.37	24.90	35.16	34.95
jun		14.80	44.60	4.22	31.66	53.57	29.39	35.88	16.04	31.58	33.00
jul		2.38	59.26	3.40	41.57	62.02	29.42	34.49	10.12	31.10	33.53
aug		23.61	74.49	8.49	45.63	61.80	32.25	34.52	15.79	34.25	35.93
sep		94.12	67.39	13.38	41.38	58.77	38.54	32.56	23.63	37.26	43.14
okt		44.97	30.88	16.36	46.25	50.88	33.64	40.76	25.81	33.72	42.15
nov		79.72	52.15	7.04	52.22	56.97	38.39	47.85	27.65	33.70	38.19
des		226.91	75.96	18.88	44.69	62.70	37.11	36.44	22.04	35.44	34.10

