

Inglasning av tegelfasad

Energianalys samt fallstudie på ett flerbostadshus
och på Byggnad 22

Giannis Avgenakis

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2017
Rapport TVIT-17/5059



Lunds Universitet

Lunds Universitet, med åtta fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinaviens största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 112 000 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö, Helsingborg och Ljungbyhed. Lunds Universitet grundades 1666 och har idag totalt 6 800 anställda och 47 000 studerande som deltar i ett 280 utbildningsprogram och ca 2 200 fristående kurser.

Avdelningen för installationsteknik

Avdelningen för Installationsteknik tillhör institutionen för Bygg- och miljöteknologi på Lunds Tekniska Högskola, som utgör den tekniska fakulteten vid Lunds Universitet. Installationsteknik omfattar installationernas funktion vid påverkan av människor, verksamhet, byggnad och klimat. Forskningen har en systemanalytisk och metodutvecklande inriktning med syfte att utforma energieffektiva och funktionssäkra installationssystem och byggnader som ger bra inneklimat. Nuvarande forskning innefattar bl a utveckling av metoder för utveckling av beräkningsmetoder för godtyckliga flödessystem, konvertering av direktvärmade hus till alternativa värmesystem, vädring och ventilation i skolor, system för brandsäkerhet, alternativa sätt att förhindra rökspridning vid brand, installationernas belastning på yttre miljön, att betrakta byggnad och installationer som ett byggnadstekniskt system, analysera och beräkna inneklimatet i olika typer av byggnader, effekter av brukarnas beteende för energianvändning, reglering av golvvärmesystem, bestämning av luftflöden i byggnader med hjälp av spårgasmetod. Vi utvecklar även användbara projekteringsverktyg för energi och inomhusklimat, system för individuell energimätning i flerbostadshus samt olika analysverktyg för optimering av ventilationsanläggningar hos industrin.

Sammanfattning

Ett av Sveriges klimat- och energipolitiska mål avser effektivare energianvändning. Ett sätt att uppnå målet är genom kravställning på energihushållning vid renovering av byggnader. I de fall då det med hänsyn till byggnadens kultur- och arkitektoniska värde inte går att tillämpa beprövade metoder får andra alternativa metoder sökas. En sådan annan alternativ metod är en dubbelskalfasad och innebär att en extern glasfasad tillförs den redan befintliga fasaden. Syftet med dubbelskalfasaden är dels att minska transmissionsförluster genom fasaden, dels att få dubbelskalfasaden att verka som en passiv förvärmare av tilluft åt ventilationssystemet samt dels att använda luftutrymmet i dubbelskalfasaden som ett luftsolfångarsystem för att öka värmelagringen i stommen. Metoden med dubbelskalfasad är tillämpad på en mindre tegelbyggnad i Malmö som benämns som Byggnad 22. Vid tidigare studier över byggnaden har enbart mätdata från korta tidsperioder varit tillgängliga. Resultaten har varierat storleksmässigt, men samtliga studier har påvisat att en energibesparing skett med avseende på byggnadens uppvärmning.

Ett av syftena med detta examensarbete har varit att sammanställa och utvärdera en längre tidsperiod av mätdata från Byggnad 22. Resultatet bekräftade tidigare studiers resultat om att en energibesparing skett med avseende på byggnadens uppvärmning. För transmissions- och ventilationsförluster beräknades energibesparingen till 24,1 % respektive 26,1 %. Temperatur- och energiverkningsgraden för dubbelskalfasaderna beräknades i medeltal till 0,315 respektive 0,53 och ett effektivt U-värde för dubbelskalfasaderna beräknades i medeltal till 0,55 W/K, m². Ett linjärt samband togs fram mellan temperaturen i dubbelskalfasaderna och utomhustemperaturen, där lägre utomhustemperatur gav högre positiv differens till temperaturen i dubbelskalfasaderna.

Ett ytterligare syfte med examensarbetet har varit att undersöka potentiell energibesparing med avseende på uppvärmning då en extern glasfasad tillfördes en befintlig tegelfasad på ett flerbostadshus. Dessutom syftade examensarbetet till att samtidigt undersöka hur termiska komforten påverkades. Då mätdata över ett befintligt flerbostadshus med inglasad tegelfasad inte gick att finna, byggdes sjutton modeller upp i simuleringsprogrammet IDA ICE 4.7. Fyra av modellerna byggdes upp i full skala med ett befintligt frånluftsventilerat flerbostadshus utan glasfasader i Malmö som referensbyggnad. Övriga tretton modeller var geometriskt avgränsade med avsikt att efterlikna en del av ett flerbostadshus, samt geografiskt placerade i Malmö, Sundsvall och Haparanda. Till skillnad från Byggnad 22, valdes enbart att glasa in södra fasaden på modellerna, inklusive balkongerna. Valet gjordes mot bakgrund av att södra fasaden var den långsida på referensbyggnaden som var mest exponerad för solinstrålning. I övrigt hade modellerna skilda förutsättningar med avseende på ventilationssystem, inglasning av balkonger samt inglasning av söderfasaden.

Resultaten från simuleringarna bekräftade att energibesparing med avseende på uppvärmning av byggnaden skedde då en extern glasfasad tillfördes en befintlig tegelfasad. Energibesparingen då södra långsidan av byggnaden glasades in blev som högst 25 % för flerbostadsmodellen och 37 % för den avgränsade modellen i Malmö. Simuleringarna resulterade även i att ett enskilt installerat FTX-system i byggnaden utgjorde en större energibesparing än en inglasad söderfasad och i det fall då ett FTX-system medgavs luftintag

via dubbelskalfasaden genererades enbart en marginell extra energibesparing då värmewäxlarens verkningsgrad inte utnyttjades fullt ut. Förändring av modellens geografiska placering resulterade i liknande procentuell energibesparing, vilket för landets nordliga delar innebar en högre besparing av antal kilowattimmar beroende på ett högre initialt uppvärmningsbehov.

Termiska komforten påverkades främst i övre delarna av flerbostadshuset utmed dubbelskalfasaden och medförde främst negativ påverkan genom förhöjd temperatur under sommarperioden. Rummet bakom glasfasaden som påverkades mest negativt i simuleringarna fick sänkt betyg enligt certifieringssystemet Miljöbyggnad eftersom PPD-index ökade. Resultatet visar därmed på att åtgärder för att sänka temperaturen sommartid i dubbelskalfasaden bör vidtas och då det i en tidigare studie över Byggnad 22 visat på att det går att nå ner till ett svalare klimat bakom en tegelfasad efter att en extern glasfasad monterats, bör vidare studier över passiva kylåtgärder i inglasade tegelfasader utföras.

Abstract

One of Sweden's political objective is to increase energy efficiency. One way to achieve the objective is by making demands on the use of energy after a building has been renovated. Regarding the building's cultural and architectural values there are cases where it is not possible to apply proven methods to meet the demands, and other alternative methods must be sought. Such an alternative method is the double skin façade. The method is applied to a small brick building in the city of Malmö and implies that an external glass façade is added to an already existing façade. The purpose of the double skin façade is to reduce transmission losses through the walls and to get the double skin façade to act as a passive pre-heater of the supply air. The air space in the double skin façade is also meant to be used as a solar air heater to increase the heat storage in the building frame.

Previous studies of the brick building in Malmö has been based on measured data from limited periods. Even though the results varied in size, all the studies confirmed that energy saving occurs regarding the heating of the building. One of the purposes with this thesis has been to compile and evaluate a longer period of measured data from the building. The result of the evaluation supported that energy saving is made regarding to the heating of the building. The transmission losses decreased by 24,1 % and ventilation losses decreased by 26,1 %. Thermal and energy efficiency of the double skin façade were calculated to an average of 0.315 and 0.53 and an effective U-value were calculated on the average to 0.55 W / K, m². A linear relationship was found where a lower outside temperature gave a higher positive difference to the temperature in the double skin façade, during heating periods.

Another purpose of this thesis has been to examine the potential energy saving, regarding to the heating of a building, when an external glass façade is added to an existing brick façade on an apartment building in Sweden. In addition, the thesis was also meant to simultaneously examine how the thermal comfort is affected when a glass façade is added.

No measured data from a real apartment building with a glass façade were found so seventeen models were made in the simulation program IDA ICE 4.7. Four of the models were full-scale apartment buildings and the other thirteen models were geometrical adjusted. All models have been provided with different conditions regarding to ventilation systems, glazing of the balconies, and glazing of the south façade. The adjusted models were also simulated in three different geographical places in Sweden. The result of simulations confirmed previously results, which was that an energy saving is made regarding to the heating of the building. Highest energy saving when the south façade was glazed were 25 % for the full-scale apartment building, and 37 % for the adjusted model. In addition, differences were found on how the different conditions affected the energy savings. A single FTX system installed in the building made a greater energy saving than a single glass façade, and a method with pre-heated supply air through the double-skin façade only gave a marginal increase in energy saving as the heat exchanger efficiency was not fully utilized. No percental differences in energy saving was found when models with different geographical places were compared, however did the energy saving in kilowatt hours increase in the northern parts of the country due to higher initial energy use.

The thermal comfort was mainly affected in the upper parts of the apartment building facing the double skin façade. The affect mainly resulted in disadvantages by increased temperatures during summer periods. In a previous study, it was found that it is possible to reach down to a cooler climate behind the brick facade after an external glass facade was mounted and hence, further cooling measures in a double skin façade should be studied.

Förord

Examensarbetet har utförts som en avslutande del i civilingenjörsutbildningen inom väg och vatten på Lunds tekniska högskola. Totalt omfattar arbetet 30 högskolepoäng och har genomförts på Avdelningen för Byggnadsfysik i samarbete med Installationsteknik.

Ett stort tack vill jag rikta till mina handledare Birgitta Nordquist och Petter Wallentén på Lunds tekniska högskola, för hjälp med idé, stöd och vägledning genom arbetet.

Tack vill jag även rikta till Malmö Stad med Fredric Egeskans och Marcus Öhlin som sparat ner mätdata över Byggnad 22 och gjort den tillgänglig för detta examensarbete. För hjälpen med IDA ICE vill jag rikta tack till både Victor Fransson och särskilt till Kimmo Hilliaho som även delade med sig av modellen över Byggnad 22. Tack till Mats Dahlblom som tog sig tid att leta fram referenslitteratur och tack till Akram Abdul Hamid som fick stå ut med mina licensfrågor. Ett tack vill jag även rikta till samtliga författare av tidigare studier för deras arbete med Byggnad 22, då en viss del av detta examensarbete är grundat på deras arbeten.

Slutligen vill jag rikta ett stort tack till min fru Jacqueline och mina barn Elias, Isaak och Melina som har stått ut med mig – inte bara under detta examensarbete – utan under hela min utbildningstid.

Lund, 2017

Giannis Avgenakis

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	i
Abstract	iii
Förord.....	v
Figurförteckning	viii
Tabellförteckning	x
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte	1
1.3 Metod	1
1.4 Avgränsning	2
2 Teori	3
2.1 Solinstrålning	3
2.2 Termisk komfort	6
2.3 Analys.....	7
2.4 Slutsats.....	8
3 Byggnad 22 på Sege Park	9
3.1 Bakgrund.....	9
3.2 Teknisk sammanfattning av Byggnad 22	9
3.2.1 Allmänt	9
3.2.2 Glasfasad	9
3.2.3 Ventilationssystem	10
3.3 Tidigare studier.....	11
3.3.1 Examensarbete år 2012.....	11
3.3.2 Examensarbete år 2014.....	13
3.3.3 Forskningsartikel år 2016	13
3.3.4 Sammanfattning tidigare studier	14
3.4 Resultat mätdata	15
3.4.1 Utomhustemperaturgivare	16
3.4.2 System 5701 – Ventilation för lägenheter	19
3.4.3 System 5702 – Omblandande systemet.....	29
3.4.4 Relativ fuktighet	40
3.4.5 Analytiska beräkningar	44
3.5 Slutsats mätdata	49
4 Simulering av inglasad tegelfasad på ett flerbostadshus	51

4.1	Referensbyggnad	53
4.2	Indata simulering	54
4.3	Resultat simulering	56
4.3.1	Uppvärmning	56
4.3.2	Komfort	60
4.4	Analys simulering	66
4.5	Slutsats simulering	67
5	Slutsats	69
6	Referenser	70
	Bilaga A	72
	Bilaga B	73
	Bilaga C	74
	Bilaga D	75
	Bilaga E	81
	Bilaga F	89
	Bilaga G	90

Figurförteckning

Figur 1. Normal årsmedel-temperatur (SMHI, 2014a)	3
Figur 2. Normal solskenstid för ett år (SMHI, 2014b).....	3
Figur 3. Normal globalstrålning under ett år (SMHI, 2014c).....	3
Figur 4. Globalstrålning i Sverige vid olika årstider. Observera olika skalor i diagrammen. Årstider redovisas med tre månaders intervall, där vintern varar mellan december till februari (SMHI, 2016a)	4
Figur 5. Mätdata från SMHI över dygnstemperaturer samt globalstrålning över Lund och Kiruna (SMHI)	4
Figur 6. Dygnsvariation av solskenstid i Lund (SMHI, 2015b).....	5
Figur 7. Dygnsvariation av solskenstid i Kiruna (SMHI, 2015b).....	5
Figur 8. Dygnsvariation av globalstrålning i Lund (SMHI, 2015b).....	5
Figur 9. Dygnsvariation av globalstrålning i Kiruna (SMHI, 2015b)	5
Figur 10. Årstidsvariation globalstrålning i Lund (SMHI, 2015b)	6
Figur 11. Årstidsvariation globalstrålning i Kiruna (SMHI, 2015b).....	6
Figur 12. Förväntad andel missnöjda (PPD) som funktion av termisk komfortupplevelse (PMV). Exempel (streckad linje): Om temperaturen är 1 grad varmare än den idealiska temperaturen, kommer 25% att vara missnöjda. Bild enligt (Swegon, 2014)	7
Figur 13. Byggnad 22 på Sege Park (Schlyter, 2013).....	9
Figur 14. Animerad vy över modellen den 3 augusti 2014 där de höga temperaturerna i södra dubbelskalfasaden framgår (Hilliaho, Nordquist, Wallentén, Hamid, & Lahdensivu, 2016).....	13
Figur 15. SMHI mot utomhustemperaturgivarna på norra fasaden (GT33) och i betongröret mot mark (GT41)	16
Figur 16. Temperaturgivarna GT33, GT41 samt SMHI med 1-timmens intervall – Varaktighetsdiagram	16
Figur 17. Temperaturgivarna GT33 och GT41	17
Figur 18. Temperaturgivarna GT33, GT41 samt SMHI	17
Figur 19. Temperaturgivarna GT33, GT41 samt SMHI – Sommarfall.....	18
Figur 20. Temperaturgivarna GT33, GT41 samt SMHI – Vinterfall	18
Figur 21. Till- och frånluftsflöden till lägenheterna.....	19
Figur 22. Till- och frånluftsflöden till lägenheterna - Varaktighetsdiagram.....	20
Figur 23. Ventilationsflöde och temperaturer - Synlig reducering av tilluftsflöde under första halvåret av år 2016	20
Figur 24. Ventilationsflöde, temperaturer samt energiverkningsgrad – Nattavstängning framgår tydligt på mörkblå graf	21
Figur 25. Södra fasaden 5701 - Utomhustemperaturgivare GT41 mot GT31 och GT32	22
Figur 26. Södra fasaden 5701 - Temperaturgivarna GT31 och GT32 – Varaktighetsdiagram	22
Figur 27. Södra fasaden 5701 - Temperaturgivarna GT31, GT32 samt GT41	23
Figur 28. Södra fasaden 5701 - Medelvärde över GT31 och GT32 samt färgat efter vart luftintag sker	23
Figur 29. Södra fasaden 5701 – Närbild: medelvärde från GT31 och GT32 samt färgat efter vart luftintag sker	24
Figur 30. Södra fasaden 5701 - Intag samt tilluftstemperaturer	24
Figur 31. Södra fasaden 5701 - Tilluftstemperaturer då ventilationen var aktiv samt då luftintag skedde via dubbelskalfasaden	25
Figur 32. Södra fasaden 5701 - Tilluftstemperaturer då intag skedde via dubbelskalfasaden - Varaktighetsdiagram	26
Figur 33. Statistisk modell över dubbelskalfasadens temperaturpåverkan på tilluften vid aktiv ventilation	26
Figur 34. Södra fasaden 5701 - Temperatur i södra fasaden då luftintag skedde via norra fasaden och ventilation var aktiv. Röd rektangel innehåller värden då aktiv värmning av tilluft skedde i aggregatet trots att potentiell varm luft fanns tillgänglig i södra fasaden	28
Figur 35. Södra fasaden 5701 - Tilluftstemperatur då intag skedde via norra fasaden samt då ventilationen varit aktiv - Varaktighetsdiagram	28
Figur 36. System 5702 – Samtliga fasader - Temperatur	29
Figur 37. System 5702 – Samtliga fasader - Temperatur – Varaktighetsdiagram	30
Figur 38. Södra fasaden 5702 - Utomhustemperaturgivare GT41 mot GT211 och GT212	30
Figur 39. Södra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT211, GT212 samt GT41	31
Figur 40. Södra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT211, GT212 samt GT41 - Varaktighetsdiagram	31
Figur 41. Södra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT211, GT212 samt GT41 - Sommarfall.....	32
Figur 42. Södra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT211, GT212 samt GT41 – Vinterfall.....	32
Figur 43. Västra fasaden 5702 - Utomhustemperaturgivare GT41 mot GT321, GT322, GT341, GT342 och GT1133	

Figur 44. Västra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT321, GT322, GT341, GT342, GT11 samt GT41	33
Figur 45. Västra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT321, GT322, GT341, GT342, GT11 samt GT41 - Varaktighetsdiagram	34
Figur 46. Västra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT321, GT322, GT341, GT342, GT11 samt GT41 - Sommarfall.....	34
Figur 47. Västra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT321, GT322, GT341, GT342, GT11 samt GT41 - Vinterfall	35
Figur 48. Östra fasaden 5702 - Utomhustemperaturgivare GT41 mot GT311, GT312, GT331 och GT332	35
Figur 49. Östra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT311, GT312, GT331, GT332 samt GT41	36
Figur 50. Östra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT311, GT312, GT331, GT332 samt GT41 – Varaktighetsdiagram	36
Figur 51. Östra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT311, GT312, GT331, GT332 samt GT41 - Sommarfall	37
Figur 52. Östra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT311, GT312, GT331, GT332 samt GT41 – Vinterfall	37
Figur 53. Driftval 5702 - Medeltemperaturer för Söder-, Väst- och Österfasad.....	38
Figur 54. Driftval 5702 - Medeltemperaturer Söderfasad mot Öst- och Västfasad	39
Figur 55. Relativ fuktighet – SMHI och Norra fasaden GM33	40
Figur 56. Relativ fuktighet – SMHI och Norra fasaden GM33 – Varaktighetsdiagram	40
Figur 57. Relativ fuktighet vid de olika fasaderna	41
Figur 58. Relativ fuktighet vid de olika fasaderna - Varaktighetsdiagram.....	41
Figur 59. Relativ fuktighet - Norra fasaden GM33 mot övriga fasader.....	42
Figur 60. Relativ fuktighet vid aktiv ventilation samt luftintag via dubbelskalfasad - Varaktighetsdiagram	42
Figur 61. Relativ fuktighet vid aktiv ventilation samt luftintag via norra fasaden - Varaktighetsdiagram.....	43
Figur 62. Temperaturverkningsgrad dubbelskalfasad	45
Figur 63. Temperaturverkningsgrad dubbelskalfasad – Varaktighetsdiagram.....	45
Figur 64. Effektivt U-värde mot Utomhustemperatur	46
Figur 65. Effektivt U-värde – Varaktighetsdiagram	46
Figur 66. Energiverkningsgrad mot Utomhustemperatur	47
Figur 67. Energiverkningsgrad – Varaktighetsdiagram	47
Figur 68. Flygfoto från söder över fastigheten på Köpenhamnsvägen 13 (Malmö Stad, 2015).	53
Figur 69. Modell över flerbostadshuset med inglasad söderfasad	55
Figur 70. Modell över avgränsad byggnad med inglasad söderfasad	55
Figur 71. Tillförd uppvärmningsenergi i flerbostadsmodellerna	56
Figur 72. Tillförd uppvärmningsenergi i flerbostadsmodellerna – Varaktighetsdiagram	57
Figur 73. Resultat avgränsad modell – Malmö – Energibesparing uppvärmning	58
Figur 74. Avgränsade byggnader - Energibesparing uppvärmning.....	58
Figur 75. Fall 1: Maximal PPD (%)	60
Figur 76. Fall 2: Maximal PPD (%)	60
Figur 77. Fall 3: Maximal PPD (%)	60
Figur 78. Fall 4: Maximal PPD (%)	60
Figur 79. PPD och operativ temperatur i lägenhet F, vardagsrum med kök, plan 5	62
Figur 80. PPD och operativ temperatur i lägenhet F, vardagsrum med kök, plan 5 – Varaktighetsdiagram	62
Figur 81. Månadsmedelvärde PMV, Lägenhet F, vardagsrum med kök mot södra fasaden plan 5.....	63
Figur 82. Månadsmedelvärde PPD, Lägenhet F, vardagsrum med kök mot södra fasaden plan 5.....	63
Figur 83. Maximal PPD för Fall 11; FTX med intag via glasfasad.....	63
Figur 84. Maximal PPD för Fall 9; FTX utan glasfasad men med inglasade balkonger	63
Figur 85. Avgränsad byggnad, våning 1, västra delen – Månadsmedelvärde PMV.....	64
Figur 86. Avgränsad byggnad, våning 4, östra delen - Månadsmedelvärde PMV	64
Figur 87. Avgränsad byggnad, våning 1, västra delen - Månadsmedelvärde PPD.....	64
Figur 88. Avgränsad byggnad, våning 4, östra delen - Månadsmedelvärde PPD	64
Figur 89. Jämförelse av varaktighetskurvor	73
Figur 90. SMHI - Negativa temperaturer under 2013-10-28 – 2016-06-29.....	74
Figur 91. Södra fasaden - Köpenhamnsvägen 13 (Malmö Stad, 2016).....	75
Figur 92. Norra fasaden - Köpenhamnsvägen 13 (Malmö Stad, 2016).....	76
Figur 93. Gavlar - Köpenhamnsvägen 13 (Malmö Stad, 2016)	77
Figur 94. Tabell ingående delar - Köpenhamnsvägen 13 (Malmö Stad, 2016)	78
Figur 95. Planlösning bottenvåning - Köpenhamnsvägen 13 (Malmö Stad, 2016).....	79

Figur 96. Planlösning våning 2-6 - Köpenhamnsvägen 13 (Malmö Stad, 2016).....	80
Figur 97. Modell i fullskala utan glasfasad – södra fasaden.....	84
Figur 98. Modell i fullskala – gemensam nordfasad.....	84
Figur 99. Modell i fullskala med glasfasad – södra fasaden.....	84
Figur 100. Modell i fullskala med omkringliggande byggnader med avseende på skuggning.....	84
Figur 101. Modell i full skala med glasfasad - genomskärning.....	84
Figur 102. Planlösning modell flerbostadshus - Våning 1.....	85
Figur 103. Planlösning modell flerbostadshus - Våning 2–6.....	86
Figur 104. Avgränsad modell med glasfasad - södra fasaden.....	87
Figur 105. Avgränsad modell utan glasfasad - södra fasaden.....	87
Figur 106. Avgränsad modell - gemensam nordfasad.....	87
Figur 107. Avgränsad modell med glasfasad - genomskärning.....	87
Figur 108. Planlösning avgränsad modell.....	88
Figur 109. Uppvärmning Haparanda, Sundsvall och Malmö.....	89

Tabellförteckning

Tabell 1. Utdrag ur Tabell 4:1 Uppmätta areor och byggdelars U-värde (Elfborg & Vrbanjac, 2012).....	12
Tabell 2. Beräkningsformler för transmission- och ventilationsförlust (Elfborg & Vrbanjac, 2012).....	12
Tabell 3. Temperaturverkningsgrad enligt formel 4.9 (Elfborg & Vrbanjac, 2012).....	12
Tabell 4. Effektivt U-värde samt energiverkningsgrad enligt kapitel 4.3 och 4.4 (Elfborg & Vrbanjac, 2012).....	12
Tabell 5. Jämförelsetabell - Tidigare resultat.....	14
Tabell 6. Sammanställning mätdata för perioden 2013-10-28 – 2016-06-29.....	15
Tabell 7. Medel- och mediantemperaturer då tilluft togs via dubbelskalfasaden samt vid aktiv ventilation.....	27
Tabell 8. Resultat transmissions- och ventilationsförluster för hela perioden.....	44
Tabell 9. Jämförelsetabell - Tidigare samt nuvarande resultat.....	50
Tabell 10. Simuleringsfall i IDA ICE 4.7.....	52
Tabell 11. Ingående poster i befintlig energideklaration över Köpenhamnsvägen 13 (Boverket, 2008)......	53
Tabell 12. Resultat över uppvärmning.....	59
Tabell 13. Temperatur och PPD i lägenhet F, vardagsrum med kök mot södra fasaden plan 5.....	61
Tabell 14. Resultat över komfort.....	65
Tabell 15. Formler för komfortindex PMV och PPD (Hanssen, Kjerulf-Jensen, & Ole, 1997).....	72
Tabell 16. Förklaring ingående parametrar för beräkning av PMV och PPD.....	72
Tabell 17. Gemensamma indata för modeller.....	81
Tabell 18. Antal rum per lägenheter och våning.....	82
Tabell 19. Antal personer i respektive lägenhetsdel (SVEBY, 2012)......	82
Tabell 20. Utrustning i lägenheterna, förutom belysning (SVEBY, 2012)......	83
Tabell 21. Belysning i lägenheterna (SVEBY, 2012)......	83
Tabell 22. Månadsvärden – PPD och PMV i lägenhet F, vardagsrum med kök mot södra fasaden plan 5.....	90
Tabell 23. Månadsvärden – PPD och PMV - Avgränsad byggnad, vån 1, västra rummet.....	91
Tabell 24. Månadsvärden – PPD och PMV - Avgränsad byggnad, vån 4, östra rummet.....	92

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Fossila bränslen utgör 81 % av världens energitillförsel och andelen antas öka då fler länder går mot högre levnadsstandard (Statens energimyndighet, 2015). Då fossila bränslen är en ändlig resurs som dessutom genererar klimatutsläpp i form av växthusgaser måste användningen fasas ut för att utvecklingen skall vara hållbar (Naturvårdsverket, 2016). I Sverige utgör fossila bränslen 30 % av energitillförseln och svenska klimat- och energipolitiska mål gör gällande att fram till år 2020 skall klimatutsläppen, jämfört med 1990 års nivåer, minska med 40 %. Samtidigt ska användningen av förnyelsebar energi och energieffektiviteten öka med 50 % respektive 20 % (Regeringskansliet, 2015).

Av de årliga 550 – 600 TWh som används i Sverige går närmare 80 TWh åt för uppvärmning av byggnader och varmvatten. Energianvändningen för uppvärmning av byggnader varierar från år till år då den är beroende av utomhustemperaturen (Statens energimyndighet, 2015). Vid nybyggnationer och vid renovering av befintliga byggnader ställs krav på energihushållning. Kraven vid renovering skall tillämpas så att byggnadens kultur- och arkitektoniska värde inte kommer till skada (Boverket, 2015a). En direkt konsekvens av reglerna kring energihushållning blir att beprövade metoder inte alltid fungerar vid renovering och andra alternativa metoder får sökas. Inglasning av fasad, även benämnt som dubbelskalfasad, är en sådan alternativ metod som prövats på en byggnad i Malmö då det på traditionellt vis inte gavs möjlighet att tilläggsisolera tegelfasaden.

Utöver en studie som innefattade en datorsimulering har utvärdering av dubbelskalfasaderna på byggnaden i Malmö enbart gjorts över korta mätperioder och inte över hela kalenderår. Då det numera finns mätdata att tillgå över en längre tidsperiod kan det vara av intresse att se hur denna alternativa metod står sig samt om den går att tillämpa på ett flerbostadshus.

1.2 Syfte

Examenarbetet syftar dels till att sammanställa och utvärdera mätdata över Byggnad 22 med tre inglasade tegelfasader på SegePark i Malmö. Dessutom syftar arbetet till att dels undersöka potentiell energibesparing gällande uppvärmning av ett flerbostadshus vid inglasning av en tegelfasad i Sverige och dels samtidigt undersöka hur den termiska komforten påverkas.

1.3 Metod

Litteraturstudier har genomförts över både solinstrålning, termisk komfort samt över Byggnad 22 på SegePark. För Byggnad 22 har även en sammanställning av 71 mätdatafiler från givare över temperaturer och relativ fuktighet genomförts. Mätdatafilerna behandlade perioden 2013-10-28 till 2016-06-29 och synliggjordes grafiskt med datorprogrammet Matlab samt användes som indata vid analytiska beräkningar. Resultatet jämfördes med resultat från tidigare studier.

Med datorprogrammet IDA ICE 4.7 byggdes modeller upp och simulerades över dels ett representativt flerbostadshus i Malmö, samt dels över en avgränsad byggnad som geografiskt placerades i Malmö, Sundsvall och i Haparanda. Modellering skedde genom att utgå från ett

grundfall där byggnaden var utrustad med ett frånluftsventilationssystem samt där varken fasad eller balkonger var inglasade. Därefter byggdes modellerna successivt ut genom att först glasa in balkongerna och sedan även söderfasaden. Slutligen förseddes byggnaden med ett FTX-system som gavs möjlighet att ta in tilluft via dubbelskalfasaden.

1.4 Avgränsning

Examensarbetet avgränsas till att studera inglasad tegelfasad med avseende på energi- besparing för uppvärmning samt termisk komfort. Byggnaderna som berörs i arbetet är en verklig byggnad från 1930-talet samt datormodeller som avser att efterlikna en befintlig byggnad från 1950-talet i olika versioner. Djupet på glasfasaden är fixerat vid 600–800 mm från tegelfasaderna på den befintliga byggnaden och vid 1,5 meter på modellerna.

Termisk komfort i samband med inglasad tegelfasad studeras enbart genom simulering i datorprogrammet IDA ICE 4.7 och utöver öppningsbara fönster i glasfasadens tak, studeras inga möjliga kylfunktioner i dubbelskalfasaden. Då inga studier över termisk komfort gjorts i en befintlig byggnad med inglasad tegelfasad saknas intervjuer med hyresgäster.

Ingen hänsyn har tagits till ekonomiska faktorer gällande en extern glasfasad, varken installations- eller underhållskostnader.

2 Teori

2.1 Solinstrålning

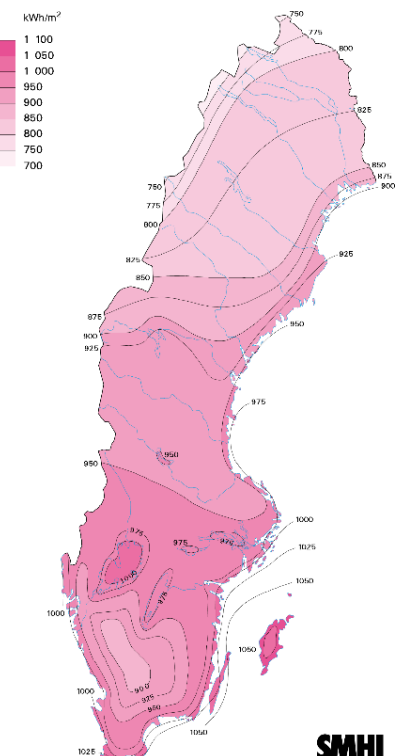
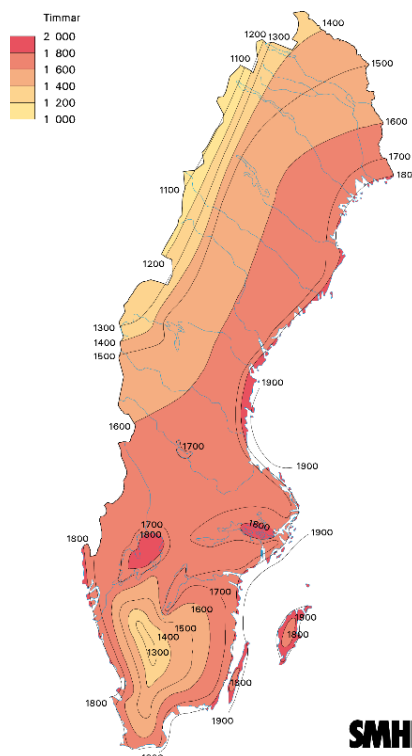
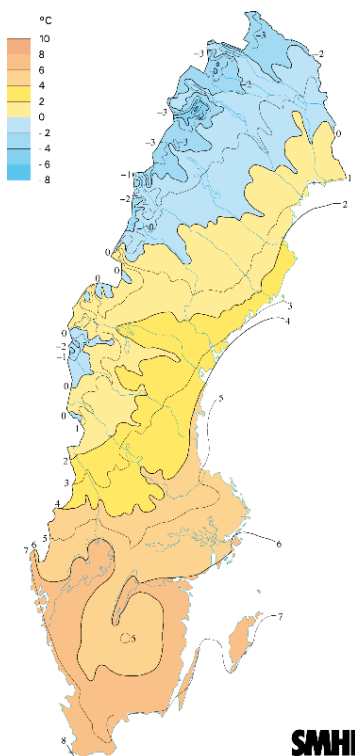
Solens avstånd till jorden är 149,6 miljoner km och varierar med $\pm 1,5\%$ under ett år. Solens strålning är elektromagnetisk och har ett våglängdsområde på ungefär $0,3 - 4\ \mu\text{m}$. Vid medelavståndet till jorden är solstrålningens totala effekt $1366\ \text{W/m}^2$ (SMHI, 2015a).

Strålning delas in i direktstrålning, diffusstrålning, globalstrålning, långvågsstrålning samt UV-strålning. Direktstrålning är strålning enbart från solen som träffar vinkelrätt mot strålarna. Diffusstrålning sker då solstrålning bryts i moln eller i andra partiklar i luften och därmed infaller från andra vinklar. Direktstrålning och diffusstrålning utgör gemensamt globalstrålning som då avser inkommande strålning från sol och himmel mot en horisontell yta. Långvågsstrålning är en nedåtriktad värmestrålning från atmosfären mot en horisontell yta och kan öka effekten uppemot $100\ \text{W/m}^2$ då en solklar himmel går i moln (SMHI, 2015a). UV-strålning har ett våglängdsspann som innebär att all strålning inte når ner till jordytan, dock utgör den del som ändå når ner en varm sommardag närmare 5% av totala effektbidraget (SMHI, 2016b).

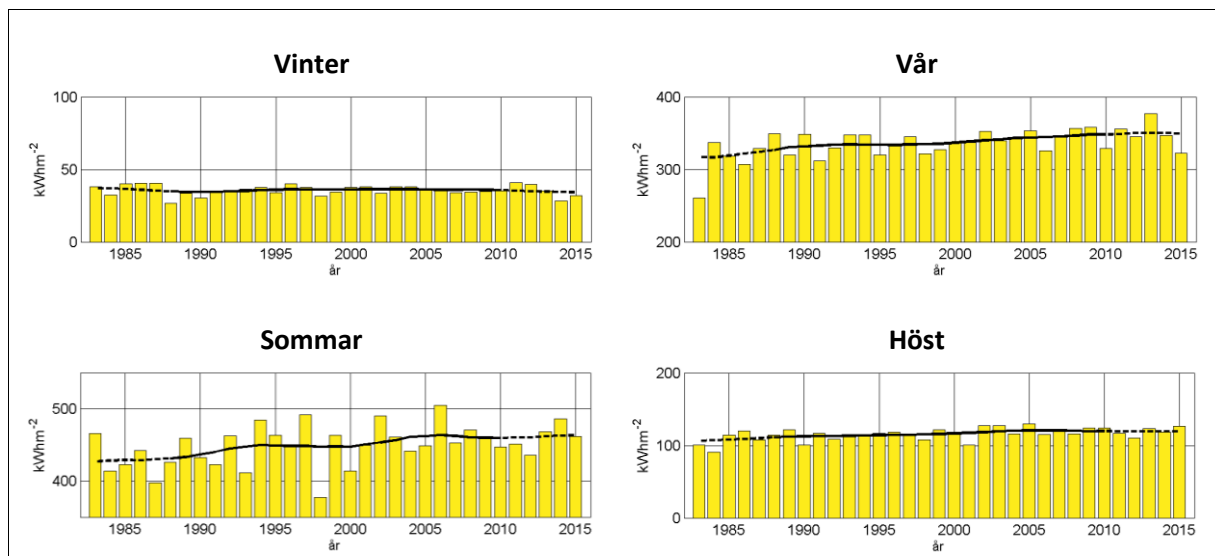
Förhållandet mellan globalstrålning (G), direktstrålning (I) och diffusstrålning (D) framgår enligt formel (1). Ur formeln framgår att solhöjd och molnighet utgör stor påverkan på globalstrålningen.

$$G = I * \sin(h) + D, \text{ där } h \text{ står för solhöjd } [W/m^2] \quad (1)$$

Årsmedeltemperatur, solskenstid och globalstrålning har liknande geografisk fördelning i Sverige, dock överensstämmer de inte helt, se Figur 1, Figur 2 och Figur 3.

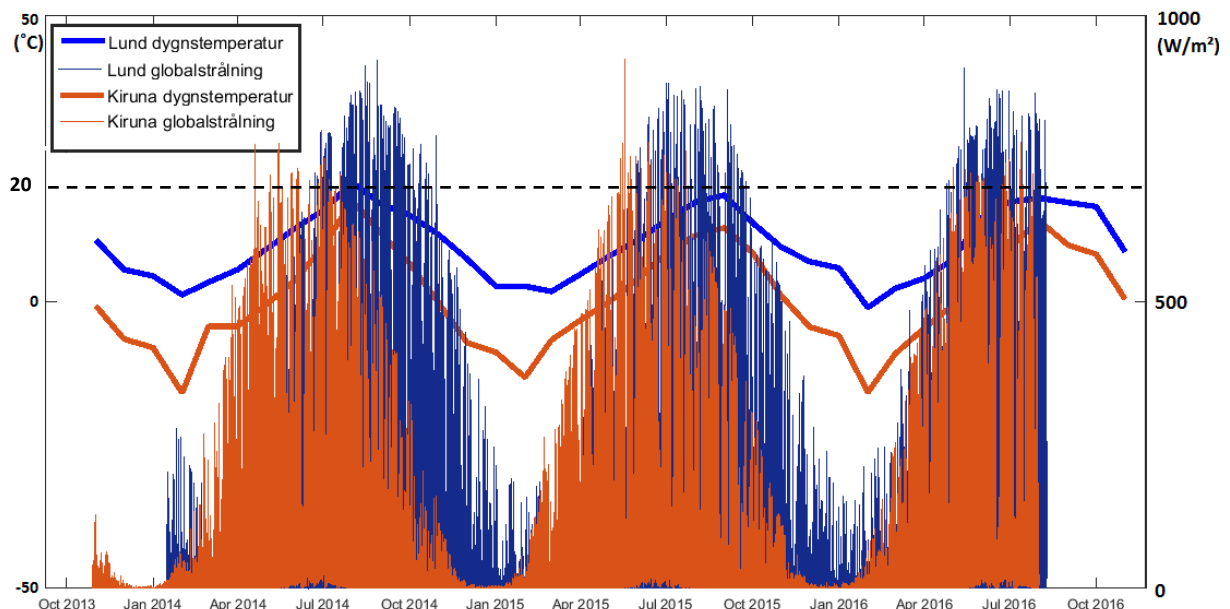


Solstrålningens årsvariation genereras av att jordaxeln lutar 23,5° mot normalen till jordbanans plan (NE, 2016). För norra jordklotet innebär det låg solhöjd under vinterhalvåret och därmed även låg globalstrålning. Se Figur 4 för globalstrålning i Sverige under olika årstider.



Figur 4. Globalstrålning i Sverige vid olika årstider. Observera olika skalor i diagrammen. Årstider redovisas med tre månaders intervall, där vintern varar mellan december till februari (SMHI, 2016a)

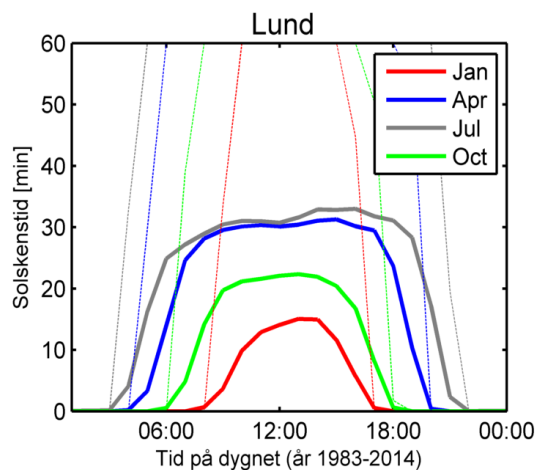
Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) har mätstationer som både registrerar temperaturer och globalstrålning. Skillnaden mellan södra och norra Sverige med avseende på dygnstemperatur och globalstrålning synliggörs i Figur 5 genom jämförelse av mätstationerna i Lund och i Kiruna.



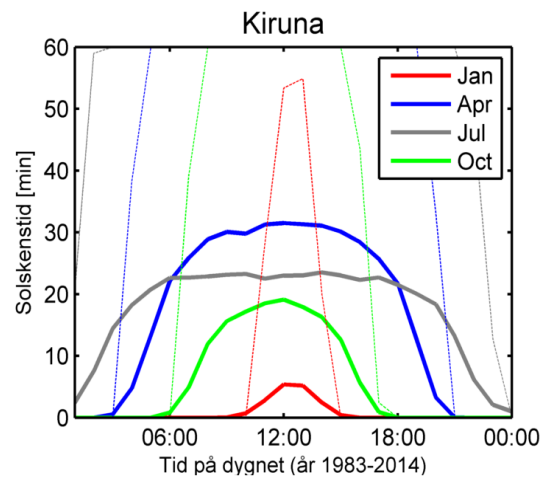
Figur 5. Mätdata från SMHI över dygnstemperaturer samt globalstrålning över Lund och Kiruna (SMHI)

I Figur 5 framgår att Lund överlag haft högre värden av både globalstrålning samt dygnstemperaturer genom mätserien, samt att globalstrålningen varit förskjuten i tid mellan städerna. Det relativa förhållandet mellan dygnstemperatur och globalstrålning var dock liknande vid de båda orterna.

SMHI mäter även andel solskenstid och globalstrålning över dygnets timmar i Lund och i Kiruna, se Figur 6 till Figur 9. I figurerna framgår dessutom 95 % percentilerna över de maximala dygnsvärdena och illustreras med tunna linjer.

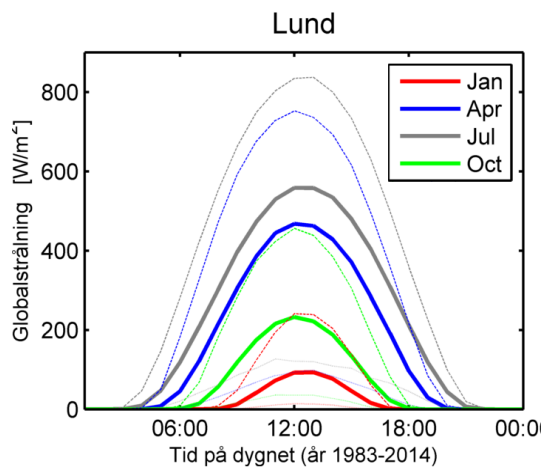


Figur 6. Dygnsvariation av solskenstid i Lund (SMHI, 2015b)

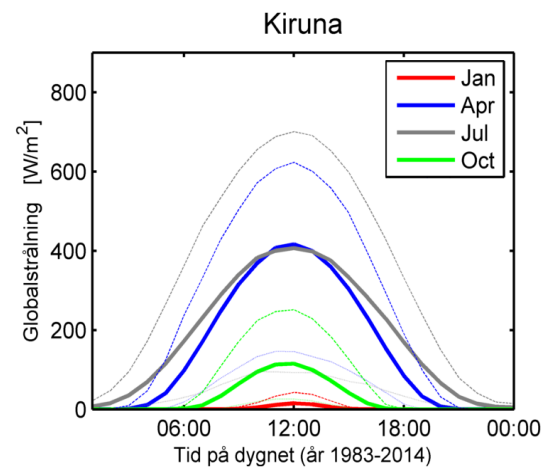


Figur 7. Dygnsvariation av solskenstid i Kiruna (SMHI, 2015b)

I Figur 6 utläses hur de röda kurvorna avseende januari visar på betydligt mer och längre solskenstid i Lund jämfört med motsvarande kurvor för Kiruna i Figur 7. Vid jämförelse av kurvorna för april och juli i samma figurer är det inte lika tydligt var mest solskenstid har funnits, dock framgår att tidsperioden med solsken pågick under en större del av dygnet i Kiruna.



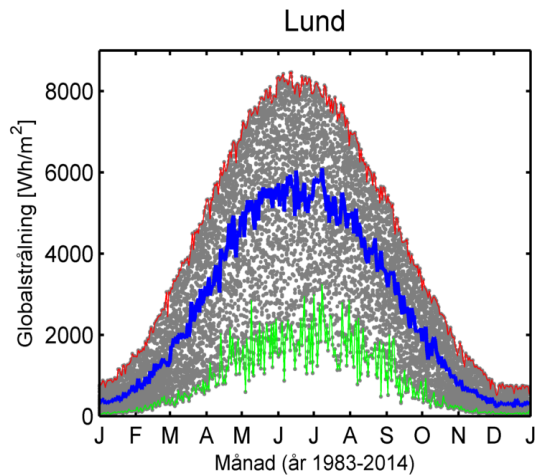
Figur 8. Dygnsvariation av globalstrålning i Lund (SMHI, 2015b)



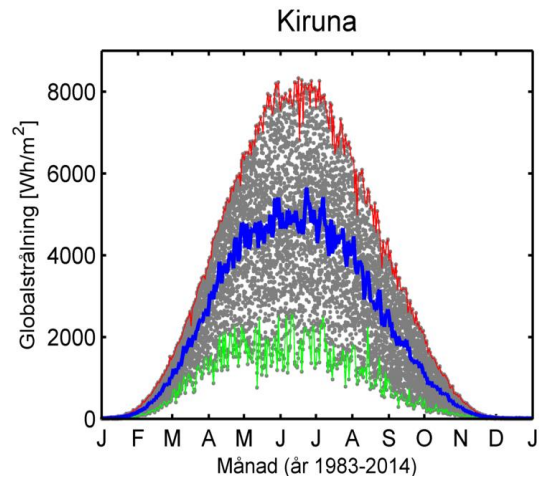
Figur 9. Dygnsvariation av globalstrålning i Kiruna (SMHI, 2015b)

Formerna på kurvorna över dygnets globalstrålning i Figur 8 och Figur 9 ser annorlunda ut jämfört med formerna på kurvorna över dygnets solskenstid i Figur 6 och Figur 7. Dock var förhållandena liknande med högre globalstrålning i Lund, fast tidsperioden i Kiruna var längre under vår och sommar.

I Figur 10 och Figur 11 återges årsvariation över globalstrålning för både Lund och Kiruna. Blå linje representerar dygnsmedelvärdet medan röd och grön linje representerar högsta respektive lägsta uppmätta värde under dygnet. I figurerna framgår att stora skillnader har funnits kring årstiderna vår och höst samt att dygnsmedelvärdet överlag varit lägre i Kiruna än i Lund, se även jämförelse i Figur 5.



Figur 10. Årstidsvariation globalstrålning i Lund (SMHI, 2015b)



Figur 11. Årstidsvariation globalstrålning i Kiruna (SMHI, 2015b)

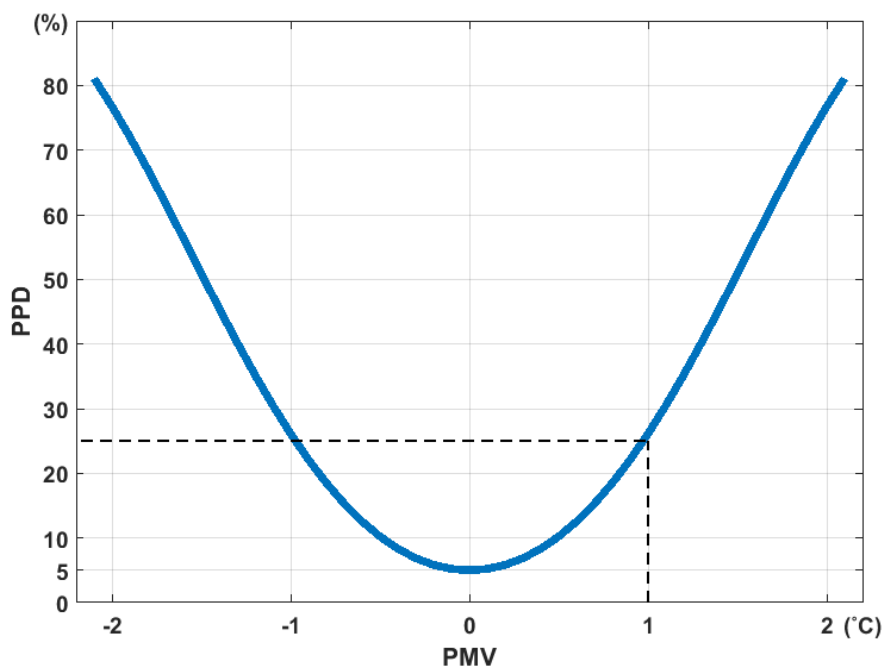
2.2 Termisk komfort

Termisk komfort beror på ett antal faktorer och upplevs olika från person till person, vilket gör att ca 5 % av en population alltid kommer att vara missnöjda oavsett vilka åtgärder som vidtas. Förutom luftens omgivande temperatur, relativa fuktighet och relativa hastighet, påverkas vår upplevelse av termisk komfort även av omgivande ytors temperaturer samt av vår aktivitetsnivå och våra kläders värmemotstånd (Hanssen, Kjerulf-Jensen, & Ole, 1997).

Professor P. O. Fanger utvecklade på 1970-talet både PMV¹- och PPD²-index för att mäta hur personer upplever termisk komfort. Formlerna används internationellt och är sedan år 1994 europeisk standard (Hanssen, Kjerulf-Jensen, & Ole, 1997). PMV-index varierar på en sjugradig skala mellan -3 till +3, där negativa värden representerar upplevd termisk komfort som kall, positiva värden representerar upplevd termisk komfort som varm, samt värdet 0 representerar ett neutralt värde. PPD-index är en funktion av PMV-index uttryckt i procent, se Figur 12 (Hanssen, Kjerulf-Jensen, & Ole, 1997). Se även Bilaga A för beräkningsformler avseende PMV- och PPD-index.

¹ PMV= Predicted Mean Vote

² PPD= Predicted Percentage Dissatisfied



Figur 12. Förväntad andel missnöjda (PPD) som funktion av termisk komfortupplevelse (PMV).
 Exempel (streckad linje): Om temperaturen är 1 grad varmare än den idealiska temperaturen, kommer 25% att vara missnöjda. Bild enligt (Swegon, 2014)

Certifieringssystemet Miljöbyggnad är utformat för svenska förhållanden och berör områdena energi, inomhusmiljö och material. Byggnader klassificeras enligt olika kriterier och kan tillhöra bedömningsgrupperna Guld, Silver och Brons. För bedömningskriterier avseende PPD-index i Miljöbyggnad gäller följande: PPD \leq 10 % för Guld, PPD \leq 15 % för Silver och PPD \leq 20 % för Brons (SGBC, 2016).

Operativ temperatur är ett annat sätt att beskriva termisk komfort. Till skillnad från de mer omfattande PPD- och PMV-indexen tas enbart ett gemensamt medelvärde av lufttemperatur och omgivande ytors strålningstemperatur (NE, 2017). Folkhälsomyndigheten har angett ett rekommenderat intervall för den operativa temperaturen i normalfallet på 20 – 23°C, för att olägenhet för människas hälsa inte skall uppnås. Utöver det rekommenderande intervallet återfinns även riktvärdet 26°C (28°C under sommaren) som en tillåten kortvarig operativ temperatur (Folkhälsomyndigheten, 2014).

2.3 Analys

Effekten av strålning vid markytan utgörs till största delen av globalstrålning. Det innebär att potentiell effekt som kan tillföras en dubbelskalfasad främst beror på solhöjd och molnighet. Utöver globalstrålning avgör andelen soltimmar ifall en temperaturhöjning blir mätbar i dubbelskalfasaden, samtidigt som utomhustemperaturen avgör ifall ett uppvärmningsbehov överhuvudtaget föreligger för byggnaden.

Uppvärmningssäsongen sträcker sig normalt i Sverige från höst till vår. Orsaken beror på lägre utomhustemperatur eftersom andelen soltimmar och mängden globalstrålning är lägre på norra delen av jordklotet under vinterhalvåret. Under uppvärmningssäsongen är det på våren som förekomsten av både högst globalstrålning samt flest soltimmar sker. Således bör våren

vara den period under uppvärmningssäsongen då verkningsgraden för en dubbelskalfasad är som störst, följt av hösten och vintern.

Vid jämförelse av globalstrålning, soltimmar och dygnsmedeltemperaturer för städerna Lund och Kiruna, framgår att för Kiruna innebär våren fler soltimmar men liknande effekt av globalstrålning som i Lund. Detta kan innebära en jämnare uppvärmning med mindre risk för övertemperaturer, speciellt då Kiruna har lägre dygnsmedeltemperaturer och därmed mer utrymme för uppvärmning.

Då en extern glasfasad tillförs en tegelfasad ökar väggens värmemotstånd genom dels högre U-värde på grund av glasfasaden men framför allt dels genom den relativt stillastående luften i dubbelskalfasaden. Hela konstruktionen kan dessutom betraktas som en solfångare med den sammantagna följden att temperaturen rimligtvis kommer vara högre i både dubbelskalfasaden samt innanför tegelfasaden. Högre lufttemperatur och mer värmestrålning från omgivande ytor utgör en direkt påverkan på den termiska komforten. Samtidigt som temperaturen ökar så minskar den relativa fuktigheten och utgör därmed också en påverkan på den termiska komforten. Den externa glasfasaden bryter vindens påverkan på tegelfasaden varpå avkylning på grund av vind minskar och dessutom undviks eventuella drag från otätheter i tegelfasaden. Rimligtvis bör ändå den termiska komforten bakom en dubbelskalfasad påverkas mest på grund av förhöjd temperatur. I Figur 12 ökar PMV-index med en grad över idealiska temperaturen samtidigt som andelen missnöjda med den termiska komforten ökar med 25 %. Justering av värmesystem under uppvärmningsperioden samt tillförande av någon aktiv eller passiv kylfunktion under sommarhalvåret kan eventuellt motverka missnöjet som uppstår vid temperaturhöjning.

2.4 Slutsats

På norra jordklotet är våren den optimala årstiden för användning av dubbelskalfasader som energibesparande åtgärd. Då globalstrålning utgör huvuddelen av den totala strålning som värmer upp en dubbelskalfasad, bör dubbelskalfasaden placeras där den är som mest exponerad för hög globalstrålning under flest soltimmar samtidigt som utomhustemperaturen medger uppvärmning. Bäst placering innebär inte nödvändigtvis de södra och mest solexponerade delarna av landet. Verkningsgraden kan vara mindre i norra Sverige, men pågå under en längre period och därmed utgöra en högre total energibesparing.

Ur ett termiskt komfortperspektiv kan följden bli ökat missnöje under hela året då främst temperaturen ökar i byggnaden. Justering av värmesystem under uppvärmningsperioden samt tillförandet av någon aktiv eller passiv kylfunktion under sommarhalvåret kan motverka missnöjet.

3 Byggnad 22 på Sege Park

3.1 Bakgrund

Malmö Östra Sjukhus uppfördes som ett sinnessjukhus på 1930-talet och var verksamt fram till år 1995, då även långvård bedrevs på området. Sjukhuset bestod av ett flertal byggnader då det avvecklades och har därefter omvandlats till ett område med blandade verksamheter. Området ägs av Malmö Stad och benämns som Sege Park. Stora delar av bebyggelsen anses vara av kulturhistoriskt värde vilket innebär att det råder rivnings- och förvanskningförbud (Schlyter, 2013).

Byggnad 22, se Figur 13, på området innefattade ursprungligen dels en tvårumslägenhet som troligtvis var portvaktsbostad, men även utrymmen avsedda för sjukhusets vaktmästare och chaufförer (Schlyter, 2013). Numera innehåller byggnaden fyra studentbostäder med enskilda badrum samt ett gemensamt kök (Andersson & Bränd, 2014).



Figur 13. Byggnad 22 på Sege Park (Schlyter, 2013)

3.2 Teknisk sammanfattning av Byggnad 22

3.2.1 Allmänt

Byggnadens totala bottenyta uppgår till ca 170 m² och förutom en mindre källare består grunden av en uteluftventilerad kryppgrund. Byggnaden har även ett mindre inrett vindsplan som enbart används för ventilationssystemen. Stommen består av 1½ sten oisolerad tegelvägg med tillbyggda glasfasader på den östra, västra samt södra fasaden. Ett vattenburet radiatorsystem kopplat till ett fjärrvärmenät är en del av byggnadens uppvärmningssystem utöver ett FTX-system (Andersson & Bränd, 2014).

3.2.2 Glasfasad

Beslut om utvändigt isolering med glaspartier för att bevara fasadens arkitektoniska utseende togs år 2008 (Elfborg & Vrbanjac, 2012), dock var glasfasaderna inte på plats förrän år 2011 (Schlyter, 2013). Glasfasaderna består av aluminiumprofiler med 8 mm fönsterglas placerade 600–800 mm från tegelfasaderna och ansluter till ett glastak av isolerglas vilket skjuter ut från byggnadens ordinarie tak. Då anslutning till mark och tegelfasad inte sluter tätt kan uteluft ta sig in i utrymmet genom springor med varierande bredd (Andersson & Bränd, 2014). Syftet med att montera glasfasaden, som tillsammans med tegelfasaden utgör en dubbelskalfasad, var dels att minska transmissionsförlusterna genom väggarna, dels att få dubbelskalfasaden att verka som en passiv förvärmare av tilluft åt ventilationssystemet samt dels att använda luftutrymmet som ett luftsolfångarsystem för att öka värmelagringen i tegelstommen (Nordquist, Elfborg, Vrbanjac, Wallentén, & Stein, 2013).

3.2.3 Ventilationssystem

Ventilationssystemet är uppdelat i två oberoende system som båda installerades i samband med renovering. System 5701 utgör ett FTX-system avsett för studentlägenheterna och System 5702 utgör ett omblandande system avsett för att utjämna temperaturerna i dubbelskalfasaderna. I anslutning till ventilationssystemen installerade Malmö Stad även ett omfattande mätsystem med flertal givare för temperaturer, luftflöde och för relativ fuktighet både på fasaderna och i ventilationskanalerna. Båda ventilationssystemen delar mätdata från utomhustemperaturgivarna men har i övrigt egna givare för temperatur och relativ fuktighet placerade på samma fasad.

3.2.3.1 System 5701

FTX-systemet 5701 förser lägenheterna med tilluft och inkluderar en roterande värmeväxlare kopplat till frånluft. Systemet innehåller dessutom ett värmebatteri då energiåtervinningen inte blir tillräcklig. Tilluft tas antingen via dubbelskalfasaden med intag på södra fasaden eller som uteluft via ett intag på norra fasaden. Om medelvärdet av temperaturgivarna (5701_GT31 och 5701_GT32) placerade på södra fasaden i höjd med vindsutrymmet överstiger 20°C sker intag direkt utifrån via norra fasaden till dess att medeltemperaturen sjunkit ner under 18°C (Andersson & Bränd, 2014).

3.2.3.2 System 5702

Omblandande systemet 5702 i dubbelskalfasaden är ett temperaturutjämnande system och har två driftlägen; VÄRME och KYLA. Vid driftläge VÄRME utjämnas temperaturskillnader mellan fasaderna genom att flytta varmare luft från södra fasaden till västra och östra fasaderna med hjälp av fläktar. Vid driftläge KYLA tillförs uteluft till dubbelskalfasaden i marknivå. Tillförseln sker med en fläkt via en markkanal ca 7 meter från fasaden. Samtidigt förs luft ut ur dubbelskalfasaden via frånluftsdon placerade högt på södra fasaden. Luften förs ut via ett kanalsystem och vidare ut genom taket med hjälp av en frånluftsfläkt.

För aktivering av driftläge VÄRME krävs att medeltemperaturen av temperaturgivarna på södra fasaden (5702_GT211 och 5702_GT212) överstiger medeltemperaturen på västra fasaden (5702_GT32 och 5702_GT322) eller medeltemperaturen på östra fasaden (5702_GT311 och 5702_GT312). Temperaturgivarna är placerade över fönsterhöjd på södra fasaden och under fönsterhöjd på östra och västra fasaderna. (Andersson & Bränd, 2014).

För aktivering av driftläge KYLA krävs att någon av fasadernas ovanstående temperaturgivares medelvärde överstiger 20°C (Elfborg & Vrbanjac, 2012). Extra kylfunktion tillgås via två vädringsfönster i södra dubbelskalfasadens taknock. Vädringsfönsterna öppnas då utomhustermometern (5701_GT41) överstiger 23°C och stänger då temperaturen faller ner under 20°C (Andersson & Bränd, 2014).

3.3 Tidigare studier

På Lunds tekniska högskola har Byggnad 22 studeras med avseende på dess dubbelskalfasader i två examensarbeten år 2012 och år 2014. Dessutom har en artikel publicerats där forskare från olika universitet har studerat byggnaden i en fallstudie under år 2016.

3.3.1 Examensarbete år 2012

År 2012 utfördes examensarbetet "Inglasad tegelfasad - en energianalys" (Elfborg & Vrbanjac, 2012). Huvudsakliga syftet var att utvärdera energibesparingen av den tillbyggda glasfasaden samt simulera tillbyggnaden i ett datorprogram. Då det fasta mätsystemet i byggnaden inte ännu hade anslutits till Malmö Stads övergripande system utförde författarna egna mätningar under perioden 2012-03-13 – 2012-05-02 som de sedan byggde sina beräkningar på. I examensarbetet framkom resultat på energibesparing med avseende på både transmissions- och ventilationsförluster genom både analytiska beräkningar samt genom datorsimuleringar. De analytiska beräkningarna tog hänsyn till olika driftfall för det omblandande systemet och då fläkten varit i drift konstant under mätperioden ansågs ett resultat med denna inräknad som mest rättvisande.

Transmissionsförluster beräknades för samtliga fyra fasader både med och utan externa glasfasader enligt formlerna (2) och (3) i Tabell 2. Bortsett från tillfällena då transmissionsförluster gick utifrån och in, togs skillnaden mellan beräkningarna och ett tillägg för fläkten gjordes. Transmissionsförlusterna minskade från 4240 kWh till 2578 kWh med glasfasaderna. Med ett tillägg på 236 kWh för fläkten i det omblandande systemet samt avdrag för tillfällena då transmissionsförluster gick utifrån och in, blev totala energibesparingen 1277 kWh för de 981,7 timmar (ca 50 dygn) som perioden avsåg.

På motsvarande sätt, enligt formlerna (4) och (5) i Tabell 2, beräknades energibesparing för ventilationsförluster med avseende på förvärmning av tilluft via dubbelskalfasaden. Ventilationsförlusterna minskade från 1639 kWh till 458 kWh. Efter korrigering för då tilluften blev för varm blev total energibesparing 987 kWh under perioden.

Temperaturverkningsgraden (η_{temp}) på dubbelskalfasaden som förvärmare beräknades enligt formel (6) i Tabell 3. Resultatet varierade under mätperioden med ett medelvärde på 0,697. Författarna införde och beräknade även ett effektivt U-värde ($U_{effektiv}$) samt en energiverkningsgrad (η_{energi}) för hela konstruktionen enligt formlerna (7) och (8) i Tabell 4. Avsikten med beräkningarna var att samtidigt ta hänsyn till följande tre aspekter som den tillbyggda glasfasaden bidrar med: (1) Luftspalten i glasfasaden genererar ett förbättrat U-värde. (2) Förvärmning av tilluft för ventilationssystemet. (3) Hela konstruktionen blir en solfångare. Resultatet för effektivt U-värdet blev i medeltal -0,11 W/K, m² men med extremfallen bortsorterade antogs korrekt värde vara 0,4 – 0,6 W/K, m². Resultatet för energiverkningsgraden blev i medeltal 1,98 och extremfallen var uppemot 16,0.

Samtliga beräkningar var utförda med norra fasaden (5701_GT33) som referens för utomhustemperaturen. Temperaturen inomhus antogs vara konstant 21°C med bestämd tilluftstemperatur på 19°C. Tilluft togs via dubbelskalfasaden upp till 19°C. I Tabell 1 till Tabell 4 återfinns indata samt beräkningsformler.

Tabell 1. Utdrag ur Tabell 4:1 Uppmätta areor och byggheders U-värde (Elfborg & Vrbanjac, 2012)

Byggnadsdel	Södra fasaden (m ²)	Östra fasaden (m ²)	Västra fasaden (m ²)	Norra fasaden (m ²)	U-värde (W/ m ² , °K)
Vägg	69,2	48	44	71,3	1,245
Fönster	3,5	4	8	2	1,20
Dörr	2,1	-	-	-	1,00

Tabell 2. Beräkningsformler för transmission- och ventilationsförlust (Elfborg & Vrbanjac, 2012)

Transmissionförlust		Ventilationsförlust	
$P_{trans, utan\ glas} = \sum U_j A_j (T_i - T_e) [W] \quad (2)$		$P_{vent, utan\ glas} = \sum R c_p \rho (T_i - T_e) [W] \quad (4)$	
$P_{trans, med\ glas} = \sum U_j A_j (T_i - T_g) [W] \quad (3)$		$P_{vent, med\ glas} = \sum R c_p \rho (T_i - T_g) [W] \quad (5)$	
P_{trans} = Transmissionförlust [W]		P_{vent} = Ventilationsförlust [W]	
U_j = U-värde för yta j, se Tabell 1 [W/ m ² ,K]		R = Luftflöde 0,1 [m ³ /s]	
A_j = Area för yta j, se Tabell 1 [m ²]		c_p = Luftens värmekapacitet per massenhet = 1000 [(Ws)/(kgK)]	
T_i = Temperatur inomhus [°C]		ρ = Luftens densitet = 1,2 [kg/m ³]	
T_e = Temperatur utomhus [°C]		T_i = Temperatur inomhus [°C]	
T_g = Temperatur i glasfasad [°C]		T_e = Temperatur utomhus [°C]	
		T_g = Temperatur i glasfasad [°C]	

Tabell 3. Temperaturverkningsgrad enligt formel 4.9 (Elfborg & Vrbanjac, 2012)

$\eta_{temp} = \frac{T_{\dot{a}} - T_e}{T_{fr\ddot{a}n} - T_e} \quad (6)$	η_{temp} = Temperaturverkningsgrad [-]
	$T_{\dot{a}}$ = Temperatur efter uppvärmning i dubbelskalfasaden [°C]
	T_e = Temperatur utomhus [°C]
	$T_{fr\ddot{a}n}$ = Temperatur frånluft [°C]

Tabell 4. Effektivt U-värde samt energiverkningsgrad enligt kapitel 4.3 och 4.4 (Elfborg & Vrbanjac, 2012)

$U_{effektiv} = \frac{[U_j A_j (T_i - T_g) + \rho c_p R (T_t - T_g)] - \rho c_p R (T_t - T_e)}{A_j (T_i - T_e)} \quad [W/C, m^2] \quad (7)$
$\eta_{energi} = 1 - \frac{[U_j A_j (T_i - T_g) + \rho c_p R (T_t - T_g)] - U_j A_j (T_i - T_e)}{\rho c_p R (T_t - T_e)} \quad [-] \quad (8)$
T_t = Tilluftstemperatur, 20°C. Övriga beteckningar enligt Tabell 2.

3.3.2 Examensarbete år 2014

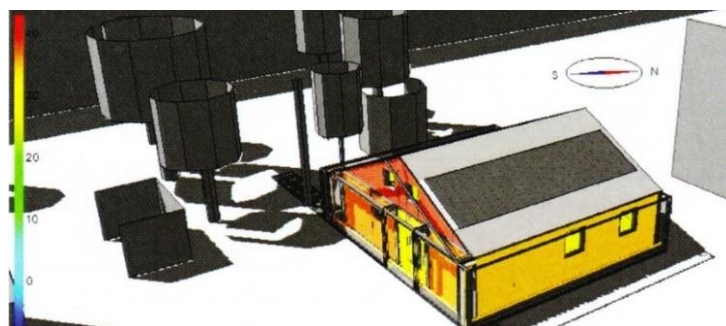
År 2014 utfördes examensarbetet "Glasklar tilläggsisolering - möjligheter med förvärmning av tilluft" (Andersson & Bränd, 2014). Syftet med arbetet var att undersöka och utvärdera ventilationssystemen i Byggnad 22 under perioden 2013-10-28 – 2014-03-16.

Vid utvärderingen av ventilationssystem 5701 för lägenheterna konstaterades att uppvärmd luft i dubbelskalfasaden inte alltid tillgodogjordes som tilluft under kalla och soliga dagar. Tilluft togs istället utifrån via norra fasaden och värmdes upp i ventilationsaggregatet. Orsaken berodde på att solinstrålningen vissa dagar höjde temperaturen över gränstemperaturen på 20°C i dubbelskalfasaden. Då systemet enbart medgav intag från ett ställe och ingen möjlighet gavs att blanda luft från dubbelskalfasaden och norra fasaden så tillgodogjordes inte den uppvärmda luften som tilluft. Dessutom konstaterades att ventilationsfläktarna för lägenheterna var avstängda mellan kl. 21.30 och kl. 06.30 varje natt. Ventilationsystem 5702 för omblandning av luft i dubbelskalfasaden konstaterades inte utgöra någon märkbar påverkan för temperaturutjämnningen trots att fläkten var igång konstant med en effekt på 118 W.

Utöver utvärderingar gjordes även beräkningar på energianvändning med avseende på ventilationsförluster. Beräkningar utfördes med formlerna (4) och (5), enligt Tabell 2. Dock användes konstanterna: luftflöde (R) = 0,13 m³/s, luftens densitet (ρ) = 1,25 kg/m³ och luftens specifika värmekapacitet (c_p) = 1010 (W·s)/(kg·°K). Till- och frånluftstemperatur var 18°C i beräkningarna och som referens för utomhustemperatur användes GT33 på norra fasaden. Resultatet blev att ventilationsförlusterna minskade med 1080 kWh, från 3550 kWh till 2470 kWh under perioden på totalt 139 dagar. Beräkning av temperaturverkningsgraden (η_{temp}) på dubbelskalfasaden som förvärmare enligt formel (6) i Tabell 3 resulterade i ett medelvärde på 0,3 med en variation på 0,1 – 1,0. För temperatur efter fasaden och före återvinning i värmeväxlaren användes temperaturen i tilluftskanalen GT11.

3.3.3 Forskningsartikel år 2016

I "Journal of Building Engineering 7" från år 2016 återfinns artikeln "Energy saving and indoor climate effects of an added glazed façade to a brick wall building: Case study" (Hilliaho, Nordquist, Wallentén, Hamid, & Lahdensivu, 2016). Artikeln utgör en fallstudie över Byggnad 22 där en modell över byggnaden simulerades i datorprogrammet IDA ICE 4.6.2 med avseende på de tillbyggda glasfasaderna, se Figur 14. Totalt simulerades 63 olika fall av byggnaden, både med och utan glasfasader. Skillnaden mellan fallen gällde olika förutsättningar på antalet glasfasader, djupet på glasfasaderna, val av glasmaterial, intag av uteluft, möjlighet till solskydd och möjlighet till att kyla fasaden med luftgenomströmning.



Figur 14. Animerad vy över modellen den 3 augusti 2014 där de höga temperaturerna i södra dubbelskalfasaden framgår (Hilliaho, Nordquist, Wallentén, Hamid, & Lahdensivu, 2016)

Resultatet av rapporten visade på en energibesparing gällande uppvärmningen av byggnaden på upp till 38,1 % då de tre fasaderna var inglasade med treglasfönster som hade ett U-värde på 1,7 W/m², K och ett g-värde på 0,62, samtidigt som tilluften togs in via dubbelskalfasaden. Fallet där Byggnad 22 simulerades med liknande förutsättningar som i verkligheten resulterade i en energibesparing på 28,6 % mot samma byggnad utan glasfasader och utan FTX-system (Nordquist & Wallentén, 2016). Då enbart söderfasaden var inglasad i samma modell blev besparingen 24,8 % (Nordquist & Wallentén, 2016).

3.3.4 Sammanfattning tidigare studier

I Tabell 5 nedan återfinns jämförelsetal från samtliga tidigare studier med avseende på transmissionsförlust, ventilationsförlust, total energibesparing, temperatur- och energi-verkningsgrad samt effektivt U-värde.

Tabell 5. Jämförelsetabell - Tidigare resultat

År	Minskad transmissionsförlust (%)	Minskad ventilationsförlust (%)	Total energibesparing (%)	η_{temp} (-)	η_{energi} (-)	$U_{effektiv}$ (W/K, m ²)
2012 ³	30,1*	60,2	-	0,697	1,98	-0,11 (0,4–0,6)**
2014 ⁴	-	30,4	-	0,3	-	-
2016 ⁵ , 2016 ⁶	-	-	28,6	-	-	-

*Samtliga fyra fasader inklusive norra fasaden

**Antaget intervall

³ (Elfborg & Vrbanjac, 2012)

⁴ (Andersson & Bränd, 2014)

⁵ (Hilliaho, Nordquist, Wallentén, Hamid, & Lahdensivu, 2016)

⁶ (Nordquist & Wallentén, 2016)

3.4 Resultat mätdata

Byggnad 22 har teknisk styrning och övervakning på värme- och ventilationssystemen vilket innebär att systemen är uppkopplade mot förvaltaren Stadsfastigheters nät konstant. Mätdata lagras under ett år och skrivs sedan över med ny data. Vid förfrågan har förvaltaren vid flertal tillfällen sparat ner filer över mätdata och skickat dem till Lunds tekniska högskola.

För perioden 2013-10-28 – 2016-06-29 återfanns 71 filer med mätdata över temperaturer samt relativ fuktighet. Längsta perioder med saknad mätdata framgår enligt Tabell 6. Därutöver fanns enstaka timmar då mätdata saknades antingen på grund av tillfälligt kommunikationsavbrott eller för att en specifik givare inte lagrade negativa värden. Negativa värden var enbart lagrade hos utomhustemperaturgivaren i betongröret (5701_GT41) och enbart efter vintern 2013/2014.

Tabell 6. Sammanställning mätdata för perioden 2013-10-28 – 2016-06-29

	Från	Till	Årstid	Antal dagar
Hela mätperioden	2013-10-28	2016-06-29		973
Saknade perioder	2014-03-17	2014-04-08	Vår	21
	2014-04-28	2014-06-28	Vår/Sommar	61
	2014-07-10	2014-07-14	Sommar	4
	2014-09-19	2014-10-25	Höst	36
	2016-04-21	2016-05-13	Vår	22
Tillgänglig mätdata	2013-10-28	2016-06-29		829

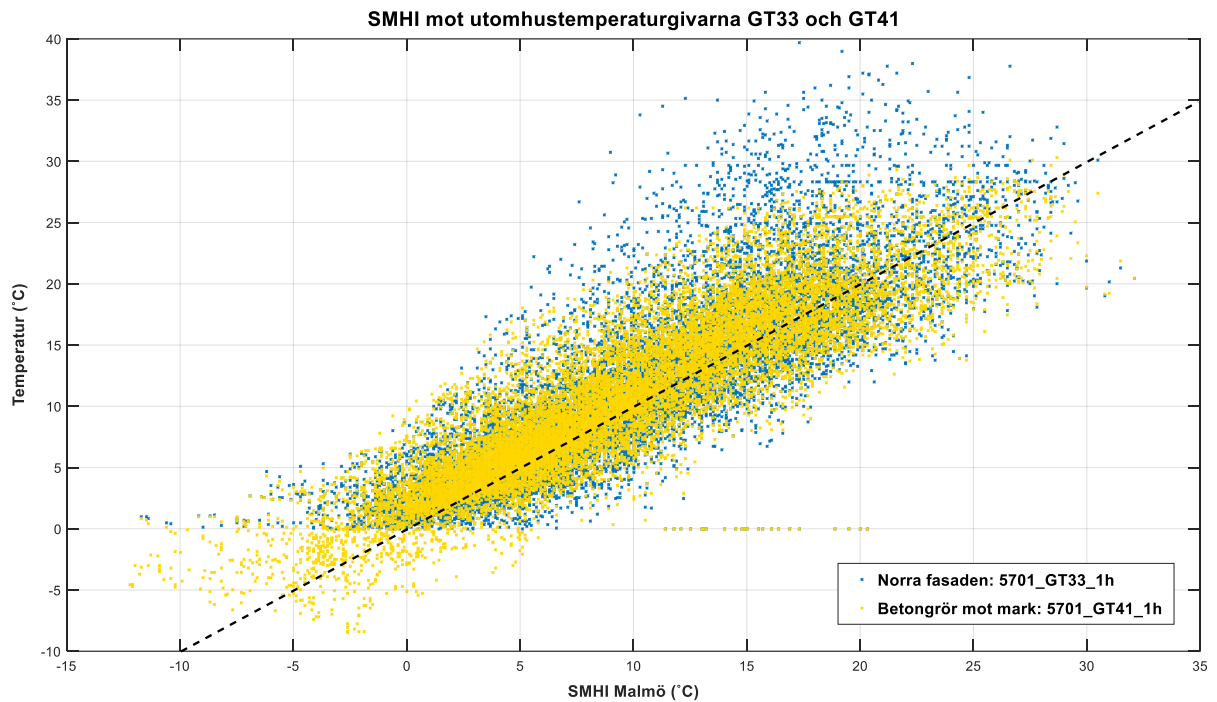
Tillgänglig mätdata innehöll 180 996 rader varav första 79 083 raderna fram till 2015-05-02 var angivna med tiominuters intervall och resterande med sexminuters intervall. De olika intervallen har mindre betydelse då mätdata studeras över tid, då enda skillnad blir högre upplösning för perioden med sexminuters intervall. Däremot då mätdata studeras med procentuell fördelning, som vid ett varaktighetsdiagram, blir perioden med sexminuters intervall tyngdgivande och ger diagrammet en aningen skev fördelning. Då mätdata från främst vår- och höstperioder saknades enligt Tabell 6 innebar det att saknad mätdata troligtvis varit placerad i de mellersta segmenten i fördelningen. Dessutom saknade samtliga givare förutom utomhustemperaturgivaren i betongröret (5701_GT41) negativa värden vilket ytterligare påverkade fördelningen negativt. Av de totalt 180 996 raderna saknades värde från 27 536 rader från utomhustemperaturgivaren i betongröret (5701_GT41) och 33 607 rader med värde från utomhustemperaturgivaren på norra fasaden (5701_GT33). Förklaringen finns främst i Tabell 6 där saknade mätperioder framgår, men differensen på 6 071 rader beror till största del på minusgrader utomhus. De 6 071 saknade raderna utgör ett bortfall på 3,6 % av hela mätdataserien men då dubbelskalfasaderna överlag håller högre temperatur än rådande utomhustemperatur kommer bortfallet vara mindre än så för dubbelskalfasaderna. Hela mätdataserien innehåller dock så mycket data att fördelningen kommer att användas som en representativ fördelning vid jämförelse mellan givarna. Dessutom är det relativa förhållandet mellan olika mätdata från Byggnad 22 korrekt, då de haft samma fördelning genom hela mätserien. Se Bilaga B för jämförelse av olika varaktighetskurvor.

Resultat över mätdata återges i Figur 15 till Figur 67. Karakteristiska sommar- och vinterperioder valdes ut som jämförelse mellan givarna och i en del av figurerna infördes diagonalt streckade linjer för att tydligt markera likhetsförhållandet mellan axlarna.

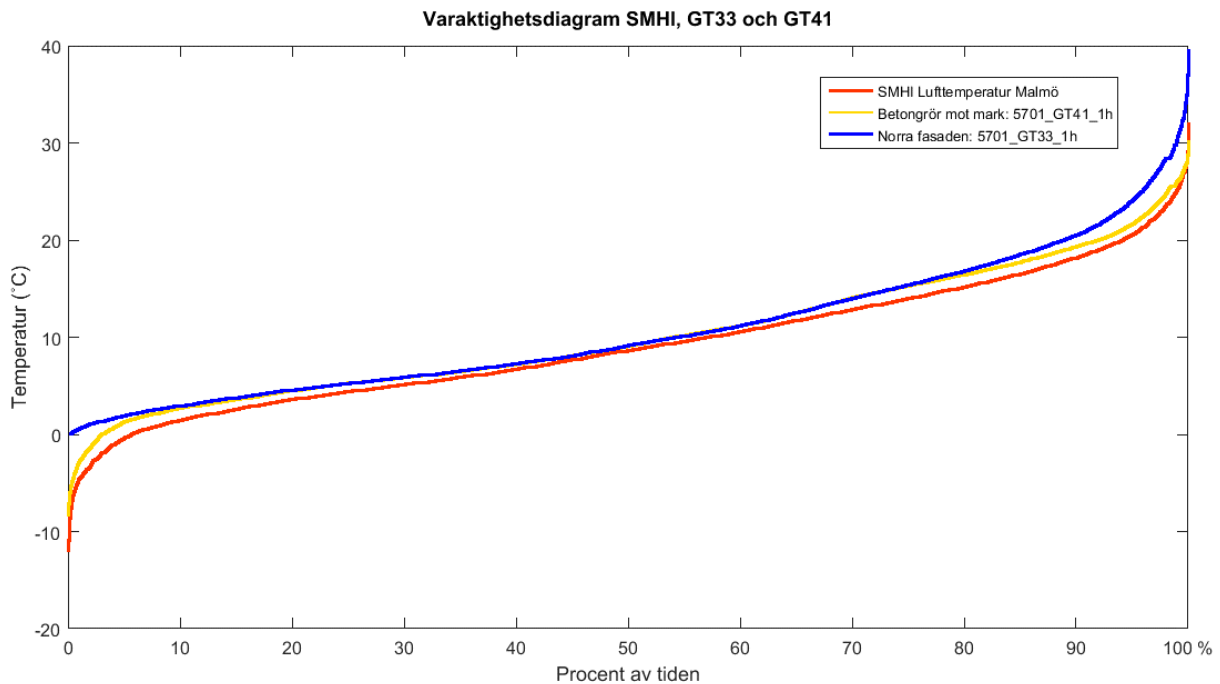
3.4.1 Utomhustemperaturgivare

3.4.1.1 Resultat

Två utomhustemperaturgivare tillhör byggnaden. En återfinns på norra fasaden (GT33) och andra återfinns ca sju meter från byggnaden i ett betongrör ovan mark (GT41). Båda givarna återges i Figur 15 till Figur 20, där även data från SMHI⁷ infogats för jämförelse.

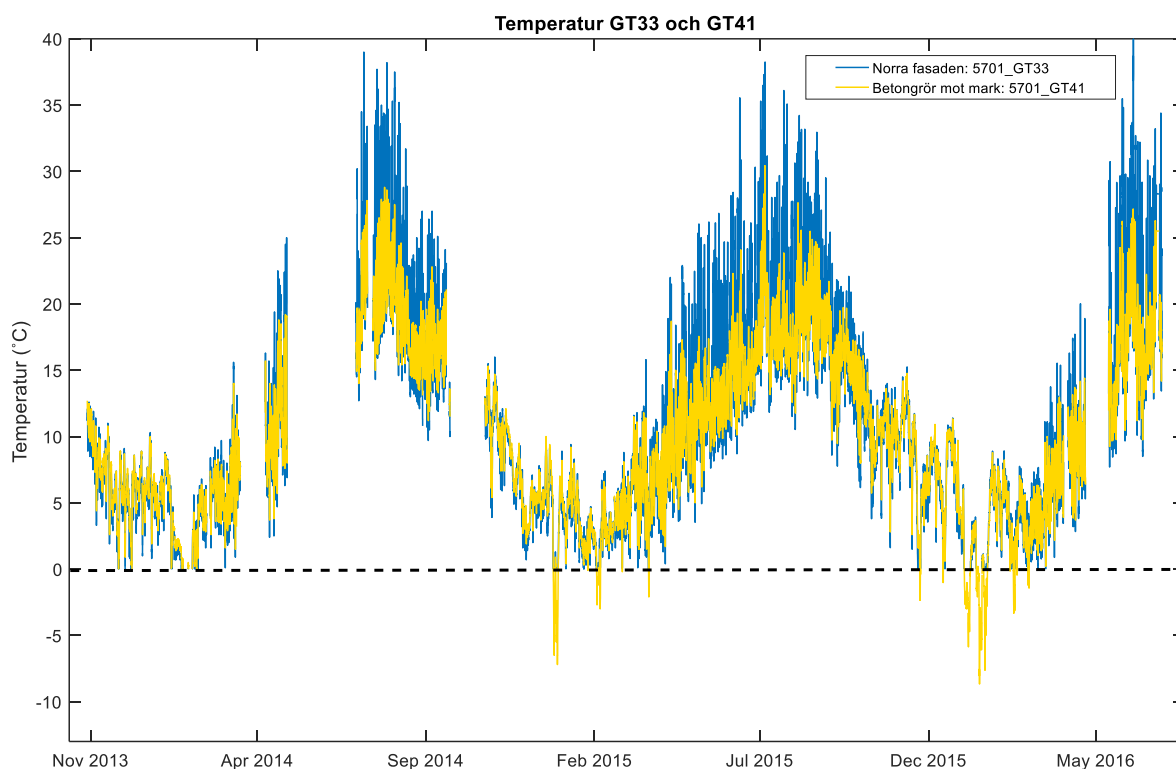


Figur 15. SMHI mot utomhustemperaturgivarna på norra fasaden (GT33) och i betongröret mot mark (GT41)

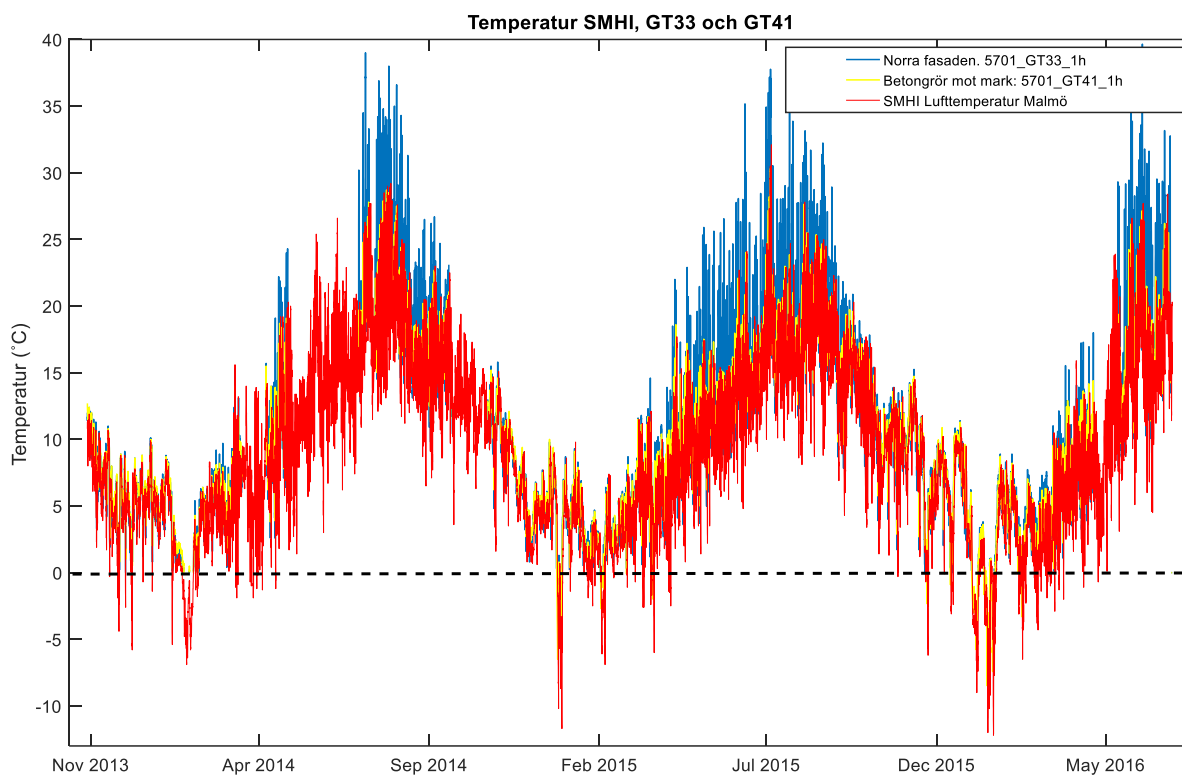


Figur 16. Temperaturgivarna GT33, GT41 samt SMHI med 1-timmars intervall – Varaktighetsdiagram

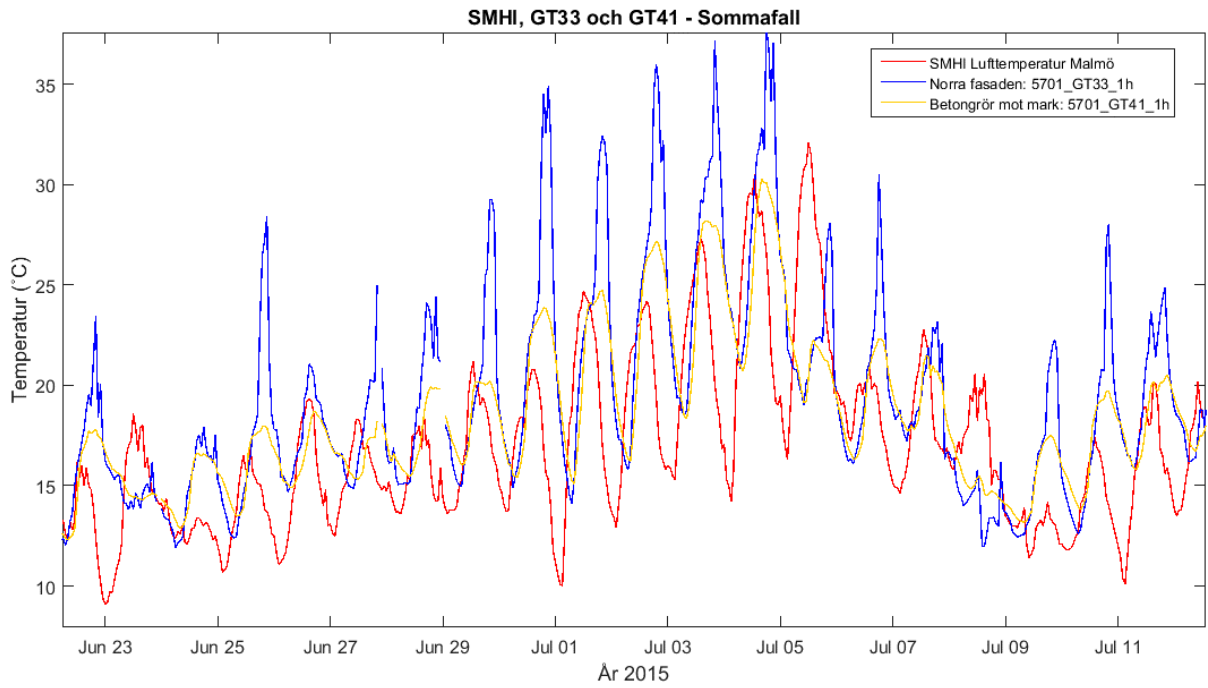
⁷Klimatnummer: 52350 | Position: Malmö, Jägersro | WMO-nummer: 2-635 | Höjd: 20 m



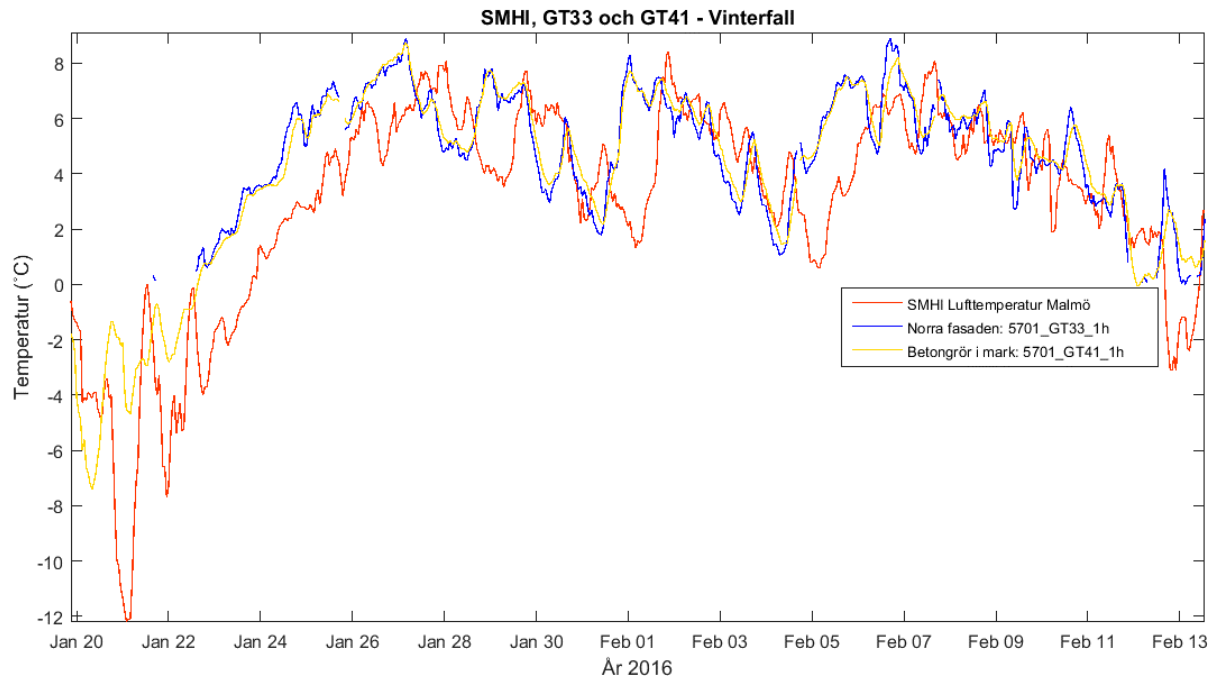
Figur 17. Temperaturgivarna GT33 och GT41



Figur 18. Temperaturgivarna GT33, GT41 samt SMHI



Figur 19. Temperaturgivarna GT33, GT41 samt SMHI – Sommarfall



Figur 20. Temperaturgivarna GT33, GT41 samt SMHI – Vinterfall

3.4.1.2 Analys

Norra fasadens temperaturgivare, GT33, saknade helt negativa värden då givaren inte registrerade dessa. GT33 hade större spridning än temperaturgivaren GT41 som återfanns i betongröret mot mark, vilket sannolikt berodde på att GT33 utsattes för direkt solljus under sena eftermiddagar (Hilliaho, Nordquist, Wallentén, Hamid, & Lahdensivu, 2016). Vid sommarfallet uppvisade givaren från SMHI och GT41 liknande temperaturkurvor, dock något förskjutna i tid. GT33 hade liknande förskjutning i tid men också överlag högre värden vilket också sannolikt berodde på att givaren inte satt skyddad mot solinstrålning. Vid vinterfallet hade alla tre givarna liknande kurvor förutom vid negativa värden då data från GT33 saknades. Förskjutningen i tid mellan givarna från Byggnad 22 och SMHI beror troligtvis på tillfälliga kommunikationsfel, vilket genererat tomma rader i mätserien.

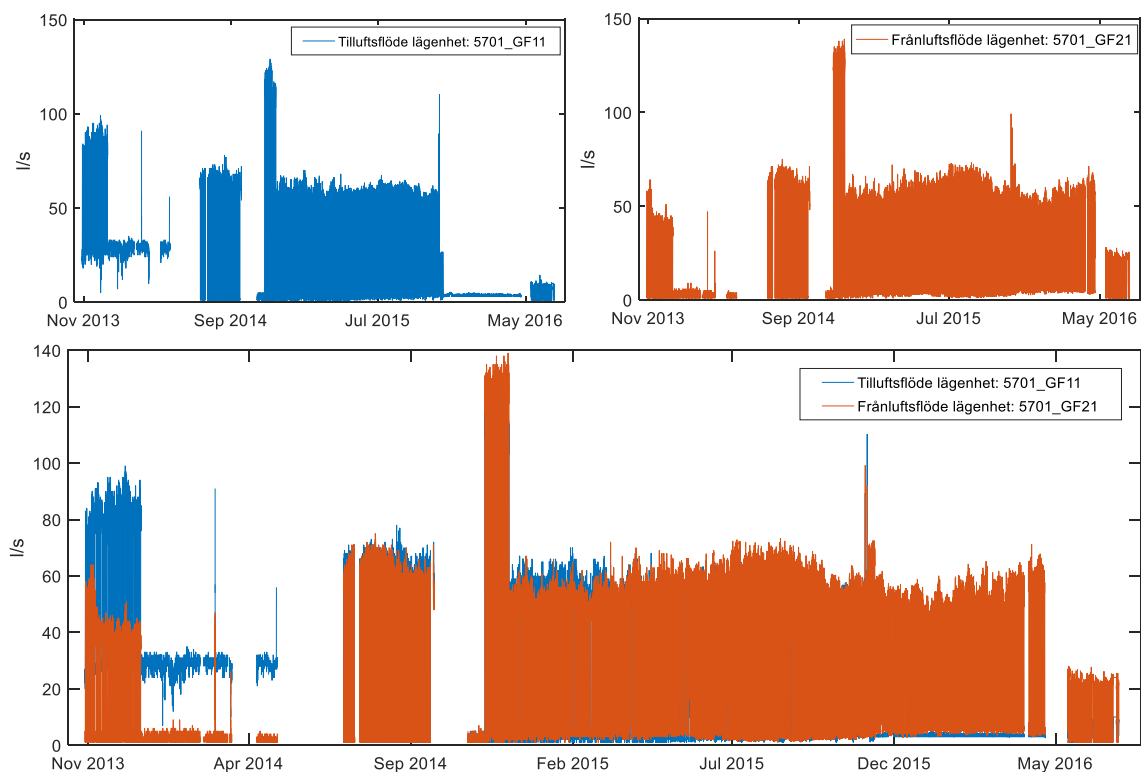
GT41 uppvisade data som överensstämde bäst med SMHI samt innehöll negativa värden. Förskjutningen mot SMHI har ingen betydelse då samtliga givare på Byggnad 22 var synkroniserade och därmed hade samma förskjutning. GT41 är därmed den givare som anses vara mest rimlig att använda som referens för utomhustemperatur.

3.4.2 System 5701 – Ventilation för lägenheter

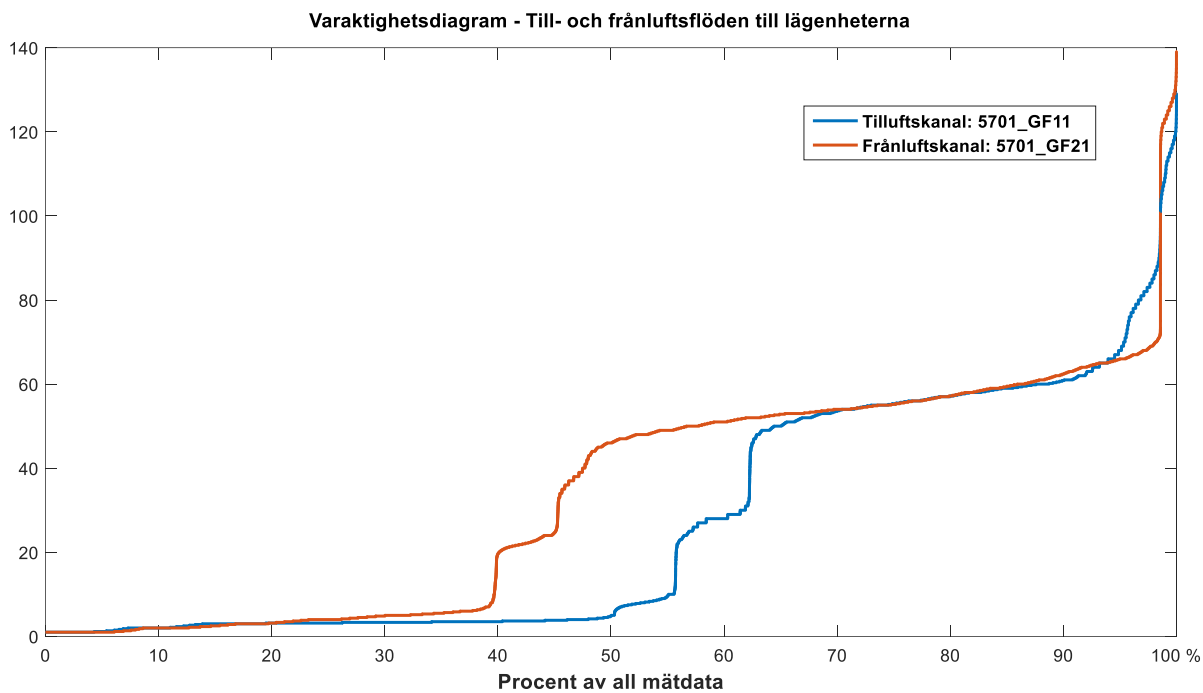
System 5701 har både flödes- och temperaturgivare för totala tillufts- och frånluftsflödet till lägenheterna, se Figur 21 till Figur 24. Till systemet hör två temperaturgivare på södra fasaden där medelvärdet av givarna styr vart uteluften till fastigheten ska tas ifrån, se Figur 25 till Figur 35. Data har färgats efter intag i Figur 28 till Figur 30 och även sorterats så enbart värden under respektive intag har tagits med i Figur 31 till Figur 35.

3.4.2.1 Till- och frånluftsflöden lägenheter

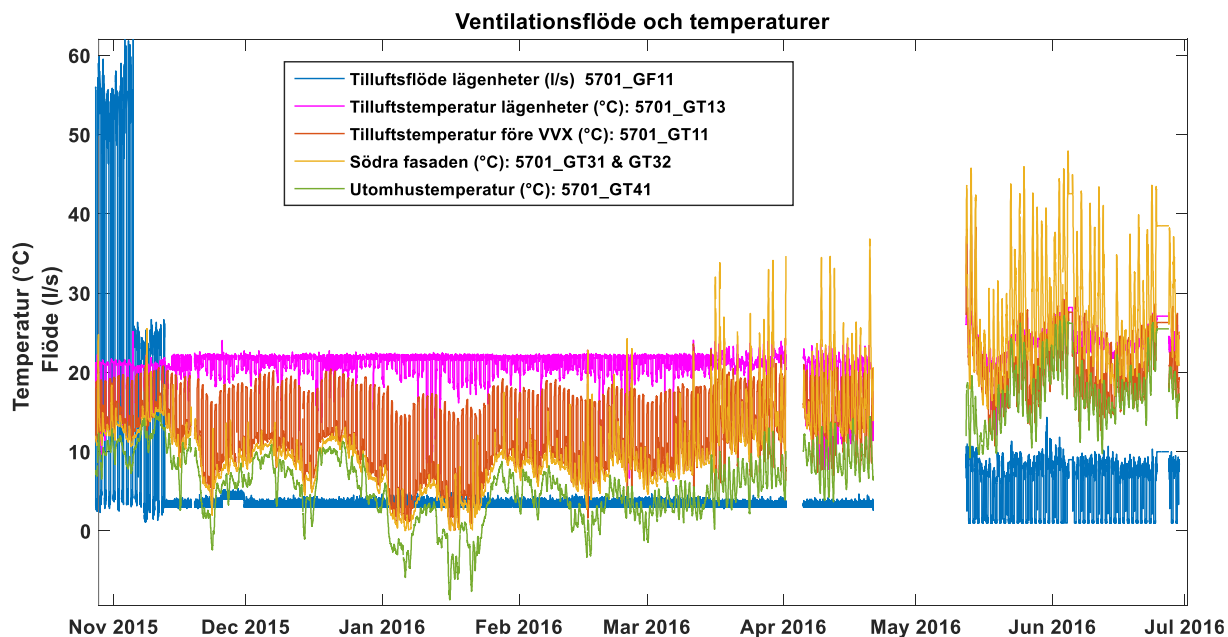
3.4.2.1.1 Resultat



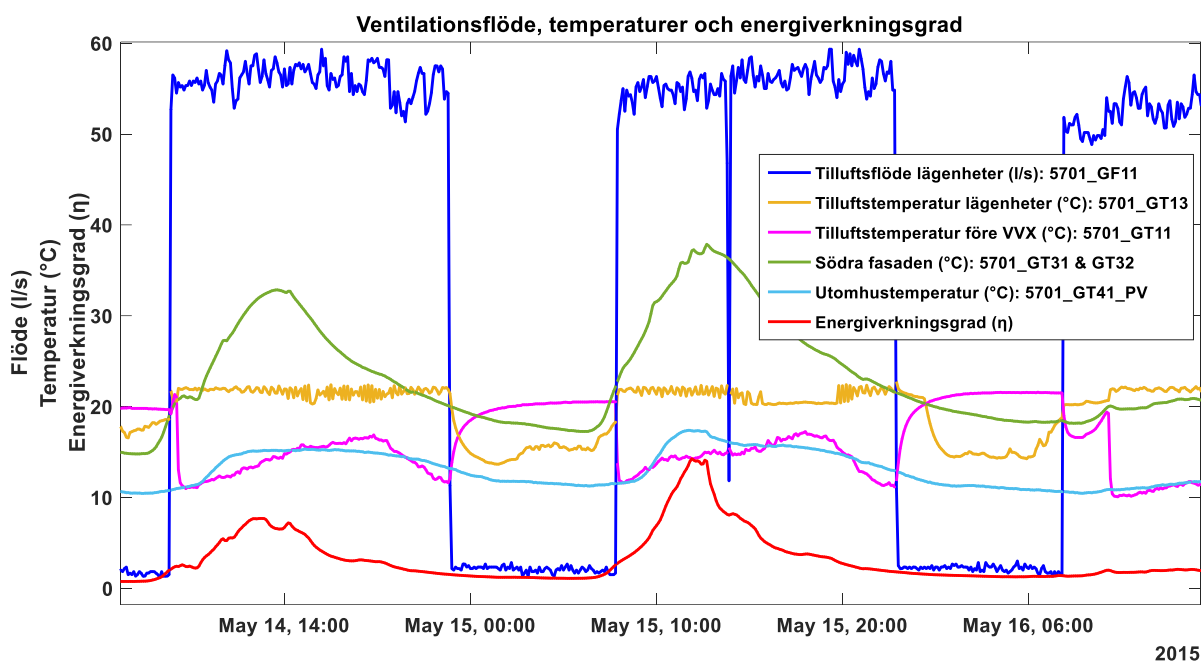
Figur 21. Till- och frånluftsflöden till lägenheterna



Figur 22. Till- och frånluftsflöden till lägenheterna - Varaktighetsdiagram



Figur 23. Ventilationsflöde och temperaturer - Synlig reducering av tilluftsföde under första halvåret av år 2016



Figur 24. Ventilationsflöde, temperaturer samt energiverkningsgrad – Nattavstängning framgår tydligt på mörkblå graf

3.4.2.1.2 Analys

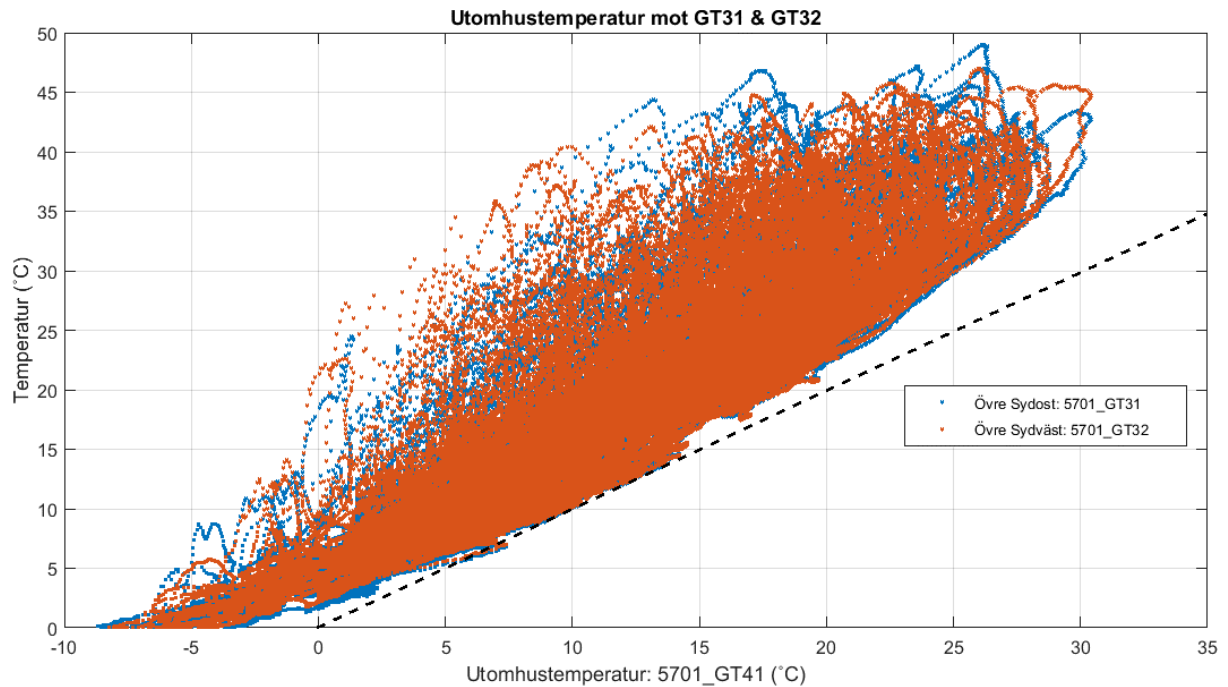
Flödena in till byggnaden varierade över dygnets timmar och med hänsyn till BBR kravet på 0,35 l/sm² borde luftflödet i byggnaden aldrig understigit 60 l/s (Boverket, 2015b).

Tidigare examensarbetare uppmärksammade att ventilationssystemet var inställt på kontorsdrift med avslag på kvällen och påslag på morgonen. Detta verkade fortfarande ha varit fallet fram till december år 2015, dock med tiderna justerade till påslag kl. 07:50 och avslag kl. 22:50. Vid perioder med nattavstängning har luftflödet varierat omkring 60 l/s under dagarna och under nätterna har flödet varierat mellan 1 - 6 l/s. Från början av år 2016 till mitten av maj år 2016 har tilluften konstant varierat omkring 4 l/s medan frånluften varierat omkring 60 l/s. Orsaken till reduktionen av tilluften är inte känd och ett eventuellt givarfel där för låga värden registrerades kan inte bortses ifrån. Tilluftstemperaturen till lägenheterna är i medeltal 20,8°C.

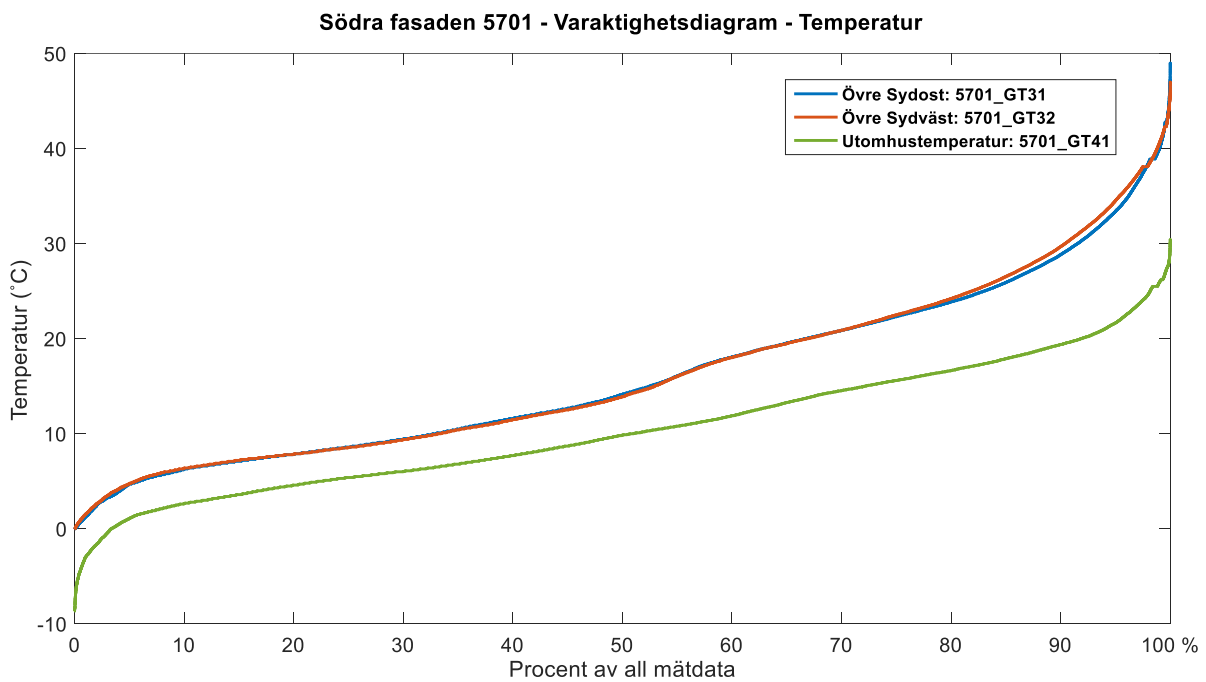
3.4.2.2 Södra fasaden 5701

Medelvärden över temperaturgivarna GT31 och GT32 tillhörande 5701-systemet styr vart ifrån luftintag ska ske; antingen via dubbelskalfasaden eller via norra fasaden. I Figur 25 till Figur 27 framgår temperaturerna från givarna och i Figur 28 till Figur 30 framgår vart luftintag skett.

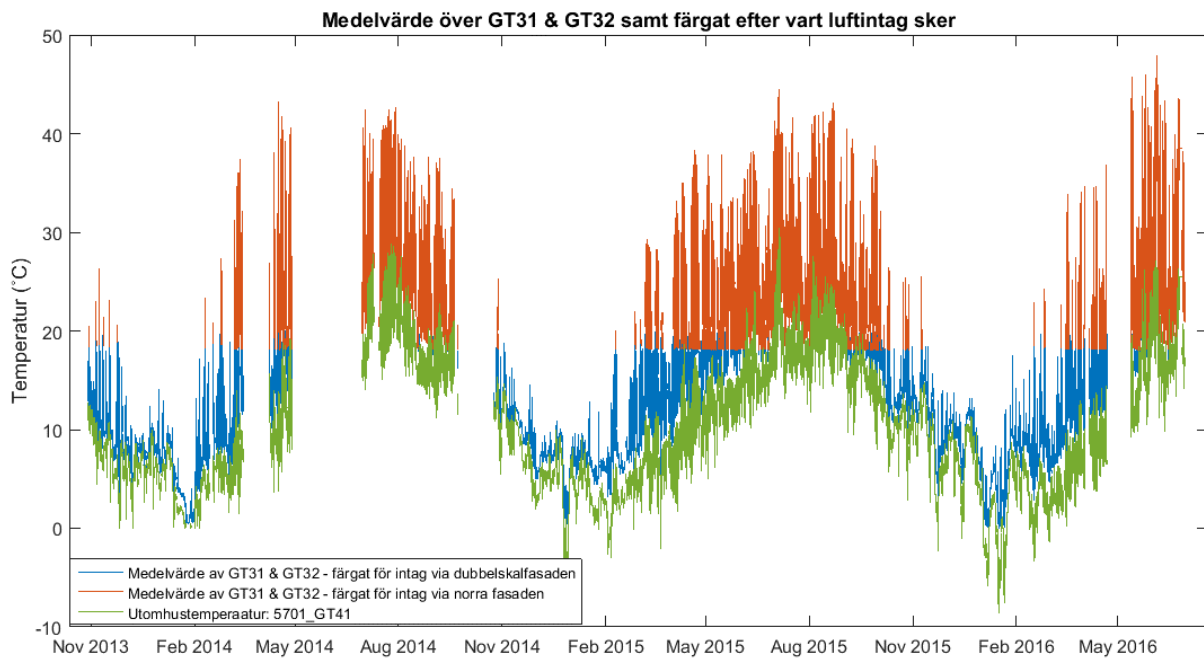
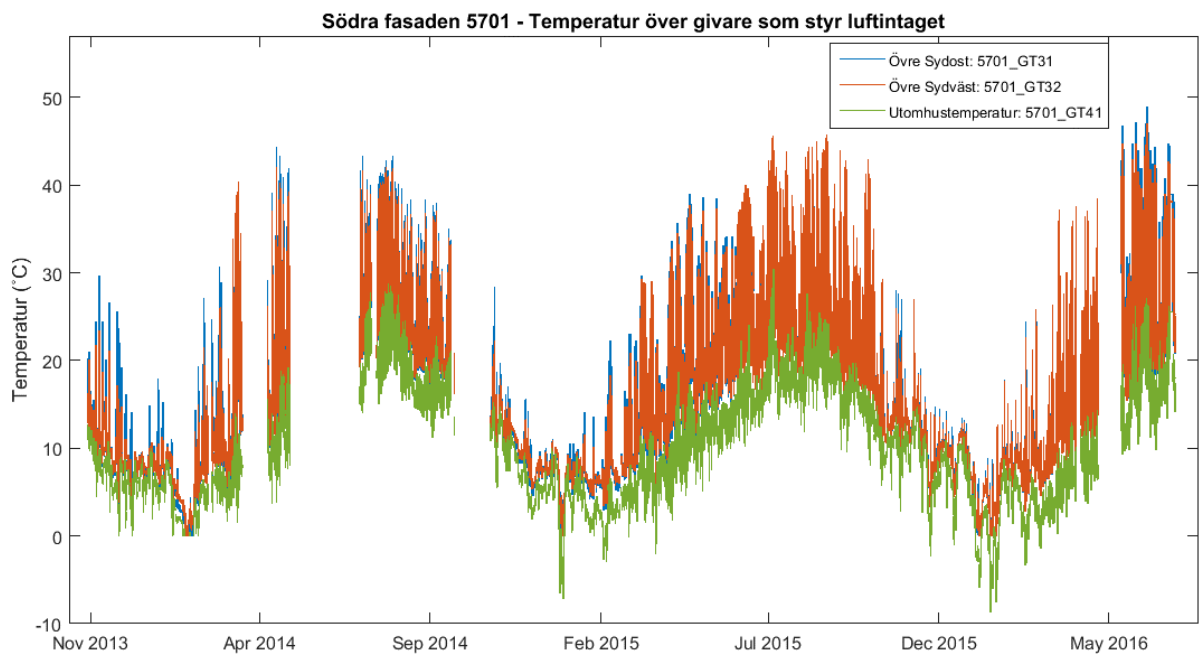
3.4.2.2.1 Resultat

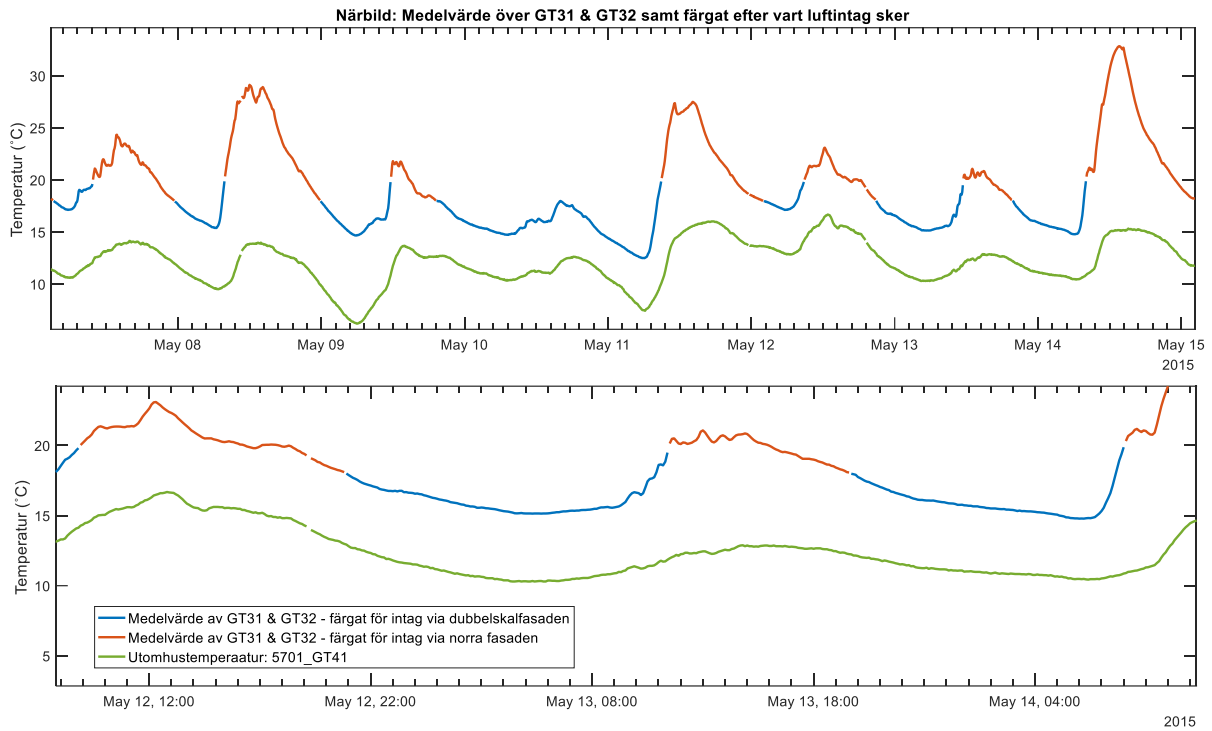


Figur 25. Södra fasaden 5701 - Utomhustemperaturgivare GT41 mot GT31 och GT32

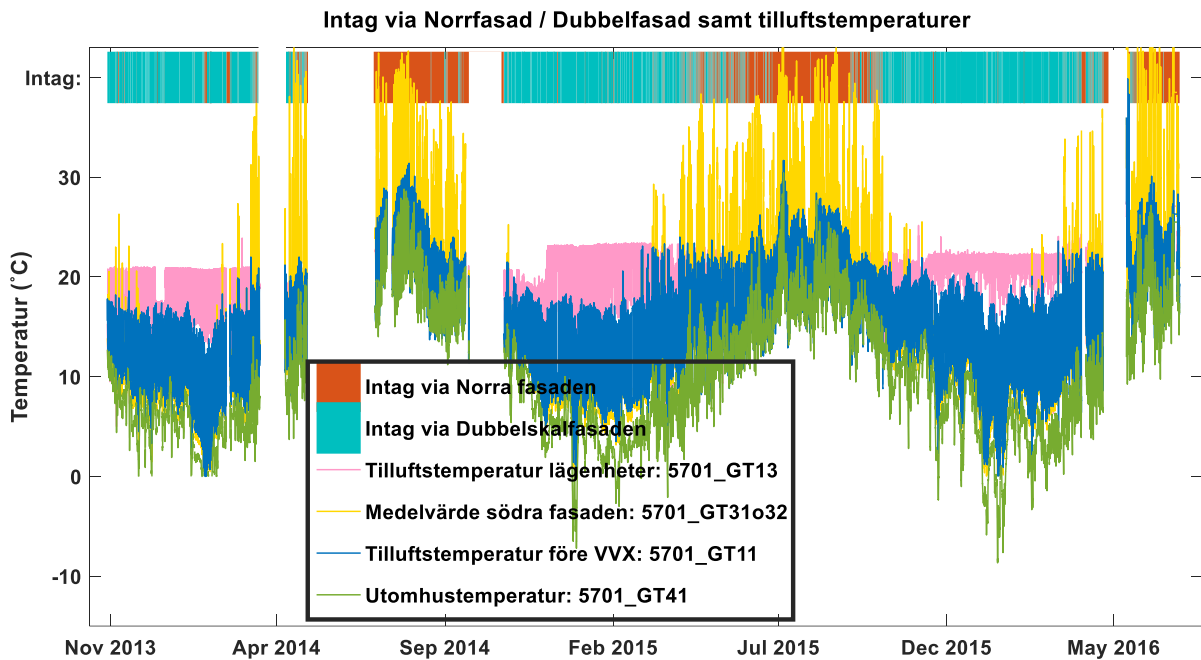


Figur 26. Södra fasaden 5701 - Temperaturgivarna GT31 och GT32 – Varaktighetsdiagram





Figur 29. Södra fasaden 5701 – Närbild: medelvärde från GT31 och GT32 samt färgat efter vart luftintag sker



Figur 30. Södra fasaden 5701 - Intag samt tilluftstemperaturer

3.4.2.2.2 Analys

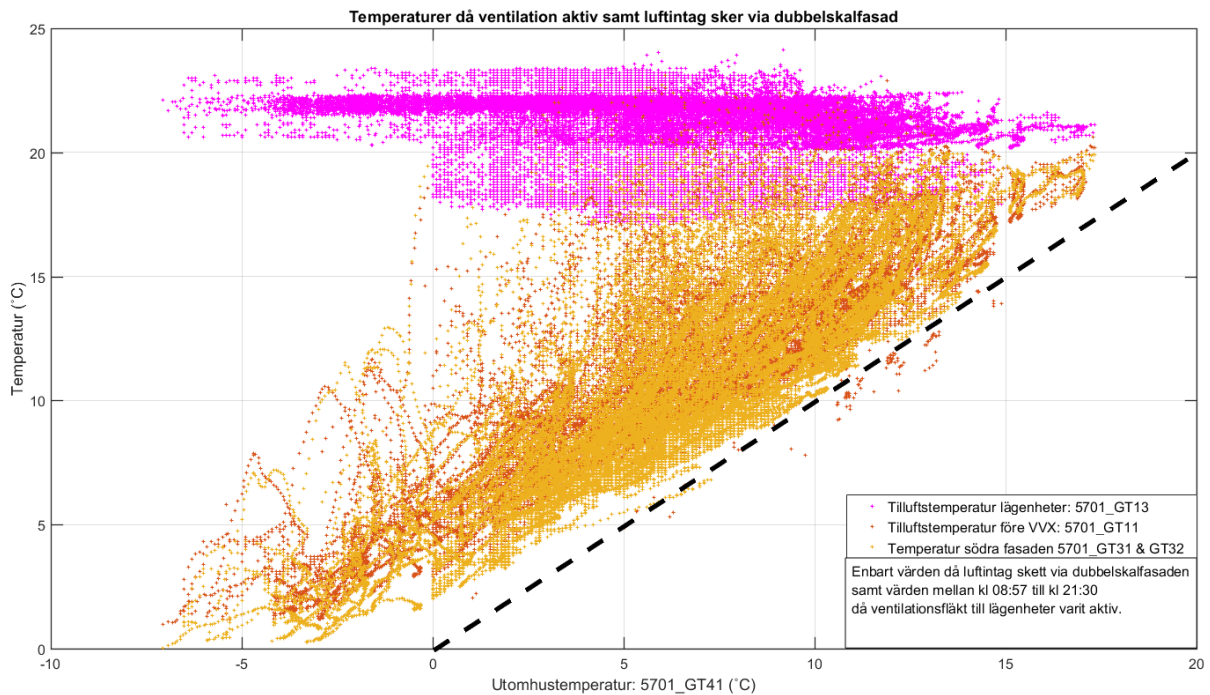
Temperaturgivarna GT31 och GT32 var placerade innanför glasfasaden och hade överlag högre värde än utomhustemperaturgivarna enligt Figur 25. I varaktighetsdiagrammet i Figur 26 saknades negativa värden för temperaturgivarna GT31 och GT32 i södra dubbelskalfasaden, vilket dock enbart påverkade fördelningen relativt lite enligt inledande beräkningar.

I Figur 28 syns varifrån tilluften teoretiskt bör ha tagits under hela perioden. Vid årstider med vår ges intrycket att intag skett konstant via norra fasaden. Dock framgår vid högre upplösning, som i Figur 29, att intag av luft bör ha skett via dubbelfasaden då temperaturen sjunkit under dygnets kallare del.

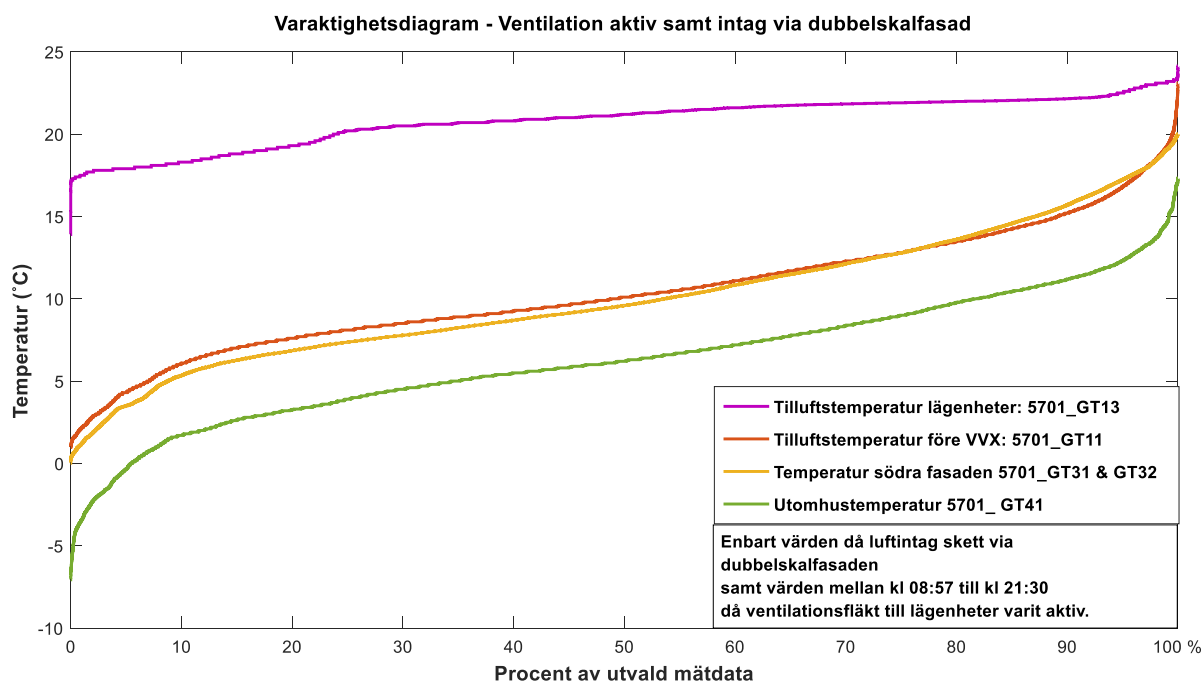
3.4.2.3 Tilluft via dubbelskalfasad

3.4.2.3.1 Resultat

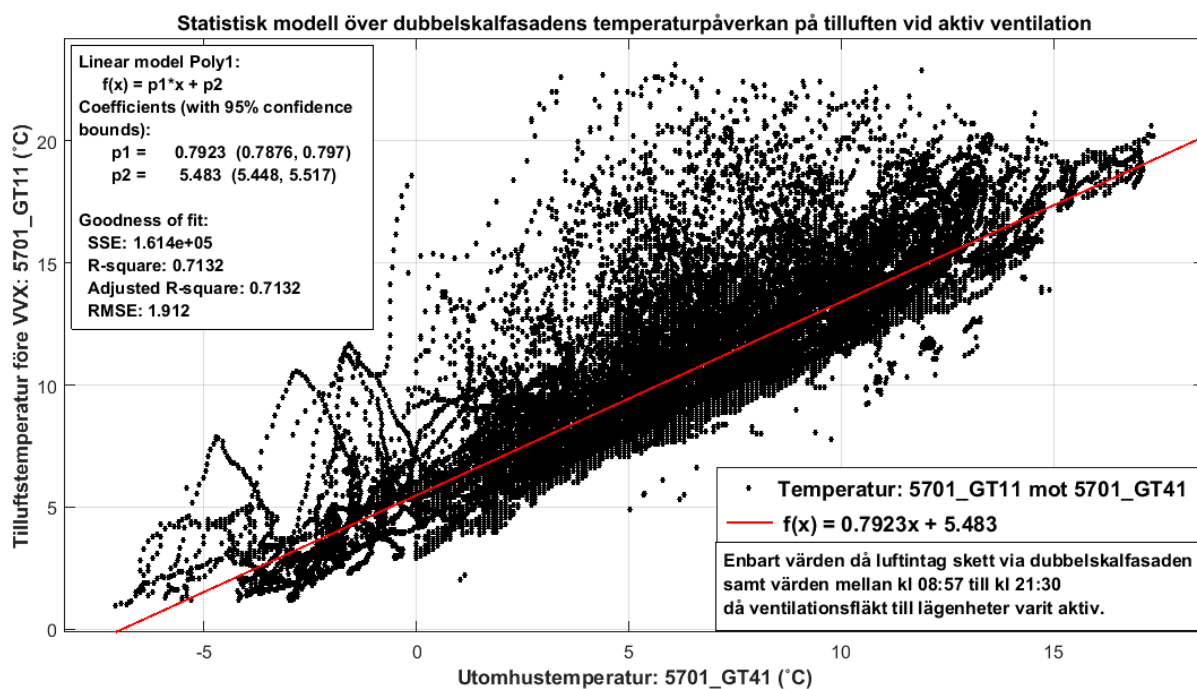
I Figur 31 till Figur 33 återges enbart värden då medeltemperaturen på södra fasaden uppfyllde kriteriet så luftintag skedde via dubbelskalfasaden samt vid tidpunkter då ventilationen varit aktiv. Motsvarande värden gäller även för Tabell 7.



Figur 31. Södra fasaden 5701 - Tilluftstemperaturer då ventilationen var aktiv samt då luftintag skedde via dubbelskalfasaden



Figur 32. Södra fasaden 5701 - Tilluftstemperaturer då intag skedde via dubbelskalfasaden - Varaktighetsdiagram



Figur 33. Statistisk modell över dubbelskalfasadens temperaturpåverkan på tilluften vid aktiv ventilation

Tabell 7. Medel- och mediantemperaturer då tilluft togs via dubbelskalfasaden samt vid aktiv ventilation

Placering	Temperaturgivare (medelvärde vid flera)	Medel (°C)	Median (°C)
Utomhus Nordfasad	5701_GT33	6,71	6,37
Utomhus i betongrör	5701_GT41	6,32	6,20
Söderfasad (5701)	5701_GT31 & GT32	10,07	9,60
Söderfasad (5702)	5702_GT211 & GT212	10,45	9,85
Västerfasad (5702)	5702_GT321 & GT322 & GT341 & GT342	9,88	9,60
Österfasad (5702)	5702_GT311 & GT312 & GT331 & GT332	9,90	9,63
Tilluftskanal före VVX	5701_GT11	10,41	10,10

3.4.2.3.2 Analys

Temperaturer i tilluftskanalen samt i dubbelskalfasaden överensstämmer och båda har haft närmast konstant högre temperatur än rådande utomhustemperatur, vilket tyder på att dubbelskalfasaden skapat ett varmare klimat utanför den tidigare exteriöra tegelfasaden och även medverkat till att höja tilluftstemperaturen.

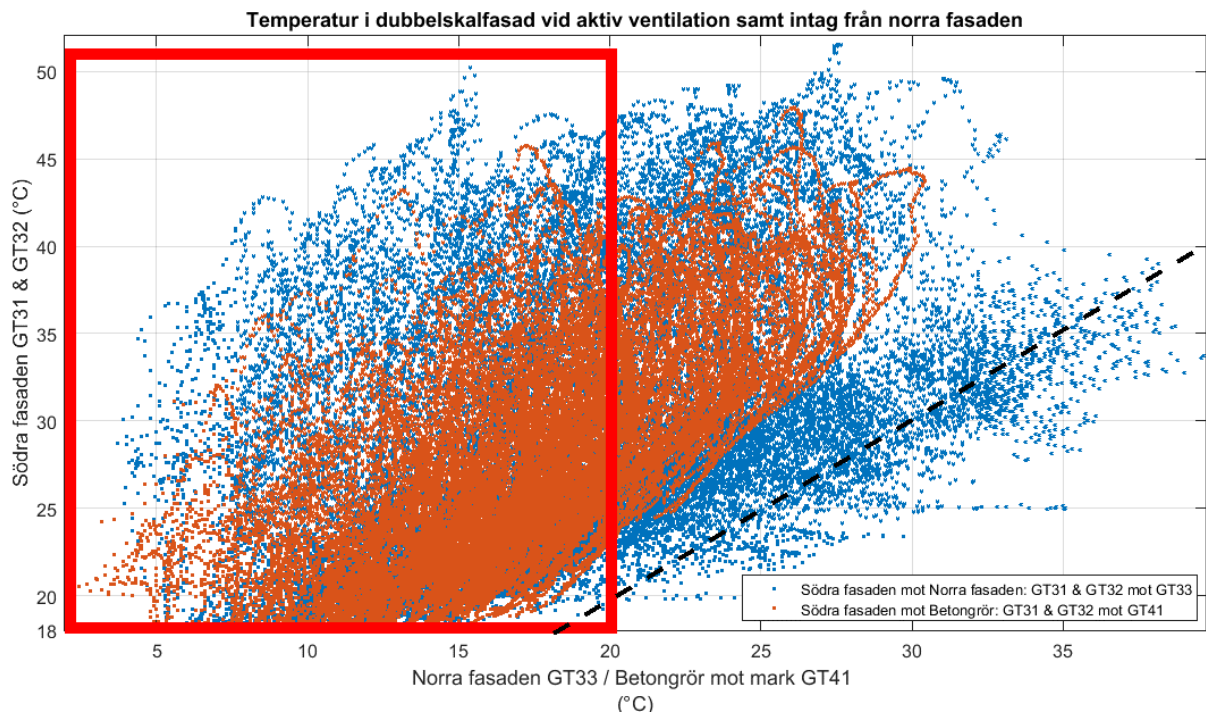
Då värmeöverföring till dubbelskalfasaden sker genom både transmission och strålning innebär det att temperaturen i dubbelskalfasaden kan skilja avsevärt mot rådande utomhustemperatur en kall solig dag jämfört mot en kall molnig dag. En linjär ekvation med en förklaringsgrad på 0,7132 för dubbelskalfasadens inverkan på tilluftstemperaturen togs fram med datorprogrammet Matlab. Då temperaturen i dubbelskalfasaden har två olika beroenden för värmeöverföring, transmission och strålning, kan förklaringsgraden ändå anses som hög. Enligt den framtagna ekvationen skiljer det närmare 5,5°C vid utomhustemperaturen 0°C. Därefter minskar betydelsen av rådande utomhustemperatur nästan med faktorn 0,8. Försök gjordes för att anpassa data till en ekvation med ett högre polynomgrad men förklaringsgraden ökade enbart till 0,7133 med konstanter före variablerna som var mycket nära noll.

I Tabell 7 återfinns medel- och mediantemperaturer för både utomhustemperaturgivare, tilluftstemperaturgivare samt för temperaturgivare på de olika fasaderna. Skillnaderna är närmare 4°C mellan värdena på utomhustemperaturgivarna mot temperaturgivarna på fasaderna och i tilluftskanalen. Ett mindre fel finns dock då inga negativa värden har tagits med i beräkningarna, förutom för utomhustemperaturgivaren GT41. Samma fel återfinns även i varaktighetsdiagrammet i Figur 32. Sammantaget ger ovan iakttagelser stöd för att då tilluft tagits via dubbelskalfasaden har tilluftstemperaturen in till ventilationssystemet ökat.

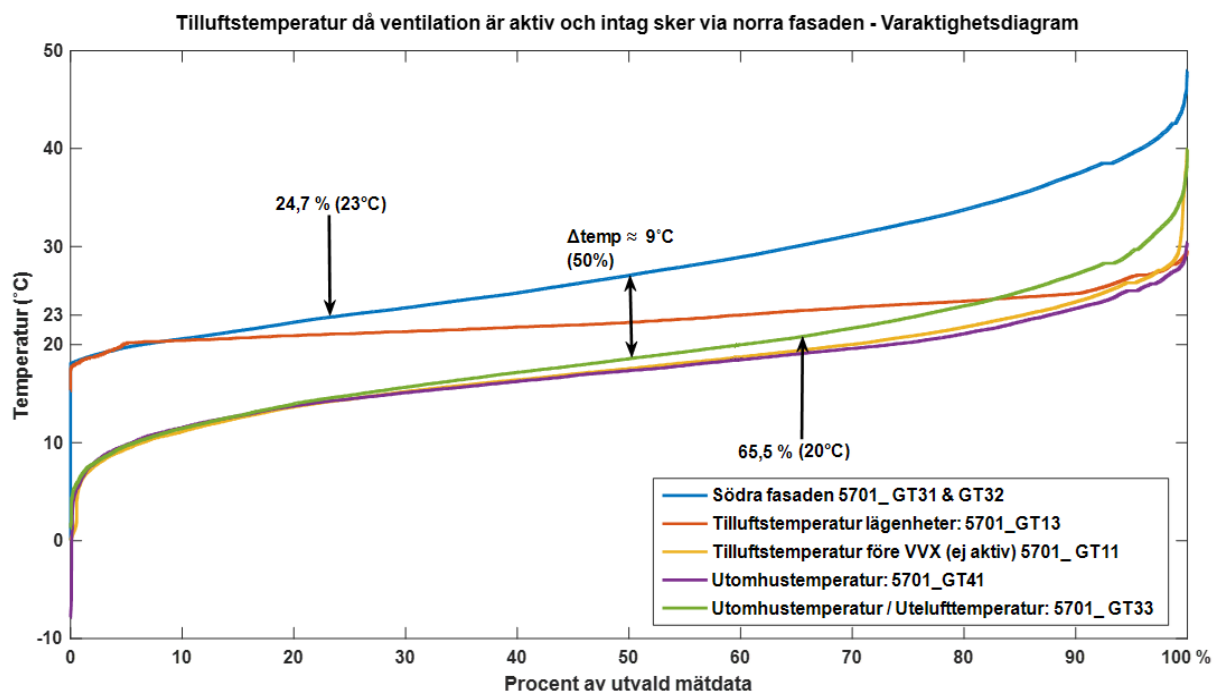
3.4.2.4 Tilluft via norra fasaden

3.4.2.4.1 Resultat

I Figur 34 och Figur 35 återges enbart värden då medeltemperaturen uppfyllde kriteriet så luftintag skedde via norra fasaden samt vid tidpunkt då ventilationen varit aktiv.



Figur 34. Södra fasaden 5701 - Temperatur i södra fasaden då luftintag skedde via norra fasaden och ventilation var aktiv. Röd rektangel innehåller värden då aktiv värmning av tilluft skedde i aggregatet trots att potentiell varm luft fanns tillgänglig i södra fasaden



Figur 35. Södra fasaden 5701 - Tilluftstemperatur då intag skedde via norra fasaden samt då ventilationen varit aktiv - Varaktighetsdiagram

3.4.2.4.2 Analys

Varaktighetsdiagrammet i Figur 35 bekräftar att temperaturen på utomhusluften vid norra fasaden generellt varit svalare än luften i södra fasaden då intag skedde via norra fasaden. Avståndet på närmare 9°C ser ut att vara konstant i figuren. I figuren framgår också att under dagar då temperaturen överstigit 20°C i dubbelskalfasaden har luften som intagits via norra fasaden behövts värmas upp i mer än 65,5 % av tiden, trots att luften i dubbelskalfasaden då innehöll potentiell varm luft som rimligtvis borde ha nyttjats. I samma figur framgår även att dubbelskalfasaden haft temperaturer som översteg 23°C vid mer än 75,3 % av aktuell tid. Vädringsfönsterna i söderfasadens tak bör då varit öppna samt driftläge KYLA aktiverad, vilket inneburit att potentiell föruppvärmd luft vädrades bort. Övertemperaturer vid sommarfall bortses ifrån.

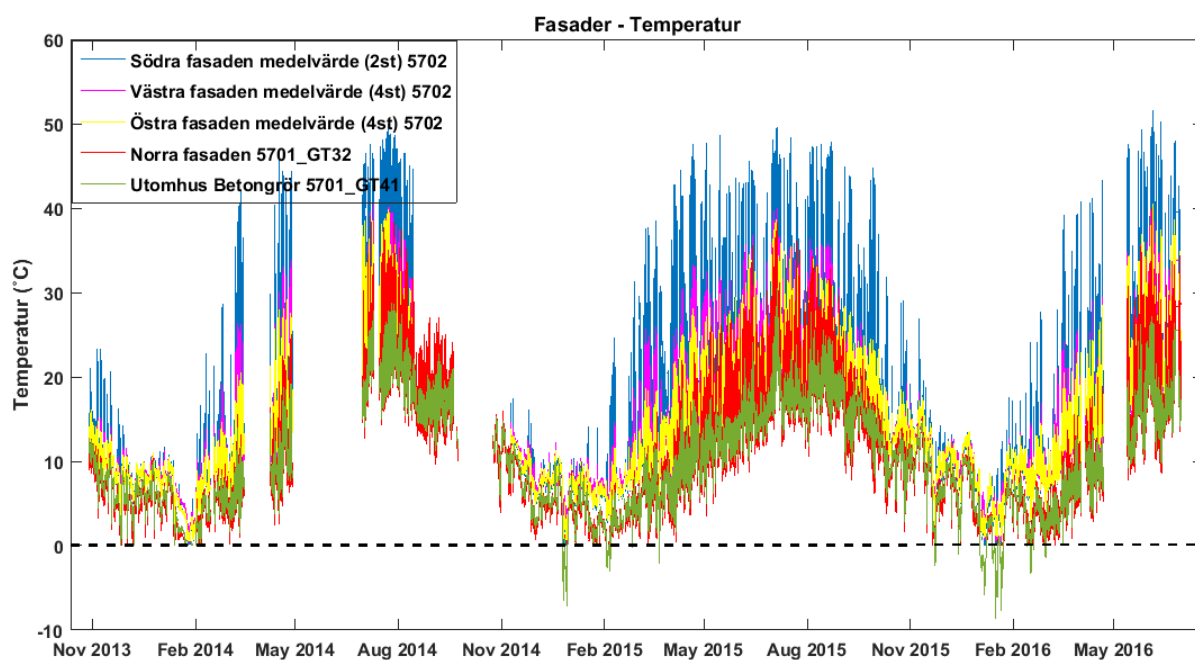
3.4.3 System 5702 – Omblandande systemet

Omblandande systemet har totalt tio temperaturgivare fördelade på södra, västra och östra fasaden och återges i Figur 37 till Figur 52. I Figur 53 och Figur 54 återges medelvärden av givarna som styr valet av driftläget för det omblandande systemet.

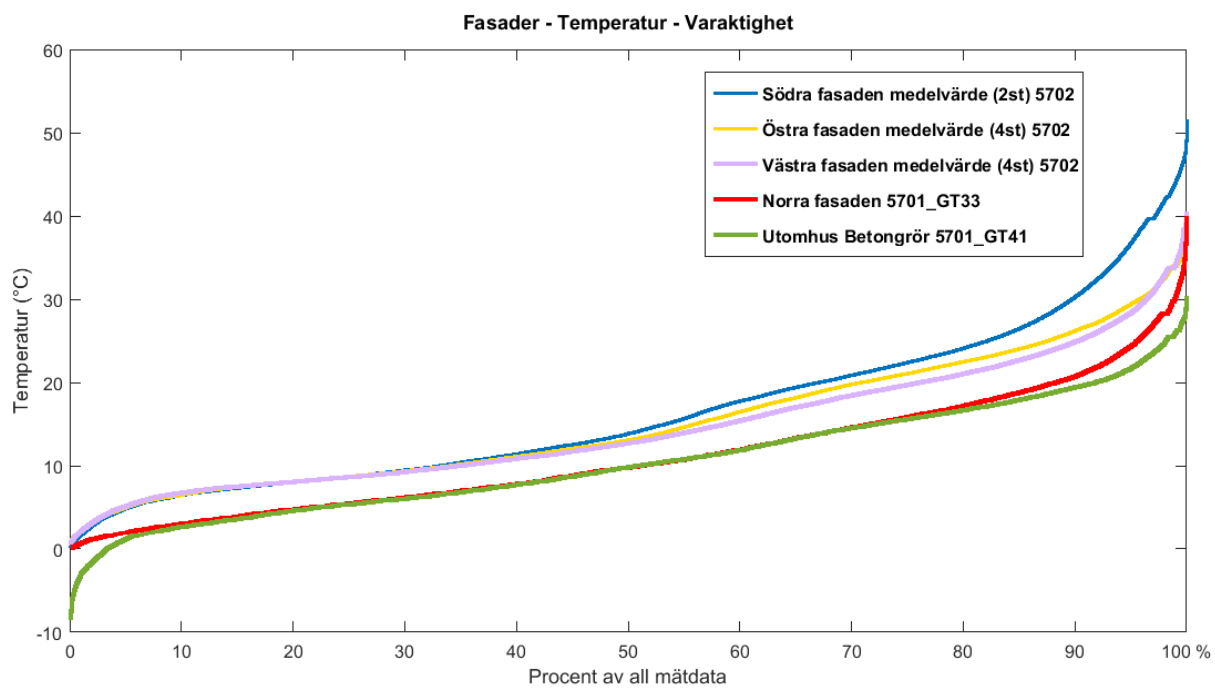
3.4.3.1 Södra, Västra och Östra fasaden

3.4.3.1.1 Resultat

Södra, västra och östra fasaden har temperaturgivare som styr fläkten som flyttar luft från södra dubbelskalfasaden till både östra och västra dubbelskalfasaden. Kriteriet för att fläkten skall starta är att medelvärdet av södra fasadens temperaturgivare är högre än medelvärdena av temperaturgivarna på antingen östra eller västra fasaden. I Figur 36 och Figur 37 återges medelvärden över samtliga fasader i System 5702. I Figur 38 till Figur 52 återges data från de enskilda fasaderna.

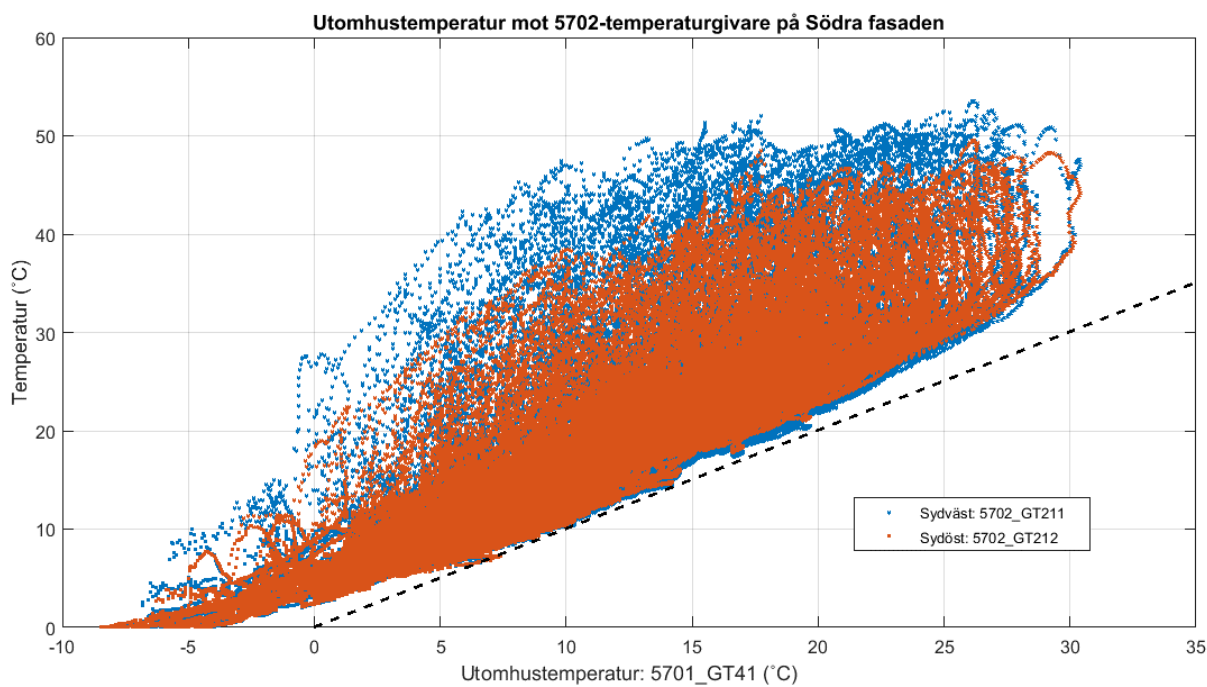


Figur 36. System 5702 – Samtliga fasader - Temperatur

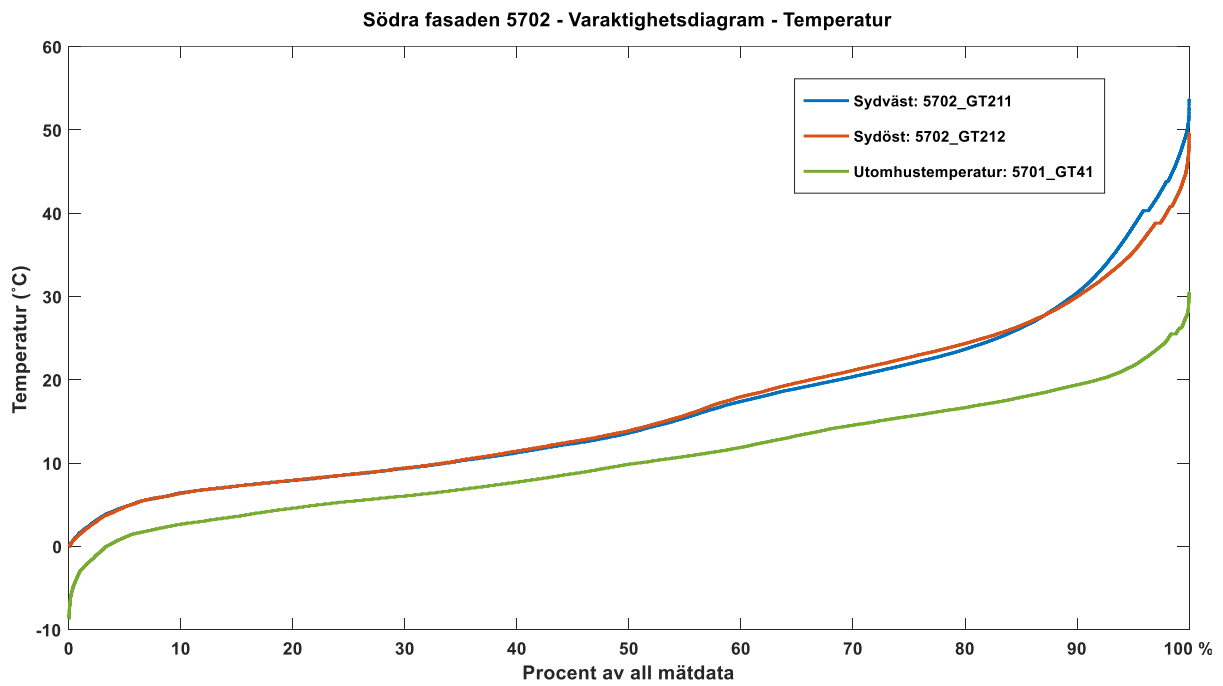
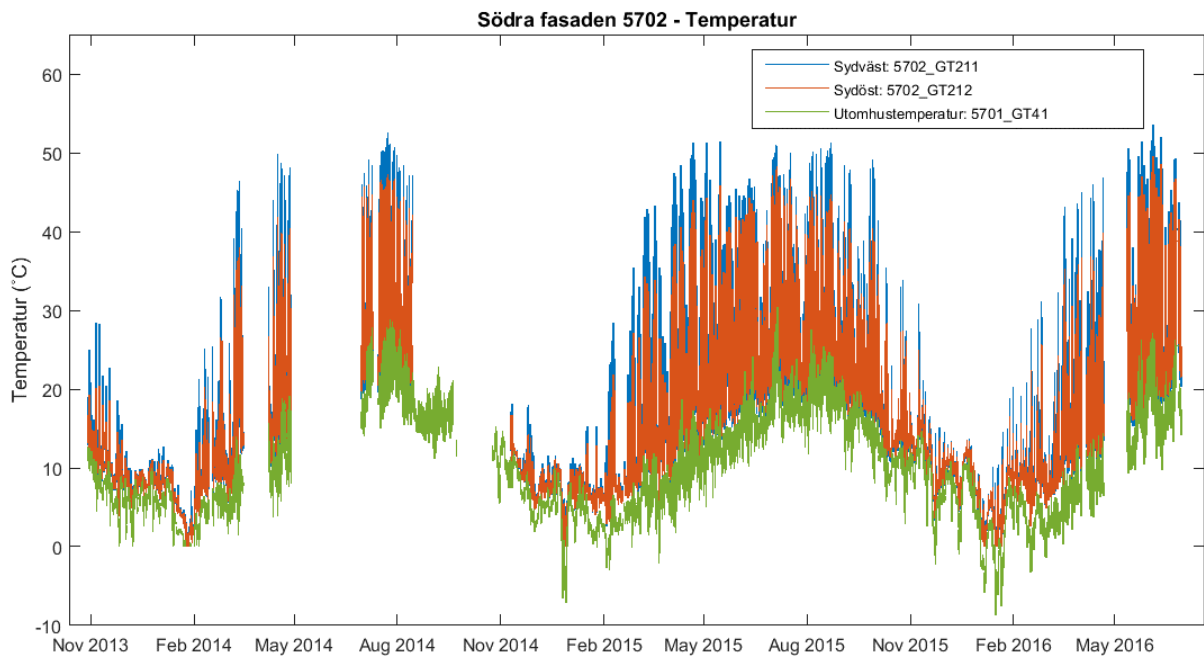


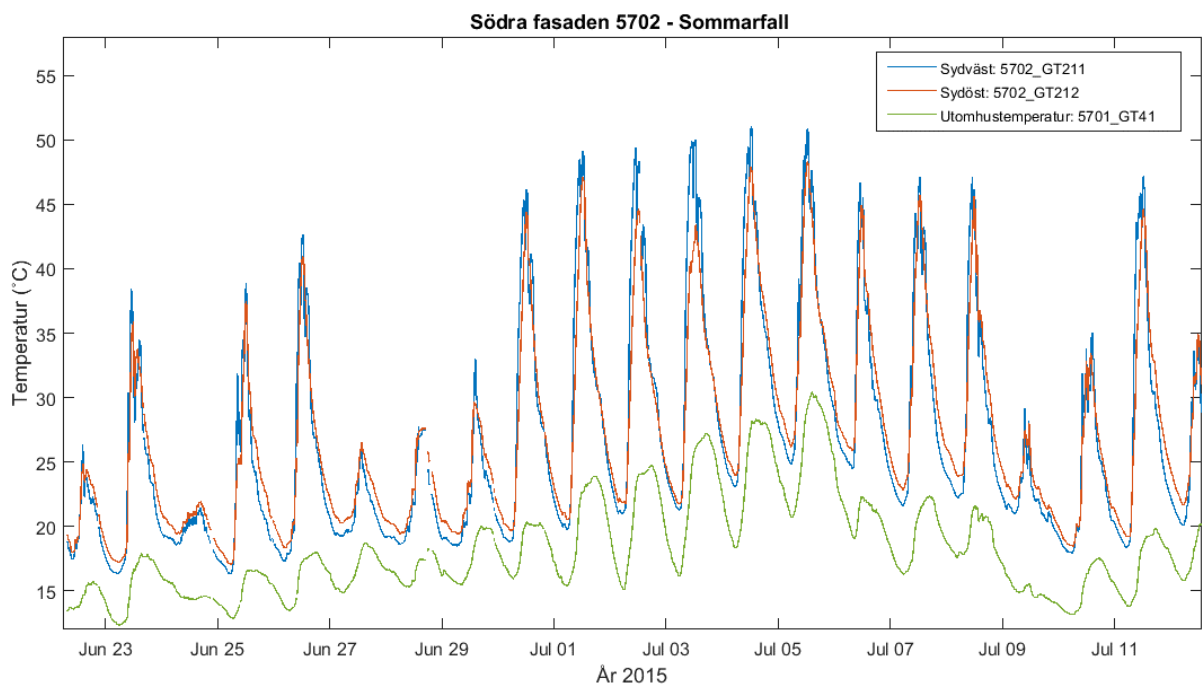
Figur 37. System 5702 – Samtliga fasader - Temperatur – Varaktighetsdiagram

3.4.3.1.1.1 Södra fasaden 5702

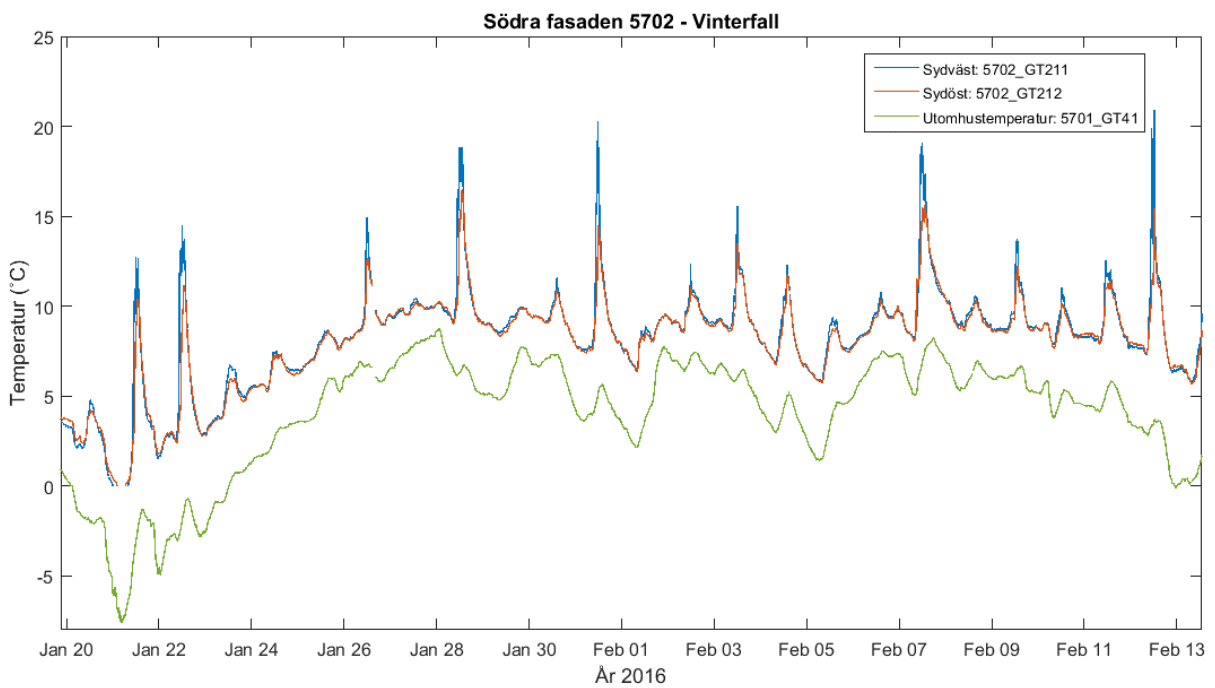


Figur 38. Södra fasaden 5702 - Utomhustemperaturgivare GT41 mot GT211 och GT212



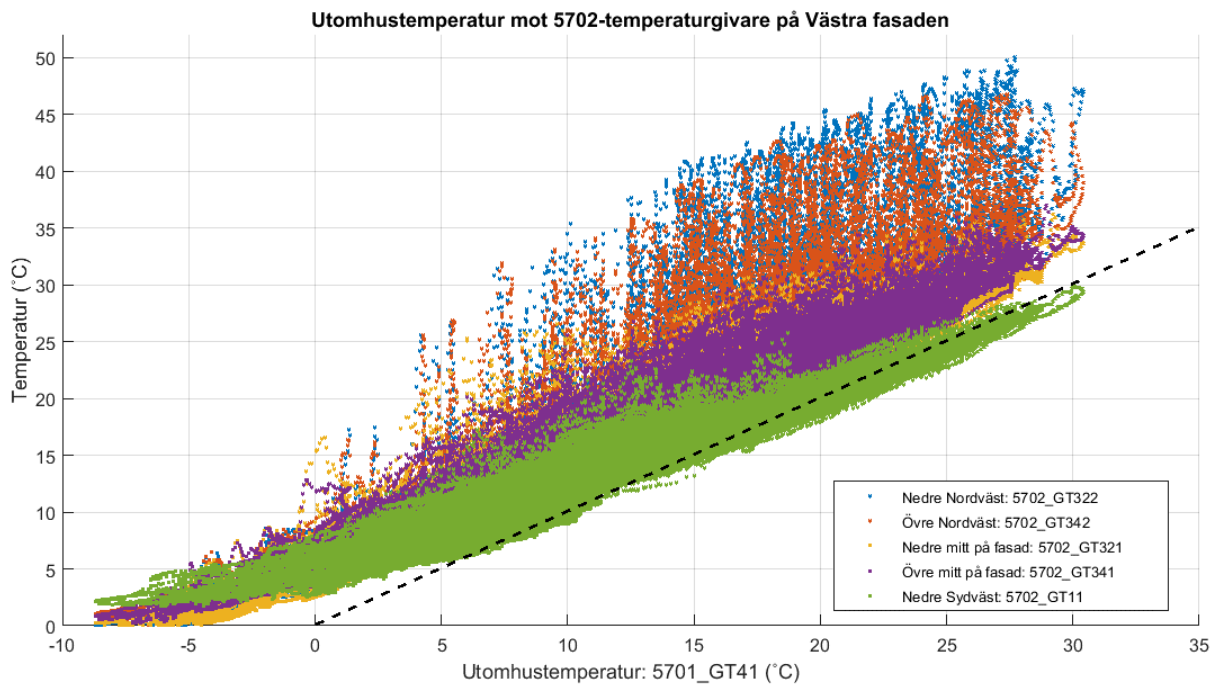


Figur 41. Södra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT211, GT212 samt GT41 - Sommarfall

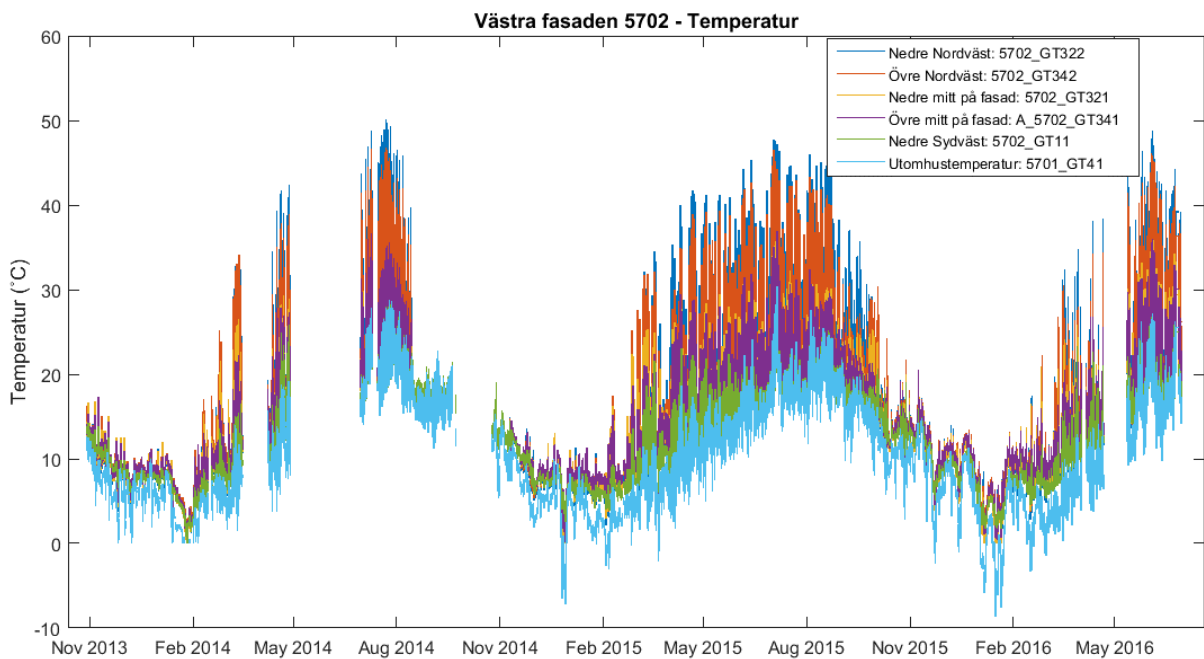


Figur 42. Södra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT211, GT212 samt GT41 – Vinterfall

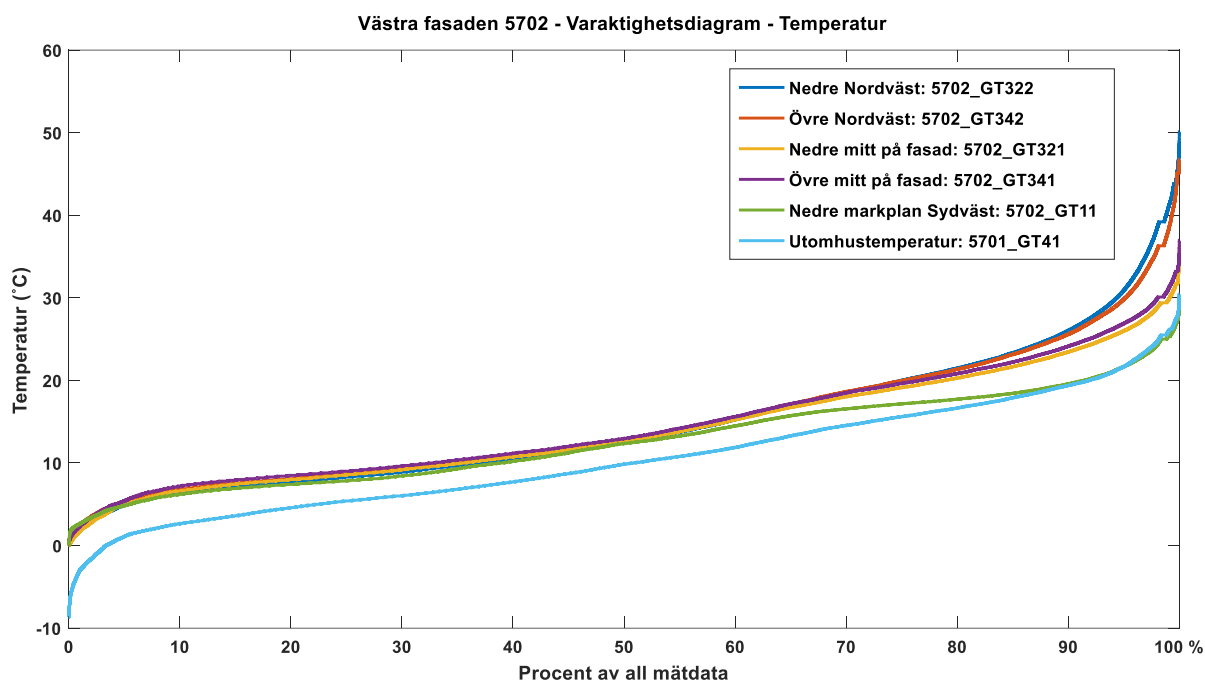
3.4.3.1.1.2 Västra fasaden 5702



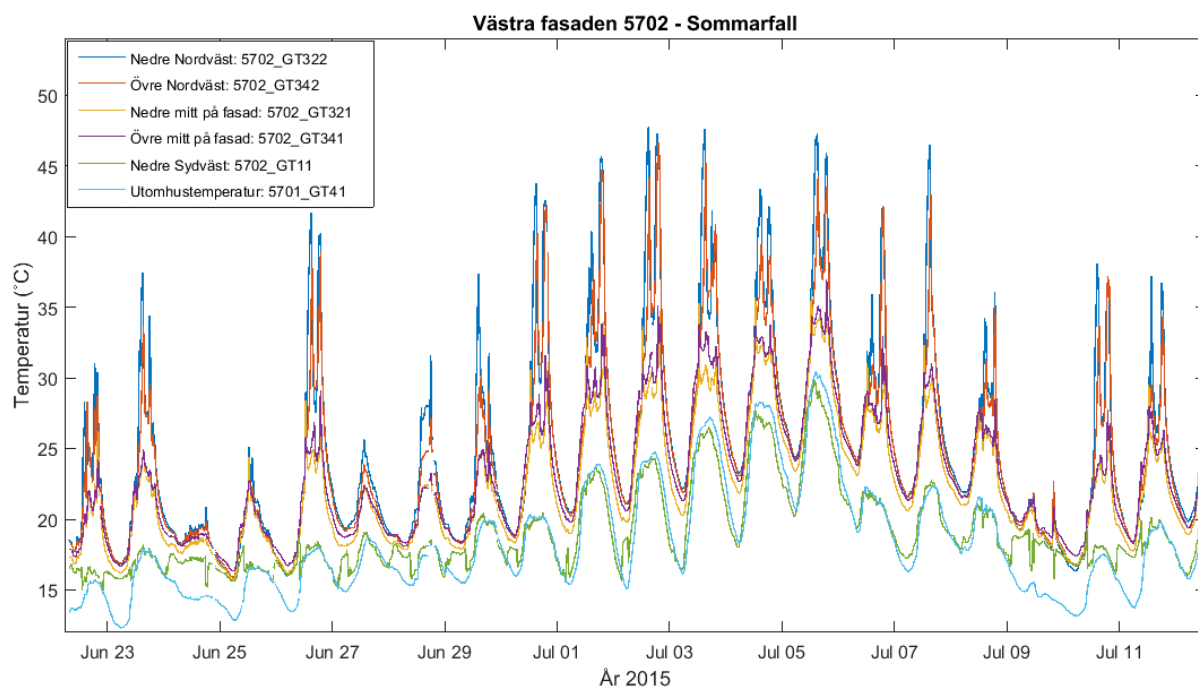
Figur 43. Västra fasaden 5702 - Utomhustemperaturgivare GT41 mot GT321, GT322, GT341, GT342 och GT11



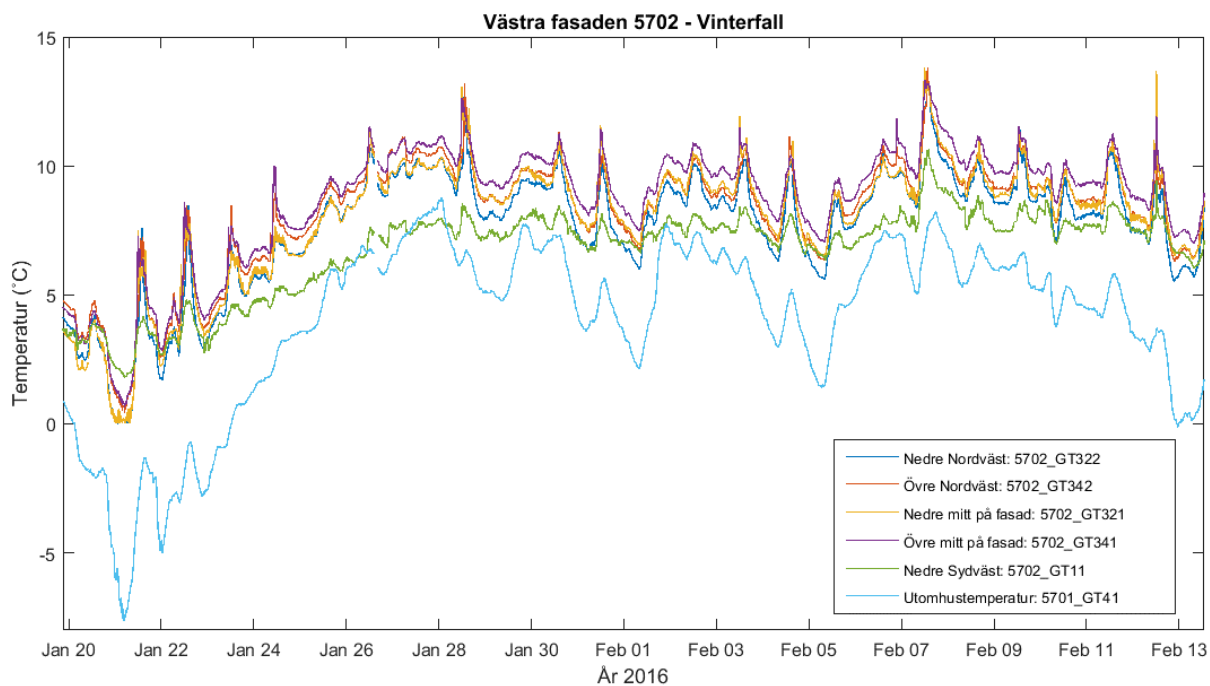
Figur 44. Västra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT321, GT322, GT341, GT342, GT11 samt GT41



Figur 45. Västra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT321, GT322, GT341, GT342, GT11 samt GT41 - Varaktighetsdiagram

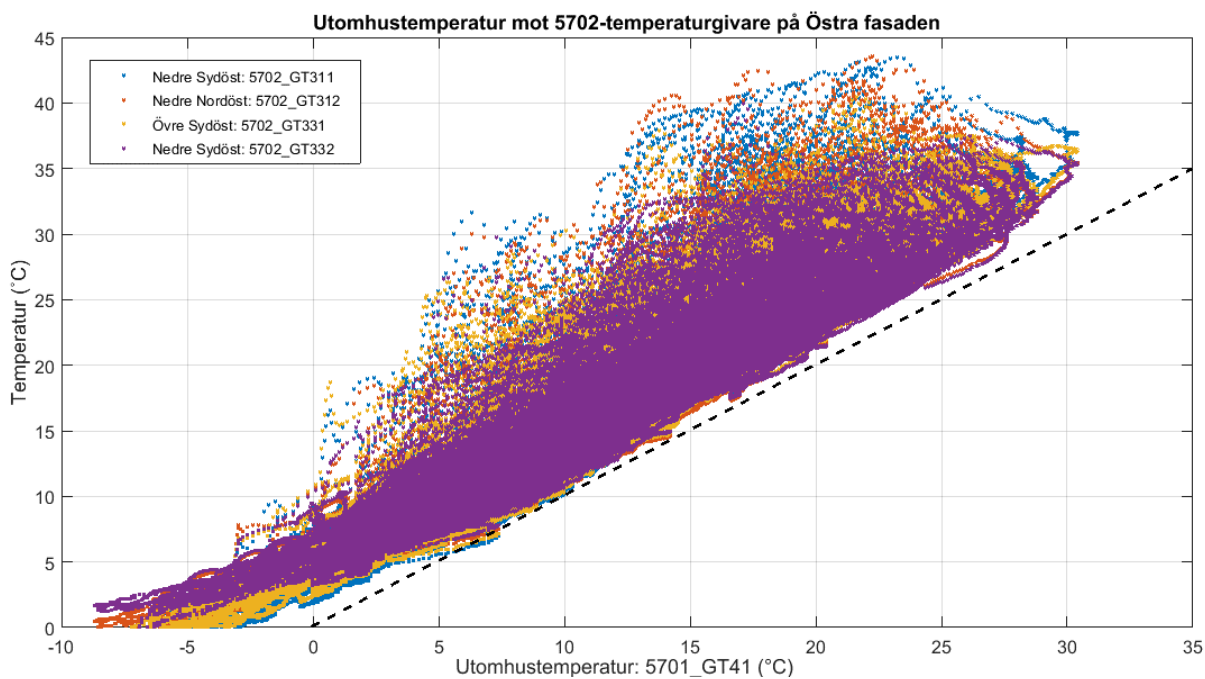


Figur 46. Västra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT321, GT322, GT341, GT342, GT11 samt GT41 - Sommarfall

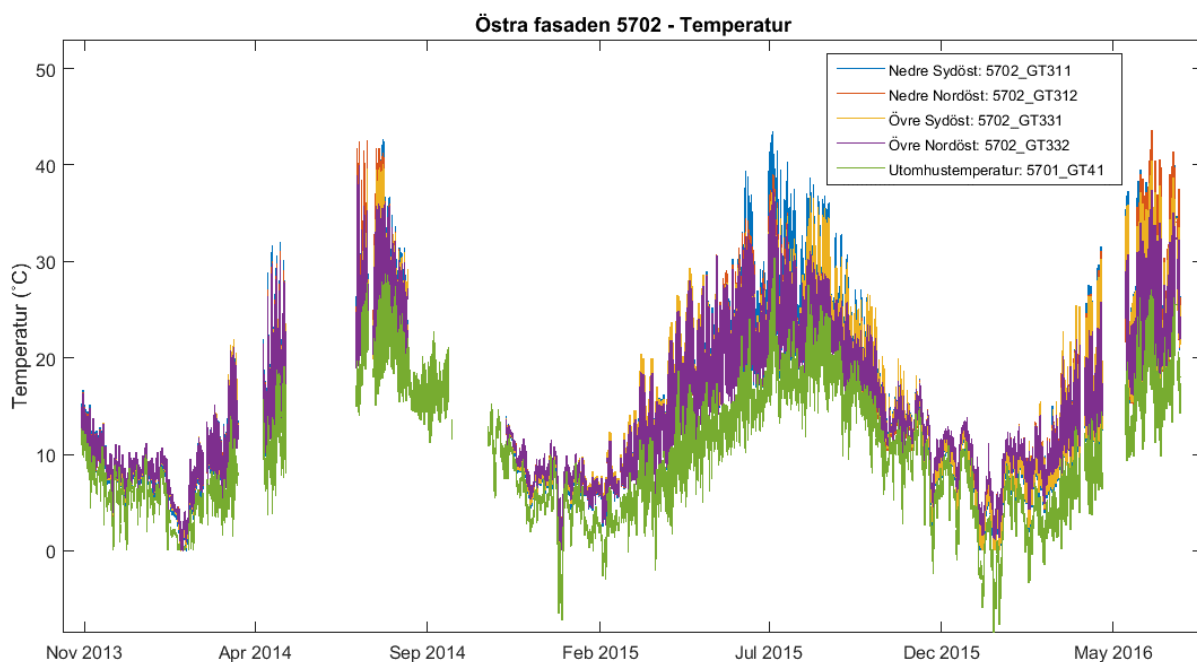


Figur 47. Västra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT321, GT322, GT341, GT342, GT11 samt GT41 - Vinterfall

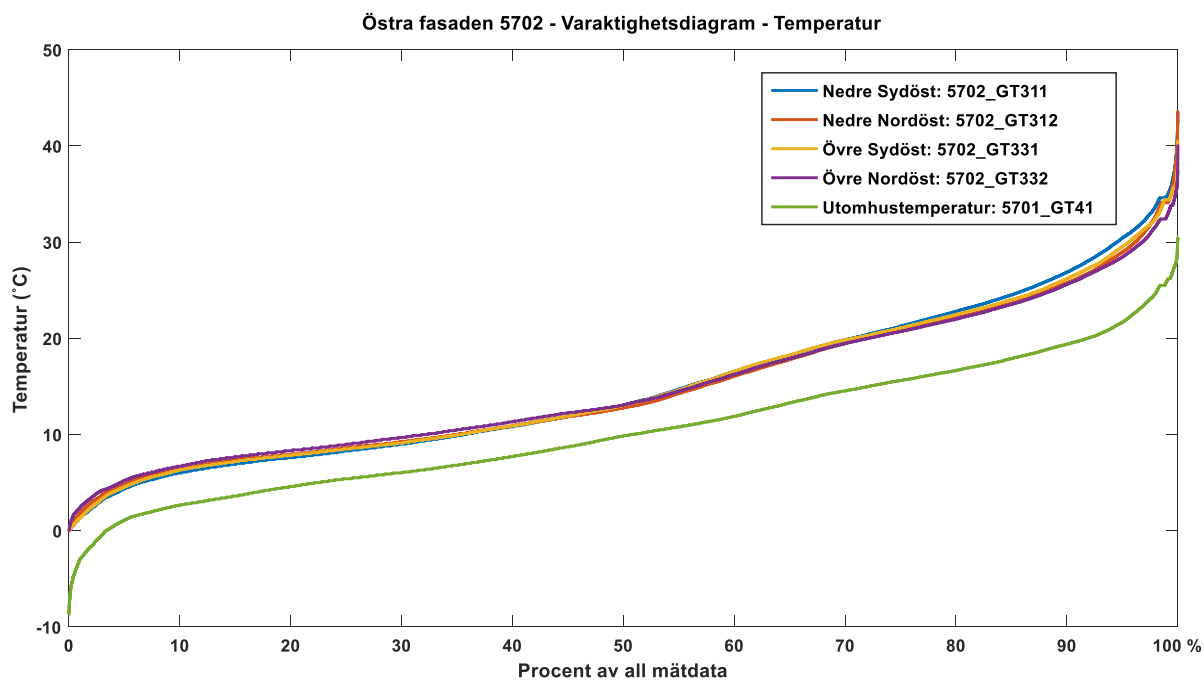
3.4.3.1.1.3 Östra fasaden 5702



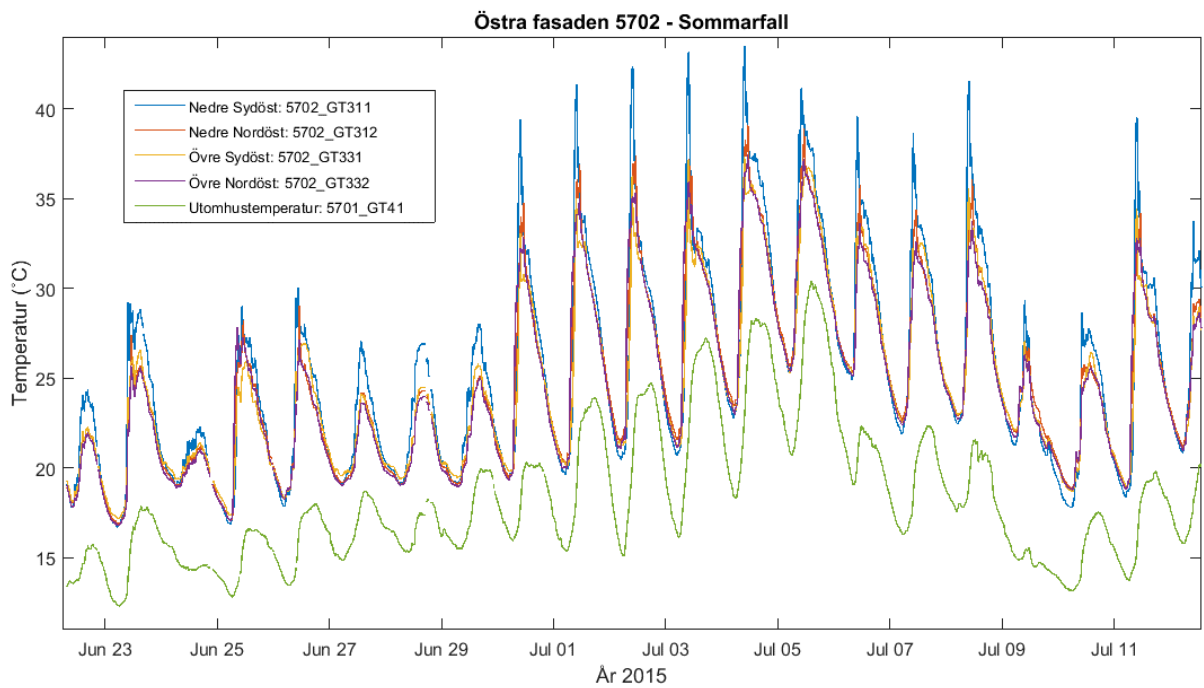
Figur 48. Östra fasaden 5702 - Utomhustemperaturgivare GT41 mot GT311, GT312, GT331 och GT332



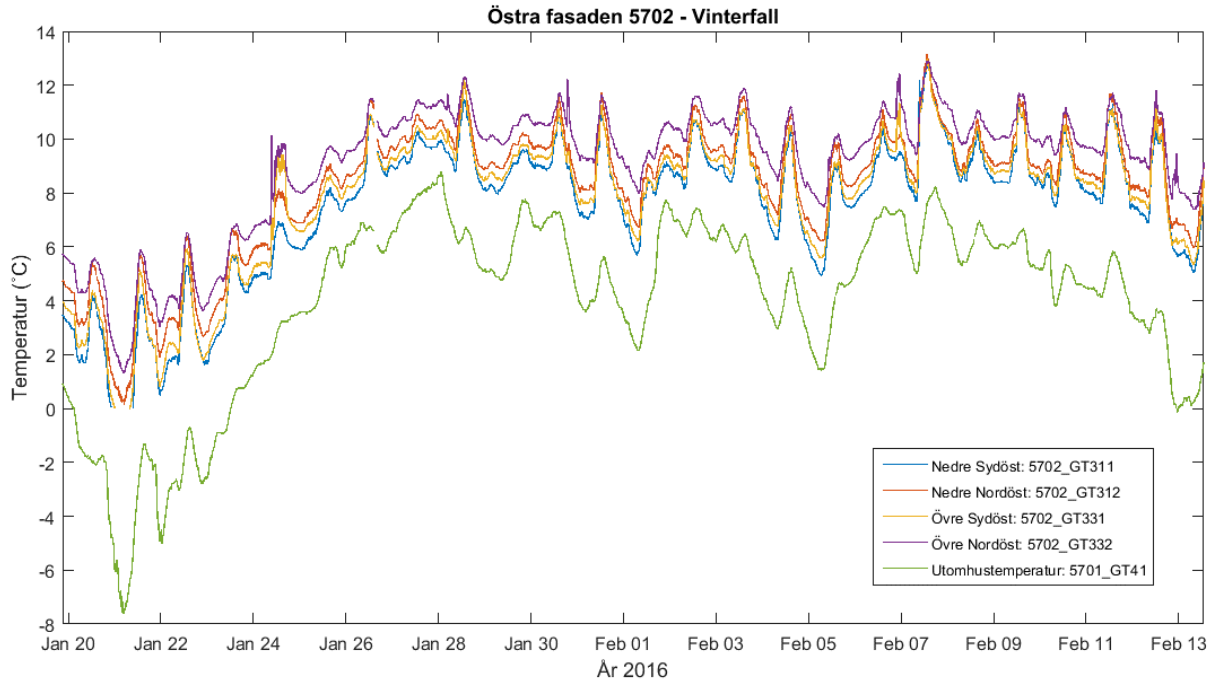
Figur 49. Östra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT311, GT312, GT331, GT332 samt GT41



Figur 50. Östra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT311, GT312, GT331, GT332 samt GT41 – Varaktighetsdiagram



Figur 51. Östra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT311, GT312, GT331, GT332 samt GT41 - Sommarfall



Figur 52. Östra fasaden 5702 - Temperaturgivarna GT311, GT312, GT331, GT332 samt GT41 – Vinterfall

3.4.3.1.2 Analys

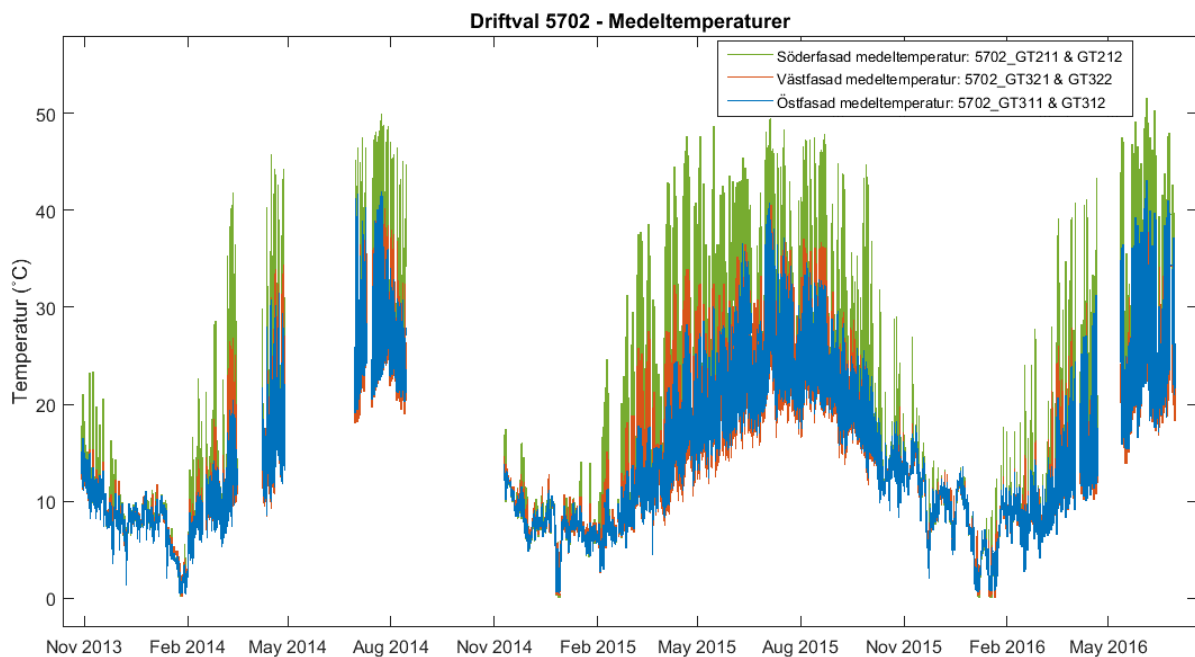
Västra fasadens temperaturgivare som är lågt placerad (5702_GT11) uppvisade lägre temperatur än rådande utomhustemperatur under perioder då utomhustemperaturen främst var kring 15°C och mer, se Figur 43. Orsaken beror på att temperaturgivaren sitter nära intaget för de tilluftsdon som tillför luft via mark och har som uppgift att kyla dubbelskalfasaden. I övrigt har samtliga dubbelskalfasader i det närmaste konstant högre temperaturer än motsvarande utomhustemperatur.

Södra fasaden är den fasad som exponeras mest för solinstrålning och har därmed oftast högst temperatur, vilket också framgår av Figur 36 och Figur 37. Solinstrålning är anledningen till att temperaturdifferensen mellan dubbelskalfasaden och utomhustemperaturerna varit högre i sommarfallen än i vinterfallen.

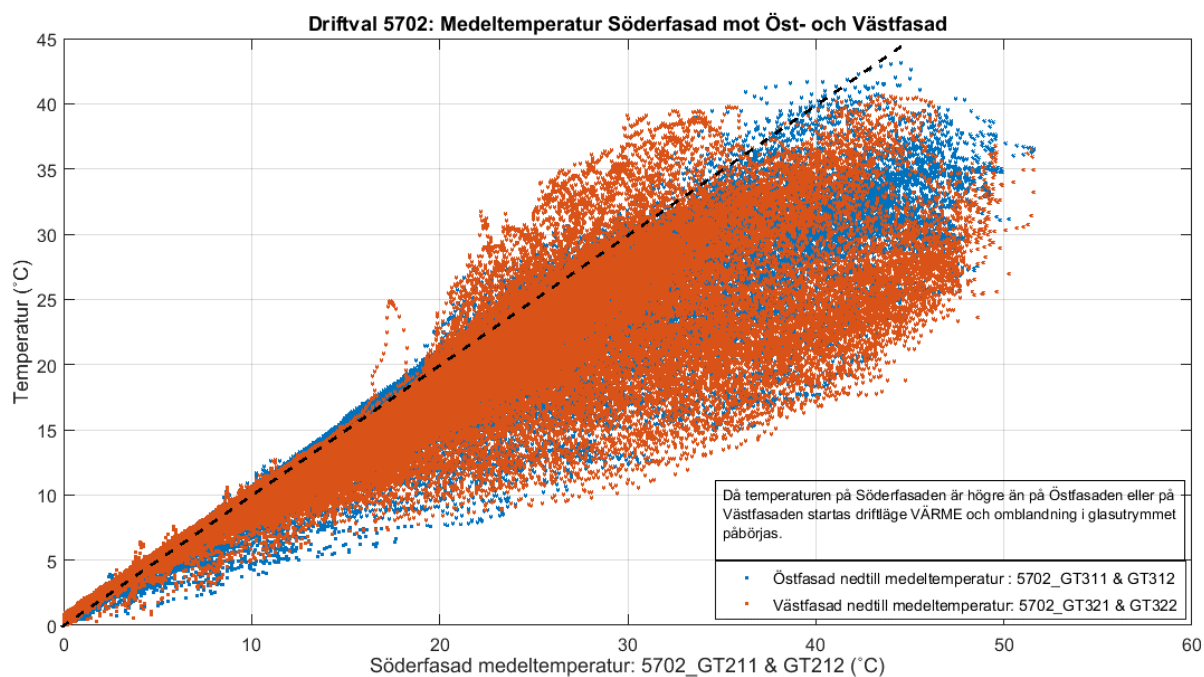
3.4.3.2 Driftval 5702

3.4.3.2.1 Resultat

Driftval VÄRME eller KYLA i det omblandande systemet beror på medeltemperaturerna i dubbelskalfasaden, se Figur 53 och Figur 54.



Figur 53. Driftval 5702 - Medeltemperaturer för Söder-, Väst- och Österfasad



Figur 54. Driftval 5702 - Medeltemperaturer Söderfasad mot Öst- och Västfasad

3.4.3.2.2 Analys

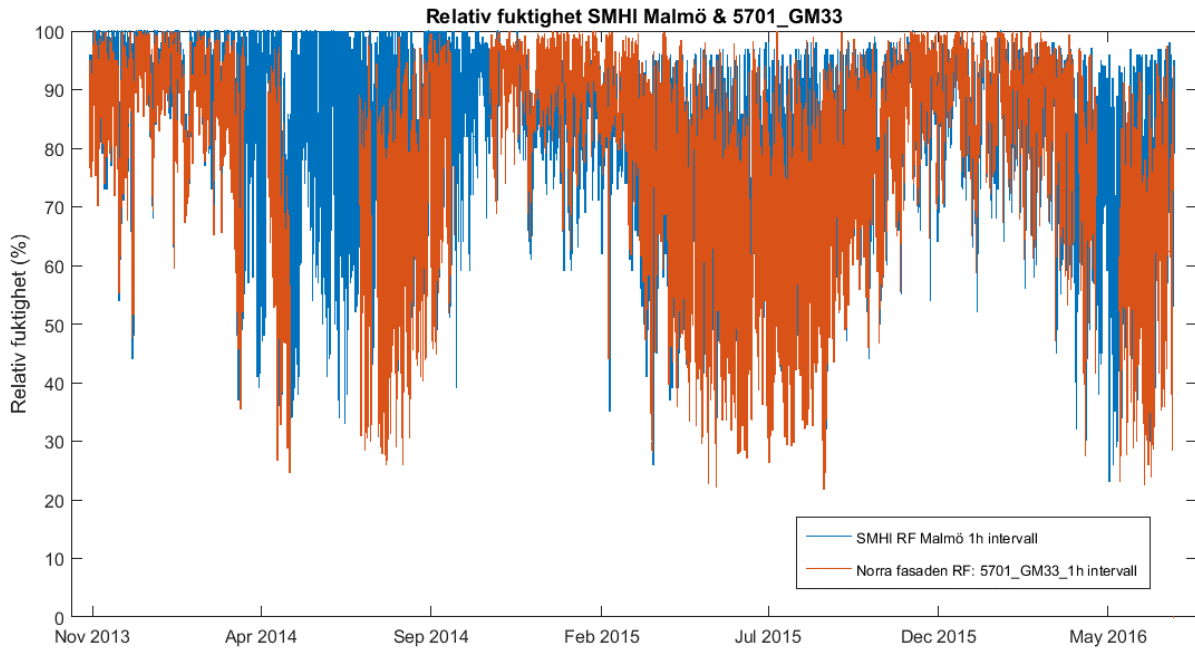
Tidigare studier visade på att driftläge VÄRME varit i gång stora delar av tiden och därmed även fläkten för det omblandande temperaturutjämnningssystemet. I Figur 53 och Figur 54 syns tydligt att södra fasadens medeltemperatur ofta varit högre än de båda övriga vilket också visar på att driftläget VÄRME inte fungerat som det var tänkt då omblandning av luft inte utjämnat temperaturen fullständigt.

En jämförelse mellan de tre fasaderna resulterade i att södra dubbelskalfasaden var varmare än antingen östra eller västra dubbelskalfasaden under 88,4 % av hela mätserien.

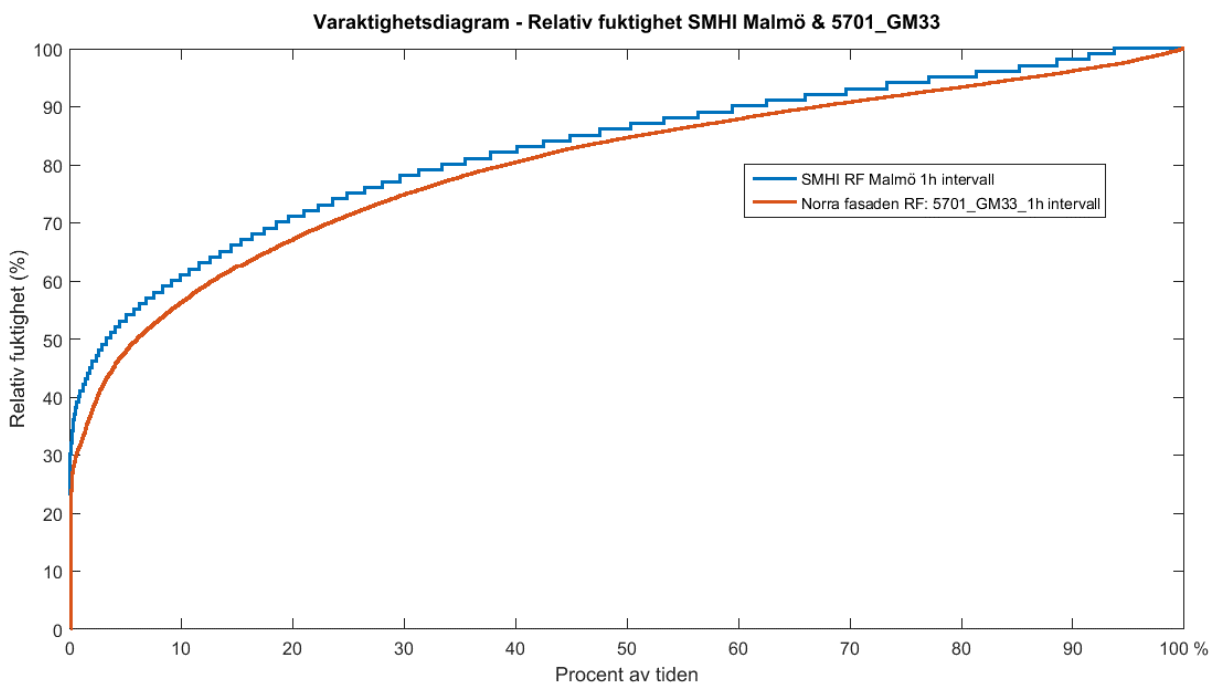
3.4.4 Relativ fuktighet

3.4.4.1 Resultat

Givare för relativ fuktighet återfinns på varje fasad med varierad höjd över mark. Värde från SMHI⁸ infogas som jämförelse. Se Figur 55 till Figur 61.

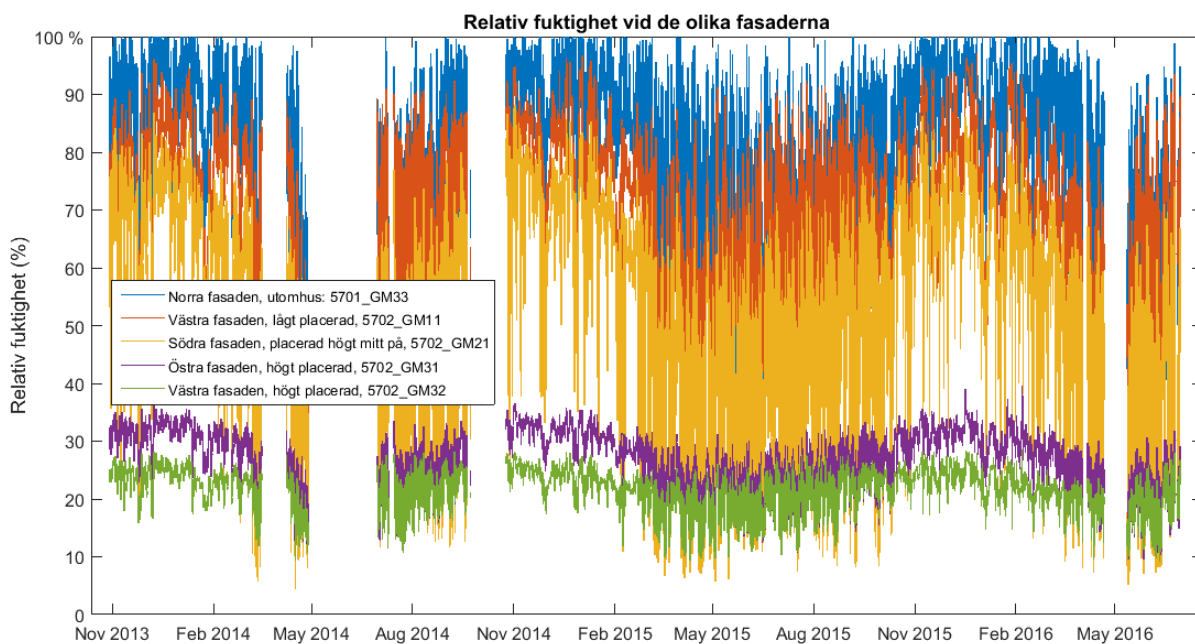


Figur 55. Relativ fuktighet – SMHI och Norra fasaden GM33

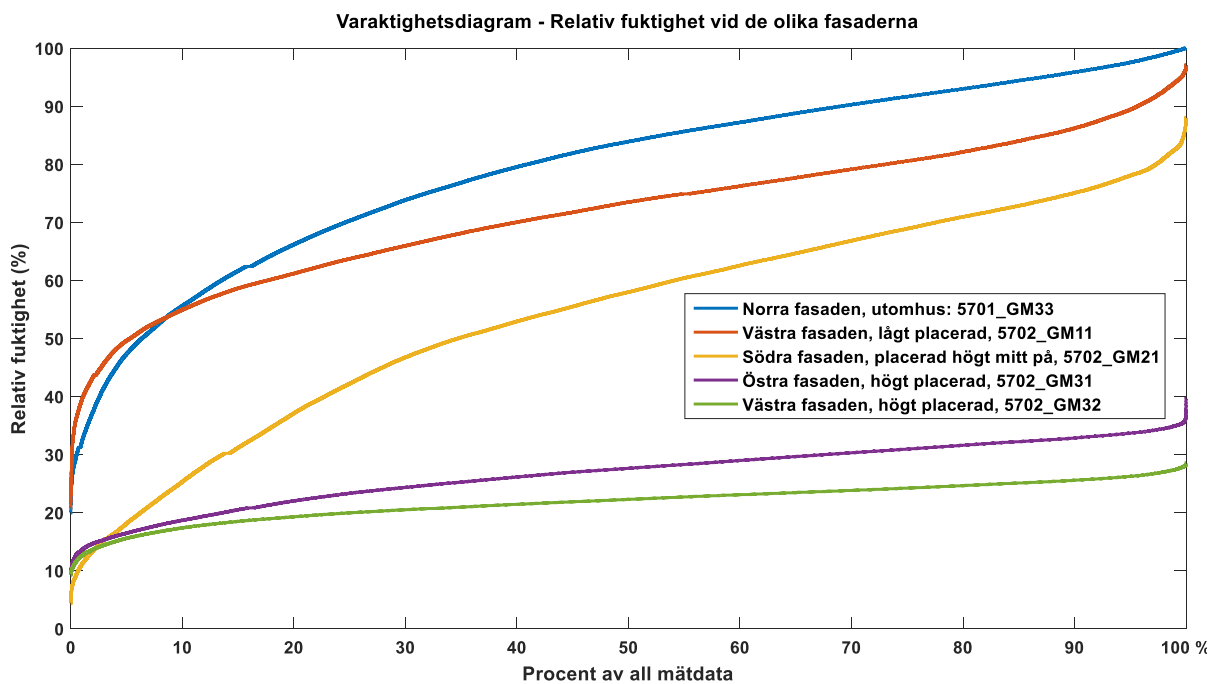


Figur 56. Relativ fuktighet – SMHI och Norra fasaden GM33 – Varaktighetsdiagram

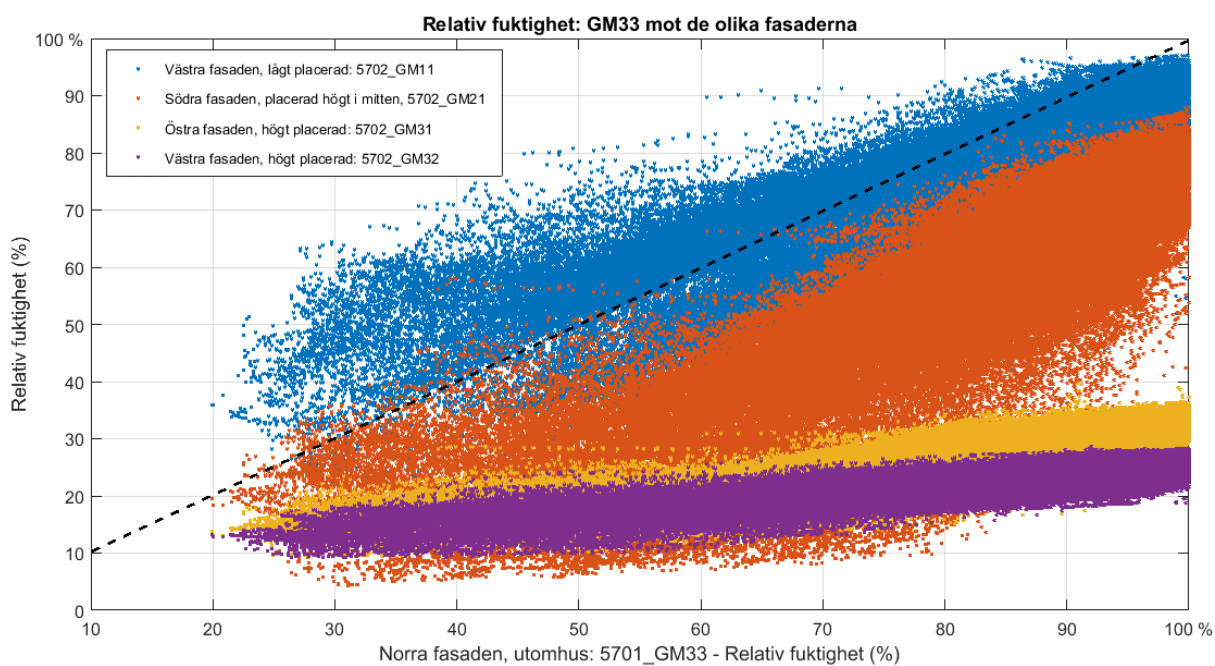
⁸ Klimatnummer: 52350 | Position: Malmö, Jägersro | WMO-nummer: 2-635 | Höjd: 20 m



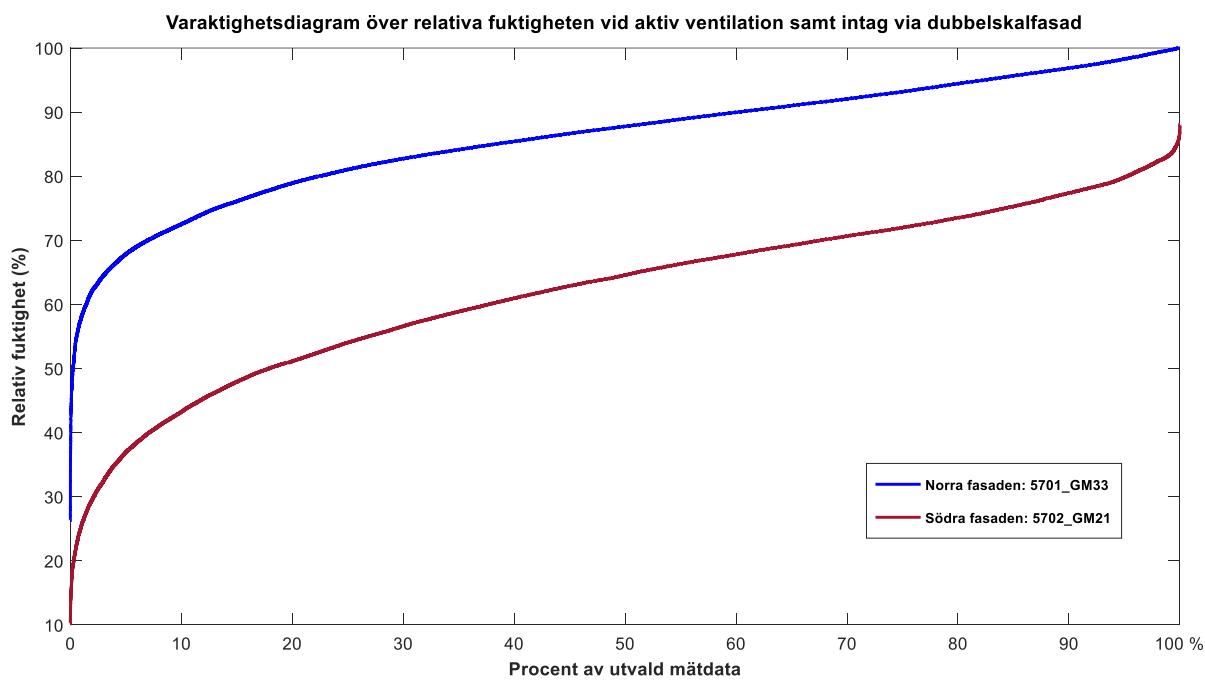
Figur 57. Relativ fuktighet vid de olika fasaderna



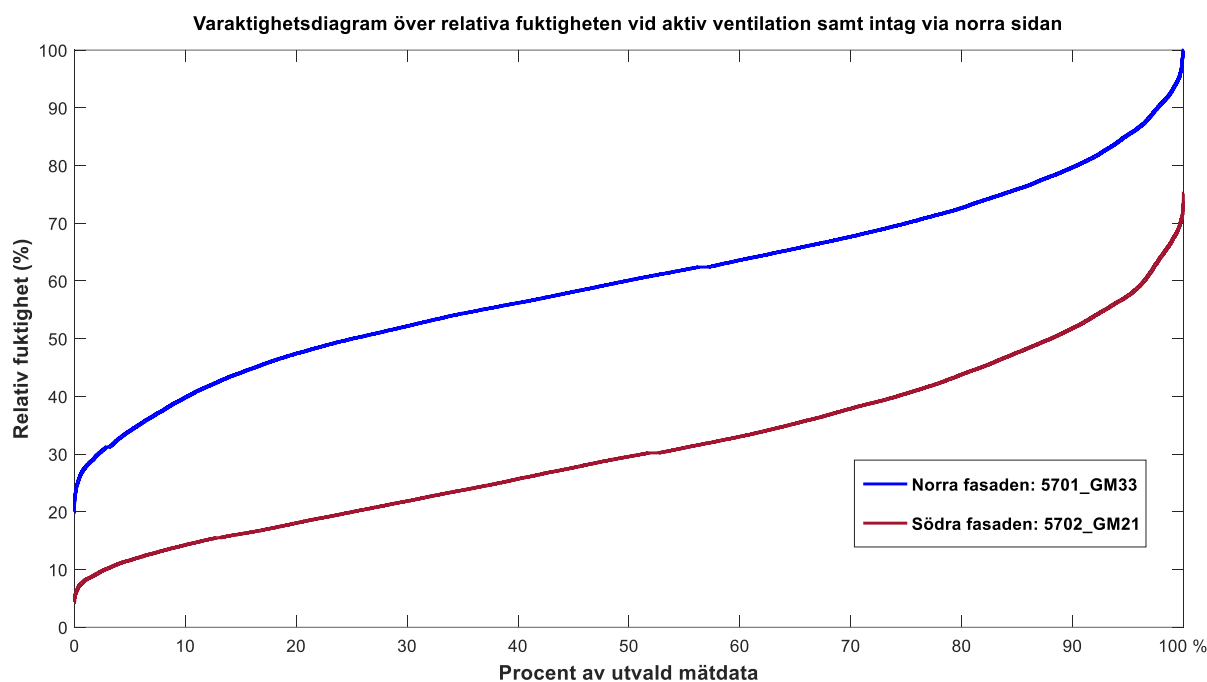
Figur 58. Relativ fuktighet vid de olika fasaderna - Varaktighetsdiagram



Figur 59. Relativ fuktighet - Norra fasaden GM33 mot övriga fasader



Figur 60. Relativ fuktighet vid aktiv ventilation samt luftintag via dubbelskalfasad - Varaktighetsdiagram



Figur 61. Relativ fuktighet vid aktiv ventilation samt luftintag via norra fasaden - Varaktighetsdiagram

3.4.4.2 Analys

Data från SMHI var delvis bristfällig då värden saknades i mätserien men vid jämförelse mot den relativa fuktigheten från norra fasaden så överensstämde de delar som fanns att tillgå. Vid första anblicken på kurvorna i Figur 57 och på varaktighetsdiagrammet i Figur 58 ges intrycket att stora skillnader existerat mellan fasaderna. Givarna är dock placerade på olika höjder över mark och vid analys över västra fasadens två givare, som är placerade högt respektive lågt, syns tydligt hur temperaturberoende den relativa fuktigheten är. Den givare som är placerad högt på fasaden har överlag konstant relativ fuktighet kring 20 % medan givaren som är lågt placerad på fasaden överlag enbart har värden mellan 50 – 100 %.

För att fukt inte ska orsaka skador som påverkar hygien eller hälsa bestäms högsta tillåtna fukttillstånd hos produkter och material. I de fall där det kritiska fukttillståndet inte är väl undersökt eller dokumenterat skall den relativa fuktigheten på 75 % användas som övre gräns (Boverket, 2015b). För tegel kan ingen bestämd kritisk fukthalt anges men risk finns för frostsador då fukthalten blir mycket hög (Nevander & Elmarsson, 2011), vilket innebär att dubbelskalfasaderna har utgjort ett passivt skydd för tegelfasaden då den medverkat till att hålla den relativa fuktigheten nere.

3.4.5 Analytiska beräkningar

3.4.5.1 Resultat

3.4.5.1.1 Transmissions- och ventilationsförluster

Beräkningar har utförts enligt Tabell 2 för både transmissions- och ventilationsförluster. Tillgänglig data för perioden 2013-10-28 – 2016-06-29 har använts och hänsyn har tagits till intervallen mellan mätpunkterna. Data filtrerades så att värden i samtliga beräkningar enbart innehöll mätdata från tillfälle då medeltemperaturen på södra fasaden (5701_GT31 och 5701_GT32) medgett luftintag via dubbelskalfasaden. Vid ventilationsberäkning togs dessutom enbart mätdata från tidpunkter mellan kl. 08:27 till kl. 21:30 då ventilation varit aktiv. Ingen korrigering har utförts för låga ventilationsflöden under perioden för första halvåret av år 2016. Inomhustemperatur valdes till 20°C och areor samt U-värde hämtades från Tabell 1. Luftflöde (R) valdes till 0,06 m³/s enligt Figur 24 och luftens densitet (ρ) till 1,25 kg/m³ samt dess specifika värmekapacitet (c_p) till 1010 (W·s)/(kg·°K) enligt (Nevander & Elmarsson, 2011). Fläkten i omblandande systemet antogs ha använt 118 W enligt (Andersson & Bränd, 2014) under 84,8 % av perioden. Under hela beräkningsperioden har värden saknats för motsvarande 18,5 dygn från östra och västra fasaderna. Detta motsvarar 2,8 % av beräkningsserien och har kompenserats genom att infoga motsvarande 90 % av södra fasadens värde.

Temperaturgivare i betongröret (GT41) har använts som referens för utomhustemperatur för södra-, östra- och västra fasaden. Vid beräkning där norra fasaden inkluderats har utomhustemperaturgivare (GT33) använts och för de 827 fall då negativt värde saknats har medianvärdet -2,2°C från de negativa värdena hos SMHI infogats, se Bilaga C. Resultat över beräkningar återfinns i Tabell 8.

Tabell 8. Resultat transmissions- och ventilationsförluster för hela perioden

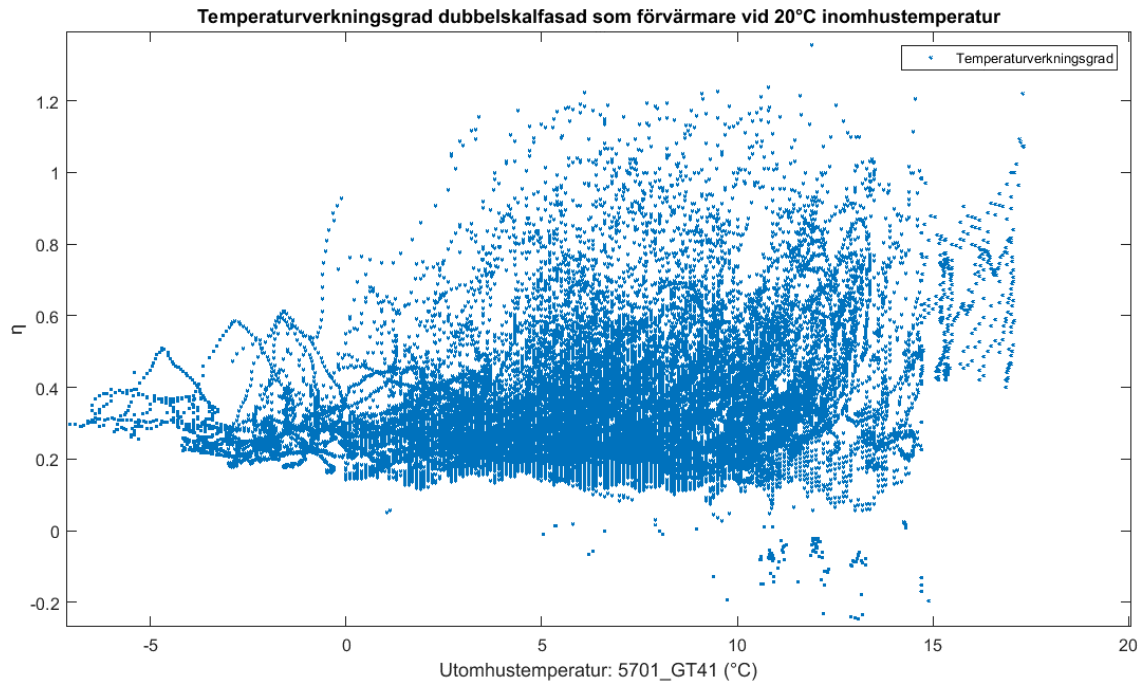
	Energibehov utan glasfasad (kWh)	Energibehov med glasfasad (kWh)	Fläkt (kWh)	Besparing (kWh)	Besparing (%)
Transmissionsförlust	37 587	27 288	1 232	9067	24,1
Ventilationsförlust	13 607	10 059	-	3548	26,1
Totalt	51 194	37 347	1 232	12 615	24,6

Transmissionsförlust* | 56 496 | 46 196 | 1232 | 906 | 16,0

*Transmissionsberäkning inklusive norra fasaden liknande (Elfborg & Vrbanjac, 2012)

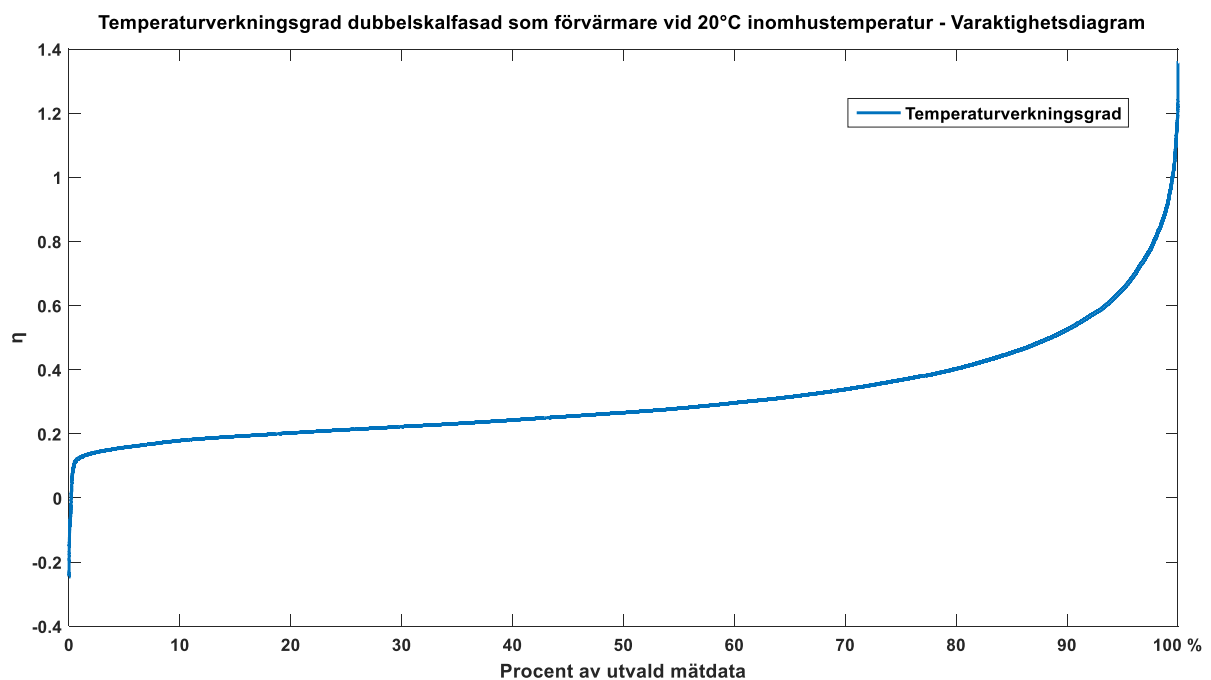
3.4.5.1.2 Temperaturverkningsgrad för dubbelskalfasaden

Temperaturverkningsgraden (η_{temp}) för dubbelskalfasaden har beräknats enligt formel (6). Frånluftstemperatur valdes till 20°C och tilluftstemperatur enligt södra fasadens temperaturgivare (5701_GT31 och 5701_GT32) samt utomhustemperatur enligt givaren i betongrör mot mark (GT41)



Figur 62. Temperaturverkningsgrad dubbelskalfasad

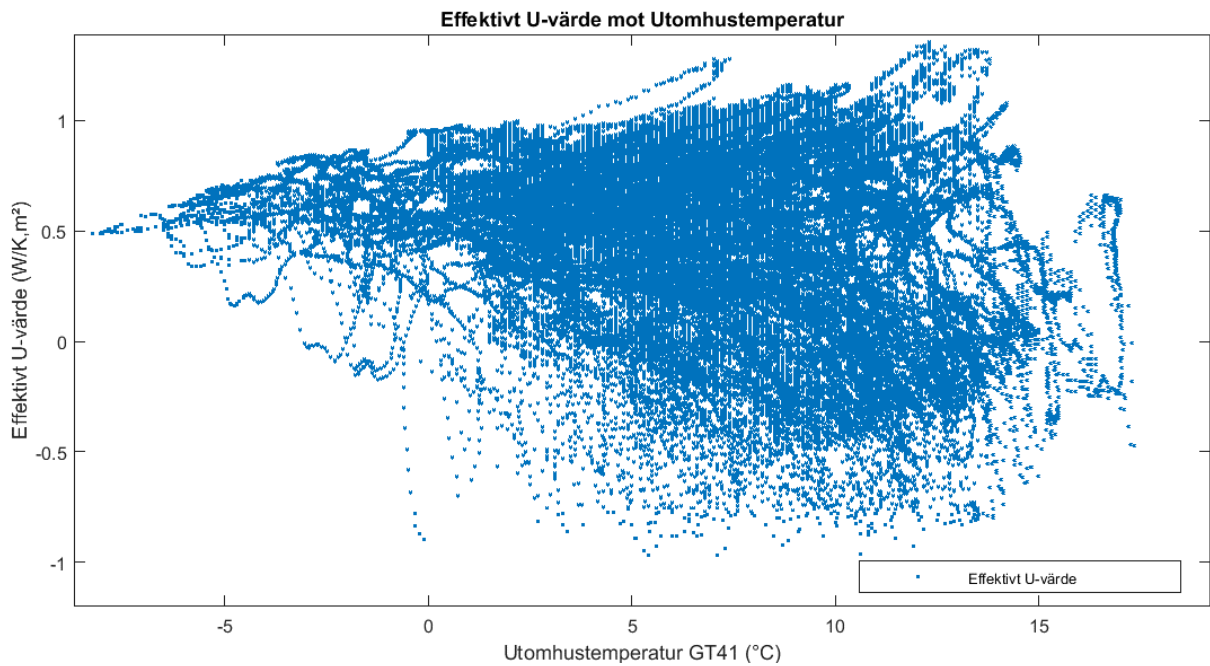
Negativ verkningsgrad uppvisas i 0,2 % av värdena i Figur 62. Orsaken beror på att i genomsnitt är de aktuella tilluftstemperaturerna 6 % högre än motsvarande utomhustemperatur. Beroende på korrigering för negativa värden samt för värden över 1,0 beräknades medelverkningsgraden till 0,315 – 0,318.



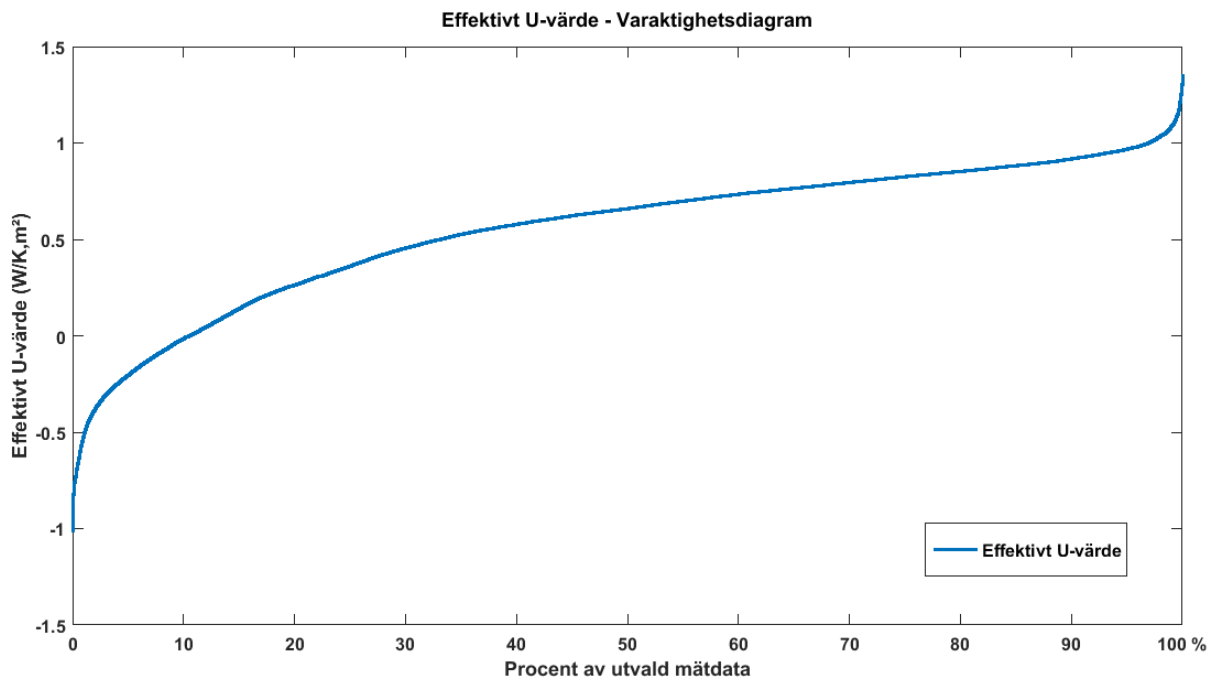
Figur 63. Temperaturverkningsgrad dubbelskalfasad – Varaktighetsdiagram

3.4.5.1.3 Effektivt U-värde

Effektivt U-värde beräknades enligt formel (7) i Tabell 4. Medelvärde beräknades till 0,55 W/K, m².



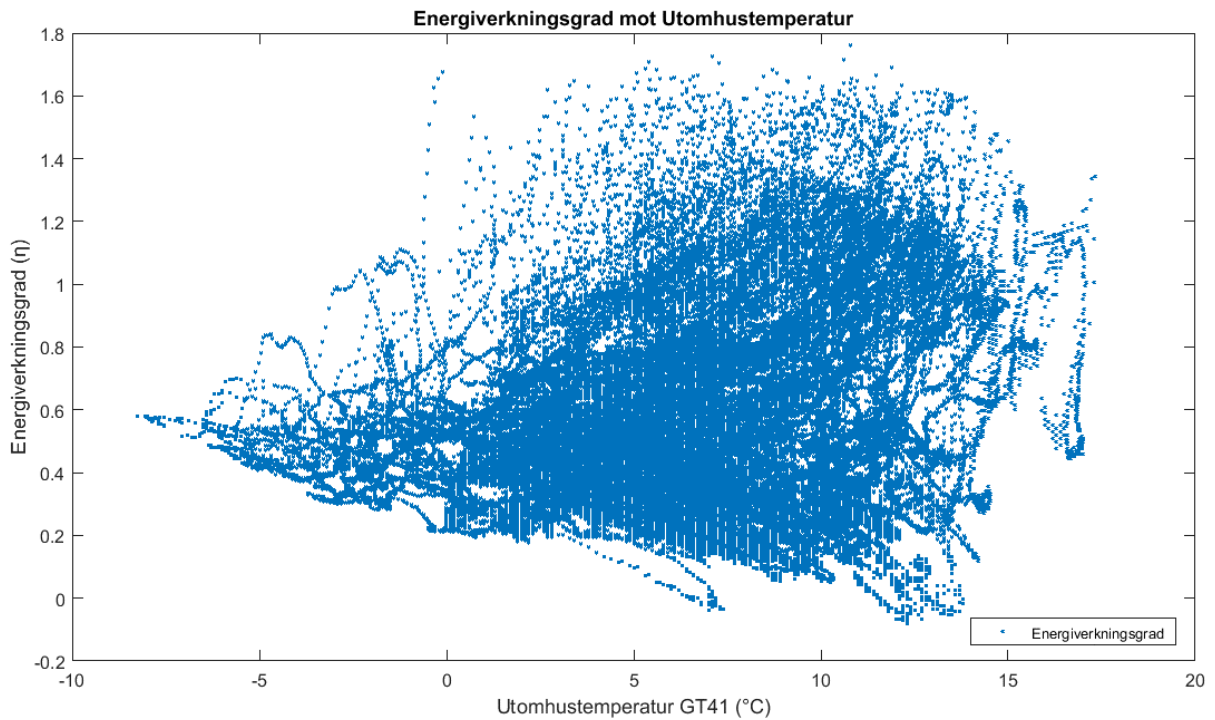
Figur 64. Effektivt U-värde mot Utomhustemperatur



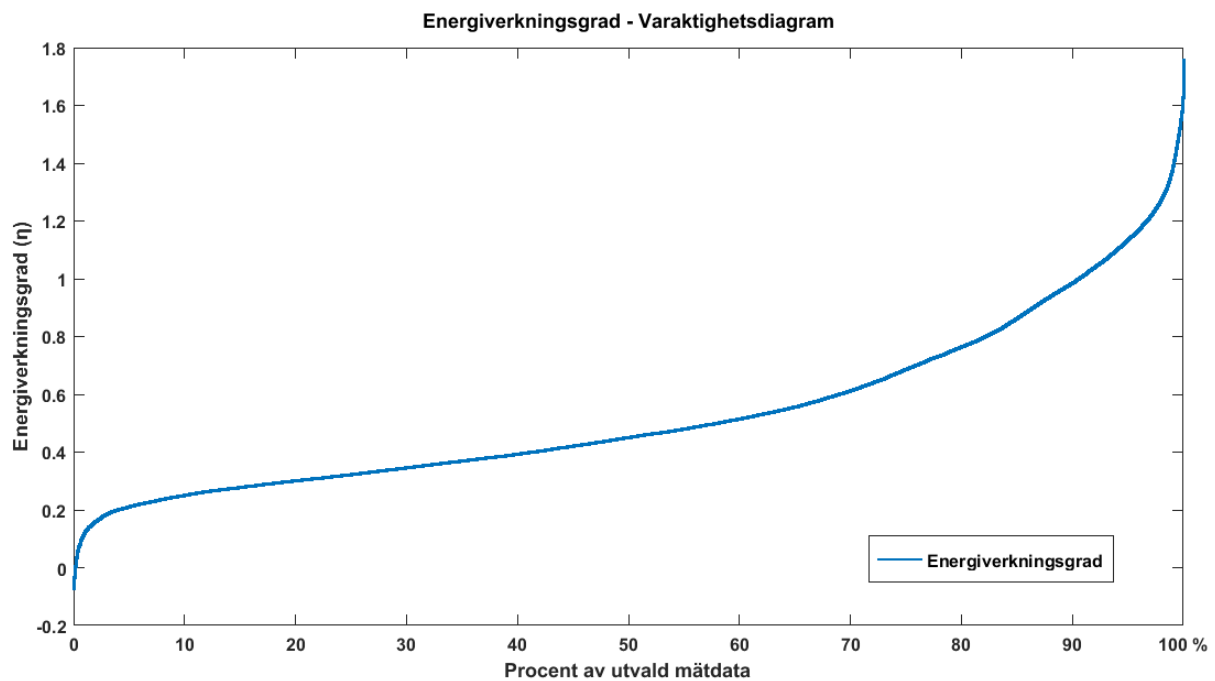
Figur 65. Effektivt U-värde – Varaktighetsdiagram

3.4.5.1.4 Energiverkningsgrad

Energiverkningsgrad (η_{energi}) beräknas enligt formel (8) i Tabell 4. Medelvärde beräknades till 0,53.



Figur 66. Energiverkningsgrad mot Utomhustemperatur



Figur 67. Energiverkningsgrad – Varaktighetsdiagram

3.4.5.2 *Analys*

Gemensamt för båda tidigare examensarbetena var valet av temperaturgivaren GT33 på norra fasaden som referens för utomhustemperatur vid beräkningar. Enligt Figur 17 visar givaren på norra fasaden högre temperatur vid perioder av framförallt höst, sommar och vår. Detta medför att en minskad mängd extern tillförd energi krävs för uppvärmning.

Beräkning av transmissionsförluster i examensarbetet år 2012 gjordes över en kort period på våren då det inte fanns mer mätdata att tillgå. Rimligtvis var solinstrålning högre under perioden än genomsnitt för resterande del av året vilket bör ha påverkat resultatet. Nuvarande beräkning bygger på en längre period som främst saknar ett antal vår- och höstdygn, vilket gör att besparingen troligtvis underskattas. Jämfört med examensarbetet från år 2012 minskades inomhustemperaturen samt den omblandande fläktens energibelastning. Minskningen av inomhustemperaturen gav ingen skillnad i antalet besparade kWh då samma värde på inomhustemperaturen användes vid beräkning med glasfasad, respektive utan glasfasad. Dock ökade procentuella andelen av besparingen eftersom totala energibehovet minskade. Procenttalet av besparad transmissionsförlust i nuvarande beräkning med norra fasaden inkluderad, är närmare hälften av resultatet från examensarbetet år 2012, vilket troligtvis beror på ovan nämnda period med hög solinstrålning samt högre referenstemperatur. Då enbart transmissionsförluster beräknades för de tre inglasade fasaderna blev besparingen 24,1 %.

Ventilationsförluster beräknades på motsvarande sätt som transmissionsförluster. Värden filtrerades dessutom ut för att gälla enbart vid tidpunkter på dygnet då ventilationssystemet varit aktivt samt då intag av tilluft skett via dubbelskalfasaden. Luftflödet valdes mot bakgrund av Figur 24 till 60 l/s, vilket är närmare hälften av vad de båda tidigare examensarbetena använt. Vid procentuell jämförelse utgör luftflödet ingen inverkan på besparingen utan enbart mängden externt tillförd energi. Tilluftsflödena under första halvåret under år 2016 låg konstant omkring 4 l/s och risk finns att temperaturutjämning skett från lägenheterna. Vid studier av temperaturkurvor under första halvåret av år 2015 syns liknande tilluftstemperaturer som under år 2016 och därmed antogs att ingen korrigering var nödvändig. Nuvarande resultat samt resultat från examensarbete från år 2014 har 26,1 % respektive 30,4 % besparing av ventilationsförluster. Examensarbetet från år 2012 har dubbelt så hög besparing, 60,2 %, men bör ses mot bakgrund att det enbart bygger på beräkningar från en period av årstiden vår, samt att det först vid examensarbetet år 2014 framkom att ventilationssystemet var inställt på kontorsdrift. Detta medför att ett rimligt antagande om dubbelskalfasadernas besparing med avseende på ventilationsförluster ligger strax över 25 %.

Temperaturverkningsgraden beräknades med samma indata som vid beräkning av ventilationsförluster. Temperaturverkningsgradens medelvärde bestämdes till 0,315 efter korrigering av dels negativa värden men även dels värden som var högre än 1,0. Medelvärdet är nära medelvärdet på 0,3 som framkom i examensarbetet från år 2014.

Energiverkningsgraden samt effektiva U-värdet beräknades med samma indata som vid beräkning av transmissions- och ventilationsförluster. Vid beräkning av energiverkningsgraden resoneras byggnaden fungera som en motströmsvärmeväxlare för konstruktionen. I tidigare examensarbete har beräkning troligtvis även innefattat värden då intag via norra fasaden skett eftersom betydligt högre medelvärde och extremfall av energiverkningsgraden

förekom. För hela mätdataserien, 2013-10-28 – 2016-06-29, utan korrigering för intag via dubbelskalfasaden, varierar resultatet mellan extremvärdena -2271 till 2248 och medelvärdet blir 1,37. I Figur 24 framgår tre dagar i maj månad där utomhustemperaturen är hög men energiverkningsgraden är inte i närheten av det högre extremfallet.

Effektiva U-värdet varierade mellan -1,0 till +1,3 med ett medelvärde på 0,55 W/K, m². Värdet motsvarar ett U-värde på en fiktiv tilläggsisolering som tar hänsyn till de tre aspekterna: (1) förbättrat U-värde pga. luftspalt, (2) förvärmning av tilluft samt (3) solfångarfunktion över hela konstruktionen. Jämfört med examensarbetet år 2012 är nuvarande värde inom författarnas antagna omfång på 0,4 - 0,6 W/K, m² där deras extremvärde var bortsorterade. Med $U_{\text{effektiv}} = 0,55 \text{ W/K, m}^2$ omräknat till traditionell tilläggsisolering som mineralull eller cellplast med ett normalt λ -värde på 0,038 W/m, K (Nevander & Elmarsson, 2011), fås en tjocklek på motsvarande 69 mm.

3.5 Slutsats mätdata

Slutsatsen över utvärderingen av mätdata är som i tidigare studier att dubbelskalfasaden utgjort en energibesparande funktion då ingen hänsyn tas till övertemperaturer i byggnaden. Dubbelskalfasaden minskade transmissionsförlusterna med 24,1 % över de tre inglasade fasaderna samt ventilationsförlusterna med 26,1 % för hela byggnaden. Temperatur- och energiverkningsgrader bestämdes i medeltal till 0,315 respektive 0,53. Ett effektivt U-värde beräknas och bestämdes i medeltal till 0,55 W/K, m², vilket som jämförelse utgör ett skikt av normalt tilläggsisoleringsmaterial på motsvarande 69 mm i årsmedelvärde.

Temperaturdifferensen mellan dubbelskalfasaden och utomhustemperaturen var som störst under vår-, sommar- och höstperioder. Vid jämförelse av de tre dubbelskalfasaden var södra fasaden varmast under 88,4 % av mätserien. Ett linjärt samband med förklaringsgraden 0,71 togs fram mellan temperaturen i dubbelskalfasaden och utomhustemperaturen, där lägre utomhustemperatur gav högre positiv differens till temperaturen i dubbelskalfasaden.

Tidigare arbeten visade på att tilluft kunde tas direkt utifrån från norra fasaden utan att förvärmas i dubbelskalfasaden under perioder med låga utomhustemperaturer samt med hög solstrålning så att temperaturen i dubbelskalfasaden översteg 20°C. I detta arbete konstateras att så sker i närmare 65 % av tiden, vilket innebär att potentiell varm luft som kunde använts till uppvärmning inte tas tillvara. Dessutom vädras en del av den uppvärmda luften bort då temperaturen i dubbelskalfasaden överstiger 23°C trots att uppvärmningsbehov föreligger.

I Tabell 9 återfinns resultat från både nuvarande och tidigare arbetens resultat över Byggnad 22. Då nuvarande resultat dels bygger på erfarenheter från tidigare arbeten samt dels på en längre mätperiod kan resultatet ses som en kalibrering av tidigare resultat.

Tabell 9. Jämförelsetabell - Tidigare samt nuvarande resultat

År	Minskad transmissionsförlust (%)	Minskad ventilationsförlust (%)	Total energibesparing (%)	η_{temp} (-)	η_{energi} (-)	$U_{effektiv}$ (W/K, m ²)
2012 ⁹	30,1*	60,2	-	0,697	1,98	-0,11 (0,4–0,6)**
2014 ¹⁰	-	30,4	-	0,3	-	-
2016 ¹¹ , 2016 ¹²	-	-	28,6	-	-	-
2016 ¹³	16,0*/ 24,1	26,1	-	0,315	0,53	0,55

*Samtliga fyra fasader inklusive norra fasaden

** Antaget intervall

⁹ (Elfborg & Vrbanjac, 2012)

¹⁰ (Andersson & Bränd, 2014)

¹¹ (Hilliaho, Nordquist, Wallentén, Hamid, & Lahdensivu, 2016)

¹² (Nordquist & Wallentén, 2016)

¹³ Nuvarande resultat från detta arbete

4 Simulering av inglasad tegelfasad på ett flerbostadshus

Utformningen av dubbelskalfasader samt ventilationssystemen på Byggnad 22 har konstaterats utgöra en energibesparing med avseende på byggnadens uppvärmning i samtliga utförda studier. Mätdata över ett flerbostadshus med liknande utformning av dubbelskalfasader som hos Byggnad 22 har inte gått att finna. Modeller har istället byggts upp i simuleringssystemet IDA ICE 4.7 med avsikt att undersöka möjligheten att använda inglasning av fasad som en renoveringsåtgärd på en befintlig tegelbyggnad med frånluftssystem. Programmet IDA ICE 4.7 använder dynamiska beräkningar för att analysera energi-användning och termisk komfort i hela byggnader (EQUA Simulation AB, 2016).

Söderfasader har generellt högre temperaturer beroende på mer solinstrålning och bör rimligtvis prioriteras vid inglasning för energibesparing med avseende på uppvärmning. Referensbyggnaden som valts ut har en långsida mot söder och två kortsidor mot öst och väst med relativt närliggande grannbyggnader. Då södra fasadens area är större samt mest exponerad för solinstrålning medför det att den har störst energibesparingspotential med avseende på byggnadens uppvärmning samt även utgör störst risk för ökat missnöje av termisk komfort. Till skillnad mot Byggnad 22, som har tre fasader inglasade, görs valet att enbart simulera inglasning av södra fasaden vid samtliga modelleringsfall.

Då modellerna av flerbostadshuset är uppbyggda så att varje enskilt rum är en egen beräkningszon tar modellerna uppemot en vecka att simulera och eftersom examensarbetet är begränsat i tid och omfattning kommer enbart fyra stycken simuleringar med så detaljerade modeller att utföras. Modellerna är valda mot bakgrund av utformningen av dubbelskalfasader och ventilationssystemen på Byggnad 22 och jämförs mot samma modell fast med ett frånluftssystem, både med och utan glasfasad och inglasade balkonger.

Utöver modellerna på flerbostadshuset i full skala, modelleras även tretton avgränsade byggnader som består av fem våningsplan med vardera fyra lika stora rum ut mot södra fasaden. De avgränsade modellernas grundmodell är utrustad med ett frånluftssystem och har varken inglasade balkonger eller inglasad fasad. Grundmodellen byggs sedan på med inglasade balkonger, inglasad söderfasad samt ett ventilationssystem av typen FTX som ges möjlighet att ta tilluft via dubbelskalfasaden, liknande Byggnad 22. Genom detta undersöks både inglasning av fasad samt installation av FTX-system som renoveringsåtgärder på ett befintligt tegelhus med frånluftssystem. Den avgränsade modellen placeras dessutom på tre olika geografiska platser i Sverige. Se Tabell 10 för samtliga simuleringar.

Tabell 10. Simuleringsfall i IDA ICE 4.7

Fall	Flerbostads- byggnad (lokalisering)	Avgränsad byggnad (lokalisering)	Frånluft	FTX	FTX med tilluft via dubbelskal- fasaden	Inglasad balkong	Inglasad söderfasad
1	Malmö		X				
2	Malmö		X			X	
3	Malmö		X			X	X
4	Malmö				X	X	X
5		Malmö	X				
6		Malmö	X			X	
7		Malmö	X			X	X
8		Malmö		X			
9		Malmö		X		X	
10		Malmö		X		X	X
11		Malmö			X	X	X
12		Sundsvall	X				
13		Sundsvall	X			X	X
14		Sundsvall			X	X	X
15		Haparanda	X				
16		Haparanda	X			X	X
17		Haparanda			X	X	X

4.1 Referensbyggnad

Fastigheten Bornholm 8 har adresserna Köpenhamnsvägen 11 – 13 i Malmö och innefattar två identiska byggnader bortsett från bottenvåningen där de anpassats efter olika butikslokaler. Totalt mäter byggnaderna 61,9 x 22 meter och originalritningarna är datumsatta år 1952. Se Figur 68 för flygfoto över Köpenhamnsvägen 13 och Bilaga D för planlösningar och fasadritningar.



Figur 68. Flygfoto från söder över fastigheten på Köpenhamnsvägen 13 (Malmö Stad, 2015).

Byggnaden består av två större block som vardera är fem, respektive sex våningar höga. Källare finns under hela byggnaden och ett vindsutrymme finns att tillgå över större delen av byggnaden. Huset genomgick en fönsterrenovering år 1994 då ny ytterbåge samt 6 mm energiglas installerades. Innerväggarnas uppbyggnad beror på deras placering i byggnaden; antingen regelväggar med gipsskivor eller murade tegelväggar likt ytterväggarna. Bredden på väggarna anges till antingen 150 eller 250 mm och utläses från en tabell på originalritningen som återfinns i Bilaga D. Måtten är tidstypiska för byggnader uppförda åren 1945–1955 med murade ytterväggar då 1- till 2-stens normaltegel med längden 250 mm var standard (Bjerking, 1978). Enligt ritningarna verkar dock ytterväggarna ha en bredd på närmare 400 mm, vilket eventuellt skulle kunna innebära 1½ sten tegelvägg på 375 mm med puts på insidan.

Totalt är 99 personer folkbokförda på Köpenhamnsvägen 13 (Skatteverket, 2016). I befintlig energideklaration över byggnaden från år 2008 framgår att A_{temp} är 5015 m² med ingående poster enligt Tabell 11.

Tabell 11. Ingående poster i befintlig energideklaration över Köpenhamnsvägen 13 (Boverket, 2008).

	(kWh)	(kWh/m ²)
Fjärrvärme för uppvärmning	491 983	98,1
Fjärrvärme för varmvatten	74 017	14,8
Fastighetsel	49 000	9,8
Summa	615 000	122,6
Summa efter korrigering (graddagar)	724 153	144,4
Summa efter korrigering (energi-index)	727 581	145,1

4.2 Indata simulering

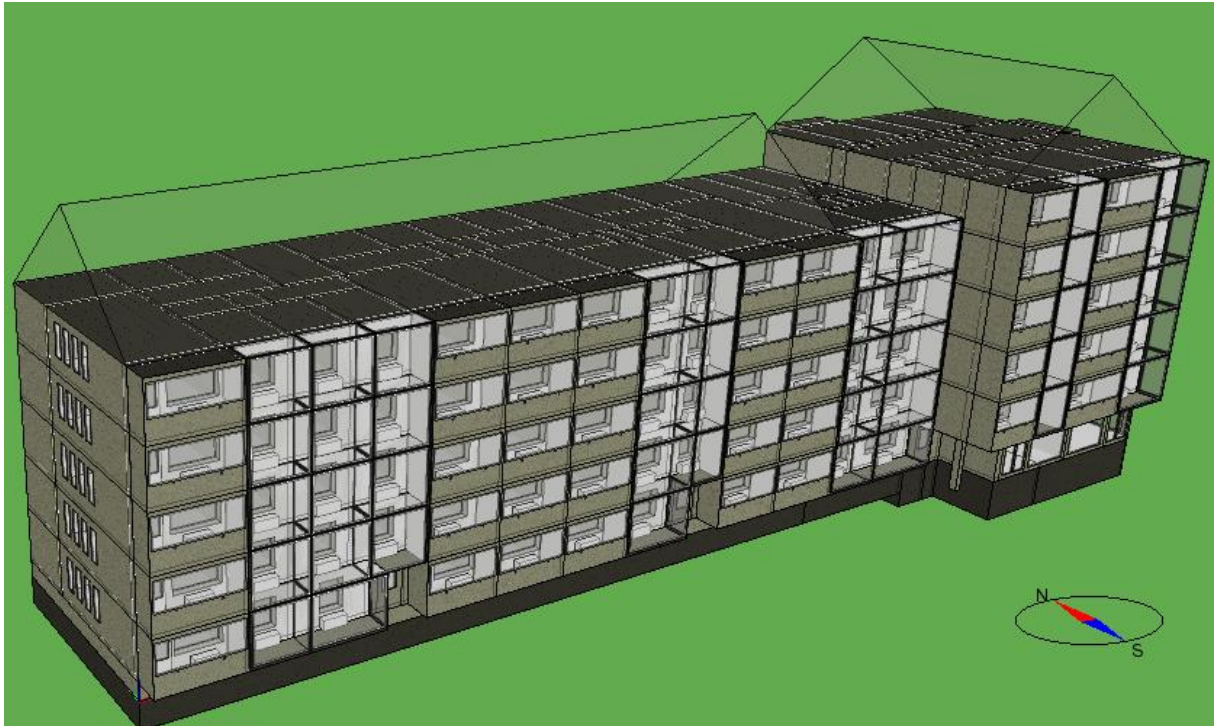
Modellerna över flerbostadshusen byggdes upp med referensbyggnaden som målbild och med samma förenklingar och antaganden i samtliga modeller. I simuleringsprogrammet nyttjades standardantaganden som exempelvis typiska köldbryggor, markegenskaper, distributionsförluster, vindfaktorer för tätbebyggt område, belysningschema samt inbyggda klimatfiler. Balkonger och fönster förenklades till att vara parallella med respektive fasad. Material i väggar och fönsterglas antogs mot bakgrund av ritningar inhämtade från Malmö Stadsbyggnadskontors arkiv. Förändringar gjordes i planlösningen så hisschakt och klädkammare byggdes in i trapphus respektive sovrum. Samtliga rum gavs även rektangulär form då programmet har detta som krav på beräkningszoner när simulering sker enligt den mer noggrannare klimatmodellen, vilken tar större hänsyn till solinstrålning (EQUA Simulation AB, 2013).

Indata över antalet boende samt vilken utrustning och belysning som fanns i respektive lägenhet fördelades jämt med avseende på antalet kvadratmeter och rumstyper enligt (SVEBY, 2012). Fönstervädring skedde enligt inbyggt schema då boende antogs vara hemma samt då temperaturen i rummet översteg 27°C. Vattenburna radiatorer placerades under samtliga fönster, förutom i butikslokaler, med total effekt på 80 W/m² per rum. Innerdörrar antogs vara konstant öppna medan entré- och badrumsdörrar antogs vara konstant stängda.

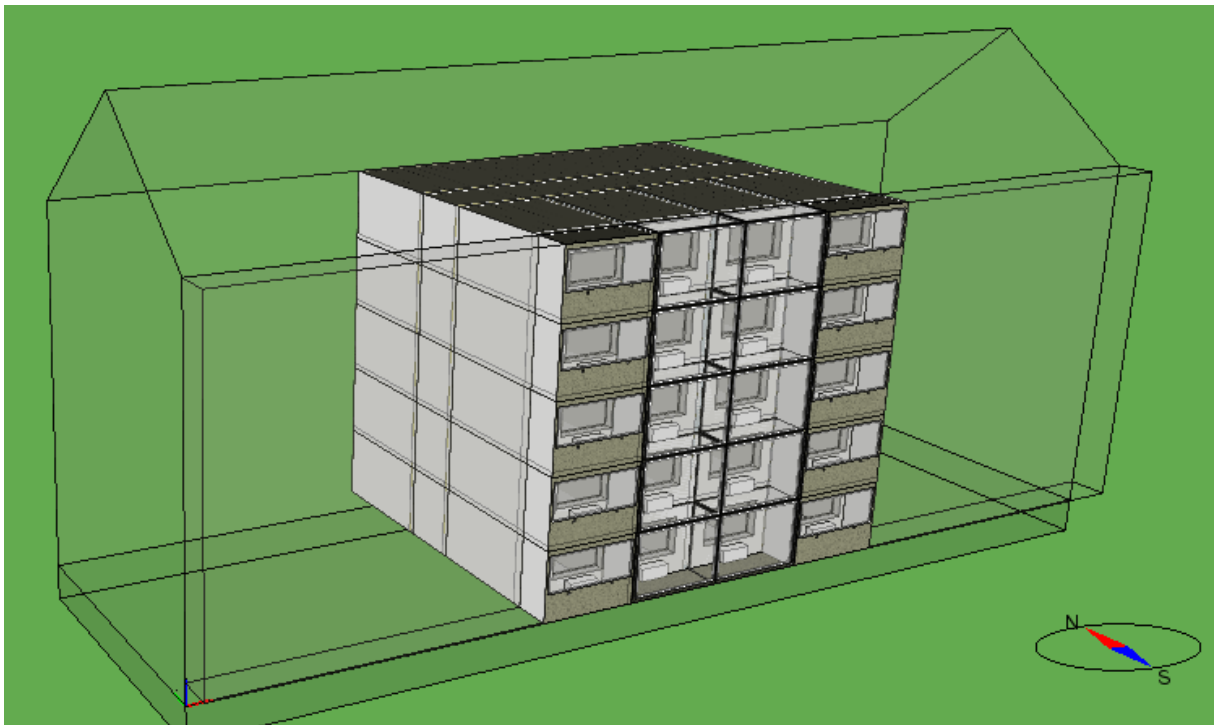
Enligt energideklarationen från år 2008 var projekterat genomsnittligt ventilationsflöde 0,4 l/sm² (Boverket, 2008). Värdet omräknades och fördelades som tilluft per lägenhet och tillfördes via samtliga rum och kök vid FTX-system och via uteluftsventiler placerade ovan fönster med arean 0,001 m² vid frånluftssystem. Vid FTX-system antogs totala frånluften i varje lägenhet vara 10 % högre än total tilluft vilket innebar 0,44 l/sm². Frånluftsuttag skedde via badrum och kök vid båda ventilationssystemen. Verkningsgraden för FTX-aggregatet var 82 % och vid behov kopplades ett elektriskt värmebatteri in. Ventilationssystemet där föruppvärmd tilluft tas in via dubbelskalfasaden är unik och har inte funnits valbart i IDA ICE 4.7. Länkar mellan ventilationsaggregaten infördes genom att importera samma lösning som använts vid simulering av Byggnad 22 i en tidigare studie (Hilliaho, Nordquist, Wallentén, Hamid, & Lahdensivu, 2016).

Glasfasadens djup var 1,5 meter med öppna springor längs samtliga anslutningar mot tegel-fasaden och mot mark. De vertikala springorna längs glasfasaden var 30 mm breda och de horisontella springorna mot mark var 50 mm höga. Takfönstren på glasfasaden var öppningsbara på liknande sätt som hos Byggnad 22, vilket innebar att fönsterna öppnades med 10 % då utomhustemperaturen översteg 23°C. Vid hela södra fasaden inglasad, var andelen inglasade balkonger 52,2 % och andelen inglasad fasad 47,8 % på flerbostadsmodellerna, se Figur 69. På de avgränsade modellerna var motsvarande andelar vardera 50 %, se Figur 70. Inglasade balkonger förseddes med två öppningar på vardera 0,004 m² i raket för att motsvara otätheten hos konstruktionen.

Modellerna över de avgränsade byggnaderna var uppbyggda med samma förutsättningar och materialval som hos flerbostadshusen. Rummen mot södra fasaden gjordes lika stora och fick samma förutsättningar i form av antal personer, utrustning och belysning. För detaljerade indata samt fler bilder över modellerna hänvisas till Bilaga E.



Figur 69. Modell över flerbostadshuset med inglasad söderfasad



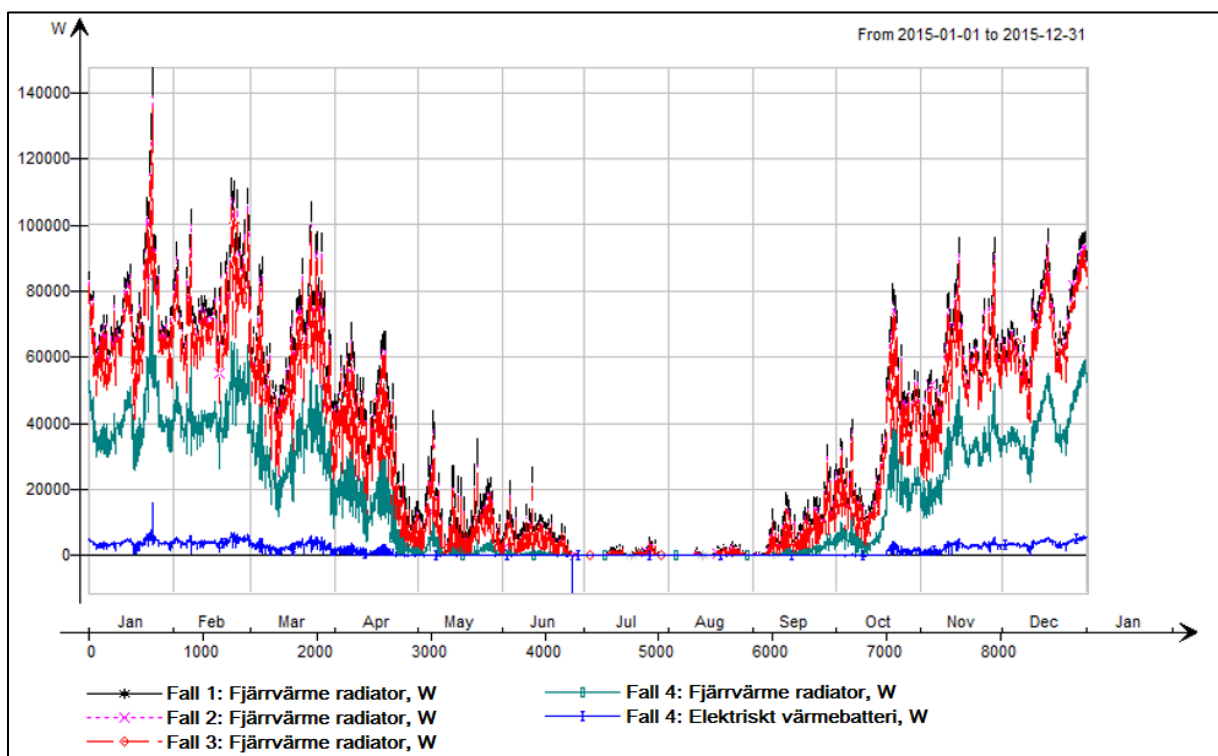
Figur 70. Modell över avgränsad byggnad med inglasad söderfasad

4.3 Resultat simulering

4.3.1 Uppvärmning

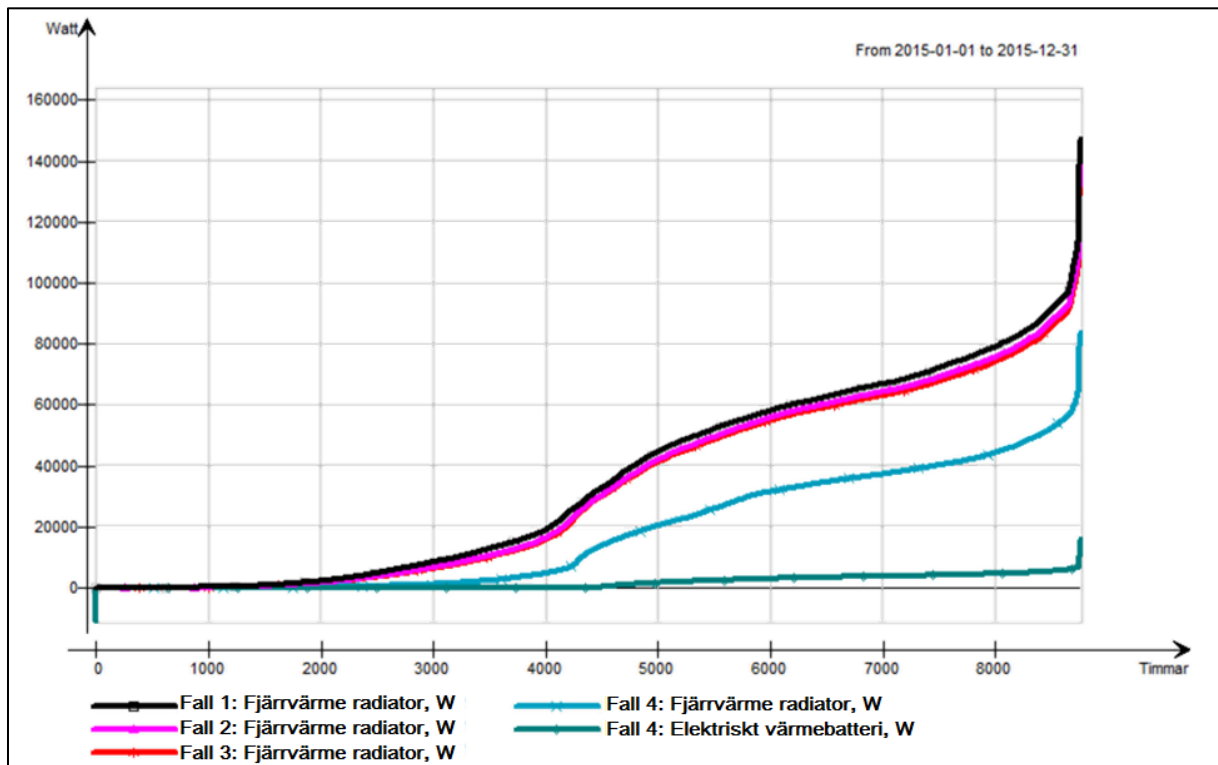
4.3.1.1 Flerbostadshus

Energibesparing med avseende på uppvärmning från Fall 1 till Fall 2, då grundmodellen över flerbostadshuset utrustades med inglasade balkonger, uppgick till 5,4 %. För Fall 3, då flerbostadshuset utöver inglasade balkonger även utrustades med inglasad söderfasad, ökade energibesparingen till 7,3 %. I Fall 4, då frånluftssystemet ersattes med ett FTX-system med möjlighet att ta tilluft via dubbelskalfasaden, blev energibesparingen 25 %. Se Figur 71 för samtliga flerbostadsmodellens tillförda uppvärmningsenergi. I samma figur framgår även att uppvärmningsperioden för Fall 4 blev kortare. Värdena återfinns även i grön kolumn i Tabell 12.



Figur 71. Tillförd uppvärmningsenergi i flerbostadsmodellerna

I varaktighetsdiagrammet i Figur 72 framgår att tillförd energi över tid var lägre för Fall 4 än för övriga fall, även då det elektriska värmebatteriet togs i beaktning.

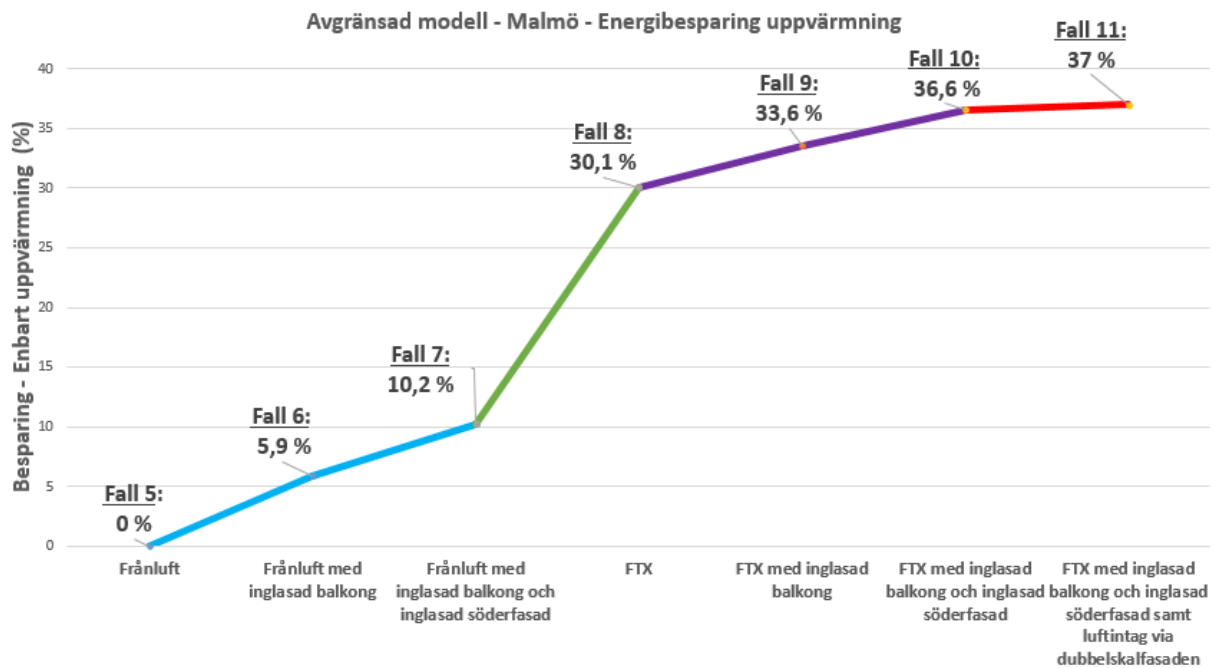


Figur 72. Tillförd uppvärmningsenergi i flerbostadsmodellerna – Varaktighetsdiagram

4.3.1.2 Avgränsade modeller

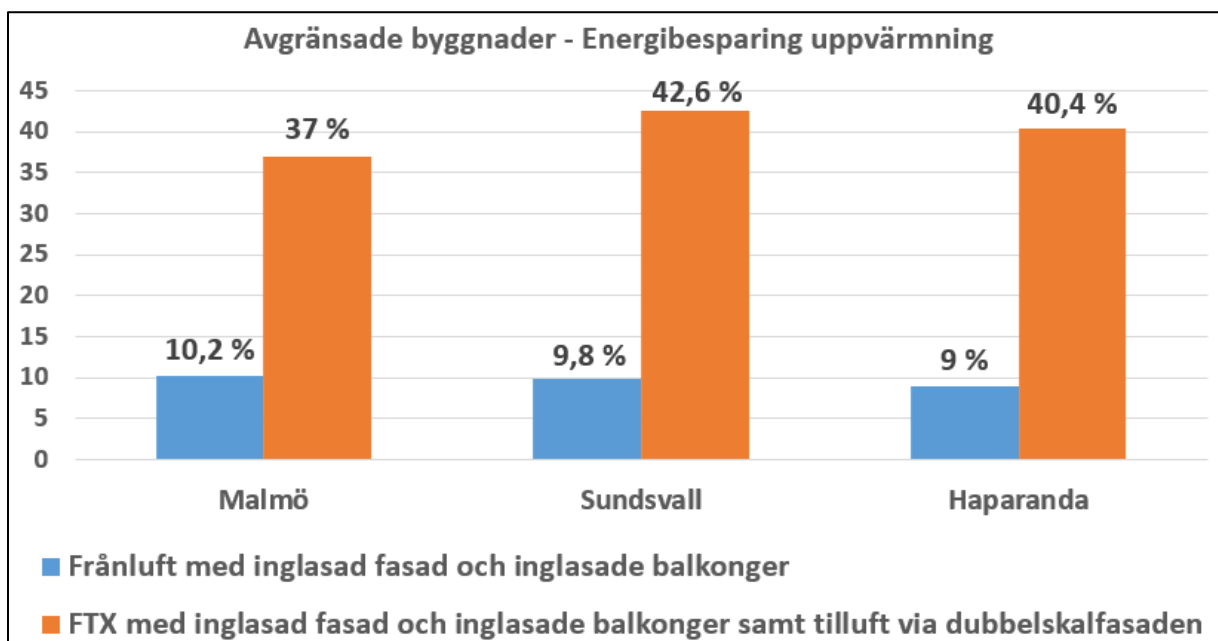
För de avgränsade modellerna lokaliserade i Malmö resulterade simuleringarna i ökad energibesparing mellan varje fall enligt Figur 73. I samma figur framgår också att modellerna med FTX-system genomgående fick högre energibesparing jämfört med modellerna med frånluftssystem.

I Fall 11, där möjlighet gavs att ta in tilluft via dubbelskalfasaden, skilde energibesparingen med 0,4 % jämfört mot Fall 10, som enbart tog in uteluft men i övrigt hade samma förutsättningar. Värmeåtervinningen mellan fallen minskade samtidigt från 48 877 kWh i Fall 10 till 37 564 kWh i Fall 11 enligt Tabell 12.



Figur 73. Resultat avgränsad modell – Malmö – Energibesparing uppvärmning

Då geografisk placering av modellen förändrades förblev procentuella energibesparingen liknande på samtliga tre orter, se Figur 74. I Bilaga F återfinns Figur 109 över tillförd energi avseende uppvärmning av modellen på de tre orterna.



Figur 74. Avgränsade byggnader - Energibesparing uppvärmning

4.3.1.3 Resultattabell uppvärmning

Tabell 12. Resultat över uppvärmning

Fall	Fjärrvärme uppvärmning (kWh)	Fjärrvärme varmvatten (kWh)	HVAC Pump & Fläkt (kWh)	Elektrisk värmebatteri (kWh)	Totalt uppvärmning + varmvatten (kWh)	Totalt uppvärmning + varmvatten (kWh/m ²)	Totalt uppvärmning + varmvatten (%)	Totalt besparing uppvärmning + varmvatten (%)	Enbart uppvärmning (fjärrvärme + HVAC + Elektrisk värmebatteri) (kWh)	Besparing enbart (fjärrvärme + HVAC + Elektrisk värmebatteri) (%)	Belysning (kWh)	Utrustning (kWh)	Totalt summa (kWh)	Totalt besparing (%)	Återvunnen värme (kWh)
1	340 010	98 815	11 386		450 211	93,5	100,0	-	351 396	-	42 319	167 170	659 700	-	-
2	321 025	98 815	11 342		431 181	89,5	95,7	4,3	332 367	5,4	42 321	167 170	640 672	2,9	-
3	314 294	99 761	11 330		425 385	88,3	94,4	5,6	325 624	7,3	42 320	167 170	634 875	3,8	-
4	172 455	99 761	77 422	13 718	363 356	75,4	80,6	24,6	263 595	25,0	42 320	167 170	572 846	13,2	158 365
5	69 934	19 785	2 416		92 134	94,5	100,0	-	72 350	-	7 890	18 016	118 040	-	-
6	65 687	19 785	2 408		87 879	90,1	95,4	4,6	68 095	5,9	7 875	18 016	113 770	3,6	-
7	62 568	20 039	2 403		85 010	87,2	92,3	7,7	64 971	10,2	7 886	18 016	110 912	6,0	-
8	27 829	19 785	18 368	4 400	70 382	72,2	76,4	23,6	50 597	30,1	7 888	18 016	96 286	18,4	48 777
9	25 352	19 785	18 335	4 333	67 805	69,5	73,6	26,4	48 020	33,6	7 888	18 016	93 709	20,6	48 768
10	23 209	20 039	18 357	4 289	65 894	67,6	71,5	28,5	45 855	36,6	7 885	18 016	91 795	22,2	48 877
11	23 978	20 039	18 437	3 152	65 605	67,3	71,2	28,8	45 567	37,0	7 888	18 016	91 509	22,5	37 564
12	100 409	19 785	2 422		122 616	125,8	100,0	-	102 831	-	7 888	18 016	148 520	-	-
13	90 339	20 039	2 409		112 787	115,7	92,0	8,0	92 748	9,8	7 881	18 016	138 684	6,6	-
14	35 613	20 039	18 371	5 063	79 086	81,1	64,5	35,5	59 047	42,6	7 883	18 016	104 985	29,3	48 018
15	119 954	19 785	2 430		142 169	145,8	100,0	-	122 384	-	7 869	18 016	168 054	-	-
16	108 893	20 039	2 417		131 348	134,7	92,4	7,6	111 310	9,0	7 871	18 016	157 235	6,4	-
17	47 155	20 039	18 342	7 448	92 983	95,4	65,4	34,6	72 945	40,4	7 874	18 016	118 873	29,3	53 014

4.3.2 Komfort

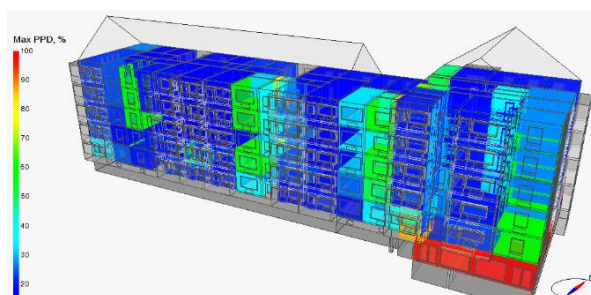
4.3.2.1 Flerbostadshus

Operativa temperaturen beräknades för samtliga rum i modellerna och ett gemensamt medelvärde för respektive modell togs fram för jämförelse mellan fallen. För Fall 1 som var grundmodellen, översteg medelvärdet av samtliga rum 27°C under 2 % av året. Andelen ökade till 3 % med inglasade balkonger i Fall 2 och till 4 % i Fall 3 då byggnaden även försågs med extern glasfasad. För Fall 4 då byggnaden utrustades med ett FTX-system med möjlighet att ta tilluft via dubbelskalfasaden ökade andelen till 7 %. Utöver operativa temperaturen beräknades även andelen av året som boende inte var tillfreds med den termiska komforten under tiden de antogs vara hemma. Resultaten visade att i de tre första fallen med frånluftssystem, oberoende av inglasade balkonger eller inglasad fasad, var 12 % missnöjda med den termiska komforten. För Fall 4 med FTX-system och med både inglasade balkonger och inglasad fasad var motsvarande siffra 11 %. Värdena återfinns även i Tabell 14.

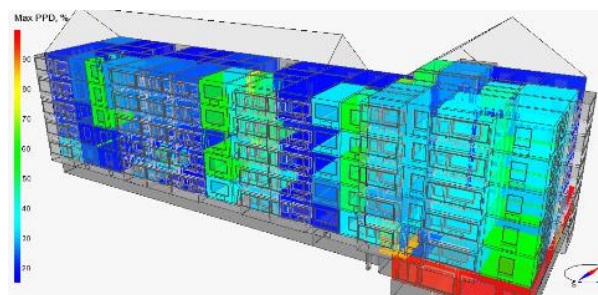
I resultaten från simuleringarna av flerbostadsmodellerna framgick även att sämsta rummet i respektive flerbostadshusmodell hade andelen missnöjda personer under 51 – 94 % av året. Vid mer ingående studier framgick att de sämsta rummen innebar butikslokalerna på nedre plan mot östra sidan. Orsaken till missnöjet berodde på avsaknad av radiatorer samt förekomsten av stora fönsterpartier, vilket genererade låga temperaturer på vintern och höga temperaturer på sommaren.

Då butikslokaler bortsågs ifrån och urvalet minskades ner till att enbart gälla rum bakom den inglasade söderfasaden, upplevdes högst missnöje på femte våningen i lägenhet F, se pil i Figur 78. Rummet i lägenhet F var ett kombinerat kök med vardagsrum och hade uteluftsventil i Fall 1, Fall 2 och Fall 3 samt både till- och frånluft i Fall 4.

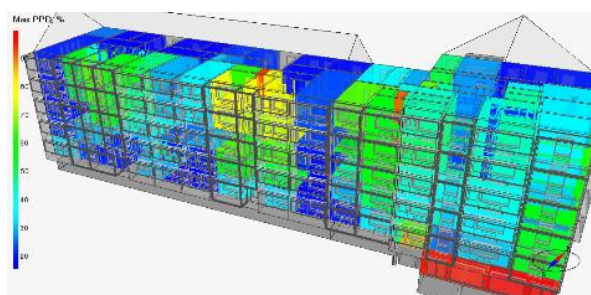
Högsta andelen av missnöje som upplevdes under ett tillfälle av året framgår som Maximal PPD i Figur 75 till Figur 78, samt även i Tabell 13.



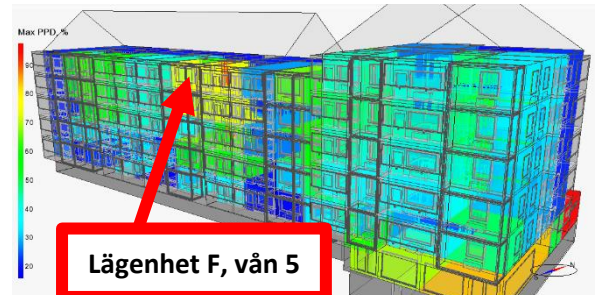
Figur 75. Fall 1: Maximal PPD (%)



Figur 76. Fall 2: Maximal PPD (%)



Figur 77. Fall 3: Maximal PPD (%)



Figur 78. Fall 4: Maximal PPD (%)

Tabell 13. Temperatur och PPD i lägenhet F, vardagsrum med kök mot södra fasaden plan 5

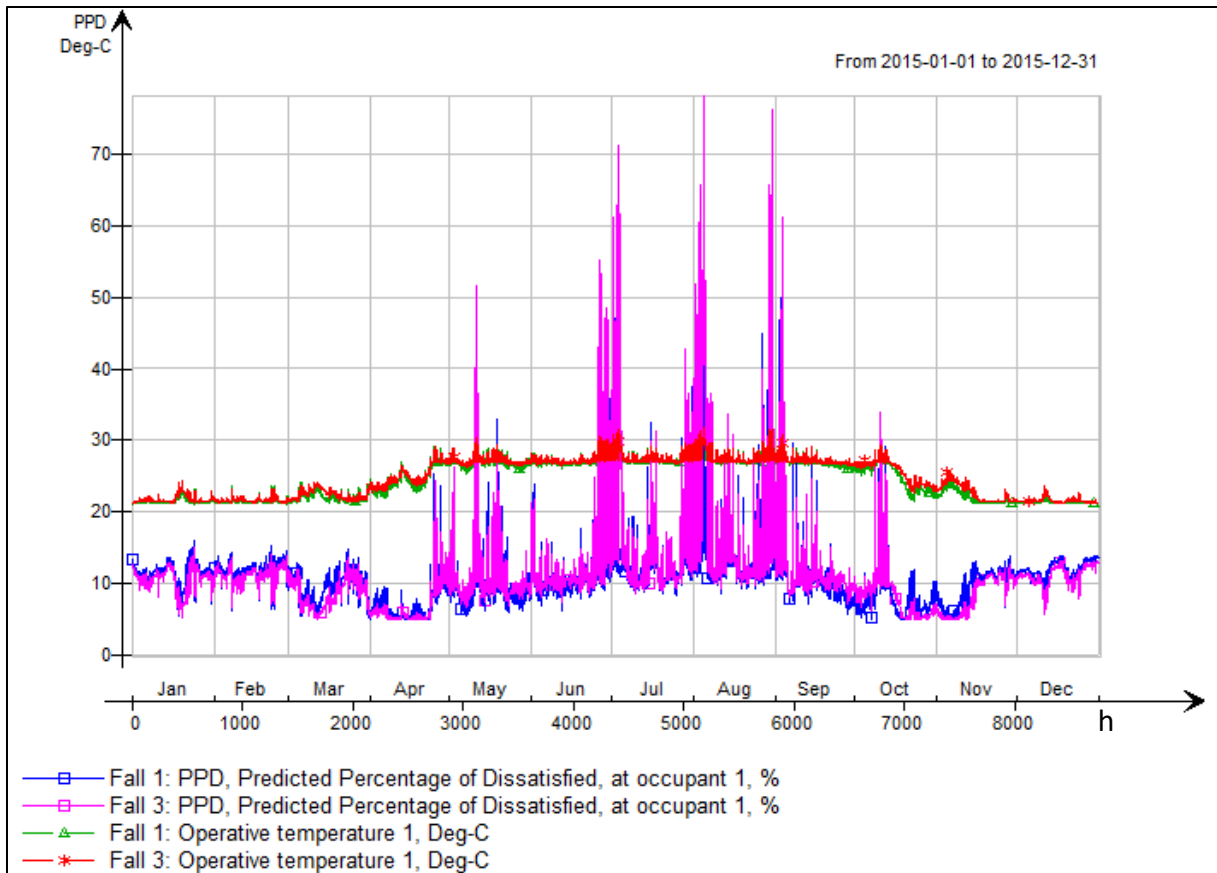
	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
Lägsta lufttemperatur (°C)	21,5	21,5	21,6	21,9
Högsta lufttemperatur (°C)	30,5	30,5	32,4	32,3
Lägsta operativa temperatur (°C)	21,1	21,1	21,3	21,5
Högsta operativa temperatur (°C)	30,7	30,7	31,9	31,9
Andel av året då operativa temperaturen översteg 25°C (%)	49,6	49,6	50,7	66,0
Andel av året då operativa temperaturen översteg 27°C (%)	21,3	21,7	27,4	29,0

Fall 1 och Fall 2 saknade inglasad fasad och uppvisade liknande resultat i Tabell 13 över lägenhet F, våning 5. Båda övriga fall, Fall 3 och Fall 4, som var utrustade med både inglasade balkonger och inglasad fasad, uppvisade däremot högre temperaturer samt även högre andel missnöje.

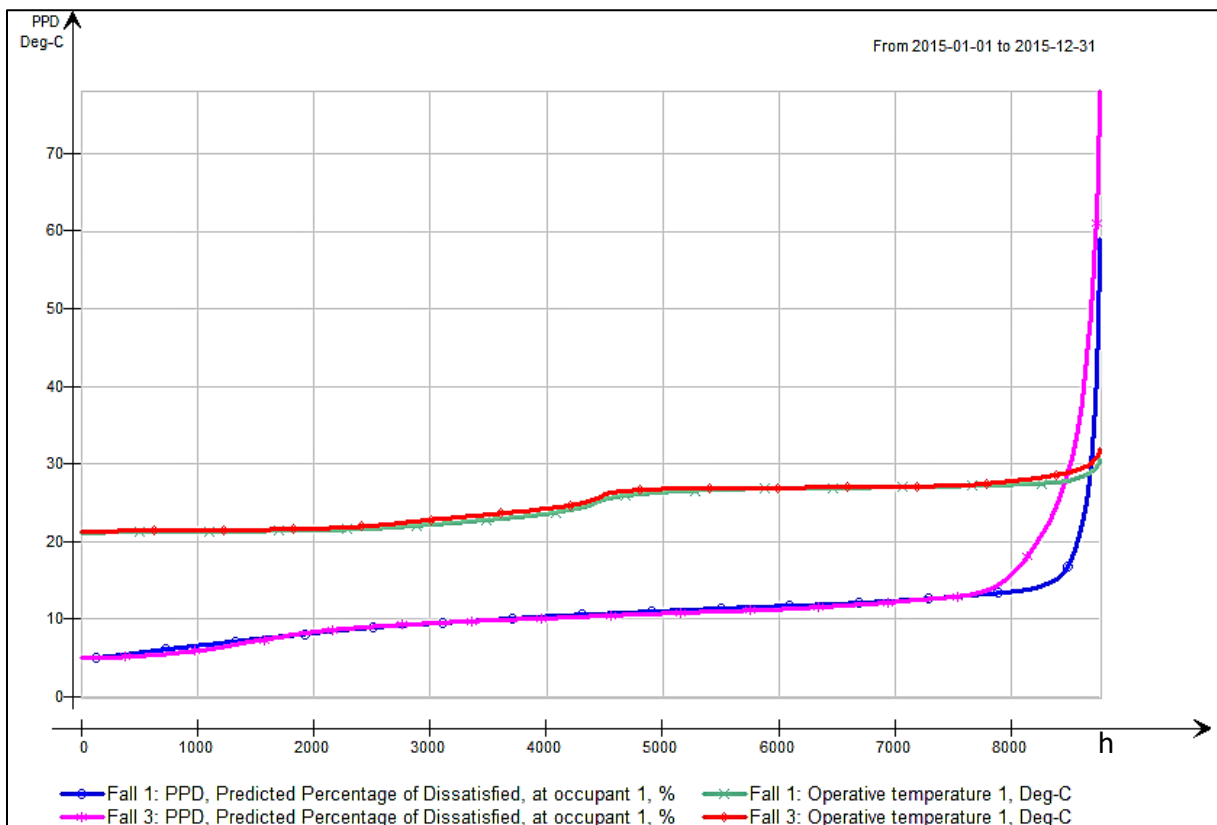
I Figur 79 jämförs modellerna Fall 1 och Fall 3 för lägenhet F, våning 5, med avseende på PPD-index samt på den operativa temperaturen. De båda fallens PPD-index uppvisar stora likheter över året, dock finns skillnader under främst sommarperioden där Fall 3, med inglasade balkonger och inglasad söderfasad, har högre värden. Under uppvärmningsperioden var missnöjet däremot aningen högre för Fall 1 än för Fall 3.

Likheter mellan fallen återfinns även i Figur 80 där PPD-indexen och de operativa temperaturerna gjorts om till varaktighetsdiagram. För PPD-indexen fanns ett missnöje som var högre än 15 % under en större andel av tiden i Fall 3.

De båda fallens operativa temperaturkurvor var liknande i både Figur 79 och Figur 80, dock låg Fall 3 aningen högst under störst del av året.

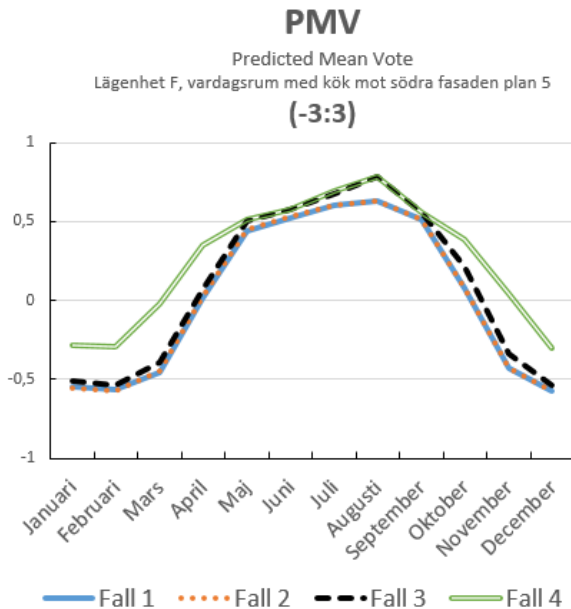


Figur 79. PPD och operativ temperatur i lägenhet F, vardagsrum med kök, plan 5

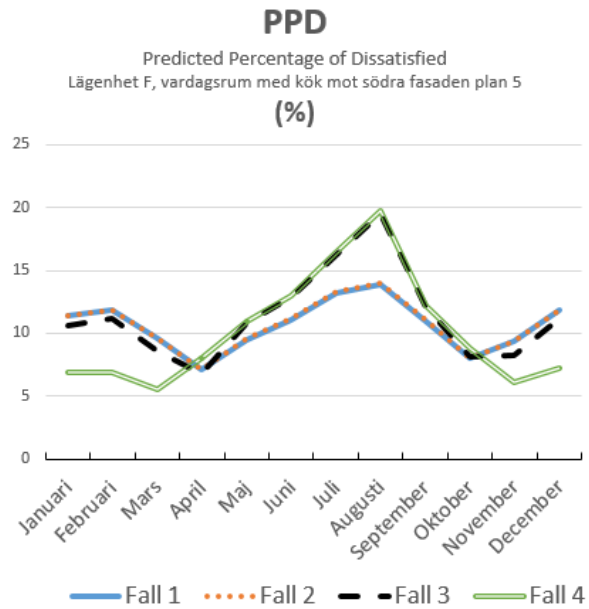


Figur 80. PPD och operativ temperatur i lägenhet F, vardagsrum med kök, plan 5 – Varaktighetsdiagram

Vid jämförelse av PMV- och PPD-månadsmedelvärde i Figur 81 och Figur 82 syns en tydlig likhet mellan Fall 1 och Fall 2. För Fall 3, då fasaden utrustades med extern glasfasad, syns likheter med de båda tidigare fallen under uppvärmningsperioden och med Fall 4 under sommarperioden. Se Tabell 22 i Bilaga G för månatliga värden.



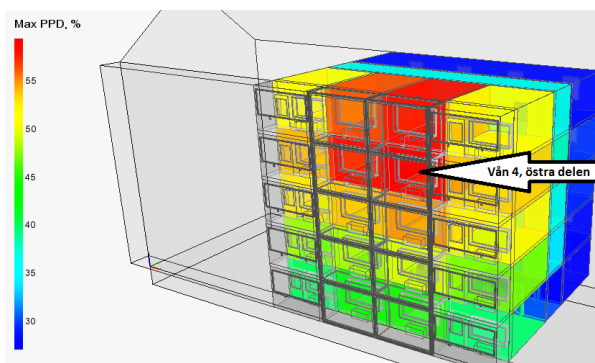
Figur 81. Månadsmedelvärde PMV, Lägenhet F, vardagsrum med kök mot södra fasaden plan 5



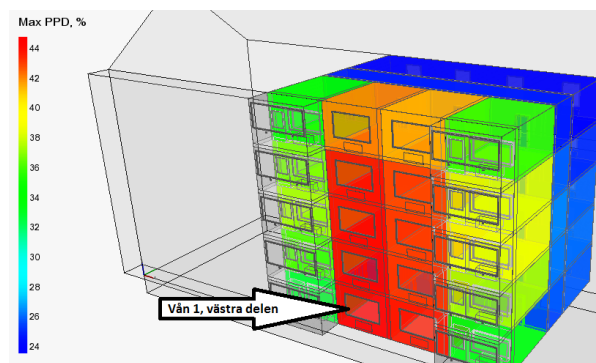
Figur 82. Månadsmedelvärde PPD, Lägenhet F, vardagsrum med kök mot södra fasaden plan 5

4.3.2.2 Avgränsade modeller

Tydliga skillnader återfinns även då de avgränsade modellernas komfortindex studeras. För fallen 7, 10 och 11, vilka samtliga hade både inglasade balkonger och inglasad söderfasad, återfanns högst PPD-index på byggnaden i ett rum på våning 4 bakom glasfasaden i riktning mot öster, se Figur 83. I övriga fall, där glasfasad saknades, återfanns högst PPD-index i rummet på våning 1 i riktning mot väster, se Figur 84. Observera de olika färgskalorna i figurerna.



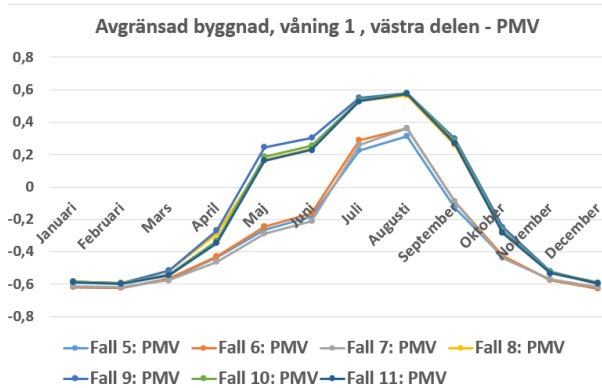
Figur 83. Maximal PPD för Fall 11; FTX med intag via glasfasad



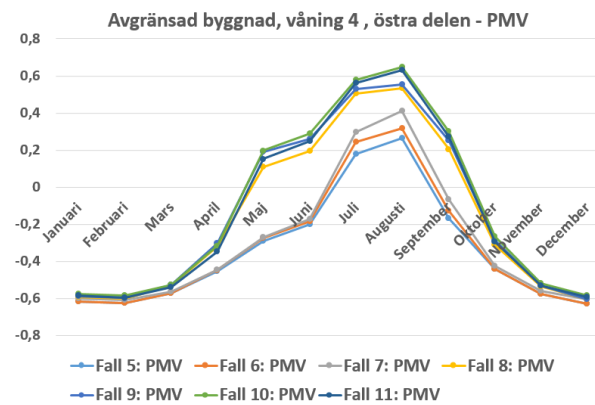
Figur 84. Maximal PPD för Fall 9; FTX utan glasfasad men med inglasade balkonger

Månadsmedelvärde över både PMV- och PPD-index över Fall 5 till Fall 11 i de båda rummen återges i Figur 85 till Figur 88 samt återfinns i Tabell 23 och Tabell 24 i Bilaga G.

Avgränsad byggnad – sämsta rummen - PMV

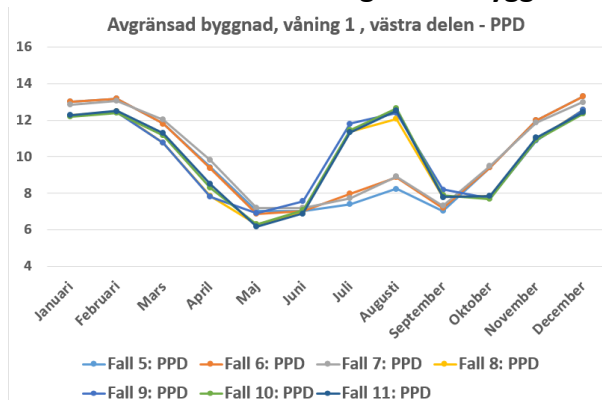


Figur 85. Avgränsad byggnad, våning 1, västra delen – Månadsmedelvärde PMV

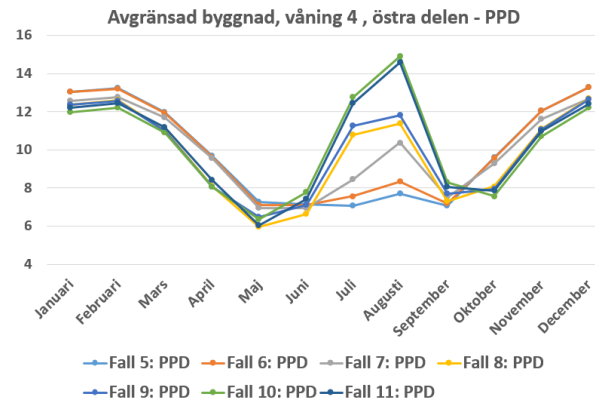


Figur 86. Avgränsad byggnad, våning 4, östra delen – Månadsmedelvärde PMV

Avgränsad byggnad – sämsta rummen - PPD



Figur 87. Avgränsad byggnad, våning 1, västra delen – Månadsmedelvärde PPD



Figur 88. Avgränsad byggnad, våning 4, östra delen – Månadsmedelvärde PPD

I rummet på våning 1 med högst PPD-index för fallen utan glasfasad, hade samtliga modeller med FTX-system liknande kurvor och likaså även samtliga modeller med frånluftssystem. Resultatet innebär att glasfasaden inte utgjorde en märkbar påverkan i rummet på våning 1. För rummet på fjärde våningen utmärks Fall 7, 10 och 11, vilka samtliga har glasfasader, genom att PPD-index stiger under månaderna juni, juli och augusti, se Figur 88.

4.3.2.3 Resultattabell komfort

Tabell 14. Resultat över komfort

Fall	Andel av tid då operativa temperaturer överstiger 25 °C i lgh F, vån 5 (%)		Andel av tid då operativa temperaturer överstiger 27 °C i lgh F, vån 5 (%)		Max PPD i lgh F, vån 5 (%)	Andel av tid då operativa temperaturer överstiger 27 °C i sämsta rummet (%)		Andel av tid då boende är hemma och samtidigt inte är tillfreds med termiska komforten (%)	
	25 °C i lgh F, vån 5 (%)	Andel av tid då operativa temperaturer överstiger 27 °C i lgh F, vån 5 (%)	Andel av tid då operativa temperaturer överstiger 27 °C i lgh F, vån 5 (%)	Andel av tid då operativa temperaturer överstiger 27 °C i sämsta rummet (%)		Andel av tid då boende är hemma och samtidigt inte är tillfreds med termiska komforten (%)			
1	49,6	21,3	554,7	51	58,65	2	12	12	12
2	49,6	21,7	556,5	51	59,29	3	12	12	12
3	50,7	27,4	593,2	56	78,03	4	12	12	12
4	66,0	29,0	531,1	94	77,97	7	11	11	11

5	Andel av tid då operativa temperaturer överstiger 25 °C i rum öster vån 4 (%)		Andel av tid då operativa temperaturer överstiger 27 °C i rum öster vån 4 (h)		Max PPD i rum öster vån 4 (%)	Andel av tid då operativa temperaturer överstiger 27 °C i sämsta rummet (%)		Andel av tid då boende är hemma och samtidigt inte är tillfreds med termiska komforten (%)	
	25 °C i rum öster vån 4 (%)	Andel av tid då operativa temperaturer överstiger 27 °C i rum öster vån 4 (%)	Andel av tid då operativa temperaturer överstiger 27 °C i rum öster vån 4 (h)	Andel av tid då operativa temperaturer överstiger 27 °C i sämsta rummet (%)		Andel av tid då boende är hemma och samtidigt inte är tillfreds med termiska komforten (%)			
5	12,4	2,4	210,0	3	34,25	1	10	10	10
6	15,0	3,1	211,7	4	40,32	2	10	10	10
7	16,6	4,6	212,4	5	57,6	3	10	10	10
8	32,5	9,4	208,4	12	41,9	5	10	10	10
9	36,7	11,5	211,9	14	42,9	7	10	10	10
10	37,4	14,4	218,6	14	59,5	9	10	10	10
11	35,4	13,0	219,1	13	59,4	8	10	10	10
12				4		1	11	11	11
13				7		4	11	11	11
14				18		11	11	11	11
15				10		4	12	12	12
16				13		12	13	13	13
17				21		17	12	12	12

4.4 Analys simulering

Enligt energideklarationen över Köpenhamnsvägen 13 använder fastigheten 98,1 kWh/m² för uppvärmning av byggnaden. Efter korrigering med antingen graddagar eller energi-index, bestäms motsvarande värde till ca 115 kWh/m². Grundmodellen över flerbostadshuset, Fall 1, hade lägre tillförd energi för uppvärmning; 93,5 kWh/m². Eventuellt berodde det lägre energibehovet i grundmodellen på underdimensionerat uppvärmningssystem då inga radiatorer fanns i de inre delarna av byggnaden eller i butiksytor (A_{temp} var dock korrekterat för butiksytor). En annan orsak kan eventuellt vara att ytterväggarna gjordes för breda och därmed fick för lågt U-värde med följden att uppvärmningsbehovet minskade. Dessutom gjordes ett antal förenklingar och antaganden i grundmodellen som sannolikt haft påverkan på resultatet. Oavsett differensen mellan referensbyggnaden och grundmodellen så är de relativa skillnaderna mellan modellerna intressanta. Skillnaderna indikerar på hur dubbelskalfasaden påverkar energibehovet för uppvärmning med de olika ingångsvärdena.

För flerbostadshuset med inglasade balkonger och inglasad söderfasad samt ett FTX-system med möjlighet att ta tilluft via dubbelskalfasaden blev energibesparingen 25 % med avseende på uppvärmning. Värdet kan jämföras mot resultatet från forskningsartikeln över Byggnad 22 där besparingen blev 28,6 % för liknande utformning fast med enbart söderfasaden inglasad, samt mot den avgränsade modellen i Malmö där besparingen blev 37 %. Utöver att en energibesparing skett med avseende på uppvärmning kan dock inga rättvisande slutsatser dras då skillnaderna varit stora mellan både byggnaderna och modellerna. De relativa glasareorna på fasaderna var inte lika stora och byggnadernas övriga storlek och omfattning skilde dessutom markant.

För de avgränsade modellerna i Malmö ökade energibesparingen successivt då inglasningen skedde av först balkongerna och sedan av fasaden. Ökningen skedde oavsett ventilations-system på byggnaden, dock utgjorde installation av FTX-system den största enskilda energibesparingen. De delar av fasaden som bestod av inglasade balkonger hade troligtvis gett liknande resultat ifall de var helt gjorda i glas. Visserligen hade balkongräcket i betong högre U-värde men då temperaturer utomhus och inne i balkongen inte skiljer avsevärt mycket blir transmissionen låg däremellan. Balkongerna påverkades däremot av minskad solinstrålning då balkongräckena inte var transparenta, vilket bidragit till minskad uppvärmning.

Metoden som innebar att föruppvärmd tilluft togs via dubbelskalfasaden verkade inte vara särskilt fördelaktig då byggnaden var placerad i Malmö och utrustad med ett FTX-system. Orsaken berodde på att värmeväxlarens potential inte kom helt till sin användning. Mellan Fall 11 och Fall 10 skilde 11 313 kWh som inte återvanns ur frånluften, utan togs från den uppvärmda dubbelskalfasaden istället. Metoden kan eventuellt komma till sin rätt då differensen mellan utomhustemperaturen och frånluften är så pass stor att värmeväxlaren inte kan leverera tillräcklig täckning. Samtidigt krävs då också en hög grad av soltimmar och globalstrålning.

För de avgränsade modellerna i Malmö, Sundsvall och Haparanda fanns skillnader mellan antal soltimmar, mängden globalstrålning och årsmedeltemperaturer. Dock verkade skillnaderna inte vara tillräckligt stora då procentuella energibesparingen var ungefär lika stor på samtliga tre orter. Energibesparingen mellan modellerna i Malmö blev som mest 26 783 kWh medan i

Haparanda blev motsvarande besparing 49 439 kWh. Det innebar att även då de procentuella förhållandena var liknande så var skillnaden i kilowattimmar nästan det dubbla.

För komforten bakom glasfasaden påverkades främst rummen på de övre våningsplanen i flerbostadshuset. Solinstrålning träffade mer av de övre delarna av byggnaden på grund av skuggning från andra närliggande byggnader samt på grund av vinkeln från solen till byggnadens eget tak. Dessutom påverkades dubbelskalfasaden av konvektion då öppningar i nedre delen av glasfasaden medgav intag av uteluft som hade lägre temperatur än den relativt stillastående luften i dubbelskalfasaden, vilket då gjorde att den varma luften samlades i de övre delarna.

PMV- och PPD-index förändrades främst till det sämre då extern glasfasad tillfördes flerbostadshuset. Tydligast syntes det på medelvärdena i Figur 81 och Figur 82 där PMV- och PPD-index under främst månaderna maj till augusti visade på en högre andel missnöjda personer för byggnaden med glasfasad. Även de avgränsande byggnaderna uppvisade liknande stigning på PPD-index under sommarmånaderna på de övre delarna av byggnaden. Under uppvärmningsperioden upplevdes externa glasfasaden enbart utgöra en mindre positiv påverkan på den termiska komforten.

PPD-index för sämsta rummet i flerbostadsmodellens grundmodell, Fall1, översteg inte 15 %. Motsvarande PPD-index för den avgränsade modellens grundmodell, Fall 5, översteg inte 10 %. Procenttalen motsvarar Silver respektive Guld i Miljöbyggnads certifiering. Då inglasning av tegelfasaden skedde ökade sedan PPD-index, men översteg inte 20 % missnöje för flerbostadsmodellen, respektive 15 % för den avgränsande modellen. Dock föll båda rummen i respektive byggnad med inglasad fasad ner en bedömningsgrupp till Silver respektive Brons enligt Miljöbyggnad.

Alternativa kylmetoder utöver öppningsbara takfönster i dubbelskalfasaden studerades inte i modellerna, dock borde rimligtvis aktiv ventilation eller passiva solskydd i dubbelskalfasaden sänka temperaturen och därmed öka den termiska komforten. Då temperaturen är viktig att beakta för termisk komfort samt eftersom att det i en tidigare studie visat att det med passiva solskydd går att nå ner till ett svalare klimat bakom tegelfasaden efter att en extern glasfasad monterats (Hilliäho, Nordquist, Wallentén, Hamid, & Lahdensivu, 2016), bör vidare studier över passiva kylåtgärder i dubbelskalfasader utföras.

4.5 Slutsats simulering

Samtliga simuleringar med inglasad tegelfasad gav en energibesparing med avseende på uppvärmning av byggnaden jämfört med respektive grundmodell. Flerbostadsmodellen som först utökades med inglasade balkonger, sedan även med inglasad söderfasad och slutligen med ett FTX-system med möjlighet att ta in tilluft via dubbelskalfasaden, fick energibesparingar med avseende på uppvärmning på 5,4 %, 7,4 % respektive 25 %, jämfört med grundmodellen. De avgränsande modellerna simulerades i fler fall med ökad variation främst med avseende på FTX-systemet. För varje pålagd åtgärd ökade energibesparingen i likhet med flerbostadsmodellen. Dock var lösningen som medgav möjlighet att ta tilluft via dubbelskalfasaden inte fördelaktig då det innebar att värmeväxlarens potential inte utnyttjades helt. I Figur 73 finns en jämförelse över samtliga avgränsande modellers resultat i Malmö och där

framgår också att även om en inglasad fasad utgör en energibesparing med avseende på uppvärmning så utgör ett enskilt installerat FTX-system en än större energibesparing.

Simuleringar från de geografiska placeringarna Malmö, Sundsvall och Haparanda resulterade i liknande procentuell energibesparing med avseende på uppvärmning. Skillnad i antal besparade kilowattimmar var dock nästan det dubbla mellan Haparanda och Malmö, främst då ursprunglig energianvändning var högre i de nordliga delarna av landet.

Den termiska komforten påverkades främst i de övre delarna av byggnaden som befann sig utmed dubbelskalfasaden. Påverkan medförde främst nackdelar genom förhöjda temperaturer under sommarperioder men bidrog även till mindre förhöjda temperaturer under vinterperioder. Rummet som påverkades mest negativt i simuleringarna föll ner en bedömningsgrupp enligt certifieringssystemet Miljöbyggnad. Då det i en tidigare studie framgått att det går att nå ner till ett svalare klimat bakom tegelfasaden efter att en extern glasfasad monterats bör vidare studier över passiva kylåtgärder i dubbelskalfasader utföras.

5 Slutsats

Resultat från både tidigare och nuvarande studier över mätdata från Byggnad 22 samt resultat från datorsimuleringar ger en samständig bild över att energibesparing sker med avseende på uppvärmning då en extern glasfasad tillförs en tegelfasad. Storleken på energibesparingen är olika beroende på dels hur glasfasaden är utformad, dels på vilken typ av byggnad som den tillförs samt dels på hur klimatförhållandena ser ut runt byggnaden.

Utformningen av dubbelskalfasaderna på Byggnad 22 har beräknats utgöra en besparing av transmissions- och ventilationsförlusterna på 24,1 % respektive 26,1 %. Medelvärdena av effektiva U-värdet, temperaturverkningsgraden samt energiverkningsgraden har beräknats till 0,55W/K, m², 0,315 respektive 0,53. Ett linjärt samband med en förklaringsgrad på 0,71 togs fram mellan utomhustemperaturen och temperaturen i dubbelskalfasaden under tiden då tilluft togs in via dubbelskalfasaden. En låg utomhustemperatur gav högre positiv differens till temperaturen i dubbelskalfasaden. Differensen på temperaturen mellan dubbelskalfasad och utomhus var störst under vår-, sommar- och höstperioder vilket förklarades genom varierande globalstrålning. Vid jämförelse av de tre dubbelskalfasaderna var södra fasaden varmast i 88,4 % av mätserien.

I ett tidigare examensarbete konstaterades att temperaturen i dubbelskalfasaden hos Byggnad 22 kunde överstiga 20°C under en solig dag med låg utomhustemperatur varpå driftinställningarna gjorde så att kall uteluft togs in via norra fasaden och därmed tillgodogjordes inte den redan uppvärmda luften i dubbelskalfasaden. I detta arbete påvisas att under närmare 65 % av tiden som tilluft tas via norra fasaden är utomhustemperaturen lägre än 20°C, vilket innebär att tilluften har ett uppvärmningsbehov. Under samma driftförhållanden vädrades uppvärmd luft i dubbelskalfasaden bort under närmare 75 % av tiden.

Simulering av flerbostadshuset där ena långsidan riktad mot söder var utrustad med inglasad fasad och balkonger, samt då tilluft medgavs intag via dubbelskalfasaden, resulterade i en energibesparing på 25 % med avseende på uppvärmning av byggnaden. Vid motsvarande simulering av den avgränsade modellen blev besparingen 37 %. Dock framgick att metoden med tilluft via dubbelskalfasaden inte var fördelaktig då värmeväxlarens potential inte utnyttjades helt. Därutöver resulterade simuleringarna av de avgränsande modellerna i att ett enskilt installerat FTX-system utgör en större energibesparing än enbart en inglasad söderfasad.

Simulering av de avgränsade modellerna lokaliserade i Malmö, Sundsvall och Haparanda resulterade i liknande procentuell energibesparing med avseende på uppvärmning. Dock innebar liknande procentuell energibesparing nästan det dubbla antalet kilowattimmar beroende på att modellerna i norra Sverige hade högre ursprungligt uppvärmningsbehov.

Den termiska komforten påverkades främst i övre delen av byggnaden som befann sig utmed dubbelskalfasaden och påverkan medförde främst nackdelar genom förhöjda temperaturer under sommarperioder. Rummet bakom dubbelskalfasaden som påverkades mest negativt i simuleringarna föll ner en bedömningsgrupp gällande PPD-index enligt certifieringssystemet Miljöbyggnad. Då det i en tidigare studie framgick att det går att nå ner till ett svalare klimat bakom tegelfasaden efter att en extern glasfasad monterats bör vidare studier över passiva kylåtgärder i dubbelskalfasader utföras.

6 Referenser

- Andersson, J., & Bränd, A. (2014). *Glasklar tilläggsisolering- möjligheter med förvärmning av tilluft. TVIT-14/5048*. Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Avdelningen för installationsteknik. Lunds tekniska högskola: Lunds universitet.
- Bjerking, S.-E. (1978). *Rapport R106: 978, Ombyggnad, Hur bostadshusen byggdes 1940-1970*. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning.
- Boverket. (2008). *Energideklaration - Köpenhamnsvägen 13*. Malmö: Mogens Miltoon, Värme Industri Sanitet Energi i Skåne AB.
- Boverket. (2015a). *Regelsamling för byggande, BBR, Kap 9*. Karlskrona: Boverket. Hämtat från <http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2015/regelsamling-for-byggande-bbr-2015.pdf>
- Boverket. (2015b). *Regelsamling för byggande, BBR*. Hämtat från <http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2015/regelsamling-for-byggande-bbr-2015.pdf>
- Elfborg, S., & Vrbanjac, A. (2012). *Inglasad tegelfasad - en energianalys. TVIT-12/5037*. Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Avdelningen för installationsteknik. Lunds tekniska högskola: Lunds universitet.
- EQUA Simulation AB. (02 2013). User Manual IDA Indoor Climate and Energy Version 4.5. Hämtat från <http://www.equaonline.com/iceuser/pdf/ICE45eng.pdf> den 26 10 2016
- EQUA Simulation AB. (2016). *IDA ICE - EQUA - Building and Tunnel simulation*. Hämtat från <http://www.equa.se/se/ida-ice>
- Folkhälsomyndigheten. (2014). *FoHMFS 2014:17 Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus*. Stockholm: Nils Blom. Hämtat från <https://www.folkhalsomyndigheten.se/documents/publicerat-material/foreskrifter1/fohmfs-2014-17.pdf>
- Hanssen, H. E., Kjerulf-Jensen, P., & Ole, B. (1997). *Varme- og klimatteknik (2.a uppl.)*. Danvak.
- Hilliaho, K., Nordquist, B., Wallentén, P., Hamid, A. A., & Lahdensivu, J. (2016). Energy saving and indoor climate effects of an added glazed façade to a brick wall building: Case study. *Journal of Building Engineering* 7, p246-262.
- Malmö Stad. (2015). *Malmö Stadsatlas*. Hämtat från Snedbild: <http://kartor.malmo.se/urbex/index.htm?p=true&xy=117276.86961;6163505.40044> den 05 10 2016
- Malmö Stad. (2016). Stadsbyggnadskontorets arkiv. August Palms plats 1, 205 80 Malmö.
- Naturvårdsverket. (den 13 10 2016). Hämtat från <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Energi/Energin-paverkar-miljon/> den 09 11 2016
- NE. (2016). Hämtat från årstid - Uppslagsverk - Nationalencyklopedin AB: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/arstid> den 20 11 2016
- NE. (2017). *operativ temperatur - Uppslagsverk - NE*. Hämtat från <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/operativ-temperatur> den 04 02 2017
- Nevander, L. E., & Elmarsson, B. (2011). *Fukthandbok (3:e uppl.)*. Stockholm: Svensk Byggtjänst.
- Nordquist, B., & Wallentén, P. (2016). *Sammanfattande resultat av projekt kring Inglasning som ny klimatskärm*. Lunds universitet.

- Nordquist, B., Elfborg, S., Vrbanjac, A., Wallentén, P., & Stein, J. (2013). *ENERGY SAVING BY ADDING A GLASS-FACADE TO A BRICK BUILDING*. Division of Building Services, Division of Building Physics. Central Europe towards Sustainable Building Prague 2013, Czech Technical University in Prague.
- Regeringskansliet. (den 08 07 2015). *Mål för energi - Regeringen.se*. Hämtat från <http://www.regeringen.se/regeringens-politik/miljo-och-klimat/klimat-och-luft/mal-for-klimat-och-luft/> den 27 11 2016
- Schlyter, O. (2013). *Byggnadsantikvarisk utredning Sege Park FD MALMÖ ÖSTRA SJUKHUS, Rapport 2013:005*. Malmö Museer: Kulturarvsenheten.
- SGBC. (2016). *Sweden Green Building Council*. Hämtat från Miljöbyggnad: https://www.sgbc.se/var-verksamhet/miljoebyggnad?gclid=CNrr3cG_vdECFU8tGQod1MIIzg den 12 01 2017
- Skatteverket. (den 17 10 2016). Folkbokföringen Tel: 0771 567 567.
- SMHI. (den 23 04 2014a). Normal årsmedeltemperatur. Hämtat från <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/normal-arsmedeltemperatur-1.3973> den 15 11 2016
- SMHI. (den 23 04 2014b). Normal solskenstid för ett år. Hämtat från <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/stralning/normal-solskenstid-for-ett-ar-1.3052> den 15 11 2016
- SMHI. (den 23 04 2014c). Normal globalstrålning under ett år i Sverige. Hämtat från <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/stralning/normal-globalstralning-under-ett-ar-1.2927> den 15 11 2016
- SMHI. (den 30 07 2015a). Solstrålning. Hämtat från <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/solstralning-1.4186> den 15 11 2016
- SMHI. (den 20 08 2015b). Solstrålning i Sverige. Hämtat från <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/solstralning-i-sverige-1.89984> den 15 11 2016
- SMHI. (den 16 03 2016a). *Klimatindikator - globalstrålning*. Hämtat från <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/stralning-1.17841> den 15 11 2016
- SMHI. (den 18 07 2016b). Olika sorters strålning. Hämtat från <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/olika-sorters-stralning-1.5930> den 15 11 2016
- SMHI. (u.d.). SMHI Öppna Data - Meteorologiska Observationer. Hämtat från <http://opendata-download-metobs.smhi.se/explore/> den 15 11 2016
- Statens energimyndighet. (2015). *Energiläget 2015*. Bromma: Arkitektkopia.
- SVEBY. (2012). *Brukarindata bostäder - Svebyprogrammet*. Stockholm. Hämtat från http://www.sveby.org/wp-content/uploads/2012/10/Sveby_Brukarindata_bostader_version_1.0.pdf
- Swegon. (2014). *Teknikguide för inneklimat (sidan 7)*. Hämtat från http://www.swegongroup.net/Global/PDFs/System%20Technology/_sv/Indoor_climate_guide.pdf

Bilaga A

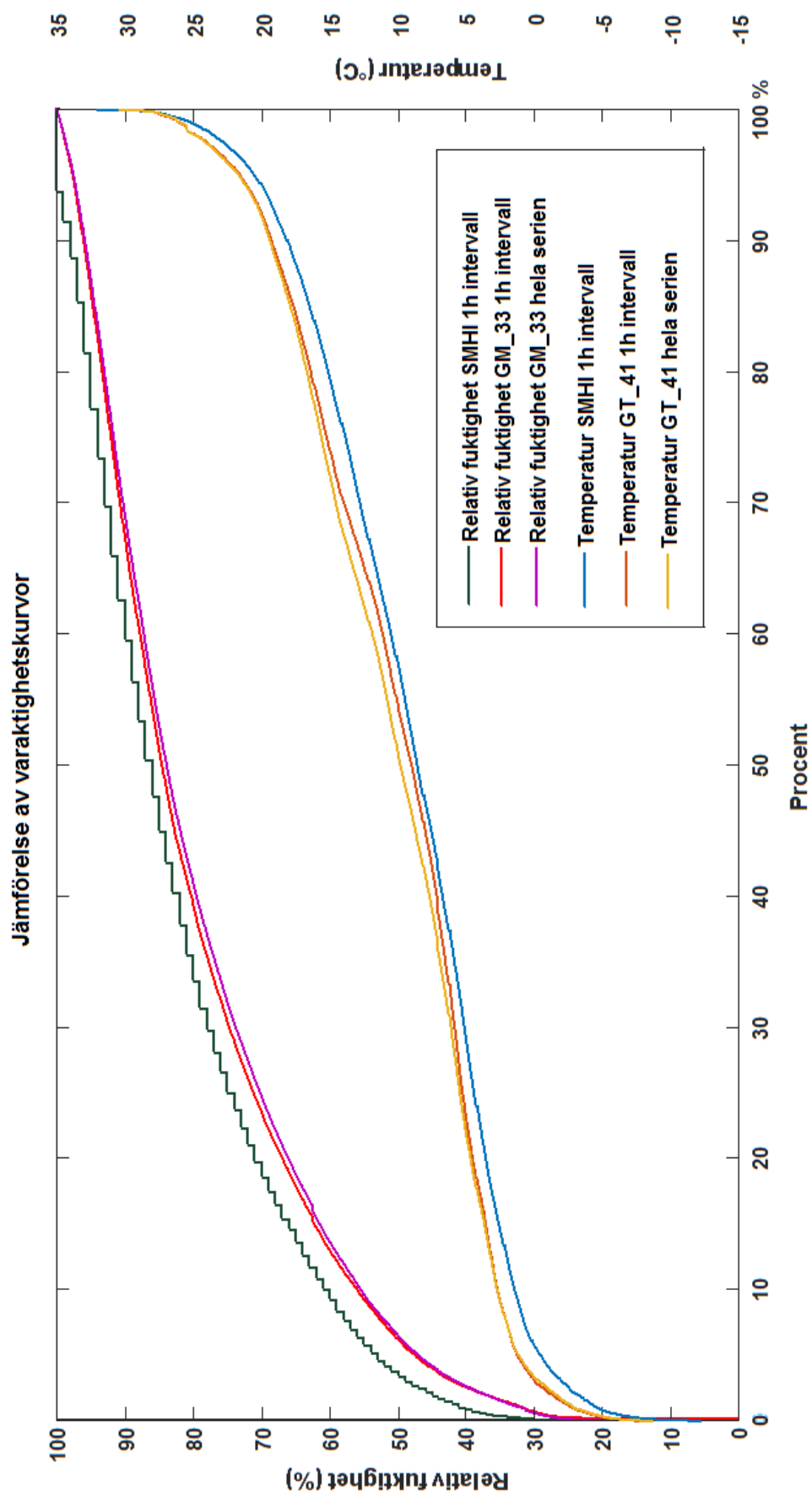
Tabell 15. Formler för komfortindex PMV och PPD (Hanssen, Kjerulf-Jensen, & Ole, 1997)

PMV= Predicted Mean Vote	(Formel) [Värde]
$PMV = (0,303 * e^{-0,036 * M} + 0,028) * \{(M - W) - 3,05 * 10^{-3} * [5733 - 6,99 * (M - W) - p_{da}] - 0,42 * [(M - W) - 58,15] - 17 * 10^{-6} * M * (5867 - p_{da}) - 1,4 * 10^{-3} * M * (34 - t_a) - 39,6 * 10^{-9} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} * a_k * (t_{cl} - t_a)\}$ <p>Varav: $t_{cl} = 35,7 - 0,028 * (M - W) - I_{cl} * \{39,6 * 10^{-9} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4] + f_{cl} * a_k * (t_{cl} - t_a)\}$</p>	<p>(9)</p> <p>[-3 – 3]</p>
PPD= Predicted Percentage Dissatisfied	(Formel) [Värde]
$PPD = 100 - 95 * e^{-(0,03353 * PMV^4 + 0,2179 * PMV^2)}$	<p>(10)</p> <p>[%]</p>

Tabell 16. Förklaring ingående parametrar för beräkning av PMV och PPD

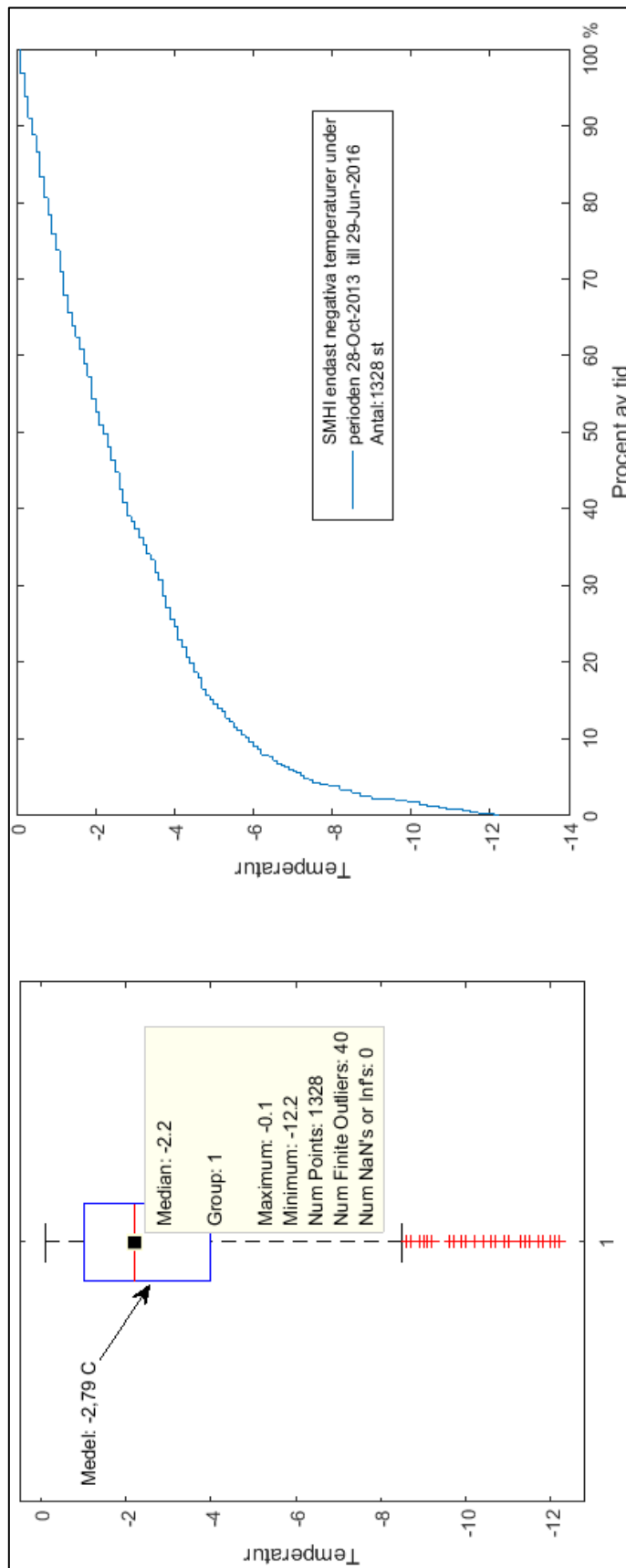
Variabel	Förklaring (giltig inom omfång)	Värde/enhet
<i>e</i>	Eulers tal	[2,718]
<i>f_{cl}</i>	Klädernas areafaktor $f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 * I_{cl}, & \text{för } I_{cl} \leq 0,078 \\ 1,05 + 0,645 * I_{cl}, & \text{för } I_{cl} \geq 0,078 \end{cases}$	[-]
<i>a_k</i>	Konvektiv värmeövergångskoefficient Störst värde av: {2,38 * (t _{cl} - t _a) ^{0,25} } eller {12,1 * v _{ar} ^{0,5} }	[W/(m ² *K)]
<i>I_{cl}</i>	Klädernas isoleringsförmåga (0–0,310)	[(m ² *K)/W]
<i>M</i>	Metabolisk effekt, energiomsättning (46 – 232)	[W/m ² , alt. met]
<i>p_{da}</i>	Vattenångans partialtryck i omgivande luft (0–2700)	[Pa]
<i>t_a</i>	Lufttemperatur (10–30)	[°C]
<i>t_{cl}</i>	Klädernas yttemperatur	[°C]
<i>t_r</i>	Medelstrålningstemperatur (10–40)	[°C]
<i>W</i>	Yttre mekaniskt arbete	[W/m ²]
<i>v_{ar}</i>	Relativ lufthastighet (0–1)	[m/s]

Bilaga B



Figur 89. Jämförelse av varaktighetskurvor

Bilaga C



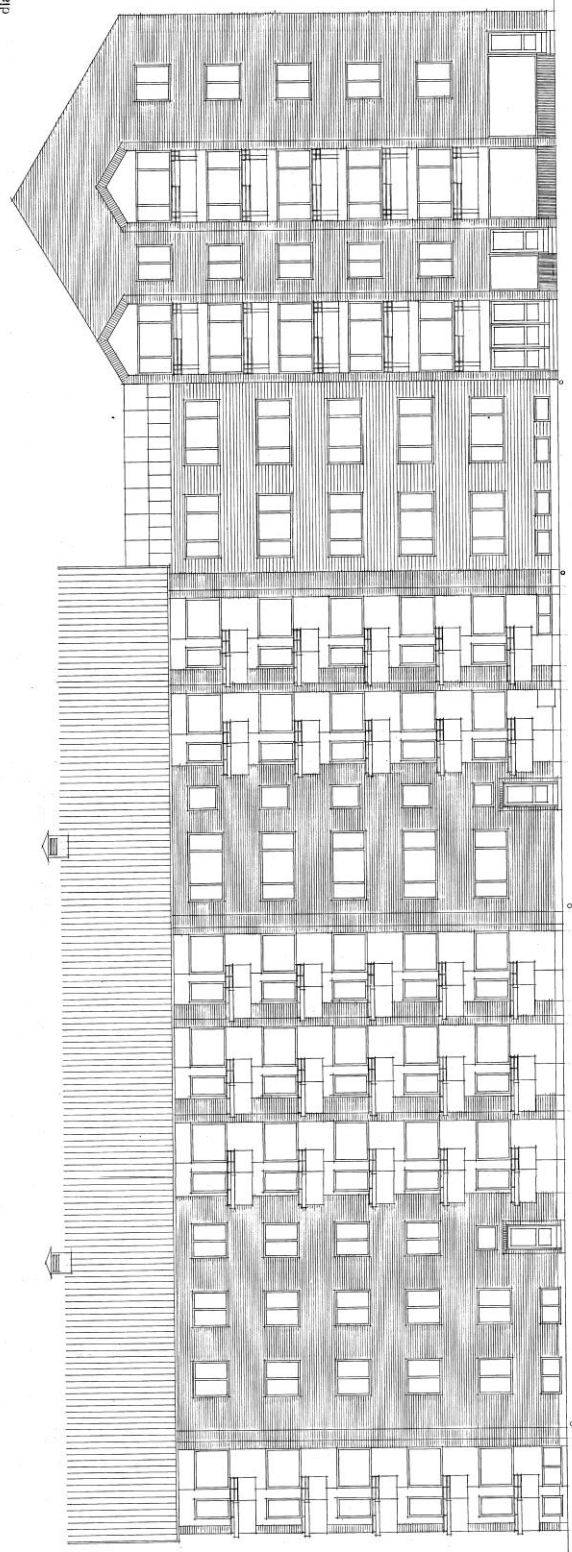
Figur 90. SMHI - Negativa temperaturer under 2013-10-28 – 2016-06-29

Bilaga D

Förklarings tecken enligt för konstruktions allmänna
teckenregler i byggföreskrifterna
Förklarings tecken enligt för konstruktions allmänna
teckenregler i byggföreskrifterna

A. Klemm

proj. nr. 1113
lit. j. 1952
dier. nr. 429/1952
24 SER 858



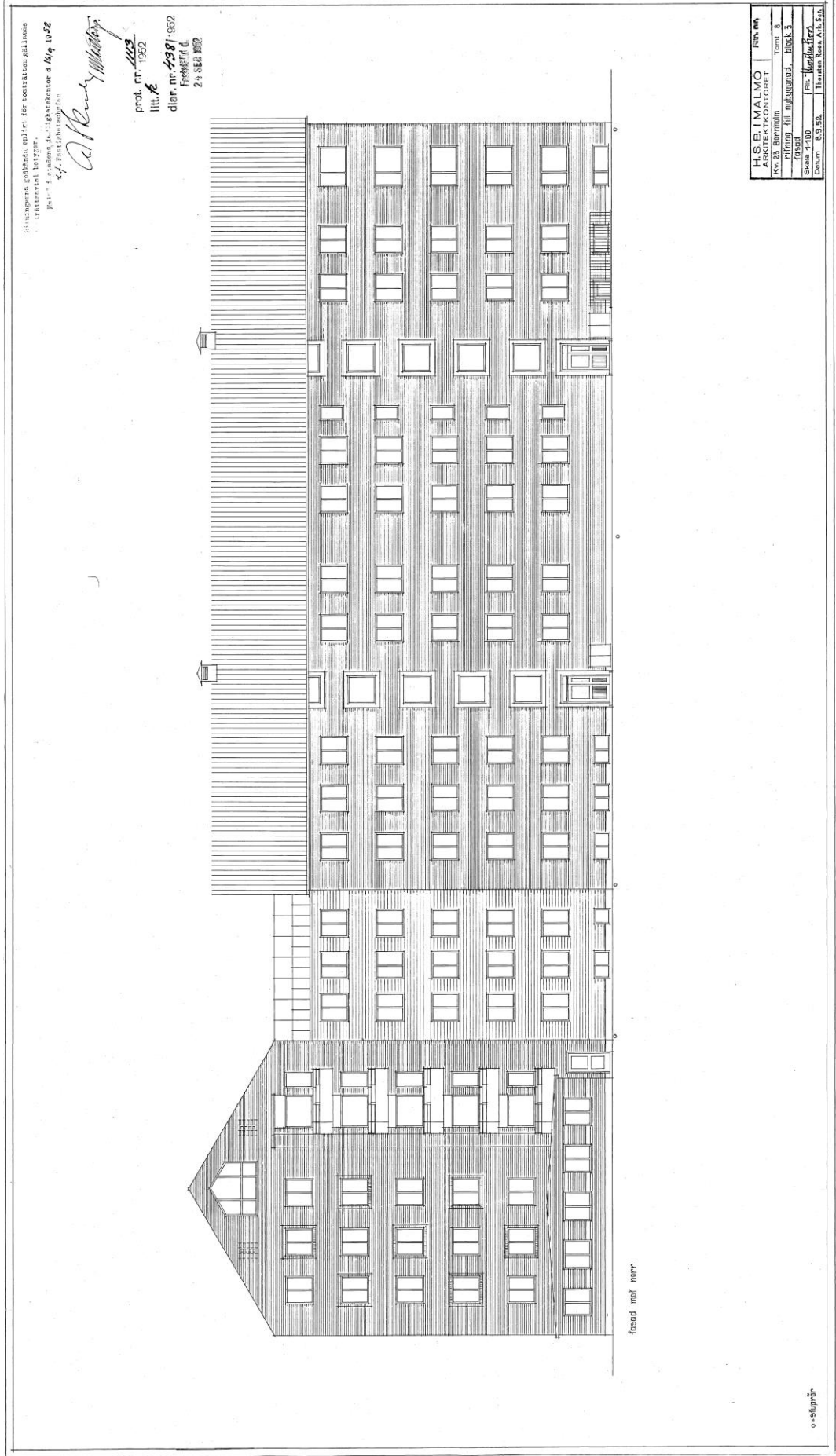
fasad mot söder

Fasadformal:
Fasadformalerna är i
beskrivningens 24 fasadform
beskrivningens 24 fasadform
beskrivningens 24 fasadform

H.S.B. I MALMÖ	Rth. nr.
ARKITEKTBYRÅN	1952
Platta till byggnadsplan, block 3	
Byggn. 11100	Rth. 11100
Datum 8.9.52	Thorenson, Ark. Sva.

o. Sjöström

Figur 91. Södra fasaden - Köpenhamnsvägen 13 (Malmö Stad, 2016)



(K) - utgåvan godkänd enligt för teckning gällande
 teckningsbestyr.
 1952 i samband med förändringar 4/10/1952
 av teckningen

Alf Henrik Mattsson

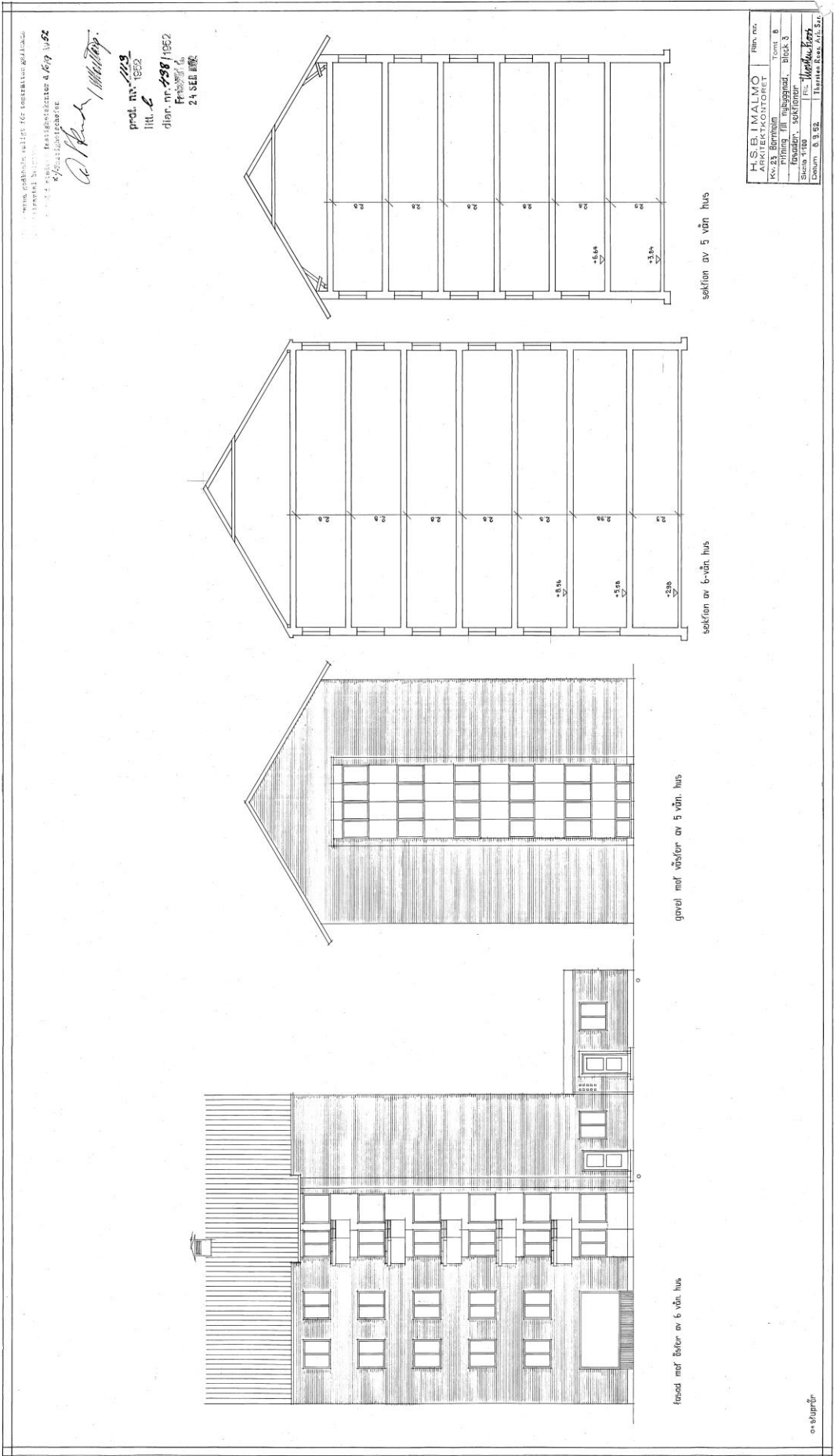
proj. nr. 1423
 1952
 lutt. 8
 dlar. nr. 423/1952
 FERNETTER G.
 24 SEKT 8052

HIS MALMÖ	FAK 101
ARKITEKTBYRÅ	Tomt 8
Kv. 23, Bärnsholm	Block 3
Införing till Nubergsgatan	Fasad
Skissa 1:100	Ark. Mattsson
Skapat 8/3/52	1. Tecknad Kvar. Ark. 2/16

fasad mot norr

00-541010

Figur 92. Norra fasaden - Köpenhamnsvägen 13 (Malmö Stad, 2016)



Figur 93. Gavlar - Köpenhamnsvägen 13 (Malmö Stad, 2016)

PLATTOR

LIT		M		N		W		V		S		D		R		H		I		A		S		E		R		A		M		N		G		B		E		R		I		M																																																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

PLATTOR

LIT		M		N		W		V		S		D		R		H		I		A		S		E		R		A		M		N		G		B		E		R		I		M																																																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

VÄGGAR

LIT		M		N		W		V		S		D		R		H		I		A		S		E		R		A		M		N		G		B		E		R		I		M																																																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

STÖD

LIT		M		N		W		V		S		D		R		H		I		A		S		E		R		A		M		N		G		B		E		R		I		M																																																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

BALKAR

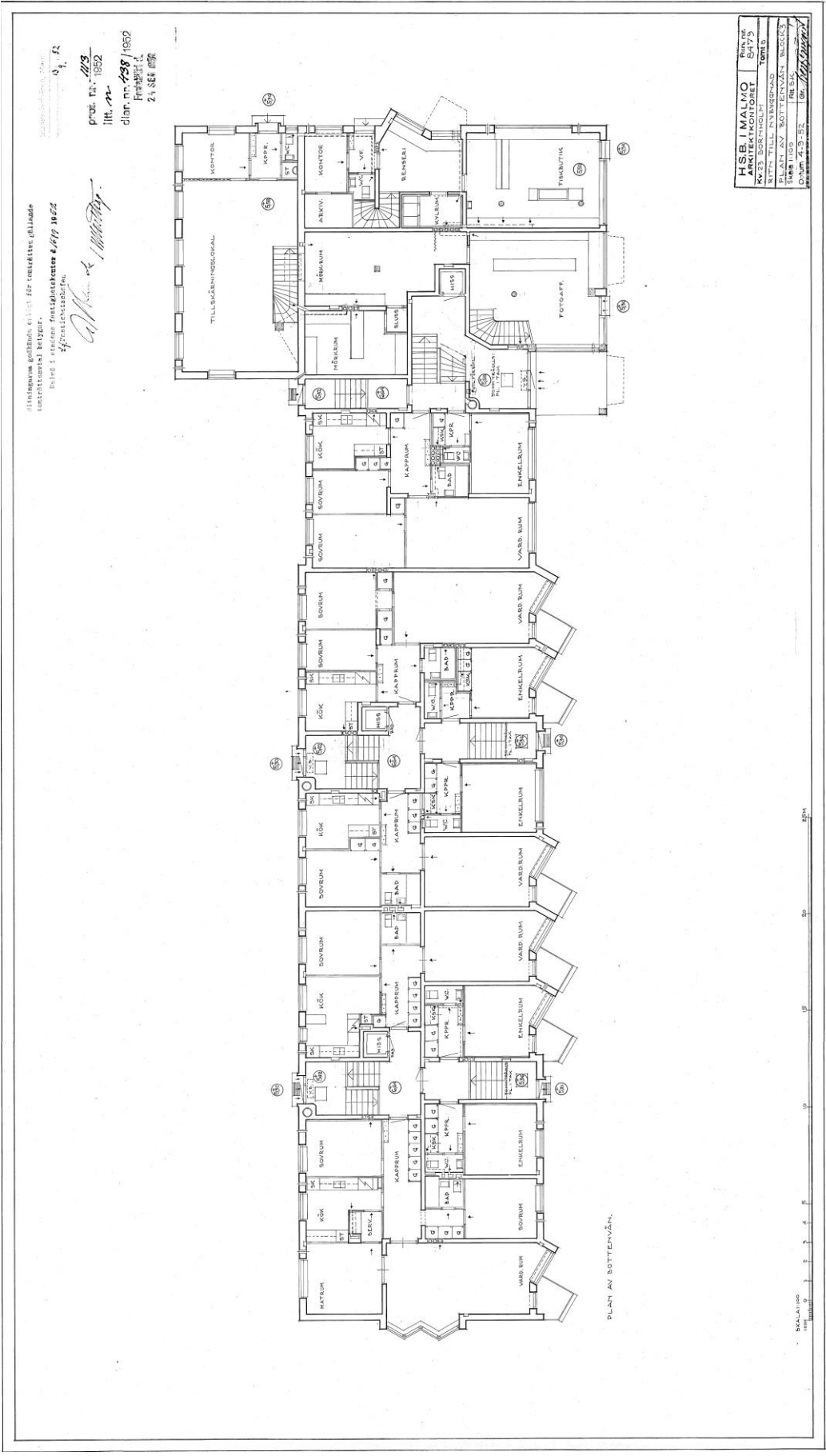
LIT		M		N		W		V		S		D		R		H		I		A		S		E		R		A		M		N		G		B		E		R		I		M																																																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

PELARE

LIT		M		N		W		V		S		D		R		H		I		A		S		E		R		A		M		N		G		B		E		R		I		M																																																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

H.S.B. I MALMÖ
 KONSTRUKTION
 BLOCK 2 S.H. 5.
 FÄRELEK
 CAISON 10-20 1936.

Figur 94. Tabell ingående delar - Köpenhamnsvägen 13 (Malmö Stad, 2016)

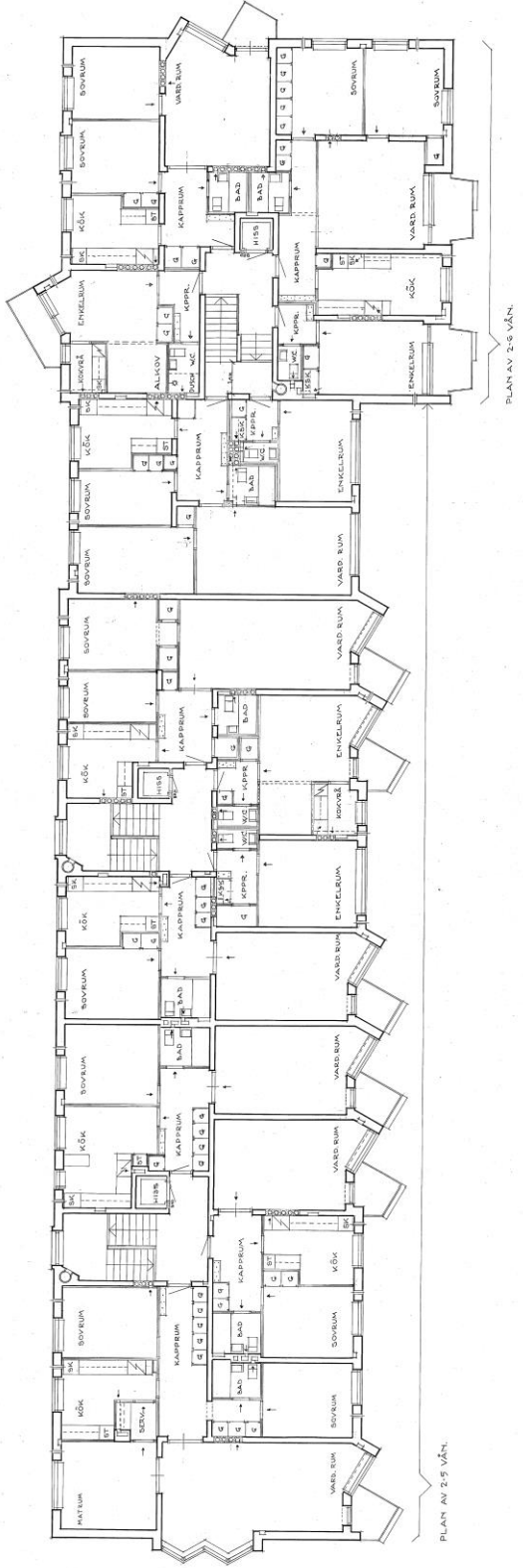


Figur 95. Planlösning bottenvåning - Köpenhamnsvägen 13 (Malmö Stad, 2016)

proj. nr. 1113
 111.0
 dier. nr. 298/1962
 24 SEP 62

STATENS BEHOVSBYGGNADSBYRÅ
 Byggnadsavdelningen
 103 34 Stockholm
 24 SEP 62

Alf Nilsson



HSB I NALMO	Rev. nr.
ARKITEKTKONTORET	5/150
KV 23 BOSTADSHUS	Tomt B
BYGGNADSTILLFÖREBÄDD	
BYGGNADSRITNING	
Skala 1:100	Rev. 5/150
Datum 4.3.52	Ör. <i>Alf Nilsson</i>

SKALA 1:100
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Figur 96. Planlösning våning 2-6 - Köpenhamnsvägen 13 (Malmö Stad, 2016)

Bilaga E

Tabell 17. Gemensamma indata för modeller

Ingående del	Ingående material samt bredd (mm)	Total bredd (mm)	Totalt U-värde (W/m ² K)
Stommen			
Yttervägg	Tegel 400	400	1,195
Innervägg	Gips 13	266	0,163
	Trä 20		
	Lätt isolering 200		
	Trä 20		
	Gips 13		
Ram för glasfasad	Aluminium 10	10	5,881
Yttergolv mot mark	Betong 500	500	2,155
Innergolv/innertak	Betong 200	200	3,476
Balkonggolv/tak/vägg	Betong 200	200	3,476
Tak	Lätt isolering 200	350	0,172
	Betong 150		
Dörrar			
Ytterdörr	Trä 4	35	1,085
	Aluminium 1		
	Lätt isolering 25		
	Aluminium 1		
	Trä 4		
Innerdörr	Trä 40	40	2,194
Fönster			
Fönster i byggnad	Double high solar gain low-e (WIN7), g=0,692	≈26	1,757
Glasfasad samt inglasad balkong	Single Clear (WIN7), g=0,868	≈3	5,920
Ovandel av glasfasad	SGG Planitherm Ultra-N 3-panes, g=0,703	36	0,703
Övrigt			
Mark	ISO-13370		
Rumshöjd	Källare: 2,3 m och 2,5 m Butiksplan: 2,98 m Lägenheter: 2,8 m		
Köldbryggor	Typiska enligt IDA ICE 4.7		
Börvärde värme	21		
Börvärde rumskyla	Saknas kyla		
Infiltration	Vinddriven: 0,76 l/s*m ² golv vid 50 Pa		
Luftflöden	0,4 l/sm ²		
Värmeåtervinning	Vid FTX är verkningsgraden 0,82		
Distributionsförluster	Typiska enl. IDA ICE 4.7:		
Vädring	PI-kontroll samt vid "House living (example)"		

Specifika indata flerbostadsmodeller

Lägenheter

Utöver glasfasader och balkonger innehåller modellen 355 beräkningszoner, fördelat på 70 lägenheter, källare och 6 butikslokaler. Lägenheterna har ett kapprum, badrum och kök förutom de lägenheter med ett rum som anges i Tabell 18. Planlösning med lägenheterna markerade återfinns längre fram i bilagan.

Tabell 18. Antal rum per lägenheter och våning.

Våning 1

Lägenhet	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Butiker				
Antal rum	4	1	2	1	2	1	3	1	2	1	6				
Rummet inkl. kapprum och kök		X		X				X							
Rummet inkl. kök						X				X					

Våning 2 - 6

Lägenhet	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Antal rum	4	2	2	-	2	1	3	1	2	1	-	1	1	2	3
Rummet inkl. kapprum och kök															
Rummet inkl. kök								X		X					

Antal personer

Totala antalet personer i lägenheterna är 132,16 och ytterligare 65 personer fördelas jämt i butikslokaler samt källare. Närvaron antas vara 14 timmar per dygn i lägenheterna och vilket i modellen motsvarar konstant närvaro dygnet runt med 58,3 % av antalet personer. Närvaron i butikerna följer dock ett inbyggt schema där med närvaro mellan klockan 06–18 alla dagar.

Tabell 19. Antal personer i respektive lägenhetsdel (SVEBY, 2012).

Antal rum i lägenheten	Antal personer per lägenhetsdel i modellen				
	Kapprum	Badrum	Kök	per rum	Total
1	0,2	0,2	0,4	0,62	1,42
2	0,2	0,2	0,4	0,415	1,63
3	0,2	0,2	0,4	0,46	2,18
4	0,2	0,2	0,4	0,4975	2,79
Kök + vardagsrum	0,4 + 0,62				1,02
Kapprum + kök + vardagsrum	0,2 + 0,4 + 0,62				1,22

Utrustning

I Tabell 20 återfinns antagen utrustning som avger värme i huset, förutom belysning (SVEBY, 2012). Posten "Övrigt" fördelas jämt över alla zoner i lägenheten. Utöver lägenheterna finns utrustning i butikslokalerna och entréerna med 100 W. Samtlig avgiven effekt sker med ett konstant schema.

Tabell 20. Utrustning i lägenheterna, förutom belysning (SVEBY, 2012).

	Andelar		Summa		Watt			
	Benämning	kWh / år	kWh / år	Watt	1 rum	2 rum	3 rum	4 rum
Kapprum	-	0	0	0,00	11,13	8,90	7,42	6,36
Badrum	Tvätt & Tork	210	210	23,97	35,10	32,88	31,39	30,33
Kök	Kyl & Frys + Matlagning + Diskmaskin	720 + 390 + 120	1230	140,41	151,54	149,32	147,83	146,77
	Stereo +TV + DVD + Dator	60 + 150 + 60 + 270	540	61,64	72,77	70,55	69,06	68,00
Övrigt	Övrigt+ Ej uppmätt	60 + 330	390	44,52	-	-	-	-
	Kök + vardagsrum				224,32			
	Kapprum + kök + vardagsrum				235,45			

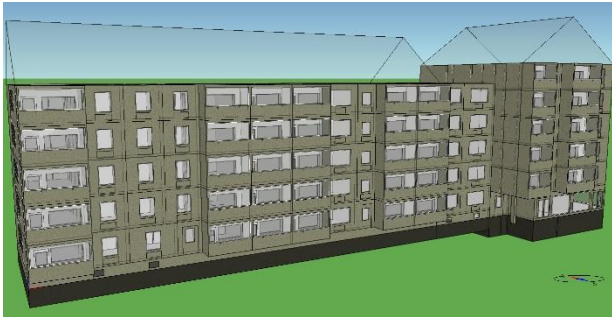
Belysning

Energibehovet för belysning är 630 kWh/år och 71,917 W per lägenhet. Utöver lägenheterna finns belysning i butikslokalerna och entréerna med 100 W respektive 21,58 W.

Tabell 21. Belysning i lägenheterna (SVEBY, 2012).

	Procent (%)	Summa		10h Watt	1 rum	2 rum	3 rum	4
		kWh / år	Watt		(W)	(W)	(W)	rum (W)
Kapprum	10	63	7,19	17,26	17,26	17,26	17,26	17,26
Badrum	10	63	7,19	17,26	17,26	17,26	17,26	17,26
Kök	30	189	21,58	51,78	51,78	51,78	51,78	51,78
Per rum	50	315	35,96	86,30	86,30	43,15	28,77	21,58

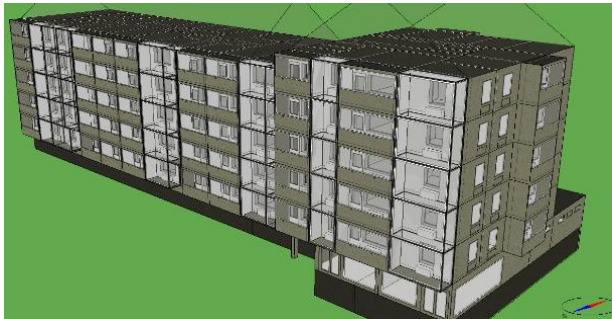
I Figur 97 till Figur 100 framgår modellen över flerbostadshuset i full skala både med och utan glasfasad.



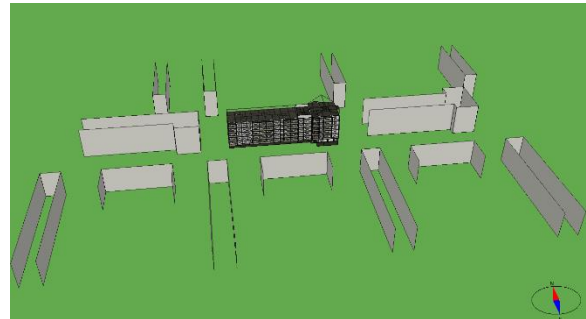
Figur 97. Modell i fullskala utan glasfasad – södra fasaden.



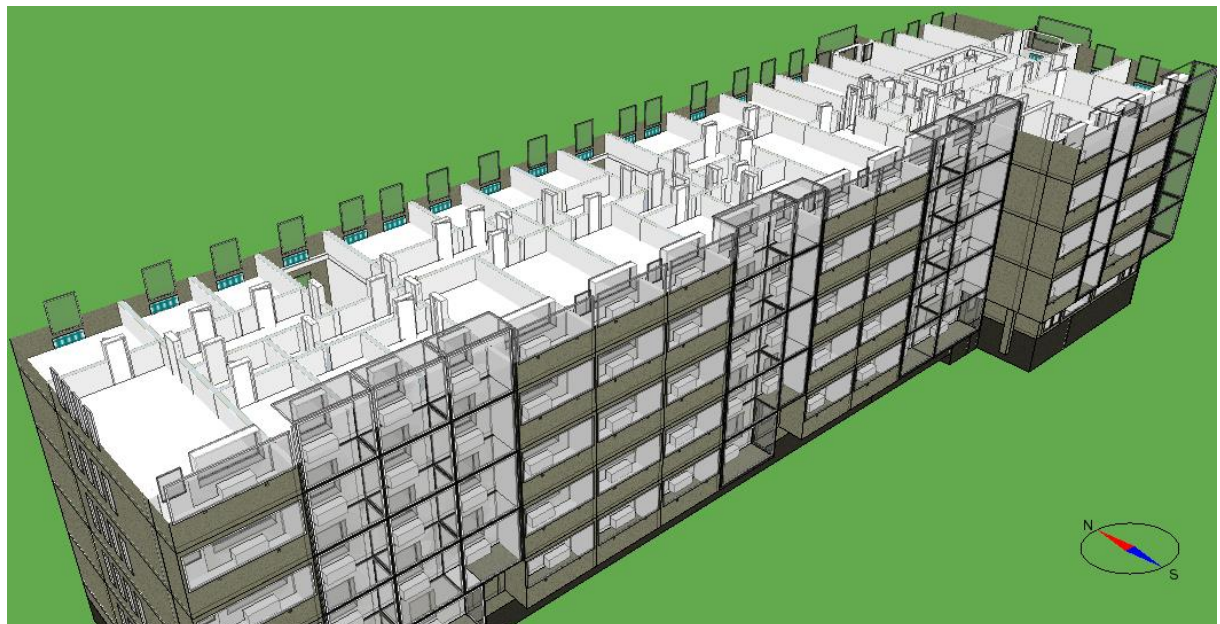
Figur 98. Modell i fullskala – gemensam nordfasad.



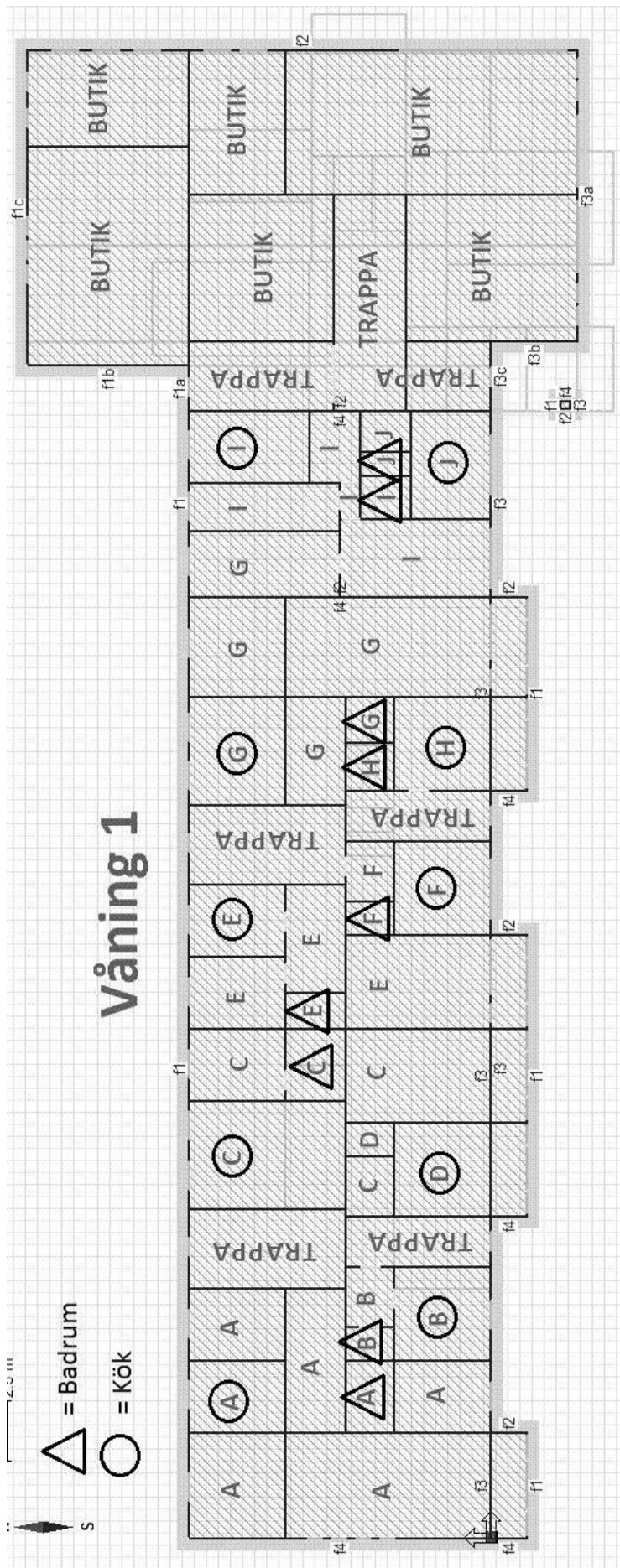
Figur 99. Modell i fullskala med glasfasad – södra fasaden.



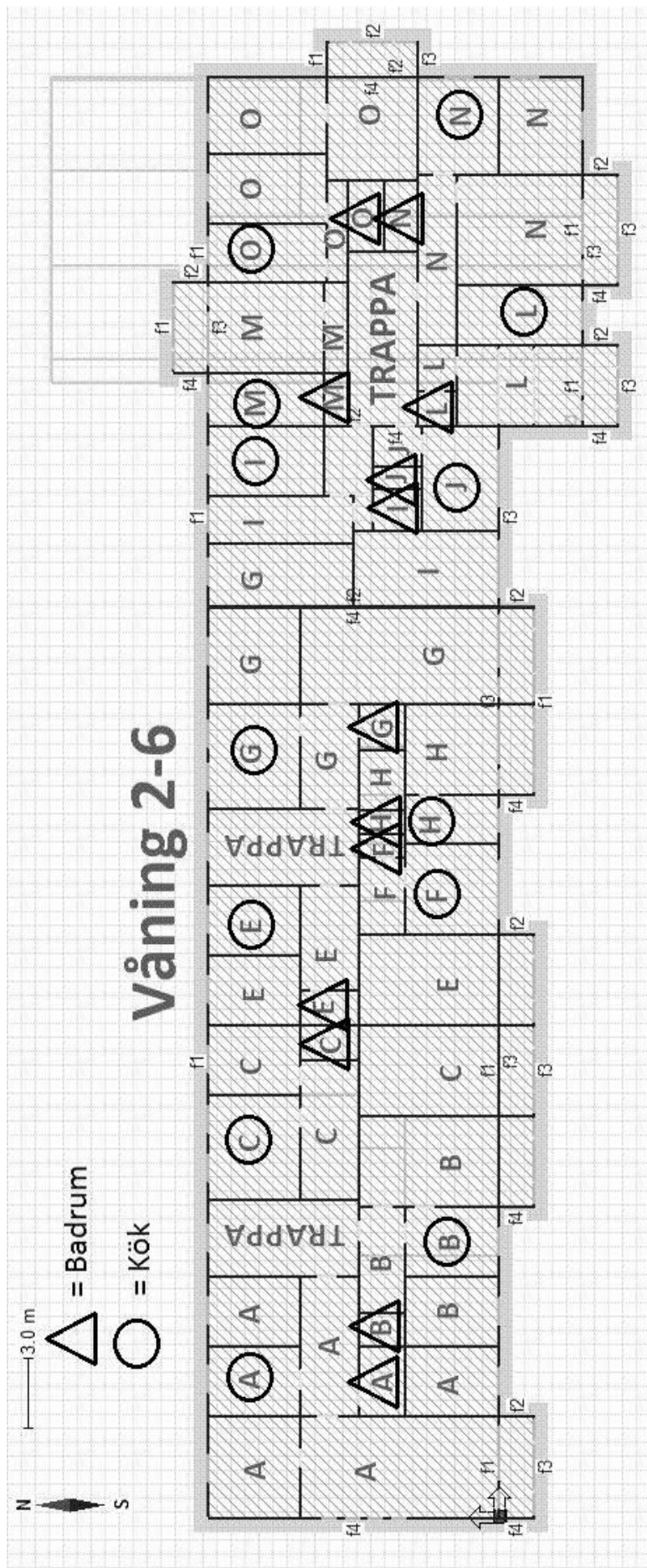
Figur 100. Modell i fullskala med omkringliggande byggnader med avseende på skuggning.



Figur 101. Modell i full skala med glasfasad - genomskärning.



Figur 102. Planlösning modell flerbostadshus - Våning 1



Figur 103. Planlösning modell flerbostadshus - Våning 2-6

Specifika indata avgränsade modeller

Avgränsad byggnad

Benämning på zon	A	B	C	Totalt
Antal zoner per våning	4	1	1	30
Antal m ²	19,5	39	78	975
Antal personer	0,415	0,83	1,66	20,75
Utrustning (W)	70,55	141,1	282,2	3527,5
Belysning (W)	43,15	86,3	172,6	2157,5
Tilluft (l/s)	10	-	40	400
Frånluft F-system (l/s)	-	80	-	400
Frånluft FTX (l/s)	-	88	-	440

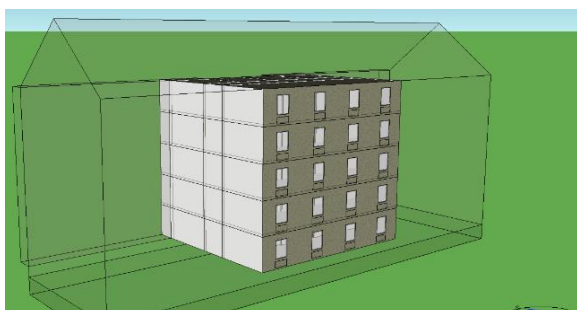
I Figur 104 till Figur 107 framgår avgränsande modellen både med och utan glasfasad.



Figur 104. Avgränsad modell med glasfasad - södra fasaden.



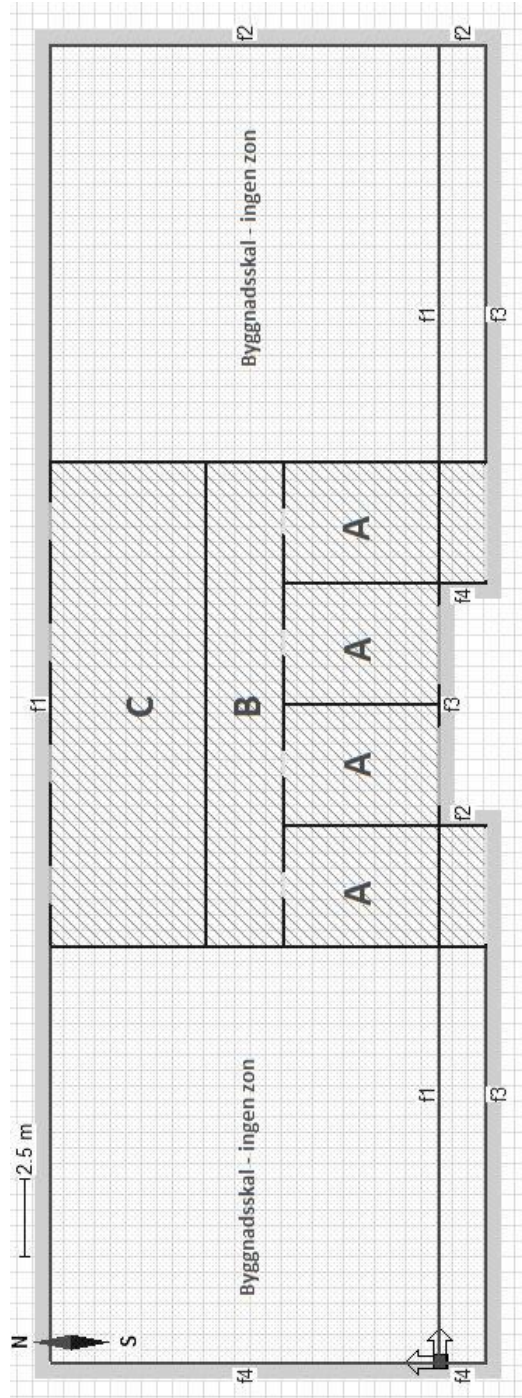
Figur 105. Avgränsad modell utan glasfasad - södra fasaden.



Figur 106. Avgränsad modell - gemensam nordfasad.

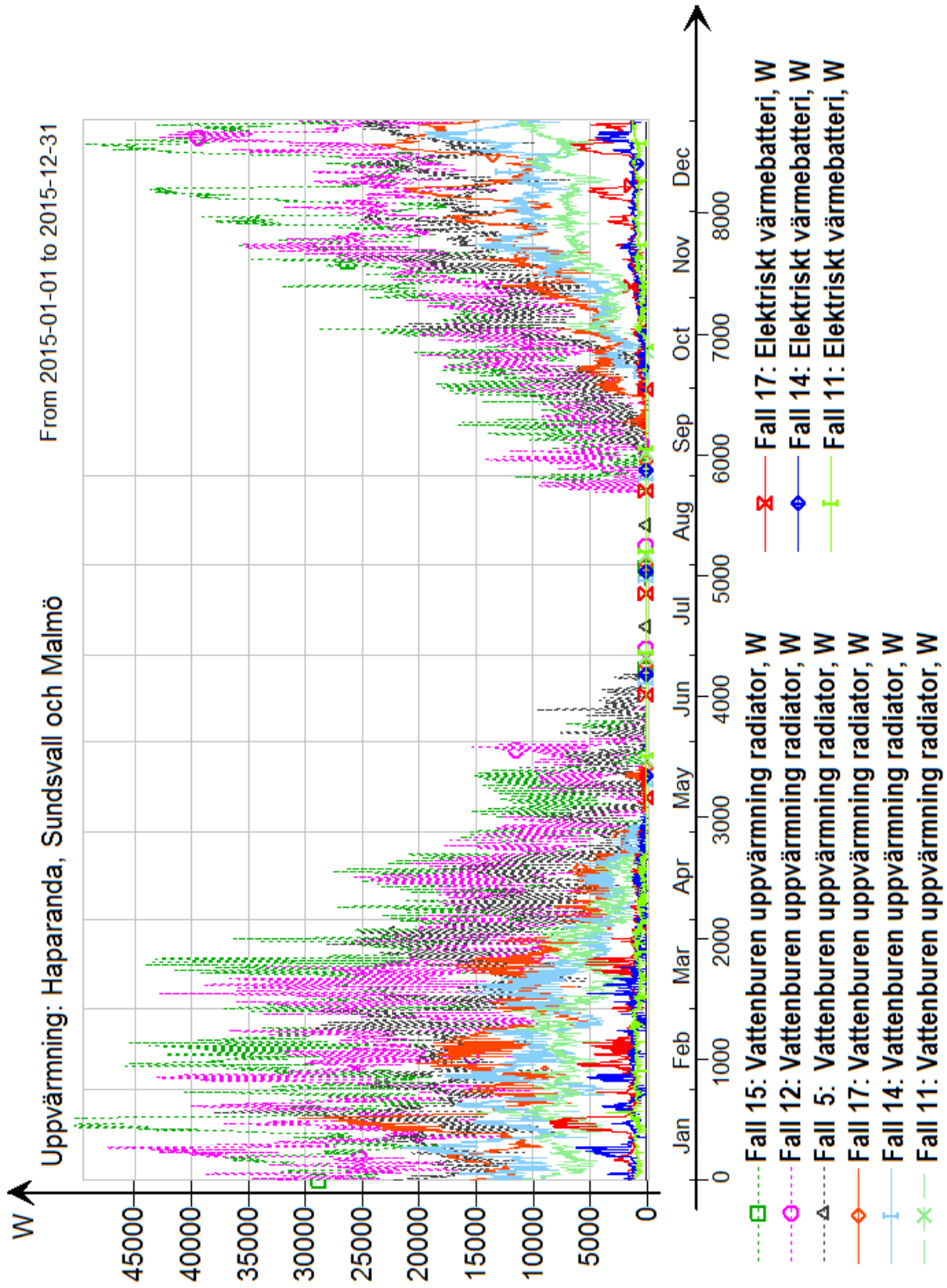


Figur 107. Avgränsad modell med glasfasad - genomskärning.



Figur 108. Planlösning avgränsad modell

Bilaga F



Figur 109. Uppvärmning Haparanda, Sundsvall och Malmö

Bilaga G

Tabell 22. Månadsvärden – PPD och PMV i lägenhet F, vardagsrum med kök mot södra fasaden plan 5

	PPD PREDICTED PERCENTAGE OF DISSATISFIED (%)				PMV PREDICTED MEAN VOTE (-3:3)			
	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
JANUARI	11,38	11,38	10,62	6,91	-0,55	-0,55	-0,51	-0,28
FEBRUARI	11,81	11,81	11,16	6,90	-0,57	-0,57	-0,54	-0,29
MARS	9,62	9,61	8,60	5,57	-0,45	-0,45	-0,39	-0,02
APRIL	7,09	7,11	6,76	7,97	0,01	0,02	0,07	0,35
MAJ	9,48	9,57	10,86	10,99	0,44	0,45	0,50	0,51
JUNI	11,09	11,16	12,90	12,93	0,52	0,53	0,58	0,58
JULI	13,21	13,27	16,27	16,52	0,60	0,60	0,68	0,69
AUGUSTI	13,88	13,95	19,58	19,77	0,63	0,63	0,78	0,78
SEPTEMBER	10,93	11,02	12,13	12,20	0,51	0,51	0,56	0,56
OKTOBER	7,99	8,01	8,15	8,83	0,08	0,08	0,21	0,39
NOVEMBER	9,41	9,41	8,27	6,15	-0,43	-0,43	-0,34	0,04
DECEMBER	11,88	11,89	11,16	7,23	-0,57	-0,57	-0,54	-0,30
MEDEL	10,65	10,68	11,39	10,19	0,02	0,03	0,09	0,25
MEDEL*8760 H	93 278	93 585	99 758	89 308	201	219	808	2231
LÄGSTA MÅNADSVÄRDE	9,09	7,11	6,76	5,57	-0,57	-0,57	-0,54	-0,30
HÖGSTA MÅNADSVÄRDE	13,88	13,95	19,58	19,77	0,63	0,63	0,78	0,78

Tabell 23. Månadsvärden – PPD och PMV - Avgränsad byggnad, vån 1, västra rummet

AVGRÄNSAD BYGGNAD, VÅNING 1, VÄSTRA RUMMET							
	Fall 5: PMV	Fall 6: PMV	Fall 7: PMV	Fall 8: PMV	Fall 9: PMV	Fall 10: PMV	Fall 11: PMV
JANUARI	-0,6161	-0,616	-0,6106	-0,5851	-0,5837	-0,5838	-0,5875
FEBRUARI	-0,6218	-0,6217	-0,6189	-0,5933	-0,5917	-0,5927	-0,5964
MARS	-0,5667	-0,5657	-0,5762	-0,5175	-0,5157	-0,5384	-0,5436
APRIL	-0,4342	-0,4297	-0,4611	-0,2878	-0,269	-0,3317	-0,3473
MAJ	-0,2641	-0,245	-0,2894	0,1692	0,2459	0,1885	0,164
JUNI	-0,1797	-0,1618	-0,2097	0,2362	0,3014	0,2527	0,2279
JULI	0,2254	0,2878	0,2598	0,5311	0,5517	0,5344	0,5282
AUGUSTI	0,3127	0,362	0,36	0,5627	0,5781	0,5818	0,5763
SEPTEMBER	-0,1288	-0,0897	-0,0901	0,2598	0,3	0,2852	0,2693
OKTOBER	-0,4275	-0,4256	-0,4393	-0,2723	-0,2469	-0,2671	-0,2837
NOVEMBER	-0,5742	-0,5742	-0,5707	-0,5241	-0,5222	-0,5267	-0,5324
DECEMBER	-0,6275	-0,6275	-0,6161	-0,5994	-0,5979	-0,5901	-0,5932
MEDEL	-0,3227	-0,3063	-0,3193	-0,1319	-0,1092	-0,1291	-0,14
MEDEL*8760 H	-2826,9	-2683,1	-2796,8	-1155,1	-956,9	-1130,8	-1226
LÄGSTA MÅNADSVÄRDE	-0,6275	-0,6275	-0,6189	-0,5994	-0,5979	-0,5927	-0,5964
HÖGSTA MÅNADSVÄRDE	0,3127	0,362	0,36	0,5627	0,5781	0,5818	0,5763
	Fall 5: PPD	Fall 6: PPD	Fall 7: PPD	Fall 8: PPD	Fall 9: PPD	Fall 10: PPD	Fall 11: PPD
JANUARI	13,01	13,01	12,86	12,25	12,22	12,19	12,28
FEBRUARI	13,17	13,16	13,07	12,46	12,42	12,41	12,5
MARS	11,82	11,8	12,01	10,77	10,74	11,16	11,28
APRIL	9,425	9,367	9,812	7,847	7,821	8,312	8,495
MAJ	7,017	6,863	7,197	6,306	6,928	6,312	6,156
JUNI	7,031	7,009	7,213	6,949	7,565	7,077	6,887
JULI	7,401	7,962	7,715	11,36	11,8	11,46	11,34
AUGUSTI	8,241	8,877	8,932	12,05	12,4	12,64	12,52
SEPTEMBER	7,027	7,194	7,327	7,82	8,196	7,897	7,788
OKTOBER	9,409	9,395	9,498	7,831	7,714	7,689	7,84
NOVEMBER	12	12	11,88	10,91	10,87	10,91	11,03
DECEMBER	13,3	13,31	12,99	12,58	12,55	12,34	12,42
MEDEL	9,889	9,982	10,03	9,924	10,1	10,03	10,04
MEDEL*8760 H	86630,8	87438,1	87843,9	86938,5	88458,5	87857,5	87949,5
LÄGSTA MÅNADSVÄRDE	7,017	6,863	7,197	6,306	6,928	6,312	6,156
HÖGSTA MÅNADSVÄRDE	13,3	13,31	13,07	12,58	12,55	12,64	12,52

Tabell 24. Månadsvärden – PPD och PMV - Avgränsad byggnad, vån 4, östra rummet

AVGRÄNSAD BYGGNAD, VÅNING 4, ÖSTRA RUMMET

	Fall 5: PMV	Fall 6: PMV	Fall 7: PMV	Fall 8: PMV	Fall 9: PMV	Fall 10: PMV	Fall 11: PMV
JANUARI	-0,617	-0,6169	-0,5985	-0,5902	-0,5892	-0,5746	-0,5844
FEBRUARI	-0,6238	-0,6236	-0,6066	-0,5991	-0,598	-0,5839	-0,5939
MARS	-0,5727	-0,5717	-0,5632	-0,529	-0,5273	-0,5268	-0,5402
APRIL	-0,4515	-0,4471	-0,4465	-0,3196	-0,302	-0,3167	-0,347
MAJ	-0,2892	-0,2723	-0,2691	0,1098	0,1919	0,1967	0,1518
JUNI	-0,1988	-0,1824	-0,1737	0,1932	0,2584	0,2901	0,2491
JULI	0,1794	0,2438	0,2969	0,5036	0,5277	0,5773	0,5627
AUGUSTI	0,2634	0,3176	0,4103	0,5323	0,5528	0,6463	0,6325
SEPTEMBER	-0,1665	-0,1283	-0,0651	0,205	0,2518	0,2998	0,2704
OKTOBER	-0,4426	-0,4404	-0,4265	-0,3098	-0,2877	-0,2641	-0,293
NOVEMBER	-0,5772	-0,577	-0,5591	-0,534	-0,5322	-0,5171	-0,5303
DECEMBER	-0,6266	-0,6265	-0,6047	-0,6036	-0,6024	-0,5846	-0,5924
MEDEL	-0,3412	-0,3245	-0,2978	-0,1587	-0,1348	-0,1098	-0,1312
MEDEL*8760 H	-2989,1	-2842,9	-2609	-1390,2	-1181,1	-961,8	-1149,7
LÄGSTA MÅNADSVÄRDE	-0,6266	-0,6265	-0,6066	-0,6036	-0,6024	-0,5846	-0,5939
HÖGSTA MÅNADSVÄRDE	0,2634	0,3176	0,4103	0,5323	0,5528	0,6463	0,6325
	Fall 5: PPD	Fall 6: PPD	Fall 7: PPD	Fall 8: PPD	Fall 9: PPD	Fall 10: PPD	Fall 11: PPD
JANUARI	13,04	13,04	12,55	12,38	12,35	11,97	12,21
FEBRUARI	13,22	13,21	12,75	12,6	12,58	12,2	12,44
MARS	11,96	11,94	11,7	11,01	10,98	10,91	11,2
APRIL	9,681	9,619	9,549	8,115	8,063	8,043	8,43
MAJ	7,269	7,116	6,953	5,961	6,476	6,38	6,06
JUNI	7,131	7,113	6,967	6,63	7,128	7,783	7,415
JULI	7,086	7,564	8,438	10,79	11,27	12,75	12,43
AUGUSTI	7,715	8,336	10,37	11,38	11,81	14,91	14,58
SEPTEMBER	7,072	7,176	7,524	7,323	7,712	8,312	8,066
OKTOBER	9,597	9,576	9,278	8,08	7,937	7,566	7,859
NOVEMBER	12,06	12,06	11,61	11,11	11,07	10,72	10,99
DECEMBER	13,28	13,28	12,7	12,69	12,66	12,2	12,4
MEDEL	9,909	9,986	10,02	9,833	9,998	10,31	10,34
MEDEL*8760 H	86804,6	87481,5	87797,6	86138	87580,7	90347,4	90576,4
LÄGSTA MÅNADSVÄRDE	7,072	7,113	6,953	5,961	6,476	6,38	6,06
HÖGSTA MÅNADSVÄRDE	13,28	13,28	12,75	12,69	12,66	14,91	14,58